

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BARET KAZIKLI TEMELLER İLE İLGİLİ HESAP YÖNTEMLERİ,
İMALAT VE KALİTE KONTROL ESASLARI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hakan KÖPÜKLÜ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği Programı

OCAK 2015

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BARET KAZIKLI TEMELLER İLE İLGİLİ HESAP YÖNTEMLERİ,
İMALAT VE KALİTE KONTROL ESASLARI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Hakan KÖPÜKLÜ
(501111304)**

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Hüseyin YILDIRIM

OCAK 2015

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501111304 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Hakan KÖPÜKLÜ**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**BARET KAZIKLI TEMELLER İLE İLGİLİ HESAP YÖNTEMLERİ, İMALAT VE KALİTE KONTROL ESASLARI**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Hüseyin Yıldırım**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Doç.Dr. İsmail Hakkı Aksoy**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Erol GÜLER
Boğaziçi Üniversitesi

Teslim Tarihi : **15 Aralık 2014**
Savunma Tarihi : **20 Ocak 2015**

Aileme,

ÖNSÖZ

Üst yapı kaynaklı aşırı yüklerin zemininin derin tabakalarına aktarılmasının gerekmesi durumlarda geleneksel dairesel kesitli kazıklar uygulama zorluklarına ve ekonomik problemlere sebep olmaktadır. Böyle durumlarda baret kazıklar geniş çaplı yerinde dökme kazıklara tercih edilmektedir. Bu çalışma kapsamında baret temel sistemlerinin düşey yükler altında taşıma gücü mekanizması, oturma davranışı, saha uygulamaları, diğer kazıklı sistemlere göre avantaj ve dezavantajları ele alınmıştır. Baret kazıkların kalite kontrol deneylerine yönelik Osterberg hücresi ile kazık yükleme deneyleri detaylı olarak incelenmiştir. Ayrıca, baret kazık sisteminin uygulandığı bir proje vaka analizi kısmında sunulmuştur.

Bu çalışmanın gerçekleşmesi sırasında ve eğitim hayatım boyunca her zaman yanımda olan aileme tüm kalbimle teşekkür ederim.

Tez çalışmam boyunca, bilgisini ve desteğini esirgemeyen tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Hüseyin YILDIRIM'a, çalışanı olduğum ve vaka analizine yönelik verileri sağlayan Zemin Etüd ve Tasarım A.Ş. kurumuna ve çalışma arkadaşım Sn. Ahmet KANAN'a teşekkür ve saygılarımı sunarım.

Ocak 2015

Hakan KÖPÜKLÜ
(İnşaat Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
SEMBOLLER	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xvii
SUMMARY	xix
1. GİRİŞ.....	1
2. KAZIKLI TEMELLERİN TASARIMI VE TAŞIMA GÜCÜ MEKANİZMASI.....	5
2.1. Kazık Türleri	6
2.2. Kazık Seçimine Etki Eden Faktörler	7
2.3. Kazık Sistemlerinde Yük Aktarma Mekanizması	9
2.4. Baret Kazıkların Taşıma Gücü	11
2.4.1. Kazık uç taşıma gücü	11
2.4.1.1. Granüler zeminlerde uç taşıma gücü.....	12
2.4.1.2. Kohezyonlu zeminlerde uç taşıma gücü	14
2.4.2. Sürtünme kazıklarında taşıma gücü	15
2.4.2.1. Granüler zeminlerde yanal taşıma gücü	15
2.4.2.2. Kohezyonlu zeminlerde yanal taşıma gücü.....	17
2.4.3. Kayaca soketlenmiş kazıklarda taşıma gücü	18
2.4.4. Tek kazıkta çekme yükünde taşıma gücü.....	22
2.4.5. Kazık gruplarının taşıma gücü ve grup etkisi.....	22
2.4.6. Negatif çeper sürtünmesi.....	26
3. DÜŞEY YÜKLER ALTINDA BARET KAZIKLARIN OTURMASI.....	31
4. BARET KAZIK İMALATI.....	37
4.1. Kazık Delgisinin Yapılması	38
4.2. Donatı Kafesinin Hazırlanması ve Kuyuya İndirilmesi	42
4.3. Betonlama.....	44
5. BARET KAZIKLARA YÖNELİK ARAZİ DENEYLERİ.....	47
5.1. Kazık Yükleme Deneyi Çeşitleri.....	47
5.2. Statik Kazık Yükleme Deneyleri.....	49
5.2.1. Yükleme deneylerinin düzenlenmesi	49
5.2.2. Kazık yükleme deneyinin yapılması	51
5.2.2.1. Yavaş adımlı deney (SM).....	51
5.2.2.2. Hızlı adımlı deney (SM).....	51
5.2.2.3. Sabit giriş hızlı deney (CRP)	52
5.2.2.4. Çevrimli deney (SC)	52
5.2.3. Kazık yükleme deneylerinin değerlendirilmesi.....	52
5.3. Osterberg Hücresi ile Kazık Yükleme Deneyi	58
5.3.1. Osterberg hücresi deney kazığının hazırlanması.....	59

5.3.2. Test prosedürü ve ölçümler	63
5.3.3. Osterberg hücresi deneyinin diğer yöntemlerle karşılaştırılması	64
5.3.3.1. Osterberg hücresi ile kazık yükleme testinin avantajları	64
5.3.3.2. Osterberg hücresi ile kazık yükleme testinin dezavantajları	66
5.4. Baret Kazık İmalatına Yönelik Alternatif Aletsel Gözlem Çalışmaları	67
5.4.1. Grab ve hidrofrezelere (Cutter) yönelik aletsel gözlem	67
5.4.2. Ultrasonic Caliper Logging testi	69
6. OSTERBERG DENEYİNİN SONLU ELEMANLAR METHODU İLE ANALİZİ, PLAXIS 3D FOUNDATION	71
6.1. Plaxis 3D Foundation	71
6.1.1. Geometrik Model	71
6.1.1.1. Borehole (Sondaj Kuyuları)	72
6.1.1.2. Work plane (Çalışma düzlemleri)	72
6.1.1.3. Points (Noktalar)	73
6.1.1.4. Lines (Çizgiler)	73
6.1.1.5. Clusters (Kümeler)	73
6.1.2. Input-Output ve Calculations	74
7. VAKA ANALİZİ–TÜPRAŞ FUEL OİL DÖNÜŞÜM (RESID UPGRATING) PROJESİ COKE DRUM YAPISI	77
7.1. Proje Bilgileri	77
7.2. Arazi Araştırmaları ve Deneyler	78
7.3. Geoteknik Modelleme	84
7.3.1. Zemin Parametrelerinin Belirlenmesi	84
7.4. Temel Mühendisliği Değerlendirmeleri	90
7.5. Osterberg Hücresi ile Baret Kazık Yükleme Testi	98
7.5.1. Test kazığının özellikleri	98
7.5.2. Test kazığı imalatı ve enstrümantasyon detayları	98
7.5.3. Yükleme testinin yapılması	104
7.5.4. Yükleme deneyi sonuçları	105
7.5.5. Deney sonuçlarının yorumlanması	108
7.6. Osterberg Hücresi ile Baret Kazık Yükleme Testinin Sonlu Elemanlar Metodu ile Analizi	109
7.6.1. Modelin iki boyutlu olarak oluşturulması	109
7.6.2. Malzeme parametrelerinin (Zemin, Baret) tanımlanması	110
7.6.3. Sonlu elemanlar ağının oluşturulması	112
7.6.4. Hesap adımlarına geçilmesi	112
7.6.5. Baret kazık yükleme testinin Osterberg metodu ile analizi	113
7.6.6. Analiz sonuçlarının değerlendirilmesi	116
8. SONUÇ VE ÖNERİLER	117
KAYNAKLAR	121
EKLER	125
ÖZGEÇMİŞ	177

SEMBOLLER

A_p :	Kazık kesit alanı
B :	Kazık Çapı
c' :	Zemin kohezyon değeri
c_u :	Kazık ucundaki zeminin kohezyonu
D_s :	Soket (kazık) çapı
E :	Kazık elastisite modülü
E_b :	Kazık ucundaki zeminin deformasyon modülü
E_d :	Soket çevresindeki kayanın deformasyon modülü
E_p :	Kazık malzemesinin elastisite modülü
E_s :	Kazık ucundaki zeminin elastisite modülü
E_m :	Menard Presiyometre Modülü
f :	Birim sürtünme mukavemeti
f_s :	Çevre sürtünmesi
FS :	Güvelik sayısı
I_p :	L/B oranına bağlı etki faktörü
I_{wp} :	Etki faktörü
I_{ws} :	Etki faktörü
K :	Yatay toprak basıncı katsayısı
K_0 :	Sükunetteki toprak basıncı katsayısı
K_u :	Yanal itki katsayısı
L :	Kazık boyu
L_s :	Kaya içinde soket derinliği
$\bar{N}$:	Düzeltilmiş SPT-N değeri
Nc^* :	Taşıma gücü faktörü
Nq^* :	Taşıma gücü faktörü
$N^*\gamma$:	Taşıma gücü faktörü
p :	Kazık çevresi
pl^* :	Net limit basınç
σ'_v :	Kazık uç seviyesindeki efektif düşey gerilme
Q_d :	Tasarım kapasitesi
Q_{emn} :	Emniyetli taşıma gücü
$Q_{g(u)}$:	Grup kazıkların maksimum taşıma gücü
Q_{nsf} :	Negatif çevre sürtünmesi
q_p :	Birim uç mukavemeti
Q_p :	Kazık ucunda taşınabilecek maksimum yük
Q_s :	Bir kazığın çevre sürtünmesi ile taşıyabileceği maksimum yük
Q_u :	Bir kazığın taşıyabileceği maksimum yük
q_u :	Serbest basınç mukavemeti
Q_w :	Suyun kaldırma kuvveti etkisi altında kazığın zati ağırlığı
q_{wp} :	Kazık ucunda birim alana gelen yük
Q_{wp} :	Servis yükü altında kazık uç yükü
Q_{ws} :	Servis yükü altında toplam sürtünme direnci
$S_{e(1)}$:	Kazığın elastik sıkışması

$S_{e(2)}$:	Kazık uç direncinden kaynaklanan oturma
$S_{e(3)}$:	Kazık sürtünme direncinden kaynaklanan oturma
S_u :	Zeminin drenajsız kayma mukavemeti
v_s, v_p :	Enine ve boyuna sismik dalga hızları
α :	Adhezyon katsayısı
β :	Sürtünme katsayısı
γ :	Zeminin birim hacim ağırlığı
ζ :	Sürtünme dağılım katsayısı
η :	Grup verimliliği
μ_s :	Zeminin poisson oranı
ϕ :	Kayma mukavemeti açısı
δ :	Kazık ile zemin arasındaki sürtünme açısı

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1: Kazık Taşıma Güçleri için Güvenlik Sayıları (AASHTO, 2002)	11
Çizelge 2.2: Granüler Zemin Uç Taşıma Gücü	13
Çizelge 2.3: N_c^* Taşıma Gücü Faktörü İçin CFEM Önerisi.....	14
Çizelge 2.4: Yatay Toprak Basıncı Katsayısı, K (Tomlinson, 1994)	16
Çizelge 2.5: K Değerleri (Meyerhof, 1976).....	16
Çizelge 2.6: NAVFAC (1988)'da Önerilen K Değerleri.....	16
Çizelge 2.7: δ İçin Kulhawy Önerisi	16
Çizelge 2.8: δ İçin Diğer Öneriler	17
Çizelge 2.9: Maksimum soket mukavemeti için çeşitli tasarım bağıntıları.....	19
Çizelge 2.10: Kaya Kazık Uç Taşıma Gücü İçin N_{ms} Değerleri	21
Çizelge 2.11: Kayaç Sınıflarına Göre Olası C_o Değerleri	21
Çizelge 2.12: N_o Katsayısının Çeşitli Durumlardaki Değeri	27
Çizelge 3.1: Kazık Oturması İçin C_p Değerleri	32
Çizelge 4.1: Bentonit Çamuru Şartnamesi (TSE 1538/2001).....	42
Çizelge 5.1: Kazık Deney Teknikleri (Düzceer, 2001)	48
Çizelge 7.1: Sondaj Özet Tablosu	78
Çizelge 7.2: Laboratuvar Deney Sonuçları.....	83
Çizelge 7.3: Baret Kazık Oturma Hesabı	97
Çizelge 7.4: Baret Test Kazığının Özellikleri.....	99
Çizelge 7.5: Test Kazığı Yükleme Kademeleri	105
Çizelge 7.6: 1L-12 Yük Kademesi İçin Mobilize Olan Ortalama Birim Çevre Sürtünmesi Değerleri	107
Çizelge 7.7: Analizlerde Kullanılan Zemin Özellikleri.....	110
Çizelge 7.8: Presiyometre Test Sonuçları Doğrultusunda Belirlenen Zemin Tipleri ve Rheological Faktörler	114
Çizelge 7.9: Presiyometre Testinden Elde Edilen Elastisite Modülleri ve Diğer Zemin Özellikleri	115

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1: Kazıklı Temellerin Kullanım Alanları (Bowles, 1996).....	6
Şekil 2.2: Kazıklarda Yük Aktarım Mekanizması (Das, 2007).....	9
Şekil 2.3: Granüler Zeminlerde Taşıma Gücü Faktörlerinin ϕ ile Değişimi	12
Şekil 2.4: Kazıkların Birim Sürtünme Direnci (Das, 2007)	15
Şekil 2.5: Kazık Grupları.....	23
Şekil 2.6: Kazık Grupları.....	24
Şekil 2.7: Tekil ve Grup Kazıklarda Negatif Çeper Sürtünmesi Oluşumu.....	26
Şekil 3.1: Kazık Gruplarında Toptan Göçme	33
Şekil 3.2: Kazık Grubu Oturma Hesabında Gerilme Dağılışı Kabulü (Terzaghi ve Peck, 1967)	34
Şekil 3.3: Kazık Gruplarından Yükün Zemine Aktarılması	35
Şekil 4.1: Hydrofreze (cutter) (www.imeco.at)	38
Şekil 4.2: Hidrolik (sağda) ve Mekanik (solda) Grab (www.bouer.de)	38
Şekil 4.3: Kazı ve bentonit Sirkülasyon Sistemi (Zetaş, 2011)	40
Şekil 4.4: Desender (Zetaş, 2011)	40
Şekil 4.5: Baret Kazık Donatısının Hazırlanması (www.egezemin.com)	43
Şekil 4.6: Donatı Kafesinin Kuyuya İndirilmesi (www.egezemin.com).....	43
Şekil 4.7: Baret Kazıklarda Beton Dökümü (civilsolution.wordpress.com)	44
Şekil 4.8: Betonlama (Zetaş, 2011)	45
Şekil 5.1: Kazık Yükleme Deneyi Düzenlenmesi (a) Yükleme Platformu ile, (b) Bir Platformdan Reaksiyon Alarak, (c) Önceden Çakılmış Kazıklardan Reaksiyon Alarak, (d,e) Çekme Deneyi Yapılması.....	49
Şekil 5.2: Reaksiyon Kirişleri ve Hidrolik Kriko ile Yapılan Yükleme Deney Şeması (ASTM D 1143–07)	50
Şekil 5.3: Davisson Yöntemi	53
Şekil 5.4: Chin Yöntemi	54
Şekil 5.5: De Beer Yöntemi.....	55
Şekil 5.6: Brinch Hansen %90 Kriteri	55
Şekil 5.7: Brinch Hansen %80 Kriteri	56
Şekil 5.8: Mazurkiewich Yöntemi	57
Şekil 5.9: Butler-Hoy ve Fuller-Hoy Yöntemi	57
Şekil 5.10: Vander Veen Yöntemi.....	58
Şekil 5.11: Osterberg Hücresi ile Kazık Yükleme Deneyi ile Klasik Kazık Yükleme Deneyi Karşılaştırması (England, 2003)	59
Şekil 5.12: Osterberg Hücresinin Montajı (Zetaş, 2009).....	60
Şekil 5.13: Osterberg Hücresi ile Kazık Yükleme Deneyi Şeması (England, 2003)	61
Şekil 5.14: Deney Kazığının Enstrümantasyonu (Zetaş, 2009).....	62
Şekil 5.15: Donatı Kafesinin Kuyuya İndirilmesi (Zetaş, 2009)	62
Şekil 5.16: Geleneksel Deneyler ile Osterberg Deneyinin Maliyet Açısından Karşılaştırılması (England, 2003)	65
Şekil 5.17: Taralog Kurulum Şeması.....	67

Şekil 5.18: Taralog Çıktısı (Zetaş, 2012).....	68
Şekil 5.19: Ultrasonic Caliper Logging Test Ekipmanı (Koden, 2008)	69
Şekil 5.20: Ultrasonic Sensör Ünitesi ve Kuyu Okumasının Alınması	70
Şekil 6.1: Plaxis 3D Foundation Programının Ana Menüsü.....	72
Şekil 6.2: Borehole Menüsü.....	73
Şekil 6.3: Material Menüsü.....	75
Şekil 6.4: 3D Sonlu Elemanlar Ağı Oluşturulması.....	76
Şekil 7.1: Coke Drum Yapısı.....	77
Şekil 7.2: Coke Drum Vaziyet Planı.....	78
Şekil 7.3: Coker Unit Sondaj Lokasyonları ve Coke Drum İlave Sondaj Lokasyonu (CEK-5)	79
Şekil 7.4: Düzeltilmiş SPT/(N ₁) ₆₀ Değerlerinin Kot ile Değişimi	80
Şekil 7.5: Menard Presiyometre Modülü ve Net Limit Basıncın Kot ile Değişimi... 81	
Şekil 7.6: PS Logging Test Sonucunda Elde Edilen Vs ve Vp (m/s)	82
Şekil 7.7: Kumların Kayma Mukavemeti Açısı ile Normalize Edilmiş Standart Penetrasyon Sayısı Arasındaki Ampirik Korelasyon (Terzaghi ve diğ., 1996)	85
Şekil 7.8: SPT Sonuçlarından Granüler Zeminlerin Kayma Mukavemeti Açısının Tahmin Edilmesi (Peck ve diğ., 1974 ve Değiştirilen Carter ve Bentley, 1991)	85
Şekil 7.9: Kayma Mukavemeti Açısı (ϕ°) Değerlerinin Kot ile Değişimi.....	86
Şekil 7.10: Zemin Cinsine Bağlı Su ile N arasındaki ilişki (Sowers, 1979).....	87
Şekil 7.11: Elastisite Modülü (Es) Değerlerinin Kot ile Değişimi	88
Şekil 7.12: Zemin Modeli	89
Şekil 7.13: Adezyon Değerinin pI^* ile Değişimi.....	92
Şekil 7.14: Fore Kazık Kapasiteleri (ϕ ve Su değerleri SPT deneyinden elde edilmiştir)	93
Şekil 7.15: Presiyometre Deney Sonuçlarından Elde Edilen Kazık Kapasiteleri.....	94
Şekil 7.16: Baret Kazık Kapasiteleri (ϕ ve Su değerleri SPT deneyinden elde edilmiştir)	95
Şekil 7.17: Presiyometre Deney Sonuçlarından Elde Edilen Baret Kazık Kapasiteleri.....	96
Şekil 7.18: O-Cell Hücresinin Montajı	100
Şekil 7.19: Strain Gauge Yerleşimi	100
Şekil 7.20: Baret Donatısı ve Aletsel Gözlem Ekipmanlarının Montajı.....	101
Şekil 7.21: Donatı Kafesinin Taşınması	102
Şekil 7.22: Deney Kazığı Şematik Kesiti (Loadtest, 2012).....	103
Şekil 7.23: Donatı Kafesi ve Yükleme Düzeninin Kuyuya İndirilmesi.....	104
Şekil 7.24: Test Kazığı / O-cell Yüğü – Deplasman Eğrisi, LOADTEST (2012)... 106	
Şekil 7.25: Strain Gauge Yük Dağılımları.....	107
Şekil 7.26: Eşdeğer klasik kazık yükleme deneyi yük-oturma grafiği	108
Şekil 7.27: Modelin 2 Boyutlu Oluşturulması (x-z düzlemi)	110
Şekil 7.28: Zemin Tabakalarının Modele Tanımlanması	111
Şekil 7.29: Baret Kazık Malzeme Özellikleri.....	111
Şekil 7.30: 3D Sonlu Elemanlar Ağı Oluşturulması.....	112
Şekil 7.31: Maksimum Test Yükünde Meydana Gelen Deplasmanlar.....	113
Şekil 7.32: Osterberg Testi ve Sonlu Elemanlar Analizi Sonucunda Oluşan Deplasmanlar	114
Şekil 7.33: Osterberg Testi ve Sonlu Elemanlar Analizi Sonucunda Oluşan Yük- Deplasman Eğrileri.....	115

BARET KAZIKLI TEMELLER İLE İLGİLİ HESAP YÖNTEMLERİ, İMALAT VE KALİTE KONTROL ESASLARI

ÖZET

Günümüzde şehirlerde yapılaşmanın artması sonucu yerleşim alanlarına duyulan gereksinim ve artan nüfus nedeni ile ihtiyaçları karşılamak için, yüksek katlı yapılar, ağır köprüler, viyadükler, kuleler gibi yapıların inşaatları her geçen gün artmaktadır. Bu tür mühendislik yapılarında üst yapıdan zemine aktarılan yükler çok büyük mertebelere ulaşmaktadır. Bu yüklerin aktarımının yüzeysel temeller ile yapılması, oturma ve taşıma gücü kriterleri dikkate alındığında çoğu zaman yetersiz kalmaktadır. Yüzeysel temellerin derinlik bakımından ekonomik olmadığı, yüzeye yakın zemin tabakalarının taşıma gücünün düşük olduğu, inşaatı planlanan yapıların toplam ve/veya farklı oturmaya hassas olduğu, üst yapıdan temellere büyük yatay yük etkidiği veya zeminlerin üst tabakalarının deprem durumunda sıvılaşma gösterdiği durumlarda derin temeller sistemleri uygulanmaktadır.

Derin temel sistemlerinden ülkemizde en yaygın olarak betonarme kazıklar kullanılmaktadır. İnşası planlanan yapının özellikleri, üst yapı yükleri ve uygulama şartları kazıklı temel maliyetlerini etkilemektedir. Tüm inşaat uygulamalarının olduğu gibi kazıklı temel inşaatı için de maliyetlerin en uygun hale getirilmesi beklenmektedir. Planlanan inşaat gereksinimleri ve yerinde dökme kazıkların ekonomiklikten uzaklaştığı durumlarda Baret kazıklar tercih edilmektedir. Baret kazıklar basit olarak, dikdörtgen kesitli fore kazık olarak tanımlanabilir.

Baret terimi Fransız orijinli olup, gerçekleştirilen çalışmalarda diyafram duvar ekipmanı ile açılmış bentonit veya polimer karışımı destekli derin kuyuların, gerekli donatı yerleşimi ve beton dökülmesi ile oluşturulan kazıklı temel olarak tanımlanmaktadır. Baretler diyafram duvarların taşıyıcı eleman olarak kullanılması ya da şerit kazık olarak da tanımlanmaktadır. Baret temeller genel olarak dikdörtgen kesitlidir. Ancak uygulamada yük dağılımı, baretler tarafından desteklenen kolon planı ve inşası planlanan yapının oturumu dikkate alınarak hac, T, L, H, Y veya I kesitli olarak da imal edilebilmektedir.

Üst yapı kaynaklı aşırı yüklerin zemininin derin tabakalarına aktarılmasının gerektiği durumlarında geleneksel dairesel kesitli kazıklar uygulama ve ekonomik problemlere sebep olmaktadır. Böyle durumlarda baret temeller geniş çaplı kazıklara, yerinde dökme kazıklara alternatif olmaktadır. Baretler, fore kazıklara göre şekli nedeni ile çok daha fazla çeper alanına sahip olması nedeniyle daha yüksek bir çeper sürtünme kapasitesine sahiptir. Buna ilave olarak, yapısal olarak baret temeller aynı yönde etki eden kuvvetler altında fore kazıklı temellere göre çok daha yüksek yatay kesme kuvveti ve eğime momenti kapasitesine sahiptirler.

Kazık sistemlerine benzer şeklide baret kazıklarda da kalite kontrol deneyleri büyük önem taşımaktadır. Geleneksel kazık yükleme testlerinde test yükünün temini için bir reaksiyon sisteminin inşası gerekmektedir. Reaksiyon sistemi imalatı zaman alıcı ve yüksek deney yüklerinde maliyetlidir. Ayrıca iş güvenliği yönünden riskli şartlar da oluşturabilmektedir. Osterberg hücresi, geleneksel kazık yükleme deneylerine alternatif olarak ilk kez 1980'lerin sonunda uygulamaya konulmuştur. Osterberg hücresi yardımıyla kazıkların çift-yönlü olarak yüklenmesi sonucunda, zaman

kayıpları ve iş güvenliği riskleri minimize edilmekte, baret temel tasarımına uygun olarak yüksek deney yüklerinin uygulanması mümkün olmaktadır. Bunun yanı sıra ayrı ayrı elde edilen uç ve çevre dirençleri, mühendislik öngörülerinin ve değerlendirmelerinin daha sağlıklı yapılmasına imkân tanımaktadır. Baret temellerin kalite kontrol deneylerinde de Osterberg hücresi ile kazık yükleme testleri yaygın olarak kullanılmaktadır.

Tez çalışması kapsamında baret temel sistemlerinin düşey yükler altında taşıma gücü mekanizması ve oturma davranışına yönelik geçmiş ve güncel kaynaklar detaylı incelenerek literatür taraması yapılmıştır. Baret temel sistemlerinin saha uygulamaları, imalat esasları ile diğer kazıklı sistemlere göre avantaj ve dezavantajları ele alınmıştır. Geleneksel kazık yükleme testlerine alternatif olarak geliştirilen Osterberg methodu, baret kazıklara yönelik kalite kontrol deneyleri bölümümde incelenmiştir.

Son bölümde baret kazıklı temel sisteminin uygulandığı bir proje detaylı olarak incelenmiştir. Baret kazıklarının düşey taşıma gücü gerçekleştirilen teorik hesaplar ve Osterberg hücresi kazık yükleme deneyi sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Kazık yükleme testi 3D Plaxis Foundation sonlu elemanlar programı ile modellenmiş ve test performansı değerlendirilmiştir.

CALCULATION METHODS, INSTALLATION AND QUALITY CONTROL PRINCIPLES FOR BARRETTE PILED FOUNDATIONS

SUMMARY

Nowadays, need for the residential areas are increasing in the cities due the population growth. In order to compensate this growth, number of constructions for high-rise buildings, heavy bridges, viaducts and structures of these kinds are increasing day by day. Transferred load from all these kind of super structures to the soils reaches high degrees. Transmission of this load with shallow foundations is usually insufficient considering settlement and bearing capacity criterias. Deep foundation systems are applied for the cases in which shallow foundations are uneconomical for depth reasons, bearing capacity of soil layers close to the surface are low, construction of the proposed structures are prone to total and/or different settlement, there is a high horizontal load transfer from upper layers of soil to the foundation, liquefaction of upper surface layers due to earthquakes.

The most popular deep foundation system in our country is reinforced concrete piles. Characteristics of planned construction, structure loads and execution conditions affects foundation cost. It is expected to make this cost as suitable as possible like all other construction practices. When planned construction requirements and bored piles are uneconomical, it is preferred to use barrette piles. Barrette piles can simply be defined as rectangle section bored pile.

The term ‘barrette’ originates from the French language. In existing literature on civil engineering, ‘barrette’ refers to a concrete replacement pile formed in a short and deep trench excavated under bentonite or polymer slurry by diaphragm walling equipment. A barrette is also known as a diaphragm wall bearing element or a strip pile. Barrettes are generally of rectangular section. Composite cross-sectional shapes, e.g., cruciform, T-, L-, H-, Y- and I-shapes etc., are occasionally specified in practice to suit the pattern of loading or the layout of the columns supported by the barrette foundations or the shapes at the comers of a basement.

Conventional circular piles often become impractical and uneconomical when very heavy column loads are to be transmitted to a very deep bearing stratum. Barrettes provide an alternative to large diameter bored and cast-in-place piles or drilled shafts. This is because a rectangular barrette has a higher specific surface (i.e., surface area to mass ratio) than a circular pile for resisting larger vertical loads by shaft resistance. In addition to this, from a structural point of view, a barrette can be properly dimensioned and orientated to satisfy the required moment of inertia, and hence flexural rigidity in a preferential direction. This would benefit the barrette in its capacity for resisting relatively larger lateral loads or bending moments.

Quality control tests are also important for the barrette pile constructions as the same with bored pile system. A reaction system should be constructed to provide required test load in conventional pile load tests. Reaction system construction is time-consuming and costly process in high test loads. Additionally, safety problems may

occur during the construction. The Osterberg Cell method, improved as an alternative procedure to the conventional pile load tests, was first introduced in the late 1980's. As a result of the bidirectional loading of piles with Osterberg cell, loss of time and safety risks are minimized, high test loads could be applied on the test piles in accordance with the design loads of barrette. Since the end bearing and skin frictions are measured independently, test results are evaluated more reliable with the design values. Osterberg method pile load tests are widely used for the quality control of barrette pile constructions.

This thesis covers the literature review of vertical bearing mechanism and the settlement behavior of barrette piles. Site applications, installation principles, advantages and limitations compared to other bored pile system of barrette piles are researched. The Osterberg Cell method pile load test is detailed in quality control tests of barrette piles.

A barrette pile application project as a case-study is evaluated and presented in the final part. Calculated theoretical bearing capacities and settlement of barrette piles are compared to results obtained from Osterberg cell method pile load tests. Pile load test is also modelled with Plaxis 3D Foundation finite elements program and test performance is assessed.

1. GİRİŞ

Günümüzde şehirlerde yapılaşmanın artması sonucu yerleşim alanlarına duyulan gereksinim ve artan nüfus nedeni ile ihtiyaçları karşılamak için, yüksek katlı yapılar, ağır köprüler, viyadükler, kuleler gibi yapıların inşaatları her geçen gün artmaktadır. Bu tür mühendislik yapılarında üst yapıdan zemine aktarılan yükler çok büyük mertebelere ulaşmaktadır. Bu yüklerin aktarımının yüzeysel temeller ile yapılması, oturma ve taşıma gücü kriterleri dikkate alındığında çoğu zaman yetersiz kalmaktadır. Yüzeysel temellerin derinlik bakımından ekonomik olmadığı, yüzeye yakın zemin tabakalarının taşıma gücünün düşük olduğu, inşaatı planlanan yapıların toplam ve/veya farklı oturmaya hassas olduğu, üst yapıdan temellere büyük yatay yük etkidiği veya zeminlerin üst tabakalarının deprem durumunda sıvılaşma gösterdiği durumlarda derin temeller sistemleri uygulanmaktadır.

Derin temellerin en çok kullanılan türü, kazıklı temellerdir. Kazıklar, esas olarak, üst yapıdan gelen düşey yükleri ve üst yapıyı etkileyen deprem ve rüzgâr gibi yükler sonucu meydana gelen yatay yükleri, derinde olan taşıma gücü yüksek sağlam tabakalara aktarmayı sağlayan yapı elemanlarıdır. Günümüzde kazıklar, hem düşey hem de yatay yüklerin taşınmasında yaygın olarak kullanılmaktadır.

Derin temel sistemlerinden ülkemizde en yaygın olarak yerinde dökme betonarme kazıklar kullanılmaktadır. İnşası planlanan yapının özellikleri, üst yapı yükleri ve uygulama şartları kazıklı temel maliyetlerini etkilemektedir. Tüm inşaat uygulamalarının olduğu gibi kazıklı temel inşaatı için de maliyetlerin en uygun hale getirilmesi beklenmektedir. Planlanan inşaat gereksinimleri ve yerinde dökme kazıkların ekonomiklikten uzaklaştığı durumlarda Baret Temeller tercih edilmektedir. Baret temeller basit olarak, dikdörtgen kesitli fore kazık olarak tanımlanabilir.

Baret terimi Fransız orjinli olup, gerçekleştirilen çalışmalarda (Ramaswamy ve Pertusier, 1986; Davidson, 1987; Morrison ve Pugh,1990; Johnson ve diğ., 1992)

diyafram duvar ekipmanı ile açılmış bentonit veya polimer karışımı destekli derin kuyuların, gerekli donatı yerleşimi ve beton dökülmesi ile oluşturulan kazıklı temel olarak tanımlanmaktadır. Baretler diyafram duvarların taşıyıcı eleman olarak kullanılması ya da şerit kazık olarak da tanımlanmaktadır (Johnson ve diğ, 1992). Baret temeller genel olarak dikdörtgen kesitlidir. Ancak uygulamada yük dağılımı, baretler tarafından desteklenen kolon planı ve inşası planlanan yapının oturumu dikkate alınarak hac, T, L, H, Y veya I kesitli olarak da imal edilebilmektedir. (Ramaswamy ve Pertusier, 1986).

Üst yapı kaynaklı aşırı yüklerin zemininin derin tabakalarına aktarılmasının gerektiği durumlarda geleneksel dairesel kesitli kazıklar uygulama ve ekonomik problemlere sebep olmaktadır. Böyle durumlarda baret temeller geniş çaplı kazıklara, yerinde dökme kazıklara alternatif olmaktadır. Baretler, fore kazıklara göre şekli nedeni ile çok daha fazla çeper alanına sahip olması nedeniyle daha yüksek bir çeper sürtünme kapasitesine sahiptir (Lei, 2001). Buna ilave olarak, yapısal olarak baret temeller aynı yönde etki eden kuvvetler altında fore kazıklı temellere göre çok daha yüksek yatay kesme kuvveti ve eğime momenti kapasitesine sahiptirler. (Mazzucato ve Natali, 1988, Plumbridge ve diğ, 2000).

Kazık sistemlerine benzer şekilde baret kazıklarda da ispat ve kalite kontrol deneyleri büyük önem taşımaktadır. Geleneksel kazık yükleme testlerinde test yükünün temini için bir reaksiyon sisteminin inşası gerekmektedir. Reaksiyon sistemi imalatı zaman alıcı ve yüksek deney yüklerinde maliyetlidir. Ayrıca iş güvenliği yönünden riskli şartlar da oluşturabilmektedir. Osterberg hücresi, geleneksel kazık yükleme deneylerine alternatif olarak ilk kez 1980'lerin sonunda uygulamaya konulmuştur. Osterberg hücresi yardımıyla kazıkların çift-yönlü olarak yüklenmesi sonucunda, zaman kayıpları ve iş güvenliği riskleri minimize edilmekte, baret temel tasarımına uygun olarak yüksek deney yüklerinin uygulanması mümkün olmaktadır. Bunun yanı sıra ayrı ayrı elde edilen uç ve çevre dirençleri, mühendislik öngörülerinin ve değerlendirmelerinin daha sağlıklı yapılmasına imkân tanımaktadır. Baret temellerin kalite kontrol deneylerinde de Osterberg hücresi ile kazık yükleme testleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca baretlerin imalatı sırasında x-y eksenlerinden sapma-dönme kontrolüne yönelik ve açılan kuyu cidarlarının stabilitesini kontrol amaçlı çeşitli arazi testleri de uygulanmaktadır (Teparaksa, 2002).

Bu tez çalışması kapsamında baret temel sistemlerinin düşey yükler altında taşıma gücü mekanizması ve oturma davranışına yönelik geçmiş ve güncel kaynaklar detaylı incelenerek literatür taraması yapılmıştır. Baret temel sistemlerinin saha uygulamaları, diğer kazıklı sistemlere göre avantaj ve dezavantajları ele alınmıştır. Baret kazıkların kalite kontrol deneylerine yönelik Osterberg hücresi ile kazık yükleme deneyleri detaylı olarak incelenmiştir.

Son bölümde Baret temel sisteminin uygulandığı bir proje detaylı olarak incelenmiştir. Baret kazıklarının düşey taşıma gücü gerçekleştirilen teorik hesaplar ve Osterberg hücresi kazık yükleme deneyi sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Kazık yükleme testi 3D Plaxis Foundation sonlu elemanlar programı ile modellenmiş ve test performansı değerlendirilmiştir.

2. KAZIKLI TEMELLERİN TASARIMI VE TAŞIMA GÜCÜ MEKANİZMASI

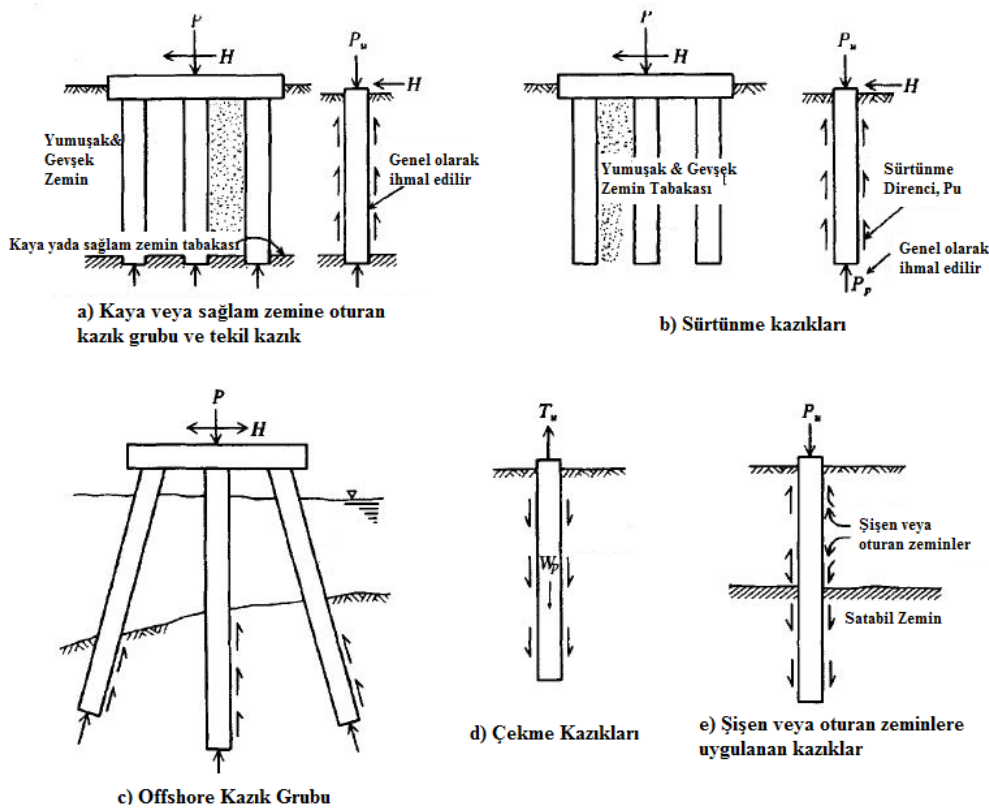
Kazıklı temeller esas olarak, yapı yüklerini zeminin derin tabakalarına aktarmak amacı ile kullanılan bir derin temel çeşididir. Zemin yüzeyine yakın tabakalar, yapı yüklerini göçmeden veya aşırı oturmalar yapmaksızın taşıyabilecek bir yüzeysel temel teşkiline uygun değilse derin temeller tercih edilmektedir. Kazıklı temellerin tasarımında, göçmeye karşı güvenliğin bulunduğu, ayrıca servis yüklerinin meydana getireceği oturmaların kabul edilebilir sınırı aşmadığı gösterilmelidir.

Yüzeysel yapı çözümlerine göre daha pahalı olmalarına karşın kazıklı temellerin yapı güvenliği için gerekli oldukları bazı durumlar (Şekil 2.1) aşağıda verilmektedir (Vesic 1997):

- Üsteki zemin tabakalarının üst yapı yükleri için yeterli taşıma kapasitesine sahip olmaması ve çok sıkışabilir nitelikleri nedeniyle üst yapı yüklerinin daha sağlam zemin veya kaya ortama aktarılma zorunluluğu doğmaktadır. Sağlam tabakanın çok derinde olması durumunda, kazıklı temeller yükün büyük bir kısmının kazık çevresinden zemine aktaracak şekilde tasarlanır.
- Dayanma yapıları veya yüksek yapı temellerinde zemin, rüzgar ve deprem yükü gibi yanal etkilerin karşılanması amacı ile düzenlenebilir.
- Su ile karşılaştığında kabaran veya ani çökme gösteren zeminlerde üst yapı yüklerinin aktif zon diye tanımlanacak bir bölgenin dışına aktarmak gerekebilir.
- Kuleler, deniz platformları ve yeraltı suyu altındaki radyeler kaldırma kuvvetleri etkisindedir. Bu kuvvetlerin karşılanmasında kazıklı temeller projelendirilebilir.
- Köprü kenar ve orta ayakları erozyon nedeniyle temel altının oyulmasına karşı kazıklı olarak düzenlenebilirler.
- Kazıklar bazı durumlarda zemin hareketini kontrol amacıyla kullanılabilir.

2.1. Kazık Türleri

Kazıklar farklı özellikleri dikkate alınarak birçok şekilde sınıflandırılabilir. Kazıklar kullanılan malzeme özellikleri doğrultusunda *ahşap*, *beton*, *çelik* ve *kompozit* kazıklar olmak üzere dört ana gruba ayrılmaktadır. Yükü zeminine aktarışı düşünüldüğünde ise büyük kesimi kazık ucunda taşılıyorsa *uç kazığı*, kazık çevresinde taşıyorsa *sürtünme kazığı* gibi adlarla anılır. Kazıklardan çekme yükünü karşılayanlar ise *çekme kazığı* adını almaktadır. Bütün bunların yanı sıra kazıkların sınıflandırılması daha açıklayıcı olarak zemine yerleştirilmesi sırasında neden oldukları yer değiştirmelere göre yapılabilir, BS 8004 (1986);



Şekil 2.1: Kazıklı Temellerin Kullanım Alanları (Bowles, 1996)

Zeminde aşırı yer değiştirmeye neden olan kazıklar:

Genel olarak çakma kazıklar bu gruba girmektedir. İçi boş ancak alt ucu kapalı kesitlerin zeminde çakılıp yerinde bırakılmalarıyla oluşturulabilirler. İçi dolu kesitler ahşap veya hazır beton (normal donatılı veya öngermeli) kazıkları oluştururken içi boş kesitler çelik boru veya çelik kutu ile beton boru kazıklar olabilir ve içleri çakıldıklarından sonra boş bırakılabilir veya betonla doldurulabilir. Killi zeminlerde kazık hacminin %50'si, siltli killi zeminlerde %30'u kadar bir hacim kabarması

gözlenebilir. Kabarmayı önlemek için kazıklar önceden oluşturulmuş deliklere çakılabilir.

Zeminde az yer değiştirmeye neden olan kazıklar:

H kesitli, ucu açık boru veya kutu çelik kazıklar çakma sırasında uçlarında bir tıkaç oluşmuyorsa zeminde çok az yer değiştirmeye neden olurlar. Büyük çekme kuvvetleri taşıtılabilen çelik vida kazıklar da bu sınıftandır.

Zeminde yer değiştirmeye neden olmayanlar:

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

Kazıkların diğer bir yaygın sınıflandırılışı, zemine yerleştiriliş biçimlerine göre yapılmaktadır. Hazır çakma kazıklar, çakma yerinde dökme kazıklar, delinip yerinde dökme kazıklar, burgulanarak yerleştirilenler, itilerek yerleştirilenler ve vibrasyonla yerleştirilenler gibi.

Baret Kazıklar:

Baret kazıklar en basit tanımıyla, dikdörtgen kesitli fore kazıklardır. Fore kazıklara göre birçok avantajı olan baret kazıkların en temel faydalarından biri, aynı miktarda kullanılacak demir ve beton ile %35'e varan daha fazla taşıma kapasitesi elde edilebilmesidir. Diğer yandan kaya birimlerde soket boyunun kolayca temin edilmesi güvenli projeler yapılmasına olanak sağlar. Baret kazıları grab ve/veya hydrofraise (cutter) tipi delgi ekipmanları ile yapılır. Kazı sırasında çeperlerin göçmesini önlemek amacıyla genellikle bentonit (bir çeşit doğal kil) süspansiyonu kullanılır. Fore kazık sistemlerinin ekonomik olmaktan uzaklaştığı ve yüksek üst yapı yüklerinin söz konusu olduğu projeler de baret kazıklar tercih edilmektedir.

2.2. Kazık Seçimine Etki Eden Faktörler

Yukarıda belirtilen birçok kazık türünün birbirine göre olumlu ve olumsuz özellikleri bulunmaktadır. Bir tasarımda bu özellikleri ile birlikte en elverişli çözüm için;

- Yapının yeri ve türü,
- Zemin ve yeraltı suyu durumu,
- Uzun süre dayanıklılık
- Genel maliyet göz önüne alınmalıdır.

Bir kazık türünün birim fiyatının en uygun olması, onun tüm tasarım için en ekonomik çözüm olacağı anlamına gelemeyebilir. Ülkemizde yaygın olarak kullanım alanı bulmuş bazı kazık türlerinin olumlu ve olumsuz yönleri aşağıda özetlenmektedir.

Hazır beton çakma kazıklar belirlenmiş bir düzende çakılabilirler. Yumuşak kil, silt ve turba zeminde boğulma tehlikesi olmaksızın yerleştirilebilirler. Yeraltı suyunun varlığı kazık yapım işini etkilemezken, kullanılan kazık malzemesinin önceden denetimi olanaklıdır. Sonradan yerleştirilenler yukarı kaldırılmışsa yeniden çakılabilirler. Uzun boylarda çakılabilirler, deniz yapılarında su derinliğinin geçilmesi daha kolaydır. Bu olumlu yanların yanı sıra boylarının uygulama koşullarına göre değiştirilemeyişi, büyük çaplarda ve sınırlı hacimlerde çakma zorlukları, çakma sırasında çevrede kabarma olasılığı ve gürültü, zor çakma koşullarında kazıkta hasar olasılığı ve taşınmaları sırasında doğacak etkileri karşılamak amacıyla belki de gereksiz donatı uygulama zorunluluğu olumsuz yönleri olarak sayılabilir.

Fore ve baretler zeminin kazıldıktan sonra betonlanması ile oluşturulan kazıklarda zeminde kabarma olmayışı kazık boyunun uygulama şartlarına göre ayarlanabilmesi, kazı sırasında zemin verilerinin doğrulanma olanağı olumlu yönleridir. Bu tür kazıkların yumuşak kayaç ve killi zeminde son bulan uçları özel aygıtlarla genişletilerek, taşıma güçleri arttırılabilir, uzun boylar ve geniş çaplar sınırlı kazık yeri koşullarında gerçekleştirilebilir. Donatı taşınma ve çakma gerilmeleri tarafından belirlenemez. Bunların yanı sıra yumuşak zeminlerde boğulma olasılığı, su altında boğulma olasılığı, su altında beton dökme zorlukları beton denetiminin az oluşu, foraj sırasında granüler zeminlerin gevşemesi, yumuşak kayaçların bozuşma olasılığı, özellikle kazık tabanı zemininde su akışı nedeniyle gevşeme ve kabarma olasılığı olumsuz ve özen gösterilmeyi gerektiren taraflardır.

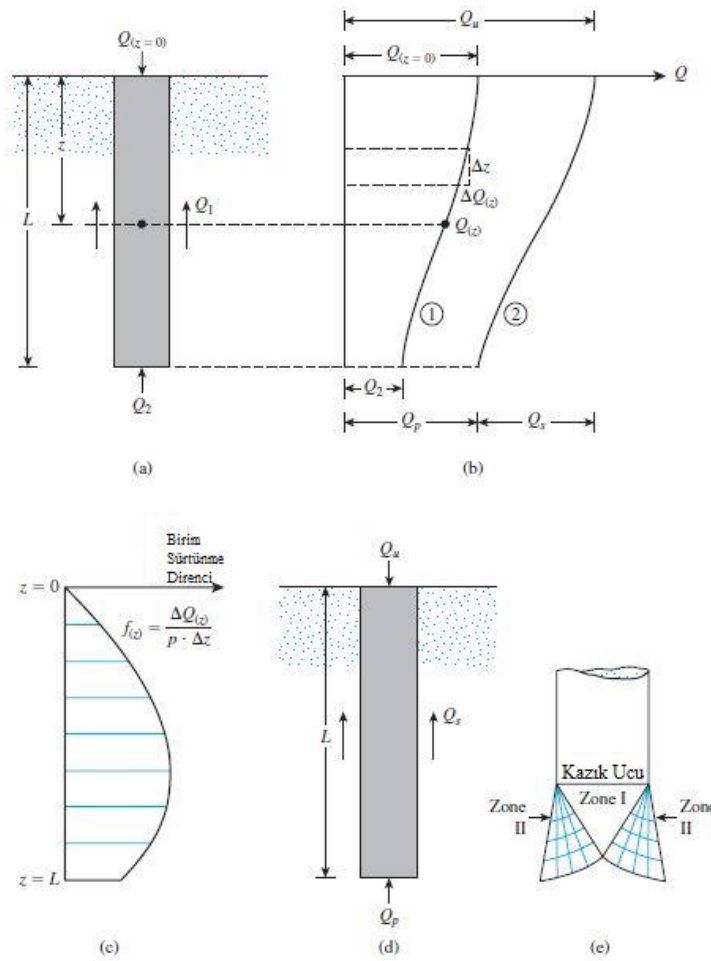
2.3. Kazık Sistemlerinde Yük Aktarma Mekanizması

Bir kazıktan zemine yük aktarılması oldukça karmaşıktır. L boyundaki bir kazığa gelen yükün zemine aktarılışı aşağıda şematik olarak gösterilmektedir.

Kazığa gelen yük başlangıçta sıfırdan arttırılırsa $Q_{(z=0)}$ bu yük çevre sürtünmesi ile Q_1 ve uçta Q_2 olarak paylaşılacaktır. Herhangi bir z derinliğinde sürtünme ile taşınan yükün değişimi Şekil 2.2.b de belirtilen eğri şeklin de olacaktır. Herhangi bir z derinliğinde biri alanda oluşacak sürtünme direnci ise aşağıdaki şekilde hesaplanacaktır.

$$f(z) = \frac{\Delta Q(z)}{(p) \Delta z} \quad (2.1)$$

Burada p = kazık çapıdır. $f(z)$ 'nin derinlikle değişimi Şekil 2.2.c 'de verilmektedir.



Şekil 2.2: Kazıklarda Yük Aktarım Mekanizması (Das, 2007)

Kazık yükü arttırılırsa kazığın çevre zeminine karşı göreceli hareketi 5-10mm'yi bulduğunda çevrede taşınabilecek yükün maksimumu mobilize olmuş olacaktır. Buna karşın tabanda taşınabilecek yükün maksimum değerine ulaşabilmesi için kazık tabanının, çakma kazıklarda çapın 10'u, fore kazıklarda %30'u kadar hareket etmesi gerekecektir. Kazığa etkiyen yükün göçme yükü Q_u değerine ulaşması durumunda hem çevrede, hem uçta taşınabilecek maksimum yüklere ulaşılmış olacaktır. Daha büyük yüklerde zeminde kesme göçmesi meydana gelir, kazık zemine gömülür.

Kazığın boyutuna, şekline, türüne ve zemin özelliklerine bağlı olarak maksimum taşıma gücüne uçta ve çevrede aydın anda ulaşıldığı kabulü ile,

$$Q_u = Q_s + Q_p \quad (2.2)$$

Yazılabilir. Burada;

Q_u : Bir kazığın taşıyabileceği maksimum yük

Q_s : Bir kazığın çevre sürtünmesi ile taşıyabileceği maksimum yük (Bazı durumlarda kazığa ters yönde etkiyebilir, negatif çeper sürtünmesi)

Q_p : Kazık ucunda taşınabilecek maksimum yük

Düşey yükler altında bir kazığın taşıyacağı maksimum yükün bulunuşu için amprik ve yarı amprik farklı yöntemler bulunmakla birlikte genel olarak uygulanan yöntemler aşağıda sunulmaktadır (Yıldırım, 2009).

- Zemin özelliklerine dayanan taşıma gücü formüllerinden
- Arazi deneyi sonuçlarını kullanan amprik analizler (SPT, CPT, MPT, vb.)
- Dinamik çakma direnci analizleri
- Kazık yükleme deneyi analizleri

Bölüm başında belirtildiği üzere zemin-kazık ilişkisi ve etkileşimi son derece karmaşık olup kazığın taşıyabileceği yükün zemin verileri veya diğer yarı amprik-amprik yöntemlere bağlı olarak bulunuşu bir tahminden öteye geçmez. Uygulama projelerinde bu tahminin tam ölçekli bir yükleme deneyi ile kontrol edilmesi önerilmektedir.

Kazığın taşıyabileceği tahmin edilen maksimum yük bir güvenlik sayısına bölünerek güvenle taşıyabileceği yük bulunabilir.

$$Q_{all} = \frac{Qu}{FS} \quad (2.3)$$

Burada Q_{all} : güvenli kazık yükü, FS: göçmeye karşı güvenlik sayısıdır.

Güvenli kazık yükünün çalışma yükü (servis yükü) olarak da nitelendirilebilmesi için bu yük altında da kazık malzemesinde doğacak gerilmelerin izin verilebilir değerleri aşmaması gerektiği ve beklenen oturmaların izin verilebilir sınırlar içerisinde kalacağını gösterilmesi gerektiği açıktır.

Uygulanacak güvenlik sayısı maksimum yük tahminindeki güvenilirlik ve kazığın inşaat sırasındaki denetimine bağlı olarak değişecektir. AASHTO (2002) tarafından önerilen değerler aşağıda verilmektedir.

Çizelge 2.1: Kazık Taşıma Güçleri için Güvenlik Sayıları (AASHTO, 2002)

	Artan Yapım Kontrolü				
	⁽¹⁾ X	X	X	X	X
Zemin İncelemesi	X	X	X	X	X
Statik Hesaplar	X	X	X	X	X
Dinamik Formüller	X				
Dalga Yayılma Analizleri		X	X	X	X
Dinamik Ölçümler ve Analiz			X		X
Statik Yükleme Deneyi				X	X
Güvenlik Sayısı (FS)	3.50	2.75	2.25	⁽²⁾ 2.00	1.90

⁽¹⁾X = Adı geçen denetim kontrat belgelerinde tanımlanmalıdır.

⁽²⁾Yükleme deneyinin yapıldığı herhangi bir denetim şeklinde FS=2.00 alınabilir.

2.4. Baret Kazıkların Taşıma Gücü

2.4.1. Kazık uç taşıma gücü

Bir kazığın uçta taşıyabileceği maksimum yükün zemin mukavemet parametrelerine dayalı olarak hesabı yüzeysel temeller için önerilen formda yapılabilir.

$$q_u = cN_c^* + qN_q^* + \gamma BN_\gamma^* \quad (2.4)$$

Burada q_u birim alanda taşınabilecek maksimum yük olup N_c^* , N_q^* , N_γ^* şekil ve derinlik faktörlerini içeren taşıma gücü katsayılarıdır ve kazıkların yüzeysel temellere göre derin temeller olmaları nedeniyle yüzeysel temeller için önerilen değerlerden farklı değerlerdir. Kazıklar için temel genişliği B yerine (2.4) eşitliğinde kazık çapını düşünmek gerekir. Son terimin diğerleri yanında küçük olacağı düşünülür ve (2.4) eşitliği efektif gerilmeler cinsinden yazılırsa:

$$q_p = c' N_c^* + q' N_q^* \quad (2.5)$$

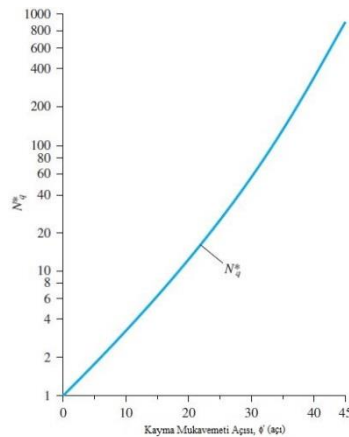
elde edilir. Meyerof (1976) uç taşıma gücünün derinlikle artmakla birlikte kritik bir derinlikten sonra değişmediğini ileri sürmektedir. Kulhawy (1984) ise uç direncinde derinlikle birlikte artışta bir azalma olduğunu ancak bir limit değerden söz edilemeyeceğini belirtmektedir.

2.4.1.1. Granüler zeminlerde uç taşıma gücü

Granüler zeminlerde $c' = 0$ olduğu kabul edilirse bir kazığın ucunda taşınabilecek maksimum yük:

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

olarak bulunabilir. Kayma mukavemeti açısı ϕ' 'ye bağlı olarak (2.6) eşitliğinde kullanılabilecek taşıma gücü faktörleri Şekil 2.3'de verilmiştir. Burada A_p kazık ucu kesit alanı, q' kazık ucu seviyesinde efektif düşey gerilme olmaktadır.



Şekil 2.3: Granüler Zeminlerde Taşıma Gücü Faktörlerinin ϕ ile Değişimi (Meyerof, 1976)

Kazık uç taşıma gücü hesabında arazi deneyleri sonuçlarından yararlanan bazı amprik eşitliklerde kullanılmaktadır. Kazık ucunda birim alanda taşınabilecek yükün sınırı Meyerof tarafından

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

ile verilmektedir. Standart penetrasyon deneyi (SPT), darbe sayısı N değerlerine bağlı olarak;

Kumlu zeminlerde:

$$q_p = 40 \bar{N}L / B \leq 400 \bar{N} \quad (2.8)$$

Kohezyonsuz siltlerde ise:

$$q_p = 300 \bar{N} \quad (2.9)$$

olarak ve fore kazıklar için bu değer 1/3'ünün alınması önerilmektedir. Meyerof SPT'ye bağlı eşitliklerde tahmin yapıldığında güvenli yük için minimum FS=4.0 önerilmektedir. Yukarıda verilen (2.8) ve (2.9) eşitliklerinde $\bar{N}$ düşey jeolojik gerilmelere göre düzeltilmiş darbe sayısı değerleri olup kazık ucundan 10B yukarıda ve 4B aşağıda bir bölgede ortalama bir değer olarak alınacaktır.

Granüler zeminlerde fore kazıklar için Reese ve O'Neil (1988) düzeltilmemiş SPT değerlerine göre aşağıdaki tabloyu önermektedirler.

Çizelge 2.2: Granüler Zemin Uç Taşıma Gücü

N	q_p (kPa)*
0-75	58.3 N
>75	4375

* Maksimum değer veya %5 çap kadar oturma için olan değerler

2.4.1.2. Kohezyonlu zeminlerde uç taşıma gücü

Kohezyonlu zeminlerde inşaat sonrası durum taşıma gücü yönünden daha kritik olduğundan drenajsız durumda $\phi_u = 0$ olup, kazık ucunda taşınan maksimum yük;

$$Q_p = N_c^* c_u A_p \quad (2.10)$$

olmaktadır. Burada c_u kazığın ucunun girdiği zeminin drenajsız kayma mukavemetidir ve N_c^* taşıma gücü faktörünün değeri, kazığın taşıyıcı zemine en az 5D kadar girmiş olması şartı ile 9 alınabilir. Canadian Foundation Engineering Manual (1985) fore kazıklar için büyük çaplarda bu faktörün daha az alınmasını önermektedir.

Çizelge 2.3: N_c^* Taşıma Gücü Faktörü İçin CFEM Önerisi

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

AASHTO (2002) ise fore kazıklarda bu taşıma gücü faktörü için:

$$N_c = 6.0 \left(1 + 0.2 \frac{L}{B}\right) \leq 9 \quad (2.11)$$

alınması önerilmekte ve birim alanda taşınacak yükün 4MPa ile sınırlandırılması gerektiği belirtilmektedir. Drenajsız kayma mukavemeti değeri kazık tabanın minimum iki çap kadar altından alınmış örselenmemiş numuneler üzerinde yapılmış deneyler ve arazi deneyleri ile belirlenmelidir. Bu kısımda yumuşak tabaka varsa N_c değeri 1/3'ü kadar azaltılmalıdır. $B > 75$ inches (190cm) için (2.10) eşitliği önerilmemekte zira tam mobilizasyon için deplasmanın üstyapı için izin verilebilir sınırı aşacağı belirtilmektedir. $S_u > 100$ kPa için ve oturma değerlendirmeyecekse $q_{pr} = q_p F_r$ ile azaltılmalıdır.

$$F_r = \frac{760}{12aB + 760b} < 1 \quad (2.12)$$

$$a = 0.0071 + 0.0021 \left(\frac{L}{B}\right) < 0.015 \quad (2.13)$$

$$b = 1.45 \sqrt{2S_u} \quad 0.5 \leq b \leq 1.5 S_u \text{ (MPa)} \quad (2.14)$$

2.4.2. Sürtünme kazıklarında taşıma gücü

Kazıkların yanal yüzeylerinde taşıyabilecekleri maksimum yük genel bir tanımla;

$$Q_s = \sum p \cdot \Delta L \cdot f \quad (2.15)$$

olarak yazılabilir. Burada p kazık çevresini, f birim sürtünme direncini, ΔL ise f ve p 'nin sabit alınabileceği kazık uzunluğu parçasını göstermektedir.

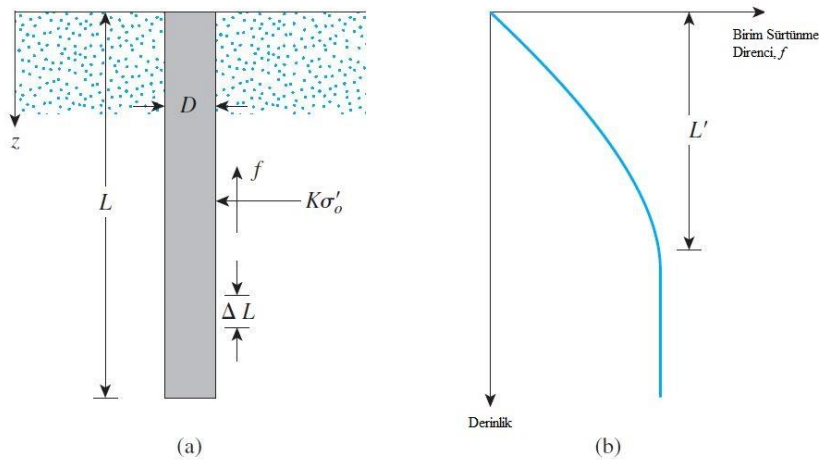
2.4.2.1. Granüler zeminlerde yanal taşıma gücü

Granüler zeminler içindeki tekil kazıkların çevre sürtünmesi, zemin mekaniğinin temel kayma direnci denklemlerine benzer şekilde,

$$F_s = K \sigma'_v \tan \delta \quad (2.16)$$

olarak yazılabilir. Burada, σ'_v düşey efektif zemin gerilmesini, K yatay toprak basıncı katsayısını (tanım olarak zemin içindeki birim elemana etkiyen yatay gerilmenin düşey gerilmeye oranı), δ kazık ile zemin arasındaki sürtünme açısını göstermektedir.

Tasarımda çevre sürtünmesinin bir L_c kritik derinliğe kadar lineer olarak arttığı, bu derinliğin altında sabit kaldığı kabul edilir. Bu derinlik, gevşek kumlarda $L_c=10D$, orta sıkı kumlarda $L_c=15D$, sıkı kumlarda $L_c=20D$ alınabilir (Şekil 2.4)



Şekil 2.4: Kazıkların Birim Sürtünme Direnci (Das, 2007)

K yatay toprak basıncı katsayısı, kazık malzemesine, kazığın imal şekline (çakma veya sondaj kazığı olmasına), zeminin sıkılığına bağlıdır. Değeri, sükunetteki toprak basıncı katsayısı K_o bağlı olarak Çizelge 2.4 ve Çizelge 2.5’de verilmektedir. NAVFAC tarafından önerilen değer ise Çizelge 2.6’da sunulmuştur.

Çizelge 2.4: Yatay Toprak Basıncı Katsayısı, K (Tomlinson, 1994)

Kazık İmal Şekli	K / K_o
Çakma Kazıklar, büyük sıkıştırma etkili	1.00 - 2.00
Çakma Kazıklar, düşük sıkıştırma etkili	0.75 - 1.25
Yerinde dökme betonarme sondaj kazıkları	0.75 - 1.00
Su jeti kullanılarak imal edilmiş kazıklar	0.50-0.70

Çizelge 2.5: K Değerleri (Meyerhof, 1976)

Fore kazıklar ve su jeti ile yerleştirilen hazır kazıklarda	K_o
Zeminde az yer değiştiren kazıklarda	$K_o - 1.4K_o$
Zeminde çok yer değiştiren kazıklarda	$K_o - 1.8K_o$

Çizelge 2.6: NAVFAC (1988)’da Önerilen K Değerleri

Fore Kazıklarda	0.7
Hazır Çakma Kazıklarda	1.0-1.5
Konik Çakma Kazıklarda	1.5-2.0
H kesitli Çelik Kazıklarda	0.5-1.0
Su Jeti ile Yerleştirilenlerde	0.4-0.9

δ kazık-zemin sürtünme açısı için zeminin dane dağılımı ve kazığın cinsine bağlı olarak birçok değer önerilmektedir. Kulhawy (1984) aşağıdaki değerleri önermektedir.

Çizelge 2.7: δ İçin Kulhawy Önerisi

Kazık / Zemin Arayüzünün Durumu	δ / ϕ'
Pürüzsüz (veya kaplanmış) Çelik / Kum	0.5-0.7
Pürüzlü (veya nervürlü) Çelik / Kum	0.7-0.9
Betonarme Çakma Kazık / Kum	0.8-1.0
Yerinde Dökme Betonarme Kazık / Kum	1.0
Ahşap Kazık / Kum	0.8-0.9

Kazık-zemin sürtünmesi için diğer öneriler aşağıda Çizelge 2.8’de verilmiştir.

Çizelge 2.8: δ İçin Diğer Öneriler

Kazık Cinsi	NAVFAC (1988)	ASCE (1993)
Çelik	20	(0.67-0.83) ϕ
Beton	3/4 ϕ	(0.90-1.00) ϕ
Ahşap	3/4 ϕ	(0.80-1.00) ϕ

AASHTO (2002) granüler zeminlerdeki fore kazıklar için yanal taşıma gücünün aşağıdaki amprik eşitlikle bulunabileceği belirtilmektedir.

$$Q_s = \pi B \sum_{i=1}^n \gamma'_i \cdot z_i \cdot \beta_i \cdot \Delta z_i \quad (2.17)$$

Burada;

$$\beta_i = 1.5 - 0.00773 \sqrt{z_i} \quad z_i \text{ (mm)} \quad 1.20 > \beta_i > 0.25 \quad (2.18)$$

olarak alınacak katsayı, z_i göz önüne alınan tabakanın ortalama derinliği (mm), Δz_i tabaka kalınlığı γ'_i su altındaki birim hacim ağırlığıdır.

2.4.2.2. Kohezyonlu zeminlerde yanal taşıma gücü

İnce daneli zeminlerde kazık yüzeyi ile zemin arasındaki sürtünme zeminin kayma mukavemetine bağlıdır. Bu nedenle çevre sürtünmesi,

$$f_s = \alpha \cdot s_u \quad (2.19)$$

α : adhezyon katsayısı

s_u : zeminin drenajsız kayma mukavemeti

olarak hesaplanır. Zemin suya doymuş kil ise ($\phi_u = 0$), $s_u = c_u$ olur. α adhezyon katsayısı, kazık imalatı sırasında zeminin örselenmesine, aşırı konsolide killerde zeminin kazığı sarmasına bağlıdır. Ayrıca, bu değere varılabilmesi için kazığın

önemli ölçüde yer değiştirmesi gerekir. Bu nedenlerle, adhezyon katsayısının değeri “1”den küçük bir değerdir. Ortalama bir değer olarak (Toğrol ve Tan, 2003),

$$\alpha = 0.45 \quad f_s \leq 100 \text{ kN/m}^2 \quad (2.20)$$

alınabilir. Fleming ve diğ. (1985), adhezyon katsayısı için normalize kayma mukavemetine bağlı olarak,

$$s_u / \sigma'_v < 1 \quad \text{için} \quad \alpha = 0.5 / (s_u / \sigma'_v)^{1/2} \quad (2.21a)$$

$$s_u / \sigma'_v > 1 \quad \text{için} \quad \alpha = 0.5 / (s_u / \sigma'_v)^{1/4} \quad (2.21b)$$

s_u : kayma mukavemeti

σ'_v : hesap yapılan derinlikteki düşey efektif gerilme

bağıntıları verilmiştir. Burland (1973) kil zeminlerin çevre sürtünmesinin efektif gerilmelere göre;

$$f_s = K. \sigma'_v. \tan \delta = \beta. \sigma'_v \quad (2.22)$$

şeklinde hesaplanmasını önermiştir. Burada K :toprak basıncı katsayısı, β : sürtünme katsayısıdır. Normal konsolide killeri için;

$$\beta_{nc} = (1 - \sin \phi') \tan \phi' \quad (2.23)$$

olarak verilmiştir. Aşırı konsolide killerde çevre sürtünmesi, normal konsolide killerden daha büyüktür. Meyerhof (1976), aşırı konsolide killeri için aşağıdaki formül önerilmiştir.

$$\beta = \beta_{nc} \sqrt{OCR} \quad (2.24)$$

2.4.3. Kayaca soketlenmiş kazıklarda taşıma gücü

Kayaca soketlenmiş kazıklarda kazık taşıma gücü hem uç, hem de çevreden meydana gelecektir. Çevre direncinin beton veya kaya mukavemeti ile bağlantılı olması

beklenir yük paylaşımı soket geometrisine bağlıdır. Çevrede taşınan yük kötü nitelikli bir kayada, kayaya girişin az olduğu hallerde veya soket çapının fazla olduğu durumlarda göz ardı edilebilir ancak koşulların tersi durumunda taşıma gücünün hemen tümünü oluşturabilir.

Ayrışmamış kayaya giren yerinde dökme betonarme (fore) kazıkların taşıma gücü, kayanın mukavemetine, çatlak sıklığına, çatlak genişliğine ve ezilme zonlarına bağlıdır.

Az ayrışmış ve az çatlaklı kaya tabakalarına soketlenen kazıklarda, kazığın uç direnci, taşıma gücü faktörü ve kayanın serbest basınç mukavemetine bağlı olarak, aşağıdaki eşitlik ile hesaplanabilir.

$$q_p = 2 N_\phi q_u \quad (2.25)$$

bu ifadede kullanılan taşıma gücü faktörü, kayma mukavemeti açısına bağlı olarak hesaplanabilir:

$$N_\phi = \tan^2 \left(45^\circ + \frac{\phi}{2} \right) \quad (2.26)$$

Kayma mukavemeti açısı, ϕ , şist, marn gibi zeminlerde 20° - 27° , kumtaşı, silttaşı, gnays gibi zeminlerde 27° - 34° , bazalt, granit gibi zeminlerde 34° - 40° arasında alınabilir (Tomlinson,1994).

Soket çevresinde oluşacak sürtünmenin kaya niteliği (karot yüzdesi), SPT, serbest basınç mukavemeti q_u değerlerine göre hesaplanmasına ilişkin gerçekleştirilen çalışmalar aşağıda Çizelge 2.9'da sunulmaktadır (Yıldırım,2009).

Çizelge 2.9: Maksimum soket mukavemeti için çeşitli tasarım bağıntıları

$f_s = 1.842 q_u^{0.367}$	(Williams ve diğ., 1980)
$f_s = 1.45 \sqrt{q_u}$	(Rowe ve Armitage, 1987)
$f_s = 0.67 \sqrt{q_u}$	(Horwath ve Kenney, 1979)
$f_s = 0.63 \sqrt{q_u}$	(Carter ve Kulhawy, 1988)
$f_s = 0.30 q_u$	(Reynolds ve Kaderabek, 1980)
$f_s = 0.20 q_u$	(Guptan ve Logan, 1984)
$f_s = 0.15 q_u$	(Reese ve O'Neill, 1988)
$f_s = 0.01 N$ veya $f_s = -5.54 + 0.41 N$	(Crapps, 1986)

Canadian Geotechnical Society (1985), kayaya soketlenen, yerinde dökme betonarme sondaj kazıklarının (fore kazıklar) emniyetli taşıma gücünün q_a tahmini için;

$$q_a = K_{sp} q_u d \quad (2.27)$$

q_a : emniyetli uç taşıma gücü

q_u : karot mukavemeti (ASTM D2938'e göre belirlenmiş)

K_{sp} : 0.1 ile 0.4 arasında değişen, $G_s=3.0$ güvenlik katsayısını içeren deneysel katsayı

d : derinlik katsayısı

Burada;

$$K_{sp} = \frac{3 + c/D}{10\sqrt{1 + 300\delta/c}} \quad (2.28)$$

c : çatlak aralığı

δ : çatlak açıklığı

D : temel genişliği, kazık çapı

$$d = 1 + 0.4 \frac{L_s}{D_s} \leq 3.4 \quad (2.29)$$

L_s : kaya içinde soket derinliği

D_s : soket (kazık) çapı

Uç direnci için AASHTO (2002) önerisi ise;

$$Q_{TR} = N_{ms} C_o A_t \quad (2.30)$$

şeklinde olup C_o kayacın ölçülen serbest basınç direncini (2B alta kadar bölgede), N_{ms} kayacın kitle kalitesi (RMR, NGI, RQD) değerleri ile kaya sınıfına bağlı Hoek (1983) tarafından verilen çizelgeden alınacak bir faktör, A_t kazık uç alanıdır.

Çizelge 2.10: Kaya Kazık Uç Taşıma Gücü İçin Nms Değerleri

Kaya Kütle Kalitesi	Genel Tanım	RMR	NGI	RQO	A	B	Nms C	D	E
Mükemmel	Eklem aralığı >3.0m olan sağlam kayaç	100	500	95-100	3.8	4.3	5	5.2	6.1
Çok İyi	0.9-3.0m aralıklı pürüzlü günlenmemiş eklemli olan sıkıca kenetlenmiş kayaç	85	100	95-100	1.4	1.6	1.9	2	2.3
İyi	0.9-3.0m aralıklı az örselenmiş eklemli olan ve taze-az günlenmiş kayaç	65	10	75-95	0.28	0.32	0.38	0.4	0.46
Orta	Aralıkları 0.3-0.9m olan orta derece günlenmiş birkaç eklem sistemi olan kayaç	44	1	50-75	0.049	0.056	0.066	0.069	0.081
Kötü	2.5-5.0cm aralıklı, biraz dolgu malzemeli günlenmiş birkaç eklem sistemi olan kayaç	23	0.1	25-50	0.015	0.016	0.019	0.02	0.024
Çok Kötü	Aralıkları 5cm'den küçük aşırı günlenmiş birçok eklemi olan kaya	3	0.01	<25	<i>gült kullanılmacak</i>				

Çizelge 2.11: Kayaç Sınıflarına Göre Olası C_o Değerleri

Kayaç Sınıfı	Tanımı	Kayaç Türü	C _o (Mpa)	ν *	E _o * (Gpa)
A	İyi gelişmiş klivajlı karbonatlı kayaç	Dolaston	33.1-310.5	0.29	29.1
		Kireçtaşı	24.1-289.9	0.23	41.0
		Karbonit	37.9-69.0	-	-
		Mermer	37.9-241.5	0.28	44.5
		Taktit-Skorn	131.1-338.1	-	-
B	Az yapraklanmış killi kayaçlar	Arjilit	29.0-145.0	-	-
		Kıltaşı	1.4-8.3	-	-
		Marntaşı	52.4-193.2	-	-
		Fillit	24.1-241.5	-	12.3
		Silttaşı	9.7-117.3	0.18	17.2
		Şeyl	6.9-35.2	0.09	10.2
		Kayrak	144.9-207.0	-	-
C	Kötü klivajlı, taneleri belirgin kayaçlar	Konglomera	33.1-220.8	-	-
		Kumtaşı	66.9-172.5	0.20	15.3
		Kuvarsit	62.1-379.5	0.14	69.1
D	İnce daneli püskürük kristalize kayaç	Andezit	96.6-179.4	-	-
		Diyabaz	21.4-572.5	0.23	92.2
E	Kaba daneli püskürük ve kristalize metamorfik kayaç	Amfibolit	124.2-310.5	-	-
		Gabro	24.1-310.5	0.18	79.2
		Gnays	14.5-338.1	0.22	63.8
		Granit	9.7-96.6	0.20	55.0
		Kuvarsdiyorit	9.7-144.9	-	53.6
		Sist		-	-
				-	-

2.4.4. Tek kazıkta çekme yükünde taşıma gücü

Kazığın toplam çekme taşıma gücü net çekme taşıma gücü ile kazık ağırlığının toplamı olarak düşünülebilir. Killi zeminlerde net taşıma gücü (Das ve Seeley, 1982),

$$Tu_p = L p \alpha' c_u \quad (2.31)$$

olarak verilebilir. Burada α' kazık çevresinde çekme koşullarında adezyon faktörü olup yerinde dökme kazıklarda;

$$c_u < 80 \text{ kPa} \quad \alpha' = 0.9 - 0.00625c_u \quad (2.32)$$

$$c_u > 80 \text{ kPa} \quad \alpha' = 0.4 \quad (2.33)$$

alınması önerilmektedir. (2.26) eşitliğinde L boyunun mevsimsel etki boyu dışındaki boy olarak alınması gerekir.

Granüler zeminlerde ise basınç yükleri altındakine benzer bir analizle birim çevre sürtünmesi;

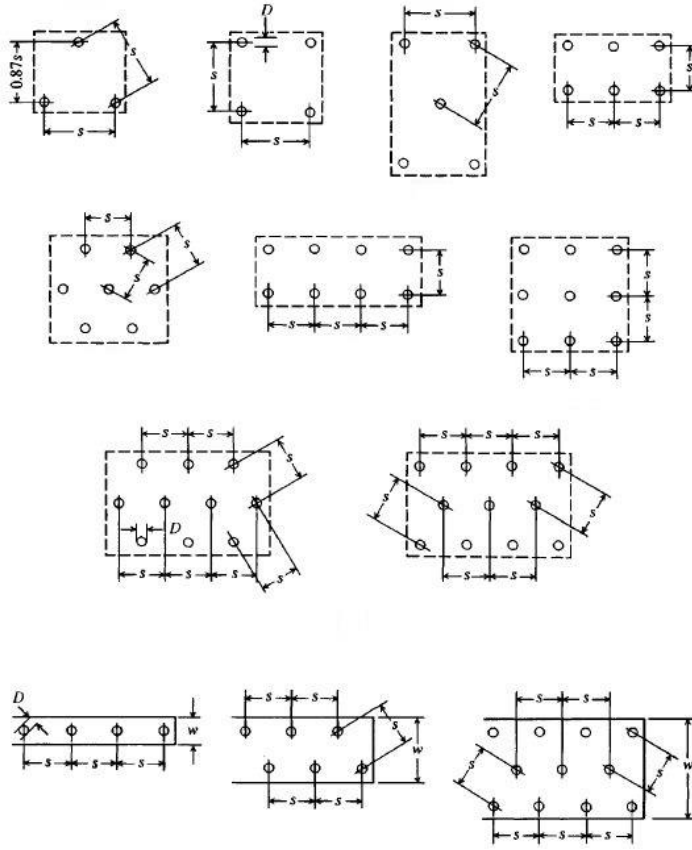
$$f_v = K_u \cdot p'_v \cdot \tan \delta \quad (2.34)$$

ile bulunabilir. p'_v 'nin kritik bir derinlikten sonra değişmediği düşünülmeli, K_u yanallıtki katsayısı $\phi=30^\circ$ için 1.5, $\phi=40^\circ$ için 2.5 alınmalıdır (Das ve Seeley, 1975).

2.4.5. Kazık gruplarının taşıma gücü ve grup etkisi

Kazıklar, bir yapı elemanı olarak nadiren tek başlarına kullanılırlar. Genellikle, en az üç kazıktan oluşan gruplar meydana getirilir. Böylece eksantrik yüklerin daha iyi olarak karşılanması mümkün olur.

Kazık gruplarının kullanıldığı çeşitli alanlar bulunmaktadır. Geniş alana yayılı yapı yüklerinin taşınmasında, yatay yük taşıyabilen ve moment alabilen temel yapımında kazık gruplarından yararlanılır. Deniz yapılarında, heyelanların önlenmesinde de kazık grupları kullanılmaktadır (Şekil 2.5).



Şekil 2.5: Kazık Grupları

Kazık gruplarının taşıma gücü oldukça karmaşık bir konudur. Kazıkların sık olması halinde zemine aktarılan gerilmelerin çıkışacağı ve bu nedenle taşıma gücünün azalabileceği söylenebilir. Kazıkların kavramsal olarak kazık başlıklarının ekonomik olarak çözülebileceği kadar yakın, birbirilerini etkileyip taşıma gücünün düşmeyeceği kadar uzakta olmalıdır. AASHTO (2002)'e göre kazıklar arası merkezden merkeze uzaklık en az 2.5 (çap/genişlik) olmalıdır.

Bir grup içerisindeki tek bir kazığın davranışı komşu kazıkların davranışı ve grubun geometrisinden etkilenmektedir. Bu etkileşime grup etkisi adı verilmektedir.

Kazık gruplarının taşıma kapasitesine etki eden grup etkisi aşağıda verilmektedir (Das, 2007).

$$\eta = \frac{Q_{g(u)}}{\sum Q_u} \quad (2.35)$$

η : grup etkisi

$Q_{g(u)}$: kazık grubunun toplam taşıma gücü

Q_u : tekil kazığın taşıma gücü

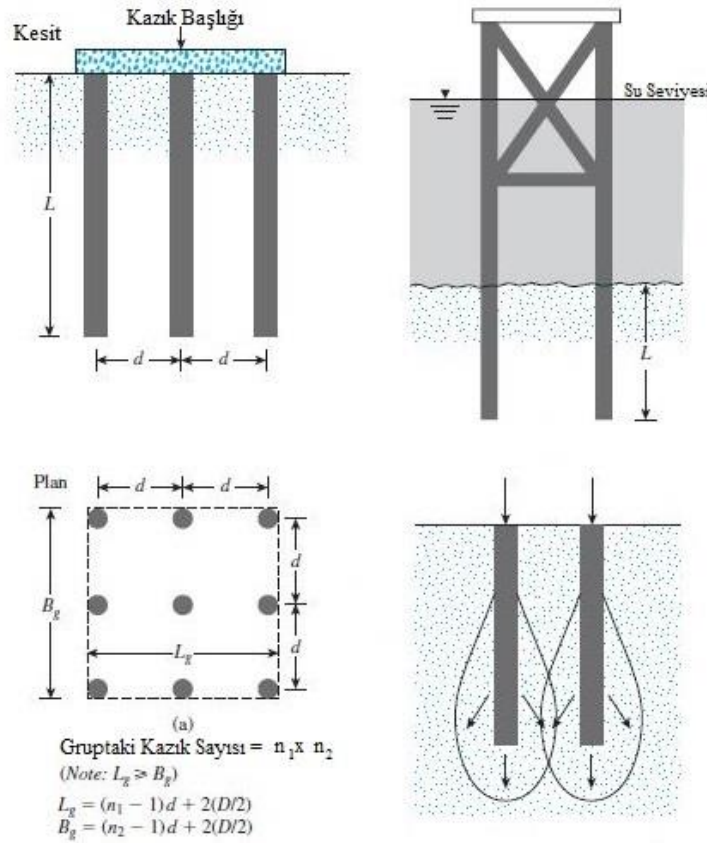
$$\eta = \frac{f_{av}[2(n_1 + n_2 - 2)d + 4D]L}{n_1 n_2 p L f_{av}} = \frac{2(n_1 + n_2 - 2)d + 4D}{p n_1 n_2} \quad (2.36)$$

burada $[2(n_1 + n_2 - 2)d + 4D]L$ kazık grubunun çapı, f_{av} ortalama çeper sürtünme direncidir. Hesaplanan η değerinin 1'den küçük olması durumunda ($\eta < 1$);

$$Q_{g(u)} = \eta \sum Q_u \quad (2.37)$$

$\eta > 1$ olması durumunda;

$$Q_{g(u)} = \sum Q_u \quad (2.38)$$



Şekil 2.6: Kazık Grupları

Terzaghi ve Peck (1967), kazık grubunun taşıma gücünü veren bir ifade geliştirmişlerdir. Bu ifade, kazık başının tamamen rijit olduğu ve kazık grubunun bir blok halinde göçtüğü kabul edilerek çıkarılmıştır. Bu kabullere göre kazık grubu ve kazıklar arasındaki zeminden meydana gelen blok derin bir ayak gibi düşünülür ve taşıma gücü ifadesi:

$$Q_g = A_{\text{çevre}} \bar{s}_u + A_{\text{taban}} q_d - L A_{\text{taban}} \gamma \quad (2.39a)$$

$$Q_g = 2(B_g + L_g)L \bar{s}_u + (B_g L_g) 5.14 s_u - L B_g L_g \gamma \quad (2.39b)$$

$A_{\text{çevre}} (2L_g B_g L)$: blok çevresinin alanı

$A_{\text{taban}} (L_g B_g)$: blok tabanın alanı

L : kazık uzunluğu

B_g : Planda blok eni

L_g : Planda blok boyu

$\bar{s}_u$: blok çevresindeki zeminin ortalama kayma mukavemeti

s_u : blok tabanındaki zeminin kayma mukavemeti

γ : blok içinde kalan zeminin birim hacim ağırlığı

Tomlinson (1994) bu ifadenin biraz farklı şeklinin kullanılmasını tavsiye etmektedir:

$$Q_g = A_{\text{çevre}} \bar{s}_u + 1.3 s_u N_c \kappa A_{\text{taban}} \quad (2.40a)$$

$$Q_g = 2(B_g + L_g) L \bar{s}_u + 1.3 s_u N_c \kappa B_g L_g \quad (2.40b)$$

N_c : taşıma gücü katsayısı

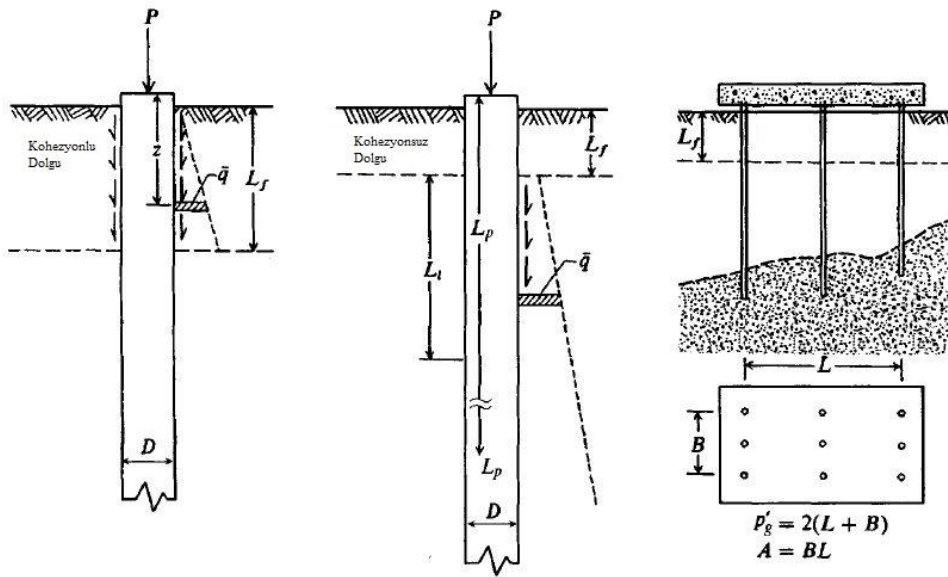
κ : şekil faktörü

N_c 'nin değerleri kazık grubunun derinlik/en oranına (L/B_g) bağlı olarak, κ şekil faktörünün değerleri kazık grubunun B_g/L_g oranına bağlı olarak verilmektedir. Daire veya kare şeklinde yerleştirilmiş kazıklarda, derinlik/en oranının 2'den büyük olması halinde taşıma gücü faktörü $N_c = 9$ alınabilir. L_g/B_g oranı 4 olduğu zaman şekil faktörü $\kappa = 1.05$ olmakta, oranın daha büyük olması halinde ise küçük değerler almaktadır. L_g/B_g oranı 2 olduğu zaman $\kappa = 1.10$ değerini almaktadır.

2.4.6. Negatif çeper sürtünmesi

Kazık ile çevresindeki zemin arasında etkileşim, kazığın zemine göre rölatif hareketi ile mümkündür. Eğer kazık, zemine göre aşağıya doğru hareket ediyorsa, kazığın taşıdığı yükün bir kısmı zemine aktarılır ve pozitif çeper sürtünmesi oluşur. Böylece, derine gidildikçe, yükün daha büyük bir kısmı zemin tarafından taşınılmaya başlar. Buna karşın, eğer zemin kazığa göre aşağıya doğru hareket ediyorsa, bu kez zeminin taşıdığı yük kazığa aktarılmaya başlar ve negatif çeper sürtünmesi oluşur. Kazığın taşıdığı yük, zeminden aktarılmış yük kadar artmış olur.

Zeminin kazığa göre oturması, zemin yüzünün yüklenmesi, yeraltı su seviyesinin inmesi veya indirilmesi sonucu zemine etkiyen düşey efektif gerilmelerin artması sonucu ortaya çıkar. Böylece, zeminde meydana gelen ani oturma veya konsolidasyon oturması kazıkta negatif sürtünme doğurur (Şekil 2.7).



Şekil 2.7: Tekil ve Grup Kazıklarda Negatif Çeper Sürtünmesi Oluşumu

SNIP2.02.03-85, negatif çeper sürtünmesinin dikkate alınması gereken durumları aşağıdaki şekilde özetlemektedir:

- Zemine kalınlığı 1.0m'den fazla dolgu yapılması
- Yapı tabanının 20kN/m^2 'den daha büyük hareketli yüklere maruz kalması
- Temele yakın bir alanda zeminin 100kN/m^2 'den daha büyük hareketli yüke maruz kalması

- Yeraltı su seviyesinin alçalması nedeniyle zeminde efektif gerilmelerin artması
- Temel zemininin konsolidasyonunu tamamlamamış olması
- Zeminin dinamik yükler etkisi ile sıkışması
- Zeminin ıslanması sonucu oturması

Negatif çeper sürtünmesinin hesaplanmasında, zemin ve kazığın birbirlerine göre ne kadar oturduğunun, sıkışabilir tabakaların oturma hızının belirlenmesi gerekir.

Kohezyonlu zeminlerde kazıklara etkiyen negatif çeper sürtünmesi:

$$f_n = \beta \sigma'_{vo} \quad (2.41)$$

ifadesi ile hesaplanabilir (Meyerhof, 1976). Burada σ'_{vo} efektif düşey gerilmeyi belirtmektedir. Yumuşak killerde β 'nın değeri, 0.25 ile 0.40 arasında değişmektedir. Zemini sıkıştıran kazıkların tasarımı için 0.30 değeri tavsiye edilmektedir (Burland, 1973).

Vesic (1977), negatif çeper sürtünmesinin hesaplanması için, kohezyonlu ve kohezyonsuz zeminler için aşağıdaki ifadeyi vermiştir:

$$f_n = N_o \sigma'_{vo} \quad (2.42)$$

Bu ifadede, N_o boyutsuz bir katsayı, σ'_{vo} düşey efektif gerilmeyi göstermektedir. N_o 'nın değerleri Çizelge 2.12'de verilmektedir.

Çizelge 2.12: N_o Katsayısının Çeşitli Durumlardaki Değeri

Zemin ve kazık	N_o
1. Yüzeyi çıplak kazık	
1.1. Yumuşak sıkışabilir silt ve kil tabakaları içindeki kazıklar	0.15 - 0.30
1.2. Gevşek kum içindeki kazıklar	0.30-0.80
2. Yüzeyi bitüm veya bentonit kaplı kazıklar	0.01-0.05

Kazıkların grup halinde düzenlenmesi durumunda, kazık grubuna etkiyen negatif çeper sürtünmesi münferit kazıklara etkilerinin toplamından daha küçük olur (Terzaghi ve diğ, 1996). Negatif sürtünmeden doğan ve kazığı aşağı doğru çeken kuvvetin iki bileşeni vardır. Birinci bileşen dolgunun ağırlığıdır:

$$Q_I = \frac{A_{\text{taban}} \gamma H}{n} \quad (2.43)$$

A_{taban} : kazık grubunun plandaki alanı

H : dolgu kalınlığı

γ : dolgunun birim hacim ağırlığı

n : kazık sayısı

İkinci bileşen bloğun sürtünme direncini göstermektedir:

$$Q_{II} = \frac{A_{\text{çevre}} H s_u}{n} \quad (2.44)$$

$A_{\text{çevre}}$: kazık grubu bloğunun çevre alanı

H : kazık çevresindeki sıkışabilir tabakanın kalınlığı

s_u : sıkışabilir tabakanın ortalama kayma mukavemeti

n : kazık sayısı

Yukarıdaki ifadelerden görüleceği üzere kazık aralıkları arttıkça her iki bileşende artmaktadır. Kazıklar sıklaştıkça her iki bileşen de küçülmektedir. Buna karşılık, kazık aralıklarının azaltılması, kazıkların birbirlerini daha kolay etkilemeleri, çevrede zemin kabarması, yanal hareketler meydana gelmesi nedeni ile sakıncalıdır.

Kazık gruplarına etkiyen negatif çeper sürtünmenin etkisini azaltmak için uygulanan yöntemler aşağıda verilmektedir (Toğrol ve Tan, 2003).

- Kazık grubu içinde kazıkların yerleşimi değiştirilerek kazık aralıkları ve kazık sayısı azaltılır; böylece grubun çevresindeki sürtünme kuvveti azaltılır.
- Kazık kesitleri küçültülür.

- Önceden yükleme yapılarak kazıkların yerleştirilmesinden önce zeminin oturmasının tamamlanması sağlanır.
- Betonarme çakma kazıklar ve çelik kazıklara etkiyen negatif çevre sürtünmesini azaltmak için kazık yüzeyine 1-2mm kalınlıkta bitüm sürülmektedir. Bu yolla negatif çevre sürtünmesini %10 azaltılabilmektedir. Bitüm kazığa fırça ile sürülür veya püskürtülür.

3. DÜŞEY YÜKLER ALTINDA BARET KAZIKLARIN OTURMASI

Zemine yerleştirmenin neden olduğu örselenme ile kazıktan zemine aktarılan gerilmelerin dağılışı ve yerinin belirsizliği konuyu karmaşık kılmaktadır. Çalışma yükü altında bir kazığın oturması kazık malzemesinin elastik kısalması ile uçtaki ve çevredeki aktarılan yüklerin neden olduğu oturmaların toplamı olarak alınabilir (Das, 2007).

$$S_e = S_{e(1)} + S_{e(2)} + S_{e(3)} \quad (3.1)$$

$S_{e(1)}$: Kazığın elastik oturması

$S_{e(2)}$. Kazık ucuna aktarılan yük nedeni ile meydana gelen oturma

$S_{e(3)}$: Çevre sürtünmesi nedeniyle oluşacak oturma

Kazık malzemesinin elastik kısalması:

$$S_1 = \frac{(Q_{WP} + \xi Q_{WS})L}{A_p \cdot E_p} \quad (3.2)$$

olarak tahmin edilir. Burada Q_{WP} ve Q_{WS} çalışma yükü altında uçta ve çevrede taşınan yük olup A_p ve E_p kazık kesit alanı ve kazık elastisite modülüdür.

ξ birim çevre direncinin kazık boyunca dağılımına bağlı olup üniform ve parabolik dağılım için 0.5, üçgen dağılışı için 0.67 değerindedir. Sharma ve Joshi (1988) üniform ya da üçgen dağılışa göre tahmin edilen oturmaların ξ değerine fazla bağlı olmadığını ve uygulama için ξ 'in her iki değerinin de kullanılabileceğini belirtmektedir. ξ için uzun çakma kazıklarda daha küçük değerler gözlenmiş olup sıkı kuma çakılan kazıklarda 0.1 mertebesinde olabilmektedir.

Kazık ucuna aktarılan yük dolayısıyla oluşacak oturma yüzeysel temellerin oturma formüllerine benzer formda:

$$S_2 = \frac{q_{wp}B}{E_s} (1 - \mu_s^2) I_{wp} \quad (3.3)$$

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

Vesic (1977) S_2 için yarı amprik olarak:

$$S_2 = \frac{Q_{wp} C_p}{b q_p} \quad (3.4)$$

eşitliğini önermektedir. Buradaki q_p kazık ucunda birim alanda taşınan maksimum gerilmedir. C_p değerleri ise aşağıda verilmektedir.

Çizelge 3.1: Kazık Oturması İçin C_p Değerleri

Zemin Türü	Çakma Kazık	Fore Kazık
Kum (sıkı-gevşek)	0.02-0.04	0.09-0.18
Kil (katı-yumuşak)	0.02-0.03	0.03-0.06
Silt (sıkı-gevşek)	0.03-0.05	0.09-0.12

Bu değerler kazık ucundaki taşıyıcı denebilecek tabakanın en az 10B kadar daha devam ettiği ve kazık ucundaki zemine göre en az onun kadar sıkı olduğu hallerde uzun süredeki oturmalar için geçerlidir. 10B'den daha yakın kayaç varsa, C_p daha az olup kayaç 5B derinlikte oturmanın %88'i, 1B derinlikte ise %51'i alınır. Kazık ucu altında sıkışabilir bir tabaka olmadıkça genelde konsolidasyon oturması toplam oturmanın %15'ini geçmez, tersi durumda konsolidasyon oturması hesaplanmış oturma değerine eklenmelidir (Yıldırım, 2009).

Çevreye aktarılan yük nedeni ile meydana gelecek oturma:

$$S_3 = \frac{Q_{ws}}{pL} \frac{B}{E_s} (1 - \mu_s^2) I_{ws} \quad (3.5)$$

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

$$I_{ws} = 2 + 0.35 \sqrt{\frac{L}{B}} \quad (3.6)$$

amprik eşitliği ile bulunabilir. Vesic bu oturma bileşeninin;

$$S_3 = \frac{Q_{ws} C_s}{L q_p} \quad (3.7)$$

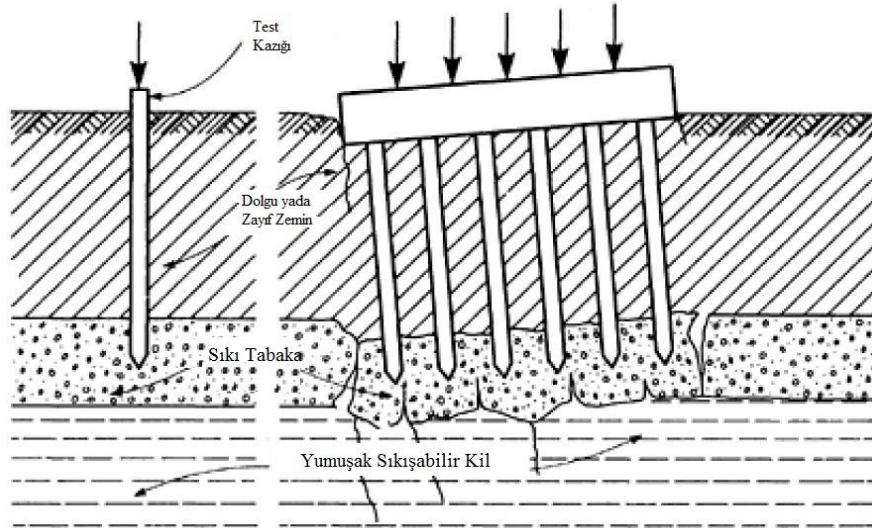
$$C_s = \left(0.93 + 0.16 \sqrt{\frac{L}{B}} \right) C_p \quad (3.8)$$

İle bulunabileceğini belirtmektedir. Burada da killer için bulunan ani oturmaya karşılık geldiği unutulmamalıdır. Diğer yandan Reese ve O'Neil (1988) fore kazıklar için kohezyonlu ve kohezyonsuz zeminlerde çevre ve taban oturmasını boyutsuz formda eğrilerle vermektedir. Bu eğrilerden anlaşıldığı üzere kilde tabanda Q_p %5 çapta mobilize olup daha sonra sabit kalırken kumda deplasman %5 çapta maksimum olup geçince de artmaya devam etmektedir. Çevre yükü kilde %7'de mobilize olup daha sonra azalmakta, kumda %1'de tam mobilize olup çok az azalmaktadır.

Kazık Gruplarının Oturması

Kazıkların oturması (Toğrol ve Tan, 2003);

- Üst yapının oturmaya karşı hassas olması
- Kazık grubunun çok sıkışabilen bir tabaka içinde bulunması (Şekil 3.1)
- Kazık grubunun düşey yükler altındaki yer değiştirmesinin üst yapının statik hesabında gerekmesi durumunda hesaplanır.



Şekil 3.1: Kazık Gruplarında Toptan Göçme

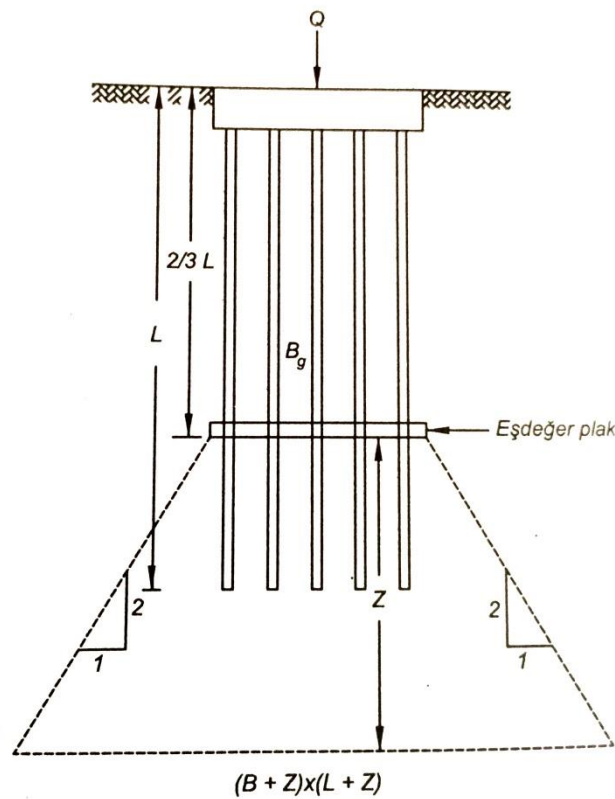
Kazıklı temeller, genellikle, oturmaları sınırlamamak için tasarlanır ve uygulanırlar. Bununla birlikte, sürtünme kazıklarında;

- Çevre sürtünmesinin uyanması için kazığın yapması gereken oturma
- Kazık gruplarında kazık arasında zeminin sıkışması veya konsolidasyonu ile meydana gelen oturma

Yükü çevre sürtünmesi ve uç mukavemeti ile taşıyan kazıklarda;

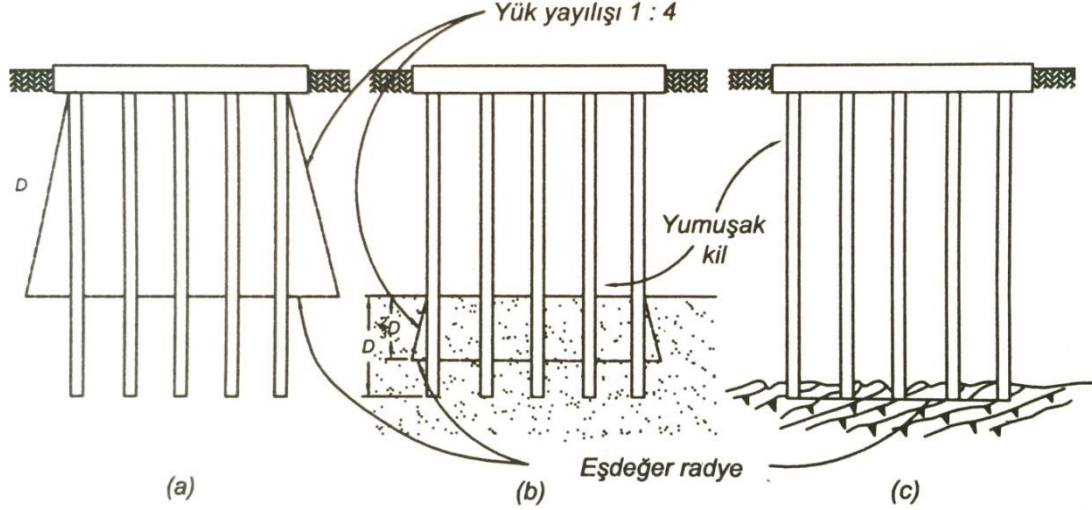
- Kazık uç seviyesi altında zeminin sıkışması sonucu meydana gelen oturma,
- Kazığın kendi elastik boy kısalması

Terzaghi ve Peck (1967), kazık grubunun oturmasının, kazık başlığından $2/3L$ derinliğinde eşdeğer plak temelin oturmasına eşit olarak hesaplanmasını önermiştir. Burada eşdeğer plak temelin oturması, kazık grubu ile aynı toplam yükü taşıyan, $2/3L$ derinliğinde, gerilmenin 1(yatay)/2(düşey) açı ile genişleyen bir alanda dağıldığı kabul edilerek hesaplanmaktadır.



Şekil 3.2: Kazık Grubu Oturma Hesabında Gerilme Dağılışı Kabulü (Terzaghi ve Peck, 1967)

Tomlinson (1994), sürtünme kazık grubunun taşıdığı yükü, 2/3 derinliğe kadar 1/4 (yatay/düşey) eğilimle yayılıyor kabulü ile, o derinlikteki yatay bir düzleme bu gerilmenin neden olacağı oturmayı hesaplamaktadır (Şekil 3.3.a).



Şekil 3.3: Kazık Gruplarından Yükün Zemine Aktarılması

Yumuşak kil içinden geçerek granüler taşıyıcı tabakaya giren kazık grubunun taşıdığı yükü, kazığın taşıyıcı tabakaya girdiği seviyenin altında kalan kısmının 2/3'ünden itibaren 1/4(yatay/düşey) eğimle yayarak oturmayı hesaplamaktadır (Şekil 3.3.b). Kazıklar sıkışabilir tabaka altındaki kaya tabakasına oturuyorsa kazıklara gelen yük, blok tabanında zemine doğrudan etkiyor kabul edilir (Şekil 3.3.c).

Granüler zeminlerde killerdeki benzer bir yöntemle oturmaları hesaplamak mümkün ise de genellikle bu yol izlenmeyip grup oturması tek kazık oturma sonucuna göre belirlenmektedir.

Bu konuda önerilen eşitlikler aşağıda verilmektedir:

$$\frac{S_g}{S} = \left[\frac{4B_g + 3}{B_g + 4} \right]^2 \quad (\text{Skempton, 1953}) \quad (3.9)$$

$$\frac{S_g}{S} = \sqrt{\frac{B_g}{B}} \quad (\text{Vesic, 1977}) \quad (3.10)$$

Burada S kazığının çalışma yükünden kaynaklı oturması, B_g grup genişliği, S_g grup oturmasıdır. Vesic (1977) eşitliği NAVFAC (1988) ve Canadian Foundation Design Manual (1985) tarafından da önerilmektedir. Eşitliğin hem kumlar hem killerin elastik oturmasında kullanılabileceği belirtilmektedir. Killi zeminlerde oluşacak konsolidasyon oturmasının da buna eklenmesi gerektiği açıktır.

Meyerhof (1976) kum ve çakıllar için amprik olarak (mm):

$$S_g = \frac{360qI\sqrt{B_g}}{\bar{N}} \quad (3.11)$$

$$q = \frac{Q_g}{A_g B_g} \text{ (q MPa)} \quad (3.12)$$

önermektedir. $\bar{N}$ kazık ucundan kazık grubunun genişliği B_g kadar alta uzanan bölgede düşey gerilmeye göre düzeltilmiş SPT darbe sayısı, I etki faktörü ise;

$$I = 1 - \frac{D'}{8B_g} \geq 0.5 \quad (3.13)$$

olup siltli kumlar için tahmin edilen oturmaların iki katı alınmalıdır. Burada D' $2/3L$ de alınan efektif derinliktir.

CPT deneyi sonuçlarından ise (Yıldırım, 2009):

$$S_g = \frac{qB_g I}{2q_c} \text{ (q ve } q_c \text{ MPa) (} S_g \text{ m)} \quad (3.14)$$

4. BARET KAZIK İMALATI

Baret kazıklar fore kazıkların özel kesitli hali olarak düşünülebilir ve zeminde açılan/delinen bir kuyunun donatı yerleştirilip betonla doldurulmasıyla imal edilir. Diğer kazık tiplerinin aksine baret kazıklar sadece betonarme olarak imal edilebilirler. Teknolojik sebeplerden ötürü fore kazıklar çakma kazıklardan çok daha sonra kullanılmaya başlanmıştır. Baret kazıklar ise kazı yöntemindeki farklılıklar nedeniyle ülkemizde son yıllarda yaygınlaşmaya başlamıştır

Baret kazıklar genel olarak dikdörtgen kesitlidir. Kesitin uzun kenarı 2.20 / 3.00 m ve kısa kenarı 0.60 / 0.80 / 1.00 / 1.20 m arasında değişmektedir. Boyları ise 60m'ye ulaşmaktadır. Proje şartlarına bağlı olarak T,+, H, L, Π vb. şekillerde imal edilebilirler.

Baret kazıkların geleneksel dairesel fore kazıklara göre avantajları aşağıda verilmektedir:

- Aynı yönde etki eden kuvvetler altında fore kazıklı temellere göre çok daha yüksek yatay kesme kuvveti ve eğime momenti kapasitesine sahip olması,
- Üstyapı düşey yapısal elemanları ve kolonları ile kolay uyum sağlaması sonucu her bir kolon altında tek bir baret uygulanabilmesi sayesinde kesitin ve kapasitenin etkin kullanılabilmesi,
- Fore kazıklı bir temele göre şekli nedeni ile çok daha fazla çeper alanına sahip olması nedeniyle daha yüksek bir çeper sürtünme kapasitesine sahip olması,
- Tasarımda boyutlarının genişletilebilir olması nedeniyle sınırsız sayıda alternatif ve ekonomik çözüm oluşturabilmesi,
- İnşası için zemin şartlarına bağlı olarak, mekanik, hidrolik ve / veya hydrofreeze kullanılabilmesi nedeni ile sert kayalar dahil her zeminde ve proje boyunda inşa edilebilmesi

4.1. Kazık Delgisinin Yapılması

Baret kazık imalatı için grab, hidrofreze (cutter) tipi delgi ekipmanları kullanılmaktadır (Şekil 4.1). Grabler, mekanik grab ve hidrolik grab olarak iki tiptir (Şekil 4.2). Hydrofreze tipi makineler kaya zeminlerde kazı için geliştirilmiş özel makinelerdir (Durgunoğlu, 2012).



Şekil 4.1: Hydrofreze (cutter) (www.imeco.at)



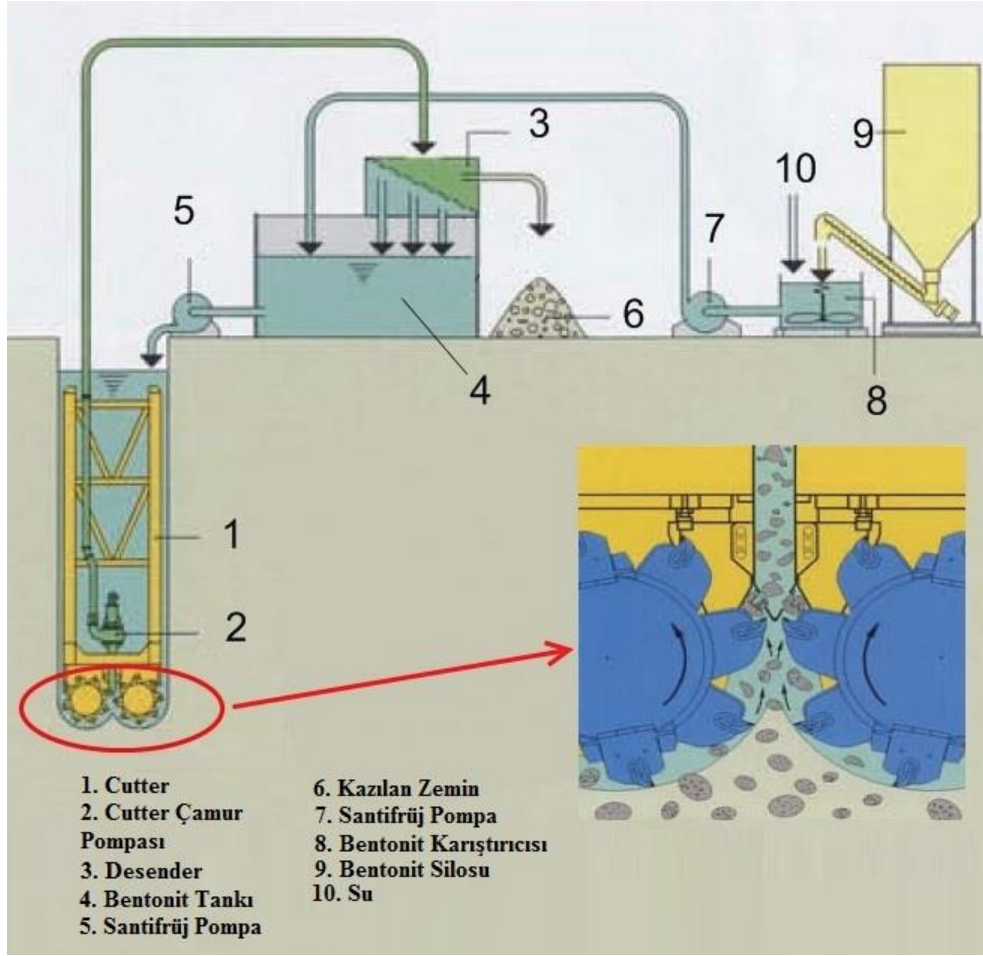
Şekil 4.2: Hidrolik (sağda) ve Mekanik (solda) Grab (www.bouer.de)

Zemin koşullarının homojen ya da heterojen olması farklı delgi yöntemlerini ve ekipmanlarını gerektirmektedir. Katı ya da yumuşak killer, gevşek kumlar, kuvarsit damarlı kalkerli kumtaşları hepsi delgiyi farklı yönleriyle zorlaştıran zeminlerdir. Karstik formasyonlarda, zemindeki boşluklardan kaybolan su nedeniyle delgi yapmak zorlaşır. Diğer yandan artezyen kaynağı olan bölgelerde de delgi yapmak oldukça zordur.

Kendini tutabilen kazık çukurlarında, donatı indirilmesi ve çukurun betonlanması ile baret kazık imalatı yapılabilir. Yeraltı suyu bulunması veya çukur çeperlerinin kendini tutamaması halinde bu yöntem uygulanmaz. Özellikle, kuyuya su sızması ve çukur dibinde birikmesi durumunda bu yöntemle yapılacak imalat ciddi sorunlar ortaya çıkarabilir. Suyun içine dökülen beton segregasyona uğrar. Aşağıdaki betonun kolayca sıkışıp oturması sonucu, kazığın alt kısmı ile daha yukarıdaki kısmı arasında boşluk oluşur. Su sızması, çoğu zaman çeperlerden zemin parçalarının düşmesine ve betona karışmasına yol açar.

Kendini tutamayan zeminlerde baret kazıkların dikdörtgen kesitli imal edilmesi nedeniyle dikdörtgen muhafaza borusunu zemine itmek ve zeminden çekmek pratik açıdan mümkün değildir. Bu nedenle Türkiye’de günümüze kadar yapılan baret kazık uygulamaları, muhafazasız ve bentonit çamuru (süspansiyonu) kullanılarak yapılmıştır.

Baret kazıkların imalatında kazı destek sistemi olarak kullanılan süspansiyonun ham maddesi olan bentonit “montmorillonit” tipi kildir. Bentonit süspansiyonu yapımında saf ve kaliteli bentonit kullanılmalıdır. Yüklenici, bentonit üreticisi firmadan, bentonitin özelliklerini gösteren bir sertifika temin etmeli ve gerekmesi durumunda bu sertifikayı onaya sunmalıdır. Delgi bittiğinde donatı kafesi ve ardından tremi boruları kuyuya indirilir. Tremi boruları vasıtasıyla kuyu tabanından itibaren dökülen beton, kuyu içerisindeki bentonit süspansiyonunu yukarıya çıkarır. İlk durumuna göre zemin ile karışmış olan bentonit süspansiyonu kuyudan geri toplanır ve “desander ünitesi”nde kum ve siltten arındırılarak tekrar kullanım için tanklara aktarılır. Bu sayede pahalı bir malzeme olan bentonit defalarca yeniden kullanılabilir ve maliyeti uygun hale getirilmiş olur. Sistemi anlatan şema Şekil 4.3’de, bentonit tesisi fotoğrafı Şekil 4.4’de verilmektedir.



Şekil 4.3: Kazı ve bentonit Sirkülasyon Sistemi (Zetaş, 2011)



Şekil 4.4: Desander (Zetaş, 2011)

Süspansiyon hazırlanmasında bentonit tozu, temiz su ile tamamen karıştırılmalıdır. Bentonit çamurunun yapımında kullanılacak bentonit tozu, duvarlarının stabilitesini sağlayacak miktarda ve tercihen ağırlıkça % 4 ila % 8 nispetinde olmalıdır. Gerekli görüldüğü takdirde katkı maddeleri de kullanılabilir.

Bentonit çamurunun kalitesi deneyler ile kontrol edilmeli ve kayıtlar tutulmalıdır. Aşağıda belirtilen parametrelerin kontrolü amacıyla uygun deney aletleri şantiyede imalat süresince hazır bulundurulmalıdır.

a)Yeni Karıştırılmış (Kullanılmamış) Bentonit Çamuru

Yeni karıştırılmış (kullanılmamış) bentonit çamurunun yoğunluğu her iş günü ölçülmelidir. Ölçümler 0.01 kg/l hassasiyetle yapılmalıdır. Uygulamada taze karıştırılmış bentonit çamurunun yoğunluğu en fazla 1.08 kg/l olması önerilmektedir.

b)Delik İçine Pompalanan Bentonit

Delik içine doldurulan bentonit çamurundan alınan numuneler üzerinde gerekli kalite kontrol deneyleri gerçekleştirilmelidir. Yoğunluk, viskosite, kayma mukavemeti, pH ve kum içeriği değerlerinin belirlenmesine yönelik deneyler çalışma yönteminin tam olarak işler hale gelmesine kadar düzenli olarak her delik için yapılmalıdır.

c)Kazı İşlemi Esnasında Delik İçindeki Bentonit

Kazı işlemi esnasında bentonit çamurunun yoğunluğu gerekmesi halinde düzenli aralıklar ile ölçülmelidir. Yoğunluğun 1.25 kg/l'ten fazla olması halinde, çamur içinde aşırı miktarda malzeme var olduğundan, çukurun alt kısmından eski bentonit çamuru pompaj ile delik dışına alınarak taze bentonit çamuru deliğe doldurulmalıdır. Bu işlem esnasında bentonit seviyesinin sabit tutulmasına özen gösterilmelidir.

d)Betonlama Öncesi Çukur İçindeki Bentonit

Betonlama işlemine başlamadan önce her panel için bentonitin yoğunluğu değişik iki (2) derinlikten alınan numuneler üzerinde ölçülmelidir. Betonlama işlemi delik tabanından 1.0 m yukarıda alınan numunenin yoğunluğu 1.15 kg/l'ten daha az ise gerçekleştirilebilir. Yoğunluğun 1.15 kg/l'ten yüksek olması halinde yeterli süre eski bentonit-taze bentonit sirkülasyonu yapılarak, yoğunluk 1.15 kg/l'te indirilmelidir. Süspansiyonun TS EN 1538/2001 nolu şartnameye göre özellikleri Çizelge 4.1'de verilmektedir.

Çizelge 4.1: Bentonit Çamuru Şartnamesi (TSE 1538/2001)

Bentonit Süspansiyonu Özellikleri – TS EN 1538			
Özellik	Kullanım Safhaları		
	Taze	Tekrar kullanım için hazır	Betonlamadan önce
Birim hacim kütlesi	<1.10	<1.25	<1.15
Marsh değeri (s)	32-50	32-60	32-50
Akışkan kaybı (ml)	<30	<50	-
pH	7-11	7-12	-
Kum muhtevası (%)	-	-	<4
Filtre Keki (mm)	<3	<6	-

4.2. Donatı Kafesinin Hazırlanması ve Kuyuya İndirilmesi

Baret kazık donatıları projesinde verilen boyaya uygun olarak boyuna ve enine yönde çelik donatı ile donatılmalıdır. Donatı kafesinin betonlama sırasında kayıp dağılmaması ve geçici muhafaza borusu çekilip çıkarılırken takılıp sıyrılmaması için özen gösterilmelidir. Donatının tümü dışarıda bir kafes şeklinde bağlanarak hazırlanır ve betonlamadan önce deliğe projelerde gösterildiği konumda yerleştirilmektedir.

Demir donatı boyunda hazırlanacak kafesler gerekmesi halinde değişken kazık boyuna göre uygun şekilde kesilerek çukur başına dikey durumda ve projesinde belirtilen bindirme şartları sağlanarak birleştirilmektedir. Donatının ek yerleri uygulama projesinde gösterildiği gibi olmalıdır. Donatı kafesinin kaldırılması ve yerleştirilmesi esnasında aşırı yüklenip deforme olmaması için kalıcı takviye donatıları kullanılmaktadır. Takviye donatısı betonlama (tremie) borusunun donatı içine girmesine olanak tanıyacak şekilde olmalıdır. Donatı kafesi yerleştirilirken takviye donatılarının korunmasına ve pas payı elemanlarının kullanılmasına özen gösterilmelidir. Uygulamada baret kazıklar için minimum pas payı 75mm olarak alınmaktadır.



Şekil 4.5: Baret Kazık Donatısının Hazırlanması (www.egezemin.com)



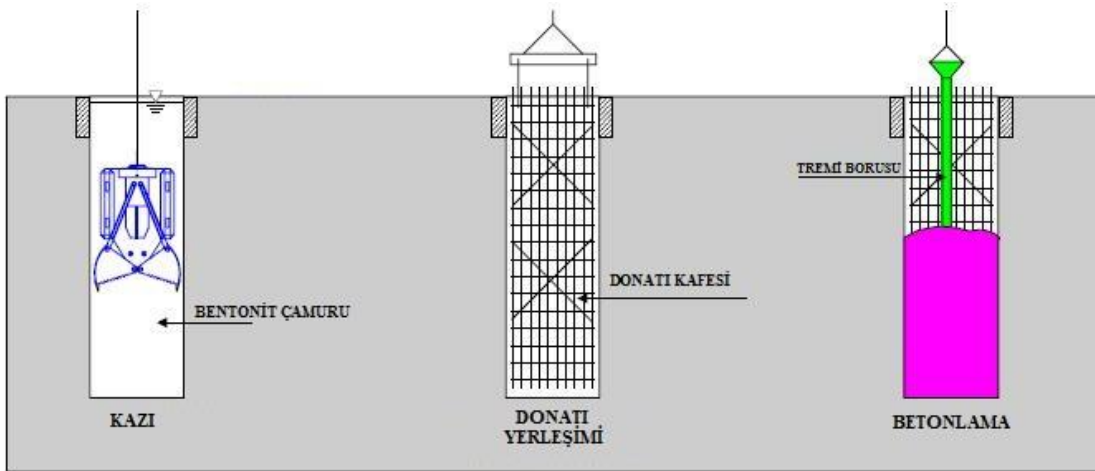
Şekil 4.6: Donatı Kafesinin Kuyuya İndirilmesi (www.egezemin.com)

4.3. Betonlama

Baret kazık imalatında kullanılan beton, uygulama projelerinde belirtilecek mukavemet özelliklerine sahip olmalıdır. Kazı işlemi biter bitmez hemen donatı yerleştirilerek aynı gün beton dökümüne geçilmesi esastır. Hemen betonlamaya imkân bulunmadığında, geçen süre içinde duvar tabanında bir şişme olup olmadığı kontrol edilmeli ve gerekirse donatı çıkarılarak, betonlamadan önce çukur delik tarama ve duvar içi temizliği yapıldıktan sonra betonlamaya başlanmalıdır. Betonlama işlemi şematik olarak Şekil 4.7’de, saha uygulaması ise Şekil 4.8’de verilmektedir.

Beton dökümü, betonlama boruları (tremie borusu) kullanılarak yapılmaktadır. Betonlama borusu 180-250 mm çapında ve birbirine manşon ile eklenmiş borulardan oluşmaktadır. Betonlama borusu aşağıdaki şartları sağlamalıdır.

- Boru çeperleri temiz, eğilme ve burkulmalara dayanabilecek mukavemette olmalıdır.
- Ek yerleri su sızdırmaz olmalı ve kalın dişli manşonlar kullanılmalıdır.
- Betonlama başlamadan önce betonlama borusu duvar çukurunun dibinden 30-40 cm yukarı olmalıdır.



Şekil 4.7: Baret Kazıklarda Beton Dökümü (civilsolution.wordpress.com)

Betonlama işleminin aşağıdaki hususlara uygun olarak yapılması önerilmektedir.

- Betonlama işleri esnasında, beton sürekli bir şekilde ve döküm hızı en az 5 m³/saat olacak şekilde deliğe doldurulmalıdır. Daha düşük hızlar boruda birikinti yapacağından beton hızının sabit tutulmasına özen gösterilmelidir.
- Tremi borusunun, dökülmüş olan beton içerisinde sürekli olarak 2.0 m-6.0 m gömülü olacak şekilde tutulması gerekmektedir.



Şekil 4.8: Betonlama (Zetaş, 2011)

5. BARET KAZIKLARA YÖNELİK ARAZİ DENEYLERİ

Kazıkların taşıma kapasitesinin belirlenmesine yönelik geliştirilen ya da önerilen yöntemler laboratuvar deneyleri ve arazi incelemeleri sonucu elde edilen veriler ışığında ampirik veya yarı ampirik eşitliklere dayandırılmaktadır. Teorik kabuller ve bunlara bağlı olarak yapılan hesaplamalar, zeminin anizotropik ve heterojen yapısı dikkate alındığında, kimi durumlarda yetersiz ya da aşırı güvenli kalabilmektedir. Çeşitli araştırmacılar tarafından önerilen ampirik bağıntılar ise çoğu zaman her tip zeminde uygulanamamaktadır. Ayrıca oluşturulan korelasyonlar, mühendislik çevrelerinde hatalı kullanım sebebiyle istenmeyen tasarım veya uygulama kusurlarının doğmasına sebep olabilmektedir.

Bu sebeplerden ötürü, çeşitli kazıkların statik taşıma kapasitelerinin belirlenmesinde en güvenilir metot, kazık yükleme deneyleridir. Kazık yükleme deneylerinin tam ölçekli olarak ve zemin koşullarını aynen yansıtan şartlarda yapılıyor olması, şüphesiz mühendislik hesaplarında oluşabilecek yanıltıcı unsurları üst düzeyde bertaraf etmektedir.

5.1. Kazık Yükleme Deneyi Çeşitleri

Kazık yükleme deneyleri (Toğrol ve Tan, 2003):

- Projeye başlanmadan veya sonuçlarından tasarımda faydalanılmak üzere (deneme kazığı),
- Kazıklar teşkil edildikten sonra kontrol amacı ile yapılır (kontrol kazığı)

Deneme kazıkları, genellikle göçme yüküne kadar yüklenir. Kontrol kazıkları ise, imal edilmiş kazıkların belli bir yüzdesinde, tasarım yükünün genellikle 1.5 katına kadar yüklenir, deneyden sonra kazıklar projede öngörülen yerde ve öngörülen amaçlarla kullanılırlar.

Kazık yükleme deneylerinde yükleme üç şekilde yapılabilir:

- Basınç deneyleri
- Çekme deneyleri
- Yanal yükleme deneyleri

Uygulamada genellikle basınç deneylerinin yapılması yaygındır. Kazığın çeşitli derinliklerdeki yer değiştirmelerini ölçecek özel ekipmanlar kullanılmıyorsa kazık başına tatbik edilen yük ve kazık başının oturmasından zeminin nihai taşıma gücü ve kazığın emniyetle taşıyabileceği yük bulunmaya çalışılır.

Kazık yükleme deney yöntemlerinin sınıflandırılması aşağıdaki tabloda detaylı olarak verilmektedir (Düzceer, 2001).

Çizelge 5.1: Kazık Deney Teknikleri (Düzceer, 2001)

No.	Yöntem	Uygulama Alanı	Avantajları	Dezavantajları
1	Statik Yükleme Deneyi -Eksenel Basınç -Eksenel Çekme -Yanal Yükleme	Bütün Kazıklar	-Kantlanmış -Yorumu genellikle kolay	- Deneye tabi tutulan kazık sayısı az - Küçük projeler için pahalı - Hazırlık süresi uzun
2	Osterberg Hüresi	Çelik çakma kazıklar ile ahşap kazıklar dışındaki bütün kazıklar	- Uç ve çevre direncinin ayrı ayrı ölçülmesi - Hazırlık süresinin kısa olması - Reaksiyon sistemi gerektirmemesi - Çok yüksek test yükü uygulanabilmesi	- Test edilecek kazık önceden bilinmeli - Orta pahalılıkta
3	Dinamik Kazık Deneyi	Çakma Kazıklar, Güçlendirilmiş Fore Kazıklar	- Ekonomik - Yüksek oranda kazık deneyi yapılabilmesi - Yük-oturma tahmini yapılabilmesi - Kantlanmış	- Statik deneylerle doğrulanması gerekli - Yorum için uzmanlık gerekir - Zaman etkisi - Ucu açık boru kazıklar ve H kazıklarda düşük kapasite verir
4	Yarı Statik Deneyler -Simbat -Statnamic -PSPLT	Bütün Kazıklar	- Yük-oturma tahmini yapılabilmesi - Orta pahalılıkta - Deney süresi kısa	- Sonuçların yorumu için uzmanlık gerekmesi - Yapım tekniklerindeki çeşitlilik - Gelişme halinde - Statik deneyler ile doğrulanması gerekli
5	Süreklilik Deneyleri	Bütün Kazıklar ($L/D < 20-30$)	- Hızlı, ekonomik	- Kazık kapasitesi hakkında bilgi vermez
6	Sonik Süreklilik Deneyleri	Fore Kazıklar Baret Kazıklar	- Hızlı, ekonomik - Kazık kesit alanının tamamına yakın bölümü kontrol edilir. - Boy sınırı yoktur	- Kazık kapasitesi hakkında bilgi vermez - Test edilecek kazık içine önceden boru yerleştirilmesi gerekli
7	Enstrümantasyonlu Deneler	Bütün Kazıklar	- Daha az muhafazakar tasarıma olanak sağlaması - Sürtünmenin derinlikle değişimi ve uç direncinin ayrı ayrı belirlenebilmesi	- Orta pahalılıkta - Uygulamaya bağlı olarak deney sonunda enstrümantasyonun %10-%50'si kaybolabilir

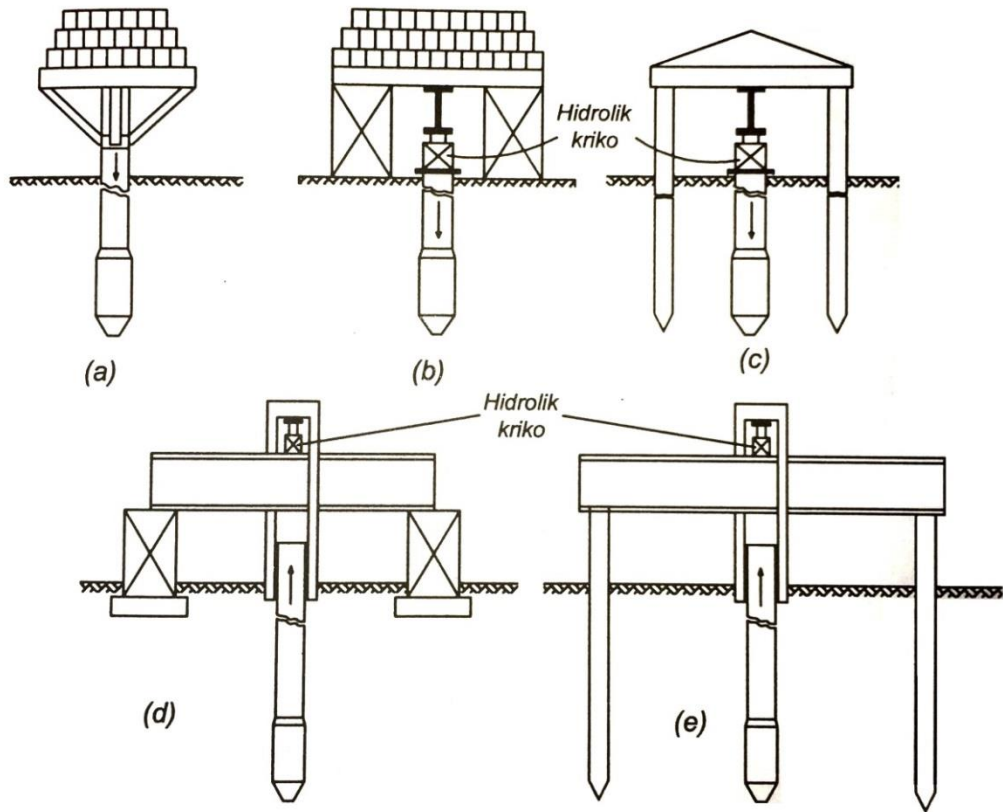
5.2. Statik Kazık Yükleme Deneyleri

Statik yükleme deneyi, kazıkların taşıma kapasitesinin belirlenmesi için kullanılan en güvenilir yöntemdir. Statik yükleme deneyi, belirli zaman aralıklarında kazığın yüklenerek kazıkta meydana gelen yer değiştirmelerin ölçülmesi şeklinde yapılmaktadır.

5.2.1. Yükleme deneylerinin düzenlenmesi

Yükleme deneylerinin yapılmasında, reaksiyon alınan sabit bir kiriş veya yapıdan, genellikle, hidrolik krika ile kazığa yük tatbik edilir. Bu amaçla kullanılan düzenekleri üç gruba ayırmak mümkündür (Şekil 5.1):

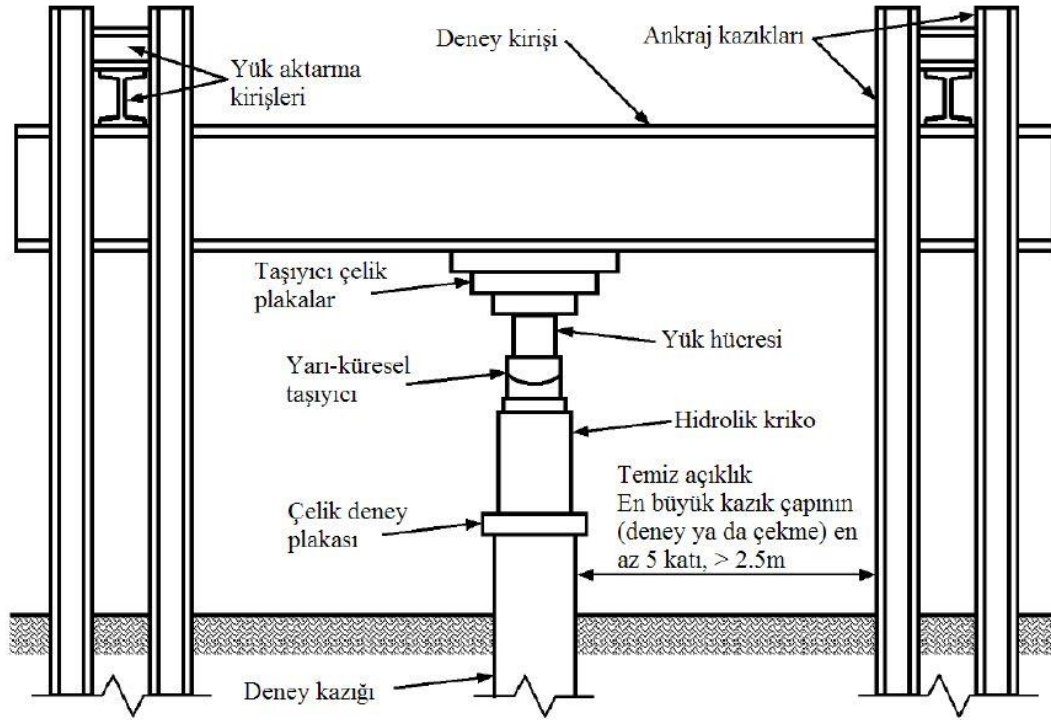
- Deney kazığı üzerinde kurulan bir platformdan yararlanılarak kazığın doğrudan yüklenmesi
- Mevcut bir yapıdan reaksiyon almak
- Ankraj kazıkları ile oluşturulmuş bir platformdan reaksiyon alınarak yapılır.



Şekil 5.1: Kazık Yükleme Deneyi Düzenlenmesi (a) Yükleme Platformu ile, (b) Bir Platformdan Reaksiyon Alarak, (c) Önceden Çakılmış Kazıklardan Reaksiyon Alarak, (d,e) Çekme Deneyi Yapılması

Yükleme deneyi hazırlanırken kazık başı ile reaksiyon alınacak kiriş arasında hidrolik krikoyu yerleştirmek için yeterli alan bırakılmalıdır. Reaksiyon alınan çerçeve, büyük eğilme momentlerine maruz kalacağından deney sırasında deformasyona uğramayacak rijitlikte olmalıdır. Düzenin bütün bağlantıları, deneyden önce kontrol edilmelidir. Ankraj kazıkları, gerekli reaksiyonu sağlayacak çekme mukavemetine sahip olmalıdır. Kontrol deneylerinde olduğu gibi, daha önce imal edilmiş kazıklardan yararlanılıyorsa bu kazıkların boylarının uzatılması gerekebilir.

Deney kazıkları ve ankraj kazıkları arasında uzaklık yeterli olmalıdır. Deney kazığında kazık çapının 5 katından daha yakın olan ankraj kazıkları ile deney kazığı arasında etkileşim olur. Böyle bir etkileşim, kazığın gözlenen oturma miktarının daha küçük çıkmasına yol açar. ASTM D 1143-07’de ankraj kazıklarının, deney kazığına olan temiz açıklığının en büyük kazık çapının (deney kazığı ya da ankraj kazığı) beş katı veya en az 2.5m olması gerektiği ifade edilmektedir.



Şekil 5.2: Reaksiyon Kirişleri ve Hidrolik Kriko ile Yapılan Yüklemeye Deney Şeması (ASTM D 1143-07)

5.2.2. Kazık yükleme deneyinin yapılması

Yükün verilış biçimin göre başlıca dört tür deney yöntemi vardır (Yıldırım, 2009):

- Yavaş adımlı yükleme deneyi (SM)
- Hızlı adımlı yükleme deneyi (QM)
- Sabit giriş hızlı yükleme deneyi (CRP)
- Çevrimli yükleme deneyi (SC)

5.2.2.1. Yavaş adımlı deney (SM)

Uzun süreli bir deney olup tasarım yükünün %200'üne veya göçmeye kadar yük arttırılır. ASTM D 1143-07'de verilen bu yöntemle ilgili koşullar aşağıda verilmektedir:

- Tasarım yükünün %25-50-75-100-125-150-175-200 katlarında adımlarla kazık yüklenmelidir.
- Her adımda oturma hızı 0.25mm/saat değerine düşünceye kadar ancak 2 saatten fazla olmamak koşulu ile belirlenecektir.
- %200 yükte 24 saat beklenecektir.
- Maksimum yükte beklendikten sonra yine %25'lik azalan yük adımlarıyla her adımda 1 saat beklenerek yük boşaltılacaktır.
- Boşaltmadan sonra her adımda 20 dakika beklenerek deney yüküne tasarım yükünün %50'si artımlarla ulaşılacaktır.

Bu yöntem genellikle ASTM standart deney yöntemi olarak bilinir. Tasarım kazıkları için yönetmelik hazırlamakta arazi incelemesinin bir parçası olarak yapılır.

5.2.2.2. Hızlı adımlı deney (SM)

ASTM D 1143-07'de isteğe bağlı bir deney türü olarak belirtilen bu yöntem de:

- Tasarım yükünün %300 değerine kadar %15 artımlarla 20 adımda ulaşır.
- Her 2.5 dakikada bir ölçüm alarak her yükte 5 dakika beklenir.
- Deney yüküne ulaşılıncaya kadar veya deney yükünü verebilmek için sürekli krikolama gerekinceye kadar yük arttırılır.

Tipik deney süresi (3-5) saat olduğundan hızlı ve ekonomiktir. Deney yaklaşık olarak drenajsız koşulu temsil eder ve oturma analizleri için sonuçlar yorumlanamaz. Kazıkların kanıtlama deneylerinde etkin olarak kullanılabilirler.

5.2.2.3. Sabit giriş hızlı deney (CRP)

Bu yöntem “Swedish Pile Commission”, “ New York State Department of Transportation” ve ASTM D 1143-07 tarafından önerilmektedir. Kısa süreli bir deney olup genelde bir saatten az sürer.

- 1.25mm/dakika hızla kazık başı hareketi sağlanır.
- Toplam 50-70mm giriş sağlanıncaya kadar devam edilir.

BS 8004 (1986) hızın killi zeminlerde 0.75mm/dakika, kum ve çakıldaki uç kazıklarında 1.5mm/dakika alınması gerektiğini belirtmektedir. Hızların bu mertebede olması koşulu ile hızın deney sonucunu etkilemeyeceği, ancak deneyin sürekli olarak aynı hızda yapılması gerektiği önerilmektedir.

5.2.2.4. Çevrimli deney (SC)

“Swedish Pile Commission” tarafından önerilen bu yöntem zaman alıcı olup çevrimler kazık davranışını etkilemekte ve çevrimli yüklemenin önem kazandığı tasarımlarda yapılması önerilmektedir.

- Tasarım yükünün 1/3'üne kadar kazık yüklenir.
- Yük, tasarım yükünün 1/6 değerine düşürülür. Bu yükleme boşaltma 20 kez tekrarlanır.
- İlk yükün %50'si daha fazla yüke çıkılır ve tekrarlanır.
- Göçme yüküne kadar devam edilir.

5.2.3. Kazık yükleme deneylerinin değerlendirilmesi

Kazık yükleme deneylerinin esas amacı, kazığın emniyetli olarak taşıyabileceği yükün belirlenmesidir. Emniyetli kazık yükü, kazığın taşıyabileceği nihai yükün, belirli bir emniyet katsayısına bölünmesi olarak tanımlanabilir.

Genelde kazık yükleme deneyleri yorumlarından göçme yükünün bulunması için kullanılan yöntemler aşağıda verilmektedir (Yıldırım, 2009):

1- Kazık başının toplam oturmasını sınırlayan kriterler

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

2- Plastik Oturmayı Sınırlama

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

3- Plastik Oturmayı Sınırlama

1.5 (Danimarka)

4- Oturma/Birim yük oranını sınırlamak

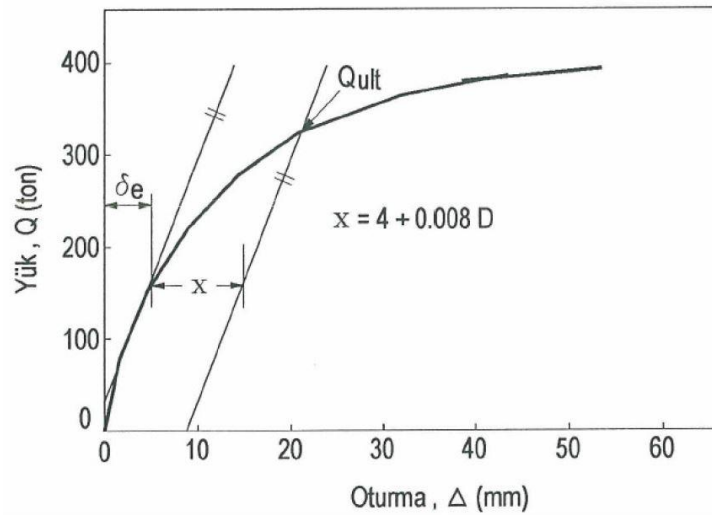
- a. Toplam 0.25mm/ton (California, Chicago)
- b. Artış 0.75mm/ton (Ohio)
1.27mm/ton (Raymond Int.)

5- Plastik Oturma/Birim yük oranını sınırlamak

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

6- Yük-Oturma Eğrisinin Yorumuna Dayalı Yöntemler

a. Davisson Yöntemi



Şekil 5.3: Davisson Yöntemi

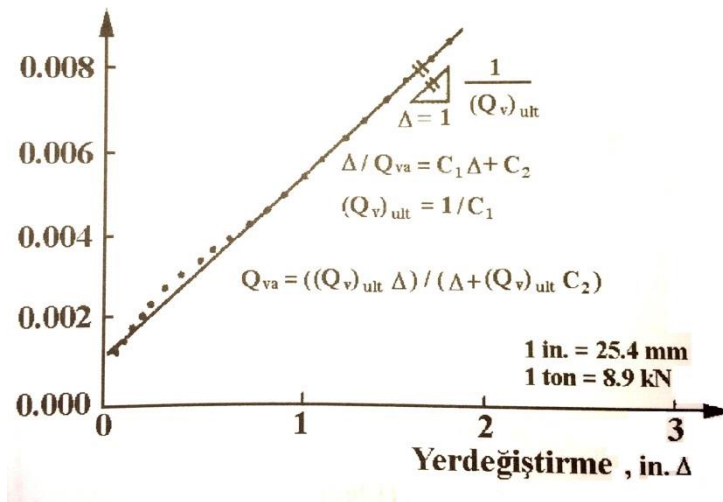
Kazığın elastik kısılması $\Delta = \frac{Q.L}{A.E}$ ile bulunduğunda, göçme yükü buna $B (m) /30$ 'a eşit oturma beklendiğinde kazığın yaptığı oturmaya karşılık gelen yük olarak tanımlanmaktadır. $\Delta + \frac{B}{30}$ eğriyi kesmezse deney yüküne ulaşılan değer göçme yükü alınacaktır.

Bu yöntem çakma kazıklar için önerilmiş olup QM türü yükleme için daha uygun olduğu varsayılmaktadır. SM, QM, CRP'nin üçü için de kullanılabileceği NAVFAC (1986) tarafından belirtilmektedir. Fore kazıklarda ise 20mm toplam oturmanın karşılık geldiği yükün kazık son taşıma gücü alınması şeklinde uygulamaları vardır.

b. Chin Yöntemi (1970).

Uygulanan yük Q_v ile kazık başı oturması Δ değerlerine göre $\Delta/Q_v - \Delta$ eğrisi çizilir. $\Delta/Q_v = C_2 + C_1\Delta$ yazılırsa $1/C_1$ son taşıma gücüdür.

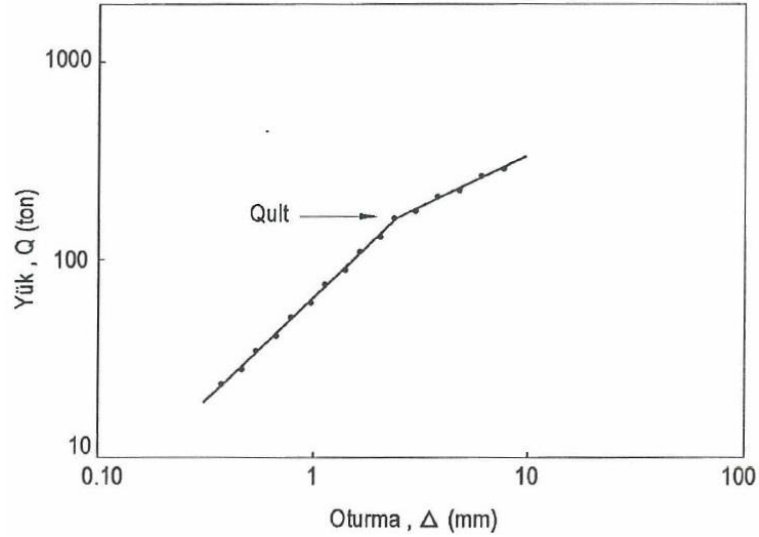
Yöntem hiperbolik bir eğri varsaymakta olup QM ve SM yükleme yöntemlerinin ikisi için de uygundur. Noktaların Davisson limitini aşmıyca kadar bir doğru üzerine düşmeyeceği göz önüne alınmalıdır. Yöntemin geçerliliği için değişmeyen zaman aralıkları kullanılmalıdır.



Şekil 5.4: Chin Yöntemi

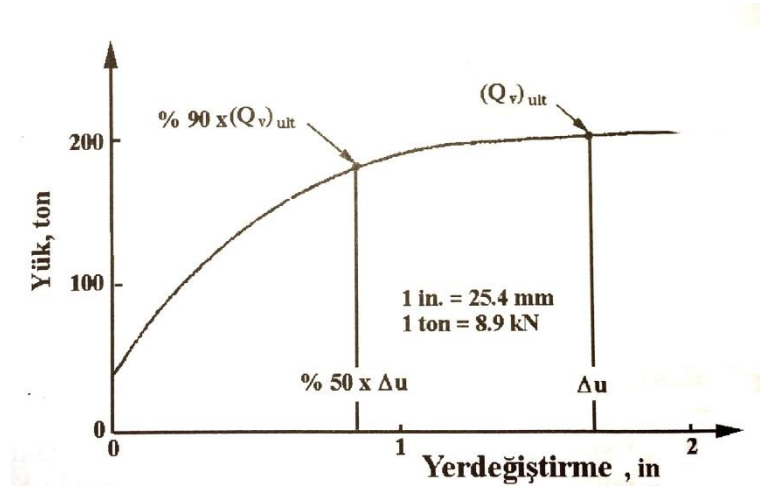
c. De Beer Yöntemi (1967).

Log Q_v -Log Δ eğrisinin başlangıç ve sonuç kesimlerinin uzantılarının kesim noktası göçme yükü olarak tanımlanır. Bu yöntem genellikle SM yüklemesi için önerilmektedir.



Şekil 5.5: De Beer Yöntemi

d. Brinch Hansen %90 Kriteri (1963).



Şekil 5.6: Brinch Hansen %90 Kriteri

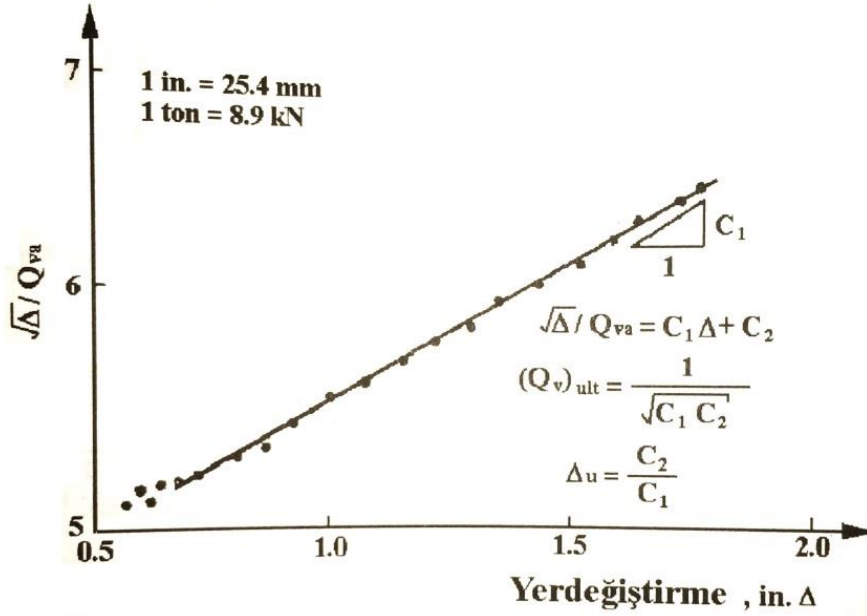
CRP yöntemi ile yükleme için en uygun yöntem olup, göçme yükü, öyle bir değerdir ki bu yükün %90'ına eşit bir yükte kazık başı hareketi göçme yükü olarak tanımlanan yükteki kazık başı hareketinin %50 sine eşittir.

e. Brinch Hansen %80 Kriteri (1963).

$\frac{\sqrt{\Delta}}{Q_v}$ ile Δ arasında oluşturulan eğrinin doğrusallaştığı kesim $\frac{\sqrt{\Delta}}{Q_v} = C_1\Delta + C_2$ ile

gösterilirse göçme yükü $Q_u = \frac{1}{2\sqrt{C_1C_2}}$, göçmede kazık başı hareketi $\Delta = \frac{C_2}{C_1}$ olarak

belirlenir.



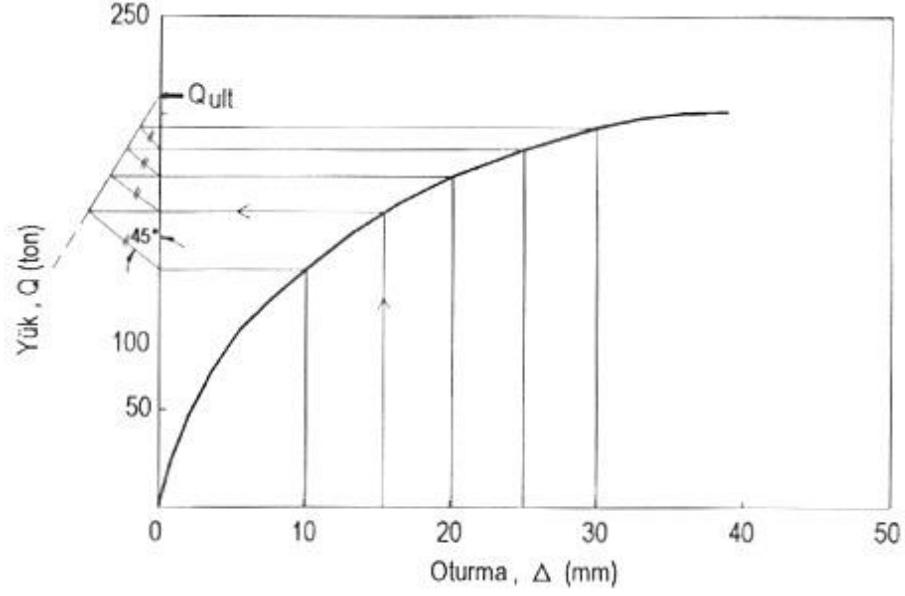
Şekil 5.7: Brinch Hansen %80 Kriteri

Bu yöntem yük-oturma eğrisinin yaklaşık parabolik oluşunu varsaymakta olup hem QM hem SM yükleme yöntemleri için uygulanabilir. Göçme kriteri zımbalama türü göçme ile uyum içerisindedir. Yüklemeden önce hesaplama ve eğri oluşturma olanağı yoktur.

f. Mazurkiewicz Yöntemi (1972).

Bu yöntemde $Q_v - \Delta$ eğrisi çizilir. Daha sonra eşit aralıklarla bölünmüş Δ ekseninden eğri kestirilip yatay çizilir. Bunların ordinatı kestiği yerde 45° açı ile yapan doğrular çizilip bir sonraki yatayla kestirilir. Kesişme noktaları bir doğru üzerinde olup uzantıları ordinatı göçme yükünde keser.

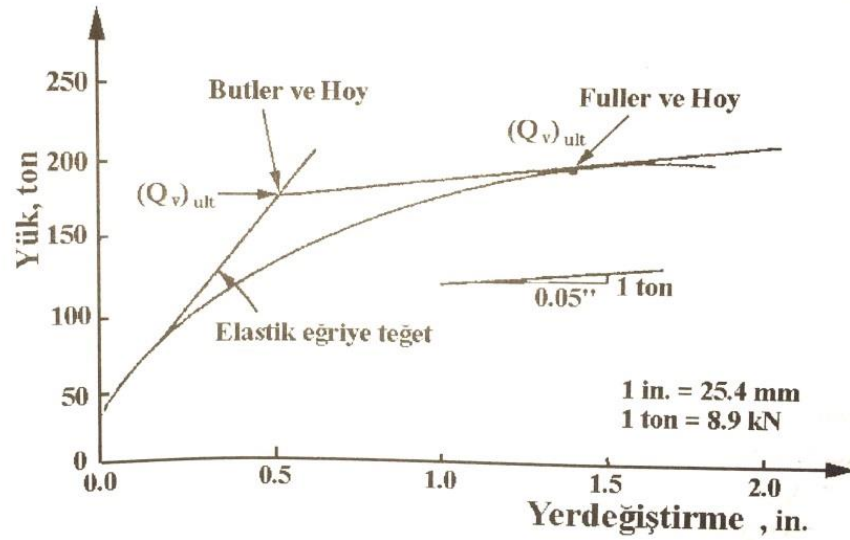
Yöntemde yük-oturma eğrisi parabolik kabul edilmekte, Brinch Hansen %80 kriterine benzer sonuçlar vermektedir.



Şekil 5.8: Mazurkiewich Yöntemi

g. Butler - Hoy (1977) ile Fuller – Hoy (1970) Yöntemi

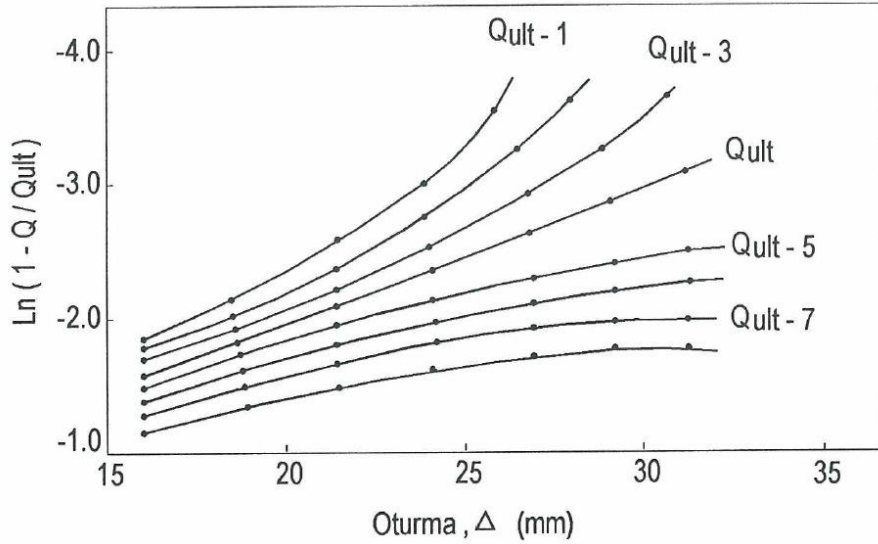
Bu yöntemde de Mazurkiewich yönteminde olduğu gibi $Q_v - \Delta$ eğrisi çizilir. QM yöntemi ile yükleme için uygundur. Butler-Hoy başlangıçta eğri tanjantı ile eğimi ($0.05''/\text{ton}$) olan doğrunun kesim noktası olarak belirlenirken, Fuller-Hoy yönteminde göçme yükü ($0.05''/\text{ton}$) doğrusunun eğriye değdiği yer olarak belirlenmektedir.



Şekil 5.9: Butler-Hoy ve Fuller-Hoy Yöntemi

h. Vander Veen Yöntemi (1953).

Yöntem için Q_u son yükü varsayılır ve $\ln\left(1 - \frac{Q_u}{Q_v}\right)$ değerleri değişik Δ okumalarına karşı hesaplanır. Bu eğrilerden doğru durumuna geleni doğru Q_u anlamına gelecektir.



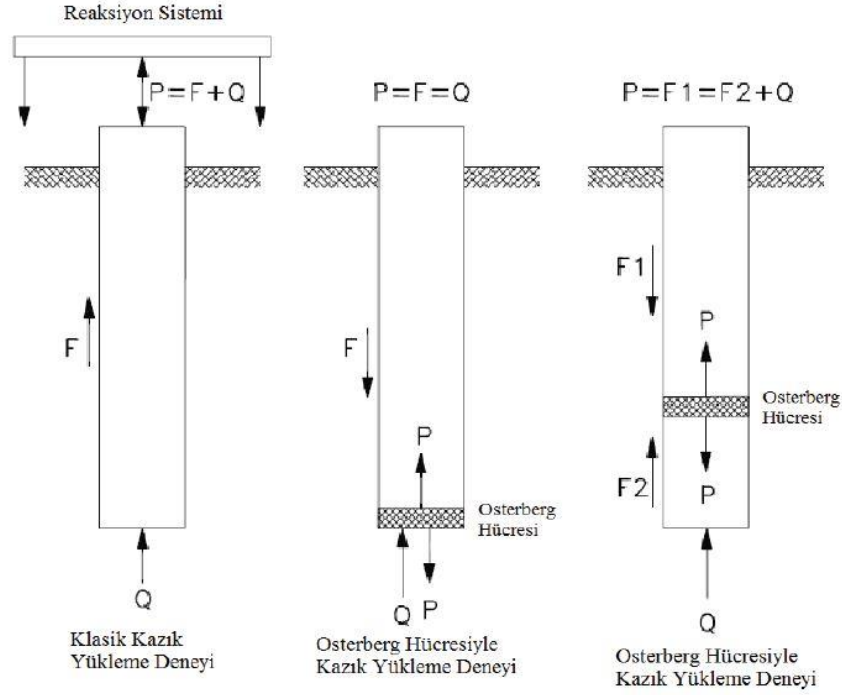
Şekil 5.10: Vander Veen Yöntemi

5.3. Osterberg Hücresi ile Kazık Yükleme Deneyi

Kazık yükleme deneyleri, eksenel yükün kazığa etkilmesi açısından çeşitlilik arz etmektedir. Bilindiği üzere geleneksel eksenel yükleme deneylerinde, kazıklara yükün etkilmesinde reaksiyon kazıklarından, zemin ankrajlarından veya ağırlık sistemlerinden faydalanılmaktadır. Terzaghi ve diğ. (1996), özellikle büyük deney yüklerinde reaksiyon sisteminin ağır olmasının, deney sistemi tasarımının ve kurulmasının ustalıkla yapılmadığı durumlarda güvenlik tehlikesi yaratacağını ifade etmiş; bu dezavantajın dairesel ya da kare en kesitli yer değiştirme kazıklarında kazığın en alt kısmına yerleştirilecek Osterberg yük hücresi ile bertaraf edilebileceğini belirtmiştir.

Schmertmann ve Hayes (1997), genellikle yüksek kapasiteli fore kazıkların, 10MN'u aşan reaksiyon sistemlerinin yüksek maliyeti de dikkate alındığında, konvansiyonel metotlarla yapılan yükleme deneylerinin maliyetini çok yükselttiğini yahut rutin kontroller için imkânsız olduğunu ifade etmişlerdir. O-Cell statik yükleme deneyi yönteminin ise yüksek kapasitedeki deneylerin karşılanabilir maliyetlerle

yapılmasına olanak sağladığını, bu sebeple de fore kazıkların test edilmesinde etkileyici bir alternatif metot olarak öne çıktığını ortaya koymuşlardır. Klasik kazık yükleme deneyinde gerekli reaksiyon yükü ile Osterberg hücresi ile kazık yükleme deneyinde oluşan yükler şematik olarak Şekil 5.11’de verilmektedir.



Şekil 5.11: Osterberg Hücresi ile Kazık Yükleme Deneyi ile Klasik Kazık Yükleme Deneyi Karşılaştırması (England, 2003)

Osterberg yükleme deneyi ya da kısaca Osterberg deneyi genel olarak, kazık donatısı içerisine ya da kazık alt ucuna yerleştirilen hidrolik krika sistemi ile deney kazığının çift-yönlü olarak yüklenmesinden ve yükleme sonucunda oluşan gerilme, yük ve deplasman değerlerinin ölçülmesinden oluşmaktadır.

5.3.1. Osterberg hücresi deney kazığının hazırlanması

Deneyde, öngörülen kapasiteyi sağlayacak yeterli kapasitede Osterberg hücresi, hidrolik hortumlar, bağlantı parçaları, basınç oluşturacak pompa, basınç saati, düşey hareketleri ölçecek elektronik deplasman ölçerler, ekstansometreler ve deformasyon ölçer (strain gauge) kullanılacak başlıca ekipmanlardır. Bunun yanında kaynak makinası, hava kompresörü, işçi, elektrik ve düşey hareketleri ölçecek referans kirişi kuracak yeterli miktarda malzemeye ihtiyaç duyulur (Fellenius, 2001).

Deney kazığının donatı kafesi, projesine uygun olarak yüklenici tarafından donatı hazırlama bölümlerinde hazırlanır. Osterberg hücreleri, deney yüküne göre et kalınlıklarının değişkenlik gösterdiği dairesel çelik plakalar arasına yerleştirilir

Hücreler düzgün ve plakalara tam temas edecek biçimde alt ve üst plakalara kaynaklanır. Oluşturulan Osterberg birleşimi, öngörülen kota denk gelecek şekilde ve donatı kafesinin uzunlamasına yer alan aksını tam dik kesecek biçimde donatı kafesine ya da donatı kafesi parçalarından birine kaynaklanarak sabitlenir.

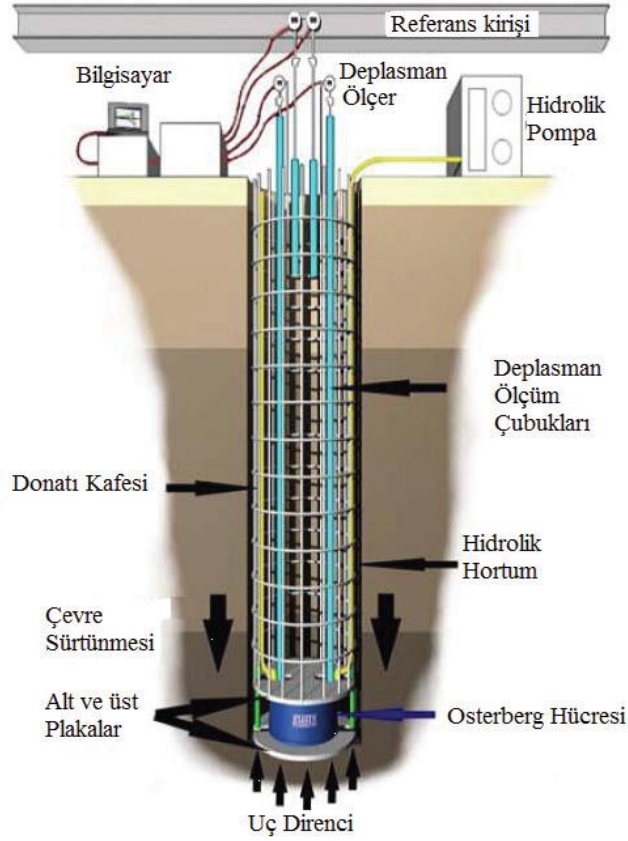


Şekil 5.12: Osterberg Hücresinin Montajı (Zetaş, 2009)

Osterberg hücresi birleşiminin ve donatı kafeslerinin hazırlanmasını takiben, kazık donatısının enstrümantasyonuna geçilir (Şekil 5.14). Bu amaçla düşey hareketleri ölçecek elektronik deplasman ölçerler, ekstansometreler ve deformasyon ölçer (strain gauge) kullanılmaktadır.

Ekstansometreler, Osterberg hücresinin oluşturduğu düzlemin alt ve üst kısmında kalan kazık parçalarının sıkışmasını ve kazık ucunun gerçek yer değiştirmesini ölçmekte kullanılmaktadır.

Strain Gauge (deformasyon ölçer), Osterberg hücresinin altında ya da üstündeki kazık parçalarının şaftında mobilize olan sürtünme direncinin ölçülmesinde kullanılmaktadır. Prensip olarak deformasyon ölçerler, her kademede karşılıklı olacak şekilde tesis edilmektedir.



Şekil 5.13: Osterberg Hücresi ile Kazık Yükleme Deneyi Şeması (England, 2003)

Hazırlanan donatı kafesi parçalarının her birinin, düşey pozisyona getirilmesi için kaldırılması durumunda, işlem sırasında kafesin çarpılmaması ve düz kalması için, bir kaldırma kirişi kullanılmalı veya çok sayıda kaldırma noktası marifetiyle kaldırılmalıdır. Tüm donatı kafesi parçalarının kuyu içerisine indirilmesinden sonra, donatı kafesi, kazığın önceden belirlenen kotta tesis edilebilmesi için askıda tutulmalıdır (Şekil 5.15).

Kazığın betonlanması, tasarım dâhilinde öngörülen yükleri taşıyacak kalite de beton ile tremie boruları kullanılarak gerçekleştirilir. Tremie borusunun boyu, Osterberg hücresinin geçerek kazık alt ucuna kadar ulaşabilmelidir. Tremie borusunun ek bölgesindeki çapının, çelik plakalar üzerinde içinden geçmesi için ayrılan deliklerin çapından küçük olması gereklidir.



Şekil 5.14: Deney Kazığının Enstrümantasyonu (Zetaş, 2009)



Şekil 5.15: Donatı Kafesinin Kuyuya İndirilmesi (Zetaş, 2009)

5.3.2. Test prosedürü ve ölçümler

Yükleme deneyi, kazığın standartlarda verilen veya proje şartnamelerince uygun bulunan minimum basınç mukavemetini kazanmasının ardından gerçekleştirilebilir. Osterberg hücresi ile yapılan statik eksenel yüklemeye deneyi, genel olarak ICE Specification for Piling and Embedded Retaining Walls (ICE, 1996) uyarınca, England ve Fleming (1994) tarafından yapılan öneriler dikkate alınarak yapılmaktadır.

Yüklemeye deneyi hidrolik pompadan krikoya aktarılan basınç ile başlamaktadır. Basıncı ölçmek için kalibre edilmiş basınç saati kullanılır. Deplasman ölçerler yardımıyla referans kirişine göre gerçekleşen hareket ölçülür.

Hidrolik krikolar yardımıyla başlatılan yüklemeye, her iki yönde de etki etmektedir. Kriko üstünde kalan kazık kesimine ait sürtünme direnci ile kriko altında kalan kesime ait sürtünme direnci ve uç direnci birbirlerine karşı çalışmaktadırlar.

Deney, yüklemenin aşamalı olarak test yüküne ya da maksimum O-cell kapasitesine kadar yapılmasını tariflemektedir. Test yükü genel olarak kazık kapasitesinin iki katı alınmaktadır. Her yük kademesinde minimum 10 dakika ya da tariflenen oturma oranı elde edilinceye kadar beklenir.

Boşaltma işlemi ise maksimum deney yüküne ya da maksimum O-cell kapasitesine ulaşıldıktan sonra her birinde yaklaşık 10 dakikalık bekleme süresinin uygulandığı genel olarak 4 eşit kademede yapılmaktadır. Yük tamamen boşaltıldıktan sonra, sıfır yükü en az 1 saat süreyle gözlenmelidir.

Aşağıdaki durumlardan birinin gerçekleşmesi durumunda yük boşaltılır ve deney sonlandırılır:

- Yukarı ya da aşağı yönde deney kazığının maksimum taşıma kapasitesine ulaşması durumunda,
- Hidrolik hücrenin maksimum yüklemeye kapasitesine ulaşması durumunda,
- Hidrolik hücre maksimum uzama/açılma sınırına eriştiği durumda

5.3.3. Osterberg hücresi deneyinin diğer yöntemlerle karşılaştırılması

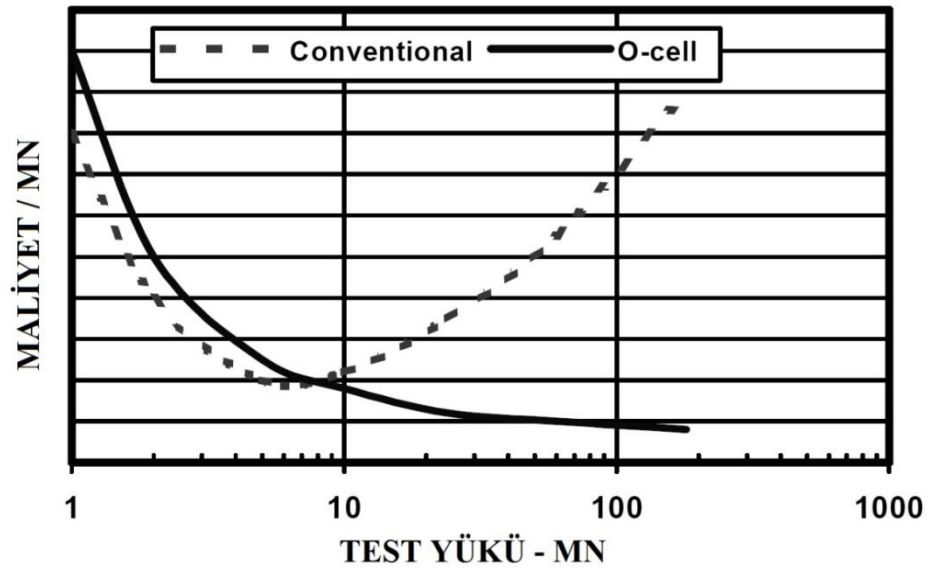
5.3.3.1. Osterberg hücresi ile kazık yükleme testinin avantajları

Osterberg hücresiyle gerçekleştirilen kazık yükleme deneyleri diğer geleneksel yöntemler ile karşılaştırıldığında birçok anlamda O-cell ile yapılan deneylerin üstünlüğünü görülmektedir. Zira kazıkların içten çift-yönlü yüklenmesi; reaksiyon sistemi maliyetini düşürmekte, süre açısından önemli tasarruf sağlamakta ve iş güvenliği konusundaki riskleri en aza indirmektedir. Deneyin statik olarak yapılıyor olması, yükün istenen noktada ve istenildiği süre boyunca sabitlenerek, çevre sürtünmesi ve uç direnci ile ilgili sünme davranışının ayrı ayrı değerlendirilmesini sağlamaktadır (Schmertmann ve Hayes, 1997).

Deney kazığının enstrümantasyonu yardımıyla çevre ve uç dirençleri ayrı ayrı elde edilebilmekte ve seçilen imalat yönteminin söz konusu iki parametreyi ne ölçüde etkilediği değerlendirilebilmektedir (Schmertmann ve Hayes, 1997). Geleneksel yöntemlere göre Osterbeg hücresi ile gerçekleştirilen kazık yükleme testlerinin avantajları aşağıda verilmektedir (Dinç, 2010):

- Geleneksel yöntemlerle gerçekleştirilen statik yükleme testlerinde yük, kazığa üstten uygulanmaktadır. Bu yöntemlerle yapılan yükleme deneylerinde deney yükünün 10 – 20MN mertebelerine çıkması halinde, yük sisteminin oluşturulması ciddi bir uygulama problemi ortaya çıkarmaktadır. Buna karşın Osterberg hücresi kullanılarak yapılan yükleme deneylerinde deney kazığı bir anlamda kendi uç ve çevre sürtünmesinden reaksiyon olarak yüklenmektedir. Bu durum, kazığın nihai taşıma kapasitesine yakın reaksiyon dirençleri elde edilmesini sağlamaktadır.
- Kayaya soketli kazıklarda gerçekleştirilen geleneksel yükleme deneylerinde, yükün soket bölgesine efektif olarak etkiyip etkmediğinin tayini, çevre sürtünmesinin değerlendirmesinin zor olması açısından, oldukça güçtür. Kaya ortamda Osterberg hücresi ile yapılan deneylerin bu noktada sağladığı iki önemli avantaj vardır. Bunlardan birincisi, kazık shaftında mobilize olan çevre sürtünmesi değerinin, strain gauge okumaları ile tespit edilebilmesi, ikincisi ise Osterberg hücresinin kaya soketi bölgesine yerleştirilerek doğrudan soket bölgesinin yüklenebilmesidir. Bu sayede istenen bölgedeki yük dağılımı kolaylıkla elde edilebilmektedir.

- Osterberg deneyinin, tük kazık içerisinde uygulandığı için, zemin üzerinde herhangi bir reaksiyon sisteminin teşkil edilmesi gerekmemektedir. Bu sebeple, özellikle yüksek kapasiteli deneylerde, reaksiyon sisteminin oluşturduğu iş güvenliği riskleri önlenabilmektedir.
- Konveksiyonel kazık yükleme deneylerinde çalışma alanı, deney yüküne ve seçilen reaksiyon sistemine bağlı olarak şekillenmektedir. ASTM D 1143-07’de ankraj kazıklarının, deney kazığına olan temiz açıklığının en büyük kazık çapının (deney kazığı ya da ankraj kazığı) beş katı veya en az 2.0m olması gerektiği ifade edilmektedir. Bu da belli bir analının test için ayrılması anlamına gelmektedir. Osterberg hücresi ile yapılan deneylerde ise, kazığın reaksiyon sistemi olmadan yükleniyor olması çok kısıtlı alanlarda bile deneyin rahatlıkla uygulanabileceğini göstermektedir.
- Geleneksel yöntemler ile Osterberg hücresi yönteminin deney maliyeti açısından karşılaştırılması England (2003) tarafından gerçekleştirilmiş ve aşağıda Şekil 5.16’da sunulmuştur.



Şekil 5.16: Geleneksel Deneyler ile Osterberg Deneyinin Maliyet Açısından Karşılaştırılması (England, 2003)

Şekilden görüldüğü üzere gerek özellikle 10MN'un üzerindeki deney yüklerinin kullanımında O-cell tercih edilmesi daha ekonomik olmaktadır.

5.3.3.2. Osterberg hücresi ile kazık yükleme testinin dezavantajları

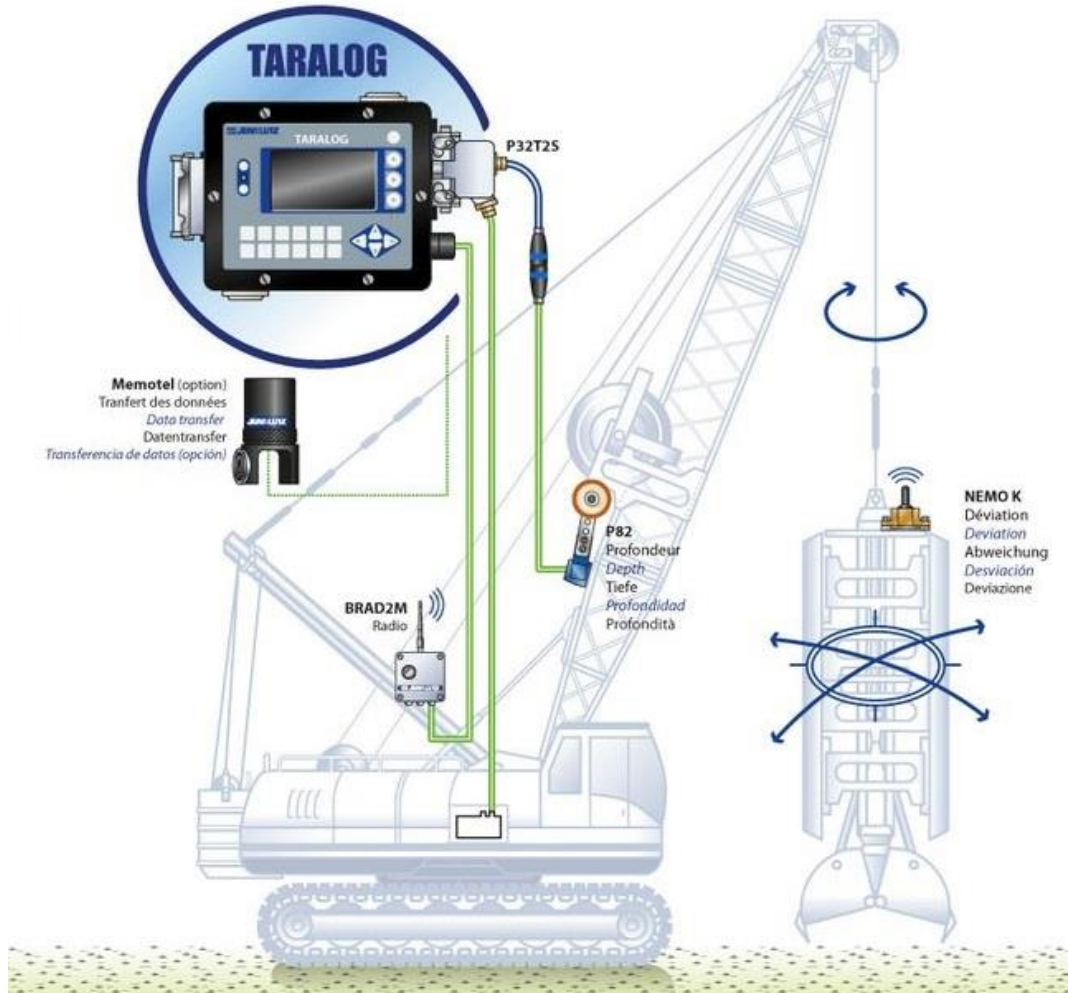
Osterberg hücresi ile gerçekleştirilen kazık yükleme deneylerinin avantajlarının yanında, metot beraberinde birtakım sınırlamaları da getirmektedir. Bu dezavantajlar aşağıda maddeler halinde verilmektedir (Dinç, 2010).

- Deney yükünün kazık içerisinden çift yönlü olarak verilmesi, yük hücrelerine erişimi imkânsız kılmaktadır. Bunun sonucu olarak da deney yükünün yeniden değerlendirilerek artırılması mümkün olmamaktadır.
- Test kazığının deneyden önce belirlenmiş olması nedeniyle proje alanında daha önceden imal edilmiş kazıklar üzerinde test gerçekleştirilememektedir.
- Hücrelere erişimin mümkün olmaması, yerleştirme işleminin ve O-cell kotunun revizyonunu önlemektedir. Sonuç olarak; uç direnci ya da çevre sürtünmesinin nihai seviyeye ulaşması, deney yüküne ulaşmadan bitmesi sorununu ortaya çıkarabilmektedir. Bu nedenle, Osterberg deneyinden en efektif biçimde faydalanabilmek için deneyin yapılacağı saha koşullarının ve zemin profilinin detaylı olarak incelenmesi ve parametre seçiminin dikkatle yapılması gerekmektedir.
- Deneyde kazığın enstrümantasyonu ve söz konusu enstrümanların düzgün biçimde çalışması büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle gerek O-cell birleşiminin ve enstrümanların, gerekse tamamlanmış haldeki deney kazığının kaldırılması, taşınması, yerleştirilmesi işlemleri dikkatli bir şekilde yapılmalıdır. Kazığın enstrümantasyonu için harcanan süresel – mali kayıplar ve yükleme hücresinin feda edilen bir aygıt oluşu da birer dezavantaj olarak değerlendirilebilir.
- Deney bazı kazık türlerinde tam verimli olarak gerçekleştirilememekte, bazı kazık tiplerinde ise hiç yapılamamaktadır. Çelik profillerden oluşturulan kazıklarda O-cell uygulaması yapılamazken, ahşap kazıklarda ise hücrenin yerleştirilmesi zor olmaktadır. (Schmertmann ve Hayes, 1997)

5.4. Baret Kazık İmalatına Yönelik Alternatif Aletsel Gözlem Çalışmaları

5.4.1. Grab ve hidrofrezelere (Cutter) yönelik aletsel gözlem

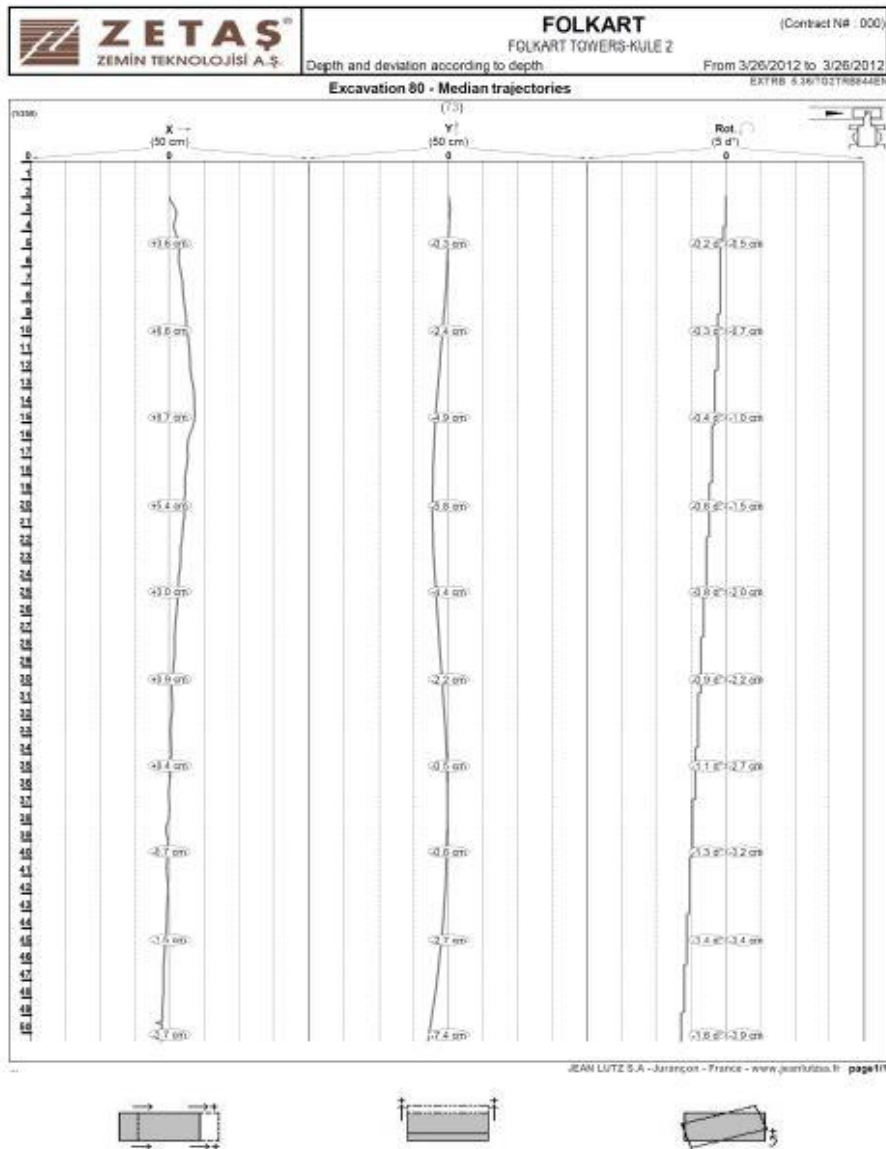
Baret kazıkların düz bir doğrultu boyunca, minimum sapma ile imal edilmesi büyük önem taşımaktadır. Kazı sırasında grab ve hidrofrezelerin x-x, y-y eksenlerinde oluşacak sapmaların ve z ekseninde oluşabilecek dönme hareketinin belirlenmesine ve olası sapma durumunda delgi ekseninin düzeltilmesine yönelik aletsel gözlem çalışmaları yapılmaktadır. Bu amaca yönelik “Taralog Recorder” (Jean Lutz SA, 2012), olarak tanımlanan özel ekipmanlar grab ve hidrofrezelere monte edilerek kullanılmaktadır (Koçak ve diğ., 2012).



Şekil 5.17: Taralog Kurulum Şeması

Taralog cihazı genel olarak dört ana bölümden oluşmaktadır. Bunlar Taralog okuma birimi, kablosuz iletişim vericisi, derinlik göstergesi ve grab/hidrofrezenin üzerine yerleştirilen kablosuz jiroskoptur. Baret kazısı boyunca kablosuz jiroskop birimi x-y

eksenlerinde oluşan sapmaları (baretin kısa ve uzun kenarları) ve z ekseninin meydana gelen dönmeleri sürekli olarak kayıt eder. Ölçülen bu data lar kablo ile Taralog kayıt ünitesine bağlı olan radyo birimine aktarılır. Taralog kayıt birimi derinlik göstergesinden ve jiroskoptan gelen data ları kombine ederek grab/hydrofreze de derinlikle oluşan sapma ve dönmeleri grafik olarak gösterir. Makine operatörü imalatla eş zamanlı olarak elde edeceği veriler ile grab/hydrofreze düşeyliliğini sağlayarak gerekli önlemleri alabilmektedir. Taralog cihazının kurulumu şematik olarak Şekil 5.17’de, örnek bir uygulama çıktısı da Şekil 5.18’de verilmektedir.



Şekil 5.18: Taralog Çıktısı (Zetaş, 2012)

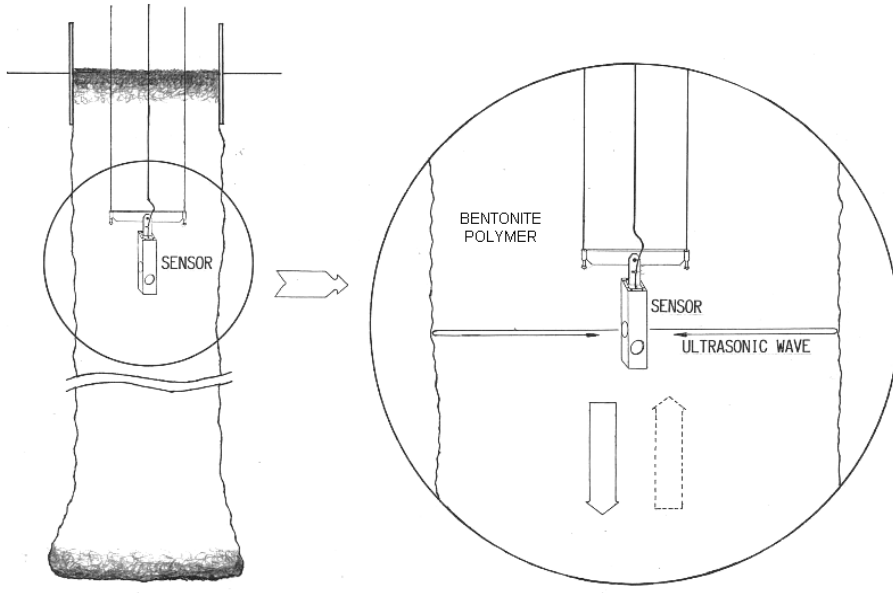
5.4.2. Ultrasonic Caliper Logging testi

İmalatı gerçekleştirilen baret kazıklarda kalite ve imalat tekniğinin kontrolüne yönelik Ultrasonic Caliper Logging deneyi gerçekleştirilmektedir. Deneyin esası forajı tamamlanan kuyuya indirilen sonic sensörden yayılan ultrasonic ekolar sayesinde tüm kuyu boyunca, kuyu profilinin (en, boy, genişlik, düşeyden sapma) çıkarılmasına dayanmaktadır. Test cihazına ilişkin örnek resim (Koden DM-604) 'de verilmektedir.



Şekil 5.19: Ultrasonic Caliper Logging Test Ekipmanı (Koden, 2008)

Uygulama aşamasında ilk olarak forajı tamamlanmış olan kuyuya cihaz sensörü (vinç ünitesi ile beraber) ortalanarak yerleştirilir ve sıfır okuması alınır. Sıfır okumasını takiben dakikada 15000 eko dalgası gönderen/alan ultrasonic sensör ünitesi 12m/dakika hız ile kuyu içerisine indirilir ve her iki doğrultuda (x-x' ve y-y') eş zamanlı olarak kuyu profili çıkarılır. Okuma sonrasında data-logger cihazından kuyu profilinin çıktısı alınır ve bu grafik üzerinden minimum en, boy, düşey sapma, kuyu sonu derinliği belirlenmektedir. Kuyu ve sensör ünitesine ilişkin temsili resim Şekil 5.20'de gösterilmiştir.



Şekil 5.20: Ultrasonic Sensör Ünitesi ve Kuyu Okumasının Alınması

6. OSTERBERG DENEYİNİN SONLU ELEMANLAR METHODU İLE ANALİZİ, PLAXIS 3D FOUNDATION

Tez çalışması kapsamında vaka analizi bölümünde gerçekleştirilen Osterberg deneyi, sonlu elemanlar metodu ile analiz edilmiş ve elde edilen sonuçlar arazi ve teorik hesaplar ile karşılaştırılmıştır. Analizler “Plaxis 3D Foundation” programı ile gerçekleştirilmiştir. Bu kısımda analizlerde kullanılan programa yönelik genel tanımlar yapılmış olup, Osterberg hücresi ile kazık yükleme deneyinin sonlu elemanlar metodu ile analizine yönelik detaylar vaka analiz bölümünde verilmektedir.

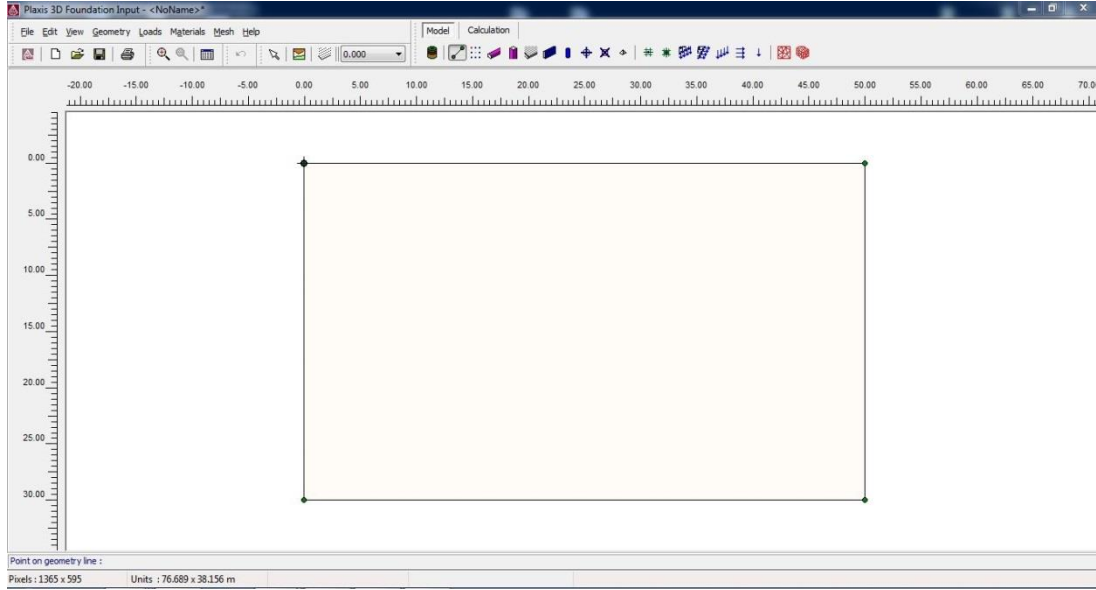
6.1. Plaxis 3D Foundation

Temel yapılarının üç boyutlu deformasyon analizi için tasarlanmış Plaxis 3D Foundation, sonlu elemanlar yöntemi tabanlı bir bilgisayar programıdır. Üst yapı ve zemin arasındaki etkileşimi temeller oluşturmaktadır. Oturmalar ise bölgesel zemin koşulları ve inşaat yöntemlerine bağlı olarak meydana gelmektedir. Özellikle kazıklı temeller için üst yapıdan gelen yükleri karşılamak için kazık, radye ve zemin arasında karşılıklı etkileşim vardır. Bu karşılıklı etkileşimde deformasyonlar önemli olmaktadır. Bu tür bir durum sadece, zemin davranışını ve zemin yapı etkileşiminin benzerini sağlamak üzere uygun modellerin birleştirildiği üç boyutlu sonlu elemanlar yöntemi aracılığıyla etkili bir şekilde analiz edilebilir ve böyle problemler için Plaxis 3D Foundation yaygın olarak kullanılmaktadır. Plaxis 3D Foundation, derin ve yüzeysel temeller ile istinat yapılarını kapsayan temel inşaatlarının analizi için geliştirilmiştir ve geoteknik mühendislik tasarımına yönelik tüm dünyada kullanılan Plaxis grubunun bir parçasıdır (Plaxis 3D Foundation, 2007).

6.1.1. Geometrik Model

Her bir yeni üç boyutlu modellerin analiz edilmesi için, ilk olarak geometri modeli yaratılmaktadır. Geometrik model gerçek üç boyutlu problemin açıklaması olup düzlemleri ve sondaj kuyularıyla tanımlanır. Geometrik model zeminin farklı cinsteki tabakaları, yapısal nesneleri, inşaat aşamalarını ve yükleme bölümlerini

kapsamaktadır. Model, sınırların çalışılan problemlerin sonucunu etkilemeyecek şekilde belirlenmelidir. Program ana menüsü Şekil 6.1’de ve geometrik modelin oluşturulmasında kullanılan komutlar aşağıda verilmektedir.



Şekil 6.1: Plaxis 3D Foundation Programının Ana Menüsü

6.1.1.1. Borehole (Sondaj Kuyuları)

Zemin yüzeyini, tabakaları ve yeraltı su seviyesini belli bir konumda tanımlayan geometri modelindeki unsurlardır. İnceleme alanında gerçekleştirilen tüm sondaj kuyularının tanımlanması projenin daha sağlıklı modellenmesi ve gerçek zemine yaklaşılması bakımından önemlidir ve önerilmektedir. 3D modelde sonlu elemanlara bölünerek oluşturan meshlerde bu sondaj kuyuları daha doğrusu zemin tabakalanması önemli olmaktadır. Oluşturulan meshler zemin tabakaları arasındaki sınırlar ile elementlerin sınırlarıyla çıkışacak şekilde üretilmektedir. Borehole menüsünün genel görünümü aşağıda Şekil 6.2’de verilmektedir.

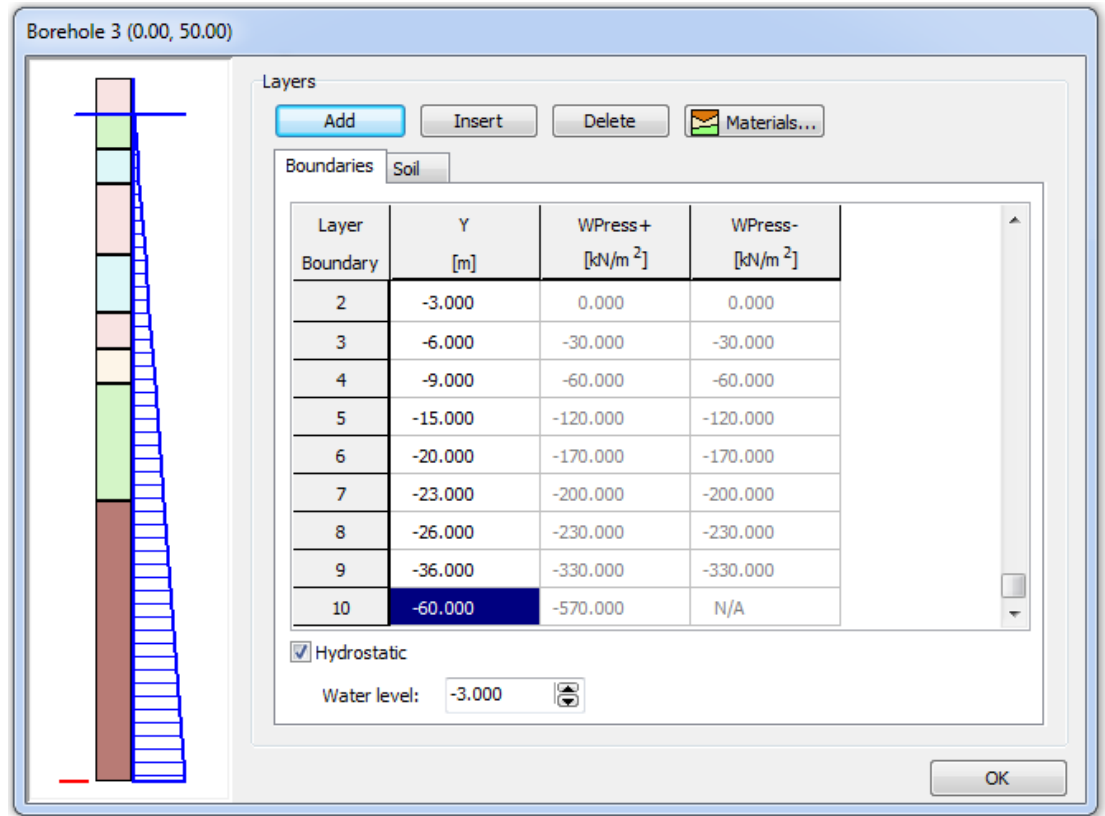
6.1.1.2. Work plane (Çalışma düzlemleri)

Geometrik modelin tasarlanan düşey kotlardaki üst görünüşünü farklı y koordinatlarıyla gösteren yatay düzlemlerdir. Modeldeki yükleri ve yapıları oluşturmak için kullanılmaktadır. Her bir çalışma düzlemi aynı geometri çizgilerini taşır fakat y koordinatlarının inputlarıyla gösterilen çalışma düzlemleri arasındaki uzaklık değişebilir. Noktasal yükler, çizgisel yükler, yayılı yükler veya yapısal elemanları harekete geçirmek veya etkinliğini gidermek için kullanılabilir. Çalışma

düzlemleriyle 2D geometri modelini anlatmak için noktalar çizgiler kümeler kullanılmaktadır.

6.1.1.3. Points (Noktalar)

Çizgileri başlangıcı ve sonunu meydana getirir. Aynı zamanda yayların veya noktasal güçlerin konumlandırılması ve sonlu elemanların meshin yerel bölümleri için kullanılabilir.



Şekil 6.2: Borehole Menüsü

6.1.1.4. Lines (Çizgiler)

Geometrinin fiziksel sınırlarını, yapıların dış hatlarını ve geometrideki duvarlar, kazık veya kazı alanları gibi süreksizlikleri tanımlama için kullanılmaktadır. Kullanıcılara veya modele göre çizgilerin birçok fonksiyonu veya özellikleri olabilir.

6.1.1.5. Clusters (Kümeler)

Çizgilerle çevrelenmiş alanlardır. Program otomatik olarak geometri çizgilerinin inputuna dayalı olan kümeleri tanımlar ve oluşan kümeler homojeniktir. Bu nedenle clusterlar yapının ve zemin tabakalarının homojenik parçaları olarak nitelendirilebilir.

Planda iki boyutlu geometri modelinin oluşturulmasından ardından, 6 noktalı üçgenlerden oluşan iki boyutlu sonlu eleman ağı, kümelerdeki ve geometri modelindeki çizgilerinin birleşimine dayalı olarak otomatik olarak üretilir. Eğer iki boyutlu ağ yeterliyse üçüncü boyuta geçilebilir. Üç boyutlu sonlu ağda ise elemanlar, düğüm noktaları ve gerilme noktaları olmak üzere 3 çeşit unsur vardır.

Elemanlar ağın üretimi boyunca geometri 15 nokta bulunduran parçalara ayrılır. Bu elemanlar 8 nokta bulunduran dörtgen yüzlerden ve 6 nokta bulunduran üçgen yüzlerden oluşmaktadır. Genellikle zemini, birbiriyle uyum içinde olan hacim elemanları, yapısal davranışı ve zemin-yapı etkileşimini sırasıyla biçimlendirmek için muhtemelen üretilebilir.

Nodes, “düğüm noktası” 3D Foundation programında kullanılan zeminin hacimsel elemanlar olarak gösterilmesine yarayan kavramlardır. Çok yakın elemanlar ya da başka deyişle komşu elemanlar nodes’larıyla birbirine bağlıdır. Nodes’lar gerilme-şekil değiştirme eğrilerinin sağlanması için önceden seçilebilir.

Gerilmeler ise yer değişmelere zıt olarak Gaussion integrasyon noktalarında hesaplanmalıdır. 15 nodes içeren eleman 6 gerilme noktası içerir. Gerilme noktaları gerilme-sekil değiştirme grafiklerinin oluşturulması için önceden seçilebilir.

6.1.2. Input-Output ve Calculations

Input bölümünde ilk olarak yapılması gereken modelin x-z düzleminde çizgisel elemanlar ile modeli sınırlarını belirlemektir. Daha sonra düşey seviyelerdeki düğüm noktaları, çizgileri ve özellikle yapıların ve yüklerin tanımlanmasına yardımcı olmak amacıyla workplanes kullanılmaktadır. Burada zemin tabakaları tanımlanır. Daha sonra modelde kullanılacak olan yapısal elemanlar; kazıklar, kirişler, temeller, ankrajlar farklı komutlar yardımıyla modellenir. Bu komutlar altında yapı elemanı ile zemin etkileşimini hesaba katmak amacıyla ara yüzey elemanları tarif edilebilir. Program oluşturulan modelin sınır koşullarını otomatik olarak kendisi oluşturur. Model alt sınır olarak x,y ve z yönlerinde tutu, düşey olarak da x ve z yönünde tutuludur. Bu sınır koşullarına müdahale edilmek istendiğinde çizgisel sınır koşulu komutu ile yapılabilir. Bu işlemlerin akabinde zemine ve yapısal modelin malzemesinin tanımlanmasına sıra gelmiştir. Zemini oluşturmak için sondaj kuyuları tanımlanır. İstenildiği kadar sondaj kuyusu tanımlanabilir ve ne kadar çok sondaj kuyusu tanımlanırsa sistem aslına o kadar uygun olur. Sondaj kuyusunda sadece

zemin tabakaları değil su seviyesi de tanımlanabilir. Yapısal malzemelerin tanımlanması ise Material bölümünden yapılmakta olup, menüsü aşağıda verilmektedir (Afacan, 2007).

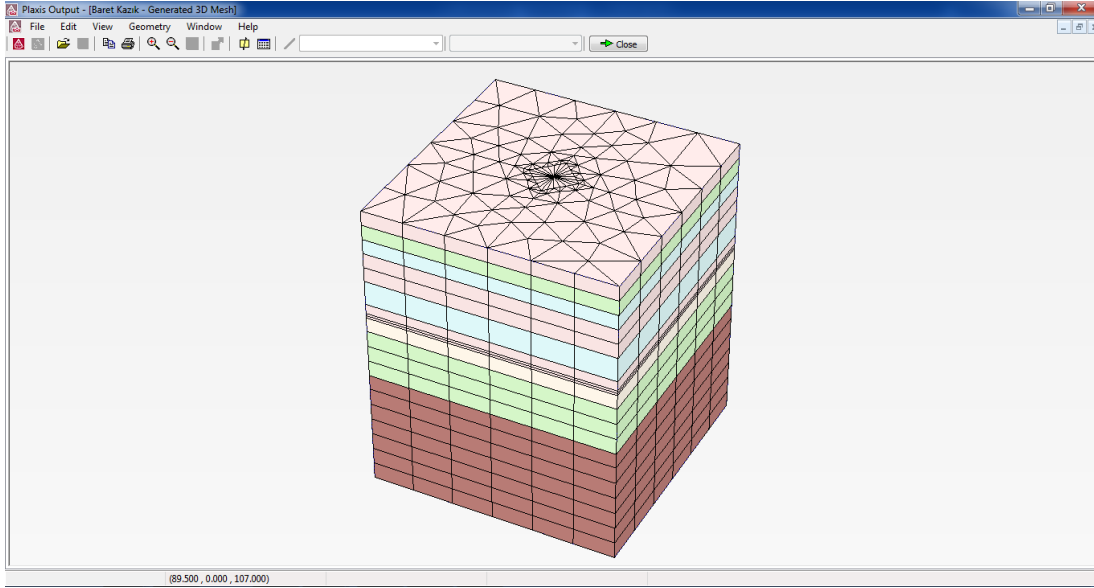
The image shows a software dialog box titled "Mohr-Coulomb - Sand". It has three tabs: "General", "Parameters", and "Interfaces". The "General" tab is selected. Inside the "General" tab, there are four main sections: "Material Set", "General properties", "Comments", and "Permeability".
- "Material Set" section: "Identification" is set to "Sand", "Material model" is set to "Mohr-Coulomb", and "Material type" is set to "Drained".
- "General properties" section: "γ_{unsat}" is 17.000 kN/m³ and "γ_{sat}" is 19.000 kN/m³.
- "Comments" section: A large empty text box for user comments.
- "Permeability" section: "k_x", "k_y", and "k_z" are all set to 0.000 m/day.
At the bottom right of the "Permeability" section is an "Advanced..." button. At the very bottom of the dialog are "Next", "OK", and "Cancel" buttons.

Şekil 6.3: Material Menüsü

Zemin özellikleri lineer-elastik, Mohr-Coulomb ve elastoplastik malzeme modellerinden birisi seçilerek atanmaktadır. Modeller içerisinde Mohr-Coulomb modeli geoteknik problemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu modelde elastisite modülü, poisson oranı, içsel sürtünme açısı, kohezyon, genişleme açısı, zeminin kuru ve doğal birim hacim ağırlıkları, permabilite katsayıları ve ara yüzey elemanlar tanımlanmaktadır.

Zemin ve yapısal elemanların tanımlanmasının ardından yükler tanımlanmaktadır. Modelde uygulanacak yükler tanımlanırken yatay düşey yönde tekil ve yayılı yüklerden hangisi uygulanacaksa o yük seçilir. Yüklerin tanımlanmasıyla model tamamlanmış olur. Bu aşamadan sonra analize başlamadan önce sonlu elemanlar ağı oluşturulmalıdır. Öncelikle 2 boyutlu sonlu elemanlar ağı oluşturulur. Bunun için Generate 2D mesh komutu kullanılır. İstenildiği takdirde tüm zemin ortamı veya incelenmek istenilen bölge daha fazla parçalara daha doğrusu sonlu elemanlara

bölünebilir. Daha sonra üç boyutlu sonlu elemanlar ağı oluşturulur. Bunun için Generate 3D mesh komutu kullanılır (Şekil 6.4).



Şekil 6.4: 3D Sonlu Elemanlar Ağı Oluşturulması

Giriş kısmında model için yapılması gereken işlemler tamamlanmıştır. Bu aşamadan sonra analiz yani calculations kısmına geçilir. Hesaplama kısmına geçildiğinde model ilk olarak kendi ağırlığında yüklenmelidir. Bu aşamadan sonra model tanımlanır ve yapımı tamamlanır.

Örnek olarak bir kazık modellemesinde, kazık zemin malzemesinden çıkarılır ve beton malzemesi olarak tanımlanır. Yapım ve kazık aşamaları, var olan zeminin kazık yapısı ile değiştirilmesi demektir. Böylelikle kazık tanımlanmış olur. Sonra da yükler kademe kademe yüklenir. Belli bir oturmaya ya da göçmeye kadar yüklenir. Yüklerin uygulanması veya yer altı su seviyesinin değişmesi gibi durumlar elemanların işaretlenmesi veya kaldırılması ile problem tanımlanır.

Output bölümü yardımı ile zemin ve yapısal elemanların herhangi bir hesaplama kademesindeki deformasyonlar ve gerilme, yapısal elemanlar için moment, kesme kuvvetleri hem şekil hem de tablo şeklinde gösterilmektedir. Zemin tabakalarının herhangi birinden kesit alınabilir deplasmanlar şekilsel veya renklerle ifade edilen halkalarla görülebilir. Ayrıca zeminin veya yapısal elemanın herhangi bir noktasında istenilen grafikler Curve komutu yardımıyla çizilebilmektedir.

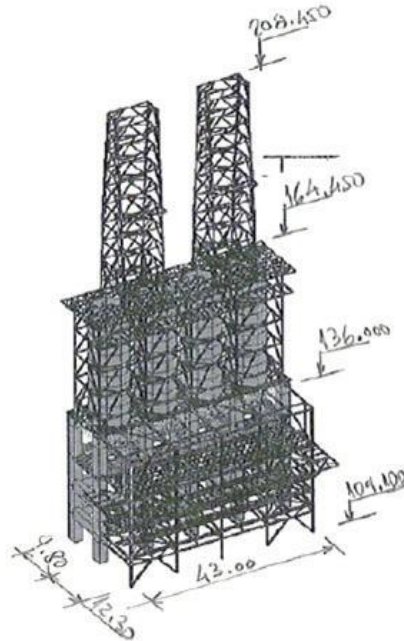
7. VAKA ANALİZİ–TÜPRAŞ FUEL OİL DÖNÜŞÜM (RESID UPGRATING) PROJESİ COKE DRUM YAPISI

TÜPRAŞ tarafından gerçekleştirilecek Fuel Oil Dönüşüm Projesi ile ülkemizde ve bölgemizde üretim fazlası bulunan fuel oil ve diğer dip ürünler, başta motorin olmak üzere ülkemizin gereksinimi olan ürünlere dönüştürülmesi planlanmaktadır.

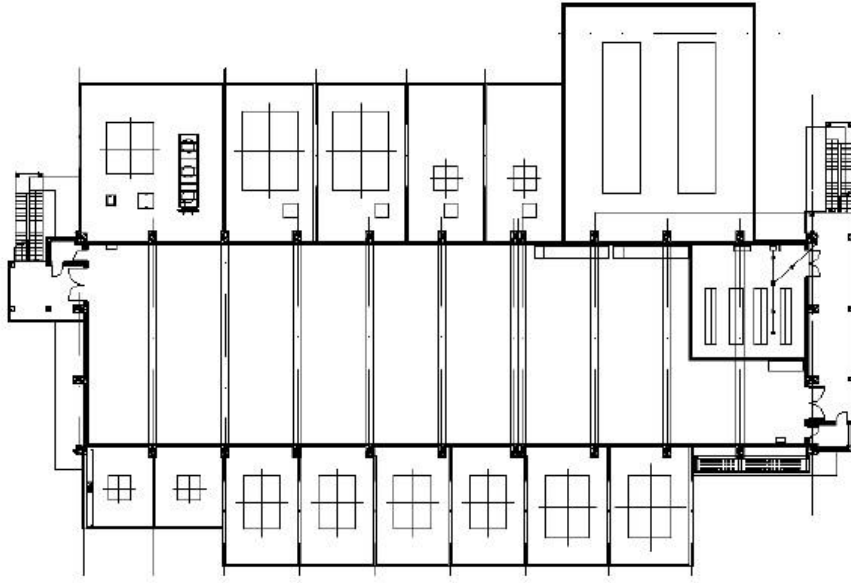
Bu bölümde proje kapsamında inşası planlanan Coke Drum yapısına yönelik gerçekleştirilen zemin etüd çalışmaları detaylı olarak sunularak, arazi deneylerinden elde edilen veriler doğrultusunda fore ve baret kazık kapasiteleri hesaplanmıştır. Planlanan baret kazık sistemine yönelik gerçekleştirilen Osterberg hücresi ile kazık yükleme deneyi incelenmiş ve deney kazığının “Plaxis 3D Foundation” sonlu elemanlar programı ile performansı değerlendirilmiştir.

7.1. Proje Bilgileri

İnşası planlanan Coke Drum yapısı ve vaziyet planı aşağıda Şekil 7.1 ve Şekil 7.2’de verilmektedir. Şekillerden de görüleceği üzere yapı iki kısımdan oluşmaktadır. İlk kısım betonarme olarak imal edilecek, yüksek yapı yükleri taşıyacak ve boyu 208.45m olacaktır. Diğer kısım ise çelik olarak imal edilecek ve 136.00m yüksekliğe ulaşacaktır.



Şekil 7.1: Coke Drum Yapısı



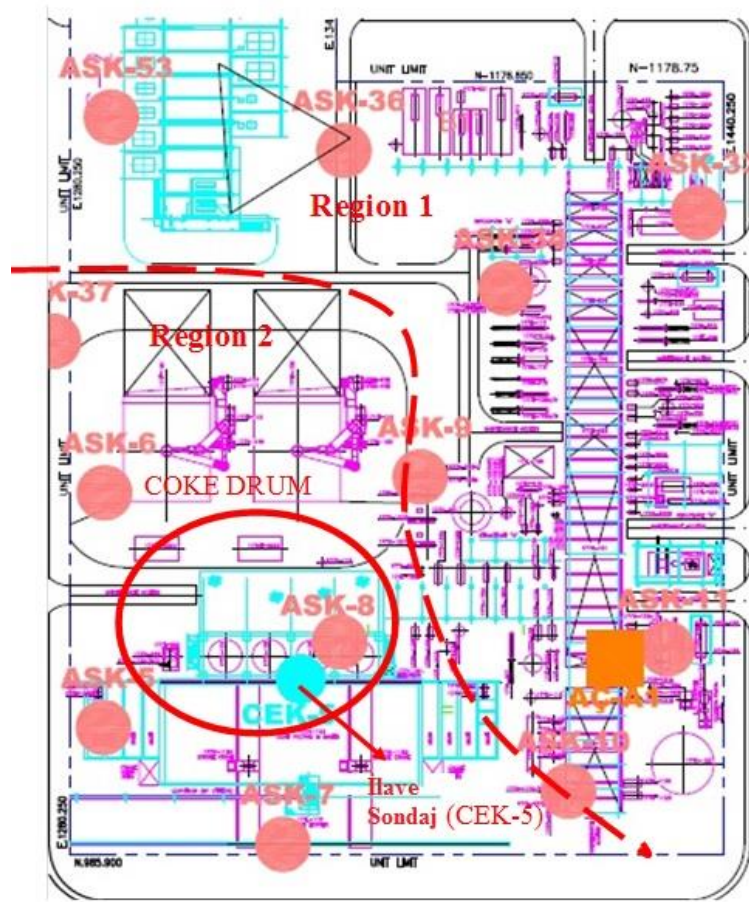
Şekil 7.2: Coke Drum Vaziyet Planı

7.2. Arazi Araştırmaları ve Deneyler

Proje sahası “Coker Unit” birimi içerisinde yer almakta olup, bu alan için zemin etüdü ve temel mühendisliği değerlendirmeleri raporu 28.09.2010 tarihinde hazırlanmıştır. İnşa edilecek Coke Drum yapısının özellikleri dikkate alınarak daha önce gerçekleştirilen etüdlere ilave olarak 20.10.2011 tarihinde 50.0m derinliğinde CEK-5 sondajı ve arazi deneyleri gerçekleştirilmiştir. Proje sahasında gerçekleştirilen sondaj çalışmaları özet tablosu Çizelge 7.1’de, sondaj konumlarını gösteren vaziyet planı ise aşağıda Şekil 7.3’de belirtilmektedir. İnceleme alanı sondaj logları Ek A’da verilmektedir.

Çizelge 7.1: Sondaj Özet Tablosu

Sondaj No	Derinlik (m)	Kot (m)	Koordinatlar		Başlangıç Tarihi	Bitiş Tarihi	Y.A.S.S. Derinlik (m)	Y.A.S.S. Kot (m)
			X	Y				
ASK-5	26.00	107.29	1288.490	1016.720	29.05.2008	30.05.2008	3.0	104.29
ASK-6	26.00	107.88	1288.740	1074.680	29.05.2008	30.05.2008	2.5	105.38
ASK-7	26.00	107.08	1332.380	987.910	01.06.2008	01.06.2008	3.0	104.08
ASK-8	26.00	107.29	1342.190	1034.650	31.05.2008	31.05.2008	2.8	104.49
ASK-9	26.00	107.58	1364.950	1076.590	31.05.2008	31.05.2008	2.7	104.88
ASK-10	26.00	107.25	1402.250	1001.060	01.06.2008	01.06.2008	2.8	104.45
ASK-37	26.00	108.89	1276.210	1112.110	24.06.2008	25.06.2008	3.5	105.39
CEK-5	50.00	107.57	1336.720	1029.260	01.07.2011	07.07.2011	3.1	104.47



Şekil 7.3: Coker Unit Sondaj Lokasyonları ve Coke Drum İlave Sondaj Lokasyonu (CEK-5)

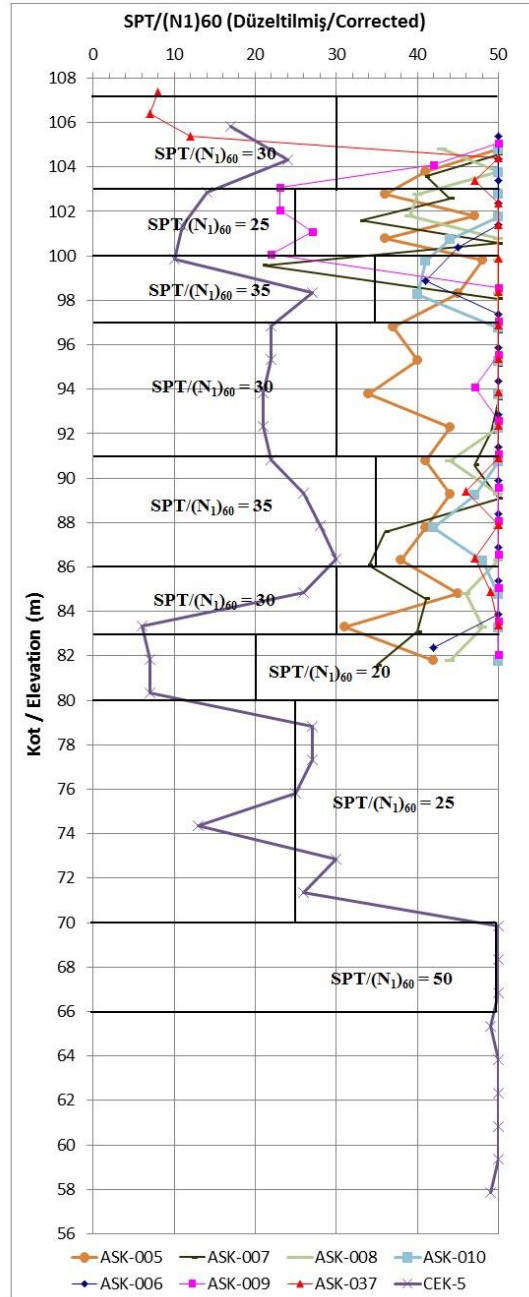
SPT Deneyleri

Zemin koşullarına bağlı olarak, otomatik sistem kullanılarak sistematik 1.5 m ara ile ASTM D-1586 uyarınca Standart Penetrasyon deneyleri gerçekleştirilerek SPT/N darbe sayıları belirlenmiş olup temsili ve örselenmemiş zemin numuneleri alınmıştır. Kullanılan yarık tüplü numune alıcısının ilk 152mm'lik (6 inç) ilerleyişini sağlayan darbe sayısı numune alıcısının örselenmemiş zemin içerisinde olmasını sağlamak amacıyla ihmal edilmiştir. Refü kriteri ise her 15cm'lik ilerleme için 50 darbe sayısının gerçekleşmesi ya da toplam 45cm ilerleme için 100 darbenin gerçekleşmesi durumu için tariflenmiştir.

Standart Penetrasyon deneyinde kullanılan ekipmanın ve yöntemlerin darbe sayıları üzerindeki etkileri çeşitli yazarlar tarafından uzun araştırmalara konu olmuştur (Skempton, 1986). Standart Penetrasyon deneyinde kullanılan yarık tüplü numune alıcısına iletilen toplam teorik enerji, başka bir deyişle enerji oranı, deneyde kullanılan şahmerdan tipi, düşürme ekipmanı, operatörün deneyimi, kedi başının

boyutu ve çapı, kullanılan halatın çapı, ve kedibaşı etrafındaki sarım sayısı, sondaj çapı, tij boyu, tij çapı, tij eklemlerinin sıklığı, halatın düşeyliği, numune alıcı tipi gibi pek çok faktörden etkilenmektedir. Bu faktörlerin etkisi dikkate alınarak deneyin standartlaştırılmasına yönelik olarak ASTM D 1586’da tariflenen yöntemler izlenmiştir.

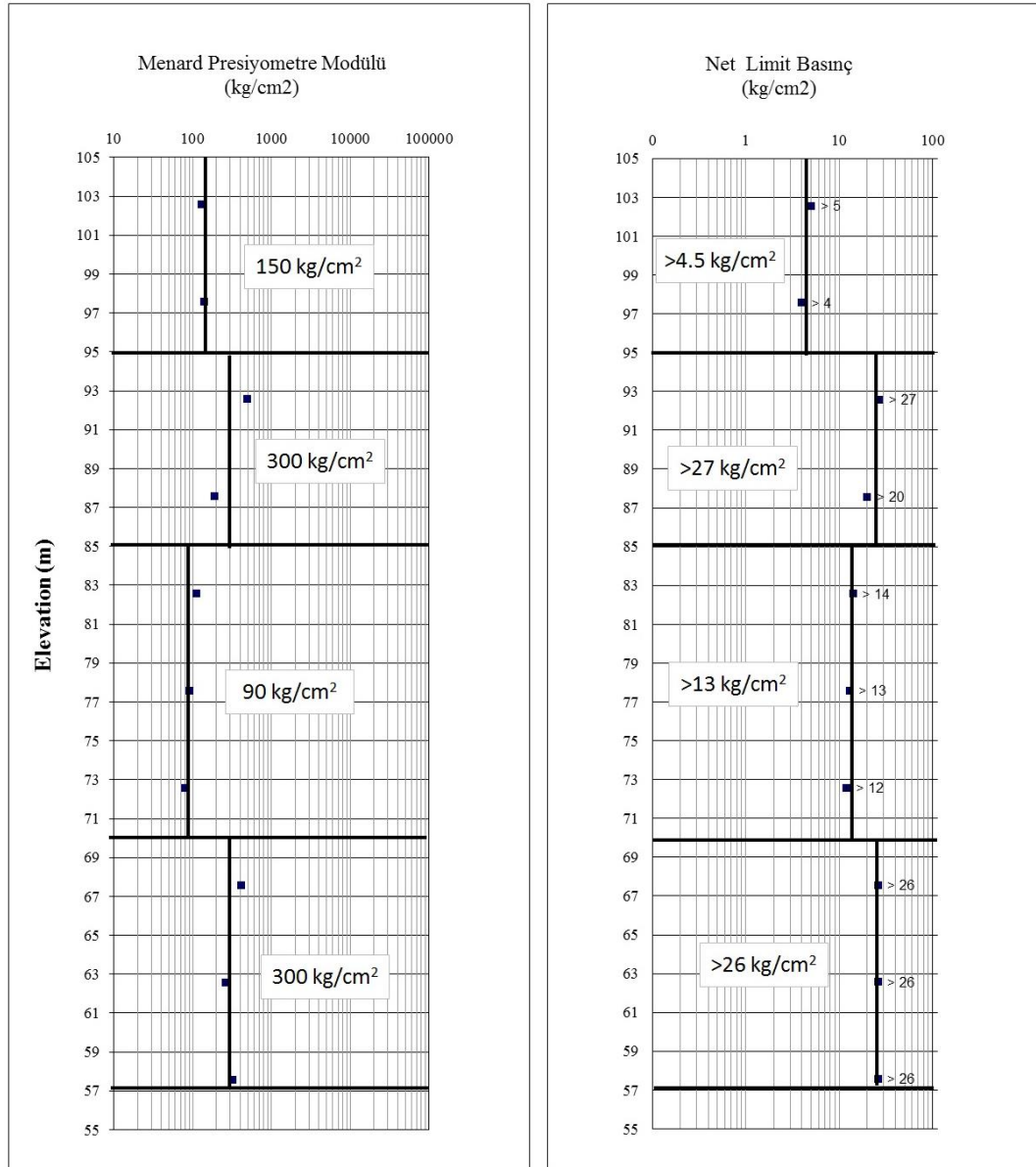
Gerçekleştirilen etüdlerde karşılaşılan zeminler içerisinde elde edilen SPT/N değerlerinin derinlik- kot ile değişim grafiği ve kabul edilen ortalama SPT/N değerleri aşağıda Şekil 7.4’de verilmektedir.



Şekil 7.4: Düzeltilmiş SPT/(N₁)₆₀ Değerlerinin Kot ile Değişimi

Presiyometre Deneyleri

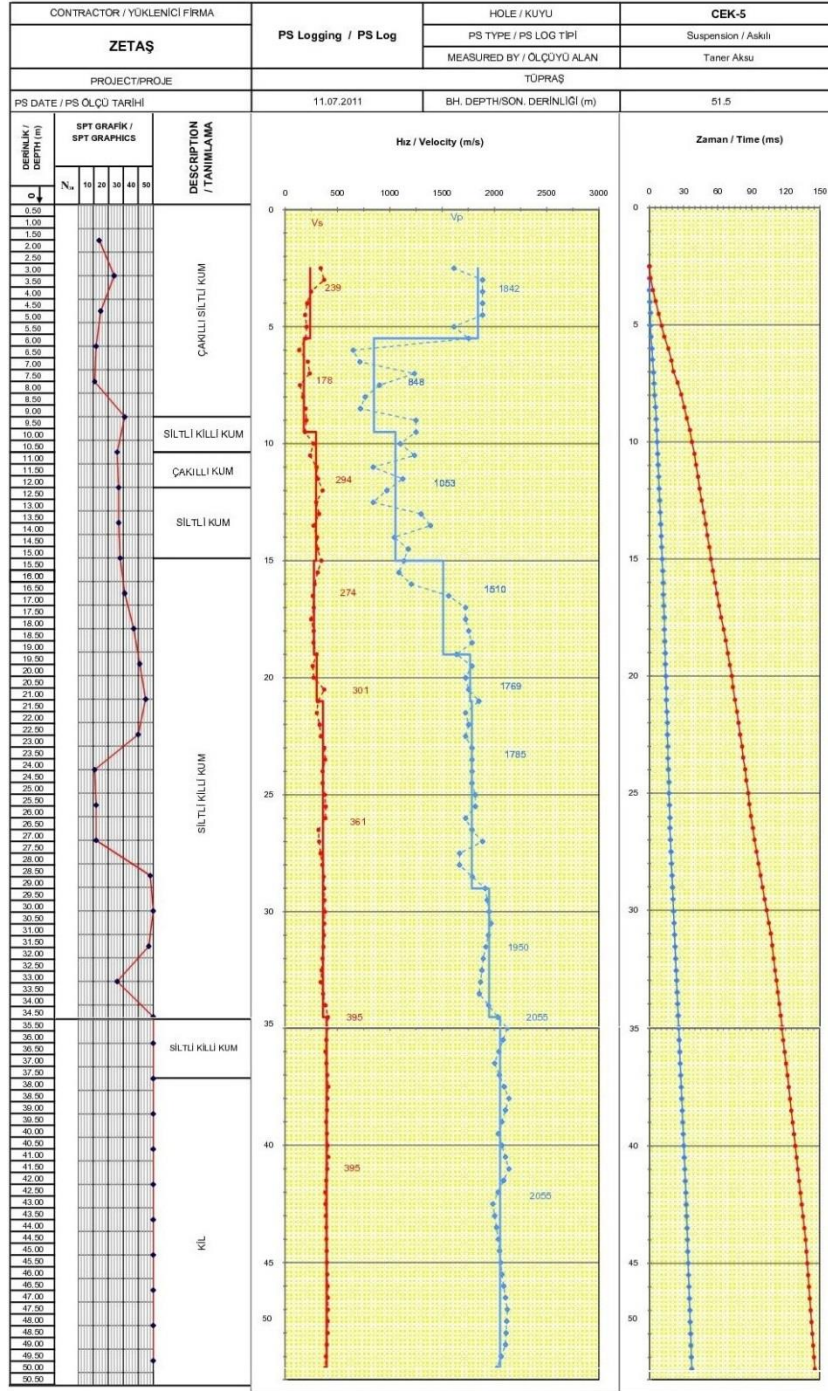
İnceleme alanında gerçekleştirilen CEK-5 sondajında sistematik 5.0m aralıklar ile belirlenen derinliklerde MENARD tipi presiyometre deneyi SPAD Datalogger kullanılarak yapılmış ve deformasyon modülü, E_M ve net limit basınç, P_L^* değerleri ölçülmüştür. Deney sonucunda hesaplanan Menard Presiyometre Modülü ve Net Limit Basıncının kot ile değişimi aşağıda Şekil 7.5’de verilmiştir.



Şekil 7.5: Menard Presiyometre Modülü ve Net Limit Basıncının Kot ile Değişimi

P&S Logging Testi

Klasik yüzey sismği ile elde edilemeyen düşük hız zonlarının tespit edilmesi amacıyla CEK-5 sondaj kuyusu içerisinde 0.5m aralıklarla PS Logging testi gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen test sonucunda elde edilen Vs ve Vp hızları aşağıda Şekil 7.6'da verilmektedir.



Laboratuvar Testleri

Laboratuvar deneyleri kapsamında sondajlardan alınan örselenmiş ve örselenmemiş zemin numuneleri üzerinde indeks özellikleri için elek analizi, Atterberg limitleri, doğal su muhtevası ve özgül ağırlık deneyleri gerçekleştirilmiştir. Laboratuvar deney sonuçları Çizelge 7.2’de özetlenmektedir.

Çizelge 7.2: Laboratuvar Deney Sonuçları

Sondaj Kuyusu No	Numune No	Derinlik	Su muhtevası Wn (%)	Atterberg Limitleri			Özgül Ağırlık Gs	Sieve Analysis		Classification
		(m-m)		LL	PL	PI		+No.10 (%)	-No.200 (%)	USCS
ASK- 5	SPT-2	3.50-3.95	12	NP	NP	NP	2.73	40	14	SM
ASK- 5	SPT-5	6.50-6.95	13	NP	NP	NP	-	35	27	SM
ASK- 5	SPT-9	12.00-12.45	17	NP	NP	NP	-	5	16	SM
ASK- 5	SPT-14	19.50-19.95	15	NP	NP	NP	-	3	12	SM
ASK- 6	SPT-1	2.50-2.95	10	NP	NP	NP	-	49	18	GM
ASK- 6	SPT-5	6.50-6.90	9	NP	NP	NP	-	52	15	GM
ASK- 6	SPT-7	9.00-9.45	15	NP	NP	NP	-	9	13	SM
ASK- 6	SPT-12	16.50-16.95	13	NP	NP	NP	-	27	13	SM
ASK- 7	SPT-1	2.50-2.95	15	NP	NP	NP	-	29	22	SM
ASK- 7	SPT-6	7.50-7.95	29	35	19	16	-	0	58	CL
ASK- 7	SPT-8	10.50-10.95	13	NP	NP	NP	-	34	7	SP-SM
ASK- 7	SPT-12	16.50-16.95	18	NP	NP	NP	-	11	5	SP
ASK- 7	SPT-16	22.50-22.95	24	32	19	13	-	0	68	CL
ASK- 8	SPT-1	2.50-2.95	17	NP	NP	NP	-	9	24	SM
ASK- 8	SPT-7	9.00-9.45	10	NP	NP	NP	-	51	16	GM
ASK- 8	SPT-10	13.50-13.95	11	NP	NP	NP	-	38	20	SM
ASK- 8	SPT-14	19.50-19.95	25	NP	NP	NP	-	3	50	SM
ASK- 9	SPT-1	2.50-2.95	11	NP	NP	NP	-	45	22	GM
ASK- 9	SPT-5	6.50-6.95	18	46	18	28	2.29	2	89	CL
ASK- 9	SPT-9	12.00-12.45	12	NP	NP	NP	-	38	18	SM
ASK- 9	SPT-16	22.50-22.93	27	31	21	10	-	26	40	SC
ASK- 10	SPT-1	2.50-2.95	38	NP	NP	NP	-	54	13	GM
ASK- 10	SPT-5	6.50-6.95	18	NP	NP	NP	-	7	16	SM
ASK- 10	SPT-8	10.50-10.95	19	NP	NP	NP	-	14	20	SM
ASK- 10	SPT-1	19.50-19.95	24	NP	NP	NP	-	6	31	SM
ASK-37	SPT-3	3.50-3.95	19	43	12	31	-	33	38	GC
ASK-37	SPT-6	6.50-6.95	7	22	12	10	-	62	12	GW-GC
ASK-37	SPT-9	10.50-10.95	10	25	14	11	-	45	19	GC
ASK-37	SPT-14	18.00-18.45	11	NP	NP	NP	-	57	10	GP-GM
ASK-37	SPT-18	24.00-24.45	13	21	13	8	-	28	17	SC
CEK-5	SPT-3	4.50-4.95	12	NP	NP	NP	-	40	13	SM
CEK-5	SPT-5	7.50-7.95	18	NP	NP	NP	-	18	11	SM
CEK-5	SPT-9	13.50-13.95	22	NP	NP	NP	-	3	15	SM
CEK-5	SPT-12	18.00-18.45	22	NP	NP	NP	-	0	28	SM
CEK-5	SPT-18	27.00-27.45	22	NP	NP	NP	-	3	22	SM
CEK-5	SPT-26	39.00-39.45	23	NP	NP	NP	-	3	26	SM
CEK-5	SPT-29	43.50-43.95	26	50	22	28	-	0	95	CH
CEK-5	SPT-32	48.00-48.45	22	36	20	16	-	0	87	CL
-No.200(%) : percent by weight passed on the #200 sieve / 200 no.lu elekten geçen malzemenin ağırlıkça yüzdesi LL(%) : Liquid limit / Likid limit PL(%) : Plastic limit / Plastik limit NP : Non-Plastic specimen / Plastik olmayan numune PI(%) : Plasticity index / Plastisite indisi USCS : Unified Soil Classification System / Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırması Sistemi										

7.3. Geoteknik Modelleme

İnceleme alanında delta ve kıyı ovaları alüvyonel dolguları ile oluşan kil-kum-silt-çakıl birimleri yer almaktadır. İnceleme alanında gerçekleştirilen sondajlarda (CEK-5 hariç) zemin yüzeyinden itibaren yaklaşık 0.5-0.6m kalınlıkta kahverengi, nemli, az killi, ince-iri taneli kumlu, ince-iri taneli köseli çakıllı kontrolsüz dolgu tabakası yer almaktadır. Proje sahasında genel olarak granüler yapıda silt, kum, çakıl birimleri yer almakta olup, yer yer kil bantları yer almaktadır. Ayrıca CEK-5 sondajında +70 - +55 kotları arasında gri, nemli, yüksek plastisiteli, sert killer bulunmaktadır. Sahada karşılaşılan siltler, gri-koyu gri-kahverengi, nemli, ince-iri köseli çakıllı, yer yer denizel kavrıklar görülen, killi, sert özelliktedir.

Kumlar, kahverengi- gri-koyu gri, nemli ıslak, az killi, ince-iri taneli, yuvarlak-yarı köşeli çakıllı, ince-iri taneli, sıkı-çok sıkı özelliktedir ve içerisinde yer yer FeO ve MnO izleri, gözlenmektedir. Çakıllar, kahverengi-koyu gri, nemli-yer yer ıslak, siltli, ince-iri taneli kumlu, kum miktarı yer yer artan, ince-iri taneli yuvarlak-köseli, çok sıkı özelliktedir.

7.3.1. Zemin Parametrelerinin Belirlenmesi

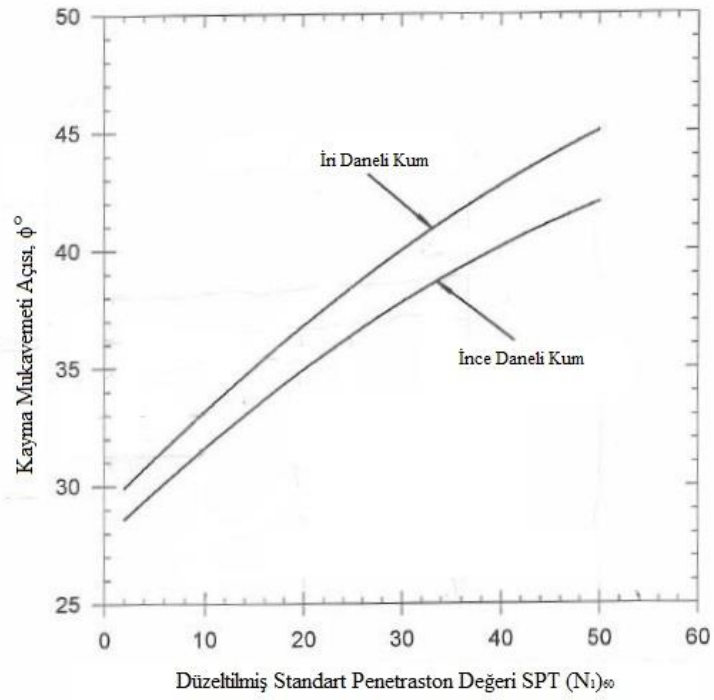
Proje sahasında gerçekleştirilen sondaj çalışmaları ve SPT testleri sonucunda zemin tabakaları belirlenmiş ve kabul edilen ortalama SPT-N değerleri Şekil 7.4'te verilmişti. Kabul edilen ortalama SPT değerleri kullanılarak granüler zeminler için kayma mukavemeti açısı ve kohezyonlu kil tabakası için de s_u değeri bulunmuştur.

Kayma mukavemeti açısı (ϕ) değerleri SPT değerlerine bağlı olarak sırasıyla (Dunham 1954), (Ohsaki ve diğ., 1959) ve (Muromachi ve diğ., 1974) önerilen formüller ve Şekil 7.7 ile Şekil 7.8'de verilen grafikler yardımı ile hesaplanmıştır. (Jeffrey ve Duncan, 1998).

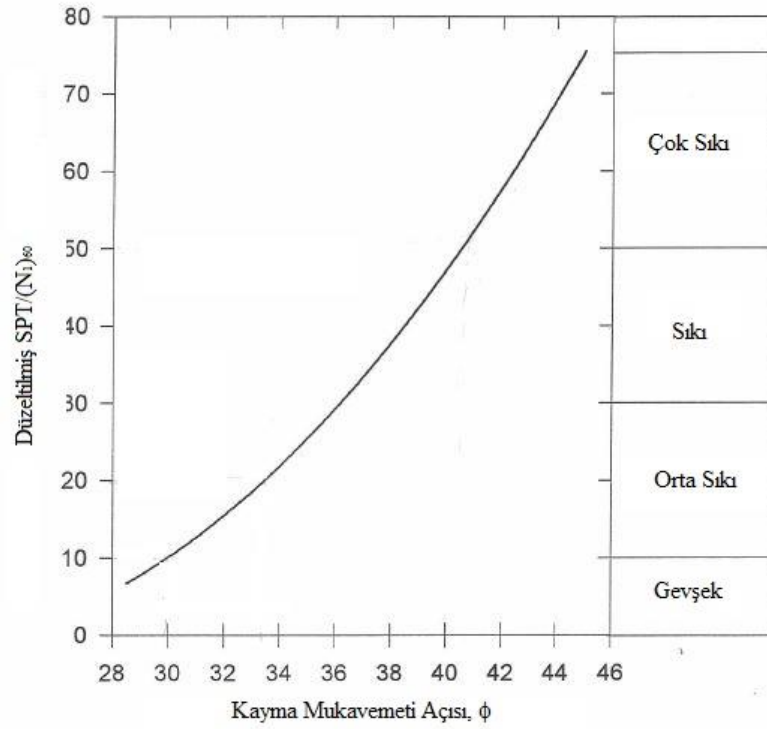
$$\phi = (12N_{60})^{0.5} + 20 \quad (7.1)$$

$$\phi = (20N_{60})^{0.5} + 15 \quad (7.2)$$

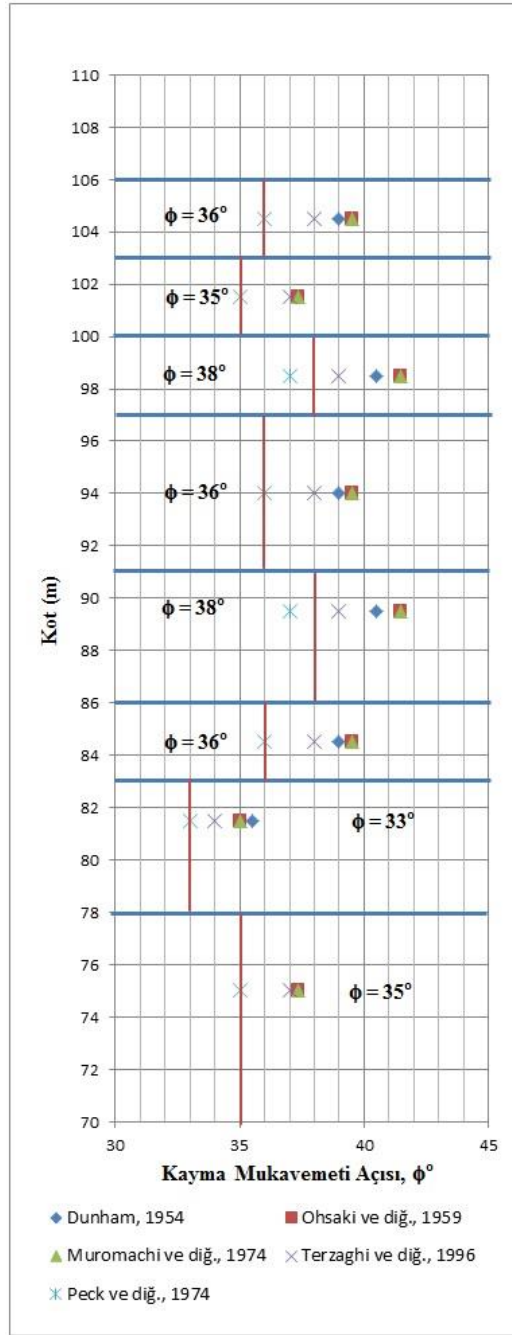
$$\phi = 3.5(N_{60})^{0.5} + 20 \quad (7.3)$$



Şekil 7.7: Kumların Kayma Mukavemeti Açısı ile Normalize Edilmiş Standart Penetrasyon Sayısı Arasındaki Ampirik Korelasyon (Terzaghi ve diğ., 1996)

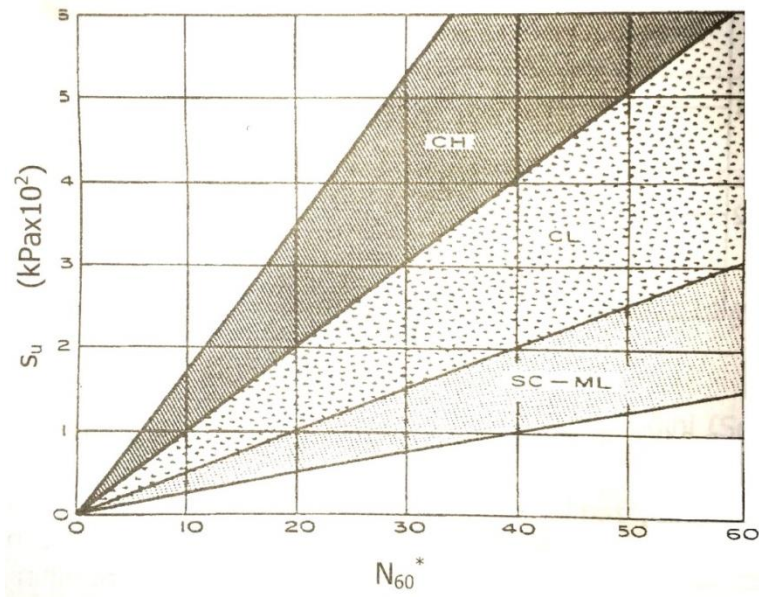


Şekil 7.8: SPT Sonuçlarından Granüler Zeminlerin Kayma Mukavemeti Açısının Tahmin Edilmesi (Peck ve diğ., 1974 ve Değiştirilen Carter ve Bentley, 1991)



Şekil 7.9: Kayma Mukavemeti Açısı (ϕ°) Değerlerinin Kot ile Değişimi

Sahada gerçekleştirilen sondajlarda +80 kotundan itibaren kil zemine girilmiştir. Kil tabakasında gerçekleştirilen SPT deneylerinde $SPT(N_1)_{60}$ değerlerinin +50 olduğu görülmüştür. Literatürde Su ile SPT değerleri arasında bir çok korelasyon yer almakta olup, bu projede Sowers (1979) tarafından geliştirilen Su, SPT-N ve zemin türü arasındaki ilişkiyi gösteren aşağıda Şekil 7.10'da verilen grafik kullanılmıştır. Grafikten $SPT(N_1)_{60} +50$ değeri için hesaplarda kullanılmak üzere Su değeri 350kPa alınmıştır.



Şekil 7.10: Zemin Cinsine Bağlı Su ile N arasındaki ilişki (Sowers, 1979)

Granüler zeminler için Elastisite Modüllerinin SPT-N değerine bağlı olarak (Bowles, J. E., 1997) ve (Tan ve diğ., 1991) tarafından önerilen korelasyonlar aşağıda verilmiştir. Literatürde yer alan formüllerden elde edilen değerler ve hesaplarda kullanılmak üzere seçilen elastisite modülleri Şekil 7.11’de verilmiştir.

$$E_s = 1200 (N_{60} + 6) \quad (7.4)$$

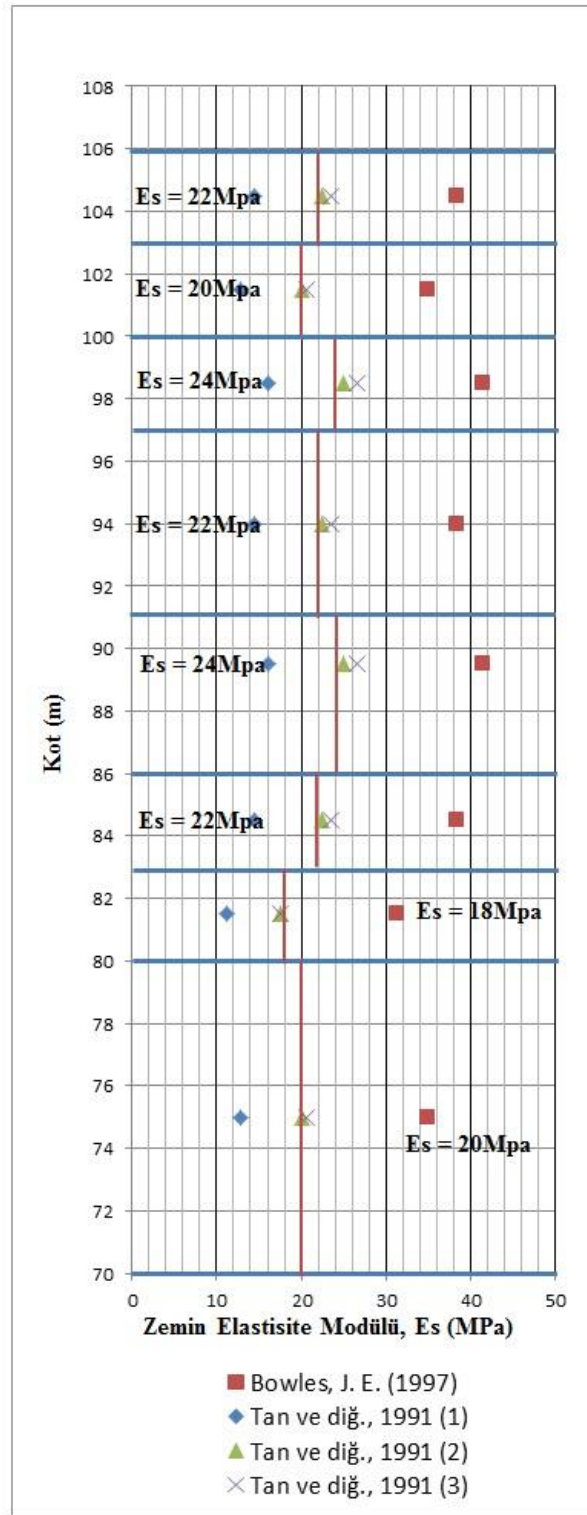
$$E_s = 500 (N_{60} + 15) \quad (7.5)$$

$$E_s = 600 (N_{60} + 6) + 2000 \quad (7.6)$$

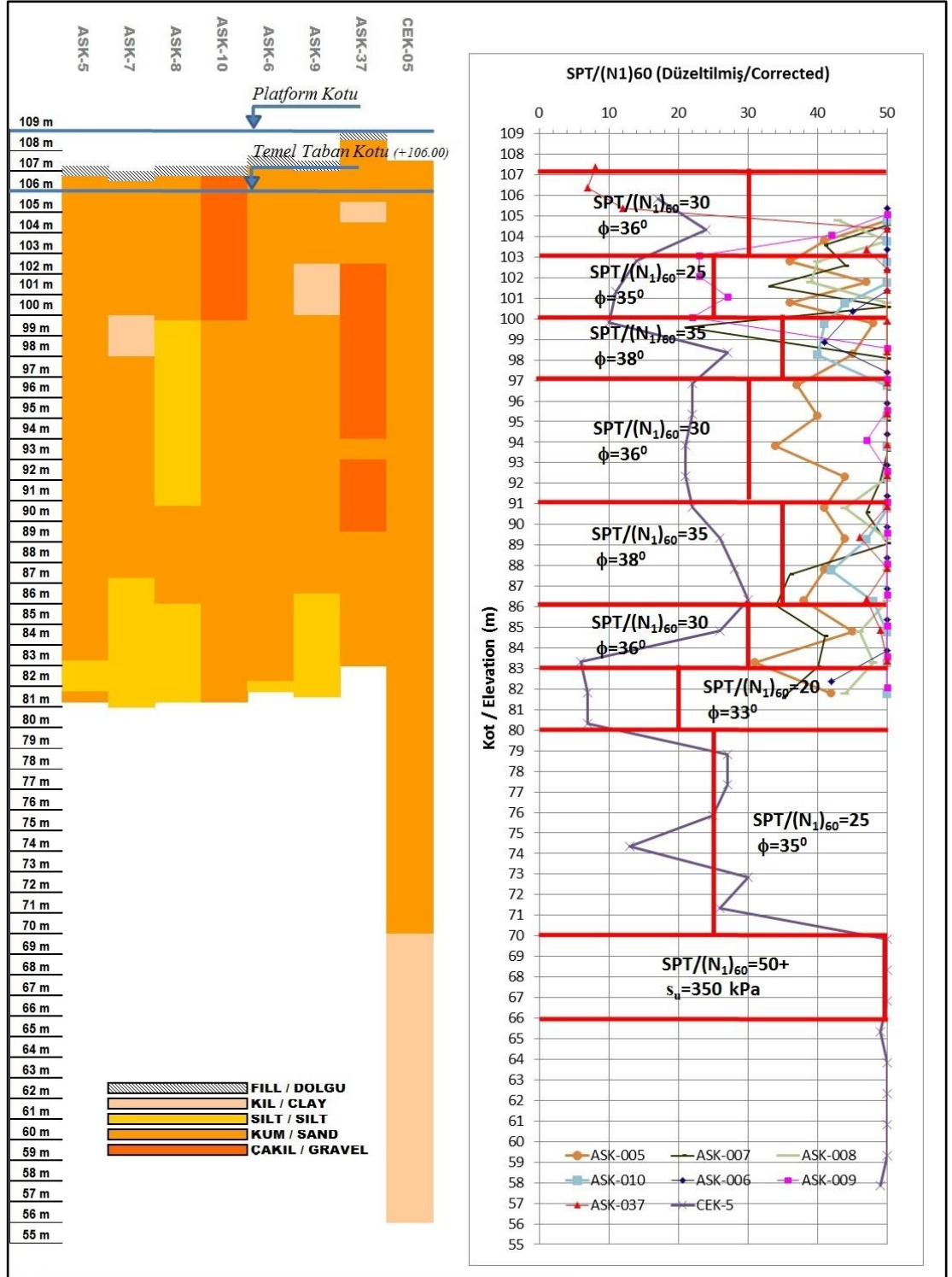
$$E_s = 320 (N_{60} + 15) \quad (7.7)$$

Zemin profilinden görüldüğü üzere +80 kotundan itibaren sert kil zemine girilmiştir. Kil zemin için elastisite modülü değeri $E_s = 650 \times N_{60}$ (kPa) (Yoshida ve Yoshinaka, 1972) formülü ile bulunabilmektedir. Karşılaşılan kil tabakada gerçekleştirilen deneylerde SPT-N değerleri +50 olarak bulunmuştur. Bu değer kullanılarak, hesaplarda kullanılmak üzere elastisite modülü değeri 32500kPa olarak alınmıştır.

Proje sahasında gerçekleştirilen sondajlardan elde edilmiş zemin modeli ve SPT deneylerinden elde edilen zemin parametreleri aşağıda Şekil 7.12’de verilmektedir.



Şekil 7.11: Elastisite Modülü (Es) Değerlerinin Kot ile Değişimi



Şekil 7.12: Zemin Modeli

7.4. Temel Mühendisliği Değerlendirmeleri

Proje alanı ve proje gereksinimleri göz önünde bulundurulduğunda hem taşıma gücü hem de oturma problemi olduğu belirlenmiştir. Problemlerin çözümüne yönelik olarak derin temel sistemi düşünülmüştür. Bu amaçla fore kazık ve alternatif olarak da baret kazıkların taşıma gücü performansı değerlendirilerek optimum çözüme gidilmiştir.

Karşılaşılan zemin koşulları dikkate alınarak maksimum $L= 40.0\text{m}$ boyuna kadar, $\phi 65\text{cm}$, $\phi 80\text{cm}$ ve $\phi 100\text{cm}$ çaplı fore kazıklar için emniyetli düşey taşıma kapasiteleri belirlenmiştir.

Ayrıca fore kazıklara alternatif olarak $L= 40.0\text{m}$ boyuna kadar, $80 \times 280\text{cm}$, $100 \times 280\text{cm}$ ve $100 \times 300\text{cm}$ boyutlarında baret kazıklar için emniyetli düşey taşıma kapasiteleri belirlenmiştir. Fore ve baret kazık taşıma kapasitesi hesap föyleri Ek B’de verilmektedir.

Fore Kazık düşey taşıma kapasitesi:

Arazide gerçekleştirilen SPT ve presiyometre deneylerinden elde edilen zemin verileri kullanılarak $\phi 65\text{cm}$, $\phi 80\text{cm}$ ve $\phi 100\text{cm}$ çaplı fore kazıklar ve $80 \times 280\text{cm}$, $100 \times 280\text{cm}$ ve $100 \times 300\text{cm}$ boyutlarında baret kazıklar için emniyetli düşey taşıma kapasiteleri belirlenmiştir. Hesaplarda uç mukavemeti dikkate alınmamış olup, granüler ve daha derindeki kil tabakası ile oluşacak çeper sürtünmesi taşıma gücünü oluşturmaktadır.

Eksenel kazık kapasiteleri aşağıdaki formül ile hesaplanabilir,

$$Q_{ult}=Q_s+Q_t \leq Q_c \quad (7.8)$$

Çeper Sürtünmesi-Granüler Zemin:

Granüler zeminlerin çeper sürtünmesi hesaplarında kritik derinlik D_c , zeminin sıkılığına bağlı olarak değişmektedir. D_c değeri gevşek, orta sıkı ve sıkı zeminleri için sırasıyla $10B$, $15B$ ve $20B$ olmaktadır. Verilen derinliğe kadar, birim çeper sürtünmesi derinlikle, efektif jeolojik gerilmeye bağlı artmakta olup, kritik derinlikten sonra sabit kalmaktadır. Sonuç olarak, birim çeper sürtünmesi granüler zeminler için aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:

$$Q_s = \tau \cdot A_s \quad (7.9)$$

$$\tau = K \cdot (\sigma_{vo}') \cdot \tan \delta \quad (7.10)$$

Kazık ile zemin arasındaki sürtünme açısı, $\delta=0.9\phi'$. Basınç kazıklarında K katsayısı 0.5'tir (ASCE, 1993).

Burada,

δ : Kazık ile zemin arasındaki sürtünme açısı

σ_{vo}' : Efektif jeolojik gerilme

τ : Birim çeper sürtünmesi

ϕ' : İçsel sürtünme açısı

A_s : zeminle temasta bulunan kazık çeper alanı

Çeper sürtünmesi $Q_s = \tau \cdot A_s$ olup güvenlik faktörü $FS=2.0$ olarak dikkate alınmıştır.

Çeper Sürtünmesi-İnce Daneli Zemin:

Kazık hesaplarında taban zeminin kohezyonlu zemin özelliği gösteren killi kesimlerindeki kohezyon değeri sondajlardan belirlenmiştir. Buna göre kohezyonlu zeminler içerisinde belirlenen birim çeper sürtünmesi,

$$\tau = \alpha s_u \quad (7.11)$$

olarak hesaplara dahil edilmiştir. Burada,

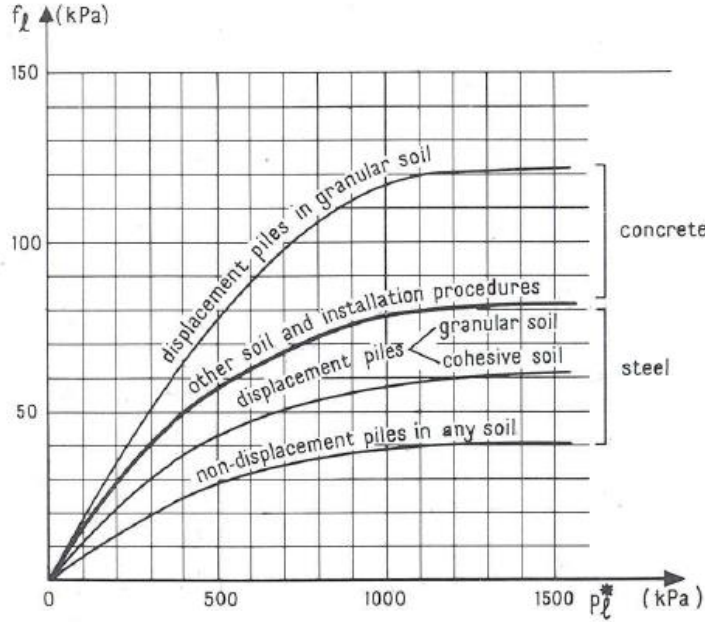
α : Adhezyon katsayısı (Tomlinson,1971 / API-1984)

s_u : Drenajsız kayma mukavemeti

τ : Birim çeper sürtünmesi

Çeper sürtünmesi $Q_s = \tau \cdot A_s$ olup hesaplarda kil zemin içerisindeki pozitif çeper sürtünmesi için güvenlik faktörü $FS=2.0$ olarak dikkate alınmıştır.

Presiyometre testlerinden elde edilen net limit basıncı (p_l^*) kullanılarak aşağıda Şekil 7.13'te verilen birim sürtünme direnci elde edilerek kazık kapasiteleri hesaplanmış olup, elde edilen değerler Şekil 7.15 ve Şekil 7.17'de sunulmaktadır.

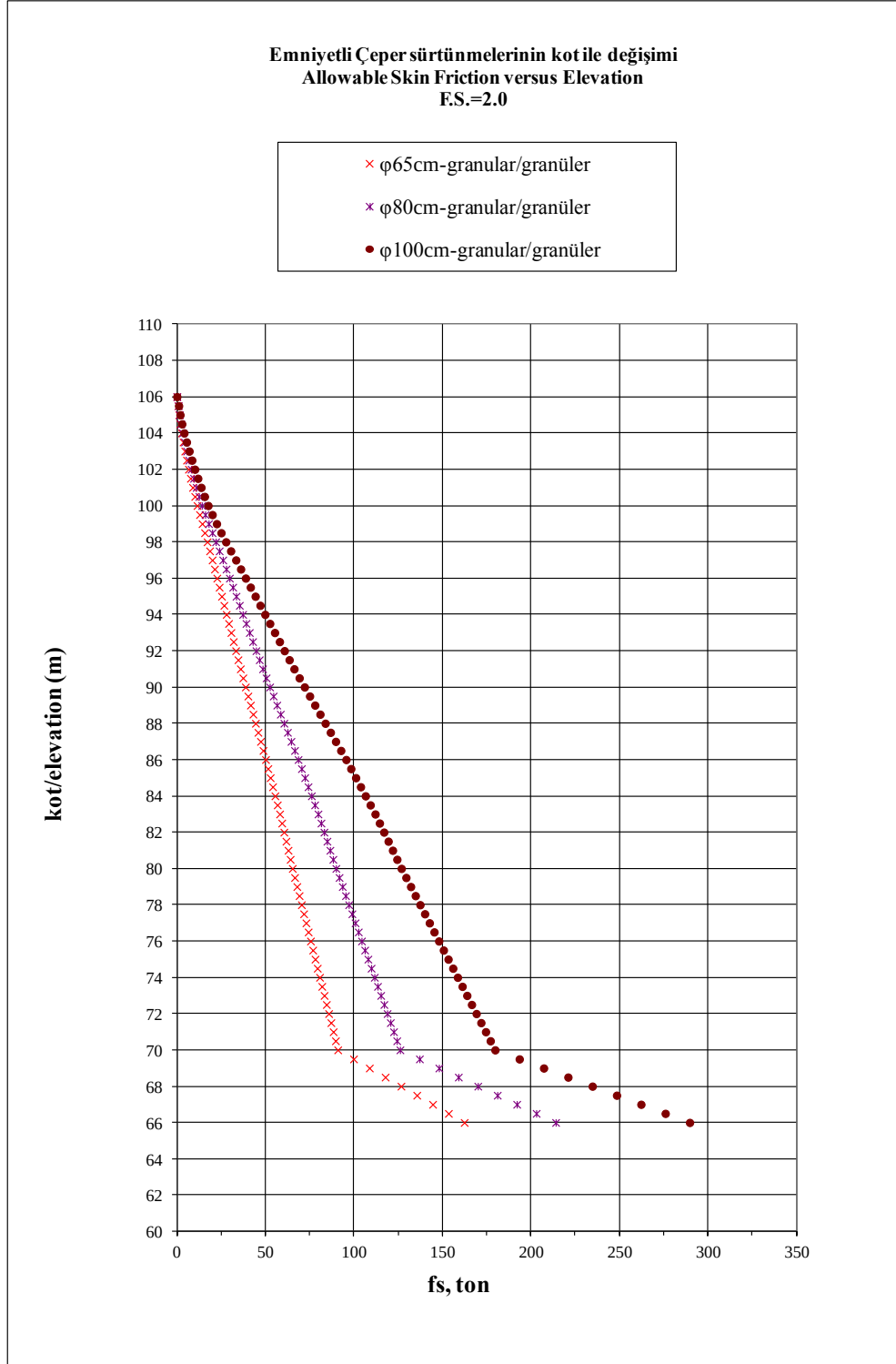


Şekil 7.13: Adezyon Değerinin p_u^* ile Değişimi

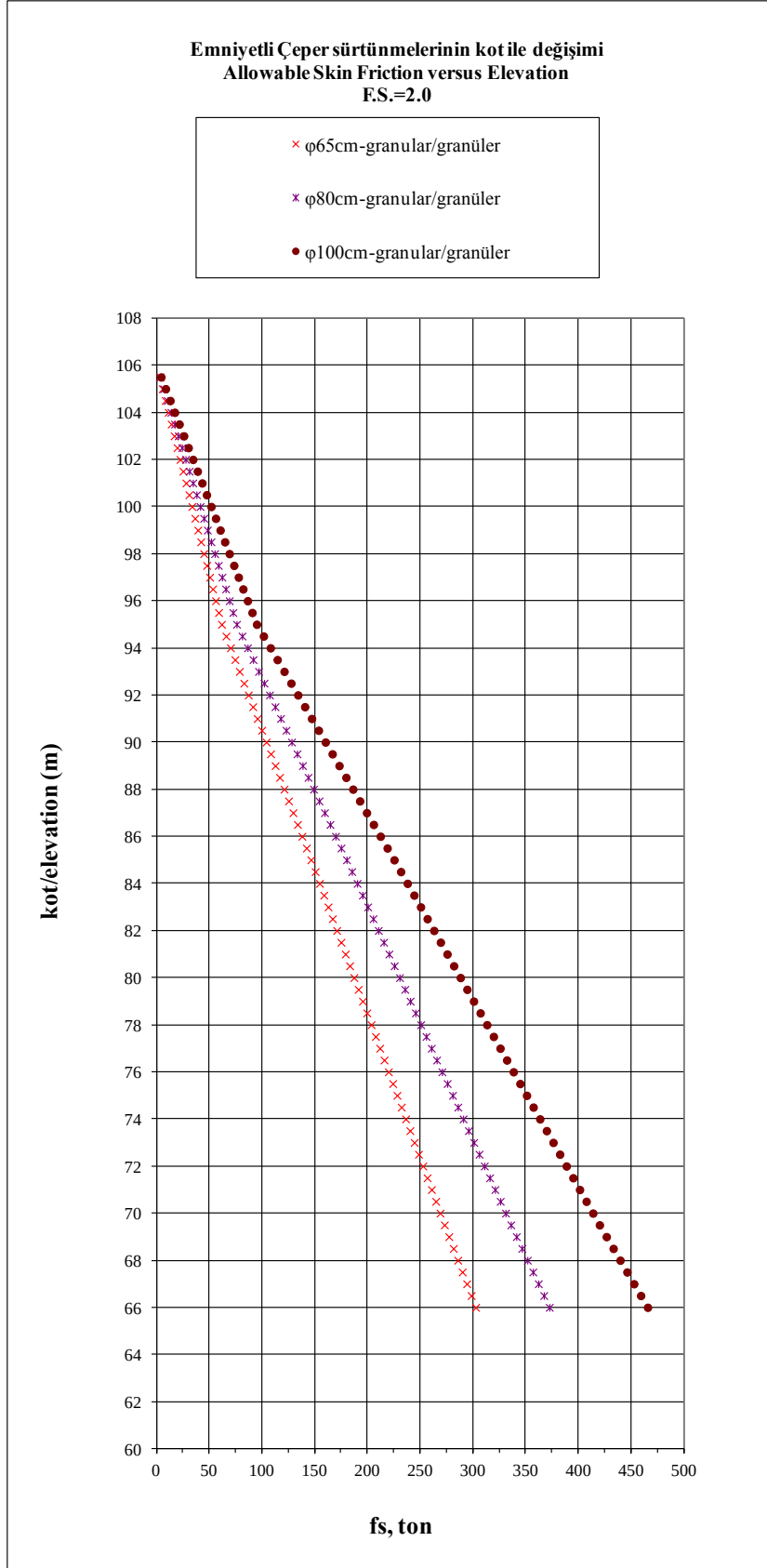
Proje kapsamında inşası düşünülen fore ve baret kazıklar için emniyetli düşey taşıma kapasiteleri hesaplanmış ve aşağıda sırasıyla Şekil 7.14 ve Şekil 7.16'da verilmektedir. Hesaplarda uç mukavemeti dikkate alınmamıştır.

SPT ve presiyometre deneylerinden elde edilen baret ve fore kazık kapasiteleri karşılaştırıldığında presiyometre deney verileri kullanılarak elde edilen taşıma kapasitelerinin, SPT deneyinden elde edilen veriler kullanılarak hesaplanan taşıma gücü kapasitesinden daha yüksek olduğu görülmüştür. Presiyometre deneyi daha çok yüzeysel temellerin oturma ve taşıma gücü hesaplarında kullanılmakta olup, yapının önemi de dikkate alındığında hesaplarda Şekil 7.14 ve Şekil 7.16'da belirtilen kazık kapasitelerinin kullanılacaktır.

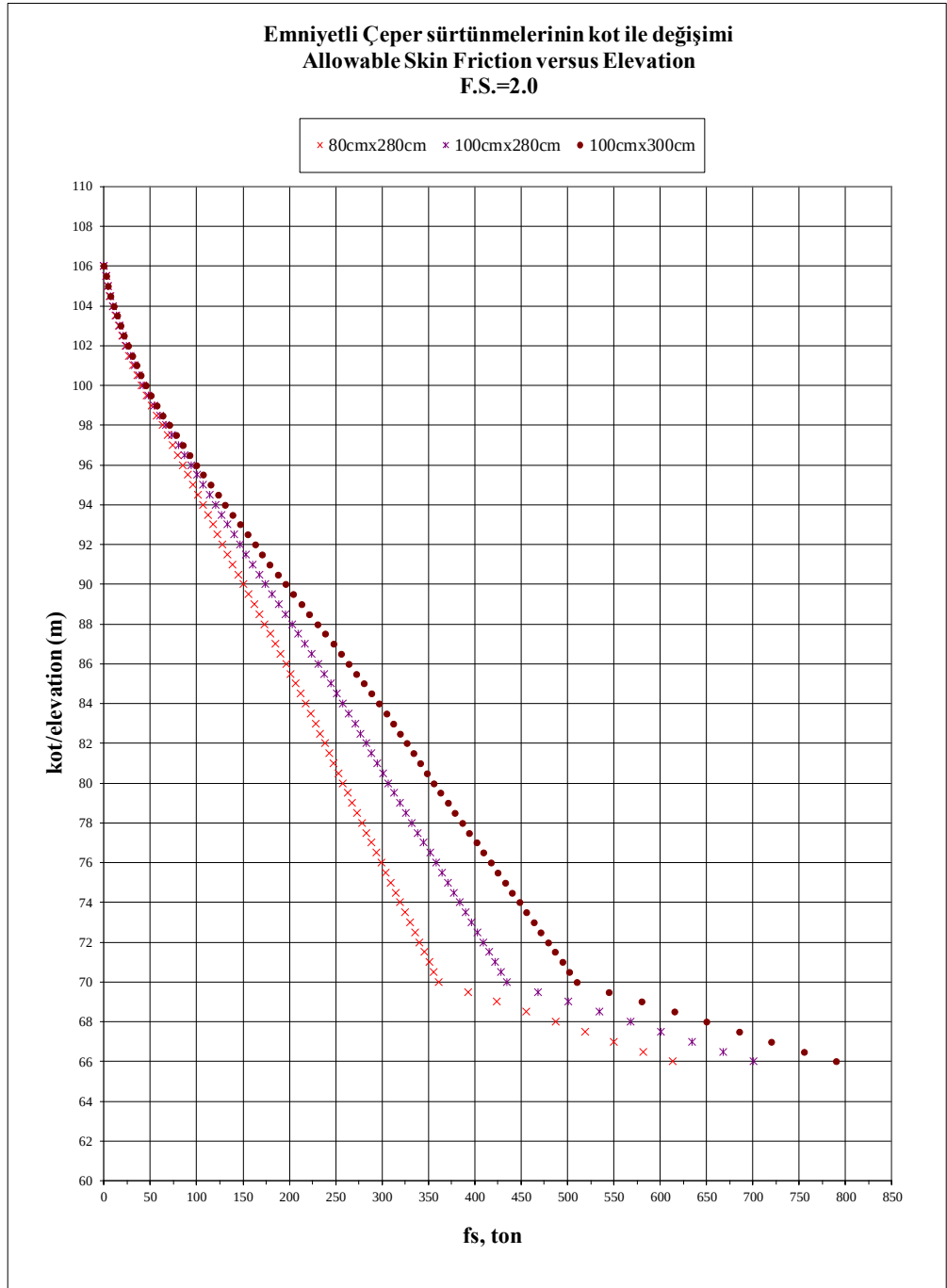
Gerçekleştirilen taşıma gücü hesapları karşılaştırıldığında baret kazıklar ile elde edilen taşıma gücü değerlerinin aynı kesit alanına sahip fore kazıklardan daha fazla olduğu görülmüştür. Ayrıca baret sistemi seçimi ekonomik olarak da avantajlı olmaktadır. Derin temel sistemine etkiyecek yüksek yapı yükleri ve talep edilen minimum oturma kriteri de dikkate alındığında kazık sistemi olarak 100cmx300cm baret kazıklar seçilmiştir.



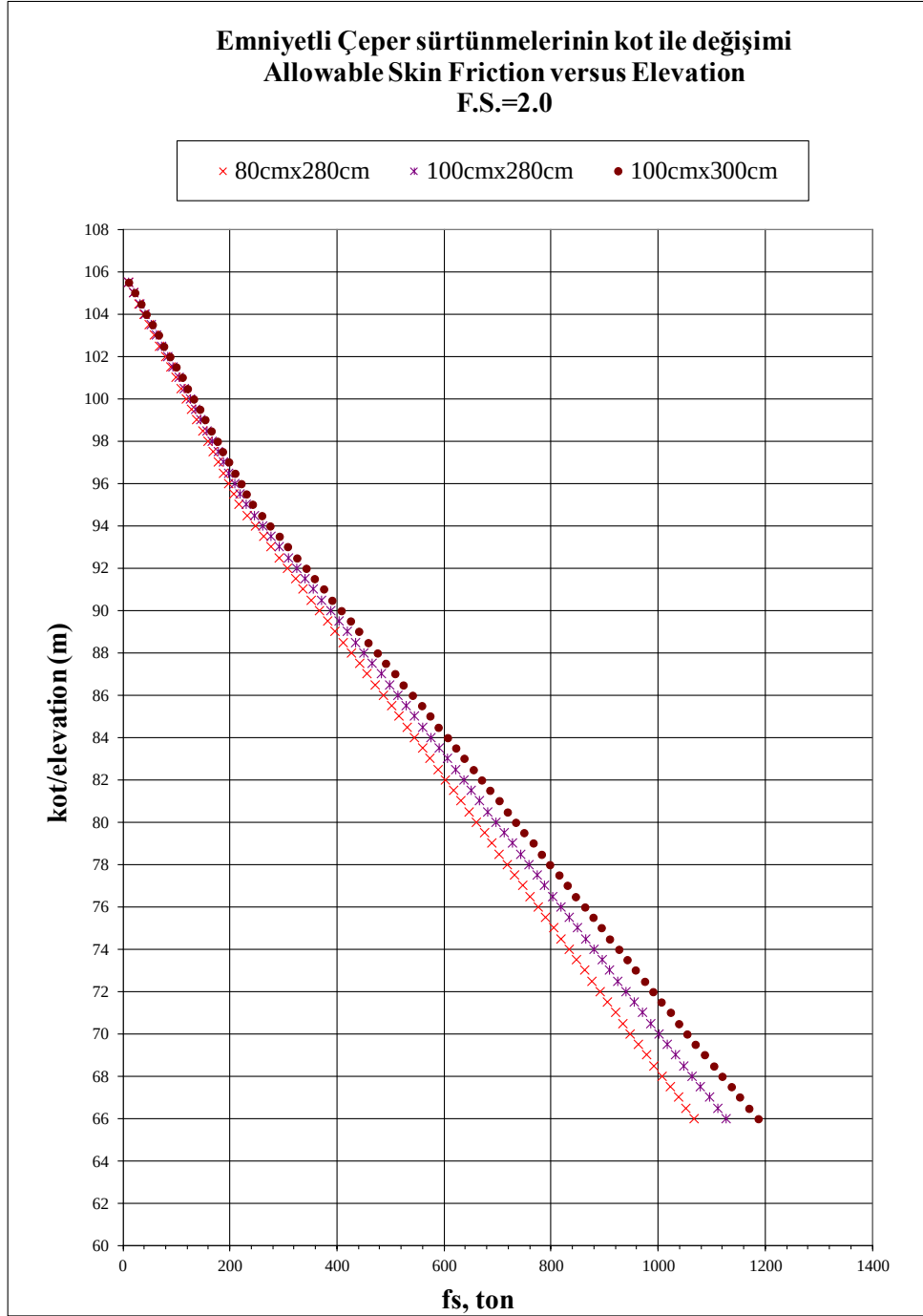
Şekil 7.14: Fore Kazık Kapasiteleri (ϕ ve Su değerleri SPT deneyinden elde edilmiştir)



Şekil 7.15: Presiyometre Deney Sonuçlarından Elde Edilen Kazık Kapasiteleri



Şekil 7.16: Baret Kazık Kapasiteleri (ϕ ve Su değerleri SPT deneyinden elde edilmiştir)



Şekil 7.17: Presiyometre Deney Sonuçlarından Elde Edilen Baret Kazık Kapasiteleri

Baret Kazıkların Oturması:

Proje kapsamında uygulamaya yönelik 100cmx300cm baret kazıklar seçilmiştir. Planlanan kazıklarda meydana gelmesi muhtemel oturmalarla ilişkin teorik hesap föyü aşağıda Çizelge 7.3'te verilmiştir.

Çizelge 7.3: Baret Kazık Oturma Hesabı

Baret Kazık Oturma Hesabı			Hesap Methodu: B. M. DAS, Principles of Foun. Eng, 1998, Settlement of Piles
100cx300cm Baret Kazık			
P=	6500	kN	
FS=	2		
P dizayn=	13000	kN	
Q _{total all} =	6500	kN	
Q _{ws} =	6500	kN	Hesaplanan çeper sürtünmesi değeri
Q _{wp.all} =	0	kN	Hesaplanan uç taşıma kapasitesi
s=s₁+s₂+s₃			
s₁=(Q_{wp}+ε x Q_{ws}) x L / (E_p A_p)			Kazık Elastik Deformasyonu
Q _{wp} =	0	kN	
ε=	0.67		Kazıkta yük dağılımına bağlı 0.5-0.67 arasında değişen katsayı
Q _{ws} =	6500	kN	
L=	38.6	m	
R=	1.95	m	Eşdeğer kazık çapı alınmıştır (1mx3m = 3m, D=(3*4/π)^0.5)
A=	3.0	m ²	
E=	32,000,000	t/m ²	
s₁=	1.76	mm	
s₂= q_{wp} x D / E_s x (1-μ_s²) x I_{wp}			Uç direnci ile taşınan yük kaynaklı oturmalar
I _{wp} =	0.85		Önerilen değer: 0.85
q _{wp} =	0	kPa	Birim alana gelen uç yükü (Q _{wp} /A)
D=	1.95	m	Kazık çapı (eşdeğer kazık çapı değeri alınmıştır)
μ _s =	0.3		Poisson oranı
E _s =	32,500	kN/m ²	kazık altında yer alan zeminin elastisite modülü
s₂=	0	mm	
s₃= (Q_{ws}/pL) x D / E_s x (1-μ_s²) x I_{ws}			Çevre sürtünmesinde kaynaklı kazık ucunda meydana gelen oturma
p=	8.00	m	Baret Çevresi
E _s =	22,000	kN/m ²	Kazık çevresinde yer alan zemin tabakalarının ortalama Elastisite Modülü
μ _s =	0.3		Kazık çevresinde yer alan zemin tabakalarının ortalama Poisson oranı
I _{ws} =	3.56		Katsayı, I _{ws} =2+0.35(L/D)^0.5
s₃=	6.04	mm	
s ₁ +s ₃	7.80	mm	Kazık elastik deformasyonu ve çevre sürtünmesinden kaynaklı oturmalar
s ₂	0	mm	Kazık uç oturması
s=	7.80	mm	Toplam oturma

7.5. Osterberg Hücresi ile Baret Kazık Yükleme Testi

İnşa edilecek olan baca yapılarının betonarme olarak tasarlanmış olması, bölgenin depremselliği ve inceleme alanındaki zemin profili dikkate alındığında yapı temellerinin baret kazıklara taşıtılması gereği ortaya çıkmıştır.

İnşa edilecek Coke Drum yapısının oldukça yüksek üst yapı yüklerine sahip olması, yapının oturtulacağı baret kazıkların taşıma kapasitelerinin yükleme deneyleri ile kontrolünü gerekli kılmıştır. Bunun yanı sıra, proje gereği önem arz eden farklı oturma durumunun incelenmesi için temel sisteminin davranışının, diğer bir deyişle temel altı baret kazıklarının yük – oturma davranışının tespit edilmesi gerekmiştir.

Bu amaçla proje ön dizaynı kapsamında 38.60m boyunda 100cmx300cm çaplı baret test kazığı imal edilmiştir. Yükleme deney yöntemi olarak çift yönlü statik yükleme deneyi (BD-SLT)/Osterberg hücresiyle kazık yükleme deneyi seçilmiştir.

7.5.1. Test kazığının özellikleri

Deney kazığı +106.00m kotundan başlayarak yaklaşık 26.0m kalınlığındaki killi, siltli, sıkı-çok sıkı kum tabakasının da ilerlemektedir. Deney kazığının özellikleri Çizelge 7.4’te belirtilmiştir.

7.5.2. Test kazığı imalatı ve enstrümantasyon detayları

Test kazığının forajına 11.02.2012 tarihinde başlanmış ve foraj işlemi aynı günün sonunda sonlandırılmıştır. Foraj işlemi hidrolik grab ile bentonit çamuru kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Deney kazığının, hedeflenen 2000t’luk deney yükünün taşıdığına gösterilmesi için 2 adet 405mm çapında Osterberg hücresi kullanılmıştır. O-cell birleşimi kazık tabanının 16.60m yukarısında kalacak biçimde donatı kafesine yerleştirilmiştir (Şekil 7.18). Deney hazırlığı ve kazığın enstrümantasyonu inceleme alanında yapılmıştır.

Osterberg hücresinin altında ve üstünde kalan bölümlerde mobilize olan çevre sürtünmesinin tespiti amacıyla 8 seviyede toplam 48 adet deformasyon ölçer (strain-gauge) kullanılmıştır. Deformasyon ölçerler +100.00, +96.00, +92.00, +88.00, +81.00, +77.00, +73.00 ve +69.50 olmak üzere 8 farklı kota yerleştirilmiştir. Baret donatısı ve deformasyon ölçerlerin (strain-gauge) montajı Şekil 7.19 ve Şekil 7.20’de verilmektedir.

Çizelge 7.4: Baret Test Kazığının Özellikleri

<u>Baret Kazık</u>	
Nomina Baret Uzun Kenarı	3000 mm
Nomina Baret Kısa Kenarı	1000 mm
O-cells: 16-6-00370, 16-6-00371	405 mm
O-cell seviyesi üstündeki baret parçasının boyu	22.00 m
O-cell seviyesi altındaki baret parçasının boyu	16.60 m
O-cell seviyesi üstündeki baret parçasının sürtünme yüzey alanı	176.0 m ²
O-cell seviyesi altındaki baret parçasının sürtünme yüzey alanı	132.8 m ²
Baret uç alanı	3.0 m ²
O-cell seviyesi üzerindeki baretin ağırlığı	0.9 MN
Tahmini baret rijitliği, AE (+106.00 kotundan +67.40 kotuna kadar)	96400 MN
Baret betonu üst kotu	+106.00 m
Tasarlanan baret betonu üst kotu	+106.00 m
Yer altı su seviyesi kotu (doğal YASS kotu olarak kabul edilir)	+106.00 m
O-cell alt plakası kotu	+84.00 m
Baret taban kotu	+67.40 m
<u>Telltale kotları</u>	
Baret üst bölgesinin sıkışmasını ölçen telltale'ların üst kotu	+106.00 m
Baret üst bölgesinin sıkışmasını ölçen telltale'ların alt kotu	+84.35 m
Baret tabanı hareketini ölçen telltale'ların üst kotu	+106.00 m
Baret tabanı hareketini ölçen telltale'ların alt kotu	+67.40 m
<u>Strain Gauge Kotları</u>	
1. seviye strain gauge kotu	+100.00 m
2. seviye strain gauge kotu	+96.00 m
3. seviye strain gauge kotu	+92.00 m
4. seviye strain gauge kotu	+88.00 m
5. seviye strain gauge kotu	+81.00 m
6. seviye strain gauge kotu	+77.00 m
7. seviye strain gauge kotu	+73.00 m
8. seviye strain gauge kotu	+69.50 m
<u>Diğer bilgiler</u>	
Üst plaka boyutları	712 X 2712 mm
Alt plaka boyutları	712 X 2712 mm
Donatı çapı (No:48)	T 32
Baret betonu ortalama 17 günlük basınç dayanımı	48.0 MPa
Beton birim hacim ağırlığı	2322 kg/m ³



Şekil 7.18: O-Cell Hücresinin Montajı



Şekil 7.19: Strain Gauge Yerleşimi



Şekil 7.20: Baret Donatısı ve Aletsel Gözlem Ekipmanlarının Montajı

Osterberg hücresinin genişleme miktarının ölçülebilmesi için, deney alt ve üst plakaları arasına 6 adet Geokon 4450 serisi LVWDT tesis edilmiştir. Kazık tabanının hareketinin belirlenmesi amacıyla, kazık tabanından kazık betonu üst kotuna kadar çıkan ve karşılıklı olarak kazık boy donatılarına tesis edilen 6 adet telltale kılıfı içerisine 6.0mm çapa sahip telltale çubukları yerleştirilmiştir. Benzer şekilde kazık üst kısmının sıkışmasının tespiti için, O-cell üst plakasından kazık betonu üst kotuna kadar çıkan ve karşılıklı olarak kazık boy donatılarına tesis edilen 6 adet telltale kılıfı içerisine 6.0mm çapa sahip telltale çubukları yerleştirilmiştir.

Kazık üst kısmından, O-cell alt plakasına kadar uzanan iki adet çelik boru da O-cell genişlemesi sonucu oluşan boşluğun ya da hücre göçmesinin gözlenmesi için tesis edilmiş ve bu borular deney öncesi su ile doldurulmuştur.

Yükleme işlemi boyunca kazık davranışı, bahsedilen enstrümantasyon ile gözlemlenmiştir. Deney kazığının sıkışması, tesis edilen 6mm çapındaki telltale'lar ile tespit edilmiş ve LVDT'ler ile ölçülmüştür. Kazık başlığının hareketi, ise referans sistemi ile ilişkilendirilen LVDT'ler ile belirlenmiştir.

Sahada tesis edilen referans sistemi, beton bloklara oturtulmuş 9.0m boyundaki U profilden oluşturulmuştur. Beton bloklar, deney kazığından yaklaşık olarak 3 kazık

apı uzaklığa yerleştirilmiştir. Referans kirişinin hareketleri Leica NA 3003 serisi bir otomatik dijital nivo ile belirlenmiş ve kazık st kısmının diğer enştrmanlarla llen değerleri nivo okumaları ile dzeltilmiştir.

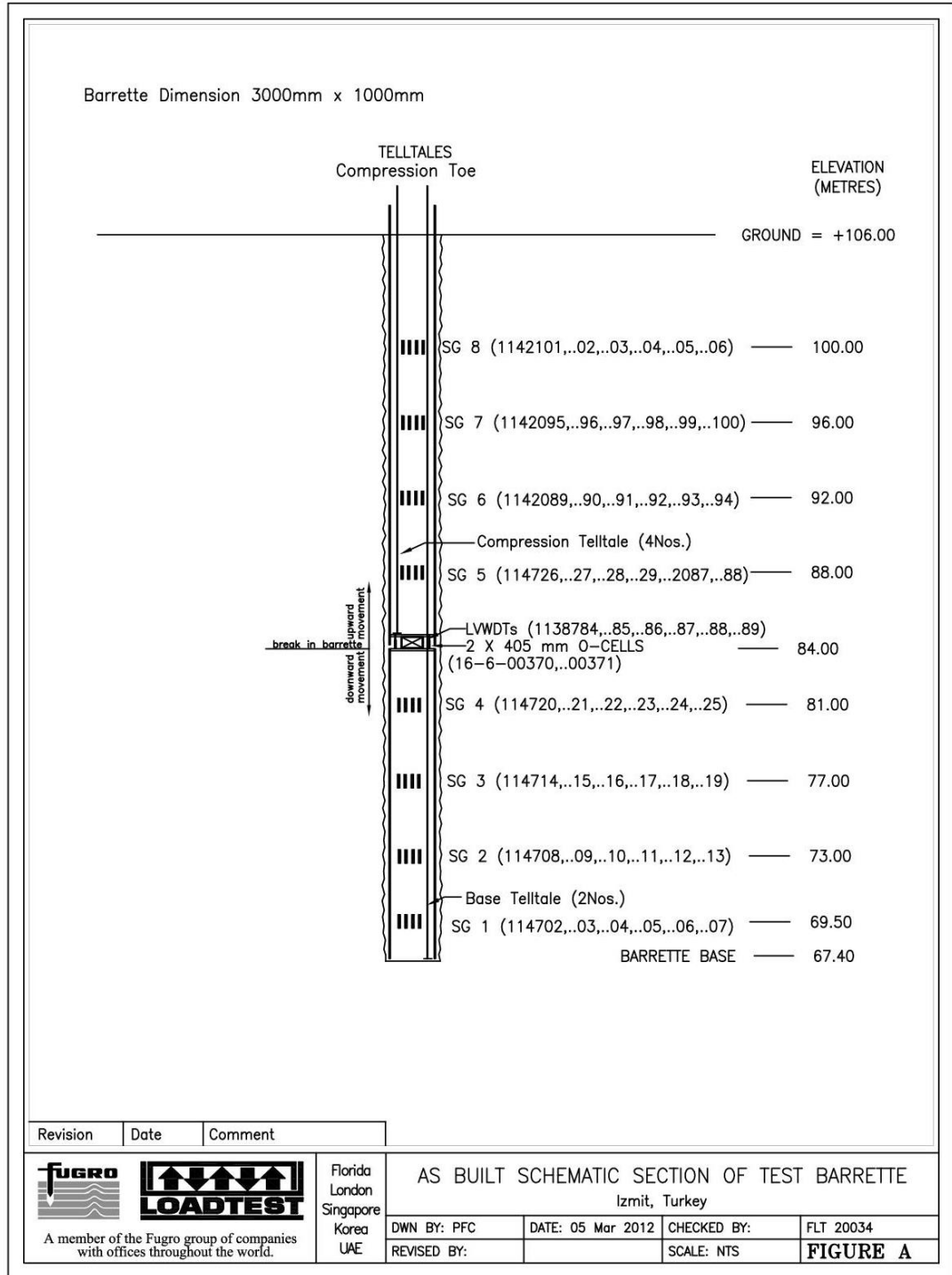
Her bir yk kademesindeki O-cell basıncı (yk), bir Bourdon manometresi ve VWDT (Vibrating Wire Displacement Transducer - Titresimli Telli Deplasman ler)'ler ile llmştir. VWDT'ler manuel olarak ykn etkiltilmesinde, sabitlenmesinde ve eşzamanlı olarak kaydedilmesinde kullanılmıştır. Etkitilen ykn teyit edilmesinde ve veri analizinde Bourdon manometresinden alınan okumalardan faydalanılmıştır.

Tesis edilen enştrmantasyon Data Electronics 515 GeoLogger modeli bir veri toplayıcıya bağlanmıştır. Elde edilen verinin kaydedilmesi ve deneyle eşzamanlı olarak izlenmesi iin bir dizşt bilgisayar da veri toplayıcı ve referans kirişi hareketini len Leica NA3003 ile irtibatlandırılmıştır. Veri toplayıcı, tesis edilen enştrmanları her 30sn'de bir okumuştur. Genel enştrmantasyon şeması şekil 7.22'de gsterilmiştir.

Enştrmantasyonu tamamlanmış donatı kafesleri 2 adet vin yardımı ile forajı tamamlanmış kuyuya indirilmiştir. Betonlama işlemi 30cm dış alı tremie boruları ile yapılmıştır. Donatı kafesinin taşınması ve kuyuya indirilmesi şekil 7.21ve şekil 7.23'de verilmiştir.



şekil 7.21: Donatı Kafesinin Taşınması



Şekil 7.22: Deney Kazığı Şematik Kesiti (Loadtest, 2012)



Şekil 7.23: Donatı Kafesi ve Yüklemeye Düzenekinin Kuyuya İndirilmesi

7.5.3. Yüklemeye testinin yapılması

O-cell yüklemeye deneyi, 29.02.2012 tarihinde gerçekleştirilmiştir. Deneyde kullanılacak ölçüm aygıtlarının yerleştirilmesinin ve bağlantılarının yapılmasının ardından, Osterberg hücrelerine bir başlangıç yükü etkitilmiştir.

Yapılan başlangıç yüklemesi, Osterberg hücrelerinin nakliye ve kuyu içerisine tesisleri esnasında ayrılmamalarını sağlayan ve O-cell'lerin plaka ile temas ettiği yüzeylerde zayıf bir düzlem oluşmasını temin eden kaynakların kırılmasını sağlamıştır. Tüm enstrümanlardan, söz konusu başlangıç yüklemesi esnasında okuma alınmış ve bu okumalar sıfır okuması olarak değerlendirilmiştir. Başlangıç yüklemesi sırasında hücrelere etkitilen azami yük 1.91MN olarak görülmüştür.

Test kazığı, başlangıç yükü boşaltılıp sönmüldükten sonra, kazık taban kotundan 16.60m yukarıda bulunan iki adet O-cell hücrelerine basınç etkitilmeye başlanmıştır. Yüklemeye kademeleri Çizelge 7.5'te gösterilmiştir. Buna göre, 20.0MN olan çift yönlü nihai O-cell yüküne, 12 eşit kademedede çıkılmıştır. Ancak testin son kademesinde bazı teknik problemler sebebiyle 9.84MN yüke çıkılabilmektedir.

9.84MN'luk yükün etkitildiği 1L-12 seviyesinde 30dk beklendikten sonra boşaltma aşamasına geçilmiştir. Yük 4 eşit kademede boşaltılmış ve deney tamamlanmıştır.

Çizelge 7.5: Test Kazığı Yükleme Kademeleri

Yük Kademeleri	% Maksimum Test Yüğü	Min. Bekleme Süresi
1L-0	0	10 dk
1L-1	8	30 dk
1L-2	17	30 dk
1L-3	25	30 dk
1L-4	33	30 dk
1L-5	42	30 dk
1L-6	50	30 dk
1L-7	58	30 dk
1L-8	67	30 dk
1L-9	75	30 dk
1L-10	83	30 dk
1L-11	92	30 dk
1L-12	100	30 dk
U1-1	75	10 dk
U1-2	50	10 dk
U1-3	25	10 dk
U1-4	0	60 dk

7.5.4. Yükleme deneyi sonuçları

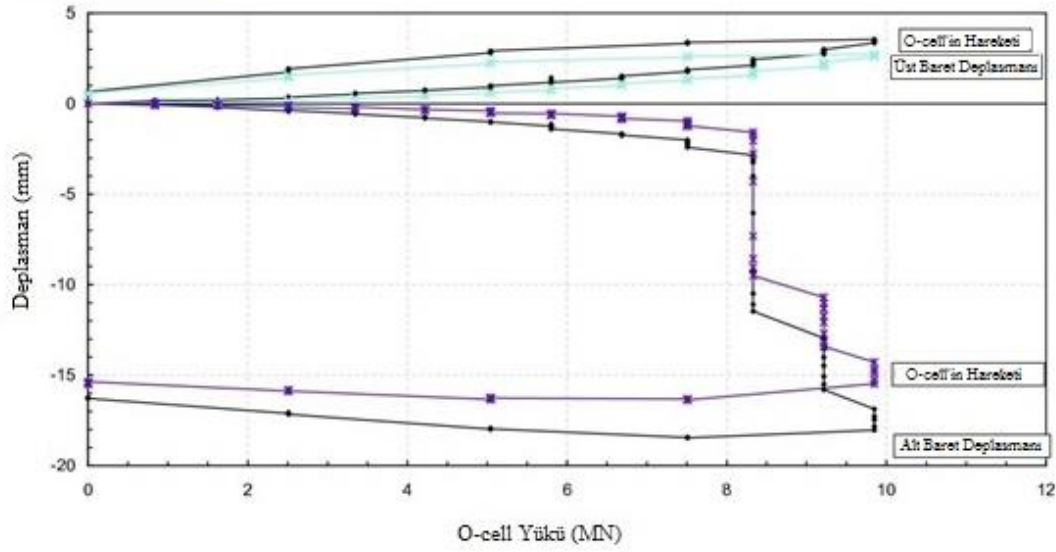
Deney kazığı, öngörülen şekilde ve belirlenen yük kademeleri ile 9.84MN'a kadar yüklenmiştir. Kazığın üst kısmında mobilize olan net birim çevre sürtünmesinin hesabında, O-cell seviyesi üzerindeki kazığın zati ağırlığı brüt O-cell yükünden çıkarılmıştır. Test kazığının O-cell üzerindeki kısmının zati ağırlığı 0.91MN olarak hesaplanmıştır.

Deney sonucunda Osterberg hücresi ile aşağı yönde etkitilen maksimum yük, 1L-12 yük kademesinde mobilize olmuştur ve Şekil 7.24'te görüldüğü gibi 9.84MN değerindedir. Bu yük değerinde O-cell alt plakasının aşağı yöndeki ortalama deplasmanı -18.50mm'dir. Eksi işareti yönü ifade etmektedir.

1L-10 yük kademesinde Şekil 7.24'ten da görüleceği gibi yük artımı olmamasına rağmen kazıkta takribi 10mm deplasman meydana gelmiştir. 1L-11 ve 1L-12 kademelerinde oturma hızı yavaşlasa da kazık tabanında uç direnci oluşturacak yeterli deplasman oluşmamıştır.



Osterberg Hücresi Yük-Deplasman Grafiği
PB1 - Coker Birimi, İzmit Rafinerisi, Türkiye



Şekil 7.24: Test Kazığı / O-cell Yükü – Deplasman Eğrisi, LOADTEST (2012)

Yukarı yönde Osterberg hücresi ile etkitilen ve O-cell seviyesi üzerindeki kazık parçasının sürtünme direnci taşıdığı ile maksimum net yük, 1L-12 yük kademesinde mobilize olmuştur ve Şekil 7.24'te görüldüğü gibi 9.84MN değerindedir. Bu yük değerinde O-cell üst plakasının yukarı yöndeki ortalama deplasmanı 3.5mm'dir.

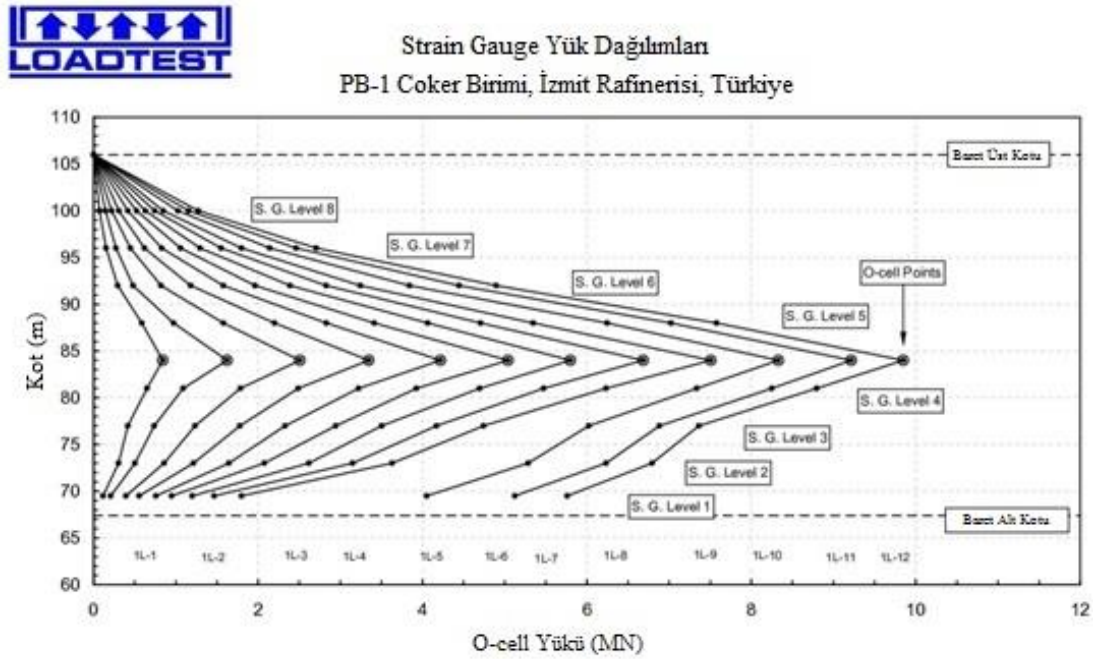
Deney kazığı betonundan alınan küp numunelerden elde edilen, betonun karakteristik basınç dayanımı 48.0MPa ve birim hacim ağırlığı 2322 olarak rapor edilmiştir. ACI (American Concrete Institute – Amerikan Beton Enstitüsü) tarafından verilen ($E_c = 4.73\sqrt{f'_c}$) eşitliğinden kazık betonunun elastisite modülü hesaplanmıştır. Hesaplanan elastisite modülü, baret donatısı ve baret boyutları kullanılarak baret kazığın ortalama rijitliği 96400MN olarak hesaplanmıştır.

Hesaplanan kazık rijitliği ile 1L-12 yük kademesinde mobilize olan net sürtünme dirençleri hesaplanmıştır. Yükleme deneyi sonucunda elde edilen birim sürtünme dirençlerinin dizayn değerleri ile karşılaştırılması Çizelge 7.6'da gösterilmiştir.

Çizelge 7.6: 1L-12 Yük Kademesi İçin Mobilize Olan Ortalama Birim Çevre Sürtünmesi Değerleri

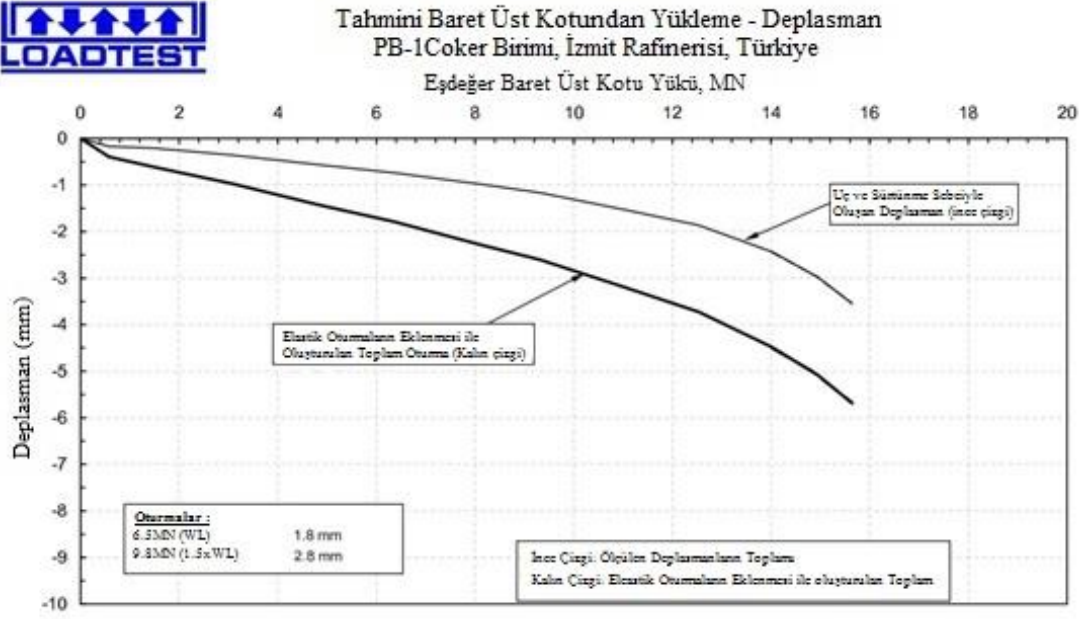
Strain Gauge	Kot(m)	Deplasman (mm)	Mobilize olan birim sürtünme direnci (kPa)	Dizayn birim sürtünme direnci (kPa)
Kazık Üstü- SG8	100	2.74	34.60	$8.57 \times 2 = 17.14$
SG8-SG7	+100 to +96	2.80	39.70	$17.01 \times 2 = 34.02$
SG7-SG6	+96 to +92	2.91	63.30	$19.83 \times 2 = 39.66$
SG6-SG5	+92 to +88	3.12	78.60	$21.06 \times 2 = 42.12$
SG5-Ocell	+88 to +84	3.39	65.80	$20.70 \times 2 = 41.40$
Ocell-SG4	+84 to +81	17.75	38.70	$18.64 \times 2 = 37.28$
SG4-SG3	+81 to +77	17.11	39.70	$18.97 \times 2 = 37.94$
SG3-SG2	+77 to +73	16.44	12.60	$19.31 \times 2 = 38.62$
SG2-SG1	+73 to +69.5	15.90	31.70	$19.30 \times 2 = 38.60$

Tüm yük kademeleri için hesaplanan strain gauge - yük dağılımları Şekil 7.25'te sunulmaktadır. Bu diyagramda görülen O-cell seviyesi üzerindeki deformasyon ölçer okumaları, eşdeğer yukardan yükleme – oturma grafiğinin elde edilmesinde başvurulan ekstrapolasyon metodunda kullanılmıştır.



Şekil 7.25: Strain Gauge Yük Dağılımları

Eşdeğer klasik kazık yükleme deneyi yük-deplasman grafiği hesaplanmış ve Şekil 7.26'da verilmektedir. Buna göre elde edilen sonuçlarda kazık, 6.5MN'luk dizayn yükünde 1.8 mm ve 9.8MN ile yüklükten 2.8 mm oturmaktadır. Gerçekleştirilen yükleme test raporu Ek C'de sunulmaktadır.



Şekil 7.26: Eşdeğer klasik kazık yükleme deneyi yük-oturma grafiği

7.5.5. Deney sonuçlarının yorumlanması

Gerçekleştirilen Osterberg hücresi ile kazık yükleme deneyi sonucunda, 100cmx300cm baret kazık için hesaplanan 6.5MN'luk taşıma kapasitesinin saha uygulamasında karşılandığı görülmüştür.

Test 16.50MN'luk yüklemeye kadar düşük deplasmanlar göstermiştir. Test raporundan da görüleceği üzere 15.00MN'luk yükleme altında 5.0mm deplasman, 9.80MN'luk yükleme altında 2.8mm deplasman ve 6.50MN'luk yükleme altında 1.8mm deplasman yaptığı görülmüştür.

Deformasyon ölçer (strain gauge) verilerinden görüleceği üzere ile test sırasında karşılaşılan sürtünme direnci değerleri, teorik hesaplarda bulunana değerler ile genel olarak yakın olduğu görülmüştür. Ancak +84.00 kotu altında yer alan siltli kum tabakasının dizayn aşamasında hesaplanan gerekli sürtünme direncini karşılamadığı görülmüştür. Özellikle +96.00-+88.00 kotları arasında yer alan deformasyon ölçerden elde edilen sürtünme direnci dizayn direncinden oldukça düşüktür.

Test sonucunda elde edilen Test Kazığı / O-cell Yüğü – Deplasman Eğrisi incelendiğinde 8.25MN'luk yükleme altında uç direnci tam olarak oluşmadan yüksek deformasyonun olduğu görülmüştür. Bu yük altında herhangi bir yük artımı olmaksızın yaklaşık 1cm'lik oturma meydana gelmiştir. Bu duruma sebep olarak

foraj sırasında test kuyusunun uç kısmının tam olarak temizlenmemesi ve bir miktar zemin/bentonit çamuru karışımının taban betonunu olumsuz olarak etkidiği düşünülmektedir. Her ne kadar taşıma kapasitesi hesaplarında uç mukavemeti dikkate alınmasa da, uygulama aşamasında proje gereğine uygun kusursuz bir çalışma beklenmektedir. Uç direncinin sağlanmasının dizayn güvenliğini arttıracak ve daha düşük oturmaların elde edilmesini sağlayacağı açıktır.

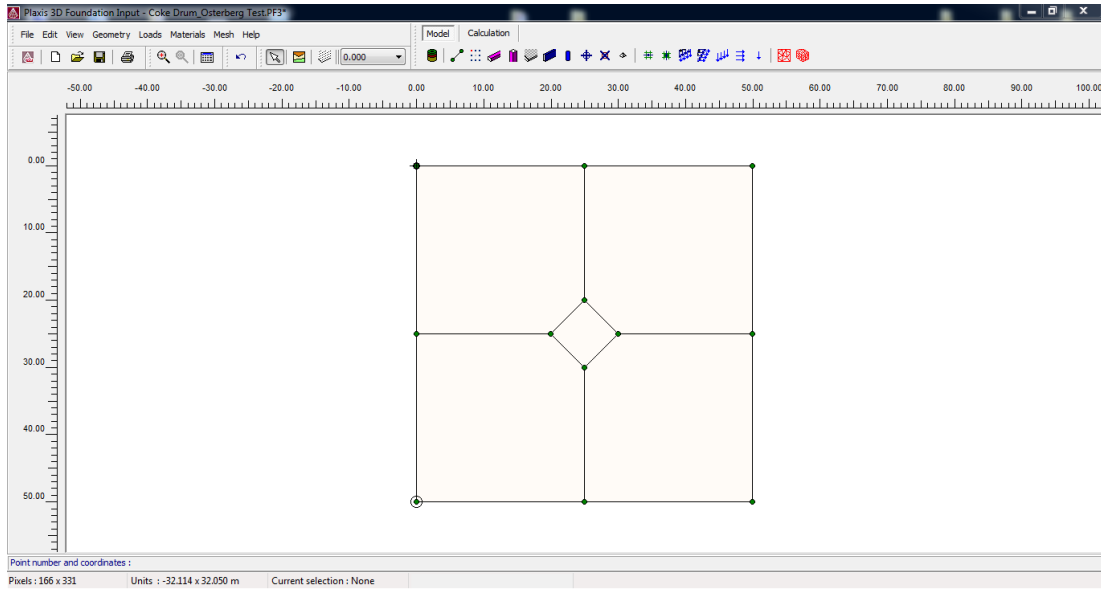
7.6. Osterberg Hücresi ile Baret Kazık Yükleme Testinin Sonlu Elemanlar Metodu ile Analizi

Bu bölümde, arazide gerçekleştirilen Osterberg hücresi ile baret kazık yükleme testinin sonlu elemanlar metodu ile analizi yapılmış ve elde edilen sonuçlar ışığında teste yönelik değerlendirmeler yapılmıştır. Analizler Plaxis 3D Foundation sonlu elemanlar programı ile gerçekleştirilmiştir. Programda gerçekleştirilen modelleme aşamaları aşağıda verilmektedir.

- Modelin iki boyutlu olarak oluşturulması
- Malzeme parametrelerinin (zemin, baret) tanımlanması
- Baret Kazıkların oluşturulması
- Sonlu elemanlar ağının oluşturulması
- Baretin Osterberg Testi doğrultusunda kademeli olarak yüklenmesi

7.6.1. Modelin iki boyutlu olarak oluşturulması

Modelin tanımlanması sırasında baret kazığının test kademeleri sırasında doğru sonuçlar elde etmek ve barete gelen gerilmelerin sınır koşullardan etkilenmemesi için, model geometrisi x ve z doğrultusunda 50.0m olarak tanımlanmış ve test kazığı modelin ortasında konumlandırılmıştır. y doğrultusunda, üst ve alt baret parçalarının tanımlanması adına 0.00, 22.00, 22.50 ve 39.10 kotlarında çalışma platformları oluşturulmuştur. Alt ve üst baret arasında Osterberg deneyine uygun olarak ve yüklenme sırasında oluşabilecek problemleri minimuma indirmek amacıyla 0.5m aralık bırakılarak modellenmiştir. Oluşturulan iki boyutlu model aşağıda Şekil 7.27’de verilmektedir.



Şekil 7.27: Modelin 2 Boyutlu Oluşturulması (x-z düzlemi)

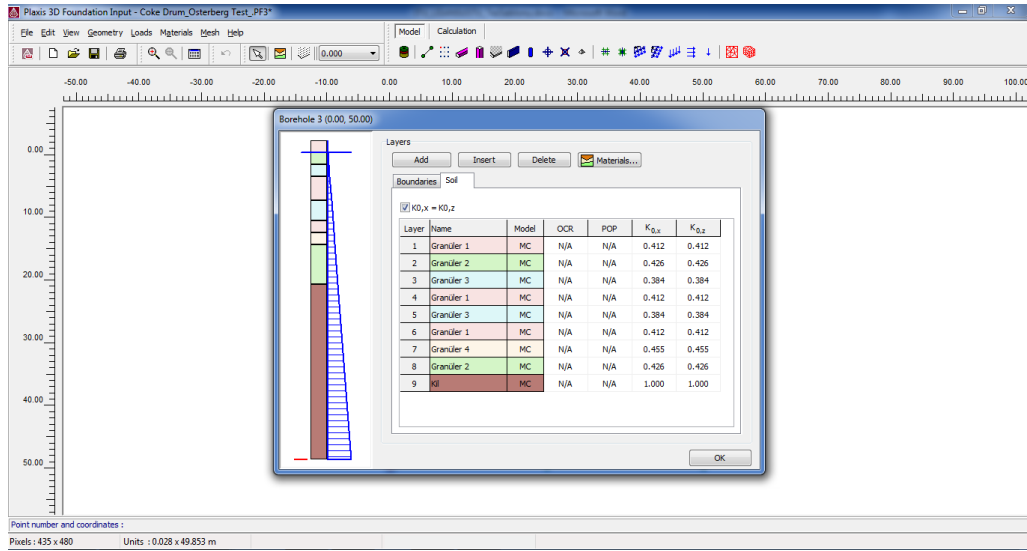
7.6.2. Malzeme parametrelerinin (Zemin, Baret) tanımlanması

Model oluşturulduktan sonra sınır koşulların verilebilmesi ve sonlu elemanların oluşturulabilmesi için zemin parametrelerinin atanması gerekmektedir. Zemin parametreleri tanımlanmadan sonlu elemanlar oluşturulamamaktadır.

Zemin tabakaları modele sondaj kuyusu “*borehole*” bölümünde atanmaktadır. Burada arazi şartlarına uygun olarak zemin tabakaları belirlenmiş ve tanımlanan zemin özellikleri modele girilmiştir. Arazi incelemeleri sırasında yeraltı su seviyesi - 3.0m’de karşılaşılmış olup, modele de bu değer atanmıştır. Analizde kullanılan granüler ve kil zeminler için Çizelge 7.7’de verilmektedir. Zemin tabakalarının modele tanımlanması Şekil 7.28’de verilmektedir.

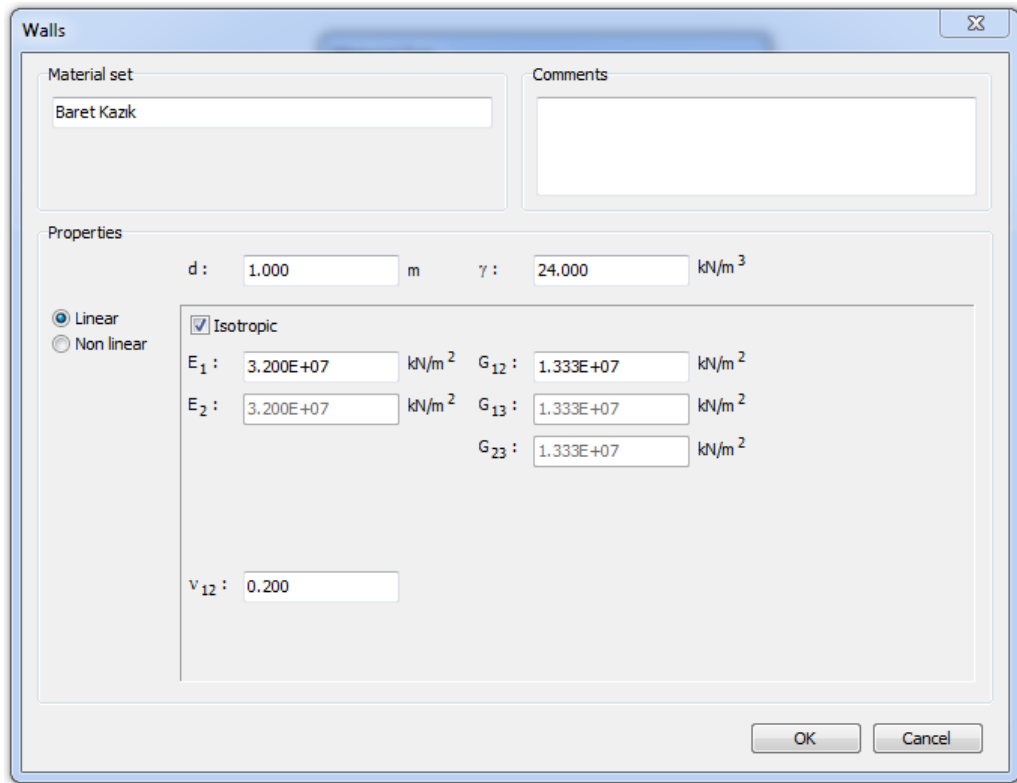
Çizelge 7.7: Analizlerde Kullanılan Zemin Özellikleri

Malzeme Cinsi	Granüler Zemin	Granüler Zemin	Granüler Zemin	Granüler Zemin	Killi Zemin
Malzeme Modeli	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Malzeme Tipi	Drenajlı	Drenajlı	Drenajlı	Drenajlı	Drenajsız
γ_{unsat} (kN/m ³)	18	18	19	18	19
γ_{sat} (kN/m ³)	19	19	20	19	20
E_{ref} (kN/m ²)	2.20E+04	2.00E+04	2.40E+04	1.80E+04	3.25E+04
ν	0.3	0.3	0.3	0.3	0.35
c_{ref} (kN/m ²)	1	1	1	1	350
ϕ°	36	35	38	33	-
ψ°	6	5	8	3	-
G_{ref} (kN/m ²)	8461.538	7692.308	9230.769	6923.077	1.20E+04
E_{oed} (kN/m ²)	2.96E+04	2.69E+04	3.23E+04	2.42E+04	5.22E+04



Şekil 7.28: Zemin Tabakalarının Modele Tanımlanması

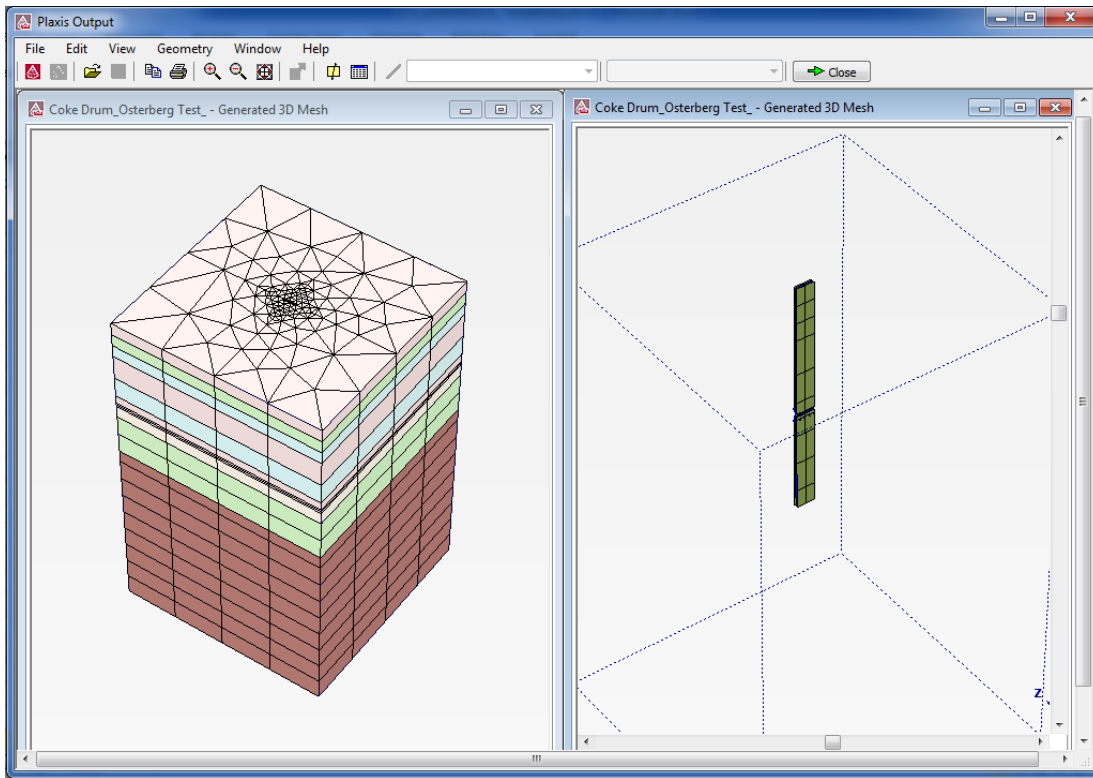
Baret kazık 1m kalınlıkta ve 3m uzunluğunda “wall” olarak tanımlanış olup, elastisite modülü ve birim hacim ağırlığı değerleri Osterberg test raporundan alınmıştır. Baret kazık özellikleri aşağıda Şekil 7.29’da verilmektedir. Baret kazıkların tanımlanmasından ardından, üst ve alt barete hesaplama bölümünde kademeli olarak uygulanmak üzere yayılı yük tanımlanmıştır.



Şekil 7.29: Baret Kazık Malzeme Özellikleri

7.6.3. Sonlu elemanlar ağıının oluşturulması

Model oluşturma aşamaları geçilmiş ve ilk olarak 2 boyutlu ve sonra 3 boyutlu sonlu elemanlar ağı oluşturulmuştur. Üç boyutlu sonlu elemanlar modeli Şekil 7.30'da görülmektedir. Şekilden görüleceği üzere baret kazık çevresinde gerilmelerin yoğun olacağı düşünülerek sonlu elemanlar sıklaştırılmış ve daha iyi çözüm elde edilmesi istenmiştir. Tüm modelin sıklaştırılmamasının sebebi ise eleman sayısının optimum tutularak daha kısa sürede en etkili çözüme ulaşmaktır.



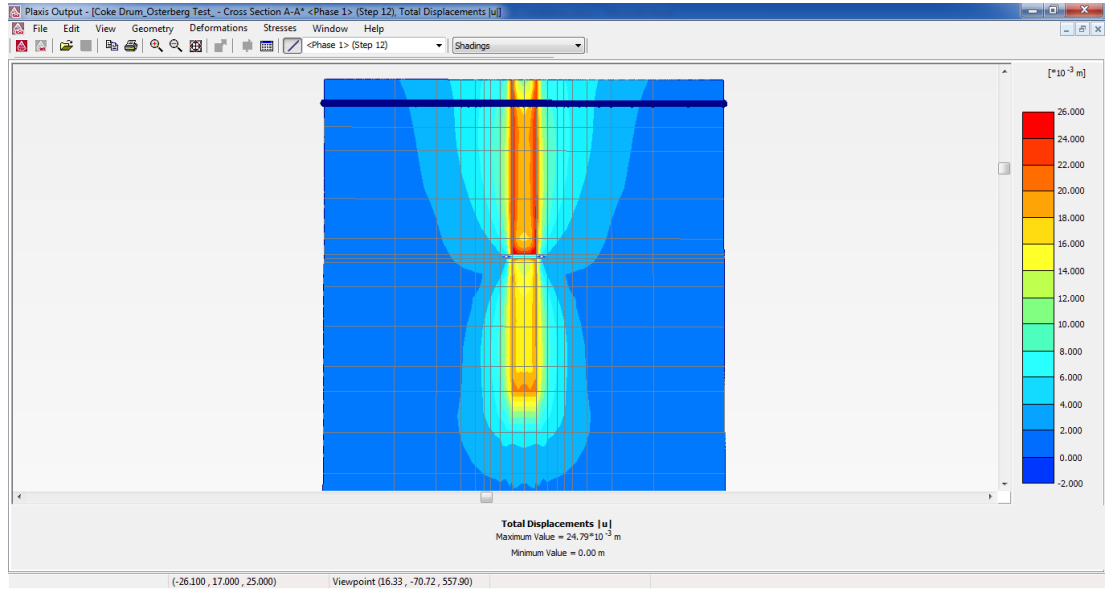
Şekil 7.30: 3D Sonlu Elemanlar Ağı Oluşturulması

7.6.4. Hesap adımlarına geçilmesi

Modelin geometrisinin oluşturulması, malzeme parametrelerinin atanması, sınır şartlarının oluşturulması ve sonlu elemanların tamamlanmasıyla hesap adımlarına geçilmiştir. Zemin öncelikle, gerçek halini tanımlamak amacıyla, kendi ağırlığında yüklenmiş ve oluşan deformasyonlar sıfırlanmıştır. Daha sonra baret kazık elemanı seçilmiş ve Osterberg testinde olduğu gibi test yükü (9.80MN) 12 kademedede uygulanmış ve 4 kademedede boşaltılarak hesap adımları tamamlanmıştır.

7.6.5. Baret kazık yükleme testinin Osterberg metodu ile analizi

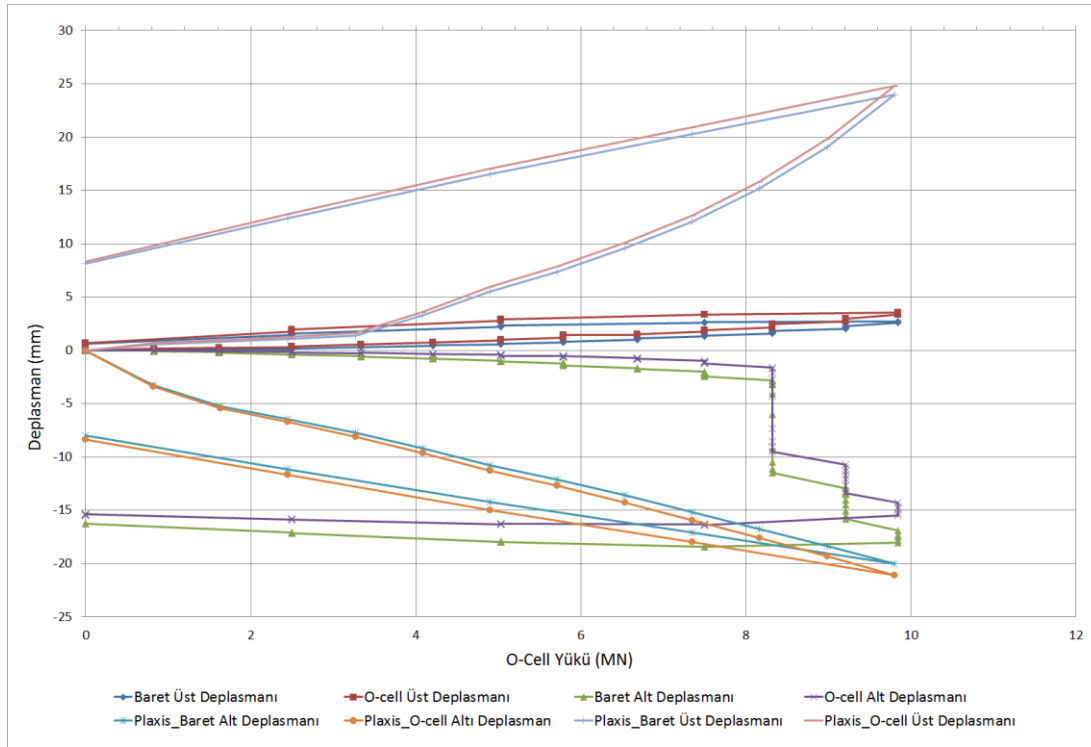
Modellenen baret kazığa Osterberg testin de gerçekleştirilen yükleme ve boşaltma kademeleri uygulanarak oluşan deplasmanlar kayıt altına alınmıştır. Maksimum yük kademesinde üst ve alt baretlerde oluşan deplasmanlar aşağıda Şekil 7.31’de verilmektedir.



Şekil 7.31: Maksimum Test Yükünde Meydana Gelen Deplasmanlar

Gerçekleştirilen analiz sonuçları incelendiğinde o-cell hücresinin üst kısmında yer alan baretin üst kısmında 23.99mm, o-cell hücresinin üst kısmında ise 24.79mm deplasman oluşmuştur. Alt baret parçasında ise o-cell altında 21.09mm, baret alt kotunda ise 20.03mm deplasman meydana gelmiştir. Gerçekleştirilen analiz sonucunda yük kademelerinde meydana gelen deplasmanlar, Osterberg testi sonuçları ile birlikte aşağıda Şekil 7.32’de sunulmuştur.

Gerçekleştirilen analiz sonuçlarında meydana gelen deplasmanların, sahada gerçekleştirilen test sonuçlarına göre fazla olduğu görülmüştür. Özellikle üst baret parçasında Plaxis analizi sonucunda 24mm deplasman olurken test sonucunda 3.5mm deplasman olmuştur. Bu duruma sebep olarak modelde tanımlanan zemin parametrelerinin gerek arazi koşulları gerekse literatür değerleri dikkate alındığında alt limite yakın olmasıdır. Özellikle SPT-N değerlerinden elde edilen Elastisite Modülü değerlerinin arazide karşılaşılan granüler birimler için genel literatür değerlerinin altında olduğu görülmüştür.



Şekil 7.32: Osterberg Testi ve Sonlu Elemanlar Analizi Sonucunda Oluşan Deplasmanlar

Elastisite Modülü Değerlerinin Pressiyometre Test Sonuçlarında Elde Edilmesi ve Sonlu Elemanlar Metodu ile Analizi:

Arazide gerçekleştirilen presiyometre test sonuçlarında elde edilen Menard Modülleri (E_{pmt}) değerleri kullanılarak Baguelin ve diğ., (1978) tarafından önerilen $E = E_{pmt} / \alpha$ formülü yardımıyla zemin tabakalarının elastisite modülleri belirlenmiştir. Formülde α , “rheological factor” olup, Baguelin ve diğ., (1978) tarafından önerilen değerler aşağıda Çizelge 7.8’de verilmektedir. Arazide gerçekleştirilen presiyometre test sonuçları ve aşağıdaki çizelgeden elde edilen rheological faktör değerleri kullanılarak elde edilmiş elastisite modülleri ve diğer zemin parametreleri Çizelge 7.9’da sunulmaktadır.

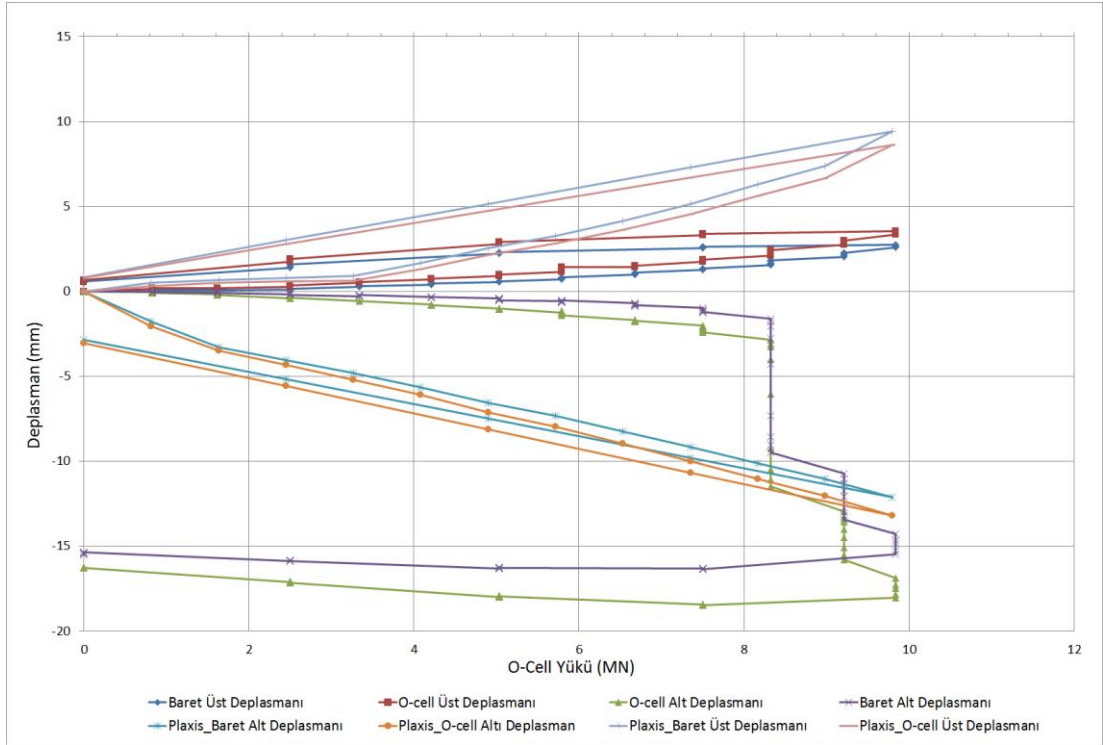
Çizelge 7.8: Presiyometre Test Sonuçları Doğrultusunda Belirlenen Zemin Tipleri ve Rheological Faktörler

Zemin Cinsi	Turba		Kil		Silt		Kum		Kum ve Çakıl	
	E_M/p^*_I	α	E_M/p^*_I	α	E_M/p^*_I	α	E_M/p^*_I	α	E_M/p^*_I	α
Aşırı Konsolide		1	>16	1	>14	2/3	>12	1/2	>10	1/3
Normal Konsolide			9-16	2/3	8-14	1/2	7-12	1/3	6-10	1/4
Ayrışmış			7-9	1/2		1/2		1/3		1/4

Çizelge 7.9: Presiyometre Testinden Elde Edilen Elastisite Modülleri ve Diğer Zemin Özellikleri

Malzeme Cinsi	Granüler Zemin	Granüler Zemin	Granüler Zemin	Granüler Zemin	Killi Zemin
Malzeme Modeli	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Malzeme Tipi	Drenajlı	Drenajlı	Drenajlı	Drenajlı	Drenajsız
γ_{unsat} (kN/m ³)	18	18	19	18	19
γ_{sat} (kN/m ³)	19	19	20	19	20
E_{ref} (kN/m ²)	9.00E+04	4.50E+04	9.00E+04	2.70E+04	6.00E+04
ν	0.3	0.3	0.3	0.3	0.35
c_{ref} (kN/m ²)	1	1	1	1	350
ϕ°	36	35	38	33	-
ψ°	6	5	8	3	-
G_{ref} (kN/m ²)	3.46E+04	1.73E+04	9230.769	1.04E+04	2.22E+04
E_{oed} (kN/m ²)	1.21E+05	6.06E+04	3.23E+04	3.64E+04	9.63E+04

Çizelge 7.9’da verilen zemin parametreleri kullanılarak arazide gerçekleştirilen Osterberg Testi sonlu elemanlar metodu ile tekrar analiz edilmiş ve yapılan analiz sonucunda elde edilen deplasman değerlerinin Osterberg testi sonucunda elde edilen deplasmanlara yakın olduğu görülmüştür. Plaxis analizi ve Osterberg testi sonucunda elde edilen yük-deplasman eğrileri Şekil 7.33’de sunulmaktadır. Analiz sonucunda baret üstü 8.6mm ve baret altı 12.1mm deplasman olduğu görülmüştür.



Şekil 7.33: Osterberg Testi ve Sonlu Elemanlar Analizi Sonucunda Oluşan Yük-Deplasman Eğrileri

7.6.6. Analiz sonuçlarının değerlendirilmesi

Osterberg hücresi ile kazık yükleme deneyi sonlu elemanlar methodu ile analiz edilmiş olup, analiz sonucunda, baret kazık için hesaplanan 650t taşıma kapasitesinin izin verilen oturma limitleri içerisinde güvenilir bir şekilde karşılandığı görülmüştür.

İlk analizde baret kazık taşıma kapasitesi ve oturma hesaplarında kullanılmak üzere arazi testlerinden elde edilen zemin parametreleri kullanılmış olup, bu değerlere göre hesaplanan deplasmanların teste göre fazla olduğu belirlenmiştir. Kullanılan parametreler tekrar incelendiğinde özellikle SPT-N değerlerinden elde edilen elastisite modülü değerlerinin gerek arazi koşulları gerekse literatürde verilmiş olan değerlerin altında olduğu görülmüştür. Bu sebeple elastisite modülleri, arazide gerçekleştirilen presiyometre test sonuçları kullanılarak tekrar hesaplanmış ve revize zemin parametreleri ile test tekrar analiz edilmiştir. İkinci analiz sonucunda elde edilen deplasman değerleri test sonuçlarına yakın olarak elde edilmiştir.

Analizlerden elde edilen yük-deplasman eğrileri incelendiğinde O-cell altında yer alan barette, 8.25MN yük altında yük artımı olmaksızın meydana gelen deplasman benzeri bir durum gözlemlenmemiştir. Bu durum, oluşan bu deplasmanın test kuyusunun uç kısmının tam olarak temizlenememesi ve bir miktar zemin/bentonit çamuru karışımının taban betonunu olumsuz olarak etkimesi sebebiyle meydana geldiği düşüncesini kanıtlar niteliktedir.

8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışması kapsamında baret temel sistemlerinin düşey yükler altında taşıma gücü mekanizması ve oturma davranışına yönelik geçmiş ve güncel kaynaklar detaylı incelenerek literatür taraması yapılmıştır. Baret temel sistemlerinin saha uygulamaları, diğer kazıklı sistemlere göre avantaj ve dezavantajları ele alınmıştır. Baret kazıkların kalite kontrol deneylerine yönelik Osterberg hücresi ile kazık yükleme deneyleri detaylı olarak incelenmiştir. Son bölümde Baret temel sisteminin uygulandığı bir proje detaylı olarak incelenmiştir. Baret kazıklarının düşey taşıma gücü gerçekleştirilen teorik hesaplar ve Osterberg hücresi kazık yükleme deneyi sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Kazık yükleme testi 3D Plaxis Foundation sonlu elemanlar programı ile modellenmiş ve test performansı değerlendirilmiştir.

Baret kazıkların geleneksel dairesel fore kazıklara göre avantajları aşağıda verilmektedir:

- Aynı yönde etki eden kuvvetler altında fore kazıklı temellere göre çok daha yüksek yatay kesme kuvveti ve eğime momenti kapasitesine sahip olması,
- Üstyapı düşey yapısal elemanları ve kolonları ile kolay uyum sağlaması sonucu her bir kolon altında tek bir baret uygulanabilmesi sayesinde kesitin ve kapasitenin etkin kullanılabilmesi,
- Fore kazıklı bir temele göre şekli nedeni ile çok daha fazla çeper alanına sahip olması nedeniyle daha yüksek bir çeper sürtünme kapasitesine sahip olması,
- Tasarımda boyutlarının genişletilebilir olması nedeniyle sınırsız sayıda alternatif ve ekonomik çözüm oluşturabilmesi,
- İnşası için zemin şartlarına bağlı olarak, mekanik, hidrolik ve / veya hydrofreeze kullanılabilmesi nedeni ile sert kayalar dahil her zeminde ve proje boyunda inşa edilebilmesi

Osterberg hücresi ile kazık yükleme deneyleri baret kazıkların kalite kontrolüne yönelik yaygın olarak kullanılmaktadır. Osterberg testi diğer geleneksel yöntemler

ile karşılaştırıldığında birçok anlamda O-cell ile yapılan deneylerin üstünlüğünü görülmektedir. Zira kazıkların içten çift-yönlü yüklenmesi; reaksiyon sistemi maliyetini düşürmekte, süre açısından önemli tasarruf sağlamakta ve iş güvenliği konusundaki riskleri en aza indirmektedir. Deneyin statik olarak yapılıyor olması, yükün istenen noktada ve istenildiği süre boyunca sabitlenerek, çevre sürtünmesi ve uç direnci ile ilgili sünme davranışının ayrı ayrı değerlendirilmesini sağlamakta ve seçilen imalat yönteminin söz konusu iki parametreyi ne ölçüde etkilediği değerlendirilebilmektedir.

Baret kazıkların düz bir doğrultu boyunca, minimum sapma ile imal edilmesi büyük önem taşımaktadır. Kazı sırasında grab ve hidrofrezelerin x-x, y-y eksenlerinde oluşacak saptmaların ve z ekseninde oluşabilecek dönme hareketinin belirlenmesine ve olası sapma durumunda delgi ekseninin düzeltilmesine yönelik aletsel gözlem çalışmaları yapılmaktadır. Bu amaca yönelik “Taralog Recorder” (Jean Lutz SA, 2012) ve Ultrasonic Caliper Logging deneyi uygulanmaktadır. Bu tür uygulamaların baret kazık imalatı aşamasında daha yaygın olarak kullanılması önerilmektedir.

Tezin vaka analizi kısmında Tüpraş Fuel Oil Dönüşüm (Resid Upgrading) Projesi Coke Drum yapısı incelenmiştir. İnceleme alanında gerçekleştirilen sondaj ve arazi testleri değerlendirilerek, temel sistemine yönelik değerlendirmeler yapılmıştır.

Arazi ve laboratuvar deneylerinden elde edilen parametreler ve presiyometre test sonuçları dikkate alınarak maksimum $L = 40.0m$ boyuna kadar, $\phi 65cm$, $\phi 80cm$ ve $\phi 100cm$ çaplı fore kazıklar ve $80 \times 280cm$, $100 \times 280cm$ ve $100 \times 300cm$ boyutlarında baret kazıklar için emniyetli düşey taşıma kapasiteleri belirlenmiştir. Hesaplanan kapasiteler karşılaştırıldığında, presiyometre deney verileri kullanılarak elde edilen taşıma kapasitelerinin, SPT deneyinden elde edilen parametreler kullanılarak hesaplanan taşıma gücü kapasitesinden daha yüksek olduğu görülmüştür. Presiyometre deneyi daha çok yüzeysel temellerin oturma ve taşıma gücü hesaplarında kullanılmakta olup, yapının önemi de dikkate alındığında hesaplarda SPT deneylerinden elde edilen zemin parametreleri ile hesaplanan kazık kapasiteleri dikkate alınmıştır.

Gerçekleştirilen taşıma gücü hesapları karşılaştırıldığında baret kazıklar ile elde edilen taşıma gücü değerlerinin aynı kesit alanına sahip fore kazıklardan daha fazla olduğu görülmüştür. Ayrıca baret sistemi seçimi ekonomik olarak da avantajlı

olmaktadır. Derin temel sistemine etkiyecek yüksek yapı yükleri ve talep edilen minimum oturma kriteri de dikkate alındığında kazık sistemi olarak 100cmx300cm baret kazıklar seçilmiştir.

Coke Drum yapısının oldukça yüksek üst yapı yüklerine sahip olması, yapının oturtulacağı baret kazıkların taşıma kapasitelerinin yükleme deneyleri ile kontrolünü gerekli kılmıştır. Bunun yanı sıra, proje gereği önem arz eden farklı oturma durumunun incelenmesi için temel sisteminin davranışının, diğer bir deyişle temel altı baret kazıklarının yük – oturma davranışının tespit edilmesi gerekmiştir. Bu amaçla proje ön dizayn kapsamında 38.60m boyunda 100cmx300cm çaplı baret test kazığı imal edilmiş ve çift yönlü statik yükleme deneyi (BD-SLT)/Osterberg hücresiyle kazık yükleme deneyi gerçekleştirilmiştir.

Gerçekleştirilen Osterberg hücresi ile kazık yükleme deneyi sonucunda, 100cmx300cm baret kazık için hesaplanan 6.5MN'luk taşıma kapasitesinin saha uygulamasında karşılandığı görülmüştür.

Deformasyon ölçer (strain gauge) verilerinden görüleceği ile test sırasında karşılaşılan sürtünme direnci değerleri, teorik hesaplarda bulunana değerler ile genel olarak yakın olduğu görülmüştür. Ancak +84.00 kotu altında yer alan siltli kum tabakasının dizayn aşamasında hesaplanan gerekli sürtünme direncini karşılamadığı görülmüştür. Özellikle +96.00-+88.00 kotları arasında yer alan deformasyon ölçerden elde edilen sürtünme direnci dizayn direncinden oldukça düşüktür.

Test sonucunda elde edilen Test Kazığı / O-cell Yüğü – Deplasman Eğrisi incelendiğinde 8.25MN'luk yükleme altında uç direnci tam olarak oluşmadan yüksek deformasyonun olduğu görülmüştür. Bu yük altında herhangi bir yük artımı olmaksızın yaklaşık 1cm'lik oturmanın meydana gelmiştir. Bu duruma sebep olarak foraj sırasında test kuyusunun uç kısmının tam olarak temizlenmemesi ve bir miktar zemin/bentonit çamuru karışımının taban betonunu olumsuz olarak etkidiği düşünülmektedir. Her ne kadar taşıma kapasitesi hesaplarında uç mukavemeti dikkate alınmasa da, uygulama aşamasında proje gereğine uygun kusursuz bir çalışma beklenmektedir. Uç direncinin sağlanmasının dizayn güvenliğini arttıracığı ve daha düşük oturmaların elde edilmesini sağlayacağı açıktır.

İnşası planlanan 100cmx300cm boyutlu baret kazıklar için teorik metotla oturma analizi gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizde 1.76mm elastik oturma olmak üzere

toplam 7.86mm oturma hesaplanmıştır. Arazide gerçekleştirilen Osterberg hücresi ile kazık yükleme testi sonuçlarında eşdeğer yükleme – deplasman grafiği incelendiğinde 1.1mm elastik oturma ve toplam 1.8mm oturma hesaplanmıştır. Hesaplanan elastik oturmalar yakın mertebede olup, toplam oturma değerinin test sonucunda daha az olacağı görülmüştür.

Arazide gerçekleştirilen Osterberg hücresi ile baret kazık yükleme testinin sonlu elemanlar metodu ile analizi yapılmış ve elde edilen sonuçlar ışığında teste yönelik değerlendirmeler yapılmıştır. Analiz sonucunda baret kazık için hesaplanan 650t taşıma kapasitesinin izin verilen oturma limitleri içerisinde güvenilir bir şekilde karşılandığı görülmüştür.

Gerçekleştirilen ilk analizde hesaplanan deplasman değerlerinin teste göre fazla olduğu belirlenmiştir. Kullanılan parametreler tekrar incelendiğinde özellikle SPT-N değerlerinden elde edilen elastisite modülü değerlerinin gerek arazi koşulları gerekse literatürde verilmiş olan değerlerin altında olduğu görülmüştür. Bu sebeple elastisite modülleri, arazide gerçekleştirilen presiyometre test sonuçları kullanılarak tekrar hesaplanmış ve revize zemin parametreleri ile test tekrar analiz edilmiştir. İkinci analiz sonucunda elde edilen deplasman değerleri test sonuçlarına yakın olarak elde edilmiştir.

Analizlerden elde edilen yük-deplasman eğrileri incelendiğinde O-cell altında yer alan barette, 8.25MN yük altında yük artımı olmaksızın meydana gelen deplasman benzeri bir durum gözlemlenmemiştir. Bu durum, oluşan bu deplasmanın test kuyusunun uç kısmının tam olarak temizlenememesi ve bir miktar zemin/bentonit çamuru karışımının taban betonunu olumsuz olarak etkimesi sebebiyle meydana geldiği düşüncesini kanıtlar niteliktedir.

Tez kapsamında gerçekleştirilen incelemeler sonucunda baret kazıkların, yüksek üst yapı yüklerine sahip ve oturma limitlerinin kritik olduğu yapılarda maliyet ve süre açısından avantaj sağladığı görülmüştür. Bu sebeple doğru bir projelendirme ve arazi-proje koşullarının detaylı olarak değerlendirilmesi ile ağır ve konsantre yükler içeren projelerde baret kazıklar tercih edilmelidir. Gelişen teknoloji ve sınırlı kaynaklar ile optimum temel mühendisliği çözümleri oluşturabilmek adına baret kazıklar daha fazla uygulama alanı bulmalıdır.

KAYNAKLAR

- AASHTO Standard Specifications for Highway Bridges**, (2002). *American Association of State Highway and Transportation Officials*, Washington, USA
- Afacan, K., B.**, (2007). Perde Kazıkların Düşey Tasıma Gücünün Sonlu Elemanlar Yöntemiyle İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, İstanbul.
- ASTM D1143-07**, (2013). Standard Test Methods for Deep Foundations Under Static Axial Compressive Load, *American Society for Testing and Materials*, USA
- Bowles, J. E.**, (1996). Foundation Analysis and Design, McGraw-Hill Company, New York, USA
- BS 8004**, (1986). Code of practice for foundations
- Canadian Foundation Engineering Manual**, (1985). Canadian Geotechnical Society, Bi Tech. Publication.
- Das, M. B.**, (2007). Principles of Foundation Engineering, 7th Edition, Brooks/Cole, California, USA
- Dinç, H.**, (2010). Osterberg Hücresi ile Kazık Taşıma Kapasitesinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Durgunoğlu, T.**, (2012). Foundation Geometry and Load Testing Reduces Uncertainty for a Sports Stadium, *ASCE*
- England, M.**, (2003). "Bi-directional Static Load Testing – State of the Art", *Loadtest Inc.,UK*
- England, M., ve Fleming, W. G. K.**, (1994): "Review of Foundation Testing Methods and Procedures" *Proceedings of Institution of Civil Engineers, Geotechnical Engineering, Vol. 3, Issue 3, July, pp. 135-142.*
- Fellenius, B. H.**, (2001). "What Capacity Value to Choose from the Results a Static Loading Test", *Deep Foundations Institute, Fulcrum, Fall, pp. 23-26.*
- Lei G. H. ve Ng C. W.**, (2007). "Rectangular barrettes and circular bored piles in saprolites", *Proceedings of the ICE - Geotechnical Engineering, Volume 160, Issue 4*
- ICE**, (1996). Specification for Piling and Embedded Retaining Walls, Thomas Telford Ltd., London.
- Lei, G.**, (2001). "Behaviour of Excavated Rectangular Piles (barrettes) in Granitic Saprolites", Doktora Tezi, Hong Kong Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Hong Kong

- Jeffrey A. McGregor ve J. Micheal Duncan**, (1998). “Performance and Use of the Standard Penetration Test in Geotechnical Engineering Practice”, Virginia Polytechnic Institute and State University
- Jean Lutz SA**, (2012). Taralog Measurement of Diaphragm Wall Verticality
- Johnson, E. G., Johnson K. E. ve Erikson, C. M.** (1992). “Deep foundation elements installed by slurry wall techniques. In Slurry walls: design, construction, and quality control” (D. B. Paul, R. R. Davidson & N. J. Cavalli), Philadelphia
- Koçak, B., Akçakal, Ö., Sezer, Y., Özerdoğan, B. ve Durgunoğlu, T.,** (2012). “Monitoring and instrumentation of the barrettes”, *3rd International Conference on New Developments in Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Near East University, Nicosia, North Cyprus*
- Koden**, (2008). Operation Manual Drilling Monitor DM-602/604
- Meyerhof, G.G.** (1976). “Bearing Capacity and Settlement of Pile Foundations”, *Journal of Geotech. Eng. Div., ASCE, Vol.102*
- Morrison, J. ve Pugh, E.** (1990). “Tsim Sha Tsui Cultural Centre - Foundations and superstructure. Proc. Instn. Civ. Engrs.”, *Vol. 88,765-781*
- Mazzucato, A. ve Natali, A.** (1988). “Analysis of non-linear behaviour of reinforced concrete diaphragm walls under horizontal load.” *Proc. 1st Int. Geotech. Seminar on Deep Found, on Bored and Auger Piles, Rotterdam*
- Osterberg, J. O.,** (1998). “The Osterberg Load Test Method for Bored and Driven Piles.” *7th International Conference & Exhibition on Piling and Deep Foundations, Deep Foundations Institute, Vienna, Austria*
- Plaxis 3D Foundation**, (2007). Plaxis 3D Foundation General Information Manual, Version 2, The Netherlands.
- Reese, L.C., ve O’Neill, M.W.** (1988). “Drilled Shafts: Construction Procedures and Design Methods”. *U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, Mclean, VA.*
- Ramaswamy, S. D. ve Pertusier, E. M.** (1986). “Construction of barrettes for high-rise foundations. J. Constr. Engng.”, *ASCE, 112, No. 4,455-462*
- Schmertmann, J. H. ve Hayes, J. A.,** (1997). “The Osterberg Cell and Bored Pile Testing – A Symbiosis, Proceedings.” *3rd International Geotechnical Engineering Conference, Cairo University, Egypt, 5 – 8 January.*
- SNIP 2.02.03-85**, (1985). Pile Foundations, Gosstroy (USSR)
- Toğrol, E. ve Tan, O.,** (2003). Kazıklı Temeller, Birsen Yayınevi, İstanbul
- Tomlinson, M. J.,** (1977). Pile Design and Construction in Practice, Viewpoint Publ., London, UK
- Tomlinson, M. J.,** (2004). Pile Design and Construction in Practice, E & FN Spon, London, UK
- TS EN 1538**, (2001). Özel geoteknik uygulamalar- Diyafram duvarlar

Vesic, A.S., (1977). “Design of Pile Foundations”, National C Highway Research Program S of Practice, Transportation Research Board, Washington DC, USA

Teparaksa, W., (2002). Behavior and Performance of Instrumented Barrette Piles in Bangkok Subsoils, *ASCE*

Yıldırım, S., (2009). Zemin İncelemesi ve Temel Tasarımı, Birsan Yayınevi, İstanbul

Yıldız, K., (2011). Baret Kazıklı Temellerde Düşey Taşıma Kapasitesi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul

ZETAŞ, Katalog, 01.12.2014

Url-1 <[http:// www.imeco.at](http://www.imeco.at)>, alındığı tarih: 20.11.2014.

Url-2 <[http:// www.bouer.de](http://www.bouer.de)>, alındığı tarih: 20.11.2014.

Url-3 <[http:// www.egezemin.com](http://www.egezemin.com)>, alındığı tarih: 25.11.2014.

Url-4 < <https://civilsolution.wordpress.com> >, alındığı tarih: 22.11.2014.

EKLER

EK A: İnceleme Alanı Sondaj Logları

EK B: Taşıma Gücü Hesap Föyleri

EK C: Osterberg Deney Raporu

ISVEREN CLIENT				SONDAJ BOREHOLE		ASK-005											
TÜPRAŞ				SONDOR DRILLER		M.POLAT											
SAYFA/PAGES : 1 / 2		SONDAJ LOGU / BOREHOLE LOG															
PROJE ADI/PROJECT NAME : TÜPRAŞ - RESID UPGRADING PROJECT - ZONE A																	
SONDAJ YERİ/BORING LOCATION : İZMİT																	
KİLOMETRE/KILOMETER :				MUH. BOR. DER./CASING DEPTH (m) :													
SONDAJ DERİNLİĞİ/BOREHOLE DEPTH (m) : 26.00				BAS. BIT. TARİHİ/START-FINISH DATE: 29/05/2008 - 30/05/2008													
SONDAJ KOTU/BOREHOLE ELEVATION (m) : 107.29				KOORDİNAT/COORDINATE (N-S) y: 1288.488													
YERALTI SUYU/GROUNDWATER (m) : 3.00				KOORDİNAT/COORDINATE (E-W) x: 1016.722													
Sonda Derinliği Boring Depth (m)	Numune Cinsi Sample Type	Manevra Boyu Run (m)	Standart Penetrasyon Deneyi Standard Penetration Test				JEOTEKNİK TANIMLAMA GEOTECHNICAL DESCRIPTION	Profil / Profile	Strength / Dayanımılık Cap Penetrometresi / Pocket Penetrometer	SCR, %	TCR %	RQD, %	Sirkülasyon Su Kaybı Circulation Water Loss, %				
			DARBE SAYISI No. of BLOWS			GRAFIK GRAPH											
			0-15 cm	15-30 cm	30-45 cm												
						N	10	20	30	40	50						
1																	
2																	
3	SPT-1	2.50	19	27	42	69											
4	SPT-2	2.95	10	19	22	41											
5	SPT-3	3.95	10	16	20	36											
6	SPT-4	4.50	22	20	30	50											
7	SPT-5	4.95	15	17	19	36											
8	SPT-6	5.50	15	20	30	50											
9	SPT-7	5.95	20	22	28	50											
10	SPT-8	6.50	9	10	32	42											
11	SPT-9	6.95	17	23	25	48											
12	SPT-10	7.50	19	18	25	43											
13		7.95	23	27	30	57											
14		9.00															
15		9.45															
	ISI / JOB	UNVANI/TITLE		ADI-SOYADI NAME-SURNAME				İMZA SIGNATURE		TARİH DATE							
	YAPAN LOGGED BY	SONDAJ MUHENDİSİ DRILLING ENGINEER		Y.İLBARS - F.O.ÖNAL						30/05/2008							
	KONTROL CHECKED BY	SONDAJ SEFİ DRILLING CHIEF								30/05/2008							

ISVEREN CLIENT TÜPRAŞ		 ZEMİN ETÜD ve TASARIM A.Ş.		SONDAJ BOREHOLE		ASK-005											
SAYFA/PAGES : 2 / 2				SONDAJ LOGU / BOREHOLE LOG			SONDOR DRILLER	M.POLAT									
PROJE ADI/PROJECT NAME : TÜPRAŞ - RESİD UPGRADING PROJECT - ZONE A																	
SONDAJ YERİ/BORING LOCATION : İZMİT																	
KILOMETRE/KILOMETER :				MUH. BOR. DER./CASING DEPTH (m) :													
SONDAJ DERİNLİĞİ/BOREHOLE DEPTH (m) : 26.00				BAS. BIT. TARİHİ/START-FINISH DATE: 29/05/2008 - 30/05/2008													
SONDAJ KOTU/BOREHOLE ELEVATION (m) : 107.29				KOORDİNAT/COORDINATE (N-S) y: 1288.488													
YERALTI SUYU/GROUNDWATER (m) : 3.00				KOORDİNAT/COORDINATE (E-W) x: 1016.722													
Sonda Derinliği Boring Depth (m)	Numune Cinsi Sample Type	Manevra Boyu Run (m)	Standart Penetrasyon Deneyi Standard Penetration Test						JEOTEKNİK TANIMLAMA GEOTECHNICAL DESCRIPTION	Profil / Profile	Strength / Dayanıklılık	Çep Penetrometresi / Pocket Penetrometer	SCR, %	TCR %	RQD, %	Sirkülasyon Su Kaybı Circulation Water Loss, %	
			DARBE SAYISI No. of BLOWS			GRAFIK GRAPH											
			0-15 cm	15-30 cm	30-45 cm	N	10	20									30
16	SPT-11	15.45															
17	SPT-12	16.50	13	25	30	55											
18	SPT-13	18.00	18	26	35	61											
19	SPT-14	19.50	21	25	34	59											
20	SPT-15	21.00	23	24	33	57											
21	SPT-16	22.50	24	28	42	70											
22	SPT-17	24.00	23	24	25	49											
23	SPT-18	25.50	11	26	42	68											
24		25.95															
25																	
26																	
			ÇAKILLI KİLLİ SİLT Gri-koyu gri, nemli, ince-iri köşeli çakilli, killi, sert silt. GRAVELLY CLAYEY SILT Grey-dark grey, moist, fine-coarse grained angular gravelly, clayey, hard silt. KİLLİ KUM Gri, nemli, az killi, ince-iri taneli, çok sık kum. CLAYEY SAND Grey, moist, slightly clayey, fine-coarse grained, very dense sand.						KUYU SONU/BOREHOLE DEPTH (m) : 26.00								
ISI / JOB		UNVANI/TITLE		ADI-SOYADI NAME-SURNAME				İMZA SIGNATURE		TARİH DATE							
YAPAN LOGGED BY		SONDAJ MUHENDİSİ DRILLING ENGINEER		Y.İLBARS - F.O.ÖNAL						30/05/2008							
KONTROL CHECKED BY		SONDAJ SEFİ DRILLING CHIEF								30/05/2008							

ISVEREN CLIENT TÜPRAŞ		 ZEMİN ETÜD ve TASARIM A.Ş.		SONDAJ BOREHOLE		ASK-006							
SAYFA/PAGES : 1 / 2				SONDAJ LOGU / BOREHOLE LOG			SONDÖR DRILLER	M.ÇEVİK					
PROJE ADI/PROJECT NAME : TÜPRAŞ - RESİD UPGRAIDING PROJECT - ZONE A													
SONDAJ YERİ/BORING LOCATION : İZMİT													
KILOMETRE/KILOMETER :				MUH. BOR. DER./CASING DEPTH (m) :									
SONDAJ DERİNLİĞİ/BOREHOLE DEPTH (m) : 26.00				BAS. BIT. TARİHİ/START-FINISH DATE: 29/05/2008 - 30/05/2008									
SONDAJ KOTU/BOREHOLE ELEVATION (m) : 107.88				KOORDİNAT/COORDINATE (N-S) y: 1288.741									
YERALTI SUYU/GROUNDWATER (m) : 2.50				KOORDİNAT/COORDINATE (E-W) x: 1074.677									
Sondaj Derinliği Boring Depth (m)	Numune Cinsi Sample Type	Manevra Boyu Run (m)	Standart Penetrasyon Deneyi Standard Penetration Test				JEOTEKNIK TANIMLAMA GEOTECHNICAL DESCRIPTION	Profil / Profile	Strength / Dayanıklılık Cep Penetrometresi / Pocket Penetrometer	SCR, %	TCR %	RQD, %	Sirkülasyon Su Kaybı Circulation Water Loss, %
			DARBE SAYISI No. of BLOWS			GRAFİK GRAPH							
			0-15 cm	15-30 cm	30-45 cm								
			N	10	20	30	40	50					
1									KONTROLSÜZ DOLGU Kahverengi, nemli, az kumlu, ince-iri taneli kumlu, ince-iri taneli köşeli çakıllı kontrolsüz dolgu malzemesi.				
2									UNCONTROLLED FILL Brown, moist, slightly clayey, fine-coarse grained sandy, fine-coarse grained angular gravelly uncontrolled fill material.				
3	SPT-1	2.50	28	32	45	77		>50	KİLLİ ÇAKILLI KUM Kahverengi, nemli, az kumlu, ince-iri taneli yuvarlak çakıllı, ince-iri taneli sıkı-kum. 2.50m-2.95m ve 6.50m-6.95m arası çakıllı.				
4	SPT-2	2.95	16	30	47	77		>50	CLAYEY GRAVELLY SAND Brown, moist, slightly clayey, fine-coarse grained rounded gravelly, fine-coarse grained, dense-very dense sand. Gravelly between depths 2.50m-2.95m and 6.50m-6.95m.				
5	SPT-3	3.50	37	50/5				>50					
6	SPT-4	3.95	36	50/14				>50					
7	SPT-5	4.50	12	38	50/10			>50					
8	SPT-6	4.70	24	26	20	46			KİLLİ KUM Gri-koyu gri, nemli, az ince taneli çakıllı, kumlu, ince-iri taneli, çok sıkı kum.				
9	SPT-7	5.50	30	25	20	45			CLAYEY SAND Grey-dark grey, moist, slightly fine-grained gravelly, clayey, fine-coarse grained, very dense sand.				
10	SPT-8	5.79	42	50/3				>50	ÇAKILLI KİLLİ KUM Gri-koyu gri, nemli, ince-iri taneli köşeli çakıllı, kumlu, ince-iri taneli, çok sıkı kum.				
11	SPT-9	6.50	46	50/8				>50	GRAVELLY CLAYEY SAND Grey-dark grey, moist, fine-coarse grained angular gravelly, clayey, fine-coarse grained, very dense sand.				
12	SPT-10	7.50	33	40	50/5			>50					
13		7.95											
14		9.00											
15		9.45											
16		10.50											
17		10.88											
18		12.00											
19		12.23											
20		13.50											
21		13.85											
22		15.00											
ISI / JOB		UNVANI/TITLE		ADI-SOYADI NAME-SURNAME		İMZA SIGNATURE		TARİH DATE					
YAPAN LOGGED BY		SONDAJ MUHENDİSİ DRILLING ENGINEER		Y.İLBARS - F.O.ÖNAL				30/05/2008					
KONTROL CHECKED BY		SONDAJ SEFİ DRILLING CHIEF						30/05/2008					

ISVEREN CLIENT TÜPRAŞ		 ZEMİN ETÜD ve TASARIM A.Ş.		SONDAJ BOREHOLE		ASK-006											
SAYFA/PAGES : 2 / 2				SONDAJ LOGU / BOREHOLE LOG			SONDOR DRILLER	M.ÇEVİK									
PROJE ADI/PROJECT NAME : TÜPRAŞ - RESİD UPGRADING PROJECT - ZONE A																	
SONDAJ YERİ/BORING LOCATION : İZMİT																	
KILOMETRE/KILOMETER :				MUH. BOR. DER./CASING DEPTH (m) :													
SONDAJ DERİNLİĞİ/BOREHOLE DEPTH (m) : 26.00				BAS. BIT. TARİHİ/START-FINISH DATE: 29/05/2008 - 30/05/2008													
SONDAJ KOTU/BOREHOLE ELEVATION (m) : 107.88				KOORDİNAT/COORDINATE (N-S) y: 1288.741													
YERALTI SUYU/GROUNDWATER (m) : 2.50				KOORDİNAT/COORDINATE (E-W) x: 1074.677													
Sonda Derinliği Boring Depth (m)	Numune Cinsi Sample Type	Manevra Boyu Run (m)	Standart Penetrasyon Deneyi Standard Penetration Test						JEOTEKNİK TANIMLAMA GEOTECHNICAL DESCRIPTION	Profil / Profile	Strength / Dayanıklılık	Çep Penetrometresi / Pocket Penetrometer	SCR, %	TCR %	RQD, %	Sirkülasyon Su Kaybı Circulation Water Loss, %	
			DARBE SAYISI No. of BLOWS			GRAFIK GRAPH											
			0-15 cm	15-30 cm	30-45 cm	N	10	20									30
16	SPT-11	15.14															
17	SPT-12	16.50	28	36	44	80											
18	SPT-13	18.00	32	50	12	R											
19	SPT-14	19.50	50	9		R											
20	SPT-15	21.00	50	13		R											
21	SPT-16	22.50	45	50	5	R											
22	SPT-17	24.00	50	5		R											
23	SPT-18	25.50	40	38	30	68											
24		25.95															
25																	
26																	
25.5m KILLİ SİLT Gri, nemli, killi, sert silt.										25.5m	82.38m						
26m CLAYEY SİLT Grey, moist, clayey, hard silt.										26m	81.60m						
KUYU SONU/BOREHOLE DEPTH (m) : 26.00																	
ISI / JOB		UNVANI/TITLE		ADI-SOYADI NAME-SURNAME				İMZA SIGNATURE		TARİH DATE							
YAPAN LOGGED BY		SONDAJ MUHENDİSİ DRILLING ENGINEER		Y.İLBARS - F.O.ÖNAL						30/05/2008							
KONTROL CHECKED BY		SONDAJ SEFİ DRILLING CHIEF								30/05/2008							

ZETAS2 TÜPRAŞA.GPJ ZETAS.GDT 28/08/08

ISVEREN CLIENT TÜPRAŞ		 ZEMİN ETÜD ve TASARIM A.Ş.		SONDAJ BOREHOLE		ASK-007							
SAYFA/PAGES : 1 / 2				SONDAJ LOGU / BOREHOLE LOG			SONDOR DRILLER	M.POLAT					
PROJE ADI/PROJECT NAME : TÜPRAŞ - RESİD UPGRAIDING PROJECT - ZONE A													
SONDAJ YERİ/BORING LOCATION : İZMİT													
KILOMETRE/KILOMETER :				MUH. BOR. DER./CASING DEPTH (m) :									
SONDAJ DERİNLİĞİ/BOREHOLE DEPTH (m) : 26.00				BAS. BIT. TARİHİ/START-FINISH DATE: 01/06/2008 - 01/06/2008									
SONDAJ KOTU/BOREHOLE ELEVATION (m) : 107.08				KOORDİNAT/COORDINATE (N-S) y: 1332.378									
YERALTI SUYU/GROUNDWATER (m) : 3.00				KOORDİNAT/COORDINATE (E-W) x: 987.905									
Sondaj Derinliği Boring Depth (m)	Numune Cinsi Sample Type	Manevra Boyu Run (m)	Standart Penetrasyon Deneyi Standard Penetration Test				JEOTEKNIK TANIMLAMA GEOTECHNICAL DESCRIPTION	Profil / Profile	Strength / Dayanıklılık Cep Penetrometresi / Pocket Penetrometer	SCR, %	TCR %	RQD, %	Sirkülasyon Su Kaybı Circulation Water Loss, %
			DARBE SAYISI No. of BLOWS			GRAFİK GRAPH							
			0-15 cm	15-30 cm	30-45 cm								
1								KONTROLSÜZ DOLGU Kahverengi, nemli, az kumlu, ince-iri taneli kumlu, ince-iri taneli köşeli çakıllı kontrolsüz dolgu malzemesi.					
2								UNCONTROLLED FILL Brown, moist, slightly clayey, fine-coarse grained sandy, fine-coarse grained angular gravelly uncontrolled fill material.					
3	SPT-1	2.50	30	35	30	65	>50	ÇAKILLI SİLTİLİ KUM Kahverengi, nemli, az kumlu, ince-iri taneli yuvarlak-köşeli çakıllı, siltli, ince-iri taneli, sıkı-çok sıkı kum.					
4	SPT-2	2.95	12	17	24	41							
5	SPT-3	3.50											
6	SPT-4	3.95	15	18	26	44		GRAVELLY SILTY SAND Brown, moist, slightly clayey, fine-coarse grained rounded-angular gravelly, silty, fine-coarse grained, dense-very dense sand.					
7	SPT-5	4.50	17	20	15	35							
8	SPT-6	4.95	25	33	40	73	>50	SİLTİLİ KİL Kahverengi, nemli, az ince taneli kumlu, siltli, katı kil.					
9	SPT-7	5.50	8	10	12	22		SILTY CLAY Brown, moist, slightly fine-grained sandy, silty, stiff clay.					
10	SPT-8	5.95	24	30	45	75	>50	ÇAKILLI KİLLİ KUM Kahverengi, 13.50 m'den sonra koyu gri, nemli, ince taneli yuvarlak-köşeli çakıllı, az kumlu, siltli, ince-iri taneli, çok sıkı kum.					
11	SPT-9	6.50	27	34	38	72	>50	GRAVELLY CLAYEY SAND Brown-dark grey after 13.50 m, moist, fine-grained rounded-angular gravelly, slightly clayey, silty, fine-coarse grained, very dense sand.					
12	SPT-10	6.95	24	37	42	79	>50						
13		7.50	22	37	32	69	>50						
14		7.95											
15		9.00	27	30	34	64							
16		9.45											
17		10.00											
18		10.50											
19		10.95											
20		12.00											
21		12.45											
22		13.50											
23		13.95											
24		15.00											
ISI / JOB		UNVANI/TITLE		ADI-SOYADI NAME-SURNAME		İMZA SIGNATURE		TARİH DATE					
YAPAN LOGGED BY		SONDAJ MUHENDİSİ DRILLING ENGINEER		Y.İLBARS - F.O.ÖNAL				01/06/2008					
KONTROL CHECKED BY		SONDAJ SEFİ DRILLING CHIEF						01/06/2008					

ISVEREN CLIENT TÜPRAŞ		 ZEMİN ETÜD ve TASARIM A.Ş.		SONDAJ BOREHOLE		ASK-008								
SAYFA/PAGES : 1 / 2				SONDAJ LOGU / BOREHOLE LOG			SONDÖR DRILLER	M.POLAT						
PROJE ADI/PROJECT NAME : TÜPRAŞ - RESİD UPGRADING PROJECT - ZONE A														
SONDAJ YERİ/BORING LOCATION : İZMİT														
KILOMETRE/KILOMETER :				MUH. BOR. DER./CASING DEPTH (m) :										
SONDAJ DERİNLİĞİ/BOREHOLE DEPTH (m) : 26.00				BAS. BIT. TARİHİ/START-FINISH DATE: 31/05/2008 - 31/05/2008										
SONDAJ KOTU/BOREHOLE ELEVATION (m) : 107.29				KOORDİNAT/COORDINATE (N-S) y: 1342.193										
YERALTI SUYU/GROUNDWATER (m) : 2.80				KOORDİNAT/COORDINATE (E-W) x: 1034.652										
Sonda Derinliği Boring Depth (m)	Numune Cinsi Sample Type	Manevra Boyu Run (m)	Standart Penetrasyon Deneyi Standard Penetration Test				GRAFIK GRAPH	JEOTEKNİK TANIMLAMA GEOTECHNICAL DESCRIPTION	Profil / Profile	Strength / Dayanım Gücü Cep Penetrometresi / Pocket Penetrometer	SCR, %	TCR, %	RQD, %	Sirkülasyon Su Kaybı Circulation Water Loss, %
			DARBE SAYISI No. of BLOWS			N								
			0-15 cm	15-30 cm	30-45 cm									
1								KONTROLSÜZ DOLGU Kahverengi, nemli, az killi, ince-iri taneli kumlu, ince-iri taneli köşeli çakıllı kontrolsüz dolgu malzemesi.						
2								UNCONTROLLED FILL Brown, moist, slightly clayey, fine-coarse grained sandy, fine-coarse grained angular gravelly uncontrolled fill material.						
3	SPT-1	2.50	15	16	24	40								
4	SPT-2	2.95	50/12				R	>50						
5	SPT-3	3.62												
6	SPT-4	4.50	15	17	22	39								
7	SPT-5	4.95	16	20	21	41								
8	SPT-6	5.50	30	50/3			R	>50						
9	SPT-7	5.95	16	28	33	61		>50						
10	SPT-8	6.50												
11	SPT-9	6.68	18	22	35	57		>50						
12	SPT-10	7.50	32	35	48	83		>50						
13		7.95												
14		9.00	20	40	35	75		>50						
15		9.45	40	50/5			R							
ISI / JOB		UNVANI/TITLE		ADI-SOYADI NAME-SURNAME		IMZA SIGNATURE		TARİH DATE						
YAPAN LOGGED BY		SONDAJ MUHENDİSİ DRILLING ENGINEER		Y.İLBARS - F.O.ÖNAL				31/05/2008						
KONTROL CHECKED BY		SONDAJ SEFİ DRILLING CHIEF						31/05/2008						

ISVEREN CLIENT TÜPRAŞ		 ZEMİN ETÜD ve TASARIM A.Ş.		SONDAJ BOREHOLE		ASK-008										
SAYFA/PAGES : 2 / 2				SONDAJ LOGU / BOREHOLE LOG			SONDOR DRILLER	M.POLAT								
PROJE ADI/PROJECT NAME : TÜPRAŞ - RESİD UPGRADING PROJECT - ZONE A																
SONDAJ YERİ/BORING LOCATION : İZMİT																
KİLOMETRE/KILOMETER :				MUH. BOR. DER./CASING DEPTH (m) :												
SONDAJ DERİNLİĞİ/BOREHOLE DEPTH (m) : 26.00				BAS. BIT. TARİHİ/START-FINISH DATE: 31/05/2008 - 31/05/2008												
SONDAJ KOTU/BOREHOLE ELEVATION (m) : 107.29				KOORDİNAT/COORDINATE (N-S) y: 1342.193												
YERALTI SUYU/GROUNDWATER (m) : 2.80				KOORDİNAT/COORDINATE (E-W) x: 1034.652												
Sondaj Derinliği Boring Depth (m)	Numune Cinsi Sample Type	Manevra Boyu Run (m)	Standart Penetrasyon Deneyi Standard Penetration Test					JEOTEKNIK TANIMLAMA GEOTECHNICAL DESCRIPTION	Profil / Profile	Strength / Dayanıklılık	Cap Penetrometresi / Pocket Penetrometer	SCR, %	TCR %	RQD, %	Sirkülasyon Su Kaybı Circulation Water Loss, %	
			DARBE SAYISI No. of BLOWS			GRAFIK GRAPH										
			0-15 cm	15-30 cm	30-45 cm	N	10									20
16	SPT-11	15.20														
17	SPT-12	16.50	23	26	33	59										
18	SPT-13	18.00	25	30	45	75										
19	SPT-14	19.50	20	36	42	78										
20	SPT-15	21.00	22	35	43	78										
21	SPT-16	22.50	25	32	39	71										
22	SPT-17	24.00	26	34	41	75										
23	SPT-18	25.50	22	32	40	72										
24		26.00														
KUYU SONU/BOREHOLE DEPTH (m) : 26.00																
ISI / JOB		UNVANI/TITLE		ADI-SOYADI NAME-SURNAME				İMZA SIGNATURE		TARİH DATE						
YAPAN LOGGED BY		SONDAJ MUHENDİSİ DRILLING ENGINEER		Y.İLBARS - F.O.ÖNAL						31/05/2008						
KONTROL CHECKED BY		SONDAJ SEFİ DRILLING CHIEF								31/05/2008						

ZETAS2 TÜPRAŞA.GPJ ZETAS.GDT 28/08/08

ISVEREN CLIENT TÜPRAŞ				SONDAJ BOREHOLE		ASK-009							
SAYFA/PAGES : 1 / 2				SONDAJ LOGU / BOREHOLE LOG			SONDOR DRILLER	M.ÇEVİK					
PROJE ADI/PROJECT NAME : TÜPRAŞ - RESİD UPGRADING PROJECT - ZONE A													
SONDAJ YERİ/BORING LOCATION : İZMİT													
KILOMETRE/KILOMETER :				MUH. BOR. DER./CASING DEPTH (m) :									
SONDAJ DERİNLİĞİ/BOREHOLE DEPTH (m) : 26.00				BAS. BIT. TARİHİ/START-FINISH DATE: 31/05/2008 - 31/05/2008									
SONDAJ KOTU/BOREHOLE ELEVATION (m) : 107.58				KOORDİNAT/COORDINATE (N-S) y: 1364.952									
YERALTI SUYU/GROUNDWATER (m) : 2.70				KOORDİNAT/COORDINATE (E-W) x: 1076.587									
Sonda Derinliği Boring Depth (m)	Numune Cinsi Sample Type	Manevra Boyu Run (m)	Standart Penetrasyon Deneyi Standard Penetration Test				JEOTEKNİK TANIMLAMA GEOTECHNICAL DESCRIPTION	Profil / Profile	Strength / Dayanıklılık Cep Penetrometresi / Pocket Penetrometer	SCR, %	TCR %	ROD, %	Sirkülasyon Su Kaybı Circulation Water Loss, %
			DARBE SAYISI No. of BLOWS			GRAFİK GRAPH							
			0-15 cm	15-30 cm	30-45 cm								
			N	10	20	30	40	50					
1									KONTROLSÜZ DOLGU Kahverengi, nemli, az killi, ince-iri taneli kumlu, ince-iri taneli köşeli çakıllı kontrolsüz dolgu malzemesi.				
2									UNCONTROLLED FILL Brown, moist, slightly clayey, fine-coarse grained sandy, fine-coarse grained angular gravelly uncontrolled fill material.				
3	SPT-1	2.50	30	50	10	R		>50	KILLI ÇAKILLI KUM Kahverengi, nemli, az killi, ince-iri taneli yuvarlak-köşeli çakıllı, ince-iri taneli sıkı kum. 2.50m-2.75m arası çakıllı.				
4	SPT-2	2.75											
5	SPT-3	3.50	30	13	28	41			CLAYEY GRAVELLY SAND Brown, moist, slightly clayey, fine-coarse grained rounded-angular gravelly, fine-coarse grained, dense sand. Gravelly between 2.50m-2.75m.				
6	SPT-4	3.95	15	5	23	28			KİL Sarımsı kahverengi, nemli, az siltli, yer yer gri ince taneli yuvarlak çakıl içerikli, yüksek plastisiteli, orta sıkı kil.				
7	SPT-5	4.50	9	13	15	28			CLAY Yellowish brown, moist, slightly silty, occasionally grey fine-grained rounded gravelly, high plasticity, medium stiff clay.				
8	SPT-6	4.95	7	14	15	29			ÇAKILLI KILLI KUM Gri-koyu gri, nemli, ince-iri taneli yuvarlak-köşeli çakıllı, killi, ince-iri taneli çok sıkı kum.				
9	SPT-7	5.50	40	50	10	R		>50	GRAVELLY CLAYEY SAND Grey-dark grey, moist, fine-coarse grained rounded-angular gravelly, clayey, fine-coarse grained, very dense sand.				
10	SPT-8	5.95											
11	SPT-9	6.50	39	39	50	10	R	>50					
12	SPT-10	7.50	27	27	35	62		>50					
13		7.95											
14		9.00	37	35	23	58		>50					
15		9.25											
		10.50	39	39	50	10	R	>50					
		10.90											
		12.00	27	27	35	62		>50					
		12.45											
		13.50	37	35	23	58		>50					
		13.95											
		15.00	30	27	49	76							
ISI / JOB		UNVANI/TITLE		ADI-SOYADI NAME-SURNAME		IMZA SIGNATURE		TARİH DATE					
YAPAN LOGGED BY		SONDAJ MUHENDİSİ DRILLING ENGINEER		Y.İLBARIS - F.O.ÖNAL				31/05/2008					
KONTROL CHECKED BY		SONDAJ SEFİ DRILLING CHIEF						31/05/2008					

ISVEREN CLIENT TÜPRAŞ		 ZEMİN ETÜD ve TASARIM A.Ş.		SONDaj BOREHOLE SONDOR DRILLER		ASK-009 M.ÇEVİK										
SAYFA/PAGES : 2 / 2		SONDAJ LOGU / BOREHOLE LOG														
PROJE ADI/PROJECT NAME : TÜPRAŞ - RESİD UPGRADING PROJECT - ZONE A																
SONDAJ YERİ/BORING LOCATION : İZMİT																
KILOMETRE/KILOMETER :				MUH. BOR. DER./CASING DEPTH (m) :												
SONDAJ DERİNLİĞİ/BOREHOLE DEPTH (m) : 26.00				BAS. BIT. TARİHİ/START-FINISH DATE: 31/05/2008 - 31/05/2008												
SONDAJ KOTU/BOREHOLE ELEVATION (m) : 107.58				KOORDİNAT/COORDINATE (N-S) y: 1364.952												
YERALTI SUYU/GROUNDWATER (m) : 2.70				KOORDİNAT/COORDINATE (E-W) x: 1076.587												
Sondaj Derinliği Boring Depth (m)	Numune Cinsi Sample Type	Manevra Boyu Run (m)	Standart Penetrasyon Deneyi Standard Penetration Test					JEOTEKNİK TANIMLAMA GEOTECHNICAL DESCRIPTION	Profil / Profile	Strength / Dayanıklılık	Cap Penetrometresi / Pocket Penetrometer	SCR, %	TCR %	RQD, %	Sirkülasyon Su Kaybı Circulation Water Loss, %	
			DARBE SAYISI No. of BLOWS			GRAFIK GRAPH										
			0-15 cm	15-30 cm	30-45 cm	N	10									20
16	SPT-11	15.45														
17	SPT-12	16.50 16.77	3150/12	R												
18	SPT-13	18.00 18.10	50/10	R												
19																
20	SPT-14	19.50 19.90	22 4050/10	R												
21	SPT-15	21.00 21.10	50/10	R												
22																
23	SPT-16	22.50 22.93	24 2750/13	R												
24	SPT-17	24.00 24.44	24 2850/14	R												
25																
26	SPT-18	25.50 25.95	45 33 50 83													
KUMLU KİLLİ SİLT Gri, nemli, yer yer ince-iri taneli kum bantları içeren, killi, sert silt. 22.50m-22.93m arası kum bantlı.										21.95m		86.53m				
SANDY CLAYEY SİLT Grey, moist, occasionally including fine-coarse grained thin sand layers, clayey, hard silt. Sand layers between 22.50m-22.95m.																
KUYU SONU/BOREHOLE DEPTH (m) : 26.00										26m		81.50m				
ISI / JOB		UNVANI/TITLE		ADI-SOYADI NAME-SURNAME				İMZA SIGNATURE		TARİH DATE						
YAPAN LOGGED BY		SONDAJ MUHENDİSİ DRILLING ENGINEER		Y.İLBARIS - F.O.ÖNAL						31/05/2008						
KONTROL CHECKED BY		SONDAJ SEFİ DRILLING CHIEF								31/05/2008						

ZETAS2 TÜPRAŞA.GPJ ZETAS.GDT 28/08/08

ISVEREN CLIENT TÜPRAŞ		 ZEMİN ETÜD ve TASARIM A.Ş.		SONDAJ BOREHOLE		ASK-010							
SAYFA/PAGES : 1 / 2				SONDAJ LOGU / BOREHOLE LOG			SONDOR DRILLER	M.ÇEVİK					
PROJE ADI/PROJECT NAME : TÜPRAŞ - RESİD UPGRAIDING PROJECT - ZONE A													
SONDAJ YERİ/BORING LOCATION : İZMİT													
KILOMETRE/KILOMETER :				MUH. BOR. DER./CASING DEPTH (m) :									
SONDAJ DERİNLİĞİ/BOREHOLE DEPTH (m) : 26.00				BAS. BIT. TARİHİ/START-FINISH DATE: 01/06/2008 - 01/06/2008									
SONDAJ KOTU/BOREHOLE ELEVATION (m) : 107.25				KOORDİNAT/COORDINATE (N-S) y: 1402.254									
YERALTI SUYU/GROUNDWATER (m) : 2.80				KOORDİNAT/COORDINATE (E-W) x: 1001.057									
Sonda Derinliği Boring Depth (m)	Numune Cinsi Sample Type	Manevra Boyu Run (m)	Standart Penetrasyon Deneyi Standard Penetration Test				JEOTEKNIK TANIMLAMA GEOTECHNICAL DESCRIPTION	Profil / Profile	Strength / Dayanıklılık Cep Penetrometresi / Pocket Penetrometer	SCR, %	TCR, %	ROD, %	Sirkülasyon Su Kaybı Circulation Water Loss, %
			DARBE SAYISI No. of BLOWS			GRAFIK GRAPH							
			0-15 cm	15-30 cm	30-45 cm								
							10 20 30 40 50						
1								KONTROLSÜZ DOLGU Kahverengi, nemli, az killi, ince-iri taneli kumlu, ince-iri taneli köşeli çakıllı kontrolsüz dolgu malzemesi.					
2								UNCONTROLLED FILL Brown, moist, slightly clayey, fine-coarse grained sandy, fine-coarse grained angular gravelly uncontrolled fill material.					
3	SPT-1	2.50	20	38	42	80	>50	SİLTİ KUMLU ÇAKIL Kahverengi, nemli-yer yer ıslak, siltli, ince-iri taneli kumlu, kum miktarı yer yer artan, ince-iri taneli yuvarlak-köşeli, çok sıkı çakıl. 6.50m-6.95m arası kumlu.					
4	SPT-2	2.95	18	34	45	79	>50						
5	SPT-3	3.50											
6	SPT-4	3.95	30	36	44	80	>50	SİLTİ SANDY GRAVEL Brown, moist-occasionally wet, silty, fine-coarse grained sandy, occasionally high sand content, fine-coarse grained rounded-angular, very dense gravel. Sandy between 6.50m-6.95m.					
7	SPT-5	4.50	50/10				>50						
8	SPT-6	4.95	20	21	23	44							
9	SPT-7	5.50	17	20	23	43							
10	SPT-8	5.60											
11	SPT-9	6.50	20	21	23	44							
12	SPT-10	6.95											
13		7.50											
14		7.95											
15		9.00	20	21	23	44							
16		9.45											
17		10.50	20	34	48	82	>50	KİLLİ KUM Kahverengi-13.50 m'den sonra koyu gri, nemli, siltli, yer yer orta-iri taneli yuvarlak çakıllı, az killi, ince-iri taneli, çok sıkı kum.					
18		10.95											
19		12.00	25	30	40	70	>50	CLAYEY SAND Brown-dark grey after 13.50 m, moist, silty, medium-coarse grained rounded gravelly, slightly clayey, fine-coarse grained, very dense sand.					
20		12.45											
21		13.50	30	33	40	73	>50						
22		13.95											
23		15.00	31	34	40	74							
ISI / JOB		UNVANI/TITLE		ADI-SOYADI NAME-SURNAME		İMZA SIGNATURE		TARİH DATE					
YAPAN LOGGED BY		SONDAJ MUHENDİSİ DRILLING ENGINEER		Y.İLBARS - F.O.ÖNAL				01/06/2008					
KONTROL CHECKED BY		SONDAJ SEFİ DRILLING CHIEF						01/06/2008					

ZETAS2 TÜPRAŞA.GPJ ZETAS.GDT 28/06/08

ISVEREN CLIENT TÜPRAŞ		 ZEMİN ETÜD ve TASARIM A.Ş.		SONDAJ BOREHOLE		ASK-010										
SAYFA/PAGES : 2 / 2				SONDAJ LOGU / BOREHOLE LOG			SONDOR DRILLER	M.ÇEVİK								
PROJE ADI/PROJECT NAME : TÜPRAŞ - RESİD UPGRADING PROJECT - ZONE A																
SONDAJ YERİ/BORING LOCATION : İZMİT																
KILOMETRE/KILOMETER :				MUH. BOR. DER./CASING DEPTH (m) :												
SONDAJ DERİNLİĞİ/BOREHOLE DEPTH (m) : 26.00				BAS. BIT. TARİHİ/START-FINISH DATE: 01/06/2008 - 01/06/2008												
SONDAJ KOTU/BOREHOLE ELEVATION (m) : 107.25				KOORDİNAT/COORDINATE (N-S) y: 1402.254												
YERALTI SUYU/GROUNDWATER (m) : 2.80				KOORDİNAT/COORDINATE (E-W) x: 1001.057												
Sondaj Derinliği Boring Depth (m)	Numune Cinsi Sample Type	Manevra Boyu Run (m)	Standart Penetrasyon Deneyi Standard Penetration Test					JEOTEKNİK TANIMLAMA GEOTECHNICAL DESCRIPTION	Profil / Profile	Strength / Dayanıklılık	Cap Penetrometresi / Pocket Penetrometer	SCR, %	TCR %	RQD, %	Sirkülasyon Su Kaybı Circulation Water Loss, %	
			DARBE SAYISI No. of BLOWS			GRAFIK GRAPH										
			0-15 cm	15-30 cm	30-45 cm	N	10									20
16	SPT-11	15.45														
17	SPT-12	16.50	29	36	40	76										
18		16.95														
19	SPT-13	18.00	15	28	38	66										
20		18.45														
21	SPT-14	19.50	18	27	33	60										
22		19.95														
23	SPT-15	21.00	37	34	37	71										
24		21.45														
25	SPT-16	22.50	32	42	49	91										
26		22.95														
27	SPT-17	24.00	30	43	48	91										
28		24.45														
29	SPT-18	25.50	26	36	48	84										
30		25.95														
KUYU SONU/BOREHOLE DEPTH (m) : 26.00																
ISI / JOB		UNVANI/TITLE		ADI-SOYADI NAME-SURNAME				İMZA SIGNATURE		TARİH DATE						
YAPAN LOGGED BY		SONDAJ MUHENDİSİ DRILLING ENGINEER		Y.İLARS - F.O.ÖNAL						01/06/2008						
KONTROL CHECKED BY		SONDAJ SEFİ DRILLING CHIEF								01/06/2008						

ZETAS2 TÜPRAŞA.GPJ / ZETAS.GDT 28/06/08

ISVEREN CLIENT TÜPRAŞ		 ZEMİN ETÜD ve TASARIM A.Ş.		SONDAJ BOREHOLE		ASK-037								
SAYFA/PAGES : 1 / 2				SONDAJ LOGU / BOREHOLE LOG		SONDOR DRILLER		F.POLAR						
PROJE ADI/PROJECT NAME : TÜPRAŞ - RESİD UPGRAIDING PROJECT - ZONE A														
SONDAJ YERİ/BORING LOCATION : İZMİT														
KILOMETRE/KILOMETER :				MUH. BOR. DER./CASING DEPTH (m) :										
SONDAJ DERİNLİĞİ/BOREHOLE DEPTH (m) : 26.00				BAS. BIT. TARİHİ/START-FINISH DATE: 24/06/2008 - 25/06/2008										
SONDAJ KOTU/BOREHOLE ELEVATION (m) : 108.89				KOORDİNAT/COORDINATE (N-S) y: 1276.212										
YERALTI SUYU/GROUNDWATER (m) : 3.50				KOORDİNAT/COORDINATE (E-W) x: 1112.11										
Sonda Derinliği Boring Depth (m)	Numune Cinsi Sample Type	Manevra Boyu Run (m)	Standart Penetrasyon Deneyi Standard Penetration Test				GRAFIK GRAPH	JEOTEKNIK TANIMLAMA GEOTECHNICAL DESCRIPTION	Profil / Profile	Strength / Dayanıklılık Cep Penetrometresi / Pocket Penetrometer	SCR, %	TCR, %	ROD, %	Sirkülasyon Su Kaybı Circulation Water Loss, %
			DARBE SAYISI No. of BLOWS			N								
			0-15 cm	15-30 cm	30-45 cm									
1	SPT-1	1.50	3	3	4	7		KONTROLSÜZ DOLGU Kahverengi, nemli, az killi, ince-iri taneli kumlu, ince-iri taneli köşeli çakıllı kontrolsüz dolgu malzemesi.		108.29m				
2		1.95	2	2	5	7		UNCONTROLLED FILL Brown, moist, slightly clayey, fine-coarse grained sandy, fine-coarse angular grained gravelly uncontrolled fill material.						
3		2.50	2	2	5	7		ÇAKILLI KUM Kahverengi-mor, kuru, ince-iri taneli yuvarlak-köşeli çakıllı, ince-iri taneli, gevşek-orta sıkı kum.		105.39m				
4	SPT-3	2.95	5	5	10	15		GRAVELLY SAND Brown-purple, dry, fine-coarse rounded-angular gravelly, fine-coarse grained, loose-medium dense sand.		104.39m				
5		3.50	34	46	40	86	>50	ÇAKILLI KUMLU KİL Kahverengi-gri, nemli, ince-iri taneli köşeli çakıllı, ince-orta taneli kumlu, yüksek plastisiteli, katı kil.						
6		4.50	19	21	30	51	>50	GRAVELLY SANDY CLAY Brown-grey, moist, fine-coarse angular gravelly, fine-medium grained sandy, high plasticity, stiff clay.		102.39m				
7	SPT-5	4.95	30	45	46	91	>50	ÇAKILLI KILLI KUM Kahverengi, ıslak, ince-iri taneli köşeli-yuvarlak çakıllı, killi, ince-orta taneli, çok sıkı kum.						
8		5.50	38	48	45	93	>50	GRAVELLY CLAYEY SAND Brown, wet, fine-coarse rounded-angular gravelly, clayey, fine-medium grained, very dense sand.						
9		5.95	30	35	38	73	>50	KILLI KUMLU ÇAKIL Kahverengi, nemli-ıslak, killi, ince-iri taneli kumlu, ince-iri taneli köşeli-yuvarlak çok sıkı çakıl.						
10	SPT-6	6.50	30	35	38	73	>50	CLAYEY SANDY GRAVEL Brown, moist-wet, clayey, fine-coarse grained sandy, fine-coarse grained rounded-angular very dense gravel.						
11		6.95	38	48	45	93	>50							
12		7.50	38	50	4	R	>50							
13	SPT-7	7.95	38	50	4	R	>50							
14		9.00	37	50	13	R	>50							
15		9.28	30	35	38	73	>50							
16	SPT-8	10.50	30	35	38	73	>50							
17		10.95	30	35	38	73	>50							
18		12.00	33	50	13	R	>50							
19	SPT-9	12.28	38	50	4	R	>50							
20		13.50	38	50	4	R	>50							
21		13.89	38	50	4	R	>50							
22	SPT-10	15.00	16	50	3	R	>50							
23														
24														
ISI / JOB		UNVANI/TITLE		ADI-SOYADI NAME-SURNAME				İMZA SIGNATURE		TARİH DATE				
YAPAN LOGGED BY		SONDAJ MUHENDİSİ DRILLING ENGINEER		Y.İLBARS - F.O.ÖNAL						25/06/2008				
KONTROL CHECKED BY		SONDAJ SEFİ DRILLING CHIEF								25/06/2008				

ISVEREN CLIENT TÜPRAŞ		 ZEMİN ETÜD ve TASARIM A.Ş.		SONDAJ BOREHOLE		ASK-037										
SAYFA/PAGES : 2 / 2				SONDAJ BOREHOLE			F.POLAR									
SONDAJ LOGU / BOREHOLE LOG																
PROJE ADI/PROJECT NAME : TÜPRAŞ - RESİD UPGRADING PROJECT - ZONE A																
SONDAJ YERİ/BORING LOCATION : İZMİT																
KİLOMETRE/KILOMETER :				MUH. BOR. DER./CASING DEPTH (m) :												
SONDAJ DERİNLİĞİ/BOREHOLE DEPTH (m) : 26.00				BAS. BIT. TARİHİ/START-FINISH DATE: 24/06/2008 - 25/06/2008												
SONDAJ KOTU/BOREHOLE ELEVATION (m) : 108.89				KOORDİNAT/COORDINATE (N-S) y: 1276.212												
YERALTI SUYU/GROUNDWATER (m) : 3.50				KOORDİNAT/COORDINATE (E-W) x: 1112.11												
Sonda Derinliği Boring Depth (m)	Numune Cinsi Sample Type	Manevra Boyu Run (m)	Standart Penetrasyon Deneyi Standard Penetration Test						JEOTEKNIK TANIMLAMA GEOTECHNICAL DESCRIPTION	Profil / Profile	Strength / Dayanım Cap Penetrometri / Pocket Penetrometer	SCR, %	TCR %	RQD, %	Sirkülasyon Su Kaybı Circulation Water Loss, %	
			DARBE SAYISI No. of BLOWS			GRAFIK GRAPH										
			0-15 cm	15-30 cm	30-45 cm	N	10	20								30
16	SPT-12	15.18														
		16.50	16	33	41	74										
17	SPT-13	16.95														
		18.00	15	35	41	76										
18	SPT-14	18.45														
		19.50	31	35	32	67										
19	SPT-15	19.95														
		21.00	30	36	40	76										
20	SPT-16	21.45														
		22.50	25	33	40	73										
21	SPT-17	22.95														
		24.00	22	36	43	79										
22	SPT-18	24.45														
		25.50	48	50/7		R										
23	SPT-19	25.72														
24																
25																
26																
KUYU SONU/BOREHOLE DEPTH (m) : 26.00																
ISI / JOB		UNVANI/TITLE		ADI-SOYADI NAME-SURNAME				İMZA SIGNATURE		TARİH DATE						
YAPAN LOGGED BY		SONDAJ MUHENDİSİ DRILLING ENGINEER		Y.İLBARS - F.O.ÖNAL						25/06/2008						
KONTROL CHECKED BY		SONDAJ SEFİ DRILLING CHIEF								25/06/2008						

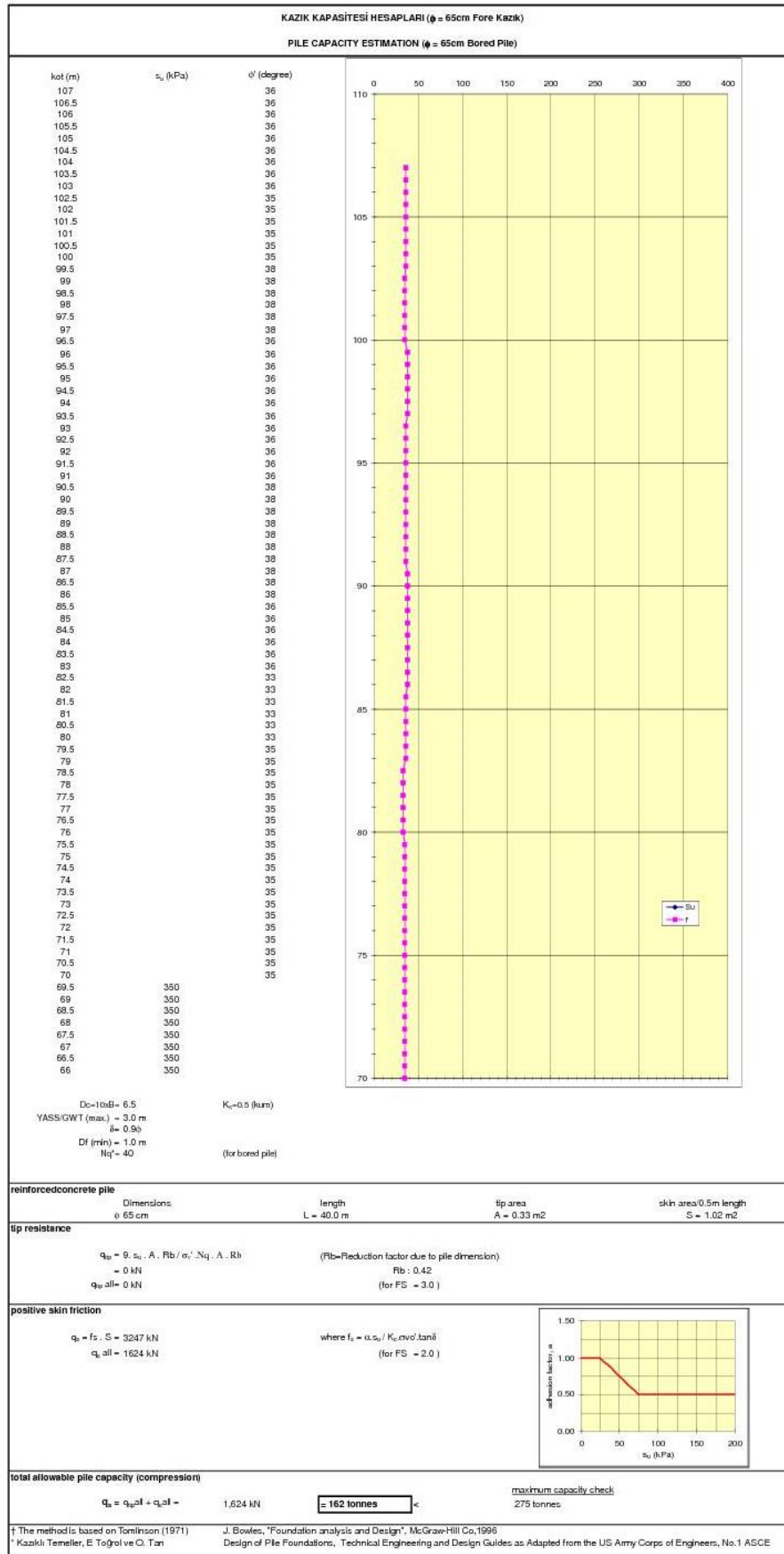
ZETAS2 TÜPRAŞA.GPJ ZETAS.GDT 28/06/08

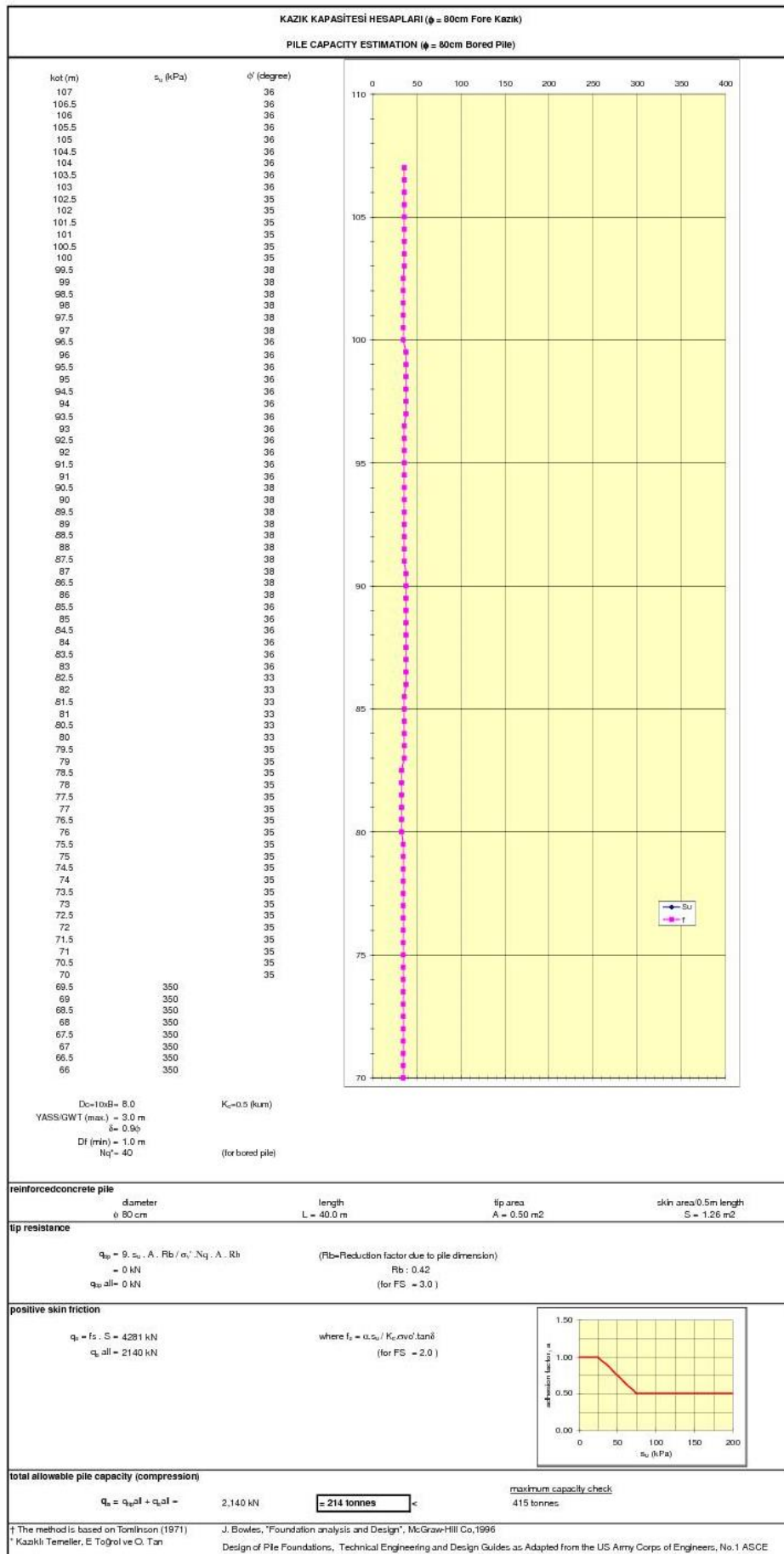
İŞVEREN CLIENT TÜPRAŞ		 ZEMİN ETÜD ve TASARIM A.Ş.		SONDAJ BOREHOLE CEK-5														
SAYFA/PAGES: 1 / 2		SONDAJ LOGU/BOREHOLE LOG		SONDOR DRILLER														
PROJE ADI/PROJECT NAME:TÜPRAŞ																		
SONDAJ YERİ/BORING LOCATION:KÖRFEZ-İZMİT																		
KİLOMETRE/KILOMETER:			MUH. BOR. DER./CASING DEPTH (m):															
SONDAJ DERİNLİĞİ/BOREHOLE DEPTH (m): 51.50			BAŞ. BİT. TARİHİ/START-FINISH DATE: 01.07.2011 / 07.07.2011															
SONDAJ KOTU/BOREHOLE ELEVATION (m): 107.57			KOORDİNAT/COORDINATE (N-S) y: 1029.26															
YERALTI SUYU/GROUNDWATER (m):			KOORDİNAT/COORDINATE (E-W) x: 1336.72															
Sonda Derinliği Boring Depth (m)	Numune Cinsi Sample Type	Manevra Boyu Run (m)	Standart Penetrasyon Deneyi Standard Penetration Test				JEOTEKNİK TANIMLAMA GEOTECHNICAL DESCRIPTION	Profil / Profile	Kot/Elevation (m)	Cap Penetrometresi Pocket Penetrometer qu (kPa)	Veyn/Vane su (kPa)	TCR (%)	SCR (%)	ROD (%)	Dayanım Strength (%)	Ayrışma Weathering	Sirkülasyon Su Kaybı Circulation Water Loss (%)	
			DARBE SAYISI No. of BLOWS		GRAFIK GRAPH													
			0-15cm	15-30cm	30-45cm	N												SPT N VALUE
1		1.50	17	8	6	14	•	ÇAKILLI SILTİLİ KUM										
2	SPT-1	1.95					•	Kahverengi, nemli, orta-iri taneli, köşeli-yarı yuvarlak çakıllı, düşük plastisiteli siltli, ince-orta taneli kum.										
3		3.00	3	8	16	24	•	GRAVELLY SILTY SAND										
4	SPT-2	3.45					•	Brown, moist, medium-coarse angular-half rounded grained gravelly, low plasticity silty, fine-medium grained sand.										
5		4.50	5	6	9	15	•	ÇAKILLI SILTİLİ KUM										
6	SPT-3	4.95					•	Kahverengi, nemli, orta-iri taneli, köşeli-yarı yuvarlak çakıllı, siltli, ince-orta taneli orta sıkı kum.										
7		6.00	5	6	6	12	•	GRAVELLY SILTY SAND										
8	SPT-4	6.45					•	Brown, moist, medium-coarse angular-half rounded grained gravelly, silty, fine-medium grained medium dense sand.										
9		7.50	5	5	6	11	•	SİLTİLİ KİLLİ KUM										
10	SPT-5	7.95					•	Gri, nemli, siltli, düşük plastisiteli killi, orta-ince taneli, sıkı kum.										
11		9.00	15	16	15	31	•	SİLTİLİ KİLLİ KUM										
12	SPT-6	9.45					•	SİLTİLİ KİLLİ KUM										
13		10.50	9	12	14	26	•	SİLTİLİ KİLLİ KUM										
14	SPT-7	10.95					•	SİLTİLİ KİLLİ KUM										
15		12.00	10	12	15	27	•	SİLTİLİ KİLLİ KUM										
16	SPT-8	12.45					•	SİLTİLİ KİLLİ KUM										
17		13.50	11	12	15	27	•	SİLTİLİ KİLLİ KUM										
18	SPT-9	13.95					•	SİLTİLİ KİLLİ KUM										
19		15.00	11	13	15	28	•	SİLTİLİ KİLLİ KUM										
20	SPT-10	15.45					•	SİLTİLİ KİLLİ KUM										
21		16.50	13	14	17	31	•	SİLTİLİ KİLLİ KUM										
22	SPT-11	16.95					•	SİLTİLİ KİLLİ KUM										
23		18.00	14	18	19	37	•	SİLTİLİ KİLLİ KUM										
24	SPT-12	18.45					•	SİLTİLİ KİLLİ KUM										
25		19.50	15	18	23	41	•	SİLTİLİ KİLLİ KUM										
26	SPT-13	19.95					•	SİLTİLİ KİLLİ KUM										
27		21.00	13	20	25	45	•	SİLTİLİ KİLLİ KUM										
28	SPT-14	21.45					•	SİLTİLİ KİLLİ KUM										
29		22.50	14	15	25	40	•	SİLTİLİ KİLLİ KUM										
30	SPT-15	22.95					•	SİLTİLİ KİLLİ KUM										
31		24.00	4	5	6	11	•	SİLTİLİ KİLLİ KUM										
32	SPT-16	24.45					•	SİLTİLİ KİLLİ KUM										
33		25.50	4	6	6	12	•	SİLTİLİ KİLLİ KUM										
34	SPT-17	25.95					•	SİLTİLİ KİLLİ KUM										
35		27.00	5	6	6	12	•	SİLTİLİ KİLLİ KUM										
36	SPT-18	27.45					•	SİLTİLİ KİLLİ KUM										
İŞİ/JOB		ÜNVANI/TITLE		ADI-SOYADI NAME-SURNAME		İMZA SIGNATURE		TARİH DATE										
YAPAN LOGGED BY		SONDAJ MÜHENDİSİ DRILLING ENGINEER		O.D.AK				01.07.2011										
KONTROL CHECKED BY		SONDAJ ŞEFİ DRILLING CHIEF						07.07.2011										

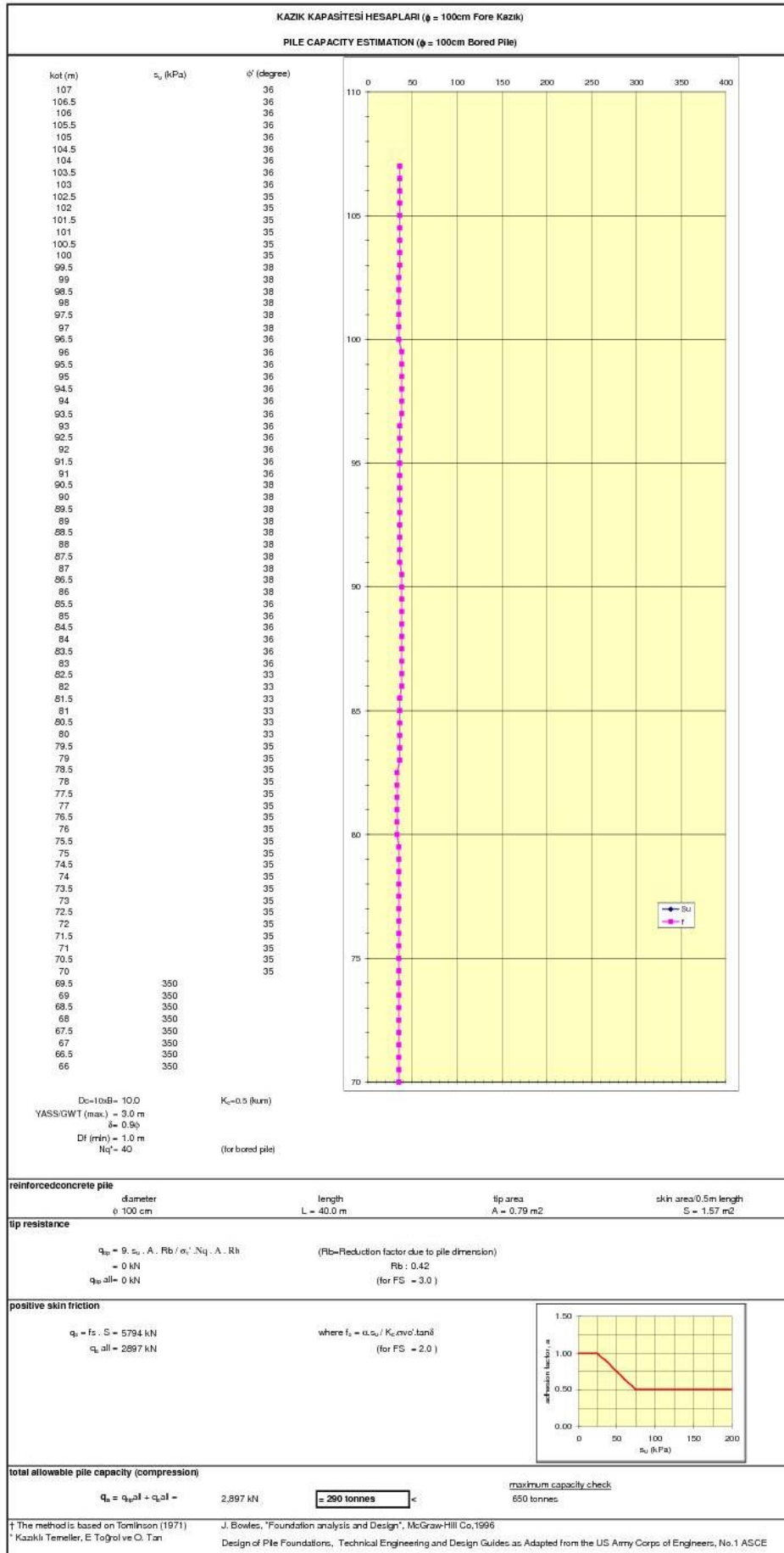
(Continued Next Page)

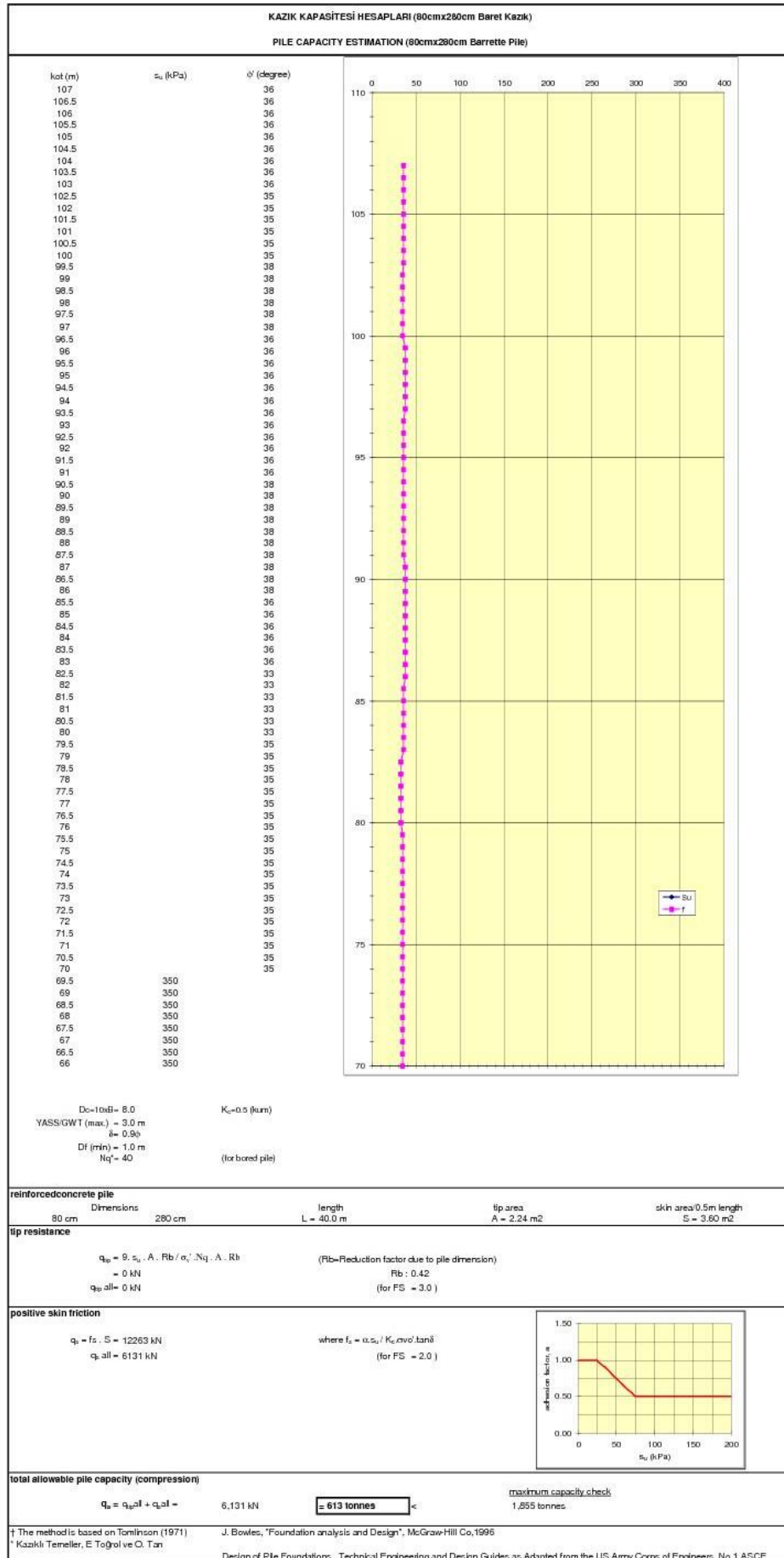
İŞVEREN CLIENT TÜPRAŞ				SONDAJ BOREHOLE		CEK-5										
SAYFA/PAGES: 2 / 2		SONDAJ LOGU/BOREHOLE LOG		SONDOR DRILLER												
PROJE ADI/PROJECT NAME:TÜPRAŞ																
SONDAJ YERİ/BORING LOCATION:KÖRFEZ-İZMİT																
KİLOMETRE/KILOMETER:				MUH. BOR. DER./CASING DEPTH (m):												
SONDAJ DERİNLİĞİ/BOREHOLE DEPTH (m): 51.50				BAŞ. BİT. TARİHİ/START-FINISH DATE: 01.07.2011 / 07.07.2011												
SONDAJ KOTU/BOREHOLE ELEVATION (m): 107.57				KOORDİNAT/COORDINATE (N-S) y: 1029.26												
YERALTI SUYU/GROUNDWATER (m):				KOORDİNAT/COORDINATE (E-W) x: 1336.72												
SondaJ Derinliği Boring Depth (m)	Numune Cinsi Sample Type	Manevra Boyu Run (m)	Standart Penetrasyon Deneyi Standard Penetration Test		JEOTEKNİK TANIMLAMA GEOTECHNICAL DESCRIPTION	Profil / Profile	Kot/Elevation (m)	Çeğip Penetrasyonlası Pocket Penetrometer güç (kPa)	Veyn/Vane su (kPa)	TCR (%)	SCR (%)	RQD (%)	Dayanım Strength (%)	Ayrısma Weathering	Sirkülasyon Su Kaybı Circulation Water Loss (%)	
			DARBE SAYISI No. of BLOWS	GRAFİK GRAPH												
			0-15cm 15-30cm 30-45cm N	SPT N VALUE 10 20 30 40												
29	SPT-19	28.50	14	27	21	48										
30	SPT-20	30.00	15	28	23	51										
31	SPT-21	31.50	12	25	22	47										
32	SPT-22	33.00	10	13	13	26										
33	SPT-23	34.50	22	30	30	60										
34	SPT-24	36.00	17	24	29	53										
35	SPT-25	37.50	10	26	35	61										
36	SPT-26	39.00	13	25	30	55										
37	SPT-27	40.50	15	23	38	61										
38	SPT-28	42.00	18	24	28	52										
39	SPT-29	43.50	16	25	30	55										
40	SPT-30	45.00	20	26	31	57										
41	SPT-31	46.50	19	27	33	60										
42	SPT-32	48.00	20	28	31	59										
43	SPT-33	49.50	18	23	29	52										
44																
45																
46																
47																
48																
49																
50																
51																
İŞİ/JOB		ÜNVANI/TITLE		ADI-SOYADI NAME-SURNAME		İMZA SIGNATURE		TARİH DATE								
YAPAN LOGGED BY		SONDAJ MÜHENDİSİ DRILLING ENGINEER						01.07.2011								
KONTROL CHECKED BY		SONDAJ ŞEFİ DRILLING CHIEF		O.D.AK				07.07.2011								

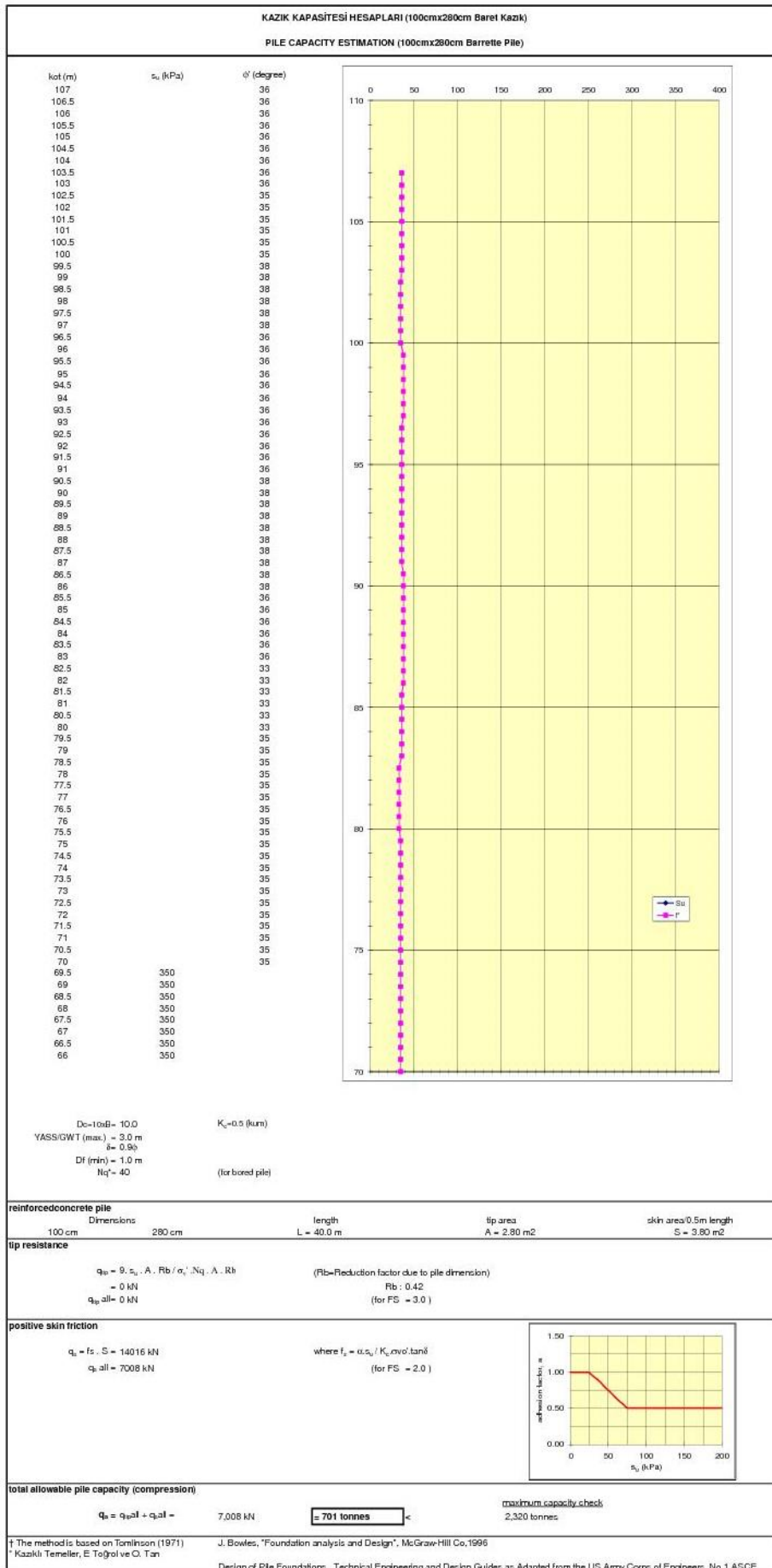
EK B





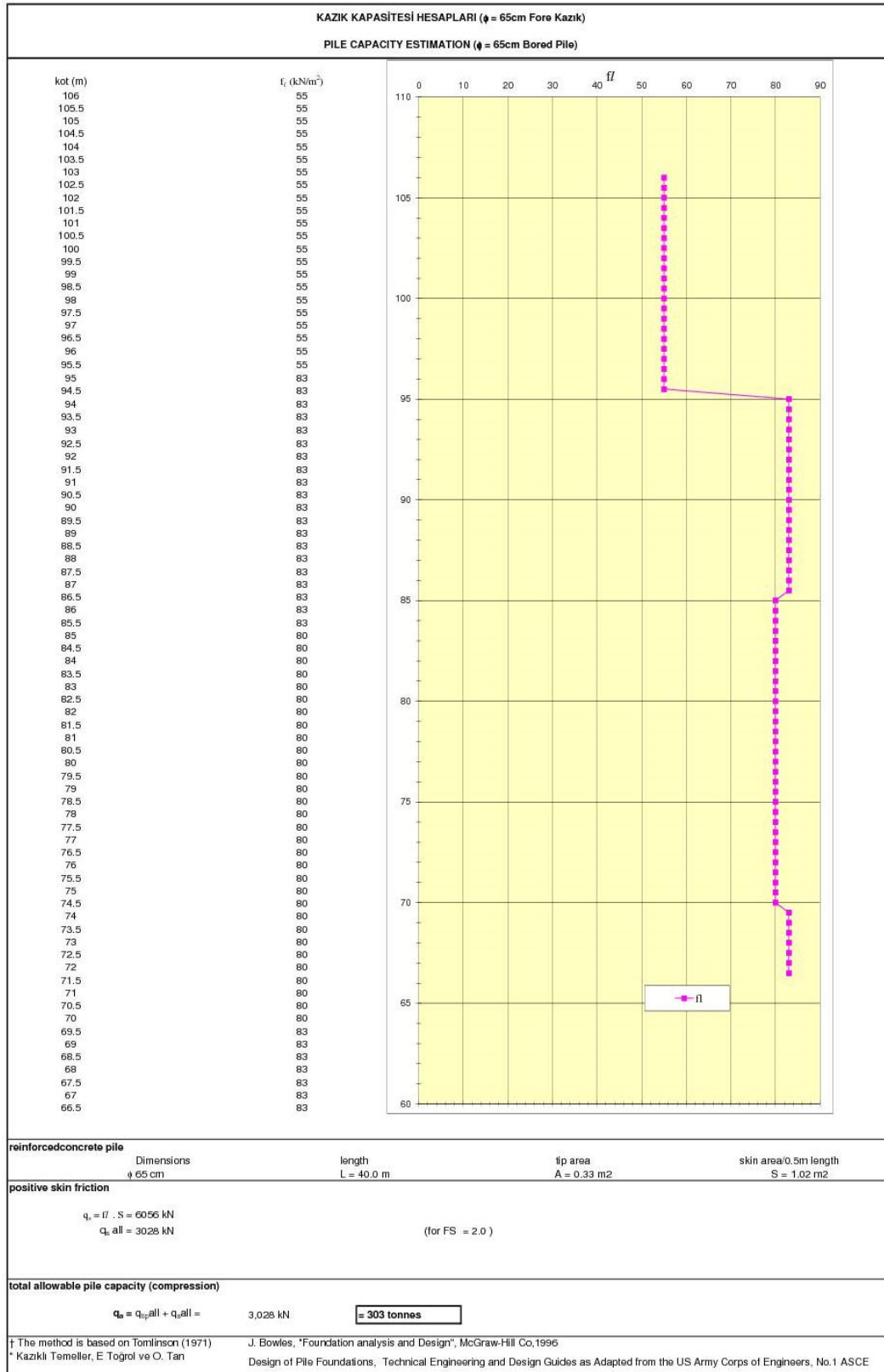


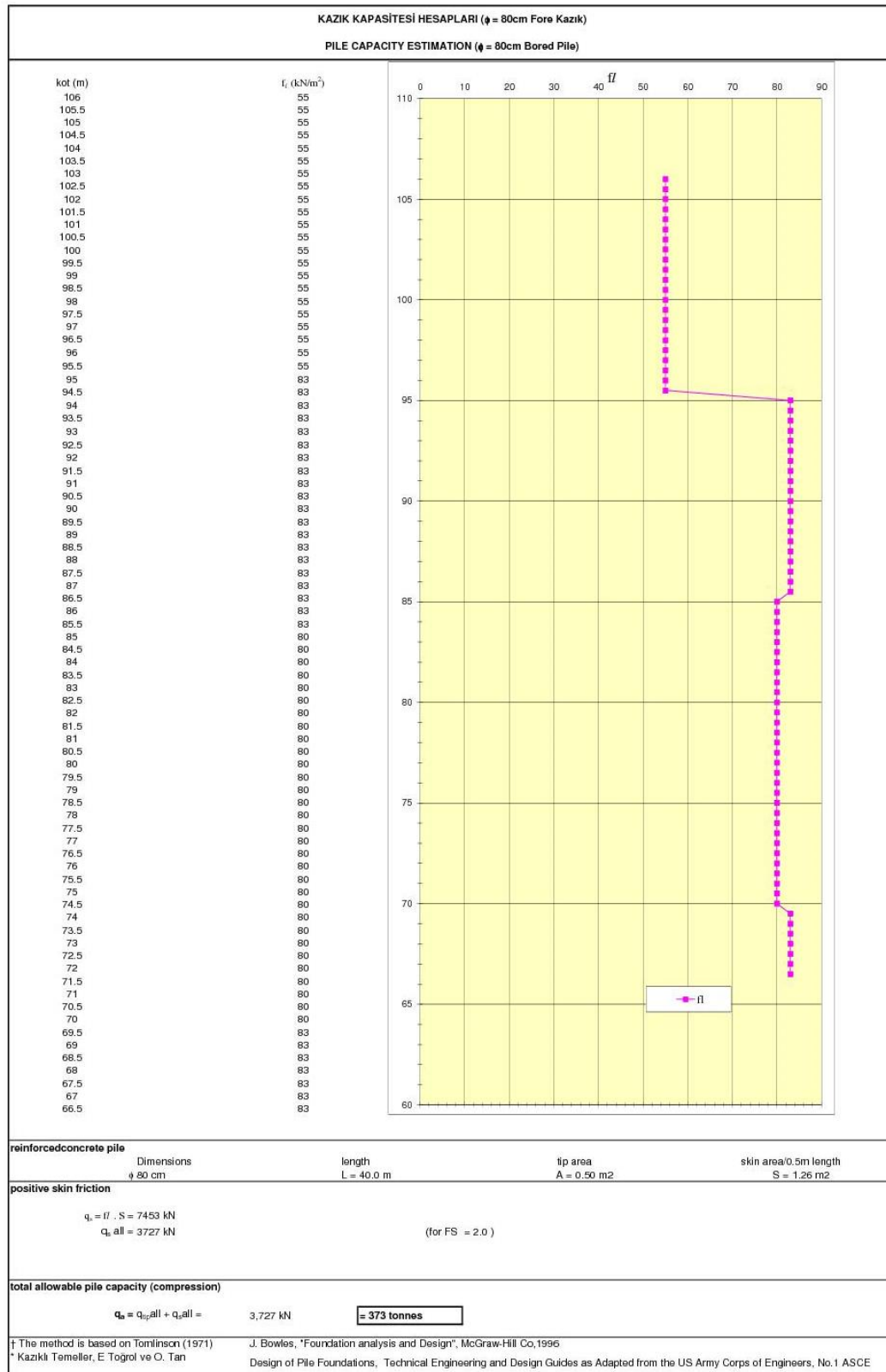


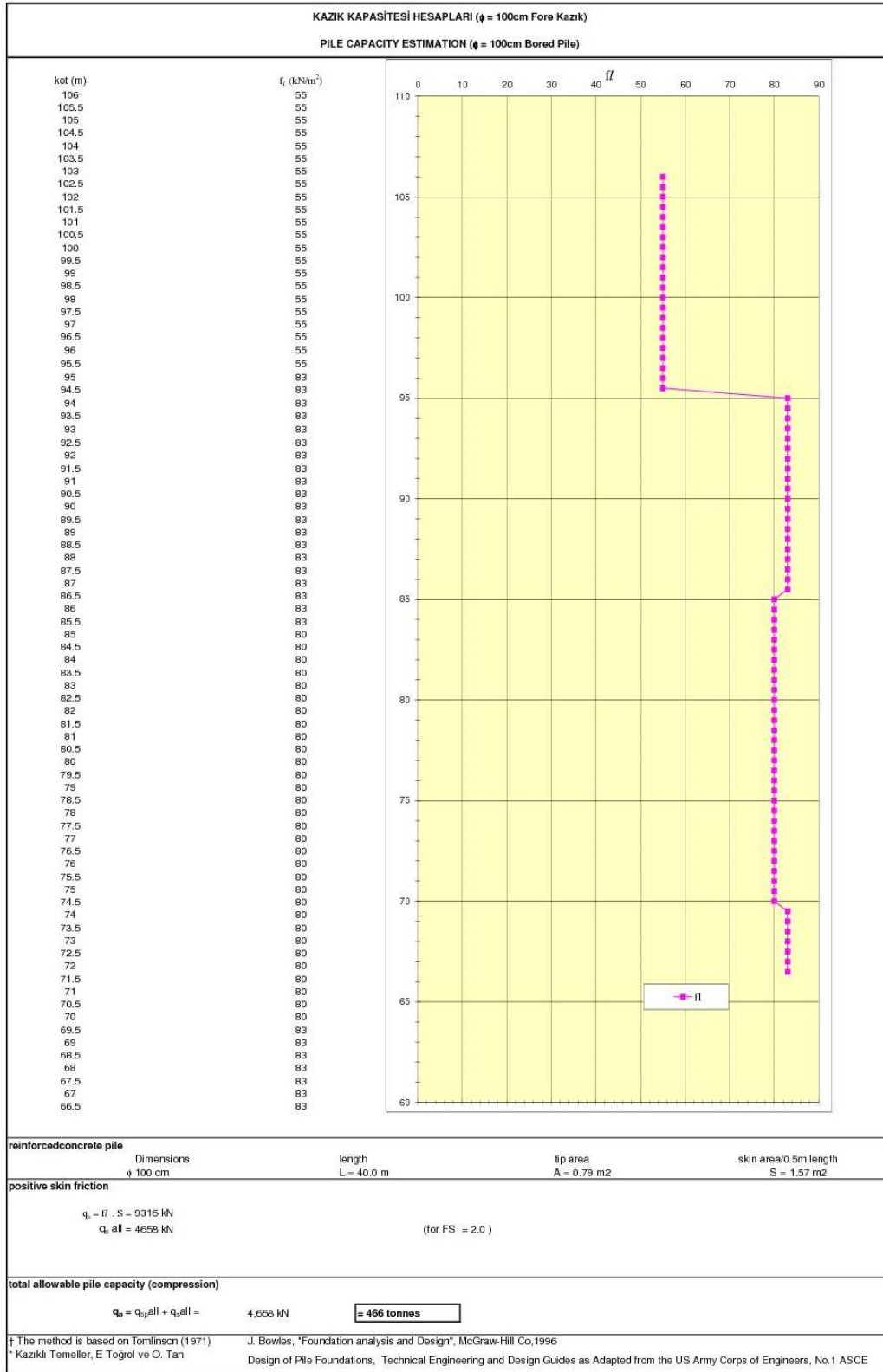


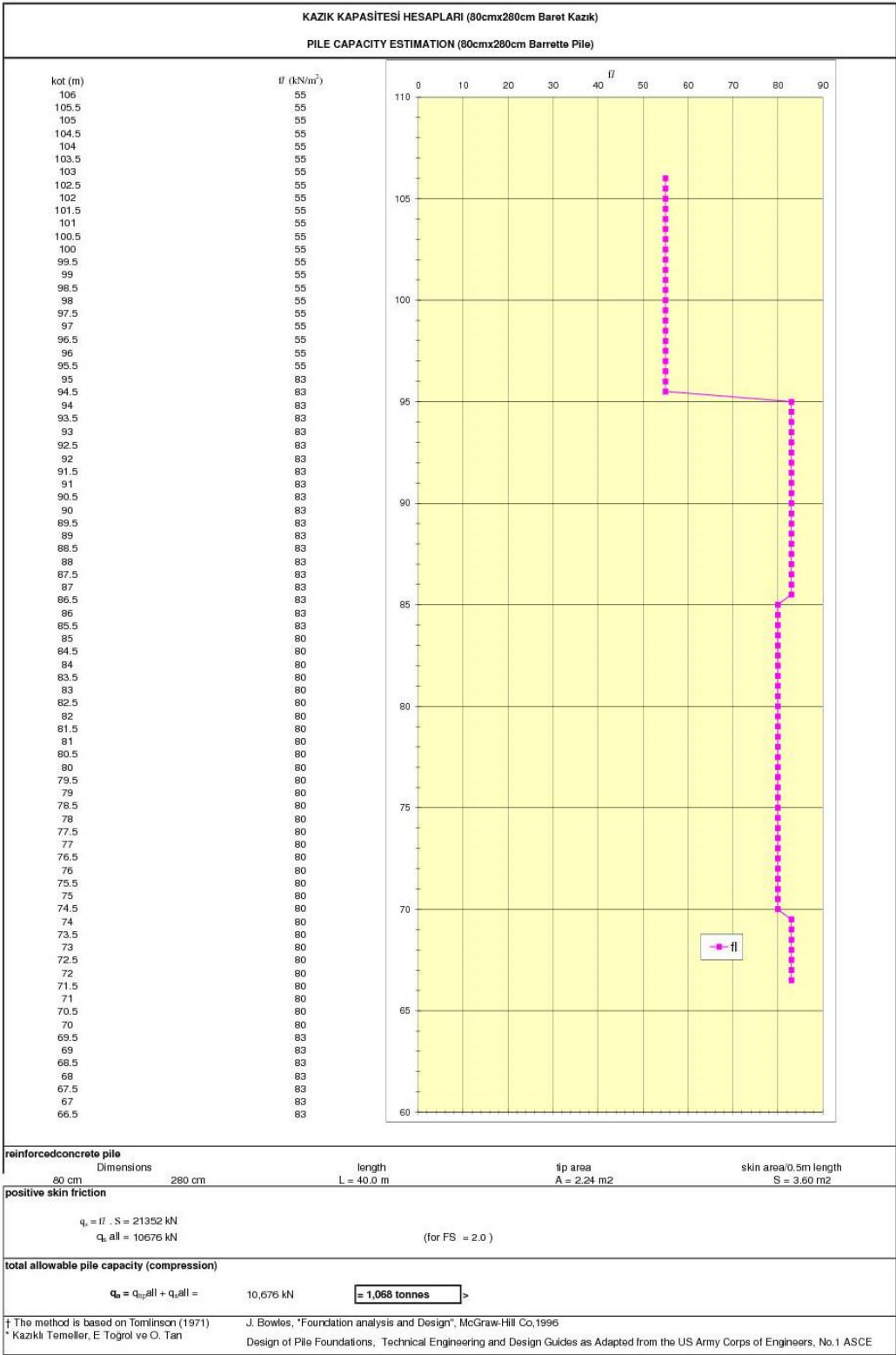
PILE CAPACITY ESTIMATION (100cmx300cm Barrette Pile)

147









reinforced concrete pile

Dimensions
80 cm 280 cm

length
L = 40.0 m

tip area
A = 2.24 m²

skin area/0.5m length
S = 3.60 m²

positive skin friction

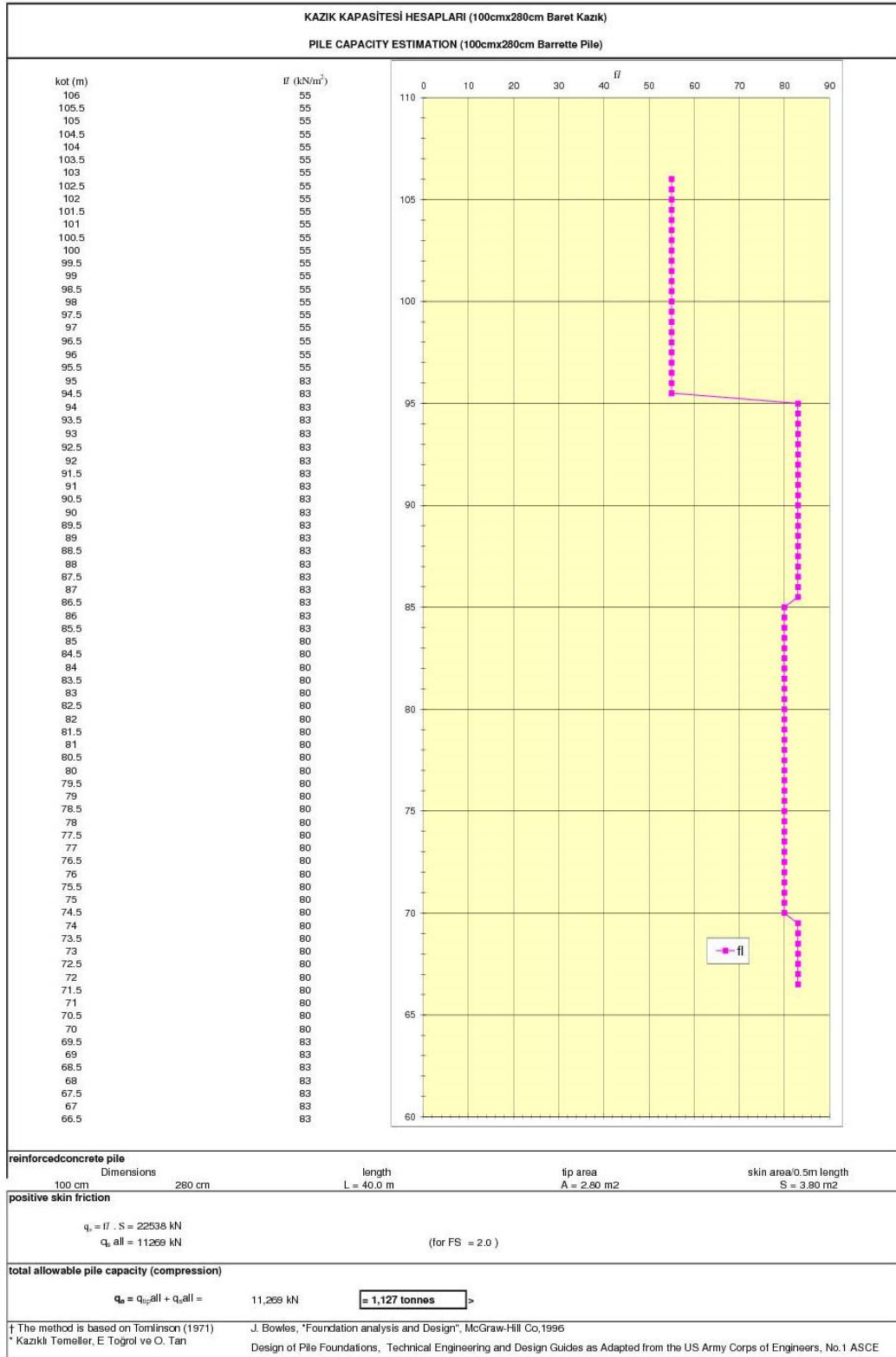
$q_{p,all} = f_l \cdot S = 21352 \text{ kN}$
 $q_{p,all} = 10676 \text{ kN}$ (for FS = 2.0)

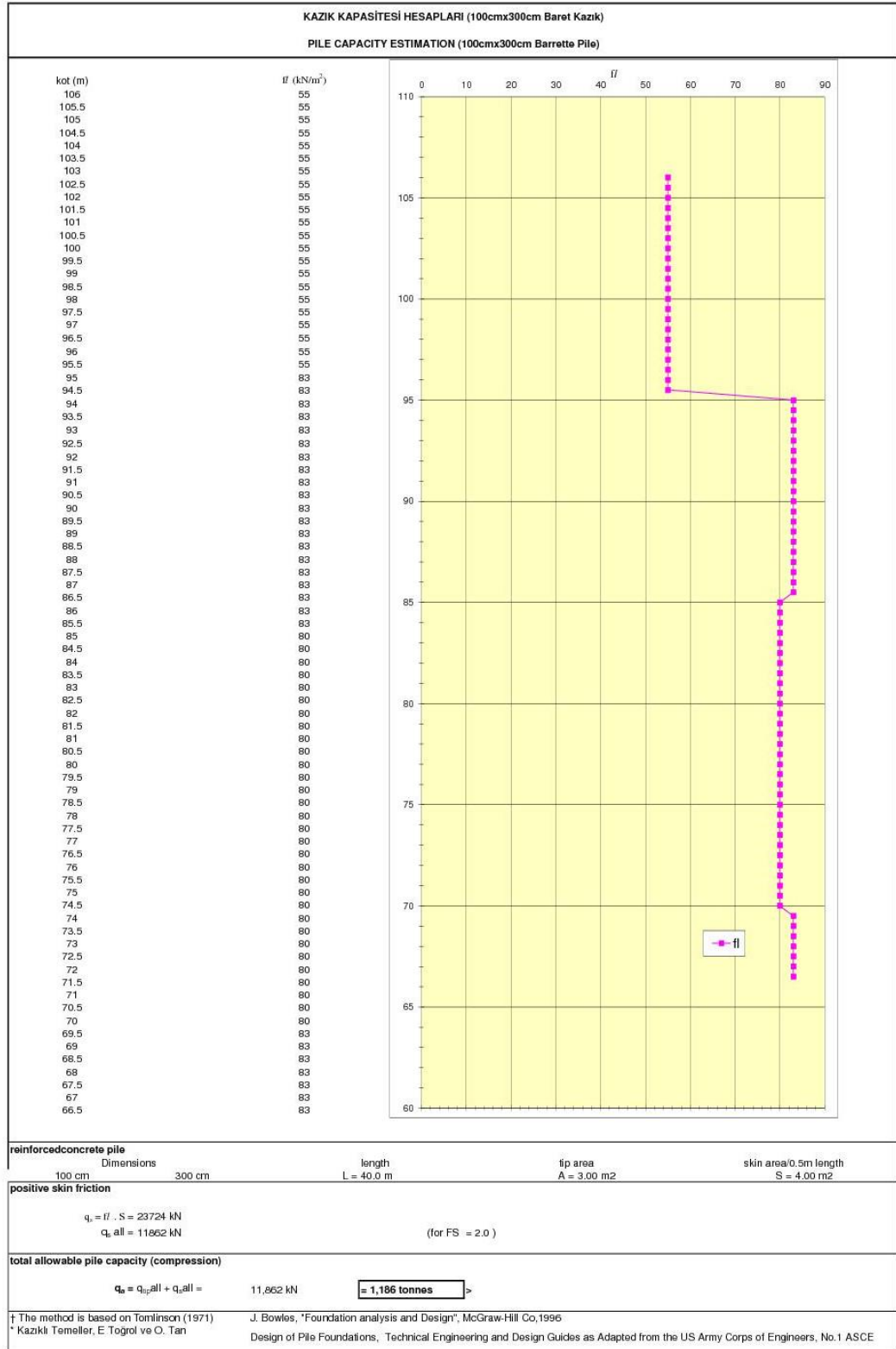
total allowable pile capacity (compression)

$q_{p,all} = q_{p,all} + q_{p,all} = 10,676 \text{ kN}$ **= 1,068 tonnes** >

† The method is based on Tomlinson (1971)
* Kazıklı Temeller, E. Töğrol ve O. Tan

J. Bowles, "Foundation analysis and Design", McGraw-Hill Co, 1996
Design of Pile Foundations, Technical Engineering and Design Guides as Adapted from the US Army Corps of Engineers, No.1 ASCE





D
A
T
A

R
E
P
O
R
T



**REPORT ON PRELIMINARY BARRETTE
LOAD TESTING (OSTERBERG METHOD)**

**PB1 - Coker Unit, The Refinery
Izmit, Turkey (FLT20034)**

Prepared for:

KASKTAŞ A.Ş

Attention: Mr. Ali Orkan Bayur

PROJECT NUMBER: FLT20034, 05 March 2012

ISSUE 01

Europe & Africa

Fugro LOADTEST Ltd. (Reg. No. 4243793)

14 Scotts Avenue, Sunbury Upon Thames

Middlesex, TW16 7HZ, UK

Phone: +44 (0) 1932 784807

Fax: +44 (0) 1932 784807

Americas

LOADTEST

2631-D NW 41st St

Gainesville, FL 32606, USA

Phone +1 352 378 3717

Fax: +1 352 378 3934

Asia

Fugro LOADTEST Asia Pte Ltd

159 Sin Ming Road, #05-07 Amtech Building

Singapore 575625

Phone: +65 6377 5665

Fax: +65 6377 3359

Middle East

Fugro LOADTEST

P.O. Box 2863, Dubai, UAE.

P.O. Box 4447, Abu Dhabi, UAE.

Phone: +9714 3474060

Fax: +9714 3474069

E-mail: Europe_Info@loadtest.com

Internet: www.loadtest.com

LOADTEST is a member of the Fugro Group of companies

DEEP FOUNDATION TESTING, EQUIPMENT & SERVICES • SPECIALIZING IN OSTERBERG CELL **O-cell®** TECHNOLOGY

"O-cell" is a registered Trademark ®

PB1 - Coker Unit, The Refinery
Izmit, Turkey (FLT20034)

05 March 2012

KASKTAŞ A.Ş
E.İsmail Hakkıbey Sk.
No:31 80700 Besiktas/ISTANBUL
TURKEY

Attention: Mr. Ali Orkun BAYUR

Load Test Report: (FLT20034) PB1 - Coker Unit, The Refinery
Location: Izmit, Turkey

Dear Mr. Bayur

The enclosed report contains the data and analysis summary for the Osterberg Cell (O-cell) test performed on barrette PB1 - Coker Unit, The Refinery, Izmit on 29 February 2012. For your convenience, we have included an executive summary of the test results in addition to our standard detailed data report.

We would like to express our gratitude for the on-site and off-site assistance provided by your team and we look forward to working with you on future projects.

We trust that the information contained herein will suit your current project needs. If you have any questions or require further technical assistance, please do not hesitate to contact us at +44 (0) 1932 784807.

Best Regards,



Melvin England, BSc., MSc., PhD., DIC
Managing Director, Fugro Loadtest Ltd.



DEEP FOUNDATION TESTING, EQUIPMENT & SERVICES • SPECIALIZING IN OSTERBERG CELL **O-cell®** TECHNOLOGY
"O-cell" is a registered Trademark ®

EXECUTIVE SUMMARY

On 29 February 2012, Fugro Loadtest Ltd. performed an O-cell test on a 3000 mm x 1000 mm test barrette, number PB1, constructed by KASKTAŞ A.Ş. Mr. Paul Cheesman and Mr. Gavin Tomkies of Fugro Loadtest Ltd. carried out the test. KASKTAŞ A.Ş. constructed the 38.60 metre deep barrette under bentonite on 12 February 2012. Sub-surface conditions at the test barrette location consist of sand and clay over lying sand / silt. Representatives of KASKTAŞ A.Ş. and others observed construction and testing of the barrette.

The maximum sustained bi-directional load applied to the barrette was 9.8 MN. At the maximum load, the displacements above and below the O-cell assembly were 3.5 mm and 18.5 mm, respectively. Unit skin friction data calculated from applied load indicated a mobilised average net skin friction of 50.8 kPa between the O-cell and top of concrete and a maximum net unit friction value of 60.3 kPa at strain gauge level 1.

Using the procedures described in the report text and in [Appendix C](#), an estimated top load curve for the test barrette was constructed. For a top loading of 6.5 MN, the test data indicate this barrette would settle approximately 1.8 mm. For a top loading of 9.8 MN the adjusted test data indicate this barrette would settle approximately 2.8 mm.

LIMITATIONS OF EXECUTIVE SUMMARY

We include this executive summary to provide a very brief presentation of some of the key elements of this O-cell test. It is by no means intended to be a comprehensive or stand-alone representation of the test results. The full text of the report and the attached appendices contain important information which the engineer can use to come to more informed conclusions about the data presented herein.



TABLE OF CONTENTS

Site Conditions and Pile Construction.....	3
Site Sub-surface Conditions.....	3
Test Pile Construction.....	3
Osterberg Cell Testing.....	3
Pile Instrumentation	3
Test Arrangement	4
Data Acquisition	5
Testing Procedures	5
Test Results and Analyses	6
General	6
Combined End Bearing and Lower Skin Friction Resistance.....	6
Upper Skin Friction Resistance.....	7
Estimated Top Load-Displacement.....	7
Limitations and Standard of Care.....	8
• Average Net Unit Skin friction Values, Table A. • Summary of Dimensions, Elevations & Barrette Properties, Table B. • Schematic Section of Test Barrette, Figure A. • Instrumentation Layout, Figure B. • Osterberg Cell Load-Displacement, Figure 1. • Time-Osterberg Cell Displacement, Figure 2. • Time-Osterberg Cell Load, Figure 3. • Strain Gauge Load Distribution Plot, Figure 4. • Downward Net Mobilised Skin Friction Curves, Figure 5. • Upward Net Mobilised Skin Friction Curves, Figure 6. • Estimated Top Load Curve, Figure 7. • Average Microstrain – Time, Figures 8a and 8b. • Average Microstrain – Load, Figure 9. • Field Data & Data Reduction, Appendix A. • O-cell and Instrumentation Calibration Sheets, Appendix B. • Construction of the Estimated Top Load Displacement Curve, Appendix C. • Reference Beam Monitoring, Appendix D. • Selection of Photographs, Appendix E.	



SITE CONDITIONS AND BARRETTE CONSTRUCTION

Site Sub-surface Conditions: The sub-surface stratigraphy at the general location of the test barrette is reported to consist of sand and clay overlying sand / silt. More detailed geologic information can be obtained from KASKTAŞ A.Ş.

Test Barrette Construction: KASKTAŞ A.Ş. started excavating the dedicated test barrette on 11 February, 2012 and performed the final cleanout and concreting on 12 February 2012. The 3000 mm x 1000 mm test barrette was excavated to a base elevation of +67.40 m under bentonite slurry. A grab was used for excavation of the barrette and for cleaning of the base of the barrette. The bentonite slurry was cleaned by replacement prior to cage installation. The reinforcing cage with attached O-cell assembly was inserted into the excavation. Concrete was then delivered by tremie through a 300 mm O.D. pipe into the base of the barrette until the top of the concrete reached ground level at an elevation of +106.00 m.

OSTERBERG CELL TESTING

Barrette Instrumentation: Test barrette instrumentation and assembly was carried out under the direction of Mr. Gavin Tomkies of Fugro Loadtest Ltd. The loading assembly consisted of two 405 mm O-cells located 16.60 metres above the barrette base. The Osterberg cells were calibrated to 6.3 MN and then welded closed prior to shipping by American Equipment and Fabricating Corporation. Calibrations of O-cells and instrumentation used for this test are included in Appendix B. Embedded O-cell testing instrumentation comprised the following:

- Four upper compression telltale casing (nominal 13 mm steel pipe) attached on the reinforcing cage, extending from the top of the O-cell assembly to ground level.
- Paired barrette base displacement telltale casing (nominal 13 mm steel pipe) attached diametrically opposed on the reinforcing cage, extending from the bottom of the reinforcing cage to ground level.
- Six Linear Vibrating Wire Displacement Transducers (LVWDTs, Geokon Model 4450 series) positioned between the lower and upper plates.
- four levels of six sister bar vibrating wire strain gauges (Geokon Model 4911 Series) attached on the reinforcing cage below the base of the O-cell assembly.
- Four levels of six sister bar vibrating wire strain gauges (Geokon Model 4911 Series) attached to the reinforcing cage above the top of the O-cell assembly.



DEEP FOUNDATION TESTING, EQUIPMENT & SERVICES • SPECIALIZING IN OSTERBERG CELL **O-cell**® TECHNOLOGY
"O-cell" is a registered Trademark ®

Details concerning the instrumentation placement appear in Table B and Figures A & B. The strain gauges were positioned as recommended by KASKTAŞ A.Ş.

Two lengths of steel pipe were also installed, extending from the top of the barrette to the top of the bottom plate, to vent the break in the barrette formed by the expansion of the O-cells. The pipes were filled with water prior to the start of the test.

Test Arrangement: Throughout the load test, key elements of barrette displacement response were monitored using the equipment and instruments described below:

- Top of barrette displacement was monitored using Linear Voltage Displacement Transducers (LVDTs, Penny & Giles HLP series) attached to a reference system were used to monitor the top (Appendix A, Page 1).
- Upper compression displacement at various levels was measured using six 6 mm telltale rods positioned inside the casing and monitored by Linear Voltage Displacement Transducers (LVDTs, Penny & Giles HLP series) attached to the top of the barrette (Appendix A, Page 1).
- Barrette toe displacement was measured using two 6 mm telltale rods positioned inside the casing and monitored by Linear Voltage Displacement Transducers (LVDTs, Penny & Giles HLP series) attached to the top of the barrette (Appendix A, Page 1).

The reference system consisted of a 9-m U-beam on cast concrete blocks. The supports were located more than three barrette widths from the centre of the test barrette across the width of the barrette. An automated digital survey level (Leica NA 3003 series) monitored the reference beam for displacement during testing from a distance of approximately 9.1 metres to a precision of ± 0.01 mm (Appendix D). A maximum range of displacement of 0.43 mm was observed for the reference beam. The top of barrette displacement has been corrected for displacement of the reference system (Appendix A, Page 3).

Both a Bourdon pressure gauge and a vibrating wire voltage pressure transducer were used to measure the pressure applied to the O-cell at each load interval. We used the pressure transducer for automatically setting and maintaining loads and real time plotting. The Bourdon pressure gauge readings were used as a check on the transducer and for data analysis. There was close agreement between the Bourdon gauge and the pressure transducer.

Data Acquisition: All instrumentation were connected through a data logger (Data Electronics 515 GeoLogger) to a laptop computer allowing data to be recorded and stored automatically at 30 second intervals and displayed in real



time. The same laptop computer synchronized to the data logging system was used to acquire the Leica NA3003 data.

Testing Procedures: Mr. Paul Cheesman and Mr. Gavin Tomkies of Fugro Loadtest Ltd. conducted the test. Testing was begun by pressurizing the O-cells in order to break the tack welds that hold them closed (for handling and for placement in the barrette) and to form the fracture plane in the concrete surrounding the base of the O-cells. After the break occurred, the pressure was immediately increased to the first increment load and the testing commenced. Zero readings for all instrumentation were taken prior to the preliminary weld-breaking load cycle, which in this case involved a maximum applied load of 1.91 MN (1525 psi) to the O-cells.

The Osterberg cell load test was conducted as follows: The two 405 mm diameter O-cells, with their base located 16.60 metres above the barrette base, were loaded to assess the combined end bearing and lower skin friction of the barrette section below the O-cells and using the upper skin friction above as reaction. The O-cell were loaded in 12 increments to a bi-directional gross O-cells load of 9.85 MN and an average O-cell opening of 21.58 mm was recorded. On application of load step 1L-12, it was not possible to achieve the desired loading of 10 MN gross O-cell load as the lower resistance was insufficient. The load achieved in the first 10 minutes of attempted application was seen to be stable at 9.84 MN before dropping. This loading was then used as load step 1L-12 in the analysis. Despite running the pumps for a long period of time, it was not possible to achieve the desired gross load of 10 MN. The O-cells were depressurized in four decrements and the test was concluded.

The load increments were applied in general as specified in the loading schedule presented in our Method Statement. Each successive load increment was held constant by manually adjusting the O-cells pressure until the creep criteria were met (0.10mm/20min). Typically, approximately two minutes was used to move between increments. The minimum hold time was ignored for the early stage loading increments on request of the checking engineer. Once the creep rate for these increments was met, the load was increased at the end of the next 10 minute period. The data logger automatically recorded the instrument readings every 30 seconds, but herein only the 0, 1, 2, 5, 10 and subsequent 10 minute readings during each increment of maintained load are reported.



TEST RESULTS AND ANALYSES

General: The loads applied by the O-cell act in two opposing directions, resisted by the capacity of the barrette above and below. It may be assumed that the O-cell assembly do not impose an additional upward load until its expansion force exceeds the buoyant weight of the barrette above each O-cell assembly. Therefore, *net load*, which is defined as gross O-cell load minus the buoyant weight of the barrette above, is used to determine skin friction resistance above the upper O-cells and to construct the estimated top load displacement curve. For this test a barrette buoyant weight of 0.91 MN above the O-cells was calculated.

For the purposes of analyses herein, the maximum sustained loading at 1L-12 of 9.8 MN was used.

Combined End Bearing and Lower Skin Friction Resistance: The maximum downward applied load was 9.8 MN which occurred at load interval 1L-12 (Appendix A, Page 3, Figure 1). At this loading, the average downward displacement of the lower O-cell base was 18.5 mm. The maximum shaft friction values for the lower section of the barrette are shown in Table A (Appendix A, Page 3 Figure 1).

On application of loading step 1L-10, a rapid downward movement of the barrette shaft below the O-cell level was observed. The loading stages 1L-11 and 1L-12 indicated that the movement was slowing with load application. However, the movements were insufficient to compress the base material sufficiently to obtain any estimation of ultimate end bearing capacity.

Upper Skin Friction Resistance: The maximum upward applied *net load* to the upper skin friction was 8.94 MN which occurred at load interval 1L-12 (Appendix A, Page 3, Figure 1). At this loading, the upward displacement of the top of the O-cells was 3.5 mm.

The strain gauge data appear in Appendix A, Pages 4 to 11. The pile was tested 17 days after the concreting. The 17 days concrete unconfined compressive strength was assumed to be 48.0 MPa and the unit weight was assumed to be 2322 kg/m³. The ACI formula ($E_c = 4.73 \sqrt{f'_c}$) was used to calculate an elastic modulus for the concrete. This, combined with the area of reinforcing steel and nominal barrette size, provided an average barrette stiffness (AE) of 96,400 MN.

Mobilised net unit skin friction curves based on the strain gauge data and estimated barrette stiffness are presented in Figure 4 and 5. Skin friction values for loading increment 1L-12 follow in Table A:



TABLE A: Average Net Unit Skin Friction Values for 1L-12

Load Transfer Zone	Displacement ¹	Net Unit Skin Friction ²
Zero Shear to Strain Gauge Level 8	↑ 2.74 mm	34.6 kPa
Strain Gauge Level 8 to Strain Gauge Level 7	↑ 2.80 mm	39.7 kPa
Strain Gauge Level 7 to Strain Gauge Level 6	↑ 2.91 mm	63.3 kPa
Strain Gauge Level 6 to Strain Gauge Level 5	↑ 3.12 mm	78.6 kPa
Strain Gauge Level 5 to O-cell	↑ 3.39 mm	65.8 kPa
O-cell to Strain Gauge Level 4	↓ 17.75 mm	38.7 kPa (48.0 kPa at 1L-9)
Strain Gauge Level 4 to Strain Gauge Level 3	↓ 17.11 mm	39.7 kPa (41.3 kPa at 1L-9)
Strain Gauge Level 3 to Strain Gauge Level 2	↓ 16.44 mm	12.6 kPa (29.7 kPa at 1L-9)
Strain Gauge Level 2 to Strain Gauge Level 1	↓ 15.90 mm	31.7 kPa (60.3 kPa at 1L-9)

¹ Average displacement of load transfer zone. Note that net unit shaft friction values derived from the strain gauges may not be ultimate values. See [Figure 4](#) for unit friction vs. displacement plots.

² For upward-loaded skin friction, the buoyant weight of barrette in each zone has been subtracted from the load shed in the respective zone.

Equivalent Top Load-Displacement: [Figure 7](#) presents the equivalent top-loaded load-settlement curves. The lighter curve, described in Procedure Part I of [Appendix C](#), was generated by using the measured upward top of O-cell and downward base of O-cell data. The settlement curves are calculated assuming the top load is applied at the top of the concrete. The equivalent top load curve requires an adjustment for the additional elastic compression that would occur in a top-load test. The darker curve as described in Procedure Part II of [Appendix C](#) includes this adjustment.

The test barrette behaviour was calculated for a combined skin friction and end-bearing load of 15.6 MN. The displacement curves are calculated assuming the top load is applied at ground elevation (+106.00 m). For a top loading of 6.5 MN, the adjusted test data indicate this barrette would settle approximately 1.8 mm, of which 1.1 mm is the estimated additional elastic compression. For a top loading of 9.8 MN the adjusted test data indicate this barrette would settle approximately 2.8 mm, of which 1.5 mm is the estimated additional elastic compression.



LIMITATIONS AND STANDARD OF CARE

The instrumentation, testing services and data analysis provided by Fugro Loadtest Ltd., outlined in this report, were performed in accordance with the accepted standards of care recognized by professionals in the bored barrette and foundation engineering industry.

Please note that some of the information contained in this report is based on data (i.e. barrette section dimensions, elevations and concrete strength) provided by others. The engineer, therefore, should come to his or her own conclusions with regard to the analyses as they depend on this information. In particular, Fugro Loadtest Ltd. typically does not observe and record barrette construction details to the level of precision that the project engineer may require. In many cases, we may not be present for the entire duration of barrette construction. Since construction technique can play a significant role in determining the load bearing capacity of a barrette, the engineer should pay close attention to the barrette construction details that were recorded elsewhere.

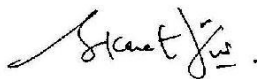
We trust that this information will meet your current project needs. If you have any questions, please do not hesitate to contact us at +44 (0) 1932 784807.

Prepared for Fugro Loadtest Ltd. by



Paul Cheesman.
Project Manager, Fugro LOADTEST

Reviewed by



Keat Lim, BEng.(Civil)
Project Manager, Fugro Loadtest Ltd.



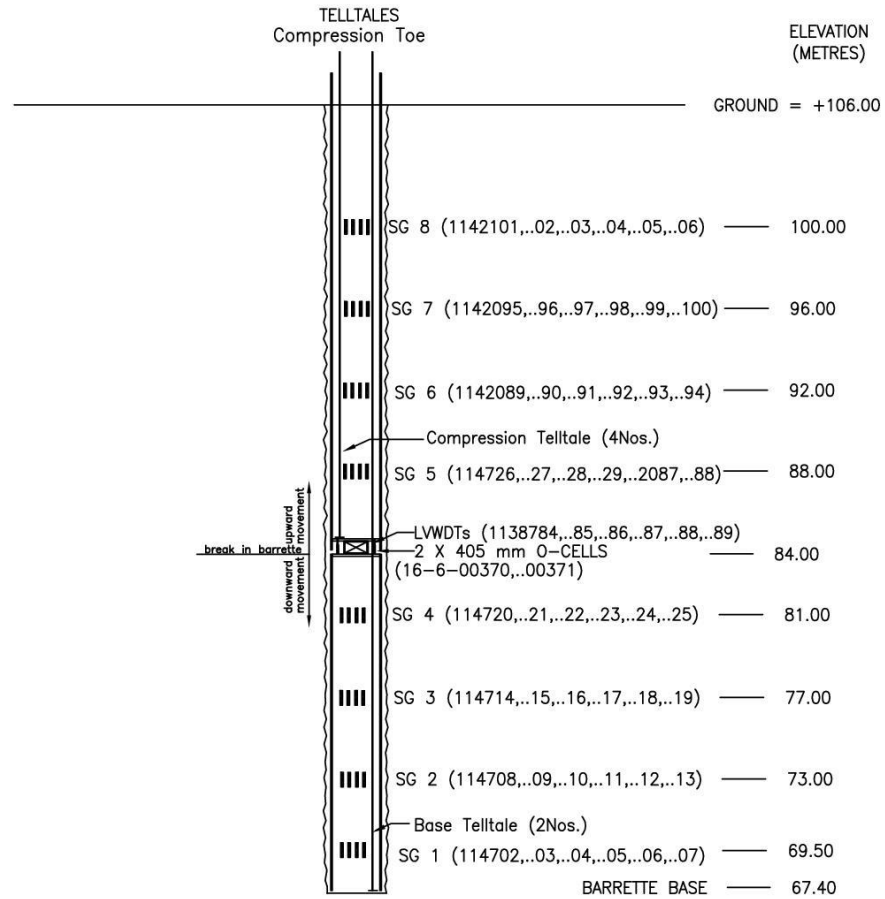
DEEP FOUNDATION TESTING, EQUIPMENT & SERVICES • SPECIALIZING IN OSTERBERG CELL **O-cell**® TECHNOLOGY
"O-cell" is a registered Trademark ®



TABLE B
SUMMARY OF DIMENSIONS, ELEVATIONS & BARRETTE PROPERTIES

Barrette:		
Nominal barrette length	=	3000 mm
Nominal barrette width	=	1000 mm
O-cells: 16-6-00370, 16-6-00371	=	405 mm
Length of barrette zone above break at base of O-cells	=	22.00 m
Length of barrette zone below break at base of O-cells	=	16.60 m
Skin friction area above O-cell base	=	176.0 m ²
Skin friction area below O-cell base	=	132.8 m ²
Barrette base area	=	3.0 m ²
Bouyant weight of barrette above base of O-cells	=	0.9 MN
Estimated barrette stiffness, AE (EL +106.00 m to +67.40 m)	=	96400 MN
Elevation of top of barrette concrete	=	+106.00 m
Design Cut-off Elevation	=	+106.00 m
Elevation of water table (Assumed elevation of natural water table)	=	+106.00 m
Elevation of base of O-cell assembly (The break between upward and downward movement)	=	+84.00 m
Elevation of barrette toe	=	+67.40 m
Telltale Sections:		
Elevation of top of telltale used for upper barrette compression	=	+106.00 m
Elevation of bottom of telltale used for upper barrette compression	=	+84.35 m
Elevation of top of telltale used for barrette toe movement	=	+106.00 m
Elevation of bottom of telltale used for barrette toe movement	=	+67.40 m
Strain Gauges:		
Elevation of Strain Gauge Level 8	=	+100.00 m
Elevation of Strain Gauge Level 7	=	+96.00 m
Elevation of Strain Gauge Level 6	=	+92.00 m
Elevation of Strain Gauge Level 5	=	+88.00 m
Elevation of Strain Gauge Level 4	=	+81.00 m
Elevation of Strain Gauge Level 3	=	+77.00 m
Elevation of Strain Gauge Level 2	=	+73.00 m
Elevation of Strain Gauge Level 1	=	+69.50 m
Miscellaneous:		
Top plate dimensions (50 mm thick)	=	712 X 2712 mm
Bottom plate dimensions (50 mm thick)	=	712 X 2712 mm
Rebar size (48 No.)	=	T 32
Secondary steel size	=	T 12
Assumed 17 day unconfined compressive concrete strength	=	48.0 MPa
Assumed concrete unit weight	=	2322 kg/m ³

Barrette Dimension 3000mm x 1000mm



Revision	Date	Comment
----------	------	---------



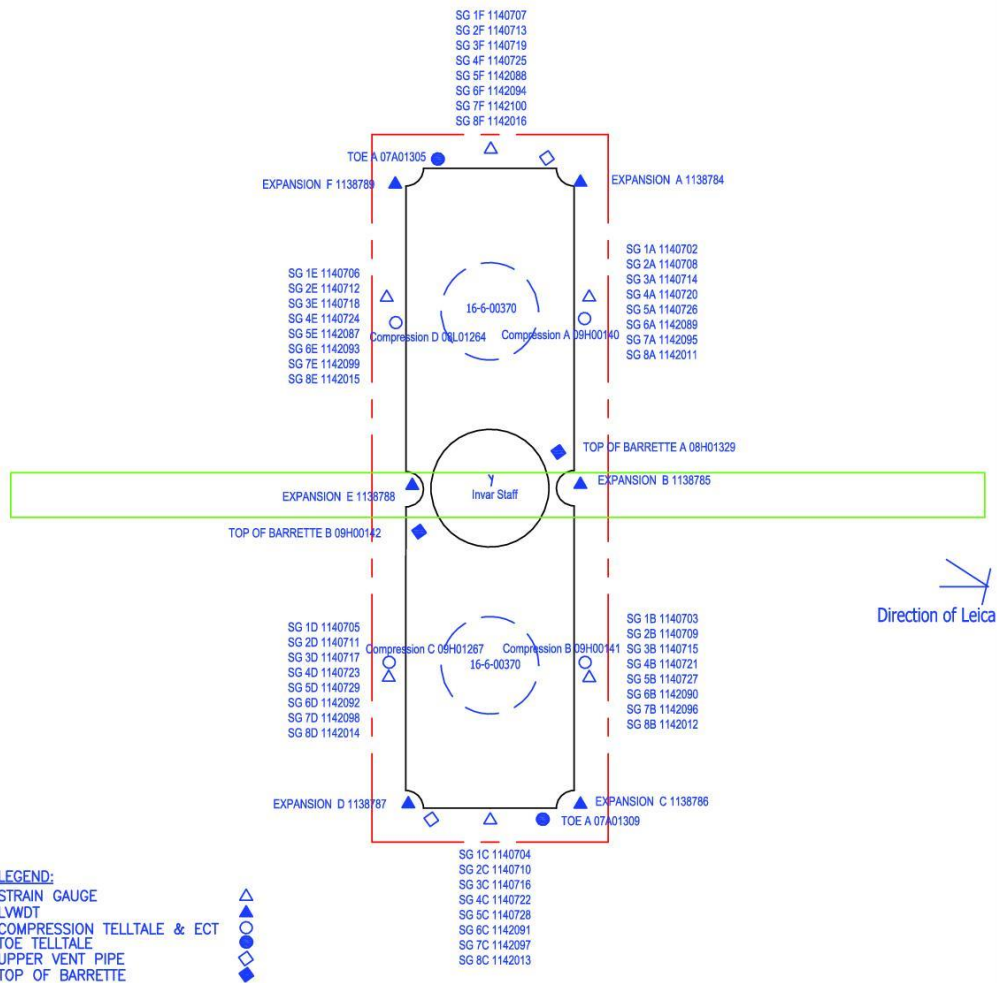
A member of the Fugro group of companies with offices throughout the world.

Florida
London
Singapore
Korea
UAE

AS BUILT SCHEMATIC SECTION OF TEST BARRETTE Izmit, Turkey

DWN BY: PFC	DATE: 05 Mar 2012	CHECKED BY:	FLT 20034
REVISED BY:		SCALE: NTS	FIGURE A

Cross section sketch Barrette (2xØ405mm O-Cells)



LEGEND:
 STRAIN GAUGE
 LVWDT
 COMPRESSION TELLTALE & ECT
 TOE TELLTALE
 UPPER VENT PIPE
 TOP OF BARRETTE



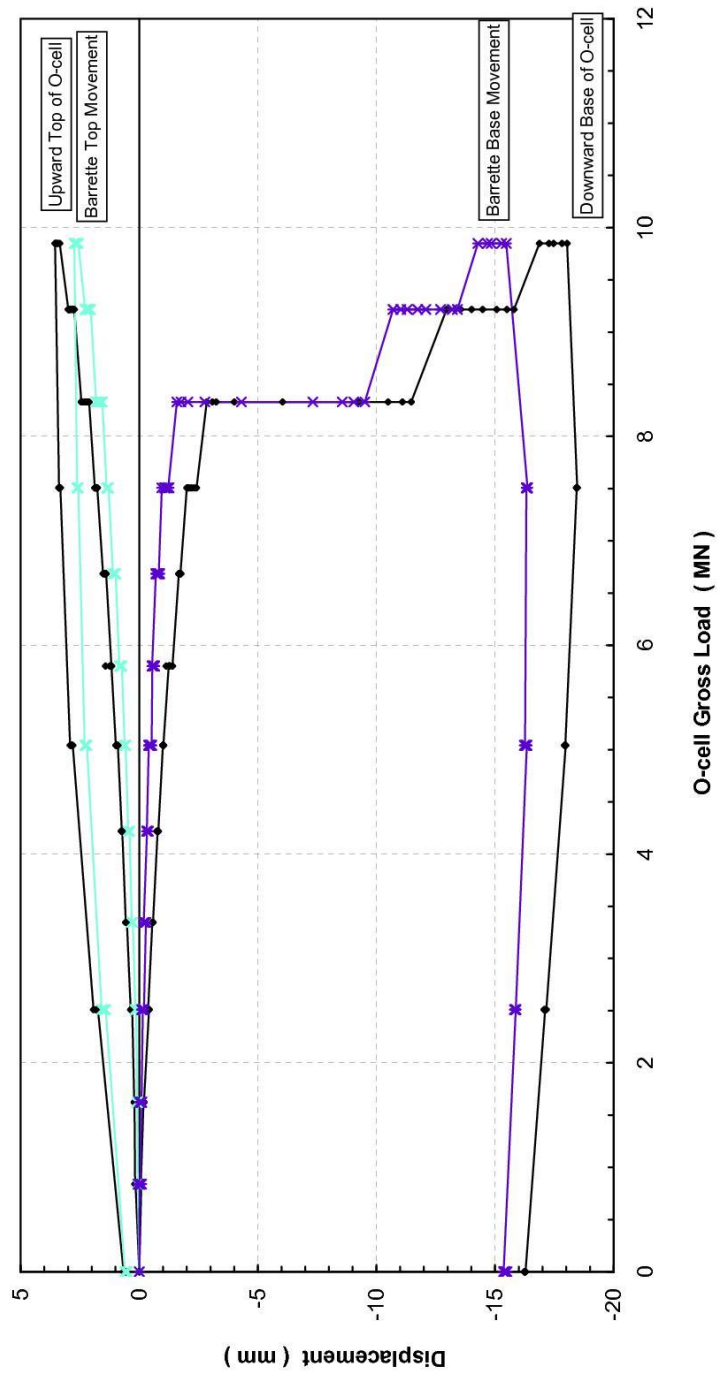
TEST CABIN

Revision	Date	Comment	
			
A member of the Fugro group of companies with offices throughout the world.		Florida London Singapore Korea UAE	AS BUILT SCHEMATIC SECTION OF TEST BARRETTE Izmit, Turkey
		DWN BY: PFC	DATE: 05 Mar 2012
		REVISD BY:	DATE:
		CHECKED BY:	FLT-20034
		SCALE: NTS	FIGURE A



Osterberg Cell Load-Displacement

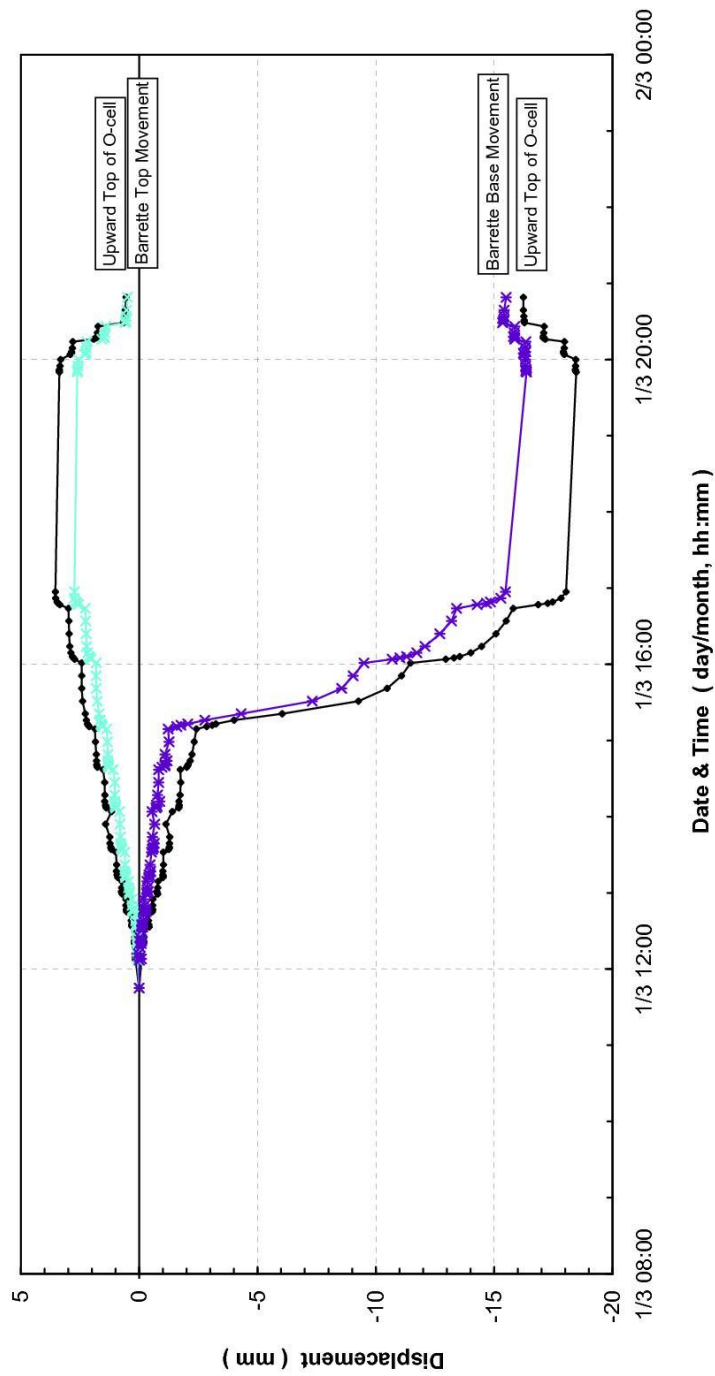
PB1 - Coker Unit, The Refinery - Izmit, Turkey





Time-Osterberg Cell Displacement

PB1 - Coker Unit, The Refinery - Izmit, Turkey

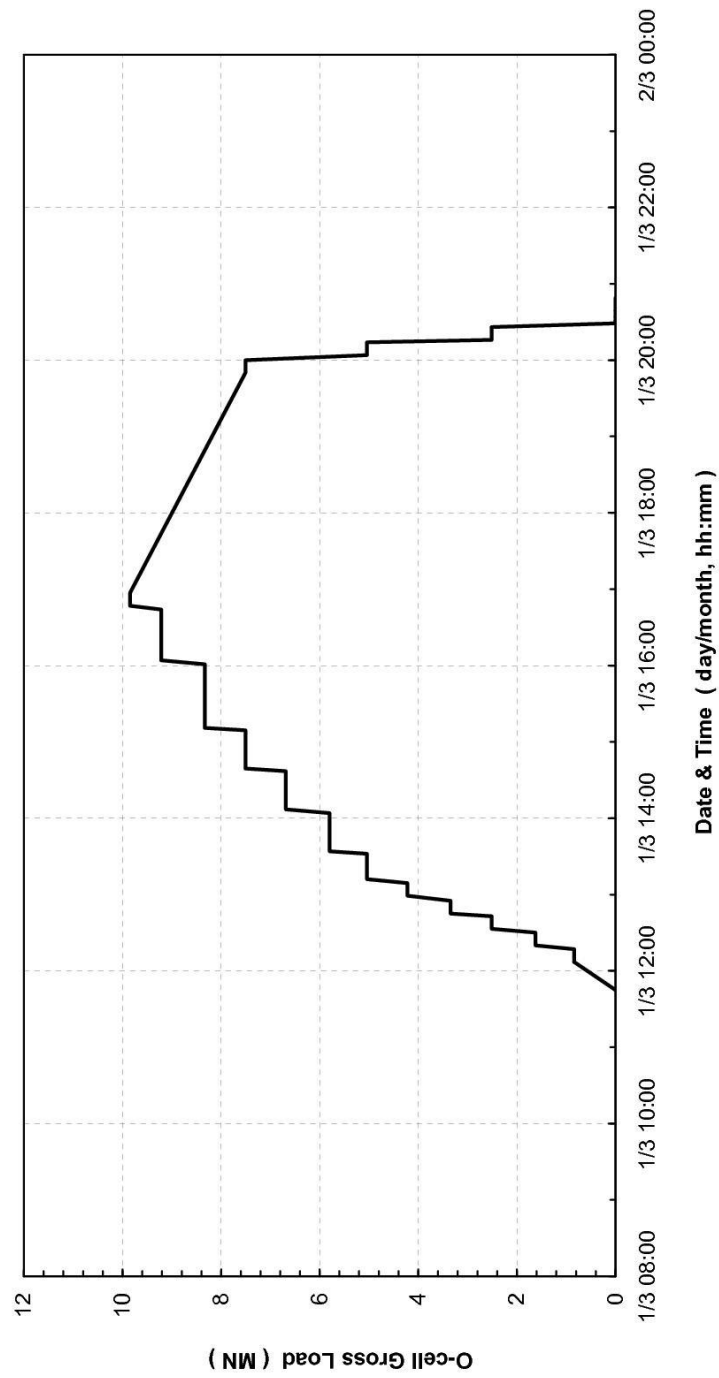


Fugro Loadtest Ltd. Project No. FLT20034

Figure 2 of 9



Time-Osterberg Cell Load
PB1 - Coker Unit, The Refinery - Izmit, Turkey





Strain Gauge Load Distribution **PB1 - Coker Unit, The Refinery - Izmit, Turkey**

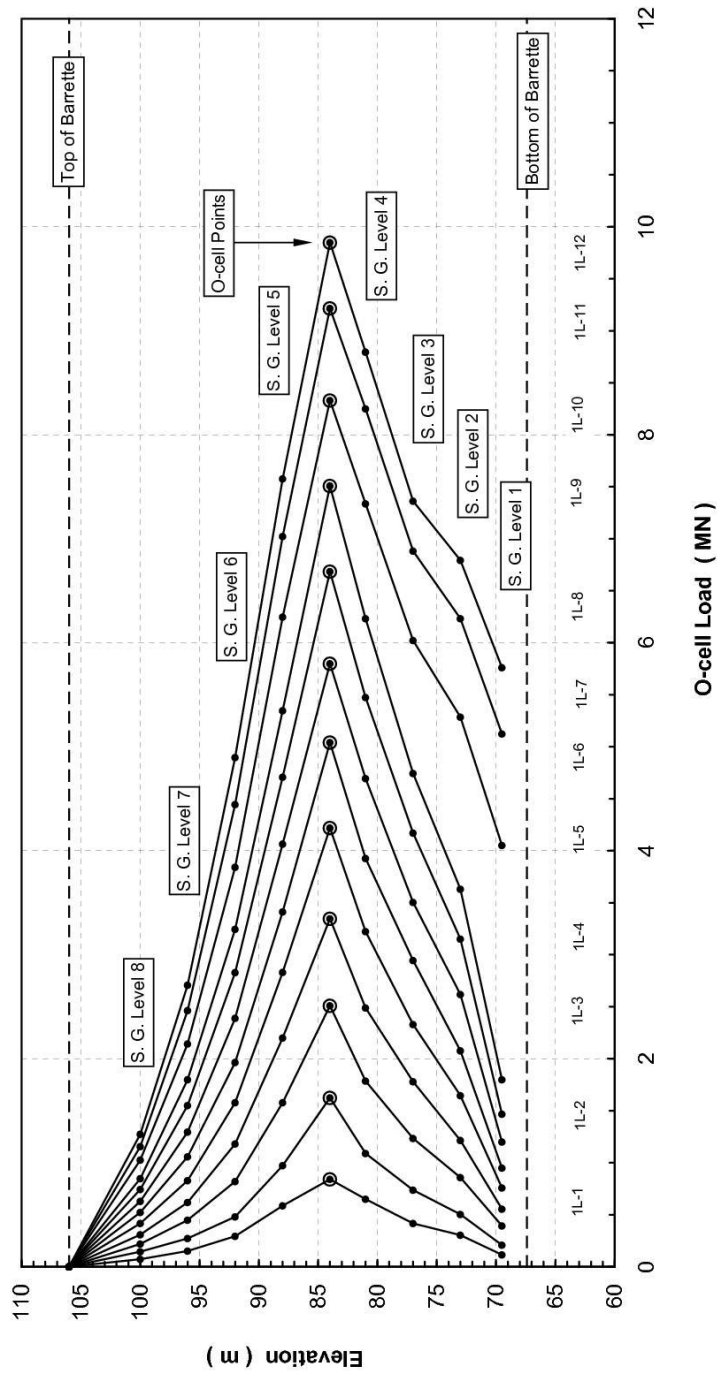
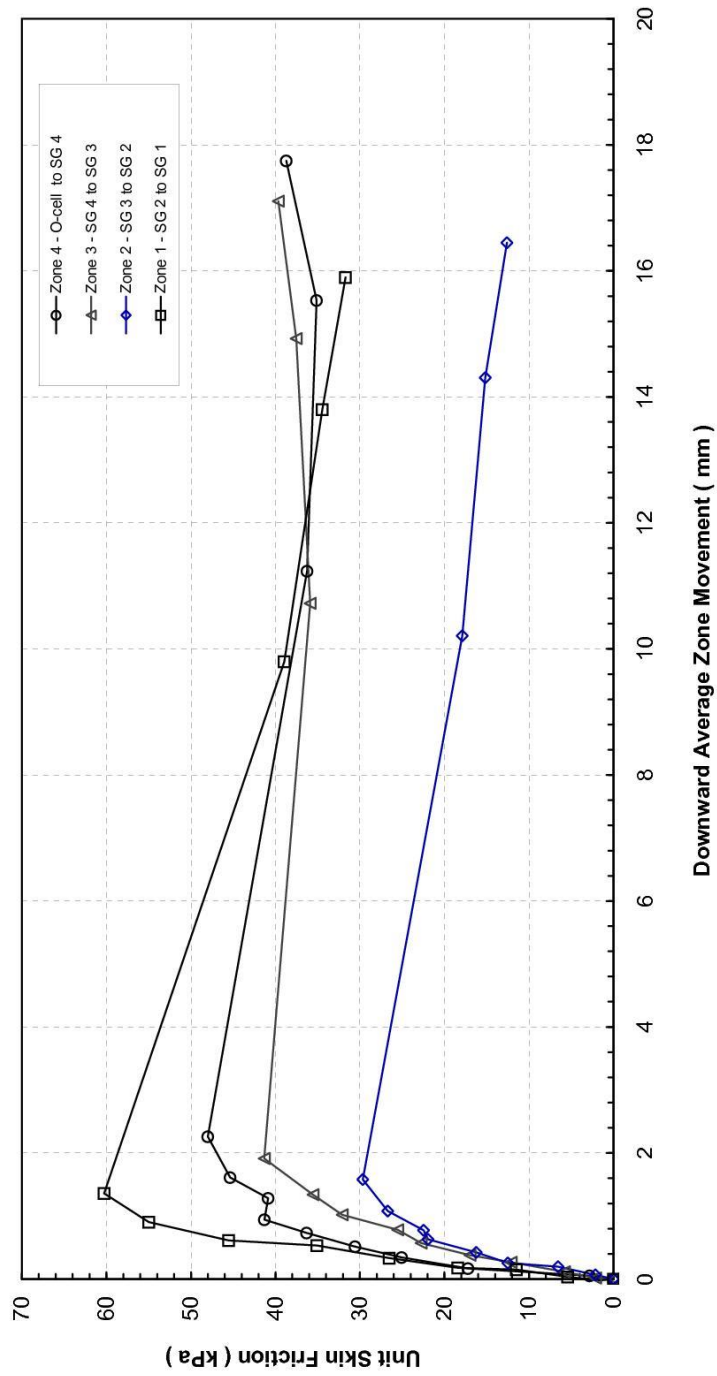


Figure 4 of 9



Mobilised Downward Unit Skin Friction

PB1 - Coker Unit, The Refinery - Izmit, Turkey





Mobilised Upward Unit Skin Friction **PB1 - Coker Unit, The Refinery - Izmit, Turkey**

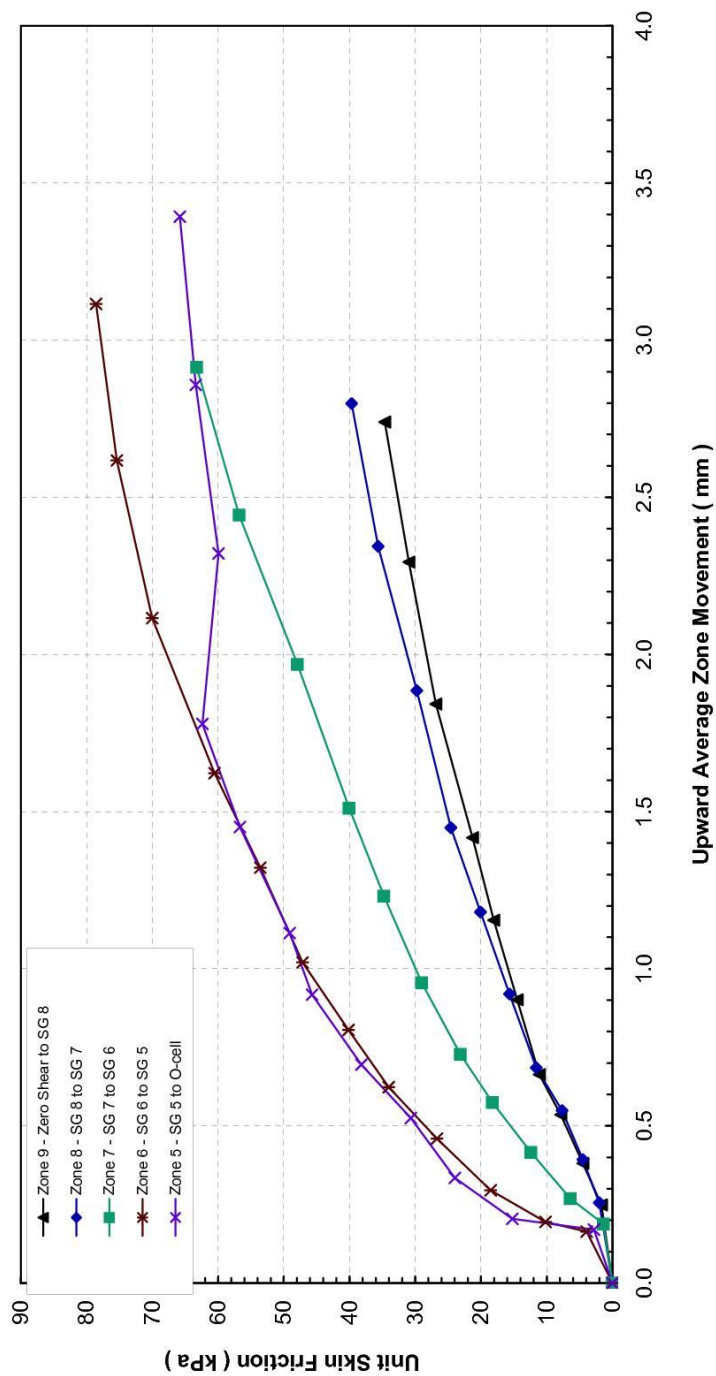


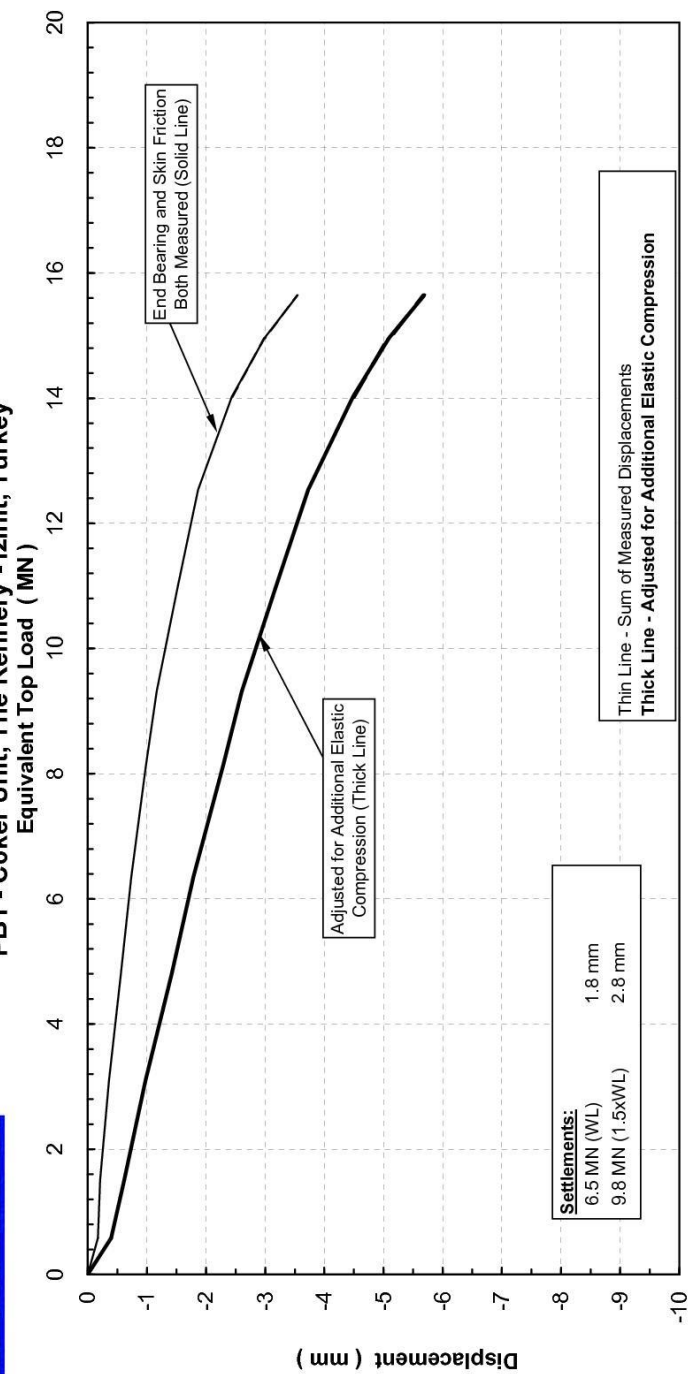
Figure 6 of 9

Fugro Loadtest Ltd. Project No. FLT20034



Estimated Top Load-Displacement

PB1 - Coker Unit, The Refinery - Izmit, Turkey

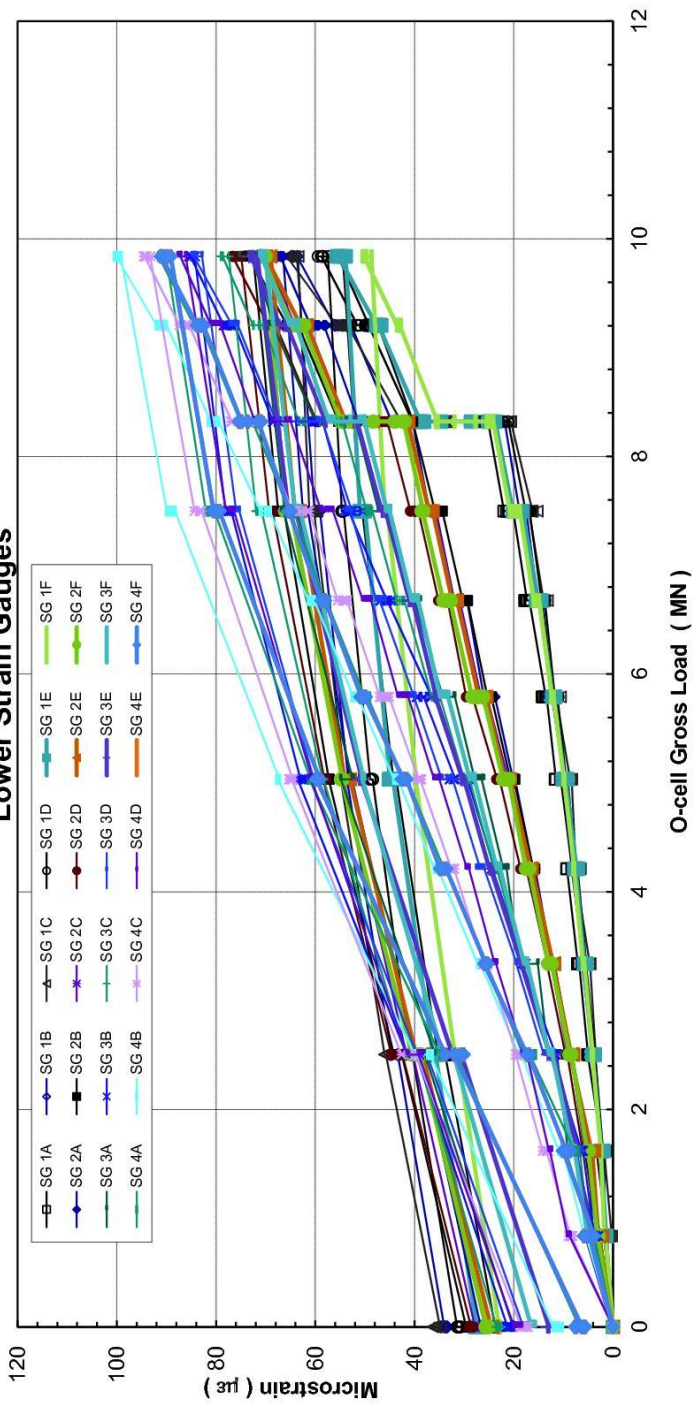




Strain Gauge Microstrain vs. O-cell Load

PB1 - Coker Unit, The Refinery - Izmit, Turkey

Lower Strain Gauges

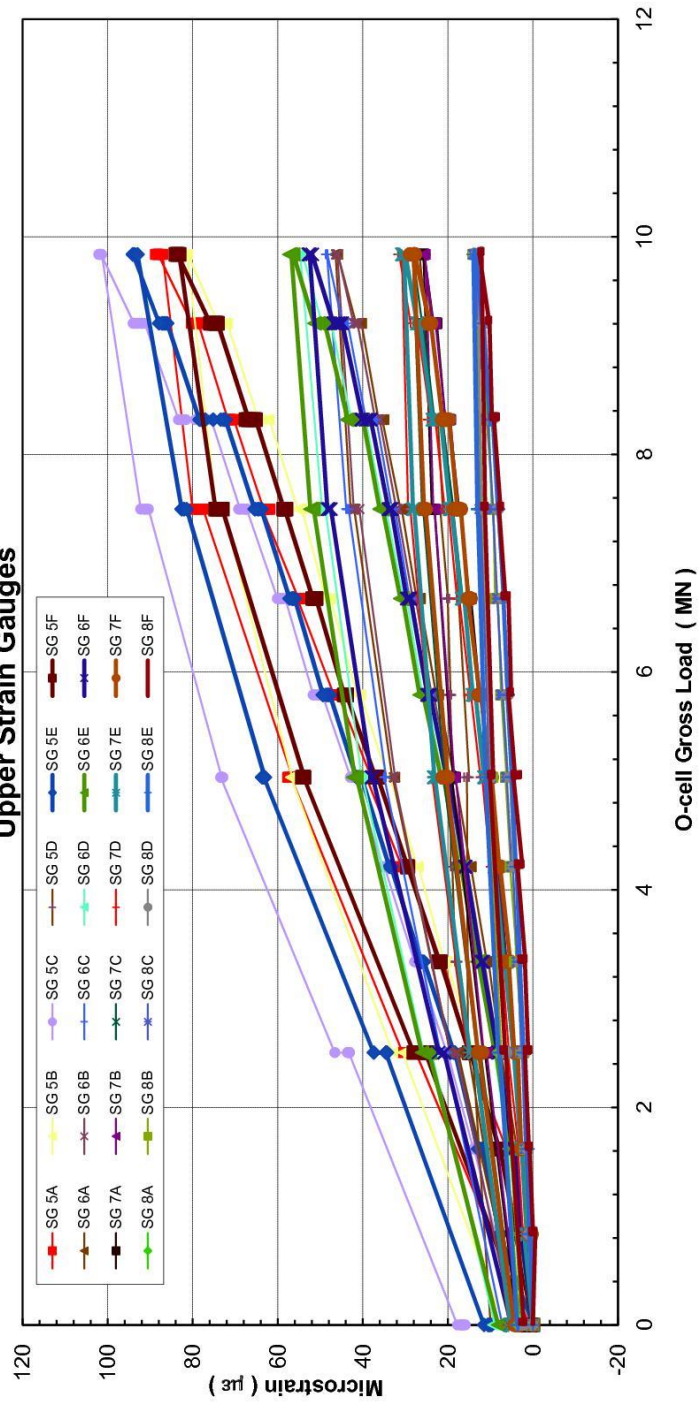




Strain Gauge Microstrain vs. O-cell Load

PB1 - Coker Unit, The Refinery - Izmit, Turkey

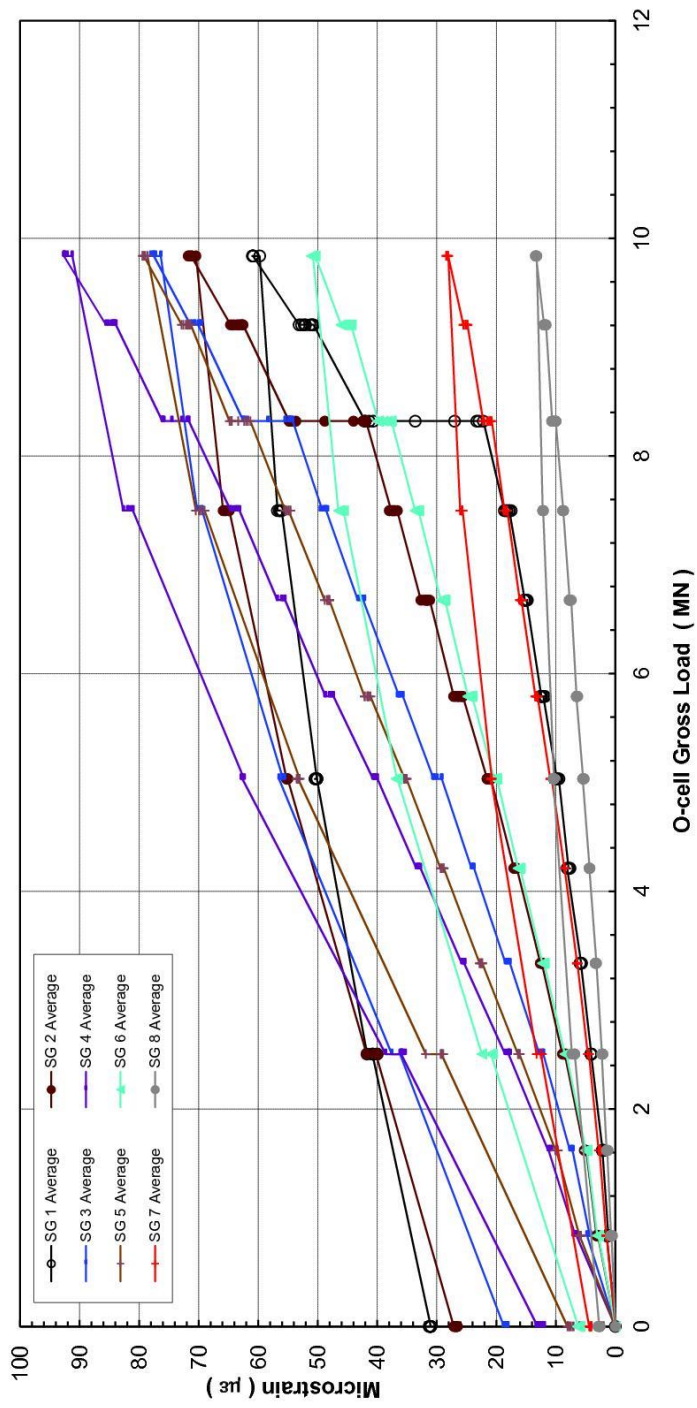
Upper Strain Gauges





Average Strain Gauge Microstrain vs. O-cell Load

PB1 - Coker Unit, The Refinery - Izmit, Turkey



ÖZGEÇMİŞ



Ad-Soyad: Hakan KÖPÜKLÜ

Doğum Tarihi ve Yeri: ESKİŞEHİR / 1989

Adres: Santral Cad. No:36 D:23 Kağıthane / İSTANBUL

E-posta: hakankopuklu@gmail.com

Lisans: Ege Üniversitesi, 2011