

# KİL ZEMİNLERİN DAVRANIŞLARININ CPT DENEYİ İLE MODELLENMESİ HAKKINDA VAKA ANALİZİ

## A CASE STUDY ON MODELLING THE CLAY BEHAVIOR BASED ON CPT

H. Turan Durgunoğlu<sup>(1)</sup>  
H. Fatih Kulaç<sup>(2)</sup>  
Selim İkiz<sup>(2)</sup>  
Turhan Karadayılar<sup>(2)</sup>  
Canan Öge<sup>(2)</sup>

### ÖZET

*Halihazırda inşaatı devam etmekte olan Borçelik Gemlik Soğuk Hadde Fabrikası'nda gerçekleştirilen CPT deneyleri ile erratic zemin yapısının ve özellikle temeller bakımından önemli olan kil tabaka'larının belirlenmesine ait arazi ve ofis çalışmaları bu makalede sunulmuştur. Gerçekleştirilen konik penetrometre CPT ve piezocone CPTU deneyleri ile kil zeminlerin mukavemet, boşluk suyu, permabilite ve arazide uygulanan taş kolon uygulaması bakımından geoteknik özellikleri tartışılmış ve uygulamadan alınan gerçek örnekler sunulmuştur.*

### ABSTRACT

*This paper presents the site and office study related to the determination of the erratic subsoil layers; especially the clay layers presenting major problems interms of the foundations by CPT's performed in Borçelik Cold Rolling Mill Factory, presently under construction in Gemlik/Turkey. The geotechnical properties of the clay layers, such as strength, pore water, permeability and response to stone column application are discussed based on factual conventional cone penetration CPT and piezocone CPTU tests.*

## **1. GİRİŞ**

BORÇELİK Çelik San. ve Tic. A.Ş.'ne ait Soğuk Hadde Fabrikası, ASKON İnşaat ve Tic. A.Ş. tarafından inşa edilmektedir. Taş kolonların yapım teknik şartnamesi [6], uygulamadaki teknik müşavirlik ve fabrika/makina temelleri kazıklı temel uygulama projeleri ZETAŞ Zemin Teknolojisi A.Ş. tarafından gerçekleştirilmiştir. Fabrika alanının, deprem ve zemin araştırmaları sivilaşma potansiyeline sahip bölgeler olduğunu göstermiştir [1,2,3,5]. Bu amaçla, doğal zemin kotundan itibaren 12.0m derinliğe kadar olan zemin tabakalarının taş kolonlar ile islah edilmesi projelendirilmiştir. Ayrıca tesis dahilindeki yüksek stok sahası yüklerini taşımak ve oturmaları azaltmak için de bazı bölgelerde sağlam (taşıyıcı) zemine kadar taş kolon uygulaması gerçekleştirilmiştir. Üst yapı yüklerinin yüksek olması ve zayıf/sıkışabilir zemin tabakalarının mevcudiyeti nedeniyle fabrika binası ve makine temelleri 50, 60 cm çaplarında vibrex ve 80, 120 cm çaplarında fore kazıklara taşınmıştır. Tesisin genel yerleşim planı ve taş kolon uygulanan bölgeler Şekil 1'de gösterilmiştir. Zeminin sivilaşma potansiyeli, düşük kayma mukavemeti ve yüksek sıkışma özelliğine karşı uygulanan, taş kolonlar ve kazıklı temellerin projelendirilmesinde ve proje kriterlerinin tahkikinde, sondaj, jeofizik, laboratuvar deneyleri, CPT ve piezocone CPTU statik penetrasyon deneyleri, yeraltı suyu gözlemleri, oturma plakaları, bölge yükleme deneyleri ve kazık yükleme deneylerinden oluşan geniş kapsamlı bir etüd ve aletsel gözlem programı gerçekleştirilmiştir. Tüm bu etüd ve aletsel gözleme sonucunda son derece erratic ve olumsuz zemin koşullarında uygun mühendislik çözümleri gerçekleştirilmiştir. Bu makale kapsamında sadece CPT deneyleri ve bu deneylerin kil tabakalarının geoteknik özellikleri bakımından yorumlanmasına ait örnekler sunulmuştur.

## **2. ZEMİN KOŞULLARI VE TESİSİN BÖLGELENDİRİLMESİ**

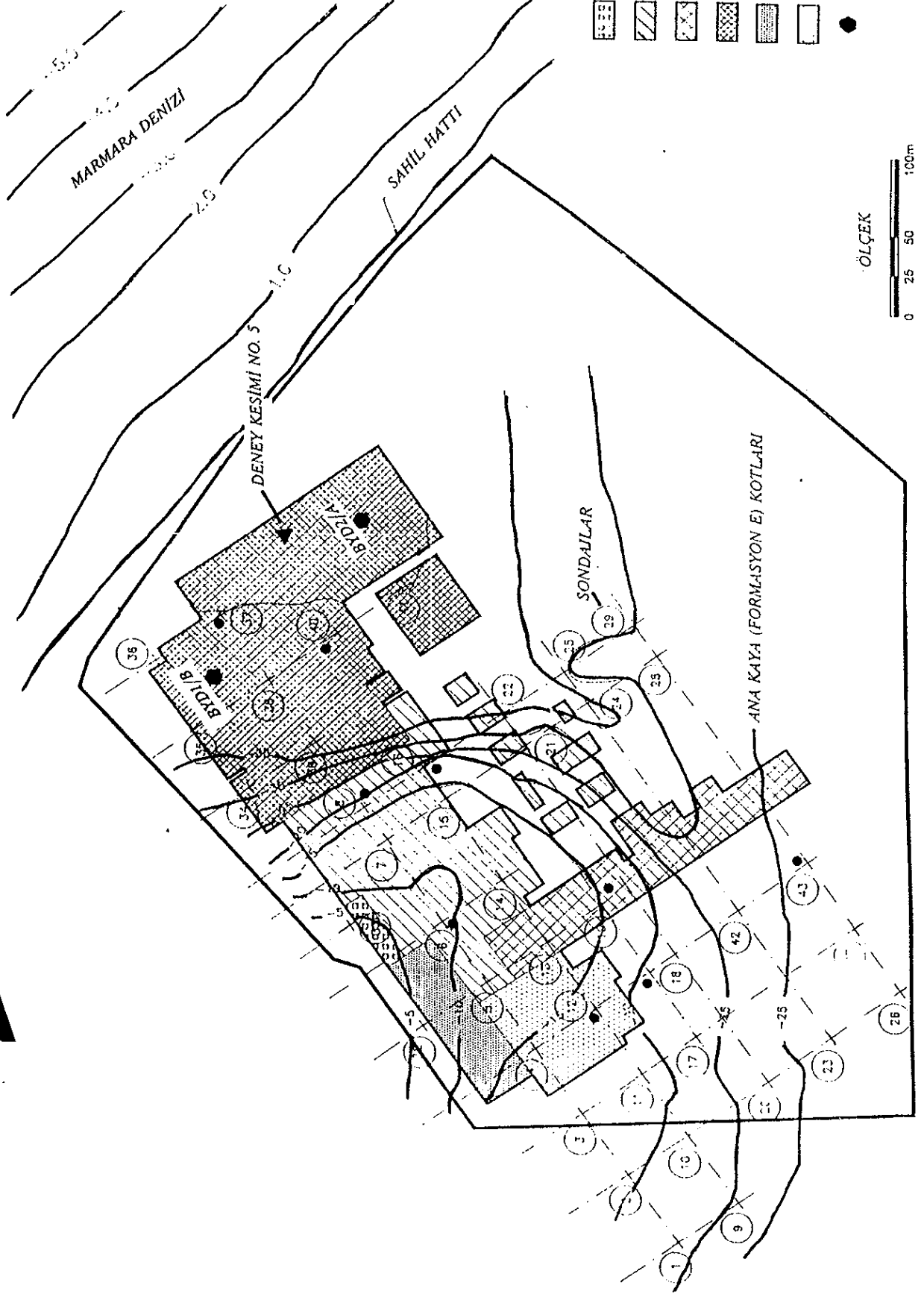
Tesis konumunda, yukarıdan aşağıya doğru rastlanan zemin tabakaları aşağıda özellenmiştir [1,2,3,5].

- \* Formasyon A : 4.0m derinliğe kadar rastlanan, kumlu siltli aşırı konsolide kil, kuzey kısımda kalınlığı 6.0m-7.0m'ye varmaktadır.

(1) Prof. Dr., İnşaat Mühendisliği Bölümü Boğaziçi Üniversitesi, Bebek, İstanbul

(2) İnşaat Yüksek Mühendisi, ZETAŞ Zemin Teknolojisi A.Ş., İstanbul

ŞEKİL 1 - BORÇELİK GEMLİK SOĞUK HADDE TESİSLERİ YERLEŞİM PLANI



- \* Formasyon B : Gevşek-orta sıkı kum, yerel olarak bu formasyonun çakıl ve ince taneli ara tabakalar ile inceleme derinliğine kadar varlığı belirlenmiştir. İzafi sıklığı % 40-60 mertebesindedir.
- \* Formasyon C : Normal konsolide kil, yerel olarak sensitif ve maksimum 10.0m kalınlığındadır.
- \* Formasyon D : Aşırı konsolide yer yer çakıllı kil.
- \* Formasyon E : Yüzeyde ayrılmış ve çatlaklı fliş ana kaya.

Yukarıda belirtilen zemin tabakalarının tesis genelinde dağılımı dikkate alınarak projelendirme aşamasında dört ayrı bölge oluşturulmuştur [3]. Aşağıda tariflenen bölgelerin konumu ve ana kayanın deniz seviyesinden itibaren derinlik konturları Şekil 1'de gösterilmiştir.

- \* Bölge A : Formasyon E (ana kaya) oldukça sığdır. Tesisin batı kenarının güney kısmı.
- \* Bölge B : Formasyon E (ana kaya) genelde 10.0m'den daha derindedir, tesisin güney ve orta kısmı. Bu bölgede A ve B formasyonları hemen E formasyonun üzerinde yer alır. Yerel olarak C ve D formasyonları ara tabakalar halinde gözlenir.
- \* Bölge C : Tesisin güney-doğu kısmıdır. Formasyon E (ana kaya) üzerinde genelde aşırı konsolide D formasyonu yer alır. Bu bölümde, Formasyon C daha önceki bölgelerden daha kalındır.
- \* Bölge D : Tesisin kuzey kısmıdır. Zemin koşulları C bölgesine benzer ancak ana kaya daha derinde olup, bu bölgenin büyük bir kısmında ana kayaya rastlanmamıştır.

### **3. CPT ile ZEMİN MODELLENMESİ**

CPT ile zemin tabakalarının belirlenmesi amacıyla Robertson (1985) [4] tarafından geliştirilen ve Şekil 2'de sunulan abak kullanılmıştır. CPT deneylerinin yerinde değerlendirilmesi ve imalat işlerinin hızlandırılması amacıyla bir bilgisayar programı geliştirilmiştir. Şekil 2'deki abak ve Şekil 4'de CPT 5-1 ve CPT 5-5 için sunulan örnek bilgisayar çıktısı ile zemin modellenmesi, CPT deneyleri ile hızlı bir şekilde yapılarak taş kolon ara mesafesi, kazıklı temel boyutları vb. imalatla ilgili kararlar yerinde, zaman kaybedilmeden oluşturulmuştur.

CPT ile zemin tabakalarının belirlenmesinde CPT uç mukavemeti,  $q_c$  ve sürtünme oranı ( $F_r$ ,%) değerleri kullanılmıştır. CPT,  $q_c$  ve  $F_r$  değerlerine göre kil zeminlerin sınıflandırılması aşağıda Tablo 1'de özetlenmiştir. (bkz. Şekil 2)

Tablo 1-CPT verileri ile ( $q_c, F_r$ ) Kil Zeminlerin Sınıflandırılması

Bölge (Şekil 2)	$F_r$ (%)	$q_c$ (bar)	Tanım
1	0.0-2.5	0-10	Sensitif ince daneli (kil)
2	0.0-8.0	0-5	Organik malzeme
3	2.0-8.0	5-55	Kil
4	1.5-4.5	5-55	Siltli-Kil
5	0.8-4.0	6-100	Killi Silt-Siltli Kil
6-12	< 3.0	> 10	Silt-Kum-Çakıl

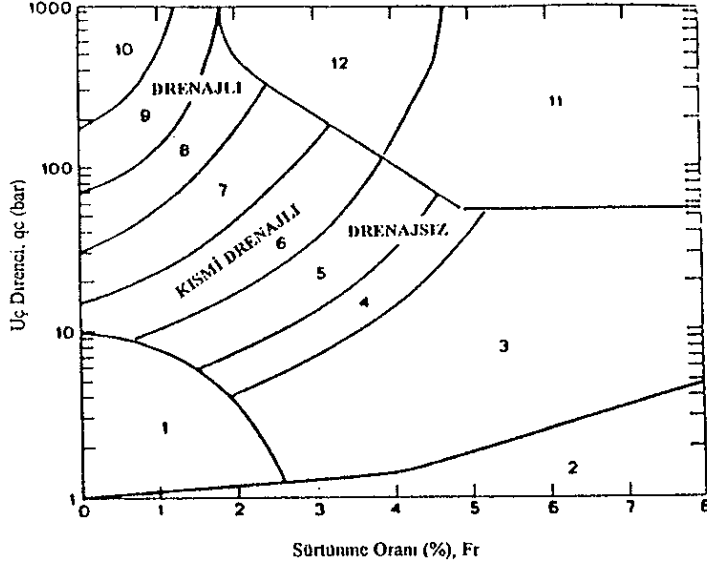
Tablo 1'den görüleceği üzere, kil boyutundan büyük zeminlerde, (silt-kum-çakıl) sürtünme oranı  $F_r$  % 3'den küçük ve uç mukavemeti de  $q_c=10$  bar (1 MPa)'dan yüksektir. Sadece sensitif killerde  $F_r$  % 3'den küçük olmaktadır; ancak genelde kil zeminlerde  $F_r$  % 3'den büyüktür.

### **4. DENEY KESİMİ No.5 CPT DENEYLERİ/ZEMİN SINIFLANDIRMASI**

Deney kesimi no. 5'in konumu Şekil 1'de gösterilmiştir. Bu deney kesiminde taş kolon uygulaması öncesinde biri elektrikli olmak üzere iki adet ve taş kolon imalatından sonra ise ikisi elektrikli olmak üzere dört adet CPT deneyi Şekil 2'de gösterilen konfigürasyonda gerçekleştirilmiştir. Bu CPT deneylerinden CPT5-5 (islah sonrası) ve CPT5-1'e (islah öncesi) karşılaştırma bu makalede sunulmuştur. Yapım esnasında tüm islah öncesi ve sonrası CPT deneyleri aynı şekilde karşılaştırılmıştır.

Şekil 4'de CPT5-5'e ait uç mukavemeti, çeper sürtünmesi ve sürtünme oranı grafikleri ve CPT5-1/CPT5-5 karşılaştırma grafiği sunulmuştur. Bu grafiklere ait değerlendirmeler aşağıda verilmiştir [7].

ŞEKİL 2 - CPT İLE ZEMİN MODELLEMESİ (Robertson, 1985)

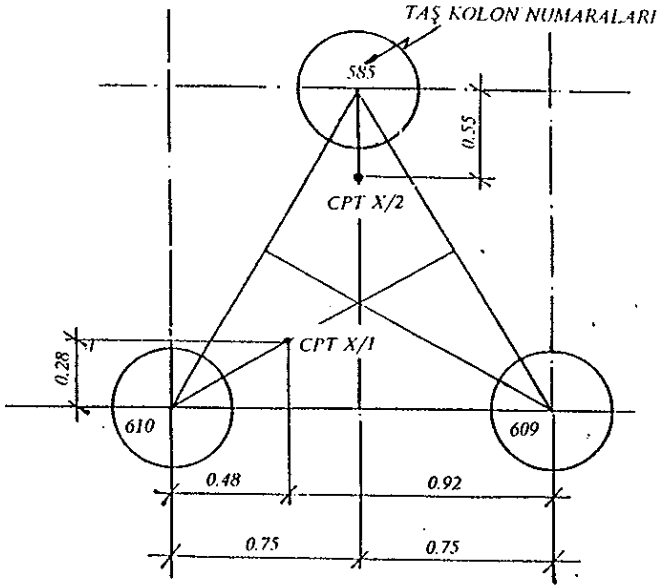


Bölge	qc/N	Zemin Davranış Tipi
1	2.0	Sensitif ince taneli
2	1.0	Organik malzeme
3	1.0	Kil
4	1.5	Siltli kilden kile
5	2.0	Kıllı siltten siltli kile
6	2.5	Kumlu siltten kıllı silte
7	3.0	Siltli kumdan kumlu silte
8	4.0	Kumdan siltli kuma
9	5.0	Kum
10	6.0	Çakıllı kumdan kuma
11	1.0	Çok katı ince taneli *
12	2.0	Kumdan kıllı kuma *

(\*) Aşırı konsolide veya çimentolanmış

ŞEKİL 3 - DENEY KESİMLERİ CPT KONFIGÜRASYONU

TAŞ KOLON UYGULAMASI ÖNCESİ  
YAPILAN CPT DENEYLERİ

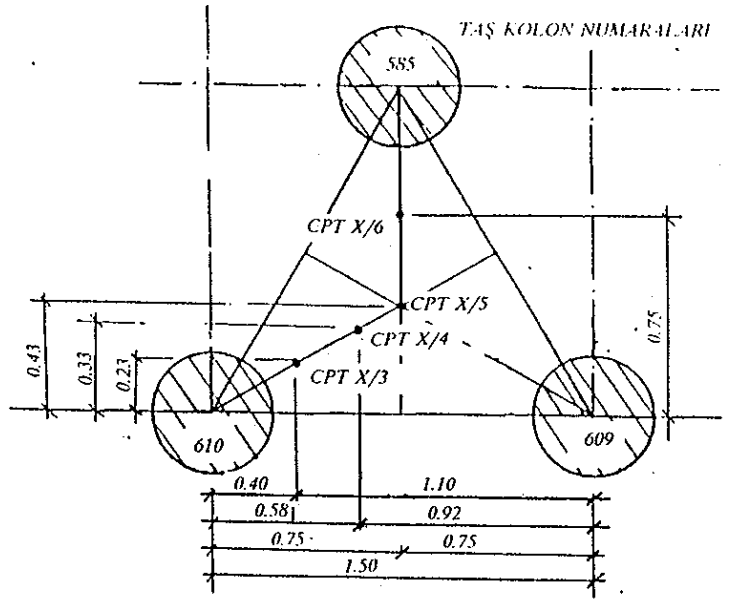


X : DENEY KESİMİ NUMARASI

CPT X/1 : MEKANİK VE 30.0m BOYUNDADIR.  
CPT X/2 : ELEKTRİKLİ VE 20.0m BOYUNDADIR.

NOT : ÖLÇÜLER METRE CİNSİNDENDİR.

TAŞ KOLON UYGULAMASI ÖNCESİ  
YAPILAN CPT DENEYLERİ



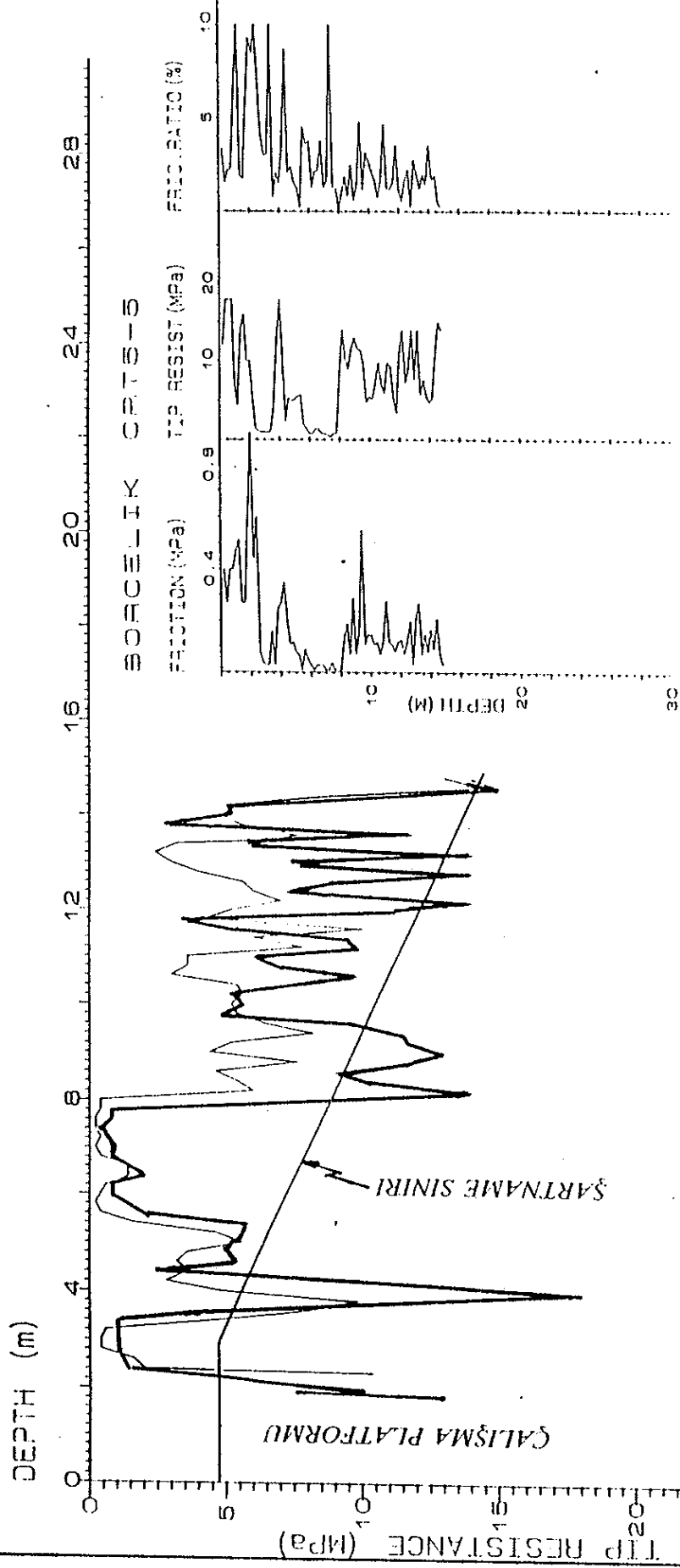
X : DENEY KESİMİ NUMARASI

CPT X/3, X/4 : MEKANİK VE 20.0m BOYUNDADIR.  
CPT X/5 : MEKANİK VE 30.0m BOYUNDADIR.  
CPT X/6 : ELEKTRİKLİ VE 20.0m BOYUNDADIR.

ŞEKİL 4 - DENEY KESİMİ ŞİDE CPT DENEYLERİ CPT 5/1 VE CPT 5/5



BORCELİK CPT5-1 / CPT5-5 KARŞILAŞTIRILMASI



SÜRTÜNME ORANI, FR < 0.3 İÇİN  
İSLAH DEREJESİ .... % 73

İSLAH ÖNCESİ — İSLAH SONRASI —

- Üstteki ~2.0m kalınlığında çalışma platformu altında ~2.0m-3.0m ve ~5.0m-8.0m arasında sürtünme oranı  $FR > \% 3$  olan killi zemin tabakalarında islah öncesi ve sonrası CPT uç mukavemeti değerlerinde belirgin bir fark olmamaktadır. Başka bir deyişle,  $FR > \% 3$  olan killi tabakalarda taş kolon uygulaması mukavemeti artırmamaktadır. Hassas (sensitif) kil tabakalarında taş kolon uygulaması sonrasında CPT uç mukavemetinin azaldığı da başka deney kesimlerinde gözlenmiştir.
- $FR < \% 3$  olan ve 3.0m-5.0m ve 8.0m-15.0m arasında bulunan kum-silt tabakalarında ise taş kolon uygulaması sonrasında ölçülen CPT uç mukavemetleri, islah öncesi CPT uç mukavemetlerinden ortalama % 73 daha yüksektir. Kil oranı artan ve dolayısıyla ölçülen sürtünme oranı % 3 civarında veya bir miktar daha yüksek olan ara tabakalar haricinde şartnamede öngörülen ve derinlikle artan sınırlı CPT uç mukavemeti şartının genelde sağlandığı görülmektedir.

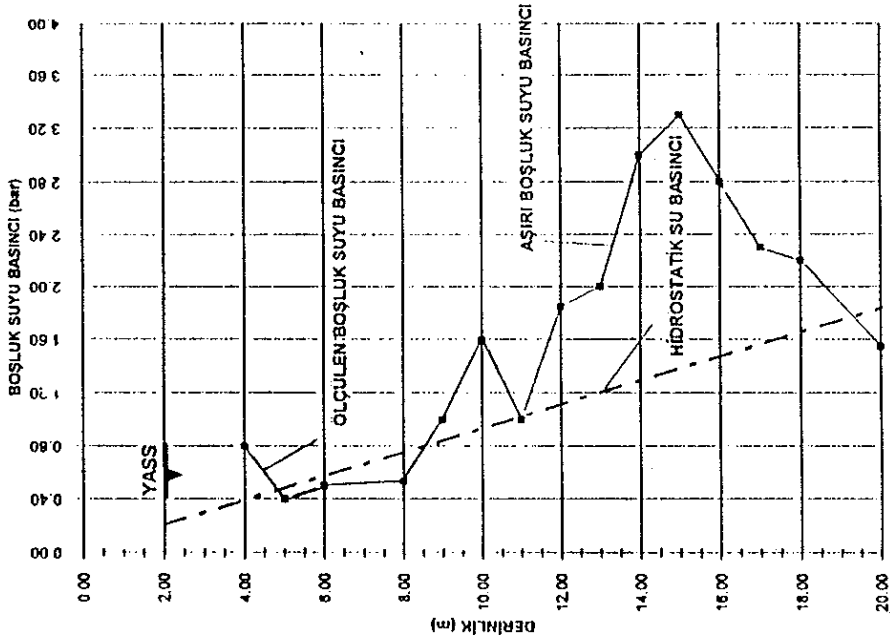
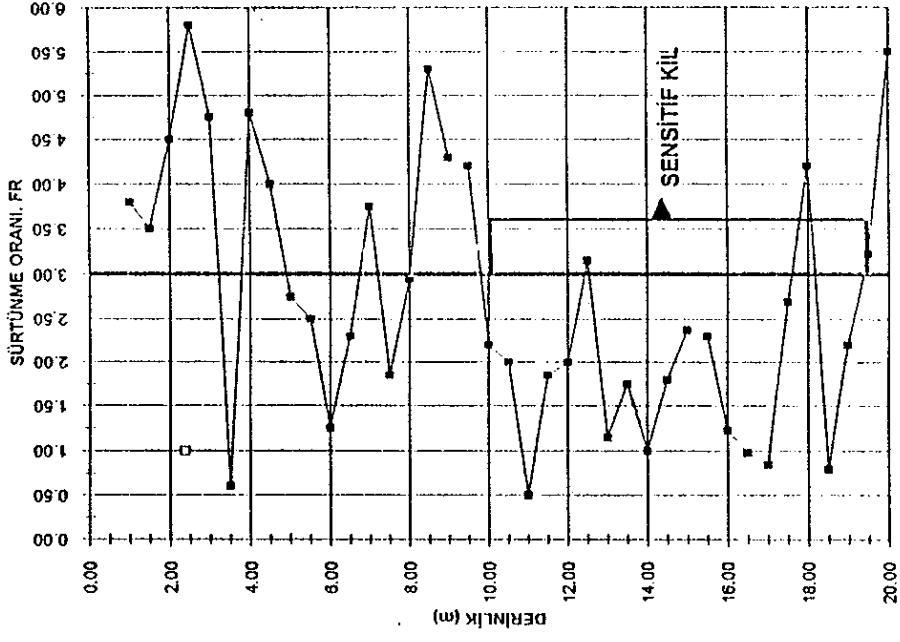
## **5. DENEY KESİMİ NO.8'DE CPTU DENEYLERİ/KİL BOŞLUK SUYU BASINCI**

Taş kolon oluşturulması için yapılan deney kesimlerinde, taş kolon uygulaması sonrasında ve belirli süreler beklendikten sonra yapılan CPT deneylerinde ölçülen CPT uç mukavemetinin arttığı gözlenmiştir. Bu durumun, çakım esnasında oluşan boşluk suyu basıncının zamanla sönümlenmesinden kaynaklandığı tahmin edilerek piezocone kullanılarak aynı zamanda boşluk suyu basıncı değerleri de ölçülmüş ve gerçekten zaman ile ölçülen boşluk suyu basıncı hidrostatik değere doğru azalırken CPT uç mukavemetinin arttığı gözlenmiştir. Bu durumu tahkik etmek amacıyla CPT 8.4 (C bölgesi) piezocone deneyi ile elde edilen sürtünme oranı ve boşluk suyu basıncı değerlerinin derinlikle değişimi Şekil 5'de sunulmuştur. Şekil 5'de düşük sürtünme oranı ve yüksek boşluk suyu basıncı ölçülen 10.0 m-19.0 m seviyeleri arasında yumuşak sensitif kil olduğunu göstermektedir. Bu seviye haricinde ise ölçülen boşluk suyu basıncı beklenen hidrostatik basınca yakın olup, CPT 8.4 deneyi esnasında aşırı boşluk suyu basıncı olmadığı anlaşılmaktadır. Bu deney sayesinde 10.0-19.0 m arasındaki kil zeminin ve aşırı boşluk suyu basıncının kesin olarak tanımlanması ve diğer seviyelerde ölçülen CPT uç mukavemetinin islah sonrası sönümlenmiş boşluk suyu basıncı durumunu, yani nihai durumu yansıttığını belirlemek mümkün olmuştur.

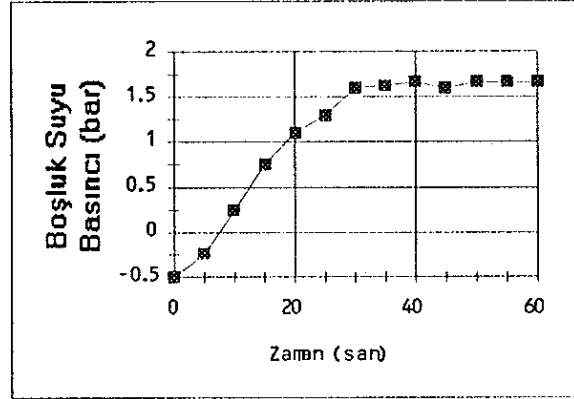
Boşluk suyu basıncının CPTU deneyi ile ölçülmesinde, her ölçüm noktasında, piezocone yeterli süre durdurularak PPD (Pore Pressure Decay) modunda yeterli süre beklenerek, piezokon etrafında ilerleme esnasında oluşan boşluk suyu basıncının sönümlenmesi beklenmiş ve bu şekilde CPT ucunun ilerlemesinden etkilenmeden, gerçek boşluk suyu basıncının belirlenmesi mümkün olmuştur. Özellikle, Formasyon A olarak tariflenen aşırı konsolide kilde CPTU esnasında ölçülen negatif boşluk suyu basıncı değerlerinin nedeninin araştırılması esnasında, bu bekleme süresinin önemli olduğu, aksi takdirde yanlış neticeler elde edilebileceği gözlenmiştir. Bu şekilde Formasyon A içinde alınan bir PPD kaydı Şekil 6'da sunulmuştur. Benzer kayıtlar ve boşluk suyu basıncının zamanla değişimi grafikleri ile zeminin yatay konsolidasyon katsayısı elde edilerek [4] ilgili analizde kullanılmıştır. Bu nedenle, taş kolon uygulaması sonrasında nihai islah derecesinin çakım sonrası oluşan boşluk suyu basınçlarının sönümlenmesi için belirli bir süre beklendikten sonra yapılan CPTU deneyleri ile ölçülmesinin uygun olacağı belirlenmiştir.

## **6. ÖZET VE SONUÇLAR**

Borçelik Gemlik Soğuk Hadde Fabrikası dahilinde gerçekleştirilen CPT ve CPTU deneylerine ait gerçek arazi verileri ve bu verilerin özellikle kil zemin tabakalarının geoteknik özellikleri bakımından yorumlanması bu makalede verilmiştir. CPT ve CPTU deneylerinin eratik zemin koşullarında kil ara seviyelerin hassas olarak belirlenmesinde etkin olarak kullanılabilmesi gösterilmiştir. 5 no'lu deney kesimi CPT deneylerinin zemin sınıflandırması ve taş kolonla islahın tahkik edilmesi amacıyla kullanımına örnek olarak sunulmuştur. 8 no'lu deney kesimi ise piezocone ile boşluk suyu basıncı ölçümü ve zemin permeabilite özelliklerinin belirlenmesine örnek olarak verilmiştir.



Şekil 5 - C Bölgesinde (CPT6.4) boşluk suyu basıncı ve sürtünme oranının derinlikle değişimi



Şekil 6 - Formasyon A içinde alınan PPD kaydı

#### TEŞEKKÜR

Sözkomusu uygulamanın teknik şartnamesi, kalite kontrol sisteminin oluşturulması, kazıklı temel uygulama projeleri ve geoteknik danışmanlığı Müteahhit ASKON A.Ş. bünyesinde ZETAŞ Zemin Teknolojisi A.Ş. tarafından gerçekleştirilmiştir. Tüm proje çalışmaları boyunca devamlı koordinasyon ve işbirliğini gerçekleştiren, özellikle böyle bir uygulamada önerilen arazi deneylerinin gerçekleşmesini temin eden İşveren BORÇELİK Çelik San. ve Tic. A.Ş. ve Müteahhit ASKON İnşaat ve Tic. A.Ş. merkez ve şantiye grubu idari ve teknik elemanlarına ve taş kolon uygulamasını gerçekleştiren taşaron firma MENSÖY ltd'in şantiye teknik elemanlarına teşekkür ederiz.

#### KAYNAKLAR

- [1] Ansal, A., "Geotechnical Report for Evaluation of Seismicity and Liquefaction Potential for Borçelik Cold Mill Plant Site in Gemlik", İstanbul.
- [2] D'Appolonia, 1990a Letter Report "Geotechnical Site Evaluation, Cold Rolling Mill, Gemlik, Turkey", Genoa.
- [3] D'Appolonia, 1990 Report "Recommendations for Foundation Design, Cold Rolling Mill, Gemlik, Turkey", Genoa.
- [4] Robertson, P.K. & Campanella, R.G., 1988, "Guidelines for Geotechnical Design Using CPT and CPTU Data ", University of British Columbia, Canada.
- [5] Sağlamcı, A., 1990, "Geotechnical Report, Gemlik Cold Rolling Mill Establishment, Borçelik A.Ş.", İstanbul.
- [6] ZETAŞ Zemin Teknolojisi A.Ş., 1991, "Borçelik Çelik San. ve Tic. A.Ş. Gemlik Tesisleri Zemin İslah İşleri Teknik Şartnamesi", İstanbul.
- [7] ZETAŞ Zemin Teknolojisi A.Ş., 1991, "Borçelik Gemlik Soğuk Hadde Tesisleri Taş Kolon Zemin İslah İşleri Arazi Etüd # 8'e Ait Rapor", İstanbul.
- [8] ZETAŞ Zemin Teknolojisi A.Ş., 1992, "Bölge Yükleme Deneyleri BYD1/B ve BYD2/A'nın Değerlendirilmesi, Öneriler ve Cephe Kolonları Temellerinin Boyutlandırılması", İstanbul.
- [9] ZETAŞ Zemin Teknolojisi A.Ş., 1992, "Borçelik Gemlik Soğuk Hadde Tesisleri Cold Reversing Mill Temeli Uygulama Projesi Hesapları", İstanbul.