

## TEMEL MÜHENDİSLİĞİ TASARIMINDA CPT KULLANIMI\*

Dr. H.Turan Durgunoğlu<sup>1</sup>, Canan Öge<sup>2</sup>, C. Güney Olgun<sup>3</sup>, Gülçin Tezel<sup>4</sup>

## ÖZET

Ülkemizde ilk uygulama alanını bulduğu yıllardan itibaren Konik Penetrasyon Deneyinin (CPT) temel mühendisliği uygulamalarında kullanımı artmaktadır. Bu makalede genel anlamda deney aleti tanımlanmış, çalışma prensibi açıklanmış ve deney sonuçlarından zemin parametrelerinin belirlenme yöntemleri verilmiştir. Deney metodunun temel mühendisliği problemlerinde karşılaşılan sorunların çözümüne ve tasarıma yönelik çeşitli uygulamaları ülkemizdeki değişik projelerden vaka analizleri olarak sunulmuştur.

## 1. GİRİŞ

Konik penetrasyon deneyi (CPT) bu makalede tanımlanan birçok avantajlarından dolayı zemin etüdlerinde ve çeşitli temel mühendisliği uygulamalarında diğer ülkelerde olduğu gibi ülkemizde de ilk uygulamalarını 1970'li yıllarda bulunduğu dönemden sonra (Durgunoğlu ve Toğrol, 1975) yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. 1970'li yıllarda CPT yöntemi ay sathında zeminin geoteknik parametrelerinin belirlenmesinde de kullanılmıştır (Mitchell ve diğ., 1973). CPT konusundaki gelişmeleri içeren ülke raporu diğer 32 ülke ile birlikte İsveç'te Ekim 1995'te yapılan CPT'95 konferansında sunulmuştur (Durgunoğlu ve Toğrol, 1995). Bu raporda da görüleceği gibi ilk ülke raporunun hazırlanmasından itibaren geçen yirmi sene zarfında CPT deneyi ekipman imkanları ve uygulanabilirlik yönünden oldukça büyük bir gelişim göstermiştir. Bir örnek olmak üzere yalnız 1996 yılını kapsayan bir yıllık bir dönemde Zetaş Zemin Teknolojisi A.Ş. tarafından 16 ayrı projede CPT kullanılmıştır (bkz. Tablo 1)

Deneyin hızlı ve ekonomik olarak gerçekleştirilmesi mevcut etüd programında süratli ve belirli bir bütçe ile çok sayıda sondalama yapılmasını mümkün kılmakta ve bu sayede gerek planda ve gerekse derinlikle süreksizlik ve değışkenlik gösterebilen zemin şartları için gerçekçi bir geoteknik model oluşturulabilmektedir. Bu makalede başlangıçta CPT deneyine ait çeşitli ekipmanların kısa bir tanıtımı ve mukayesesi yapılmaktadır. Bilahare CPT ile zemin tanımlanması ve sınıflandırması yöntemleri ile çeşitli zemin verilerinin CPT ölçüleri ile ilişkileri sunulmaktadır. Temel mühendisliğinin çeşitli uygulamalarına örnek olmak üzere CPT uygulamalarına örnek olmak üzere CPT kullanımı birçok vaka analizleri şeklinde sunulmaktadır.

\* 'Akdeniz Zemin '96, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Seminerleri, 28-30 Kasım 1996, Akdeniz Üniversitesi, Antalya' için hazırlanmıştır.

<sup>1</sup> Prof. Dr., Boğaziçi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü.

<sup>2</sup> İnş. Yük. Müh., Zetaş Zemin Teknolojisi A.Ş., İstanbul.

<sup>3</sup> Araştırma Görevlisi, Boğaziçi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü.

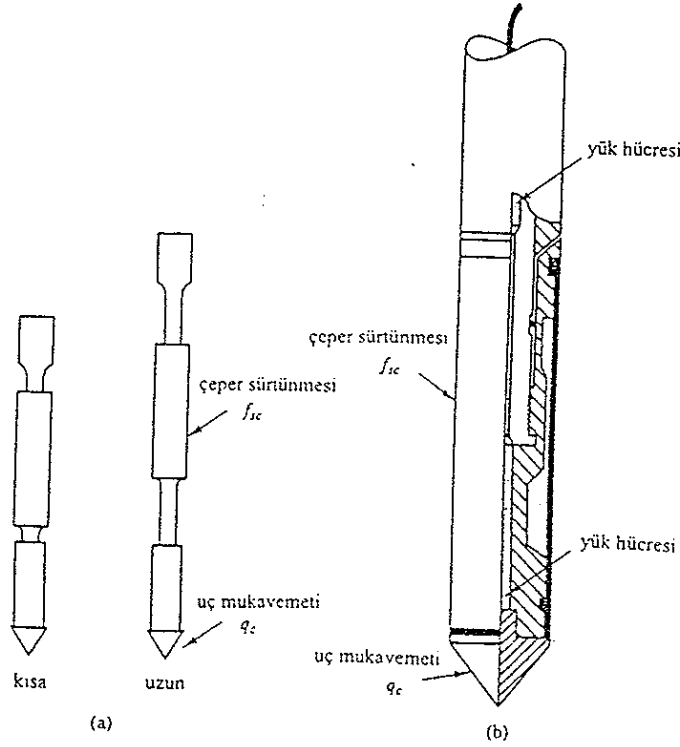
<sup>4</sup> Hidrojeoloji Müh., Zetaş Zemin Teknolojisi A.Ş., İstanbul.

Tablo 1. ZETAŞ Zemin Teknolojisi A.Ş. tarafından 1996 Yılında Gerçekleştirilen CPT Etüd ve Değerlendirmeleri

Proje no	İŞVEREN	proje/no	ADI	TARİH	Açıklamalar
1	EMLAK BANKASI	MAVİŞEHİR	Çiğli Mevcut Düzensiz Katı Atık Döküm Alanı Arazi Etüdü	10/1995	çevre mühendisliği-konut sahası
2	Yalova Elyaf	Ek Tesisler	Zemin Etüdü ve Temel Mühendisliği Değerlendirmeleri	10/1995	Temel mühendisliği
3	ASKON	Borusan	Birlik Galvaniz CPT Etüdü	12/1995	sanayi tesisi-dökümantasyon
4	Hisar Eğitim Vakfı	Kemerburgaz	İlköğretim Okulu Binası Geoteknik Değerlendirmeleri	01/1996	yüzeysel temeller-oturma
5	BAYTUR	THY	2.Bakım Hangarı Zemin Etüdü ve Temel Değerlendirmesi	03/1996	yüzeysel/kazıklı temeller-oturma
6	DEMPORT	İzmit Yeniköy	Demport İzmit Yeniköy Limanı Zemin etüdüleri	05/1996	Temel Mühendisliği
7	AYGAZ A.Ş.	AMBARLI	4000m3 Küre Tanklar Zemin ve Temel Mühendisliği Etüdü	05/1996	tank temelleri-oturma
8	MAKSAN COCA COLA	ÇORLU	Zemin Etüdü ve Temel Mühendislik Değerlendirmeleri	05/1996	yüzeysel temeller-oturma
9	HAZAMA	HONDA	Honda Gebze Otomobil Fabrikası Sıkışma Kontrolü	07/1996	dolgu sıkışma kontrolü
10	ÖZGÜR İNŞ.	ÖZEL EDİRNE KOLEJİ	Zemin Etüdü ve Temel Mühendisliği Değerlendirmeleri	07/1996	yüzeysel temeller-oturma-sıvılaşma
11	YAPI MERKEZİ	İZMİR	İzmir Hafif Raylı Sistem (Halkapınar-Hifal) Zemin Etüdü	07/1996	CPT-dökümantasyon
12	AYGAZ A.Ş.	YARIMCA	4000m3 Küre Tanklar Zemin ve Temel Mühendisliği Değerlendirmeleri	08/1996	tank temelleri-oturma
12	MİLTEN ŞİRKETLER GRUBU	YENİKÖY	Miltten Şirketler Topuluğu Yeniköy Arsası Yerleşim Amaçlı Jeolojik ve Geoteknik Etüdü	09/1996	yerleşime yönelik zemin etüdü
13	BAYTUR	YEŞİLŞEHİR	Bursa Yeşilşehir Projesi Zemin etüdü ve Temel Mühendisliği Değerlendirmeleri	09/1996	yüzeysel ve kazıklı temeller
13	KİBAR HOLDİNG	HYUNDAI	İzmit Hanıl Fabrika Sahası ve Köprü Zemin Etüdü	09/1996	yüzeysel/kazıklı temeller-oturma
14	AYGAZ A.Ş.	BURSA	500m3 Silindir Tanklar Zemin Etüdü	10/1996	tank temelleri-oturma
14	KORAY İNŞAAT	ÖMERLİ	Mevzii imar planına yönelik yerleşim amaçlı jeolojik ve geoteknik etüdü	10/1996	yerleşime yönelik zemin etüdü
15	İBKO	KÖRFEZ GEÇİŞİ- KÖPRÜ	Yaklaşım Viyadükleri Zemin Etüdü ve Temel Mühendisliği Değerlendirmeleri	11/1996	zemin etüdüleri-kazıklı temeller- sıvılaşma
15	İBKO	KÖRFEZ GEÇİŞİ- OTOYOL	İstanbul Bursa Otoyolu Körfez Geçişi Km12-48 Zemin Etüdü	11/1996	zemin etüdüleri-temeller
16	TEKSER İNŞAAT	B.O.S.B. ATIKSU	Bursa Organize Sanayi Bölgesi Atıksu Arıtma Tesisleri Zemin ve Temel Mühendisliği Etüdü	11/1996	yüzeysel/kazıklı temeller-oturma- yüzme tahkiki

Bu makalede

1. Kazıklı temel tasarımı için Emlak Bankası Mavişehir toplu konut projesi,
2. Çevre geotekniği yönünde mevcut bir katı atık sahasının rehabilitasyon projesinde modelleme için Çiğli katı atık projesi etüdüleri,
3. Zemin iyileştirme yöntemi olarak seçilen taş kolon uygulamasının optimizasyonu yönünden Borçelik soğuk hadde tesisleri projesi,
4. Kontrolsüz olarak teşkil edilmiş bir dolgunun sıkışma kontrolü için CPT yönteminin uygulanması ise Honda-Gebze fabrikası örneği ile sunulmuştur.



Şekil 1. CPT çeşitleri a) Mekanik koni (Begemann konisi) b) elektronik koni (Fugro konisi)

## 2. KONİK PENETRASYON DENEYİ (CPT) YÖNTEMİ

Konik Penetrasyon Deneyi (CPT), 10 cm<sup>2</sup> yüzey alanı ve 60 derecelik uç açısı bulunan bir koninin, zemine 2 cm/s sabit hızla statik olarak sondalanması yoluyla gerçekleştirilir. Sondalama sırasında ölçülen uç direnci ( $q_c$ ) ve çeper sürtünmesi ( $f_s$ ) değerleri kullanılarak zemin özelliklerinin derinlikle değişimi belirlenebilir. Ölçümler koni tipine göre mekanik ve elektronik olarak yapılabilmektedir. Deneyin yapılışı ile ilgili bir şartname geliştirilmiş olup deneyler Amerikan ASTM D-3441-86'ya göre yapılmaktadır. Mekanik ve elektronik koni tipleri Şekil 1'de gösterilmiştir (Roberton ve Campanella, 1988). Elektronik CPT'de ölçümler koni ucuna ve yanal sürtünme yüzeyine monte edilen yük hücreleri vasıtasıyla gerçekleştirilmekte ve sahada deney anında veriler gözlenerek deney uygulanmaktadır. Elektronik CPT'nin mekanik sistemle karşılaştırıldığında başlıca avantajı derinliğe bağlı olarak sürekli ölçüm alınabilmesi ve bu sayede zemin profilinin detaylı ve hassas bir şekilde belirlenebilmesidir. Mekanik sistemin önemli bir dezavantajı olarak uç ve çeper

sürtünmelerinin deneyin yapılış tarzı nedeni ile farklı derinliklerde ölçülmesi mecburiyeti sonucu zemin sınıflandırmasında gerekli hassasiyet elde edilememekte, özellikle yumuşak killerdeki çok düşük değerler mekanik manometreler ile gerekli hassasiyetle ölçülememektedir. Bu nedenle 1950 ve 60'lı senelerde geliştirilen mekanik modeller 70'li yıllardan itibaren yerlerini elektrikli tiplere terketmiştir.

Diğer sondaj - numune alma - laboratuvar deneylerini içeren klasik temel mühendisliği modelleme sistemleriyle karşılaştırıldığında CPT, uygulama hızı ve düzenli bilgi toplama sistemiyle öne çıkmakta ve tercih nedeni olmaktadır. Özellikle granüler zeminlerde ve aşırı konsolide killerde numune alınması sırasında oluşan zemin örselenmesinin laboratuvarında kayma mukavemetinin belirlenmesinde yarattığı sakıncalar CPT uygulamasıyla bertaraf edilmektedir. CPT'nin diğer bir avantajı ise çeşitli temel mühendisliği problemlerinin direk tasarımına olanak sağlamasıdır, örneğin granüler zeminler üzerindeki yüzeysel temel tasarımı için (Schmertmann ve diğ., 1978), kazıklı temel tasarımı için (Bustamante ve Ganeselli, 1982), sıvılaşma potansiyeli tayini için (Seed ve Idriss, 1981) önerilen metodlar ile tasarım CPT datasından direk olarak gerçekleştirilebilmektedir. Günümüzde uluslararası düzeyde yoğun olarak sürdürülen araştırmalarla konvansiyonel CPT ekipmanına takılan ek düzeneklerle boşluk suyu basıncı, zemin kayma dalgası hızı, zemin iletkenliği (kondüktivite) gibi parametreler ölçülebilmekte ve CPT'nin uygulama alanı giderek genişlemektedir.

### 3. CPT VERİLERİ KULLANILARAK ZEMİN MODELLEMESİ

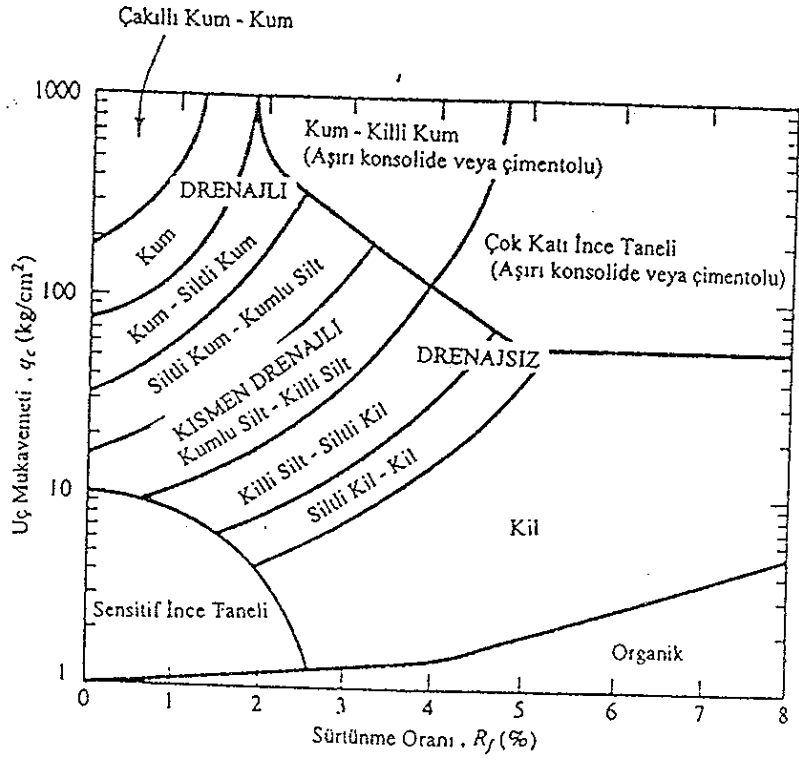
#### 3.1 CPT VE ZEMİN TANIMLAMASI

CPT uygulaması ile elde edilen veriler kullanılarak klasik temel mühendisliği tasarımında kullanılan zemin parametreleri elde edilebilir ve zemin gerçeğe çok daha yakın bir şekilde modellenebilir. Bu uygulamaya yönelik olarak, CPT verileri kullanılarak zemin sınıflandırması yapılabilir. Derinliğe bağlı olarak sürekli kayıt yapılabilmesi sebebiyle zemin tabakalanmasında gerçekleşen çok ince ardaalanmalar bile son derece hassas bir şekilde tespit edilebilir. Bu gaye ile, uç mukavemeti değeri ( $q_c$ ) ve birim çeper sürtünmesi ( $f_s$ ) değerlerinden yararlanılarak belirlenen ( $F_r = f_s/q_c$ ) sürtünme oranı ( $F_r$ ) kullanılarak Şekil 2'de görülen diyagramdan zemin cinsi belirlenebilir (Roberston ve Campanella, 1988).

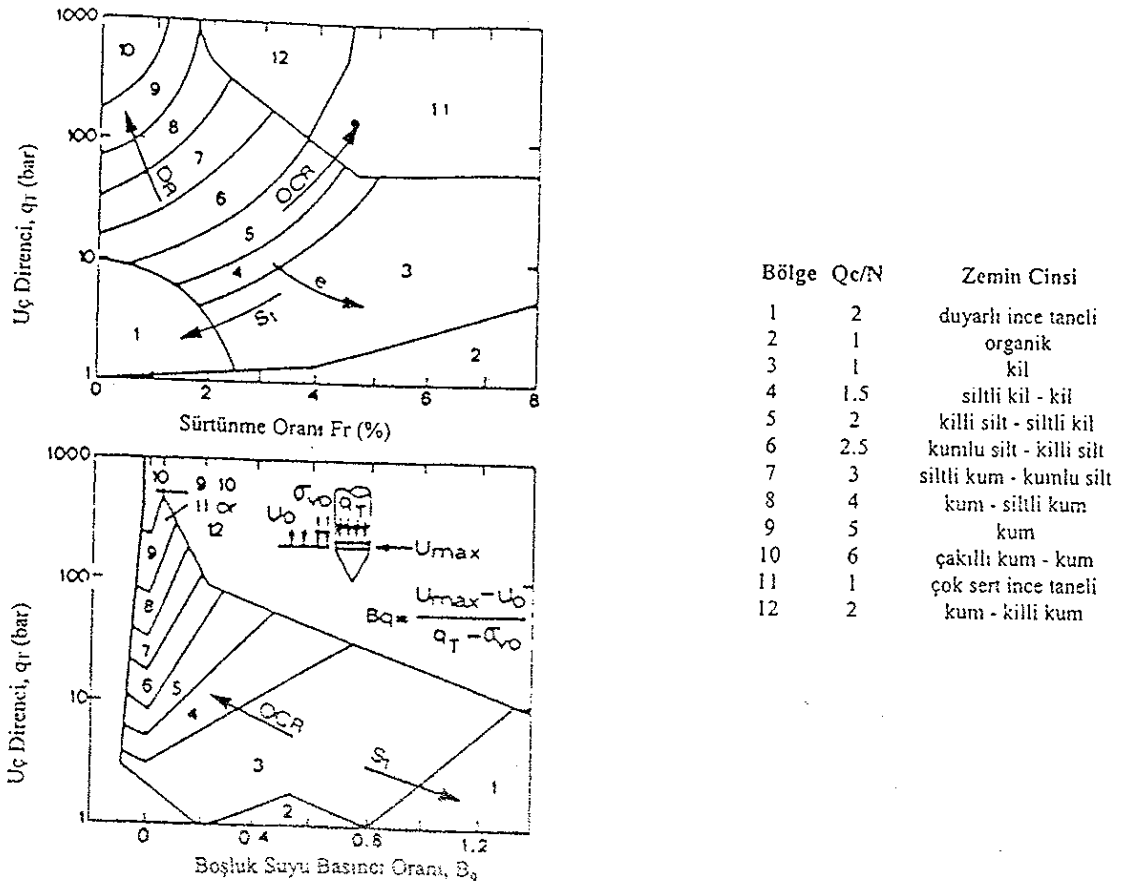
Son zamanlarda piezo elemanı kullanılarak yapılan CPTU ölçümlerinden yararlanmak suretiyle Şekil 3'te belirtildiği şekilde de zemin sınıflaması yapılabilmektedir (Roberston ve Campanella, 1988).

#### 3.2. ZEMİN PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ

Deney sonuçları kullanılarak zemin parametrelerinin belirlenmesine yönelik pek çok analitik ve ampirik yöntem geliştirilmiş olup günümüzde temel mühendisliği tasarımında yaygın olarak kullanılmakta ve bu uygulamalar çok iyi sonuçlar vermektedir. Bu yöntemlere dayalı olarak zeminin mukavemet parametreleri, hacim değiştirme özellikleri -deformasyon modülleri tespit edilebilir. Ayrıca yukarıda bahsedildiği gibi CPT düzeneğine takılan ek aparatlarla boşluk suyu basıncı, dinamik zemin parametreleri gibi



Şekil 2. CPT sonuçları kullanılarak zemin sınıflandırması (Robertson ve Campanella, 1988)



Şekil 3. CPTU sonuçları kullanılarak zemin sınıflandırması (Robertson ve Campanella, 1988)

özellikler ve zemin iletkenliği tespit edilebilir. Bu tip uygulamalara bir örnek olarak granüler zeminlerde içsel sürtünme açısının ve izafi sıklığın belirlenmesi için geliştirilen yöntemler Şekil 4 ve 5'te verilmektedir (Jamiołkowski ve diğ., 1985, Chen ve Juang, 1996).

#### 4. TEMEL MÜHENDİSLİĞİ UYGULAMALARI

##### 4.1. KAZIK KAPASİTESİ HESAPLANMASINDA CPT KULLANIMI

İzmir'de yapımı süren ve ölçeği itibariyle büyük önem teşkil eden bir proje olan Emlak Bankası Mavişehir Toplu Konutlarının temel mühendisliği tasarımına yönelik çalışmalar yürütülmüştür. Konut sahası Gediz nehrinin eski yatağı olup zemin genel itibariyle yumuşak alüvyonel birikintilerden oluşmaktadır. Düzensiz ve değişken dağılım gösteren zemin tabakalanmasının modellemek için 40 adet sondaj yapılmış ve bunlara ilaveten saha genelinde taşıyıcı tabakaya kadar 40'ın üstünde CPT uygulanmıştır. Zayıf zemin koşulları, yüksek binalardan oluşan yapısal yükler ve bölgenin sismik aktivitesi değerlendirildiğinde kazıklı temeller uygulanmasına karar verilmiştir.

##### 4.1.1. Mevcut Zemin Koşulları

Konut alanında en üstte, azami 18.0m kalınlığında olan yumuşak kil tabakası bulunmaktadır. Bu kil seviye, temeller bakımından en önemli sorunu içeren tabaka niteliğindedir. Kil seviye altında, kalınlığı değişken fakat arazinin tümünde mevcut bir kum tabakası vardır. Kum seviye altında, katı - sert nitelikte kil ve bu kil altında ise sıkı çakıl seviyeleri vardır. Kazık taşıma kapasitesi bakımından en yüksek kapasite bu iki tabakadan sağlanmaktadır. Çakım yöntemiyle gerçekleştirilecek tüm kazıkların en alttaki çakıl seviye içerisinde yeterli boy sağlayacak şekilde yapılması tasarlanmıştır. Böylece kazıklardan olası en yüksek kapasite elde edilmiş olacaktır.

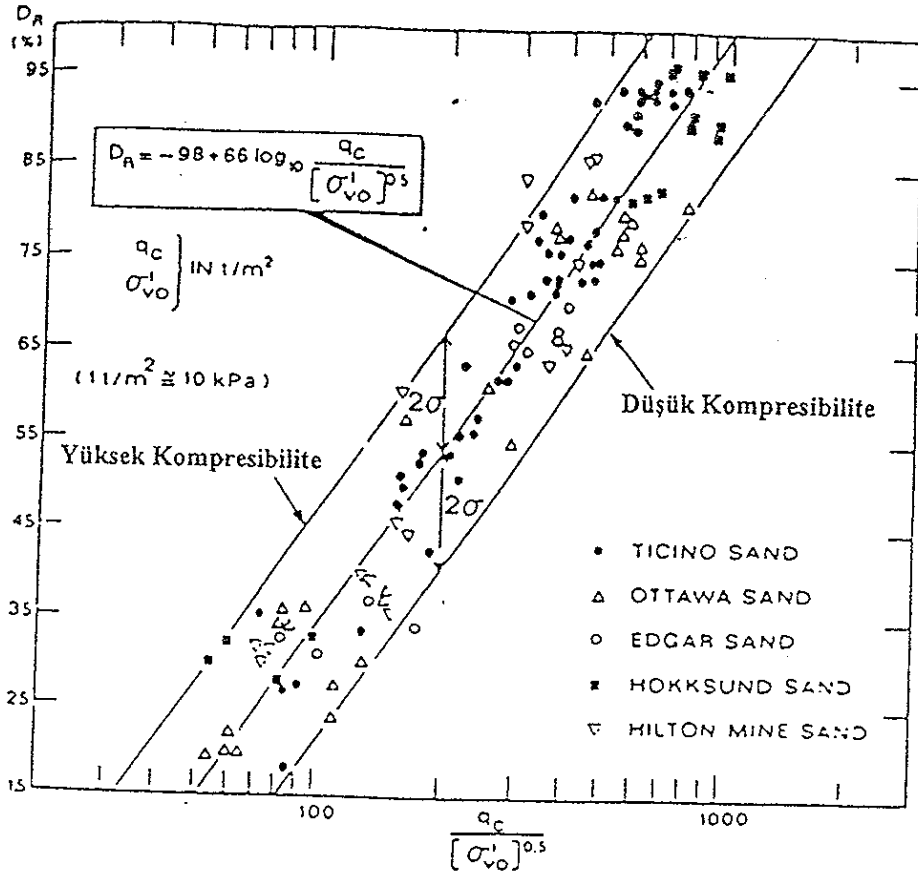
##### 4.1.2. Kazık Kapasitesi Hesapları

Mavişehir Toplu Konut projesi ikinci etap inşaatı dahilinde 22 adeti 22 katlı olmak üzere yüzü aşkın bina bulunmaktadır. Konu alanda binaların altında uygulama çabukluğu gözönüne alınarak  $\phi 65$ cm çapında vibrex kazık kullanılması uygun bulunmuştur.

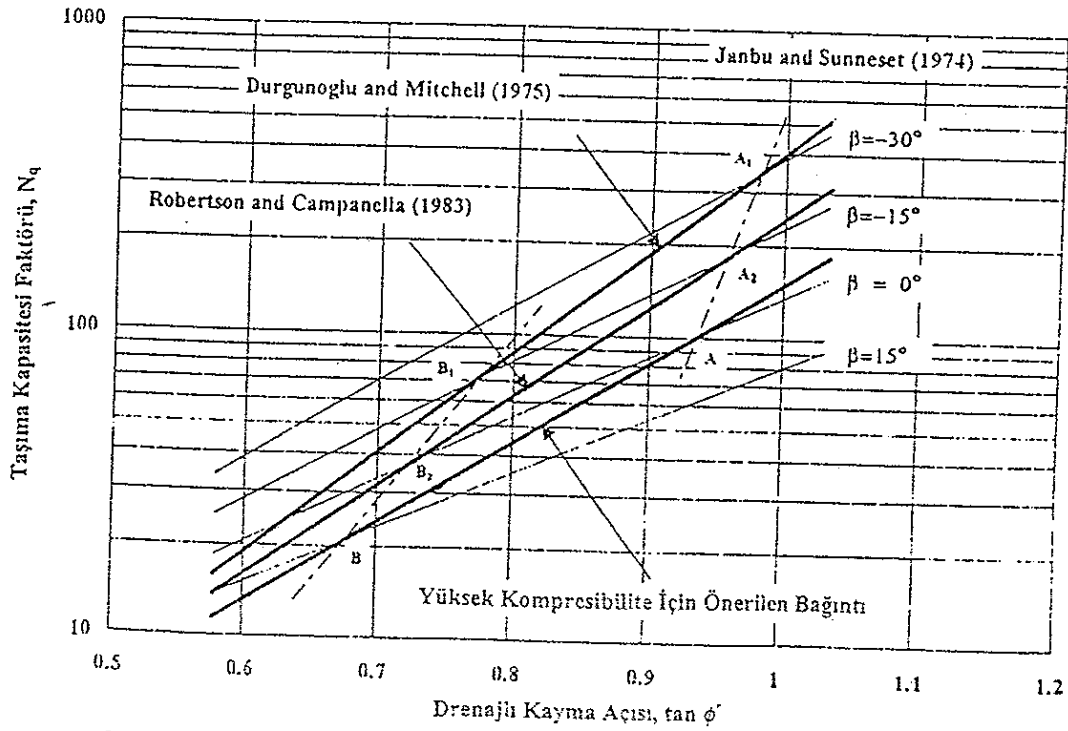
Bu kazıklar, ucu tapa ile kapatılmış bir çelik muhafaza borusunun dizel çekiç ile bir minimum derinliğe kadar çakılması, bu minimum boyda refü kriteri sağlanıyorsa durulması, sağlanmıyorsa refü kriteri sağlanıncaya kadar devam edilmesi suretiyle oluşturulacak deliğe, kazık donatısı indirilmesi ve betonlanması sonrasında vibratör ile muhafaza borusunun çekilmesi suretiyle oluşturulmaktadır.

Bu kazıklar için hesaplar ile belirlenen düşey kazık kapasiteleri, kazık yükleme deneyleri ile tahkik edilmiştir. Kazık yatay kapasitesinin belirlenmesi amacıyla da yatay deplasman kriterine bağlanmak suretiyle bir hesap yöntemi tariflenmiştir.

Kazık düşey taşıma kapasiteleri, sondajlarda belirlenen zemin tabakaları ve CPT deneylerinde ölçülen uç ve çeper mukavemet değerleri ve kazık yapım yöntemi dikkate alınarak Robertson ve Campanella (1983) tarafından tariflenen LCPC metodunu kullanan



Şekil 4. CPT sonuçları kullanılarak izafi sıklığın belirlenmesi (Jamiołkowski ve diğ., 1985)



Şekil 5. Farklı  $N_q$ - $\tan \phi'$  Bağıntılarının Karşılaştırılması (Chen ve Juang, 1996)

bir bilgisayar programı aracılığı ile belirlenmiştir. Bu proje ile ilgili detay bilgileri Durgunoğlu ve diğ. (1995b)'de takdim edilmiştir.

#### 4.2. CPT'İNİN ÇEVRE GEOTEKNİĞİNDE KULLANIMI

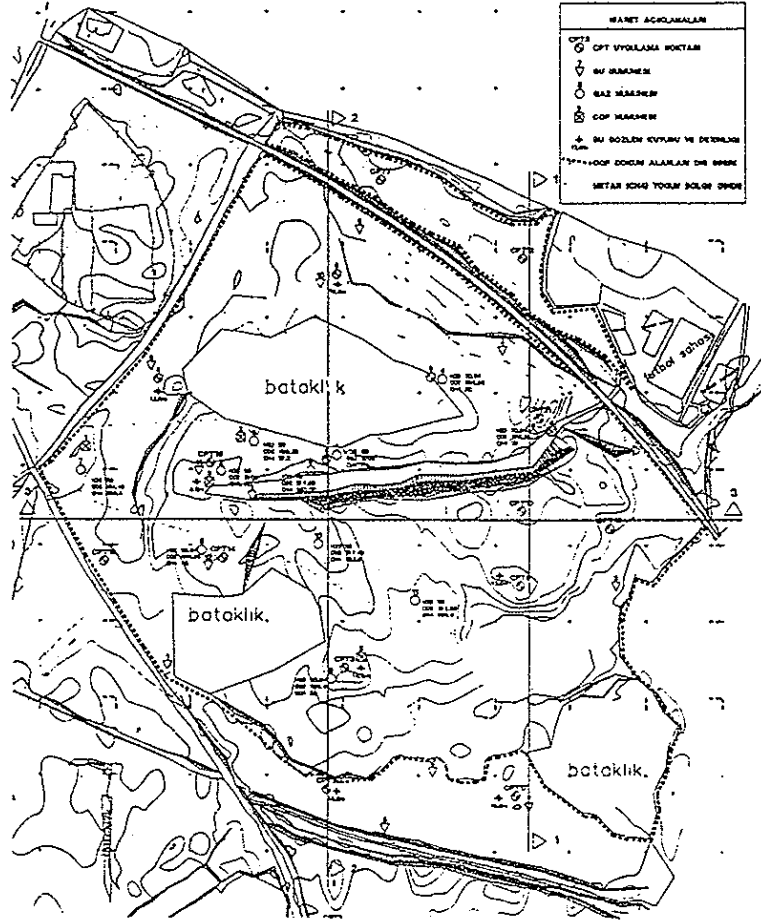
İzmir Büyükşehir Belediyesi tarafından döküme kapatılan Çiğli katı düzensiz katı atık depolama sahasının ıslahına yönelik kapsamlı ofis, saha ve laboratuvar çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Rehabilitasyon çalışmaları, çöp döküm sahasının tüm geometrik, geoteknik ve kirlilik verilerinin biraraya getirilerek bu sahaların çevre kirliliği açısından meydana getirebileceği problemlerin çözülmesine yönelik olarak yürütülmüştür. Elde edilen geoteknik modelleme ve kirlilik verileri ışığında mevcut atığın doğuracağı sorunların bertaraf edileceği bir ıslah projesi oluşturulmuştur. Arazi etüdüleri CPT kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Test aletine takılan özel bir düzenek yardımıyla sahada zeminin belirli derinliklerden vakumla laboratuvarında test edilmek üzere su ve gaz numuneleri alınarak mevcut kirlilik mertebesi deneylerle sistematik olarak belirlenebilmiştir. Elde edilen bu veriler kullanılarak mevcut sızıntı suyunun ve gaz oluşumunun insan ve çevre sağlığına zarar vermeyecek bir şekilde düzenlenmesini ve diğer geoteknik problemlerin çözümünü içeren bir rehabilitasyon projelendirmesi yapılmıştır.

Katı atık geometrisinin belirlenmesinde ve geoteknik modelin oluşturulmasında gerekli doneleri sağlamaya yönelik arazi etüdüleri de elektrikli konik penetrasyon test metodu (CPT) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çöp alanı civarında daha önce Emlak Bankası Mavişehir Konutları sahasında yapılan CPT ölçümleri çok yararlı sonuçlar verdiği için (Durgunoğlu ve diğ., 1995a), çöp alanı genelinde ilave toplam 17 adet Statik Penetrasyon Deneyi (CPT) (Durgunoğlu ve Toğrol, 1995) gerçekleştirilmek suretiyle katı atık derinliği, zemin tabakalanması ve bunların geoteknik özellikleri hakkında detaylı bilgi edinilmiştir. Katı atık depolama alanının planı ve gerçekleştirilen testlerin lokasyonları Şekil 6'da gösterilmiştir.

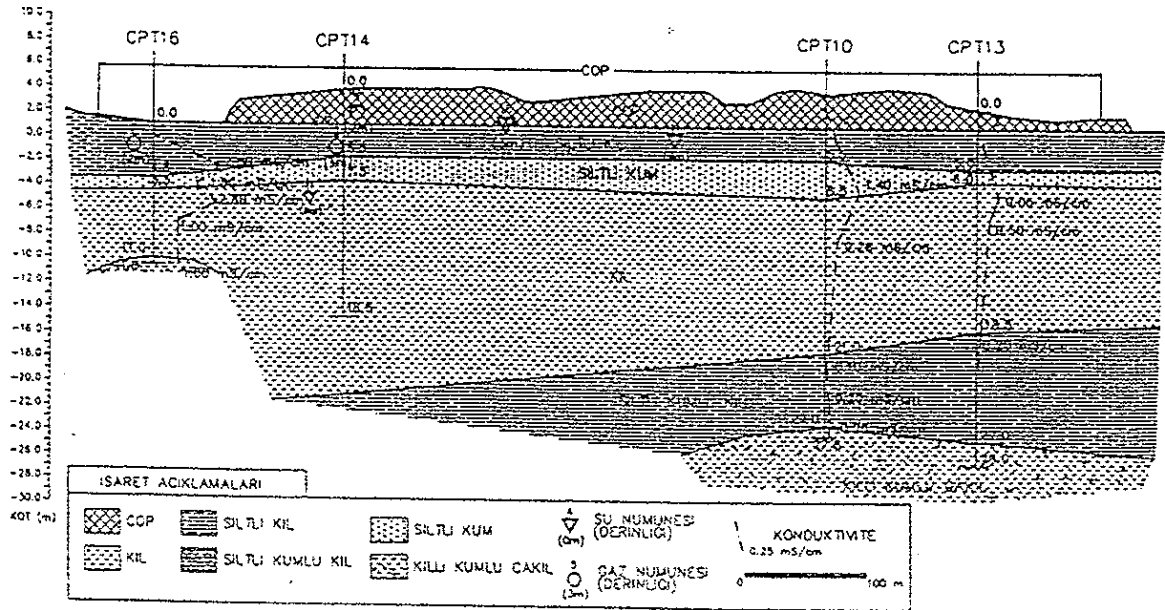
Bu ölçümler sonucu elde edilen veriler sonucu oluşturulan kesitlerden kübaj hesabı yapılmış ve alandaki toplam çöp miktarının 817 bin m<sup>3</sup> mertebesinde olduğu belirlenmiştir. Atık ve taban zemini tipik bir kesit için Şekil 7'de görülmektedir. Ortalama çöp kalınlığı 3.0m mertebelerinde olup yer yer 5.0 metreye varmaktadır. Kesitte görüldüğü şekilde üstte siltli kil, bunun altında sürekli bir ara bant şeklinde siltli kum, daha altta oldukça kalın bir kil tabakası ve siltli kumlu kil tabakası altında taşıyıcı ve sağlam zemin niteliğinde takriben 27.0m - 30.0m derinliklerden başlayan killi kumlu çakıl vardır.

Oluşan sızıntı suyunun karışması sonucu yeraltı suyunda meydana gelen kirlilik derecesinin tespit edilebilmesi ve katı atığın ayrışması sonucu biriken gaz karışımını oluşturan gazlar ve bunların oranlarının, yoğunluğunun belirlenmesi, gerekmektedir. Deney noktalarında, geliştirilen özel bir aletle zeminin belli derinliklerinden su ve gaz numuneleri alınmıştır. Numune alıcısı CPT sondalama aracıyla numune alınacak derinliğe sürülmekte, filtresi açılmakta ve yeryüzündeki peristaltik vakum pompası vasıtasıyla o seviyeye ait su veya gaz (hangisi mevcutsa) uygun depolama ünitelerine





Şekil 6. Çöp sahası vaziyet planı (Durgunoğlu ve diğ., 1996)



Şekil 7. Atık ve taban zemini tipik geoteknik kesit (Durgunoğlu ve diğ., 1996)

aktarılmaktadır. Bu tip numunelenmenin sondaj yolu ile alınan numunelere üstünlüğü, numunenin sadece alıcının indirildiği seviyeden alınabilmesi ve bu sayede kirliliğin derinlikle değişiminin tayin edilebilmesidir. Katı atık sahası rehabilitasyon projesi ile ilgili detay bilgileri Durgunoğlu ve diğ. (1996) tarafından verilmiştir.

#### 4.3. ZEMİN ISLAH DERESESİNİN CPT KULLANILARAK BELİRLENMESİ

Gemlik'te inşa edilen Borçelik Çelik Haddelme fabrikası temel inşaatına yönelik geoteknik etüdler gerçekleştirilmiştir. Mevcut zemin yapısı, yapısal yükler ve bölgenin sismisitesi değerlendirildiğinde ortaya çıkabilecek temel mühendisliği problemlerini bertaraf edebilmek amacıyla ofis ve saha çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Zemin şartlarının belirlenmesinde sondaj ve CPT verilerinden faydalanılmıştır. Sıvılaşma riski ve fabrika depolama sahalarında oluşabilecek taşıma problemlerinin çözümüne yönelik olarak zeminin taş kolonlarla ıslahına karar verilmiştir. Optimum taş kolon aralıkları ıslah projesi, öncesi ve sonrası CPT kullanılarak geliştirilmiş ve böylece zemin ıslah derecesi ve yeterliliği tespit edilmiştir.

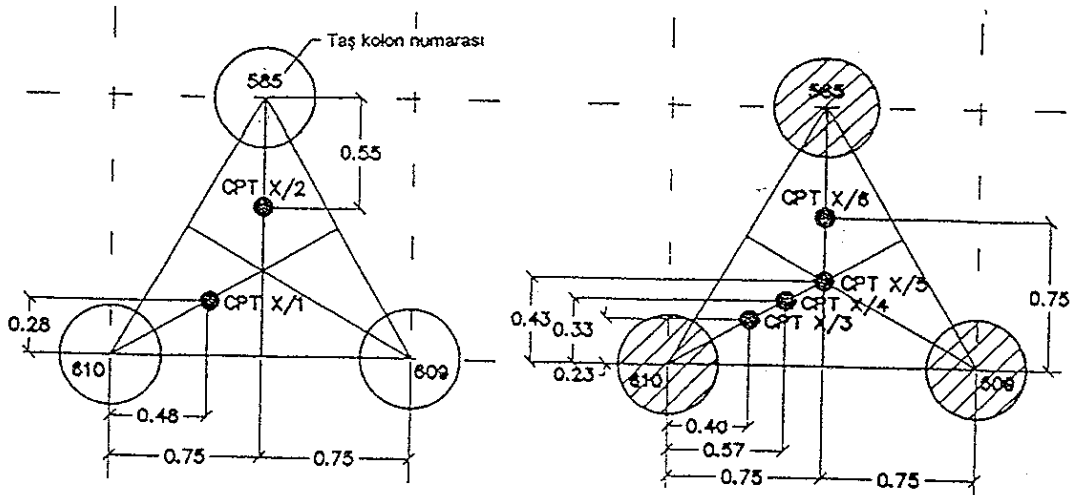
##### 4.3.1: Zemin şartları ve yapısal yükler

Zemin şartlarının belirlenmesi ve sağlıklı bir geoteknik modelin oluşturulması amacıyla konvansiyonel sondaj çalışmalarına ilaveten toplam boyu 2500 metreye varan 90 adet CPT deneyi gerçekleştirilmiştir. Taban zemini gayet değişken bir dağılım sergilemekte olup, sahanın genelinde doygun gevşek kum tabakalarına rastlanmıştır. Gerçekleştirilen sıvılaşma analizleri sonucunda, yeraltı su seviyesinin altında bulunan gevşek kum tabakalarının yapı ömrü boyunca muhtemel bir depremde sıvılaşma potansiyeli bulunduğu tespit edilmiştir.

Sıvılaşma potansiyeline ilaveten, depolama sahalarında oluşacak yüksek sürşarj yüklerinden dolayı taban zemininde taşıma ve oturma sorunları ortaya çıkabilecektir. Bölgenin sismik aktivitesi ve projenin önemi gözönüne alınarak gerçekleştirilen risk analizleri sonucunda 12.0 m derinliğe kadar zemin ıslahı yapılmasına karar verilmiştir. Böylece, gevşek granüler malzeme taş kolon uygulamasıyla sıkıştırılmış ve sıvılaşma riski ve sürşarj yükleri altındaki taşıma gücü ve oturma problemi bertaraf edilmiştir.

##### 4.3.2. Taş kolon uygulaması

Taş kolon uygulaması 12.0 metre derinliğe kadar Şekil 8'de verilen geometrik konfigürasyonda uygulanmıştır. Şekilde görüldüğü gibi taş kolon uygulaması öncesi ve sonrası ıslah alanında CPT deneyleri gerçekleştirilmiş ve bu yöntemle gerçekleşen ıslahın derecesi belirlenmiştir. Şekil 9'da tipik bir bölge için uygulama öncesi ve sonrası itibarıyla elde edilmiş uç direnci değerleri görülmekte ve bu değerleri şartnamede belirtilen değerlerle mukayesesi gözlenmekte, bu sayede zemin iyileşmesi tahkik edilebilmektedir. Gerçekleştirilen analizlerde taş kolon uygulaması sonucunda sıvılaşma riski bulunan granüler zeminde riski bertaraf edebilecek sıklık artışı gözlenmiştir. Buna karşın duyarlı olduğu belirlenen kil tabakalarında uç direnci değerlerinin ıslah öncesi ve sonrası sabit kalmasıyla ıslah uygulamasının bu tip zeminlerde beklenildiği şekilde etkili olmadığı anlaşılmıştır.

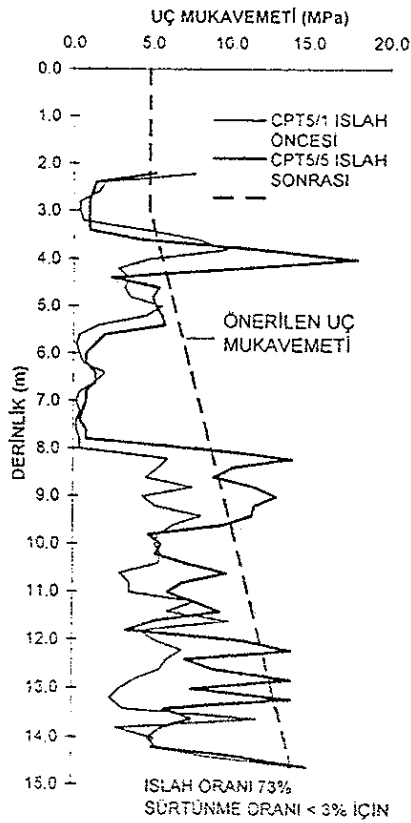


CPT X/1 : MECHANICAL CPT (depth 30.0m)  
 CPT X/2 : ELECTRICAL CPT (depth 20.0m)

CPT X/3, X/4 : MECHANICAL CPT (depth 20.0m)  
 CPT X/5 : MECHANICAL CPT (depth 30.0m)  
 CPT X/6 : ELECTRICAL CPT (depth 20.0m)

Zemin iyileştirilmesi Tahkiki için CPT Konfigürasyonu

Şekil 8. Taş kolon uygulaması ve CPT konfigürasyonu



Şekil 9. Taş kolon uygulaması öncesi ve sonrası CPT ölçümleri

Taş kolon uygulamasıyla gerçekleşen zemin ıslah derecesi bilahare gerçekleştirilen büyük ölçekli bölge yükleme deneyleriyle de tahkik edilmiştir. Bölge yükleme deneyi 4m x 4m boyutunda rijit beton bir plakanın yüklenmesiyle gerçekleştirilmiştir. Bölge yükleme deneyi CPT uygulamasında olduğu gibi ıslah öncesi ve ıslah sonrası uygulanarak taban zemininin taşıma kapasitesindeki iyileşme belirlenmiştir. Konik Penetrasyon Deneyinin bu şekilde kullanılmasıyla büyük ölçekli entegre bir projede taş kolon uygulamasıyla yapılan zemin ıslahı tahkik edilmiş ve optimum mühendislik çözümü uygulamaya konulabilmiştir (Durgunoğlu ve diğ., 1995b).

#### 4.4. DOLGU SIKIŞMASININ KONTROLÜNE YÖNELİK BİR UYGULAMA

Honda Otomotiv fabrikası Gebze'de 16.500 m<sup>2</sup> kapalı alanda inşa edilmekte olup, 1997 yılında faaliyete geçmesi beklenmektedir. Sahada zemin doğal kotları +165.0 m ile +210.0 m arasında değiştiğinden ve nihai terasman kotu +180.0 m olarak seçildiğinden yüksekliği 15.0 m'ye varan 140.000 m<sup>3</sup> hacminde kontrollü dolgu inşası sözkonusudur. Bu proje kapsamında yapılan dolguların sıkıştırma kriterlerini sağlayıp sağlamadıklarının tayinini dolgu inşasından sonra değerlendirilmesi gerekmiştir. Bu maksatla, dolgu yüksekliklerinin değişken ve fazla olması nedeni ile, kullanılan dolgu malzemesinin de granüler olması gözönüne alınarak CPT ölçümleri önerilmiştir. Bu anlamda sıkışma kontrolü için değişken dolgu kalınlıklarında ve lokasyonlarında 17 adet CPT ölçümü gerçekleştirilmiştir (Zetaş, 1996). CPT ölçümleri ile ilgili tipik bir kayıt ve ilgili değerlendirme Şekil 10 ve 11'de sunulmaktadır.

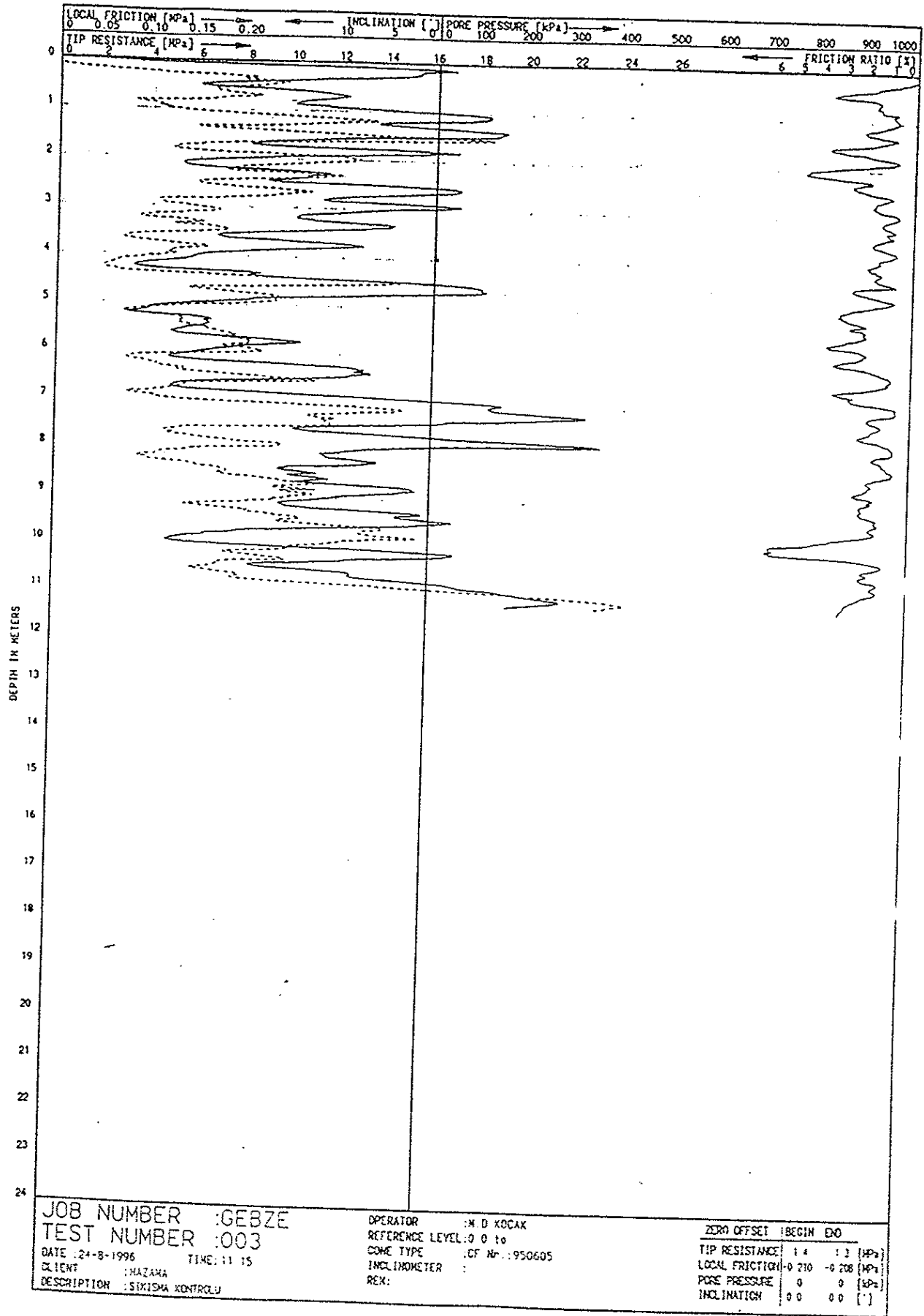
Granüler malzemelerde izafi sıkılık  $D_r$  (%):

$$D_r = \frac{1 / \gamma_{d \min} - 1 / \gamma_d}{1 / \gamma_{d \min} - 1 / \gamma_{d \max}} \times 100 (\%)$$

bağıntısı ile verilmektedir. Bu bağıntıda  $\gamma_{d \min}$  ve  $\gamma_{d \max}$  minimum ve maksimum kuru birim hacim ağırlıklarını ve  $\gamma_d$  ise sıkışma sonrası kuru birim hacim ağırlığını göstermektedir.

$$\alpha = \frac{\gamma_{d \min}}{\gamma_{d \max}} \quad \text{ve} \quad RC = \frac{\gamma_d}{\gamma_{d \max}} \times 100 (\%) \quad \text{için bu bağıntı}$$

$$D_r = \frac{RC / 100 - \alpha}{RC / 100 \times (1 - \alpha)} \times 100 (\%)$$



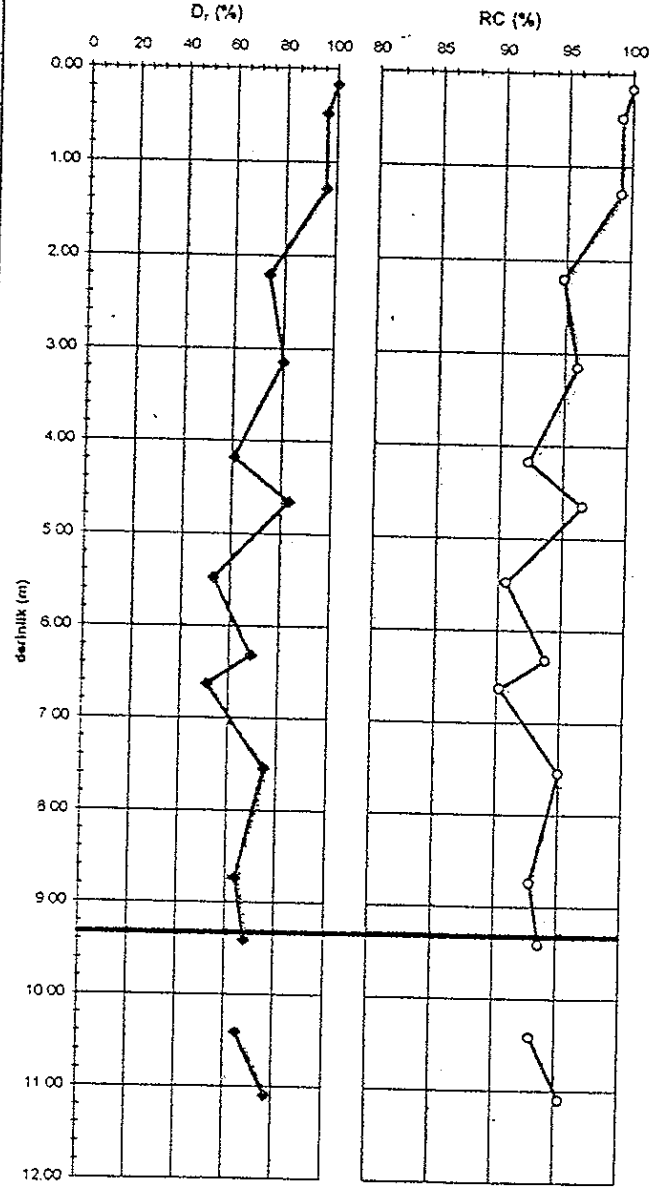
Şekil 10. Dolgu sıkışma tahkiki, CPT ölçümleri

HONDA OTOMOBİL FABRİKASI - GEBZE  
CPT İLE DOLGU SIKIŞMASI KONTROLÜ

CPT no: 3

Dolgu yüksekliği = 9.35 m

derinlik (m)	RC (%)	$\phi'$ (°)	$D_r$ (%)
0.17	100	47	100
0.48	99.2	43	96
1.29	99.2	41	96
2.21	94.8	40	74
3.15	96	39	80
4.18	92.2	38	61
4.66	96.6	39	83
5.48	90.6	36	53
6.32	93.8	38	69
6.63	90.2	35	51
7.55	95	37	75
8.74	92.8	36	64
9.41	93.6	37	68
9.77			
10.42	93	36	65
11.10	95.4	37	77



RC : izafi sıkışma / Relative Compaction (after Lee and Singh, 1971)  
 $\phi'$  : içsel sürtünme açısı (drenejli) / internal friction angle (drained)  
 $D_r$  : izafi sıklık / relative density

Şekil 11. Dolgu sıkışma tahkiki, değerlendirme

şeklini almaktadır. Bu bağtıda RC = sıkışma yüzdesini göstermektedir. Lee ve Singh'e (1971) göre farklı orijinli kumlar için  $\alpha = 0.82$ 'dir. Bu durumda yukarıdaki bağtıda izafi sıklık değerinden sıkışma yüzdesi RC değerini elde etmek mümkün olabilmektedir. Nitekim bu yöntem uygulanmak suretiyle izafi sıklık değerleri hesaplanmıştır. şekil 11'in değerlendirilmesi ile birlikte sonuça :

- Genel itibariyle, doğal zemin yüzeyinin hemen üzerinde kalan dolgu tabakalarının sıkışmasının yetersiz olduğu,
- Dolgu yüksekliğinin 5.0 m'den fazla olduğu konumlarda farklı derinliklerdeki dolgu tabakalarının sıkışmasının yetersiz olduğu,
- Dolgunun ilk 2.0 m'si içerisinde hesaplanan sıkışma yüzdesinin şartnamede öngörülen R.C. = %95'den daha fazla olduğu,
- Genel itibariyle, inşa edilmiş olan dolgunun bina temelleri altında tasarlanan yapısal dolgu kriterlerini sağlamadığı belirlenmiştir. Bu durumda, bu uygulama ile ilgili olarak dolgunun proje kriterlerini sağlayacak şekilde ışlahının gerekliliği önerilmiştir.

## 5. SONUÇ

CPT kullanımının zemin mekaniği ve temel mühendisliği uygulamalarındaki avantajları, tasarım ve uygulamadaki faydaları ölkemizde gerçekleştirilen çeşitli projelerdeki vaka analizleri kullanılarak gösterilmiştir.

## TEŐEKKÜR

Bu makalenin hazırlanması için gerekli CPT bilgilerini sağlayan Zetaş Zemin Teknolojisi A.ř. şirketine teőekkür ederiz.

## KAYNAKLAR

- ASTM Designation: D3442, (1989). American Society for Testing and Materials, Standart Method for Deep Quasi-Static, Cone and Friction Cone Penetration Test of Soil.
- Bustamante M., and Gianaselli, L., (1982). "Pile Bearing Capacity Predictions by Means of Static Penetrometer CPT", *Proceedings of 2<sup>nd</sup> ESOPT*, Amsterdam, Vol. II, pp 493-500.
- Chen, J.W., and Juang, C.H. (1996). "Determination of Drained Friction Angle of Sands from CPT", *J. Geotech. Engrg. Div.*, ASCE, 122(5), 374-381.
- Durgunoğlu, H.T., Togrol, E. (1974). "Penetration testing in Turkey." *Proceedings of ESOPT-1*, Vol. I, 137.
- Durgunoğlu, H.T., and Mitchell, J.K. (1975). "Static Penetration Resistance of Soils. I: Analysis.", *Proc. ASCE Spec. Conf. on In-situ Measurement of Soil Parameters*, Vol. 1, ASCE, New York, N.Y., 151-171.

- Durgunoğlu, H.T., and Toğrol E. (1995). "CPT in Turkey." National Report, *Proc., International Conference of Cone Penetration Testing, CPT'95*, Vol. 3, Linkoping, Sweden, pp. 151-171.
- Durgunoğlu H.T., Kulaç H.F., İviz S., Karadayılar T., Öge C., Olgun C.G., (1995a) "A Case Study on Determination of Pile Capacity Using CPT.", *Proc., International Conference of Cone Penetration Testing, CPT'95*, Vol. 2, Linkoping, Sweden, pp. 435-440.
- Durgunoğlu H.T., Kulaç H.F., İviz S., Karadayılar T., Öge C., Olgun C.G., (1995b) "A Case Study on the Determination Soil Improvement Realization Using CPT.", *Proc., International Conference of Cone Penetration Testing, CPT'95*, Vol. 2, Linkoping, Sweden, pp. 441-446.
- Durgunoğlu, H.T., Kulaç, H.F., İviz, S., Olgun, C.G., Öge, C., Koçak, D., Tezel, G. (1996). "İzmir-Çiğli Düzensiz Çöp Depolama Sahası Rehabilitasyonu." *ZM6, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Altıncı Ulusal Kongresi*, Cilt. II, İzmir, Türkiye, 476-486.
- Jamiolkowski, M., Ghionna, V.N., Lancelotta, R. and Pasqualini R. (1988). "New Correlations of Penetration Test for Design Practice", Invited Lecture, ISOPT-1, Disney World, March 1988, Balkema Publ., pp. 263-296.
- Lee, K.L., and Singh, A., (1971). "Compaction of Granular Soils", *Proceedings of the Ninth Annual Symposium on Geology and Soils Engineering*, Boise, Idaho, pp. 161-174.
- Mitchell, J. K., Carrier, D. W. III, Houston, W. N., Scott, R. F., Bromwell, L. G., Durgunoğlu, H. T., Treadwell, D. D., and Costes, N.C., (1972). "Soil Mechanics", Apollo 16 Preliminary Science Report, NASA SP-315 Section 8, p. 1-29.
- Robertson, P.K., and Campanella, R.G. (1983). "Interpretation of Cone Penetration Tests. I: Sand.", *Can. Geotech. J.*, Ottawa, Canada, Vol. 20, 718,733.
- Robertson, P.K., and Campanella, R.G. (1988). "Guidelines for Geotechnical Design Using CPT and CPTU Data", Civil Engineering Department, University of British Columbia, Vancouver, Canada.
- Schmertmann, J.H., Hartman, J.P., and Brown, P.R. (1978). "Improved Strain Influence Factor Diagrams", *J. Geotech. Engrg. Div.*, ASCE, 104(8), 1131-1135.
- Seed H.B., Idriss, I.M., (1981). "Evaluation of Liquefaction Potential of Sand Deposits Based on Observations of Performance in Previous Earthquakes", Geotechnical Engineering Division, ASCE National Convention, St. Louis, Session No. 24.
- Zetaş (1996). "Honda Fabrikası Gebze, CPT ile Sıkışma Kontrolü", Geoteknik Değerlendirme Raporu, Ağustos 1996, İstanbul.