

SIVILASMIŞ ZEMİNLERDE ZEMİN DAVRANISI MODELLEMESİNDE KULLANILAN ZEMİN ARASTIRMA YÖNTEMLERİ-ADAPAZARI ÖRNEĞİ

**H. Turan Durgunoglu¹, Rodolfo B. Sancio², Jonathan D. Bray³,
Turhan Karadayilar⁴, ve Akin Önalp⁵**

ÖZET

17 Ağustos 1999 Kocaeli, depremi ($M_w = 7.4$) özellikle sivilasmiş zeminlerde zemin davranışının modellenmesinde çok büyük olanaklar vermiştir. Adapazari'nda seçilen 12 ayrı sahada yüzeysel temellerin ve zemin davranışı detaylı dökümantasyon ve araştırma programı ile incelenmiştir. Bu çalışma kapsamında temel zemininin statik penetrasyon (CPT) deneyleri ve Standard Penetrasyon Deneyleri (SPT) zemin karakterizasyonu amacıyla kullanılmıştır.

Bu makale kapsamında zemin araştırmalarında kullanılan CPT ve SPT yöntemleri, Standard Penetrasyon Deneyinde izlenen metodoloji vurgulanarak, tariflenmiştir. Kocaeli depremi sonucu Adapazari'nda meydana gelen önemli sivilasma ve zemin göçmesine ilişkin gerçekleştirilen zemin araştırma yöntemi ve yerinde deneyler örnekleri ile sunulmuştur.

1. GİRİŞ

17 Ağustos 1999 Kocaeli, Türkiye depremi ($M_w = 7.4$) ülkenin kuzeybatı bölgesinde geniş alanları etkilemiş, 15,000'den fazla can kaybına yol açmış ve 16 milyon dolarlık maddi bir hasara yol açmıştır (<http://www.koeri.boun.edu.tr/earthqk/earthquake.htm>).

Istanbul'un yaklaşık 120 km doğusunda yer alan yaklaşık 180,000 nüfusa sahip Sakarya ilinin il merkezi olan Adapazari şehri, bu depremden büyük oranda etkilenmiştir. Resmi kayıtlara göre, Adapazari'nda can kaybı 2,627, yaralanma 5,084 ve tümüyle yıkılan bina sayısı 5,087 (toplam yapı stoğunun %27'si) olarak bildirilmiştir.

Adapazari şehrinin büyük bir kısmı Pilo-Pleistosen göl çökelleri üzerinde yer alan Sakarya nehri ve kolları tarafından tasınmış Pleistosen ve Holosen yaşlı alüvyonel zeminlerle

¹ Prof.Dr., İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bogaziçi Üniversitesi, İstanbul, Türkiye

² Doktora Öğrencisi, University of California, Berkeley, USA

³ Prof.Dr., İnşaat ve Geoteknik Çevre Mühendisliği, University of California, Berkeley, USA

⁴ İns. Yük. Müh., ZETAS Zemin Teknolojisi AS, İstanbul, Türkiye

⁵ Prof. Dr., İnşaat Mühendisliği Bölümü, Sakarya Üniversitesi, Adapazari, Türkiye

kaplidir. Adapazari ismini, eski sehrin dogusunda ve batisinda yeralan iki akarsuyun yaratmis oldugu ada etkisinden dolayi almistir. Akarsularla tasinan malzemelerin üç boyutlu sedimantasyonuna bagli olarak zemin profili ve tabakalanma yatayda ve düseyde çok kısa mesafelerede degiskenlik göstermektedir. Bu zemin kosullari sonucunda, deprem esnasinda zemin sivilasmasi ve zemin yumusamasi olarak ortaya çıkan yaygin zemin göçmesi meydana gelmistir.

Son otuz yilda Standard Penetrasyon deneyi (SPT) ve statik penetrasyon deneyi (CPT), zemin tipi tanımlanmasi ve zemin sivilasmasi potansiyelinin belirlenmesinde en iyi ve en yaygin olarak kullanılan zemin arastirma yöntemleri olarak uygulanmistir. Bu nedenle, Adapazari'nda yürütölen arastirmalarda bu iki yöntem birlikte kullanilmistir.

Kalifornia Üniversitesi Berkeley, Kalifornia Üniversitesi Los Angeles, Bogaziçi Üniversitesi ve Sakarya Üniversitesi'nce ortaklasa yürütölen çalismalarda Adapazari'nda toplam 12 ayrı sahada zemin özellikleri arastirilmistir. Temel zemininde asiri deformasyon gözlenen bu sahalardaki zemin özelliklerinin belirlenmesinde CPT deneyleri ile SPT deneyinin birlikte kullanildiği arastirma sondajlarından olusan bir çalisma yöntemi izlenmistir.

Bu zemin arastirmasi kapsamında Adapazari'nda kullanılan yerinde deney ekipmani ve teknikleri asagida verilmektedir. Standard Penetrasyon deneyinde verilen enerji seviyesinin ölçümü amaciyla kullanılan özel enerji seviyesi ölçüm cihazinin çalisma yöntemine dahil edilmesi vurgulanmistir. Adapazari'nda yeralan bu sahalardan birinde zemin arastirmasi kapsamında elde edilen veriler örnek olarak verilmistir.

Bu makale kapsamında örneklenen, A Binası sahasi olarak adlandırılan A sahasında yeralan bina, 5 katlı 13.6 m yükseklikte betonarme bir bina olup Adapazari, Cumhuriyet mahallesi, Tül ve Yakın sokakları kösesinde yer almaktadır. Bu sahanın arastirma kapsamına dahil edilmesindeki basica neden, Adapazari'nda deprem sonrasında Türk-Amerikan NSF (National Science Foundation) takimi tarafından gerçekleştirilen incelemelerde en fazla deplasmanın ölçüldüğü sahalardan biri olmasından kaynaklanmaktadır (Baturay et al.).

2. ZEMİN ARASTIRMA PROGRAMI

Adapazari'nda seçilen sahalarda, 11 adedinde iki adet jeofon ile techiz edilmiş sismik statik penetrasyon ölçümlerinin gerçekleştirildiği toplam 42 adet CPT deneyi, ve toplam 30 adet arastirma sondajı gerçekleştirilmistir. Bu sahalanın seçiminde 17 Ağustos 1999 depremi sonrasında sözkonusu sahalardaki zemin davranisi ve performansi belirleyici olmuştur.

“A Sahası” olarak adlandırılan sahada temel zeminin özelliklerinin belirlenmesine yönelik olarak toplam 6 adet CPT deneyi ile 3 adet arastirma sondajı gerçekleştirilmiş olup, zemin arastirma noktaları konuları Şekil 1'de verilmektedir. “A Sahası” olarak adlandırılan sahada yeralan binada deprem sonucunda meydana gelmiş olan düsey deplasmanlar düzgün dağılım göstermemektedir. Şekil 1'de 1 noktası olarak gösterilen, binanın kuzeybatı kösesinde toplam düsey deplasman 150 cm olarak ölçülmüşken, Şekil 1'de 2 noktası olarak gösterilen binanın güneydogu kösesinde sadece 10 cm – 15 cm mertebesinde deplasman gözlenmistir.

2.1. Statik Penetrasyon Deneyleri (CPT)

Yukarıda da belirtildiği üzere sözkonusu sahada 6 adet CPT deneyi gerçekleştirilmiştir. Bu altı adet deneyden dört adedinde (CPT-A1, A3, A5 & A6) “piezocone” kullanılarak, boşluk suyu basınçları da ölçülmüştür. CPT-A3 ve CPT-A6 no’lu deneylerde ise sismik CPT ekipmanı kullanılarak sismik hızları ihtiva eden zemin profili elde edilmiştir.

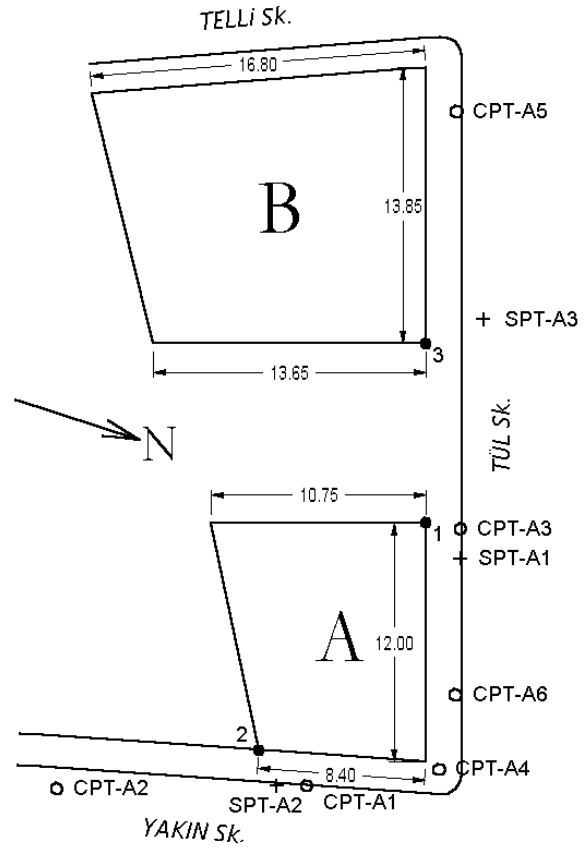
Bu etüd programında kullanılan CPT ekipmanı Hollanda (A.P. vd BERG) yapımı olup elektronik veri toplama sistemine sahiptir. Sondalama 10 cm² konik uç ve 150 cm² çevre alanına sahip 60° açılı elektronik bir konik ucun 10 ton kapasiteli bir hidrolik baskı yoluyla 2 cm/sn sabit hızla zemine penetre edilmesi ile yapılmaktadır. Bu penetrasyon sırasında 2 cm ara ile ölçülen uç ve çevre mukavemeti verileri bilgisayarda kaydedilmektedir. Boşluk suyu basınçlarının ölçümünde kullanılan “piezocone” elemanı, uç mukavemetinin kaydedildiği konik ucun hemen arkasında, 7.5 cm² kesit elemanı poroz bir elemana sahiptir. Bu veriler zemin tabakalarının hassas bir şekilde tanımlanması, tasima ve oturma

özelliklerinin tayini, temel mühendisliği tasarım parametrelerinin belirlenmesi için verileri oluşturmakta olup kullanımı benzer zeminlerde ISSMFE (International Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering) tarafından önerilmektedir.

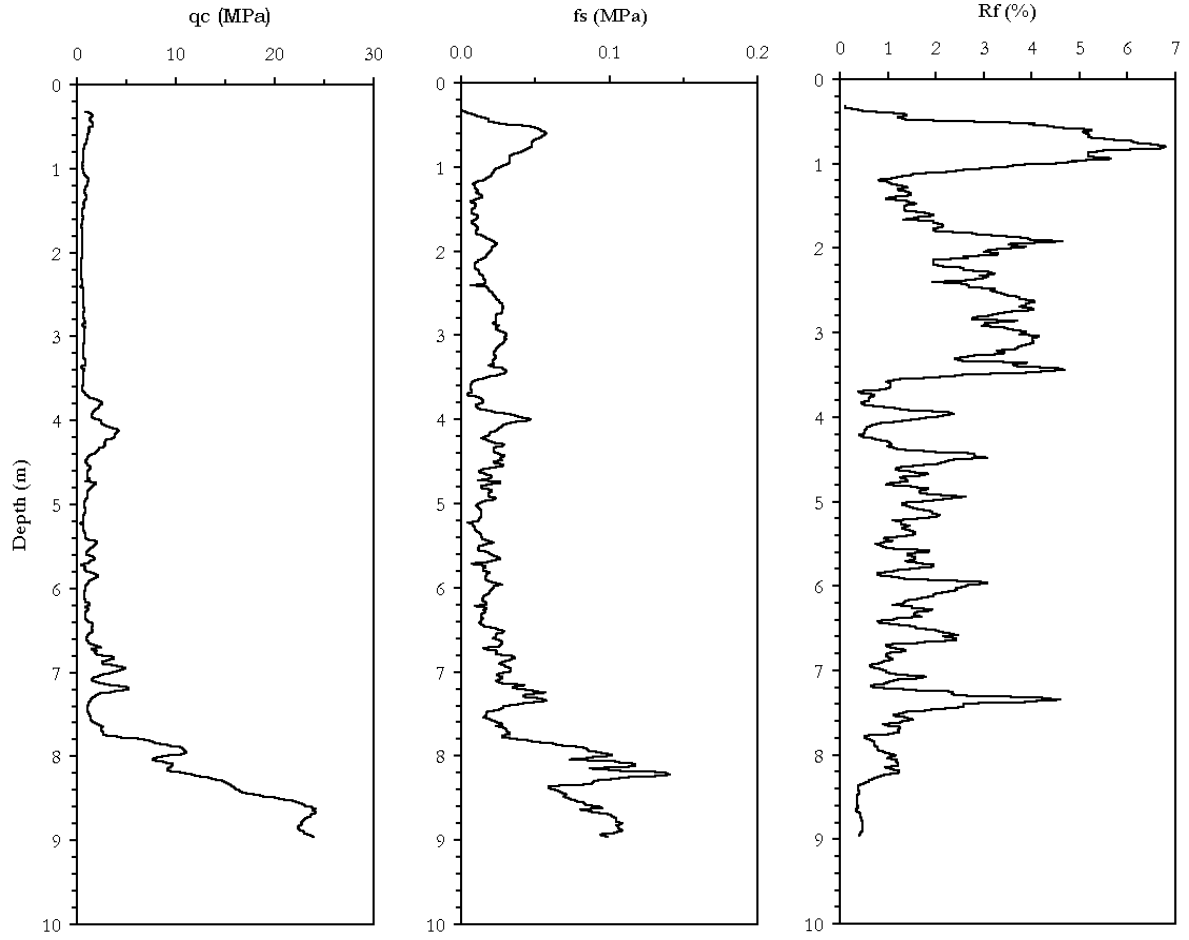
Sekil 2’de CPT-A1 noktasında yapılan deneyin uç mukavemeti ve çevre direncinin derinlikle değişimi ile birlikte hesaplanan sürtünme oranı, R_f ’nin derinlikle değişimi verilmektedir.

2.2. Standard Penetrasyon Deneyleri (SPT)

Standard Penetrasyon deneyinde kullanılan ekipmanın ve yöntemlerin darbe sayıları üzerindeki etkileri çeşitli yazarlar tarafından uzun araştırmalara konu olmuştur (Skempton, 1986).



Sekil 1 Zemin Arastırma Noktaları Konumları ve Saha Planı



Şekil 2 CPT-A1 konumunda elde edilen CPT kaydı

Standard Penetrasyon deneyinde kullanılan yarık tüplü numune alicisine iletilen toplam teorik enerji, başka bir deyişle enerji oranı, deneyde kullanılan sahmerdan tipi, düşürme ekipmanı, operatörün deneyimi, kedibasının boyutu ve çapı, kullanılan halatın çapı, ve kedibasi etrafındaki sarım sayısı, sondaj çapı, tij boyu, tij çapı, tij eklemlerinin sıklığı, halatın düseyliği, numune alıcı tipi gibi pek çok faktörden etkilenmektedir.

Bu faktörlerin etkisi dikkate alınarak deneyin standardlaştırılmasına yönelik olarak ASTM D 6066-98 ve ASTM D 1586'da tariflenen yöntemler izlenmiştir. Adapazarı'nda gerçekleştirilen SPT deneylerinde kullanılan yöntemler Tablo 1'de özetlenmektedir.

SPT deneyi yapılan derinliğe kadar sulu rotari sistemle sondaj deliği delinmiş ve muhafaza borusu kullanılmıştır. SPT deneyi kedibasına sarılı kendir halat kullanılarak yapılmıştır. Kullanılan halat çapı 2 cm olup kedibasi çapı 11.2 cm'dir. SPT deneyinde enerji kayıplarının en aza indirgenmesi amacıyla "emniyetli" sahmerdan kullanılmış ve enerji 63 kg ağırlıktaki "emniyetli" sahmerdanın 76 cm yükseklikten düşürülmesi ile verilmiştir. Sondaj esnasında kullanılan tijler 5.94 cm² kesit alanına sahip AWJ tipinde tijlerdir. Kullanılan yarık tüplü numune alicisinin dış çapı 50.8 mm, iç çapı 35 mm olup toplam 600 mm boyundadır.

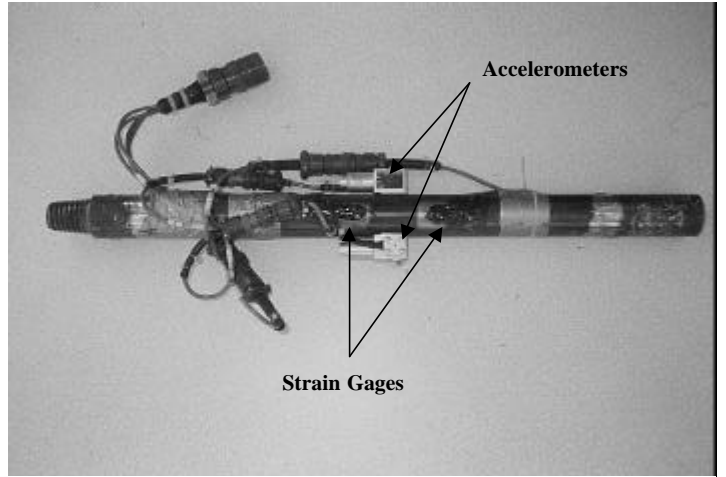
Tablo 1 Standard Penetrasyon Deneyinde Kullanılan Yöntem

Sondaj Yöntemi	Rotari, sulu sistem
Sondaj deligi koruması	Muhafaza borusu
Delgi ucu	9 cm çaplı üçlü konik uç
Delgi tiji	AWJ Tipi (Alan = 5.94 cm ²)
Numune alıcı	Dis çap. = 50.8 mm İç Çap = 35 mm (sabit) Boy = 600 mm
Kedibasi çapı	11.2 cm
Halat çapı	2 cm
Halat ve kedibasi	Saat yönünde dönen kedibasi üzerinde 2 ¼ tur
Sahmerdan tipi	Emniyetli sahmerdan
Darbe sayısı	Darbe sayıları 15 cm boyunda üç aralıkta kaydedilmiş, N = son iki aralıktaki darbe sayısı

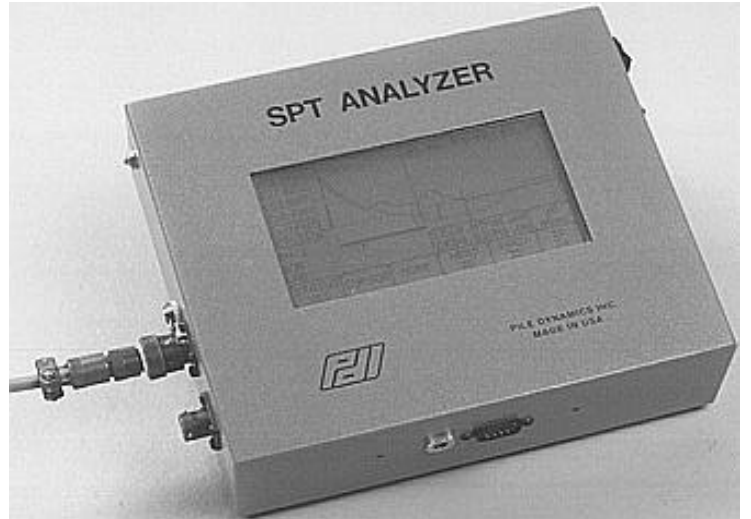
Her ne kadar uygulanan deney yöntemi ASTM 6066-98 ve ASTM 1586'e uygun gerçekleştirilmişse de, teorik 60% enerji düzeyinin her bir darbeye hassas bir şekilde normalize edilebilmesi için sistem tarafından her bir darbeye verilen enerji ölçülmüştür. Enerji ölçümleri tiji takımına ilave edilen, iki adet ivme ölçer ve iki adet deformasyon ölçer ile teçhiz edilmiş, kısa bir özel ölçüm tiji kullanılarak yapılmıştır. Özel teçhizli ölçüm tiji Şekil 3'de gösterilmektedir.

Tij takimi düşen sahmerdan tarafından verilen darbe ile yüklendiğinde, bir basınç dalgası bir saniyenin yüzdeleri ile ifade edilebilecek bir süre içerisinde tijlerden numune alıcıya iletilmektedir. Daha sonra bu enerji tijler boyunca yukarı ve aşağı yönde alarak sönmelenmektedir. Bu basınç dalgasının zamana bağlı integrali verilen enerjinin ölçülebilmesine olanak vermektedir.

Görünüşte güç olan bu hesaplama, bu çalışma kapsamında kullanılan Amerikan Pile Dynamics Inc. tarafından geliştirilmiş Şekil 4'de gösterilen "SPT Analyzer™" cihazı sayesinde gerilme dalgası ölçümü sistemi ile gerçekleştirilmiştir. Bir



Şekil 3 Teçhiz edilmiş özel kısa tiji



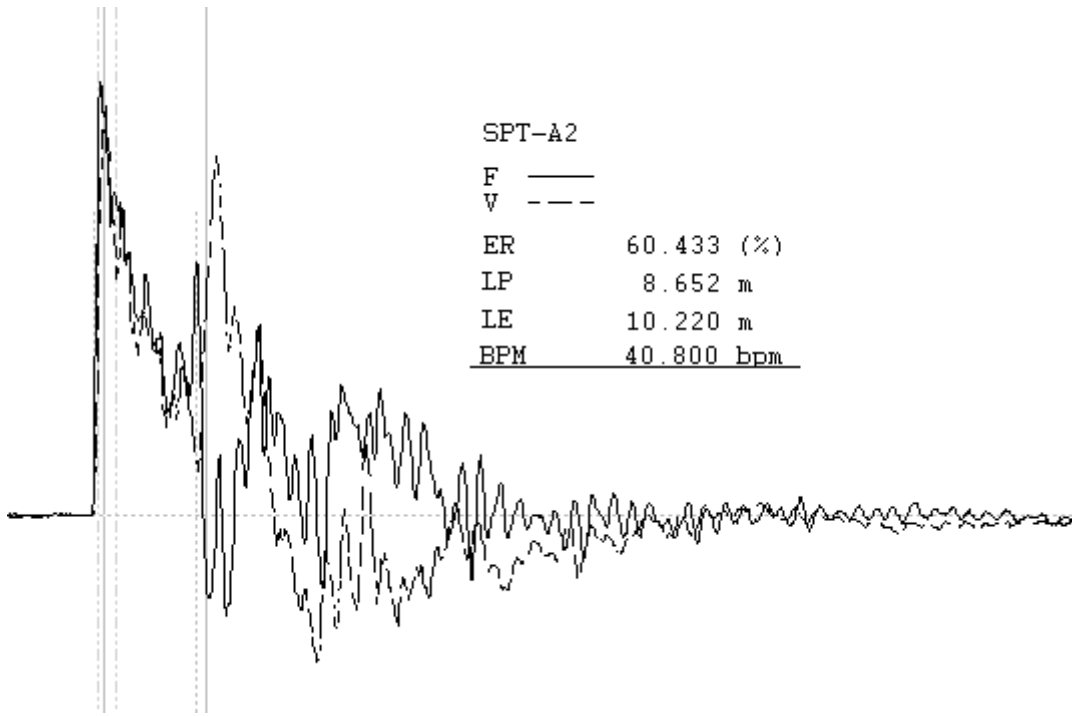
**Şekil 4 SPT Analyzer™ ana ünite
(Fotograf Pile Dynamics Inc.).**

darbe için tijler üzerinde sahmerdanin verdiği tipik bir kuvvet ve tane hizinin zamanla degisimi kaydi Sekil 5'te gösterilmektedir.

Sekil 1'de SPT-A2 noktasında gerçekleştirilen sondajda ölçülen darbe sayıları, N, derinlikleri ile birlikte Tablo 2'de verilmektedir. Tablo 2'de aynı zamanda, her bir deney için ölçülen ortalama enerji oranı, ER, kullanılarak Seed et al. (1985) tarafından önerilen aşağıdaki bağıntı ile darbe sayıları %60 teorik enerji seviyesine normalize edilmiş ve N_{60} hesaplanmıştır.

$$N_{60} = N \cdot \frac{ER}{60}$$

N_{60} değerleri belirlendikten sonra, temel zemininin sivilasma potansiyeli Seed et al. (1985) tarafından önerildiği gibi ampirik bağıntılar kullanılarak belirlenebilmektedir.



Sekil 5 Sahmerdan darbesi sonucu oluşan kuvvet ve hız kaydı. Bu örnekte iletilen enerji, ER 60.4%'dür

Tablo 2 SPT-A2 Sondajı İçin Darbe Sayısı, Ortalama Enerji Oranı ve 60% Normalize Edilmiş Darbe Sayıları

Derinlik (m)	N	ER	N_{60}
1.0	3	36	2
1.8	4	52	3
3.4	2	56	2
4.2	7	52	6
6.0	3	52	3
7.0	10	59	10
8.5	36	61	36
10.0	25	60*	25

3. SONUÇLAR

Standard penetrasyon deneyinde elde edilen darbe sayıları çoğu kez temel mühendisliği değerlendirmelerinde baslıca temel dayanak olmaktadır. Darbe sayılarından hareketle literatürde önerilen bağıntılar kullanılarak temel zeminlerinin mukavemet, siksabilirlik parametrelerinin yanı sıra sivilasma potansiyeli gibi pek çok temel mühendisliği değerlendirmesi yaygın olarak kullanılmaktadır. Yapılan deney sonucunda elde edilen SPT/N değeri nihai değerlendirmelerde kullanılmadan önce, çeşitli yazarlar tarafından önerilen düzeltme yöntemleri ile darbe sayıları %60 teorik enerji seviyesine normalize edilmekte ve N_{60} değerine ulaşılmaktadır. Ancak, SPT deneyi esnasında ilgili standartlara ne kadar sadık kalınırsa kalınsın, enerji kayıpları, farklı değerlere ulaşılmasına neden olabileceği gibi, kullanılan ekip ve ekipmanın çalışma esnasında kalibre edilmesi ancak enerji seviyesinin ölçülebilmesi ile mümkün olabilmektedir. Bu nedenle, enerji verilen enerji seviyesinin bilinmesi ve ölçülmesi azami önem arz etmektedir. Bu çalışma kapsamında izlenen zemin araştırma yöntemi ile enerji seviyeleri hassas olarak ölçülebilmis ve darbe sayıları %60 teorik enerji seviyesine normalize edilerek N_{60} değeri hesaplanmıştır. Böylece elde edilen sonuçlar, CPT ölçümleri ile birlikte sivilasması zeminlerin modellenmesinde kullanılmıştır.

TESEKKÜR

Bu çalışma US National Science Foundation sponsorluğu ve Bogaziçi Üniversitesi Araştırma Fonu Proje No. 96A0428 projesi ile desteklenmiştir. Bu projenin gerçekleşmesinde ZETAS Zemin Teknolojisi AS teknik personeli ve Sakarya Üniversitesi laboratuvar personelinin katkıları için teşekkür edilmektedir. Saha çalışmalarındaki titiz çalışmalarından ötürü ZETAS Zemin Teknolojisi AS mühendisleri Sermet Danesfar, Tufan Heris ve Serdar Elgün'e teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- ASTM, (2000). Standard Practice for Determining the Normalized Penetration Resistance of Sands for Evaluation of Liquefaction Potential (ASTM D 6066-96). Annual Book of ASTM Standards, Vol. 04.09.
- Baturay, M. B., Bray, J. D., Durgunoglu, T., Sancio, R. B., Stewart, J. P., and Ural, D. (Principal Contributors) Damage Patterns and Foundation Performance in Adapazari. Chapter VI of the EERI Reconnaissance Report on the August 17, 1999 Kocaeli Earthquake, Turkey. To be published in a special edition of Earthquake Spectra.
- Seed, H. B., Tokimatsu, K., Harder, L. F., and Chung, R. M. (1985) Influence of SPT Procedures in Soil Liquefaction Resistance Evaluation. Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 111, No. 12, pp. 1425-1445.
- Skempton, A. W. (1986). Standard Penetration test procedures and the effects in sands of overburden pressure, relative density, particle size, ageing and overconsolidation. Geotechnique. Vol. 36, No. 3, pp. 425-447.

IN-SITU PROCEDURES USED FOR THE CHARACTERIZATION OF SOILS AT LIQUEFIED GROUND SITES-ADAPAZARI CASE

**H. Turan Durgunoglu¹, Rodolfo B. Sancio², Jonathan D. Bray³,
Turhan Karadayilar⁴, ve Akin Önalp⁵**

ABSTRACT

The August 17, 1999 Kocaeli, Turkey earthquake ($M_w = 7.4$) presents a great opportunity for research in ground failure. A total of 12 case histories on the performance of shallow foundations in the city of Adapazari have been chosen for extensive documentation. This involves the characterization of the foundation soils by means of In-Situ methods such as the Cone Penetration Test (CPT) and the Standard Penetration Test (SPT).

This paper describes the procedures followed to perform the CPT and SPT, with special emphasis, on the Standard Penetration Test. Examples of the measurements are presented for a site that underwent significant ground failure in the city of Adapazari after the Kocaeli seismic event.

¹ Professor of Civil Engineering, Bogaziçi University, Istanbul, Turkey

² Doctoral Candidate, University of California at Berkeley, USA

³ Professor of Civil and Environmental Engineering, University of California at Berkeley, USA

⁴ Senior Engineer, CE M.Sc., ZETAS Zemin Teknolojisi AS, Istanbul, Turkey

⁵ Professor of Civil Engineering, Sakarya University, Adapazari, Turkey