

Koni Penetrasyon Deneyi Ölçümlerinde Gelişmeler

*¹Sedat Sert, ¹Aşkın Özocak ve ¹Ertan Bol

¹Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Sakarya, Türkiye

Abstract

The cone penetration test (CPT) has been used for a long time as a reliable in situ test method for rapid and economical site characterization. In the early 1930's in the Netherlands, the CPT was developed as a mechanical penetrometer to determine the capacity of piles in sands. Electrical cones were first developed around the early 1960's, but came more common in the 1980's when pore pressure measurements were included (CPTu). Today, it has been used increasingly in respect to improving technology to determine some other parameters (ie: chemical properties of water, electrical resistivity, pH, temperature, soil contaminants) in addition to geotechnical properties of soils and detecting soil stratigraphy. The CPT involves pushing a 3.5 cm diameter cone with apex angle of 60° through the underlying soil at a rate of 2 cm/sec while recording tip resistance (q_c), side friction (f_s), pore pressure (u_2) and inclination simultaneously and continuously. The CPT has some advantages, such as low cost, a time saving procedure, continuous recording, high accuracy and repeatability, automatic data logging and having no human effect. In this paper, some of the recent advances in CPT have been given and an example calculation of shear wave velocity with SCPTU has been introduced. The CPT data has been collected using the 200 kN acoustic tracked CPTu system owned and operated by Sakarya University.

Key words: Cone penetration test, innovative measurement techniques, shear wave velocity, electrical conductivity, contaminants.

Özet

Koni Penetrasyon Deneyi (CPT) zemin profilinin ve zemin özelliklerinin hızlı ve ekonomik bir şekilde belirlenmesi amacıyla yapılan bir arazi deneyi olarak uzun zamandır kullanılmaktadır. Deney, Hollanda'da 1930'lu yılların başında, kumlarda inşa edilen kazıkların kapasitesinin belirlenmesi amacıyla geliştirilmiştir. Elektrik koniler 1960'ların başında geliştirilirken, boşluk suyu basıncı ölçümü özelliğinin (CPTu) 1980'lerde eklenmesiyle bu tür yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Standart CPT deneyinde uç açısı 60° olan 3.5 cm çapındaki koni 2 cm/s hızla aşağı doğru itilirken, eş zamanlı olarak uç direnci (q_c), çevre sürtünmesi (f_s) ve boşluk suyu basıncı (u_2) ölçülmektedir. CPT sondasına eklenen mini kamera ile görüntü alınmaya başlanmış, günümüzde çok büyük önem arzetmeye başlamış olan çevre kirliliğine yönelik ölçümler de yapılmaya başlanmıştır. Gerilme ölçen, su basıncı ölçen, kayma dalgası hızı ölçümü yapan, elektriksel iletkenlik, sıcaklık, pH, radyoaktivite ölçen sensörlerin ölçüm sondasına eklenmesiyle CPT deneyi çok kısa zamanda ekonomik sonuçlar veren çok yönlü kullanımı ile diğer arazi deneylerine üstünlük sağlayan bir deney haline gelmiştir. Bu bildiri, deneyin kullanımına ait son teknolojik gelişmeler literatürden derlenmiş ve Sakarya Üniversitesi'nin sahip olduğu 200 kN'luk paletli CPT aletiyle yapılmış kayma dalgası ölçümleri okuyucuya aktarılmıştır.

Anahtar kelimeler: Koni penetrasyon deneyi, gelişen ölçümler türleri, kayma dalgası hızı, elektrik iletkenlik, kirleticiler.

1. Giriş

Zemin incelemesi amacıyla sondajlar sırasında gerçekleştirilen standart penetrasyon deneyi (SPT), yüzyıldan fazla bir süredir barındırdığı bir çok eksiğe ve insan hatasına açık olmasına rağmen, halen Türkiye ve dünyanın bir çok bölgesinde en çok uygulanan arazi deneyidir. Başlangıcından bu yana yapılışında hiç bir değişiklik olmadan süregelen deney, edinilen tecrübe ve deney verisinin geliştirilmiş çok sayıda farklı korelasyonlarda kullanılabilmesi nedeniyle yaygınca uygulanmaya devam etmektedir. Geleneksel yöntem olan sondajlı zemin incelemesinde örselenme en büyük problem olarak ortaya çıkmakta, killer dışında örselenmemiş numune alımı neredeyse mümkün olamamaktadır. Günümüzde, zeminin örselenmesine neden olmadan yapılabilen jeofizik-sismik deneylere talep artmakta ve bu deneyler de sürekli gelişmektedir. Bununla birlikte, özellikle fluviyal kökenli zeminlerde yatay ve düşeyde değişimin çok büyük olması nedeniyle bu yöntemler de zemin kesiti ve özelliklerini belirlemede yetersiz kalmaktadırlar. Koni penetrasyon deneyi (CPT), SPT'den bir kaç on yıl sonra, 1930'lu yılların başında, SPT'ye benzer olarak kumlarda kazık kapasitesinin hesaplanması amacıyla geliştirilmiş, kullanıldığı ilk günden bu güne ilerleyen teknolojiye paralel olarak bir çok yeniliği içine katmış, güvenilir, hızlı ve ekonomik bir arazi deneyidir. Koni penetrasyon deneyi, günümüzde zemin sınıflarının ve zemin profilinin belirlenmesi, yüzeysel temel taşıma gücünün ve kazık kapasitesinin hesaplanması, sıvılaşma analizi vb. bir çok konuda geoteknikçilere hizmet vermektedir.

2. Koni Penetrasyon Deneyinde Gelişmeler

Başlangıçta sadece uç direncini ölçen koniye 1950'li yılların başında sürtünme gömleği eklenerek sürtünme direnci ölçülmeye başlanmış [1], 1980'li yılların başında da boşluk suyu basıncı ölçen transdüşerler eklenmiştir [2, 3]. Böylece zemin cinsine ek olarak zeminin drenajsız kayma direnci, gerilme tarihçesi (OCR), konsolidasyon katsayısı ve ince daneli zeminlerin geçirimsizliği hakkında bilgiler de edinilmeye başlanmıştır. Bunun yanında veri aktarım sistemleri de gelişmiş, veri kablolu sistem yanında akustik yöntem ve radyo dalgalarıyla aktarılmaya başlamıştır.

CPT sondasına eklenen mini kamera ile görüntü alınması, bazılarınca deneyin en büyük eksiği olarak belirtilen numune alınmaması eleştirisine karşılık uygulanmaya başlamıştır. Ayrıca geofon monte edilmiş sismik sonda kullanılarak kuyu içi yöntemiyle kayma dalgası ölçümü yapan sistemler geliştirilerek deneyin etkinliği artırılmıştır. Elektriksel iletkenlik, sıcaklık, pH gibi özellikler de ölçülen parametrelere eklenmiştir. Son yıllardaki gelişmeler ile, CPT'nin zemin kesiti ve zeminlerin fiziksel-mekanik özelliklerinin belirlenmesi yanında çevre geotekniği alanında da kullanımı ortaya çıkmış, CPT sondasına eklenen sensörlerle zemindeki kirleticiler hakkında bilgi elde edinilmeye başlanmıştır.

Standart CPT deneyinde uç açısı 60° olan 3.5 cm çapındaki koni 2 cm/s hızla aşağı doğru itilirken, eş zamanlı olarak uç direnci (q_c), çevre sürtünmesi (f_s) ve boşluk suyu basıncı (u_2) ölçülmektedir. Derinlik ölçümü elektronik olarak yapılırken, tijlerin düşeyden sapması da sürekli olarak gözlenmektedir. Deney sırasında toplanan data eş zamanlı olarak sisteme bağlı olan bilgisayar ekranından takip edilebilmekte ve kayıt altına alınmaktadır. Standart koninin kesit alanı 10 cm^2 , sürtünme yüzey alanı ise 150 cm^2 'dir. Şekil 1'de gösterilen Sakarya Üniversitesi'nin

sahip olduğu akustik yöntemle ölçüm yapan paletli CPT aletinde deney, sondanın ardına vidalanarak eklenen 1 m boyundaki tijlerin hidrolik üniteyle aşağıya itilmesi ile sürdürülürken, 15 m derinliğinde bir sondalama makinesinin ankrajlarla sabitlenmesinden, ankrajların sökülmesine kadar 1 saat kadar zaman almaktadır. Bu aletle iki kişilik bir ekip günde 8-10 sondalama yapabilmektedir. Bu, CPT'nin sondajlı zemin incelemesine göre hızını ortaya koymaktadır.



Şekil 1. Paletli koni penetrasyon deney aleti

Standart koni dışında 15 cm^2 kesit, 200 cm^2 sürtünme alanlı koni, derin ve sert zeminlerde kullanılabilir. Geliştirilen 2 cm^2 kesit, 40 cm^2 sürtünme alanlı mini koni (*CIMCPT*, *continuous intrusion miniature cone penetrometer*) ile de 15 m'ye kadar olan derinliklerde tij ekleme zorunluluğu olmadan sürekli ölçüm yapılabilir [4-6]. 1 ton ağırlığındaki 4 tekerlekli kamyonet üzerine kurulu bir sistemle ölçüm imkanı veren yöntemin 10 cm^2 kesit alanına sahip standart koniye oranla uç dirençlerini %11 daha fazla, sürtünme dirençlerini ise %11 daha az ölçtüğü belirtilmiştir [7].

2.1. Öz direnç ölçümlü koni penetrasyon deneyi (*RCPTU*, *RPCPT*)

1990'lı yılların başından itibaren zeminlerin öz direncinin koni penetrasyon deneyi sırasında ölçülerek zemin kirliliği hakkında bilgi edinilmesine yönelik çalışmalar literatürde yer almaya başlamıştır [8, 9]. *RCPTU* (*the resistivity piezocone*) olarak adlandırılan ölçüm sistemlerinde sondanın arkasına Şekil 2'de örneği görüldüğü gibi iki veya daha fazla elektrot monte edilerek zeminlerin elektriksel öz direnci ölçülebilmekte ve elde edilen değerler referans değerlerle karşılaştırılarak muhtemel kirlenmiş bölgeler tespit edilebilmekte, daha sonra belirlenen bölgelerden alınan numuneler üzerinde kimyasal analiz yapılarak çalışma tamamlanmaktadır. Peixoto ve diğ. (2010), literatürde yayınlanmış referans değerlerin belli bölgelerdeki zeminler için tipik değerler olarak verildiklerini, dolayısıyla bu değerlerin orijinleri farklı diğer bölgelerdeki zeminlerin özelliklerini yansıtmayacağını belirterek yerel özelliklerin önemine dikkat çekmişlerdir [9].

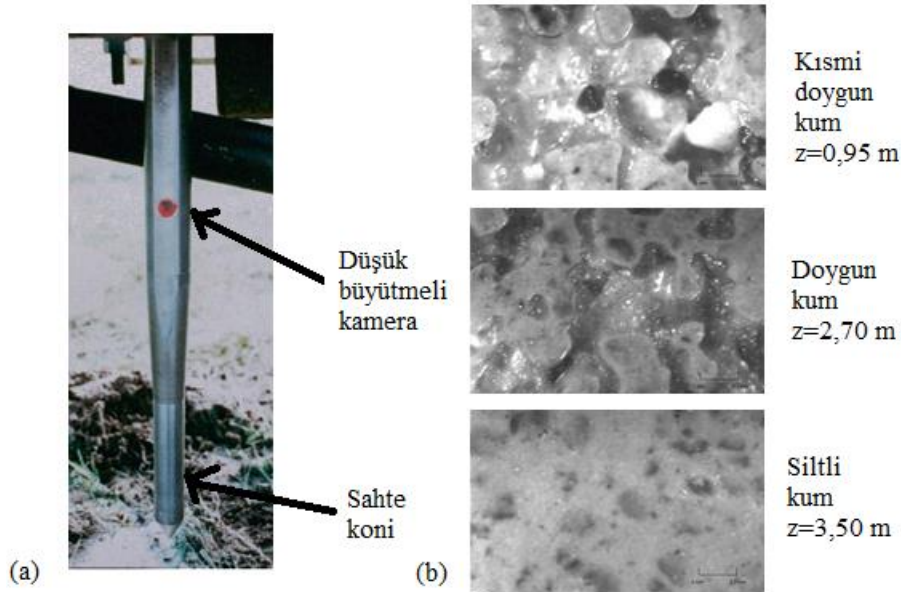


Şekil 2. Özdirenç ölçümü yapan koni aparatı (<http://www.envi.se/Products-Cone-Penetration-Test-CPTu.html>)

Kurup (2009), zemin özdirençinin zemin boşluklarını dolduran sıvı, zemini oluşturan mineraller ve poroziteden etkilendiğini belirtmiş, özellikleri bilinen bir zeminde elektrik özdirençte görülecek ani değişimin muhtemel kirlenmiş bölgeleri gösterebileceğini ifade etmiştir. Buna göre özdirençteki değişim ölçülerek, zemin boşluklarındaki sudan farklı sıvıların, asit kirlenmesinin ve tuzlu suyun varlığı koni penetrasyon deneyi ile belirlenebilecektir [10].

2.2. Görüntülü koni penetrasyon deneyi (VisCPT)

Deney sırasında numune alınamaması bazılarınca klasik sondajlı incelemeye kıyasla deneyin eksikliği olarak ifade edilmektedir. Buna yönelik olarak koni sondası farklı büyütme özelliğine sahip iki adet kamerayla aletlendirilerek deneyin ilerlemesi sırasında sürekli kayıt yapan bir sistem geliştirilmiştir (Şekil 3a) [11, 12].



Şekil 3. Deneye hazır VisCPT ve görüntüler
(Raschke ve Hryciw, 1997; <http://www-personal.umich.edu/~romanh/viscpt/ti-um25.htm>)

Kamera sistemi, ölçüm yapan sondaya monte edilebileceği gibi, sadece görüntü amaçlı kullanılan sistemlerde koni sondası yerine sahte bir sonda da kullanılabilir. Yapılan deneylerde, yüksek plastisiteli zeminler dahil hiç bir zeminde kamera ekranına bir bulaşma-yapışma olmadığı, safir ekranda en ufak bir çizilme olmadığı, böylece zeminlerin yapı ve dokusunu

gösteren görüntülerin net bir şekilde elde edildiği belirtilmiştir. Şekil 3b'de farklı özellikte zeminlerin kamera görüntüsü örnek olarak verilmiştir (<http://www-personal.umich.edu/~romanh/viscpt/ti-um25.htm>). Hryciw ve Ohm (2013), dolgu barajlar ve seddelerde önem taşıyan borulanma olayının VisCPT ile başarılı bir şekilde gözlemlendiğini belirtmişlerdir [13].

2.3. Koni penetrasyon deneyinin geoteknik ve çevre geotekniğinde kullanımına örnekler

Son bir kaç on yıldır koni penetrasyon sondasına farklı özellikteki sensörlerin eklenmesine yönelik çalışmalar hızla artmaktadır. Zemin yoğunluğunun, su muhtevasının, pH değerinin ve sıcaklığın belirlenmesine yönelik sensörler, sıvılaşma potansiyelinin tespiti için titreşim ünitesi bunlara örnek olarak verilebilir [7].

Zemin kirlenmesine yönelik çalışmalardan birinde Lieberman ve diğ. (1991), petrol hidrokarbonlarının tespiti amacıyla LIF-CPT (*Laser Induced Fluorescence-Cone Penetrometer*) sistemini geliştirmişlerdir. Sistemde lazer kaynaktan zemine gönderilen kızılötesi ışınların, zemindeki PAH (*polycyclic aromatic hydrocarbon*) varlığını ortaya çıkardığı, zeminde olmaları durumunda bu tip hidrokarbonlardan yayılan floresan ışığın yüzeydeki algılayıcılara fiber optik kablo vasıtasıyla gönderildiği ve algılayıcıların kirlenme tipini tespit ettikleri, ayrıca sistemin floresan ışığı yaymayan kirlenmelerde (*chlorinated hydrocarbons*) kullanılmadığı belirtilmektedir [14].

Christy (1996), zemin içindeki uçucu organik bileşiklerin buharlarını koni içindeki bir tüp yardımıyla yüzeydeki analitik alete taşıyan bir sonda (*MIP, The membrane interface probe*) geliştirmiştir [15]. Sistemde koni yüzeyine monte edilmiş ince geçirgen bir membran, koninin aşağıya ittirilmesi sırasında 120 °C'ye kadar ısınmakta, bu da zemindeki olası uçucu kirlenmelerin membrandan geçmesini sağlamaktadır. Tüp vasıtasıyla verilen saf hava da kirlenmeye ait buharı yukarıdaki algılayıcılara ulaştırmaktadır. Yapay sinir ağları ve koni penetrasyon teknolojisini birleştiren bir çalışmada, gaz, sıcaklık ve nem algılayıcılar kullanılarak bir elektronik burun ortaya konmuştur (*EN-MIP, Electronic Nose-Membrane Interface Probe*) [16, 17]. Sistem, kimyasal kirlenmeleri tanıyacak şekilde eğitilip CPT sistemi ile birlikte kullanılabilir. Christy (1996) tarafından geliştirilen sistem, Kurup ve Issac (2005) tarafından geliştirilen elektronik burunla birlikte çalışabilmektedir [16]. Kurup (2006), ABD'de benzinle kirlenmiş bir alanda EN-MIP sistemiyle yürütülen çalışmada test yapılan 6 farklı derinlikten ikisinde farklı derecede kirlenmenin başarıyla tespit edildiğini belirtmiştir [7].

3. Sismik Koni Penetrasyon Deneyi (SCPTU, SPCPT)

Sismik koni penetrasyon deneyinde, koni arkasına yerleştirilen geofonlar yardımıyla kayma dalgası hızları ölçülebilmektedir [18]. Sonda arkasındaki alıcıdan gelen kablo tijlerin içinden geçerek veri toplayıcıya ulaşmaktadır (Şekil 4). Kayma dalgası hızının belirlenmesi amacıyla deney sırasında belli derinliklerde durulur ve zemin yüzeyindeki rijit metal levhaya balyozla yatay bir vuruş yapılarak kayma dalgası oluşturulur. Data kaydı balyozun metal plakaya teması ile başlar ve kayma dalgasının kaynaktan alıcıya geliş zamanı durulan her derinlikte kaydedilir.

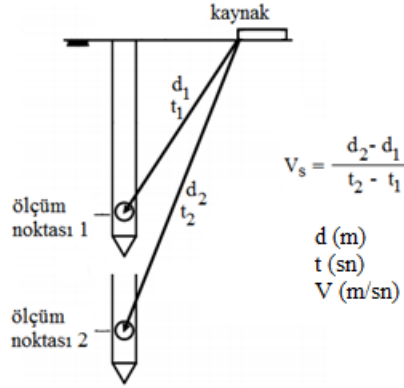
Kayma dalgasının farklı tabakalarda geçerken kırılması ihmal edilirse kayma dalgası hızları

$$V_s = \frac{d_2 - d_1}{t_2 - t_1} \quad (1)$$

şeklinde hesaplanabilir (Şekil 5). Çalışılan bölgede daha önceden yapılmış CPT deneyi varsa, kayma dalgası hızı ölçümü için durulacak derinlikler zemin kesitine bakılarak kararlaştırılabilir. Tabakalanmanın çok fazla olduğu durumlarda ölçüm aralıkları 30 cm'ye kadar düşürülerek olası zayıf tabakalar yakalanabilir. Geleneksel jeofizik ölçümlerinden farklı olarak SCPT ölçümlerinde zemin kesitinde karşılaşılan her bir katmanın kayma dalgası hızını belirlemek mümkün olmaktadır.



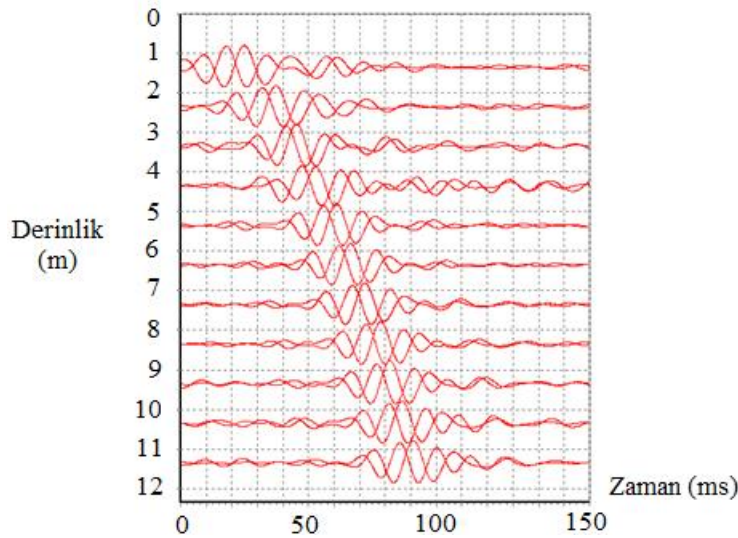
Şekil 4. Sismik koni penetrasyon deneyi



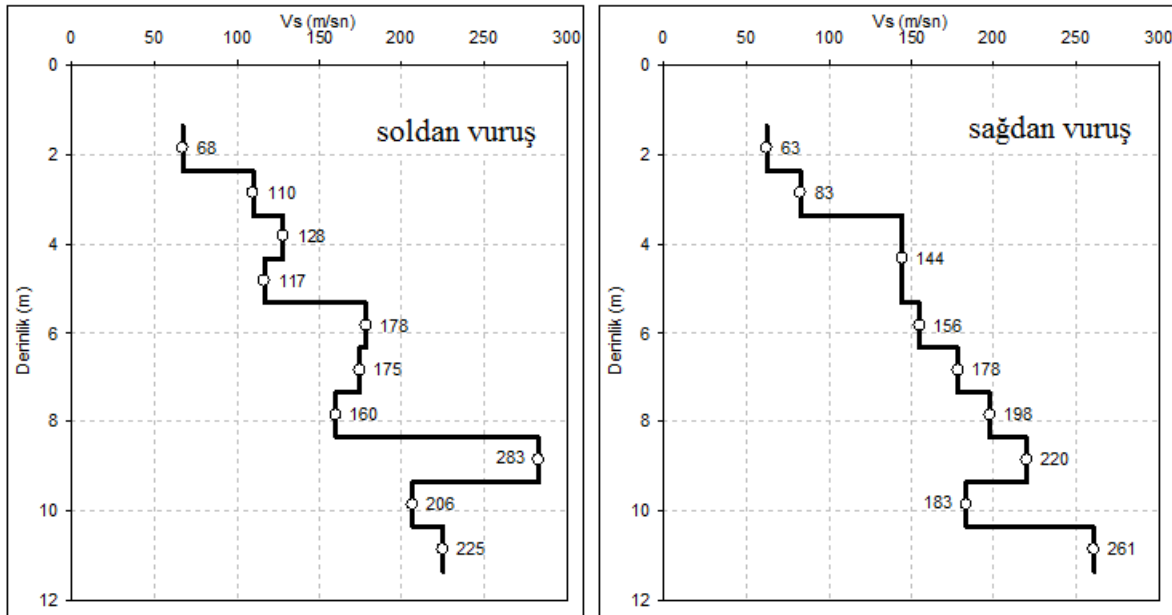
Şekil 5. Sismik koni penetrasyon deneyinde kayma dalgası hızı hesaplanması

Özocak ve diğ. (2004), Adapazarı kent merkezinde 30 ayrı sitede koni penetrasyon deneyi sırasında yapılan 200 civarında ölçüm sonucunda ortalama kayma dalgası hızlarının kil ve siltlerde 125 m/sn, kumlarda 200 m/sn ve çakıllarda 325 m/sn olduğunu ortaya koymuşlardır [19].

SAÜ (2012) tarafından Adapazarı'nda 400 yataklı bir hastane inşaatına yönelik zemin incelemesinde 11 adet sondalama yapılmış, bunlardan ikisinde (SCPTU-10 ve SCPTU-11) kayma dalgası hızları koni penetrasyon deneyi sırasında ölçülmüştür [20]. Koninin aşağıya doğru itilmesi sırasında 1 m aralıklarla (SCPTU-11'de 1.35 m'den başlayarak her 1 m ilerlemede) durularak Şekil 4'te gösterildiği gibi soldan ve sağdan balyoz vuruşları ile oluşturulan sismik dalgalar koni ardındaki alıcıya ulaşmış ve bilgisayar belleğine kaydedilmiştir. Kayma dalgası hızlarını hesaplamak için SCPT-ANALYS bilgisayar yazılımı kullanılmıştır. Şekil 6'da SCPTU-11 için herbir derinlikte zamana bağlı kayma dalgası kaydı, Şekil 7'da ise sol ve sağdan vuruşlar için SCPTU-11 noktasında derinlik boyunca değişen kayma dalgası hızları grafiği verilmiştir.



Şekil 6. Zamana bağlı kayma dalgası hızları kaydı (SCPTU-11)



Şekil 7. SCPTU-11 sondasında kayma dalgası hızının derinliğe göre değişimi

Elde edilen ortalama kayma dalgası hızları ise Tablo 1 ve 2'de özetlenmiştir. SCPTU-10 noktasında kesit boyunca üst 7 metrede ortalama kayma dalgası hızının 120 m/sn, 7-9 metreler arasında 240 m/sn ve 20 metreye kadar ise ortalama kayma dalgası hızının 170 m/sn olduğu görülmektedir. Bu değerler, çalışma alanının anakayanın yüzeye yakın olduğu bu bölgesinde zemin kalitesinin derinlikle yukarıda özellikleri belirtilen Adapazarı zeminlerinde görülmeyen bir şekilde artış gösterdiğini ortaya koymuştur.

Tablo 1. SCPTU-10 sondasında elde edilen ortalama sismik sonuçları

| Derinlik (m) ⇒ | 1.78 | 2.78 | 3.78 | 4.78 | 5.78 | 6.78 | 7.78 | 8.78 | 9.78 | 10.78 | 11.78 | 12.78 | 13.78 | 14.78 | 15.78 | 16.78 |
|-------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Hız, v_s (m/sn) | 241 | 107 | 129 | 126 | 117 | 100 | 237 | 243 | 130 | 180 | 168 | 203 | 191 | 158 | 161 | 176 |

Tablo 2. SCPTU-11 sondasında elde edilen ortalama sismik sonuçları

| Derinlik (m) ⇒ | 1.85 | 2.85 | 3.85 | 4.85 | 5.85 | 6.85 | 7.85 | 8.85 | 9.85 | 10.85 |
|-------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| Hız, v_s (m/sn) | 66 | 97 | 128 | 131 | 167 | 177 | 179 | 252 | 195 | 243 |

Bu sonuçlar, koni penetrasyon deneyinin zemin özelliklerinin derinlik boyunca farklılık göstermesi durumunda bu farklılıkları ortaya koyabileceğini teyit etmektedir.

Sonuç

Klasik uç direnci, çevre sürtünmesi ve boşluk suyu basıncı ölçümlerine ek olarak son yıllarda özellikle çevre kirlenmesinin tespitine yönelik sensörlerin sondaya eklenmesiyle yapılan çalışmalar koni penetrasyon deneyini diğer arazi deneyleri arasında ön plana çıkarmaktadır. Deney sırasında sürekli kayıt yapan kamera sistemleri deney sırasında numune alınmaması eleştirisini ortadan kaldıracak gibi görünmektedir. Kayma dalgası hızı ölçümlerinin de koni penetrasyon deneyi sırasında yapılabilmesi, hem farklı tabakaların özelliklerini hassas bir şekilde ortaya koyması hem de zaman ve işgücü tasarrufu sağlaması açısından kayda değerdir.

Kaynaklar

- [1] Begemann HKS. Improved method of determining resistance to adhesion by sounding through a loose sleeve placed behind the cone. Proceedings of the Third International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, ICSMFE, Zurich, 1953, 1:213-217.
- [2] Baligh MM, Azzouz AS, Wissa ZAE, Martin RT, Morrison JJ. The Piezocone Penetrometer. Cone Penetration Testing and Experience, Ed: Norris RM and Holtz RD, ASCE, New York, NY, pp: 247-263, 1981.
- [3] Tümay MT, Boggess RL, Acar Y. Subsurface investigation with piezocone penetrometer. Proc., ASCE National Convention, St. Louis, MO, 1981, pp: 325-342.
- [4] Kurup PU, Tümay MT. Calibration of a miniature cone penetrometer for highway applications. Transportation Research Record No. 1614: In Situ Testing Devices and Strain Measurements, 1998, pp: 8-14.
- [5] Tümay MT, Kurup PU. Development of a continuous intrusion miniature cone penetration test system for subsurface explorations. Soils and Foundations, 2001, 41:6:129-138.
- [6] Yoon S, Tümay MT. Field application of continuous intrusion miniature CPT system in South Korea. Proceedings of the Second International Symposium on Cone Penetration Testing, 2010, Huntington Beach, California, Paper no: 1-12.
- [7] Kurup PU. Innovations in cone penetration testing. Proc., GeoShanghai2006, Site and Geomaterial Characterization, Eds: Puppala-Fratta-Alshibli-Pamukcu. 2006, pp: 48-55.
- [8] Campanelle RG, Weemees IA. Development and use of an electrical resistivity cone for groundwater contamination studies. Canadian Geotechnical Journal, 1990, 27:5:557-567.
- [9] Peixoto ASP, Pregolato MC, Silva ACCL, Yamasaki MT, Conte Junior F. Development of an electrical resistivity measure for geotechnical and geoenvironmental characterization. Proceedings of the Second International Symposium on Cone Penetration Testing, 2010, Huntington Beach, California, Paper no: 1-09.

[10] Kurup PU. Novel technologies for sniffing soil and ground water contaminants. *Current Science*, 2009, 97:8:1212-1219.

[11] Raschke SA, Hryciw RD. Vision cone penetrometer (VisCPT) for direct subsurface soil observation. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Eng.*, 1997, 123:11:1074-1076.

[12] Hryciw RD, Shin S. Thin layer and interface characterization by VisCPT. *Proceedings of the Second Int. Conference on Site Characterization (ISC'2)*, 2004, Porto, Portugal, pp. 701-706.

[13] Hryciw RD, Ohm HS. Soil migration and piping susceptibility by the VisCPT. *Proc. of ASCE Geo-Congress 2013-Stability and Performance of Slopes and Embankments III, Geotechnical Special Publication No. 231*, 2013, pp: 192-195.

[14] Lieberman SH, Theriault GA, Cooper SS, Malone PG, Olsen RS, Lurk PW. Rapid, subsurface, insitu field screening of petroleum hydrocarbon contamination using laser induced fluorescence over optical fibers. *Proceedings of the Second Int. Symposium on Field Screening Methods for Hazardous Wastes and Toxic Chemicals*, Las Vegas, NV, 1991, pp: 57-63.

[15] Christy TM. A drivable permeable membrane sensor for detection of volatile compounds in soil. *Tenth National Outdoor Action Conference and Exposition: Aquifer Remediation*, Las Vegas, NV, 1996, pp: 169-177.

[16] Kurup PU, Issac B. A novel technology for sniffing subsurface contaminants. *Proceedings of the Sixteenth International Conference in Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*, Osaka, Japan, 2005, pp: 1-4.

[17] Kurup PU, Issac B. An electronic nose-membrane interface probe for sniffing subsurface contaminants. *Proceedings of the Seventh International Symposium on Field Measurements in Geomechanics*, 2007, pp: 1-12.

[18] Robertson PK, Campanella RG, Gillespie D, Rice A. Seismic CPT to measure in situ shear wave velocity. *Journal of Geotechnical Engineering*, 1986, 112:8:791-803.

[19] Özocak A, Bol E, Arel E, Sert S. Kuyu içi yöntemi ile ölçülen kayma dalgası hızlarının sondaj verileri ile karşılaştırılması, *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği 10. Ulusal Kongresi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2004, sf: 253-360.

[20] SAÜ. Geoteknik Rapor, 2012.

<http://www.envi.se/Products-Cone-Penetration-Test-CPTu.html> (Erişim: 20.04.2014)

<http://www-personal.umich.edu/~romanh/viscpt/ti-um25.htm> (Erişim: 20.04.2014)