

ERZİNCAN'DA DİNAMİK ZEMİN ÖZELLİKLERİNİN KUYU İÇİ SİSMİK YÖNTEMLER İLE BELİRLENMESİ

DETERMINATION OF DYNAMIC SOIL PROPERTIES IN ERZINCAN BY IN-HOLE SEISMIC MEASUREMENTS

Recep İYİSAN¹ ve Atilla ANSAL²

SUMMARY

Erzincan is located on a deep alluvial deposit layer formed with debris materials transported from the Fırat River and mountains around. Following on March 13, 1992 Erzincan earthquake, a detailed site investigation were carried out utilizing Standard Penetration Test (SPT), Cone Penetration Test (CPT), and seismic wave velocity measurements were performed by using Down-Hole and Cross-Hole techniques in cased and grouted nine bore holes for determining the dynamic soil properties. In this study the shear wave velocity variation with SPT-N value and CPT q_c tip resistance were studied and correlations between shear wave velocity and N and q_c values were established.

The SPT-N values that are greater than 120 and less than 1 were not taken into account but, on the other hand, SPT-N values for all kinds of soils were included in the regression analysis without any correction. A correlation with high regression coefficient between SPT-N and shear wave velocity were obtained. In comparison with this study previous correlations rather underestimate values of shear wave velocity for N value over 20 blows. This difference is most likely due to the variation in SPT techniques incorporated and gravelly nature of soil layers. Since q_c values are measured with depth at interval of few centimeters, the average of q_c values were used in the establishing correlation between shear wave velocity and CPT q_c tip resistance.

ÖZET

Bu çalışmada 13 Mart 1992 tarihinde Erzincan'da deprem sonrası yapılan kapsamlı zemin araştırmaları sırasında uygulanan Aşağı Kuyu (Down-Hole) ve Karşıt Kuyu (Cross-Hole) kuyu içi sismik yöntemleri ile ölçülen dalga hızları kullanılarak zemin kesitinde yer alan tabakaların özellikleri bulunmaya çalışılmış, sismik dalga hızlarının Standart Penetrasyon Deneyi (SPT) N darbe sayısı ve Koni

¹ Arş.Gör., İ.T.Ü., İnşaat Fakültesi, Maslak, İstanbul

² Prof.Dr., İ.T.Ü., İnşaat Fakültesi, Maslak, İstanbul

Penetrasyon Deneyi (CPT) uç mukavemeti q_c ile değişimi incelenmiş ve bunlar arasında bazı korelasyonlar elde edilmiştir.

GİRİŞ

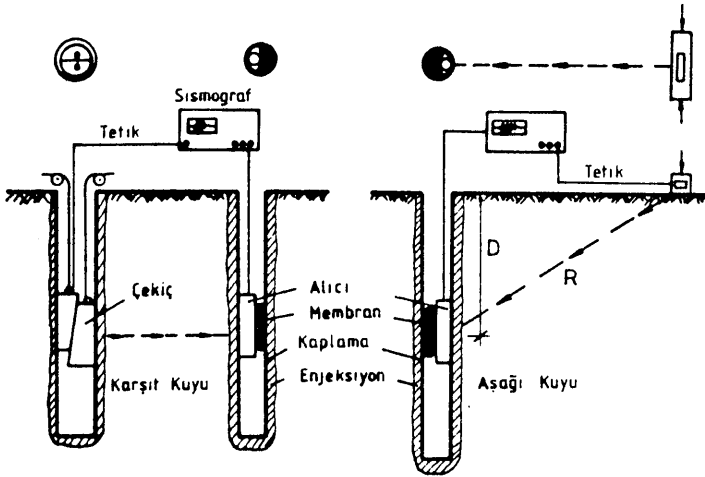
Deprem gibi sismik yüklemeler sırasında meydana gelebilecek yapısal hasara etki eden faktörlerden biri de zemin kesitinde yer alan tabakaların davranışı olmaktadır. Deprem özelliklerine göre zemin tabakalarının davranışı da farklı olmakta sönümlendirici etkisinin yanında, gelen dalgaları dolayısı ile deprem kuvvetlerini arttırıcı rol de oynamaktadır.

Hızlı şehirleşmenin sonucu olarak ortaya çıkan yüksek katlı yapılarda, yeni yapılaşmaya açılacak deprem riski taşıyan alanlarda, depreme dayanıklı bina tasarımında zemin-yapı ilişkisini incelemekte zemin tabakalarının dinamik özelliklerinin yeterli derinliğe kadar daha detaylı olarak belirlenmesi gerekmektedir. Ayrıca yerleşim bölgelerinde demiryolu ve otoyol gibi dinamik yüklerden geçici olarak etkilenen yapıların inşaatı, olması muhtemel titreşimlerin ve zemin yapılarının dinamik özellikleri içeren problemlerin çözümü mühendislik açısından yine zeminlerin dinamik davranış özelliklerinin belirlenmesini gerektirir. Bu amaçla geliştirilmiş laboratuvar deney tekniklerinin yanı sıra, doğal koşullarda deney yapabilme imkanı, deney numunesine gereksinim duyulmaması ve bulguların daha geniş alanda kullanılabilir olması arazi deneylerini de bir çok önemli projelerde tercih sebebi yapmaktadır.

Dinamik zemin özelliklerini bulmada kullanılan ve sismik yöntemler olarak bilinen bu deney teknikleri, zeminlerin elastik davranış gösterdikleri küçük deformasyon genliklerinde elastik dalga üretilmesini ve dalga varış zamanlarından hızların bulunmasını içermektedir. Herhangi bir ortamda dalga yayılma hızı ortamın fiziksel özelliklerine bağlı olduğundan, gözlenen ve yorumlanan sismik dalgalar zeminlerin dinamik davranış ile çalışmalarda önemli bilgiler içermektedir. Zemin kesitinde yer alan tabakaların dalga yayılma hızları bilinirse zemin davranışını gösteren diğer parametreler bu hızlara bağlı olarak bulunabilmektedir.

KUYU İÇİ SİSMİK YÖNTEMLER

Mühendislik uygulamalarında dinamik zemin özelliklerinin arazide bulunmasında yaygın olarak kullanılan deney teknikleri Karşıt Kuyu (Cross-Hole) ve Aşağı Kuyu (Down-Hole) yöntemleridir. Kuyu içi sismik yöntemler olarak anılan bu deney teknikleri, Şekil 1'de görüleceği üzere bir noktadan üretilen dalganın bilinen mesafelerde bir yada daha fazla alıcıya ulaşması için gerekli zamanın bulunmasını içermektedir. Karşıt Kuyu yönteminde zemin içinde bir kaynaktan üretilen sismik dalganın aynı



Şekil 1. Kuyu İçi Sismik Yöntemler

derinlikte alıcılara yatay olarak ulaşması için geçen süre ölçülmekte ve yatay uzaklıklar belirlendikten sonra dalga hızları bulunmaktadır. Aşağı Kuyu'da ise zemin yüzeyinde üretilen dalganın kuyu içinde bilinen derinlikteki alıcıya yaklaşık dikey olarak gelmesi için gerekli zaman ölçülmekte, direkt zaman-derinlik grafiğinden hızlar tespit edilmektedir.

Her iki yöntemin de arazide uygulanabilmesi için düşey doğrultuda açılmış, kaplaması ve enjeksiyonu yapılmış sondaj kuyusu, dalga üretecek bir kaynak, uygun yerleşimde alıcı, sürekli kayıt yapabilen bir kaydedici, doğru zamanlama için tetikleme (trigger) sistemi ve deneyimli arazi ekibi gerekmektedir. Karşıt Kuyu yönteminin uygulanabilmesi için uygun mesafelerde açılmış en az iki sondaj kuyusuna ihtiyaç vardır.

Aşağı Kuyu yönteminde basınç (P) dalgası üretmek için zemin yüzeyine yerleştirilmiş bir plakaya düşey, kayma (S) dalgası için herhangi bir taraftan yatay olarak vurulması yeterli olurken, Karşıt Kuyu'da özellikle S-dalgası üretmekte bazı zorluklar bulunmaktadır. Bunun için kuyu içinde sismik dalgalar yaratmakta kullanılan, tersine çevrilebilen ve tekrarlanabilen kuyu içi çekiçleri geliştirilmiştir. Kuyu içi yöntemlerde S-dalga kayıtlarının tersine çevrilmiş darbeler ile üretilen dalgalardan ayrı ayrı alınması, kayıtların yorumlanmasında S-dalgasının tanınması bakımından kolaylık sağlamaktadır. Bu durumda S-dalgası darbe yönüne bağlı olarak polarize olurken P-dalgası aynı kalmaktadır [1]. Ortam içinde yayılan sismik dalgaların cinsleri, parçacık hareket yönü dalga yayılma yönü ile karşılaştırıldığında belli olmaktadır. Yayılma yönü, parçacık hareketi ile aynı ise hacim değişikliği yaratır ve P-dalgası olarak ortaya çıkar. Bu iki yön birbirine dik olduğunda hacim değişmesine neden olmayan ancak şekil değişmesi yapan, yatay ve düşey yönde polarize olabilen S-dalgası oluşmaktadır. Bu nedenle başarılı bir ölçüm yapılabilmesi, alıcıların kuyu içinde uygun yerleşimde olmasına bağlıdır [2]. Aşağı ve Karşıt

Kuyu gibi sismik metodlar kullanımları sırasında zeminde yarattıkları deformasyon seviyeleri bakımından, küçük deformasyon genlikli ölçümler olmakta ve genellikle arazide en büyük elastik modülleri (G_{maks}) saptamakta kullanılmaktadır [3].

ERZİNCAN'DA ARAZİ DENEYLERİ

13 Mart 1992 tarihinde Erzincan depreminden sonra bölgede başlatılan geniş kapsamlı zemin araştırmaları çerçevesinde kentin çeşitli yerlerinde sondajlar açılmış, Standart Penetrasyon (SPT) deneyleri ve Koni Penetrasyon (CPT) deneyleri yapılmış örselenmiş ve örselenmemiş numuneler alınmıştır. Açılan sondaj kuyularının 9 tanesinde kuyu içi sismik deneyler uygulanmıştır.

Zemin Koşulları

Erzincan, Fırat Nehri tarafından ve etrafını çevreleyen dağların yamaçlarından erozyonla taşınmış malzemelerin istiflenmesinden oluşan kalın bir alüvyon tabakasının meydana getirdiği bir havza içinde yer almaktadır. Bu havza içinde farklı kalınlıklarda ince ve kaba daneli zemin tabakaları kesitte ardışık olarak bulunmaktadır. Bu yapı içerisinde farklı seviyelerde ve kalınlıklarda düşük plastisiteli siltli yer yer kumlu ve çakıllı kil-killi silt (CL/ML), siltli çakıllı kum yada kumlu çakıl (GM/GC, GW-GP, SM/SC, SP/SM) tabakaları bulunmaktadır. Derinlik boyunca farklılıklar gösteren zemin yapısı aynı seviyelerde yatayda ve birbirine yakın kesimlerde de farklılıklar göstermektedir.

Sismik Deneyler

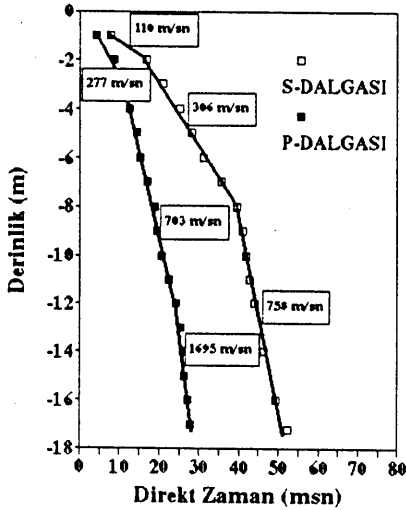
Açılan sondajlardan uygun görülenleri kaplanarak Aşağı Kuyu ve Karşıt Kuyu yöntemleri ile sismik dalga hızları ölçülmüştür. Deneylerde alıcı olarak, kauçuk bir tüp yardımı ile 86 mm çapa kadar genişleyebilen, tabii frekansı 28 Hz olan üç bileşenli kuyu içi jeofonu kullanılmıştır. Kayıtlar 12 kanallı sismograf ile güneş ışığına hassas yüzeyli kağıt üzerine alınmıştır. Aşağı Kuyu yönteminde sismik dalga üretmek için, üzerine sismografıta kayıtları başlatacak tetikleme sistemi monte edilmiş ve kuyudan yaklaşık 3 m uzaklıkta zemin yüzeyine yerleştirilmiş bir plaka kullanılmıştır. P-dalgası üretmek için bu plakaya düşey yönde, S-dalgası için ise yatay yönde darbe uygulanmıştır. Deneylerde ölçüm aralıkları 1-3 m seçilmiş ve her ölçüm derinliğinde yeteri kadar kayıt alınmıştır. Alınan kayıtların değerlendirilmesi ile alıcı kaynak arası mesafede dalganın varış zamanları bulunmuştur. Karşıt Kuyu yönteminde hızlar, kuyular arası mesafenin bu zamanlara bölünmesinden elde edilirken, Aşağı Kuyuda ise ölçülen zamanlardan;

$$t_d = D \cdot T / R \quad (1)$$

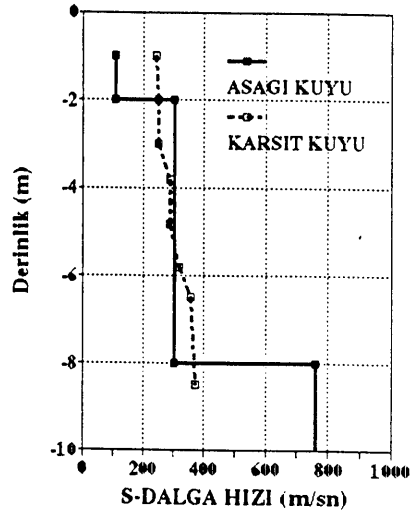
bağıntısı yardımı ile direkt zamanlar hesaplanmakta ve derinlik-direkt zaman grafiklerinden geçirilen en uygun doğrunun yada doğruların

eğiminden hızlar bulunmaktadır. Yukarıdaki bağıntıda t_d direkt zamanı, D alıcının kuyu içinde bulunduğu derinliği, R alıcı-kaynak arası mesafeyi, T bu mesafede dalganın hareket zamanını göstermektedir.

Bu ölçümlere bir örnek olması açısından 18 m derinliğinde, kaplanmış bir sondaj kuyusunda uygulanan Aşağı Kuyu deney sonuçlarını gösteren grafik Şekil 2’de verilmiştir. Hem S-dalga hem de P-dalga ölçümlerini içeren bu grafikte deney noktalarından geçirilen doğrular yardımı ile elde edilen hız profili, bir karşılaştırma yapılabilmesi bakımından Karşıt Kuyu yönteminden bulunan hız profili ile birlikte Şekil 3’de gösterilmiştir. Bu bölgede kayma dalgası hızı $V_s=306$ m/sn, basınç dalgası hızı $V_p=703$ m/sn bulunmuş ve yaklaşık 2-10 m arasında yer alan zemin tabakası için bu değerler kullanılarak kayma modülü $G_{maks}=1670$ kg/cm², Poisson oranı $\mu=0.38$ olarak hesaplanmıştır.



Şekil 2. Aşağı Kuyu Deney sonucu



Şekil 3. Hız Profili

Erzincan ilinin çeşitli yerlerinde uygulanan sismik deney sonuçlarından ortalama olarak kayma dalgası hızları, genelde yüzeyden 8-12 m. derinlikte yer alan zayıf çimentolaşmış, bloklu, sıkı yerleşimdeki çakıl tabakası için 460-750 m/sn, bu tabaka üstündeki killi, siltli kum ve kumlu silt-kil serileri için 110-400 m/sn olarak elde edilmiştir.

DİĞER ARAZİ DENEYLERİ VE SİSMİK DALGA HIZLARI

Daha öncede sözü edildiği üzere Erzincan'da geniş kapsamlı zemin araştırmaları sırasında CPT ve SPT deneyleri de yapılmıştır. Bu başlık altında sismik deneylerden bulunan dalga hızlarının bu deneylerden elde edilen sonuçlar arasındaki ilişki incelenecektir.

SPT-Sismik Dalga Hızları

Açılan sondaj kuyuları içinde yapılan Standart Penetrasyon Deneyi (SPT) pratik amaçlarda zemin özelliklerini bulmada kullanılan önemli bir metoddur. Bu deney sonucunda elde edilen N darbe sayısına bağlı olarak zemin cinsine göre çeşitli parametreler için bir çok korelasyonlar mevcuttur. Kayma dalgası hızı ile N değeri arasında da bu tür bağıntılar geliştirilmiştir. Amerika'da yapılan bir çalışmada Karşıt Kuyu yöntemiyle ölçülen kayma dalgası hızı ve N arasında ;

$$V_s = 100.5 * N^{0.29} \quad (\text{m/sn}) \quad (2)$$

şeklinde, korelasyon katsayısı %84 olan bir bağıntı elde edilmiştir [5]. Tüm zemin grupları ve bu zeminlerde uygulanan SPT deneylerinden elde edilen N değerleri ile Japonya'da yapılan çalışmalarda ise

$$V_s = 89.8 * N^{0.341} \quad (\text{m/sn}) \quad (3)$$

bağıntısı verilmekte ve aynı N değerinde kil zeminlerde, kumlu zeminlere oranla daha yüksek S-dalga hızı gözlemlendiği işaret edilmektedir [6].

Erzincan'da sismik deneylerin uygulandığı kuyularda yapılan SPT deneyi N darbe sayıları ile kayma dalgası hızı arasındaki ilişki Şekil 4'de görülmektedir. SPT-N darbe sayılarında herhangi bir düzeltmeye gidilmeden ve karşılaşılan tüm zemin cinsleri için yapılan bu regresyon analizi sonucunda korelasyon katsayısı %80 olan aşağıda verilen bağıntı elde edilmiştir.

$$V_s = 58.5 * N^{0.51} \quad (\text{m/sn}) \quad (4)$$

SPT deneyinden elde edilen sonuçların kullanılabilirliği onun standardına uygun olarak yapılmasına bağlıdır. Ağırlığın tam ölçüsünden düşürülmemesi ve uygulamada otomatik tetikleme, kedibaşı, elle serbest düşürme, makara gibi değişik ağırlık düşürme yöntemlerinin kullanılması farklı enerji kayıplarına neden olduğundan deneyi etkileyen faktörlerdir. Yukarıdaki bağıntılarda görülen farkın SPT deneyinin yapılışından kaynaklandığı düşünülmektedir.

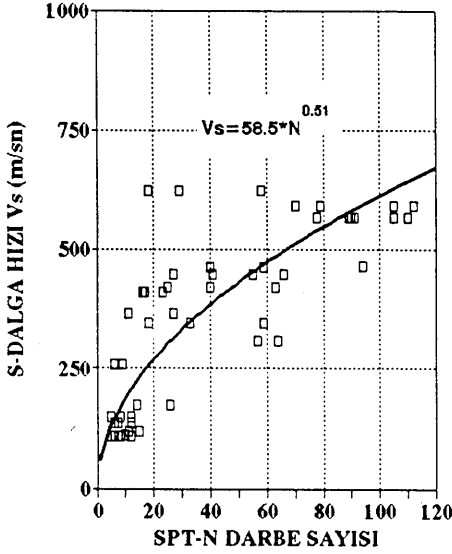
CPT-Sismik Dalga Hızları

Bilindiği üzere CPT deneyi, 60 derecelik, 10 cm² kesit alana sahip konik bir başlığın hidrostatik bir basınç ve sabit bir hızla zemin içine itilerek toplam ve uç okumaları alınarak yapılmaktadır [7]. Bu deneyden elde edilen q_c uç direncinden S-dalga hızına geçilen bağıntılar da geliştirilmiştir. Amerika'da yapılan böyle bir çalışmada q_c , kg/cm² biriminde olmak üzere korelasyon katsayısı %78 olan aşağıdaki ilişki verilmektedir [5].

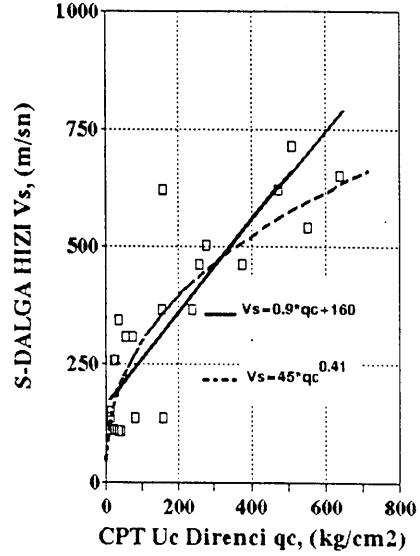
$$V_s = 0.52 * q_c + 134 \quad (\text{m/sn}) \quad (5)$$

$$V_s = 54.8 * q_c^{0.29} \quad (\text{m/sn}) \quad (6)$$

Erzincan'da yapılan CPT deneylerinde q_c uç direnci her 20 cm de bir okuma alınarak bulunmuştur. Bu yüzden sismik deneylerden elde edilen hız profilinde, aynı tabaka içinde aynı hız farklı q_c değerleri karşı gelmektedir. Bu durumda Şekil 5'de görüldüğü gibi zemin kesitinde yer alan ve ortalama bir hızı sahip tabaka içinde, ortalama bir q_c değeri alınarak kayma dalgası arasında doğrusal ve doğrusal olmayan ilişkiler araştırılmış ve yapılan regresyon



Şekil 4. N- V_s ilişkisi



Şekil 5. q_c - V_s ilişkisi

analizinde korelasyon katsayıları %81 olan aşağıdaki bağıntılar elde edilmiştir.

$$V_s = 0.9 * q_c + 160 \quad (7)$$

$$V_s = 45 * q_c^{0.41} \quad (8)$$

Bağıntılarda q_c , kg/cm² cinsinden CPT uç direnci, V_s ise m/sn olarak kayma dalgası hızıdır.

SONUÇ

Deprem gibi dinamik yükler altında zemin tabakalarının davranışını ve zemin yapı etkileşimini tahmin etmek için dinamik zemin özelliklerinin yeterli derinliğe kadar bilinmesi gerekmektedir. Bu özellikler arazide, kuyu içi sismik yöntemler ile dalga hızı ölçülerek daha detaylı bir şekilde bulunabilmektedir. Bu çalışmada kuyu içi sismik yöntemleri ile yapılan ölçümlerden hız profilleri bulunmuş, kayma dalgası hızı ve diğer arazi deneyleri arasında bir ilişki kurulmaya çalışılmıştır.

SPT-N darbe sayısı ve kayma dalgası hızı arasında verilen bağıntı, sismik deneylerin uygulandığı sondaj kuyularında yapılan deneylerden tüm zemin grupları için elde edilen N değerlerini içermektedir. Böyle bir korelasyonda sismik ölçüm teknikleri, zemin cinsi, derinlik ve yeraltı su seviyesi gibi faktörler eldeki sınırlı sayıdaki veri sebebi ile dikkate alınmamıştır. Bu yüzden N darbe sayısı S-dalga hızında önemli değişikliklere işaret etmekle birlikte oldukça yüksek korelasyon katsayısı bulunmuştur.

Sabit hıza sahip bir tabaka içinde aynı hıza değişik CPT uç direnci karşı geldiğinden, qc-Vs ilişkisinde ortalama uç değerleri dikkate alınmıştır. Bulunan bağıntılar önceki çalışmalar ile karşılaştırıldığında daha büyük Vs değeri vermektedir. Bunun sebebi arazide uygulanan deney tekniklerinin farklılıklarından ve kullanılan veri sayısından kaynaklanmakta olduğu düşünülmektedir. Kayma dalgası hızını tahmin etmekte faydalı olan bu bağıntılar arazi sismik ölçümlerinin yerine kullanılmamalıdır. Bununla birlikte bu korelasyonlar arazi sismik deney programı yapmakta, daha az önemli projelerde pratik amaçlarda oldukça yararlı olmaktadır.

TEŞEKKÜR

Erzincan Projesi kapsamında, bu çalışmanın yapılmasına sağladığı olanak ve katkılarından dolayı İ.T.Ü. Yapı ve Deprem Uyg-Ar Merkezi Müdürü Sayın Prof.Dr.Remzi Ülker'e teşekkür ederiz. Bu araştırmada kullanılan deney sistemi İ.T.Ü. Araştırma Fonunca desteklenen bir proje çerçevesinde geliştirilmektedir.

KAYNAKLAR

- 1.İyisan,R., Ansal,A.(1991) "Kayma Dalgası Hızlarının Arazide Bulunması", Türkiye İnşaat Mühendisliği XI. Teknik Kongresi Bildiriler Kitabı, Cilt 1, ss.576-587, İstanbul.
- 2.Hoar,R.J.(1982) "Dinamik Analiz için Sismik Dalga Hızı ve Sönüm Arazî Ölçümleri",Ph.D. Tezi, Uni. of Texas, Austin, (İngilizce)
- 3.StokoeII,K.H., Mok,Y.J., Lee,N., Lopez,R.(1989) "Arazî ölçüm Yöntemleri: Son Gelişmeler ve Uygulamalar", Conferenze Di Geotecnica Di Torino XIV Ciclo, Torino (İngilizce)
- 4.Hoar,R.J.,StokoeII,K.H.(1978) "Arazide Kayma Dalgasının Üretilmesi ve Ölçülmesi",Dynamic Geotech.Testing,ASTM,STP-654,pp.3-29 (İngilizce).
- 5.Sykora,D.W., StokoeII,K.H. (1983) "Kayma Dalgası Hızı, Zemin Özellikleri ve Arazî Koşulları ile Kumlarda Yapılan Arazî Ölçümlerinin Korelasyonu", Geotechnical Engineering Report GR83-33, The University of Texas at Austin, pp.159-247, USA (İngilizce).
- 6.Imai,T., Fumoto,H., Yokota,K.(1976) "Japonya'da Zemin Tabakalarının P ve S Dalga Hızları", Urawa Research Institute, OYO Corporation, RP-460, pp.1-13, Tokyo (İngilizce).
- 7."Dinamik ve Statik Penetrometreler Alman Standartları", DIN 4094 (1974), Berlin.