SİSMİK KONİK PENETRASYON TESTİ (SCPT) İLE ZEMİN DİNAMİK ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ VE ARALARINDAKİ İLİŞKİNİN İSTATİSTİKSEL YORUMU: ESKİŞEHİR ÖRNEĞİ

M. Tün[1]

[1] *Araştırma Görevlisi, Yer ve Uzay Bilimleri Enstitüsü, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir*
Email: mtun@anadolu.edu.tr

ÖZET:

Ülkemizde meydana gelen depremlerde, ölçülen kuvvetli yer hareketi miktarlarının, yerel zemin koşullarına bağlı olarak farklılık gösterdiği bilinmektedir. Özellikle, düşük hızlı ve yumuşak zeminlerin dinamik özelliklerinin belirlenmesi, depreme güvenli yerleşim alanlarının seçilmesi bakımından önemlidir. Bu çalışmada, Eskişehir yerleşim yeri kent merkezinde, yeni alüvyon biriminin geoteknik ve dinamik özellikleri arasındaki ilişkinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda 40 farklı noktada Sismik Konik Penetrasyon Testi (SCPT) uygulanmıştır. SCPT kullanılarak, q_c, R_f, V_s değerleri ölçülmüştür. Her bir ölçüm noktası, mekansal konumlarıyla ilişkilendirilmiş ve Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) tekniklerinden yararlanılarak yorumlanmıştır. Elde edilen ölçüm değerlerinden, (Robertson, 1986)'a göre zemin sınıflaması yapılmış ve kayma dalgası hızı (Vs) ile olan ilişkisi araştırılmıştır. Sonuç olarak, konik ucu zemin içerisine itmek için gerekli olan kuvvet miktarına bağlı uç direnç "q_c" (MPa) değeri ve zeminin yanal yüzeyi boyunca sıkıştırma kuvveti miktarına bağlı yanal sürtünme "f_s" (MPa) değerlerinin, ölçülen Vs hızı ile arasında beklenen yüksek ilişki oranları yorumlanmıştır.

ANAHTAR KELİMELER: Mühendislik sismolojisi, S-dalgası hızı (V_s), SCPT, CBS.

1. GİRİŞ

Ülkemizde ve dünyada meydana gelen depremler sonucu yerleşim alanlarını etkileyen kuvvetli yer hareketleri meydana gelmektedir. Bölgede meydana gelen depremin yüzeyde oluşturduğu bu deformasyon miktarı, ivme ölçer cihazları kullanılarak ölçülmekte ve yerel zemin etkisi (site effect) olarak ifade edilmektedir. Bu etki nedeniyle yer yüzeyinde meydana gelen deformasyon biçimleri, yer bilimci araştırmacılar tarafından jeolojik yapı ve geoteknik zemin özellikleriyle ilişkilendirilmiştir. Anakaya üzerinde yer alan tabakaların yerel kayma dalga hızı, sediman kalınlığı ve sığ geoteknik zemin koşulları, zeminlerde meydana gelebilecek olası büyütme potansiyelinin belirlenmesinde kullanılan değişkenlerdir.

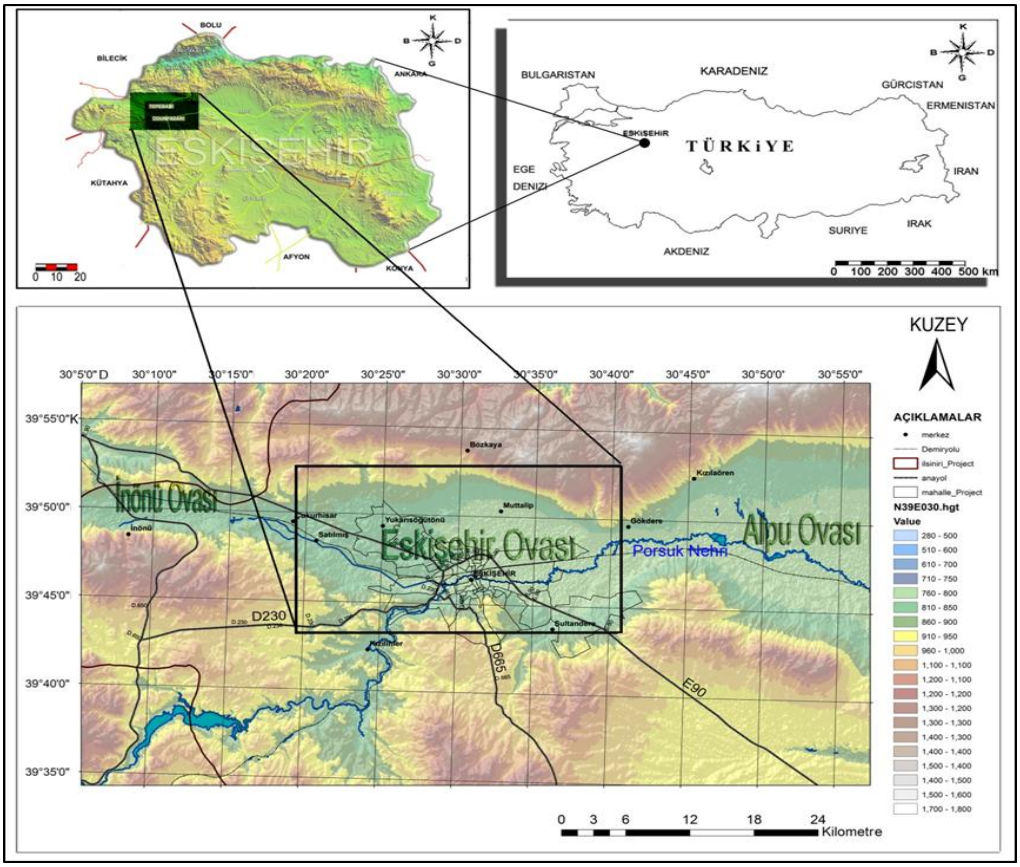
Çalışma alanı olarak seçilen Eskişehir kent merkezinde, 20 Şubat 1956'da, 6.4 büyüklüğünde, meydana gelen depremde 2819 yapı hasar görmüştür. 17 Ağustos 1999 Kocaeli (Mw:7.4) depreminde, Eskişehir kent merkezinde 86 kişi hayatını kaybetmiş ve 95 kişi yaralanmıştır. 70 konut-işyeri ağır hasar görmüş, 1 bina deprem anında, 4 bina depremden sonra yıkılmıştır. Eskişehir kent merkezine yaklaşık uzaklığı 130 km olan 1999 Kocaeli depreminin bu ölçüde hasar meydana getirme nedeni halen araştırılmakta olan bir konudur. Bu çalışma kapsamında, hasarların en önemli nedenlerinden biri olarak görülen yerel zemin etkisinin belirlenmesinde kullanılan sığ geoteknik zemin özellikleri arasındaki ilişkinin yorumlanması amaçlanmıştır. Alüvyon zemin özelliklerinin belirlenmesi ve kayma dalga hızı (Vs) ölçülmesinde Sismik Konik Penetrasyon Testi (SCPT) kullanılmıştır. SCPT, tek bir sondajda iki veya daha fazla tekniğin birleştirilmesiyle optimize edilmiş veri toplamayı sağlayan geoteknik testlerden biridir. SCPT'den elde edilen zemin parametreleri ile kayma dalgası

hızı (Vs) arasında beklenen ilişkinin, istatistiksel yaklaşımlarla yorumlanması ve sığ yer yapısı geoteknik zemin parametreleri kullanılarak Vs hızının teorik olarak hesaplanmasına çalışılmıştır.

Yapılan çalışmada, yerleşimin yoğun olduğu Tepebaşı ve Odunpazarı ilçesi sınırları içindeki alüvyon zemin üzerinde 40 farklı noktada uygulanan SCPT'den 245 farklı seviye için; uç direnç (q_c), yanal sürtünme (f_s), boşluk suyu basıncı (u) değerleri yanı sıra kayma dalga hızı (V_s) değerleri ölçülmüştür. Elde edilen bu parametreler kullanılarak, aynı katmanlara ait sürtünme oranı (R_f) ve katmanların Robertson vd. (1986)'ne göre zemin sınıfları hesaplanmıştır. Ölçülen uç direnç ve makaslama dalgası hızının, belirlenen sürtünme oranı ve zemin türlerinin tanımlayıcı istatistiksel analizi yapılmıştır. Tüm değişkenlerin en düşük ve en yüksek değerleri ile, aritmetik ortalama, standart sapma ve varyans değerleri elde edilmiştir. Değişkenlerin olasılık dağılım modelleri incelenmiş ve uyumlu olduğu modeller belirlenmiştir.

2. ÇALIŞMA ALANININ JEOLOJİK ÖZELLİKLERİ

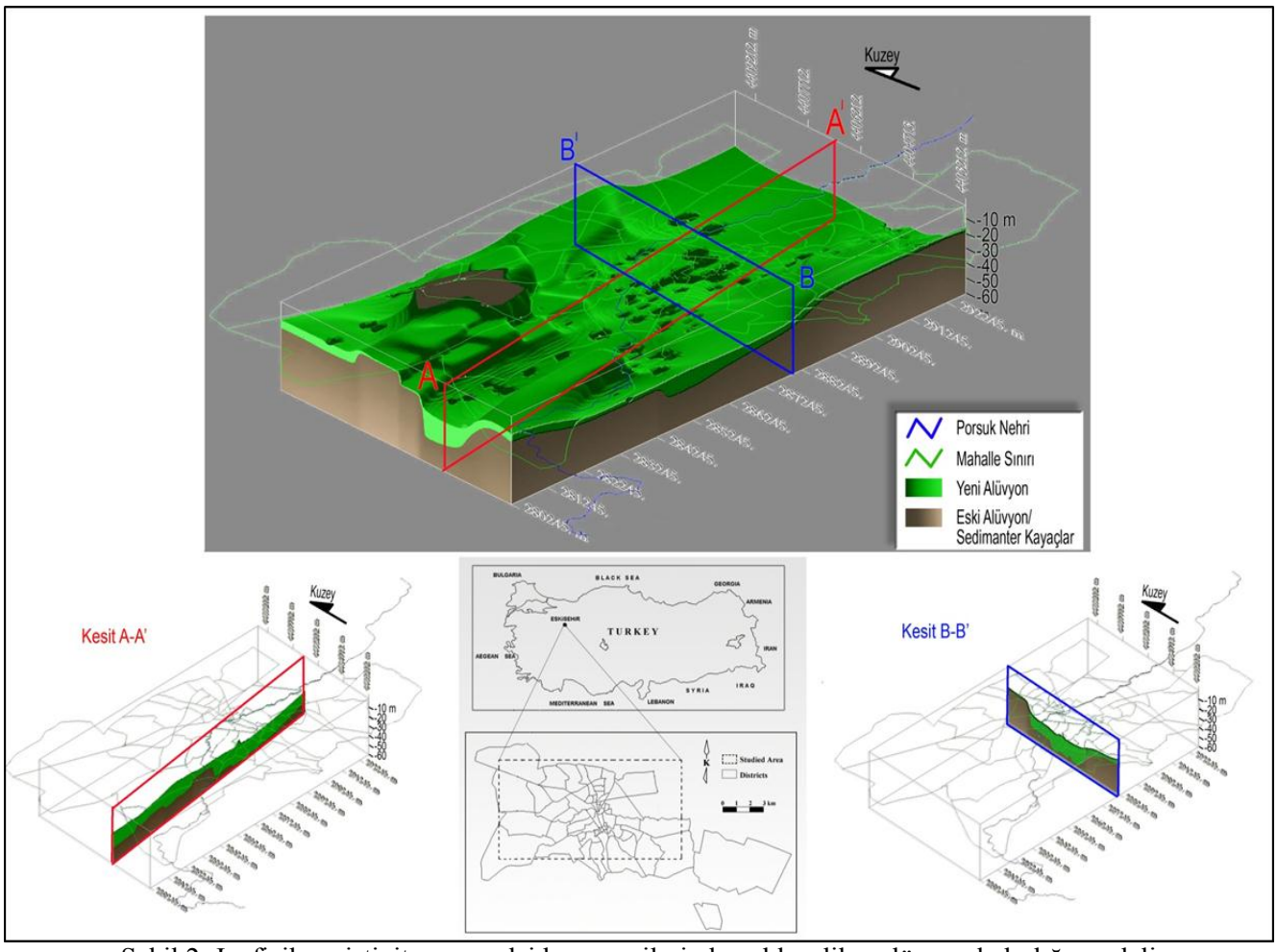
Çalışma alanının kuzeyinde ve güneyinde bulunan yükseltilere karşın, yerleşim yerinin yoğun olduğu orta kesimde düzlükler egemendir. Eskişehir ovası olarak adlandırılan bu ova, doğuda Alpu Ovası'na ve batıda İnönü ovasına açılır. Şekil 1'de siyah renkli çerçeve içine alınarak gösterilen Eskişehir Ovası, doğu-batı yönlü 35 km, kuzey-güney yönlü 20 km'lik bir alanı içine almaktadır. Eskişehir Ovası'nın doğuda Gökdere'ye doğru hızla daraldığı ve ardından daha dar bir kuşak halinde Alpu Ovası'na doğru uzandığı görülmektedir.



Şekil 1. Eskişehir Ovası'nın Konumu ve sayısal yükseklik modelini (SYM) gösteren harita (SYM için SRTM "Shuttle Radar Topography Mission" verileri kullanılmıştır)

İnceleme alanının en büyük akarsuyu Porsuk Nehri'dir. Bu nehir çalışma alanına güney-batıdan girerek, doğudan çıkmaktadır. Bugünkü morfolojisini Neotektonik dönemde kazanan Eskişehir bölgesinin, morfolojik gelişimi, yapı ve litoloji tarafından kontrol edilmektedir. Doğu-batı gidişli fayların etkisiyle, aynı yönde uzanan doruklar ve çöküntü ovaları oluşmuştur. Eskişehir ve İnönü ovaları bunun en tipik örnekleridir (Ölmez ve Yücel, 1985). Eskişehir ovasının jeolojik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla günümüze kadar birçok çalışma ve derleme yapılmıştır (Esen ve diğ., 1976 ; Gözler ve diğ., 1985 ; Ölmez ve diğ., 1986 ; Ölmez ve Yücel, 1985 ; Yıldırım ve Gürsoy, 1985 ; Sarıız ve Oruç, 1989 ; Ocakoğlu ve diğ., 2005, Tosun ve diğ., 2011) . Bu çalışmalara göre, Eskişehir ili sınırlarında bulunan formasyonlar; gençten yaşlıya doğru, Alüvyon, Akçay Formasyonu, Ilıca Formasyonu, Porsuk Formasyonu, Mamuca Formasyonu ve Karkın Formasyonu' dur.

Bu çalışmada 40 adet SCPT, Eskişehir yerleşim alanının büyük bir kısmını içine alan yeni alüvyon olarak tanımlanan litolojik birim üzerinde yapılmıştır. Yeni alüvyon olarak adlandırılan bu birim (Ölmez ve Yücel, 1985), başta Porsuk Çayı olmak üzere civarda bulunan akarsuların taşıyıp getirdiği çimentolanmamış çakıl, kum, silt ve kil boyutunda malzemeden oluşmuştur. Gevşek tutturulmuş çakıl ve kum tanelerinden oluşan alüvyonal oluşumlar 10-50 m kalınlığına sahiptir (Azdiken ve Çatalyürekli, 2001 ; Ölmez ve diğ., 1986 ; Sevinçli ve Çatalyürekli, 2001 ; Yücel, 1986). Önceki çalışmalardan elde edilen sonuçlar kullanılarak, alüvyon kalınlığının 10-25 m arasında değiştiği, kuzeydoğuya doğru gidildikçe Porsuk Çayı'nın fazla malzeme depolaması ile diğer yerlere göre 10-15 m kalınlığından 15-25 m kalınlığa kadar ulaştığı belirlenmiştir (Şekil 2) (Tün, 2003).

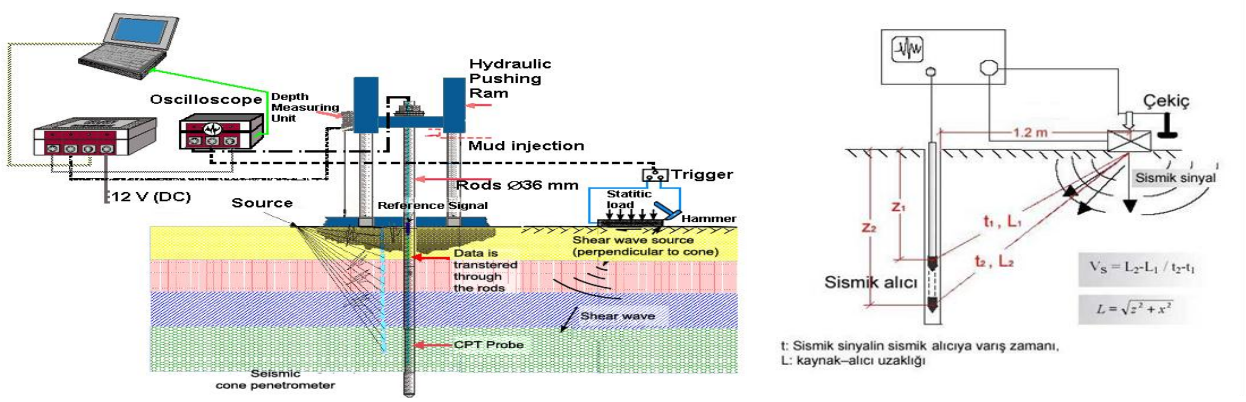


Şekil 2. Jeofizik rezistivite ve sondaj kuyu verilerinden elde edilen alüvyon kalınlığı modeli

3. ZEMİN PARAMETRELERİNİN ELDE EDİLMESİ

Geoteknik zemin özelliklerinin belirlenmesi, zemin sınıflaması ve kayma daga hızının ölçülmesi amacıyla SCPT uygulanmıştır (Tün, 2003). SCPT tek bir sondajda iki veya daha fazla tekniğin birleştirilmesiyle optimize edilmiş veri toplamayı sağlayan geoteknik testlerden biridir.

Sismik konik penetrasyon testinde kesit alanı 1000 mm^2 ve konik uç açısı 60° olan silindirik sismik konik penetrometre, 20mm/s'lik sabit hızla zemine itilmektedir. Bu süreç sırasında; konik uç direnci (q_c), yanal sürtünme (f_s), boşluk suyu basıncı (u) ve istenilen aralıklarda kayma dalga hızı (V_s) ölçülmektedir. Elde edilen q_c ve f_s değerleri u'ya bağlı olarak düzeltilerek q_t ve f_t değerleri elde edilmektedir (Larsson, 1995). Deney düzeneği Şekil 3'de verilmiştir.



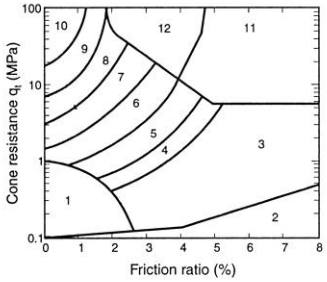
Şekil 3. SCPT deney düzeneği.

Sürtünme oranı (R_f) CPT'de dolaylı olarak elde edilen ve yorumlamada doğrudan kullanılan bir parametredir.

$$R_f\ (\%) = (f_t / q_t) * 100 \qquad (1)$$

eşitliği ile ifade edilir (Larsson, 1995).

Bu çalışma 245 katmanın zemin davranış tipi Robertson vd. (1986)'nin önerdiği sınıflama sistemi kullanılarak belirlenmiştir (Şekil 4). SCPT'de 2 cm aralıkla veri alınabilmektedir. Bu çalışmada zemin davranış tipinin belirlenmesinde sonuçların daha anlaşılır ve/veya kullanılabilir olması amacıyla kalınlığı 10 cm'nin altındaki katmanlar filtrelenmiştir.



Zone:	Soil Behaviour Type:				
1.	Sensitive fine grained	5.	Clayey silt to silty clay	9.	Sand
2.	Organic material	6.	Sandy silt to clayey silt	10.	Gravelly sand to sand
3.	Clay	7.	Silty sand to sandy silt	11.	Very stiff fine grained*
4.	Silty clay to clay	8.	Sand to silty sand	12.	Sand to clayey sand*

* *Overconsolidated or cemented.*

Şekil 4. SCPT verisine bağlı Robertson vd. (1986)'nin önerdiği zemin sınıflama sistemi.

SCPT uygulamalarında sismik veri, sismik konik penetrometre içerisindeki sismometre tarafından yüzeyde oluşturulan makaslama dalgası sinyalinin algılanması ile elde edilir. Yüzeyde oluşturulan sinyalin farklı seviyelerdeki izleri bandpass filtre kullanılarak filtrelenir ve sismik kayıt alınan seviyeler arasındaki kayma dalga hızı (V_s) hesaplanır (Campanella vd., 1989). Bu çalışmada, toplam 245 farklı seviyeden sismik kayıt alınmıştır. 245 katmana ait tüm veri (q_c, R_f, V_s) zemin davranış türüne (Robertson vd.,1986) göre gruplandırılmıştır.

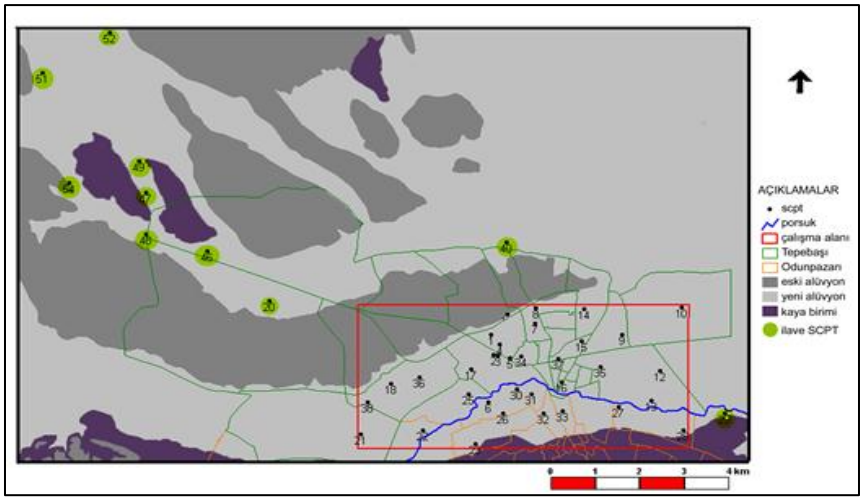
SCPT uygulaması, standart bir CPT konik ucuna sismik algılayıcının eklenmesi ile elde edilen SCPT probu ile yapılır (Şekil 5.a). Sismik ölçümün sayısal veri olarak kaydı; sismometre tarafından algılanan sismik sinyalin, uygulamanın yapıldığı derinlikten, tijler içerisinden geçirilen sismik kablo vasıtasıyla sayısal ortama aktarılması ile sağlanır (Şekil 5.b). Sismik enerji yüzeyde yatay doğrultuda yerleştirilmiş metal levhaya 10 kg ağırlığında balyozun yatay doğrultuda vurulması ile oluşturulmuştur. Bu işlem 1 m aralıklar ile tekrarlanarak ara hızlar hesaplanmıştır.

(a) (b)

Şekil 5. (a) SCPT'de kullanılan konik ucun bölümleri (b) Sismik kablosunun hazırlanması ve kontrol ekranı

3.1. Uygulama Yerleri

Veri analizinde kullanılmak üzere toplam 32 adet SCPT ve bu çalışma sonucunda elde edilen istatistiksel ilişki fonksiyonlarının doğruluk analizinin yapılması amacıyla da 8 adet SCPT yapılmıştır (Şekil 6) (Tün 2003).



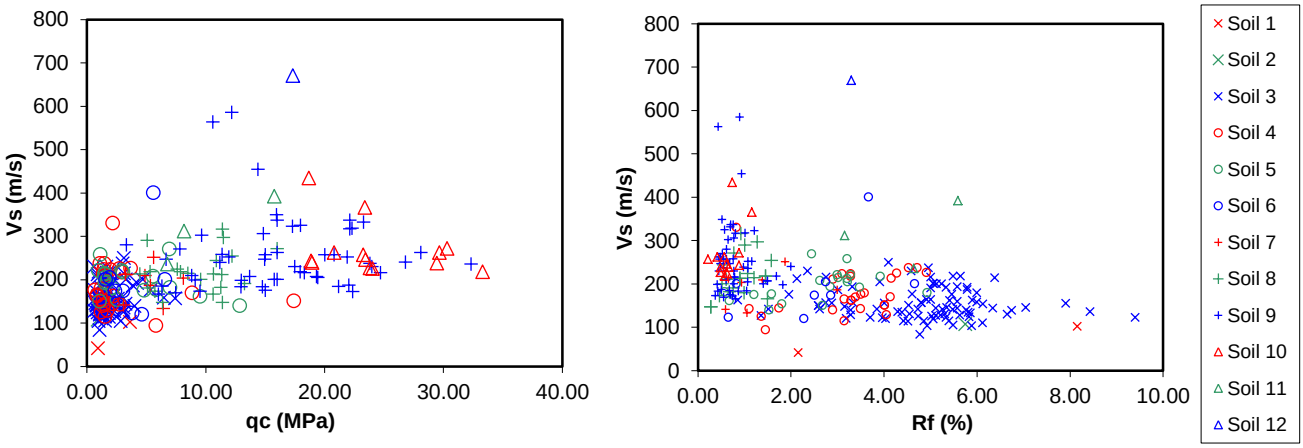
Şekil 6. İstatistiksel analizde kullanılan SCPT uygulama noktaları

4. BULGULAR

Çalışma kapsamında, yeni alüvyon birimi üzerinde, uygulama derinliği 7-13 m aralığında değişen 40 farklı noktada uygulanan SCPT sonucunda, 245 farklı seviye için ortalama konik uç direnci (q_c), yanal sürtünme (f_s), boşluk suyu basıncı (u) ve istenilen aralıklarda kayma dalga hızı (V_s) değerleri ölçülmüştür.

4.1. Tanımlayıcı İstatistiksel Değerlendirmeler

Farklı zemin türlerine ait q_c ve V_s değerleri aralarında ilişki olup olmadığının belirlenmesi için bu değerler x – y eksenine göre işaretlendiğinde, noktaların dağılımları arasında ilişki bulunmadığı, r değerinin 0.63 (log.) olduğu belirlenmiştir (Şekil 7.a). Farklı zemin türlerine ait R_f – V_s verilerinin ilişkisi incelendiğinde ise, veriler arasında bir ilişki bulunmadığı, r değerinin 0.46 (eksp.) olduğu görülmüştür (Şekil 7.b).



(a) (b)

Şekil 7. (a) Farklı zemin türlerinin uç direnç (q_c) – makaslama dalgası hızı (V_s) ilişkisi (r=0.63, log.). (b) Farklı zemin türlerine ait sürtünme oranı (R_f) – makaslama dalgası hızı (V_s) ilişkisi (r= 0.46, exps.).

Farklı zemin birimlerindeki 245 farklı katmandaki bu ilişkiler ayrı ayrı uygulandığında tüm zemin türleri için q_c–V_s ilişkisinin r değeri < 0.66 (log.), R_f – V_s ilişkisinin r değeri < 0.47 (exps.) olarak belirlenmiştir. Her farklı zemin türü için uç direnç, sürtünme oranı ve kayma dalga hızı parametrelerinin en düşük ve en yüksek değerleri kullanılarak aritmetik ortalamaları alınmıştır (Tablo 1).

Tablo 1. Farklı zemin türlerinin uç direnç (q_c), sürtünme oranı (R_f) ve makaslama dalgası hızı (V_s) parametrelerinin aritmetik ortalaması.

Zemin türü	q_c				R_f				V_s			
	N	En düşük	En yüksek	Ort.	N	En düşük	En yüksek	Ort.	N	En düşük	En yüksek	Ort.
1	1	0,91	0,91	0,91	1	2,2	2,16	2,160	2	42	127	84
2	1	0,89	0,89	0,89	1	8,2	8,16	8,160	1	102	102	102
3	91	0,6	7,4	1,89	91	0,9	9,40	4,790	87	84	250	156
4	26	0,65	14,7	2,74	26	0,8	4,92	3,350	26	94	237	177
5	20	0,93	12,8	3,75	20	0,6	4,93	2,620	19	140	270	193
6	8	1,57	6,54	3,66	8	0,8	4,66	2,636	7	120	205	173
7	9	2,58	9,51	5,41	9	0,5	3,00	1,184	7	123	251	176
8	22	4,44	16	9,63	22	0,3	1,58	0,910	21	147	316	218
9	50	3,32	32,3	16,4	50	0,4	2,00	0,830	49	147	349	241
10	13	18,7	33,3	24,45	13	0,2	1,16	0,644	13	218	434	268
11	3	6,76	15,8	10,22	3	3,2	5,59	4,460	2	312	236	274

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

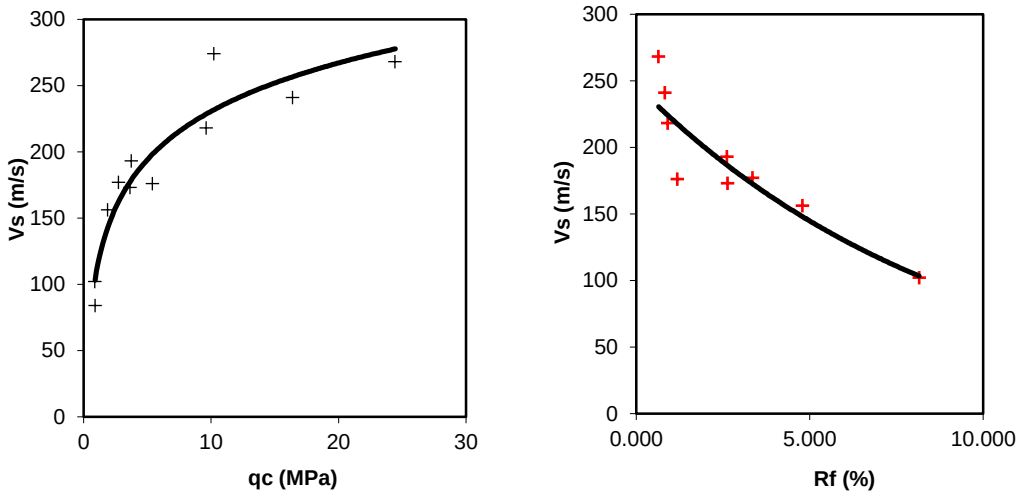
Her farklı zemin sınıfı için bulunan ortalama q_c, R_f ve V_s değerleri kullanılarak elde edilen grafiklere göre ilişki araştırıldığında (q_c–V_s ve Rf–V_s) değişkenler arasında yüksek ilişki olduğu belirlenmiştir. q_c–V_s ilişkisi incelendiğinde korelasyon katsayısı r=0.95 (log.) olarak belirlenmiş ve ilişki fonksiyonu olarak;

$$Vs=52,674.\ln(q_c)+109,29 \quad (2)$$

logaritmik fonksiyonu elde edilmiştir (Şekil 8.a). R_f – V_s ilişkisi incelendiğinde korelasyon katsayısı r=0.93 (exps.) olarak bulunmuş ve ilişki fonksiyonu;

$$Vs=246,91.e^{-0,1068.Rf} \quad (3)$$

olarak üstel fonksiyon elde edilmiştir (Şekil 8.b).

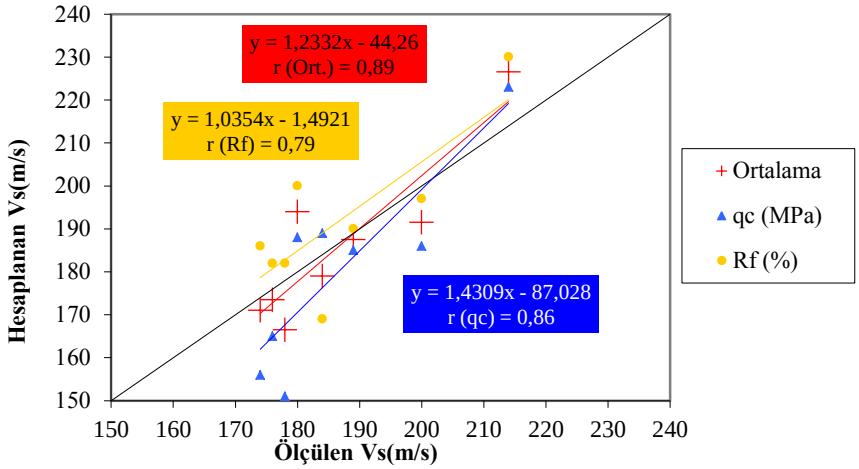


(a) (b)

Şekil 8. (a) Uç direnç (q_c) - makaslama dalgası hızı (V_s) ilişkisi (r=0.95, log.). (b) Sürtünme oranı (R_f) - makaslama dalgası hızı (V_s) ilişkisi (r=0.93, exps.).

r=0.93 katsayısının elde edilmesinde 1 ve 11 no'lu zemin türlerinden elde edilen ortalama değerler kullanılmamıştır. Bunun nedeni, bu zemin türlerine ait verilerin azlığıdır. Robertson vd. (1986) sınıflandırmasına göre 1 no'lu zemin hassas özelliğe sahip ince taneli zemin türü ve 11 no'lu zeminin ise, çok sıkı çimentolanmış ince taneli zemin türü olarak tanımlanmıştır. Belirtilen bu zemin türleri çalışılan yerde yok denecek kadar az bulunmaktadır. Bu nedenle bu zemin türlerine ait veriler istatistiksel analizde kullanılmamıştır.

Yöntemin sınanması için seçilen 8 farklı noktada belli derinliklerde SCPT yapılarak (Şekil 6), $(V_s)_g$ değerleri ve standart CPT parametreleri olan q_c ve R_f değerleri ölçülmüştür. Sonuç olarak, q_c ve R_f değerlerinden hesaplanan $(V_s)_b$ değerleri ile ölçülen $(V_s)_g$ değerleri karşılaştırılmıştır. Elde edilen karşılaştırma sonuçları Şekil 9'da verilmiştir. Sahada ölçülen (Vs)g hızının, qc parametresinden hesaplanan $Vs_{(qc)}$ hızından yüksek, Rf parametresinden hesaplanan $Vs_{(Rf)}$ hızından ise düşük olduğu görülmüştür. Bundan sonraki çalışmalarda ileri istatistiksel analiz yöntemleri kullanılarak elde edilen sonuçlar daha deytaylı yorumlanmaya çalışılacaktır.



Şekil 9. Ölçülen (Vs)g değerleri ile qc ve Rf'den hesaplanan (Vs)b değerleri arasındaki ilişki grafiği.

6. KATKI BELİRTME

Bu çalışma Anadolu Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Biriminin 000401 numaralı projesi ile desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

Azdıken, S. ve Çatalyüreklı, E. 2001. Eskişehir Odunpazarı Belediyesi Jeofizik Rezistivite Etüt Raporu. DSİ III. Bölge Müdürlüğü.

Esen, E., Yakal, M., Gökçen, M., Mumcu, N., Türkman, M., Dırık, M. Ve Çuhadar, G., 1976. Eskişehir ve İnönü Ovaları Hidrojeoloji Haritası. T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı DSİ Jeoteknik Hizmetler ve Yeraltısuları Dairesi Başkanlığı.

Gözler, M. Z., Cevher, F. ve Küçükyaman, A., 1985. Eskişehir ve Civarının Jeolojisi ve Sıcak Su Kaynakları.
Larsson, R., 1995. The CPT test. Swedish Geotechnical Institute, 77p.

Ocakoğlu, F., Altunel, E. Ve Yalçıner, Ç., 2005. Eskişehir bölgesinin neotektonik dönemdeki tektono-stratigrafik ve sedimantolojik gelişimi. Final Raporu. Osmangazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu: Osmangazi Üniversitesi.

Ölmez, E. ve Yücel, B., 1985. Eskişehir ve Yöresinin Jeotermal Enerji Olanakları. Enerji Hammadde Etüd ve Arama Dairesi Başkanlığı: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü.

Ölmez, E., Demırel, Z. ve Uzel, Ö. F., 1986, Eskişehir Es-1 Ve Es-2 Sıcaksu Sondajları Kuyu Bitirme Raporu. Enerji Hammadde Etüd ve Arama Dairesi: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü.

Robertson, P.K., Campanella, R.G., Gillespie, D., and Grieg, J., 1986. Use of piezometer cone data. Proceedings, In-situ'86, ASCE Specialty Conference, Blacksburg, VA.

Sarıiz, K. ve Oruç, N., 1989. Eskişehir Yöresi'nin Jeolojisi ve Jeotermal Özellikleri. Anadolu Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Dergisi, C.V, S.2, 59-81.

Sevinçli, T. ve Çatalyüreklı, E., 2001. Eskişehir Tepebaşı Belediyesi Jeofizik Rezistivite Etüt Raporu. DSİ III. Bölge Müdürlüğü.

Tosun, H., Seyrek, E., Orhan, A., Savas, H., Türköz, M., 2011. Soil liquefaction potential in Eskisehir, NW Turkey. Nat. Hazards Earth Syst. Sci, 11, 1071-1082.

Tün, M., 2003. Eskişehir Zemininin Makaslama Dalgası Hızı (Vs) Değişimine Bağlı Özelliklerinin İncelenmesi ve Doğal Titreşim Periyodunun (To) Bulunması. Yüksek Lisans Tezi, Fizik Bölümü, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir.

Yıldırım, A. ve Gürsoy, T. 1985. Eskişehir İl Merkezi ve Yakın Çevresi Detay Jeotermal Gravite Etüdü. Maden Tetkik ve Arama Genel müdürlüğü.