YÜZEY VE KUYU İÇİ ÖLÇÜMLERDEN ELDE EDİLEN Vs PROFİLLERİNİN KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ

COMPARATIVE ANALYSIS OF VS PROFILES OBTAINED FROM SURFACE AND BOREHOLE MEASUREMENTS

Eşref YALÇINKAYA [1], Hakan KARSLI [2], Tahir Serkan IRMAK [3], Ali Erden BABACAN [2], Mustafa ŞENKAYA [4], Hakan ALP [1], Serhat TEKEBAŞ [5], Mehmet Safa ARSLAN [6], Doğukan DURDAĞ [3], Kudret TEKİN [7], Sadık ÖZTOPRAK [8]

ÖZET

Bu çalışmada, kuyu içi PS Logging ölçümleri ile yüzey jeofizik yöntemlerinden elde edilen kayma dalga hızı (Vs) değerleri karşılaştırılmıştır. PS Logging ölçümleri, yüksek doğrulukları nedeniyle tabaka bazlı Vs değerlerinin belirlenmesinde referans yöntem olarak kabul edilmekle birlikte, yüksek maliyetleri ve uygulama zorlukları nedeniyle sınırlı sayıda projede kullanılmaktadır. Ayrıca bu ölçümler, zemin dinamik özelliklerini temsil etme açısından oldukça küçük bir hacmi karakterize etmektedir. Çalışma kapsamında, yedi farklı noktada gerçekleştirilen kuyu içi PS Logging ve yüzey jeofizik ölçümlerinden elde edilen Vs değerleri analiz edilmiştir. Yüzey ölçümleri, aktif ve pasif kaynaklı olmak üzere dört farklı yüzey dalgası dispersiyon analizine dayanmaktadır. Çalışmanın temel amacı, yüzey ve kuyu içi ölçümlerden elde edilen Vs değerleri arasındaki farklılıkların incelenmesi ve özellikle Vs30 parametresine ilişkin belirsizliklerin değerlendirilmesidir. Elde edilen bulgular, PS Logging ölçümlerinde karşılaşılan başlıca sorunlardan birinin, belirli derinliklerde sağlıklı kayıt elde edilememesi olduğunu göstermektedir. Bu durumun büyük ölçüde, kuyu kesitlerinin homojen bir süreklilikte hazırlanamamasından kaynaklandığı değerlendirilmektedir. Yüzey ölçümlerinden Rayleigh dalgası dispersiyon analizine dayalı Vs30 değerlerinin, PS Logging sonuçlarına kıyasla genellikle daha düşük olduğu belirlenmiştir. Buna karşılık, Love dalgası dispersiyon analizinden elde edilen Vs30 değerlerinde daha yüksek saçılmalar gözlenmiştir. Sonuç olarak, kayma dalgası hızlarında PS Logging ve yüzey ölçümleri arasındaki saçılmaların tek yönlü olmadığı, yer yer anizotropi gibi zemin tabakalarının özelliklerine bağlı olarak geliştiği değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: *Zemin, kayma dalga hızı, PS Logging, dispersiyon, Vs30*

ABSTRACT

In this study, shear wave velocity (Vs) values obtained from borehole PS logging and surface geophysical methods are compared. PS logging measurements are considered a reference method for determining layer-specific Vs values due to their high accuracy; however, their use is limited to a relatively small number of projects because of high costs and operational difficulties. In addition, these measurements characterize a relatively small subsurface volume in terms of representing soil dynamic properties. Within the scope of this study, Vs data derived from borehole PS logging and surface geophysical measurements conducted at seven

[1]İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, eyalcin@iuc.edu.tr (Sorumlu yazar)
[2] Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü
[3] Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü
[4] Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü
[5] Seismocode Mühendislik ve Bilişim Teknolojileri A.Ş.
[6] Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Deprem Teknolojileri Enstitüsü
[7] AFAD
[8] İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü

different locations were analysed. Surface measurements are based on four different surface wave dispersion analysis methods, including both active and passive sources. The main objective of the study is to investigate the differences between Vs values obtained from surface and borehole measurements and, in particular, to evaluate the uncertainties associated with the Vs30 parameter. The findings indicate that one of the primary challenges in PS logging measurements is the inability to obtain reliable records at certain depths, which is largely attributed to the lack of homogeneous continuity in borehole conditions. Vs30 values derived from Rayleigh wave dispersion analyses are generally lower than those obtained from PS logging results, whereas Vs30 values obtained from Love wave dispersion analyses exhibit higher variability. Overall, the discrepancies in shear wave velocities between PS logging and surface measurements do not appear to follow a consistent trend and may, in some cases like anisotropy, be influenced by soil layer characteristics.
Keywords: *Soil, shear wave velocity, PS logging, dispersion, Vs30*

1. GİRİŞ

Zemin özelliklerinin güvenilir bir şekilde belirlenmesi, sağlıklı kentleşme ve deprem güvenli yapılaşma açısından son derece önemlidir. Uzun yıllardır yapılan araştırmalar zemin özelliklerinin depremlerde oluşan yer hareketinin içeriğini belirlemede ve ortaya çıkan hasarlarda baş öneme sahip olduğunu göstermektedir (örn. Bard ve Reipl, 1999; Sommerville ve Graves, 2003). Genel olarak zeminlerin fiziksel ve mekanik özelliklerindeki değişimler sonsuz sayıda varyasyon içermesine karşın, belirli parametre değer aralıkları içinde zemin sınıflara ayrılabilir. Vs30 bu parametrelerden biridir ve günümüz deprem yönetmeliklerinde bu parametreye bağlı oluşan 6 farklı zemin sınıfı tanımlanır (TBDY, 2018).

Vs30 değeri zeminlerin yüzeyden ilk 30 m derinliğe kadar ortalama kayma dalgası hızına (Vs) karşılık gelen bir parametredir ve genel olarak yüzeyde uygulanan jeofizik araştırmalarla belirlenir. Bunun yanında, bir tabakanın kayma dalga hızı, doğrudan düşük deformasyon seviyelerindeki kayma modülüyle (Gmax) ilişkilidir ve sahaya özgü zemin tepki analizi için önemli bir girdi parametresidir. Kayma dalgası hızının tahminindeki belirsizlikler, nihayetinde sahaya özgü tehlike analizinin sonuçlarını etkiler. Bu nedenle, tam bir sismik tehlike analizi için doğru ve güvenilir bir Vs profili tahmini zorunludur (örn. Toro 1995; Barani vd., 2013).

Başta yüzey ve kuyu içi araştırmalar olmak üzere, çok sayıda jeofizik yöntem Vs30 değerinin elde edilmesinde kullanılmaktadır. Her ne kadar kuyu içi yöntemlerin daha güvenilir sonuçlar sağladığı düşünülse de taşıdığı belirsizliklerin mutlaka dikkate alınması gerekir. Kuyu içi ölçümler zeminin çok küçük bir kesimini temsil ederken, yüzey ölçümleri çok daha geniş bir alanda ortalama hız analizine sahiptirler. Ayrıca, kuyu içi ölçümler maaliyeti ve uygulama zorluğu nedeniyle yaygın kullanıma sahip değildir. Buna karşın, yüzey araştırmaları düşük maliyeti ve zaman tasarrufu nedeniyle çok yaygın kullanılırlar.

Vs30 değerinin sahip olduğu belirsizliklerin doğru tespit edilmesi, bu değerden türetilen zemin sınıfı, yerel zemin etkisi, azalım ilişkileri, hasar tahmini gibi pek çok bilgi açısından kritiktir. Vs30 değerindeki belirsizlikler veri kaynaklı, yer altı yapısı kaynaklı, analiz kaynaklı ve hatta araştırmacı kaynaklı oluşabilir.

Molnar vd. (2015) 11 noktada gerçekleştirdikleri kör testlerde, kuyu içi verilerle yüzey araştırmalarından elde ettiği Vs hızları arasında zemin tabakalarında ortalama %10, ana kayada ise %30 farklar hesaplamışlardır. Benzer bir çalışmada Xia vd. (2000) %26'ya varan farklar hesaplamışlardır. Darko vd. (2020) tarafından 6 noktada yapılan bir çalışmada kuyu içi ve yüzey ölçümleri arasında ortalama %18 fark görmüşlerdir.

Bu çalışma kapsamında 7 farklı noktada kuyu içi PS_Logging ve yüzey jeofizik ölçümlerine dayanan karşılaştırmalar yapılmıştır. Amaçlanan; kuyu içi ölçümlerle, yüzey jeofizik yöntemler arasında karşılaştırmalar yapmak ve özellikle Vs30 değerlerinde ortaya çıkacak saçılmaları görebilmektir.

2. VERİ VE YÖNTEM

Yüzey jeofizik araştırmaları aktif kaynak ve pasif kaynak yöntemler olarak ayrılabilir. Aktif kaynak yöntemlerde kullanılan dalgalar bir sismik kaynak tarafından üretilirken, pasif kaynak yöntemlerde çevresel titreşim (mikrotremör) dalgaları kullanılır (Foti vd., 2000). Aktif kaynak yöntemler, sismik araştırmalar (kırılma ve yansıma) ve yüzey dalgası araştırmalarıdır (SASW, MASW). Pasif kaynak yöntemler ise mikrotremör dizilim ölçümleri (Microtremor Array Measurement-MAM) adı altında ReMi (1B dizlim) ve SPAC (2B dizilim) yöntemlerinden oluşur. Bu çalışmada MASW ve ReMi yöntemleri hem Rayleigh dalga analizi hem de Love dalga analizi yapılacak şekilde uygulanmıştır. Her iki yöntemin temeli dispersiyon analizi ve ters çözüm yöntemiyle yer altı hız kesitinin elde edilmesine dayanır.

Genellikle kuyu içi PS_Logging ölçümleri, en doğru tabaka hız ölçümleri olarak düşünülür ve yüzey ölçümleri için referans kabul edilirler (Asten ve Boore, 2005). Bu yöntemde, eğer kuyu çeperinde düzensizlikler ve bozulmalar yoksa, kaynak ve alıcı arasındaki sabit mesafe her zaman sinyal yolunu tanımlar ve derine indikçe ölçümün hassasiyet değişmez. Diğer taraftan, PS_Logging ölçümleri zemin dinamik özellikleri açısından çok küçük ölçekte bir alanı temsil ederler ve oldukça değişkendirler. Uygulamada bir kayan ortalama ile hız değerlerindeki ani değişimler yuvarlatılır (Asten ve Boore, 2005). Çalışma kapsamında gerçekleştirilen PS_Logging ölçümleri Robertson GEO tarafından üretilen PS Logger cihazı kullanılarak yapılmıştır.

Genel kuyu bilgileri Tablo 1'de verilir. Kuyu noktalarından biri İstanbul'da, diğer altı adedi ise Çanakkale'de yer almaktadır. Kuyu derinlikleri minimum 30 m'de tutulurken, Çanakkale'de açılan kuyular proje amaçlarına uygun olarak daha derin olup, maksimum 103 m'dir. Her bir kuyu noktasında gerçekleştirilen jeofizik ölçümler; başta kuyu içi PS_Logging ölçümleri olmak üzere, yüzeyde yapılan P ve S kırılma (PRFR, SRFR), maswR (Rayleigh dalgası MASW), remiR (Rayleigh dalgası ReMi), maswL (Love dalgası MASW) ve remiL (Love dalgası ReMi) ölçümleridir. Jeofizik ölçüm yerleri kuyu noktalarına mümkün olan en yakın alanlarda uygulanmıştır. Bu mesafe noktaların çoğunda 20 m'den daha azdır.

maswR ve remiR ölçümleri 24 adet 4.5 Hz jeofon ve 3 m jeofon aralığı kullanılarak yapılmıştır. maswL ve remiL ölçümlerinde ise 12 adet 4.5 Hz jeofon ve 3 m jeofon aralığı tercih edilmiştir. Aktif kaynak ölçümler hattın her iki yönünden uzak (15 m) ve yakın (3 m) ofsetler ile gerçekleştirilmiştir. Pasif ölçümlerde 20 ile 60 dk aralığında mikrotremör kayıtları toplanmıştır. P ve S dalgası kırılma ölçümleri ise sırasıyla maswR ve maswL uygulamalarıyla eşleşmektedir.

Dispersiyon analizinde SeisImager yazılımı kullanılmıştır. Öncelikle her bir yöntem için bir dispersiyon eğrisi elde edilmiş, bu eğri üzerinde düzleştirme, kesme, yüksek modların

silinmesi gibi temel bazı veri işlem aşamaları uygulanmıştır. Sonrasında 5-15 arasında tabaka sayısı ve dispersiyon eğrisindeki en büyük dalga boyunun yarısına karşılık gelen maksimum derinlik kullanarak başlangıç yer altı modeli oluşturulmuştur. Başlangıç tabaka hız değerleri dispersiyon eğrisinin özelliklerine bağlı olarak oluşmaktadır. Uygulanan ters çözüm sonucunda en düşük hataya sahip (genellikle RMS<%5) yer altı modelinden Vs30 değeri hesaplanmıştır. Aynı zamanda 40 m dalga boyuna sahip Rayleigh dalgası faz hızı da (Vr40) değerlendirmelere dahil edilmiştir.

Tablo 1. Çalışma kapsamında analiz edilen kuyu nokta bilgileri ve gerçekleştirilen ölçümler.

Kuyu kodu	Boylam	Enlem	Derinlik (m)	Ölçümler
N19_Avcılar	28.727270	40.986540	30	Tüm kuyularda
SK1_İF	26.419533	40.125011	77	PS_Logging, P ve
SK2_AO	26.416425	40.137760	71	S kırılma, maswR,
SK3_ÇL	26.416145	40.149627	103	remiR, maswL,
SK4_EF	26.412905	40.155620	77	remiL
SK5_AH	26.411677	40.162297	50	
SK6_MF	26.421778	40.112626	50	

3. BULGULAR

Çalışma kapsamında örnek analizlerden N19_Avcılar kuyu noktasında PS_Logging ve yüzey jeofizik ölçümlerden elde edilen yer altı P ve S dalga hızı kesitleri Şekil 1'de verilir. Görüldüğü gibi maswR ve remiR yöntemlerinden elde edilen kayma dalga hızları log sonuçlarıyla son derece uyumludur. Fakat maswL, remiL ve SRFR yöntemlerinden elde edilen kayma dalgası hız değerleri, log hız değerlerine göre daha yüksektir (Şekil 1a). Bu durumu test etmek amacıyla maswL, remiL ve SRFR ölçümleri tekrarlanmış, fakat sonuçların çok değişmediği görülmüştür.

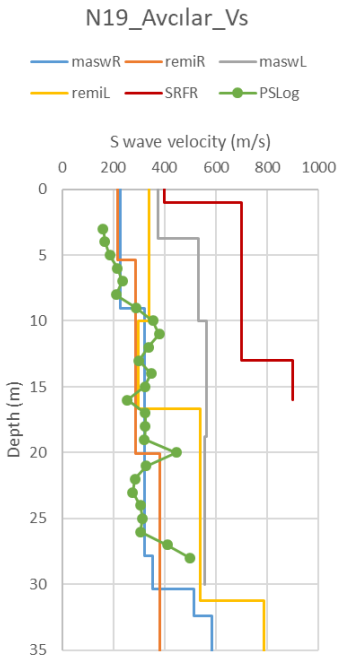
Rayleigh ve Love analizleri arasında böyle bir farkın oluşması, zemin tabakalarının anizotropik yapısıyla ilişkilendirilebilir. Tabaka yapısı içinde yatay ve düşey yöndeki heterojenite, dalga hızlarının farklı çıkmasına neden olur. N19_Avcılar noktasında zemin özellikleri üst kesimlerde Bakırköy, daha sonra Gürpınar formasyonundan oluşur. Bakırköy formasyonu oldukça ince kalınlıklarda yatay tabakalanmış kireçtaşı-marn-kil istiflerinden oluşur. Bu yapı, bahsedilen kayma dalgası anizotropisi için son derece uygundur. Yatayda hızların, yani Love dalgası hızlarının, düşeye, yani Rayleigh dalga hızlarına göre yüksek çıkmasının nedeni bu tabakalanma yapısı kaynaklı olabileceği değerlendirilmektedir.

Şekil 1b'de görüldüğü gibi, SeisImager içinde yer alan dönüşüm bağıntıları kullanarak S dalgalarından türetilen P dalga hızları ile log ölçümlerinden elde edilen hızlar arasında ilk 5 m içindeki yüzey tabakaları hariç, kaba bir uyumdan söz edilebilir. Bunun yanında, P kırılma analizinde güvenilir araştırma derinliğinin çok sığda kalmış olması nedeniyle (yaklaşık 15 m), log değerleriyle sağlıklı bir karşılaştırma yapılamamıştır. Karşılaştırılabilen derinlikte kırılmadan elde edilen P dalga hızlarının, log ölçümlere göre daha düşük olduğu görülmektedir (Şekil 1b).

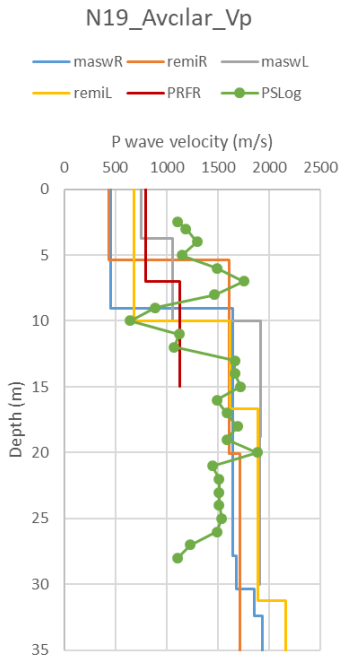
Yüzey ve log ölçümlerden hesaplanan Vs30 değerlerinin karşılaştırması Şekil 1c'de gösterilir. Kırılmalar yeterli güvenilir araştırma derinliğine sahip olmadıkları için karşılaştırmaya eklenmemiştir. Şekil 1c'de görüldüğü gibi, log ölçümünden hesaplanan

Vs30 değerleri, maswR ve remiR analizlerinden elde edilenlerle son derece uyumludur. Ancak maswL ve remiL gibi Love dalga analizlerinden elde edilen Vs30 değerleri, log değerlerine göre genelde daha yüksektir. Vs30 ve Vr40 değerleri birbiriyle son derece uyumludur.

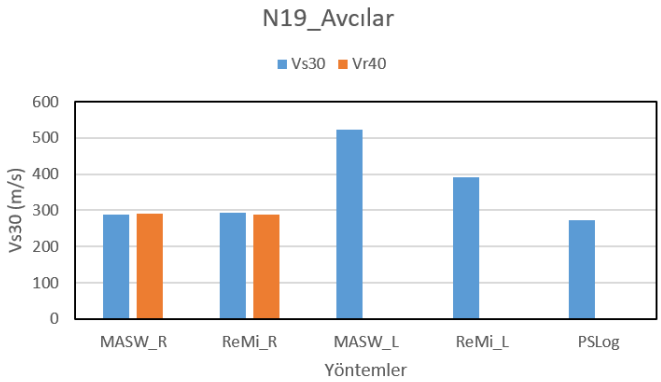
a)



b)



c)



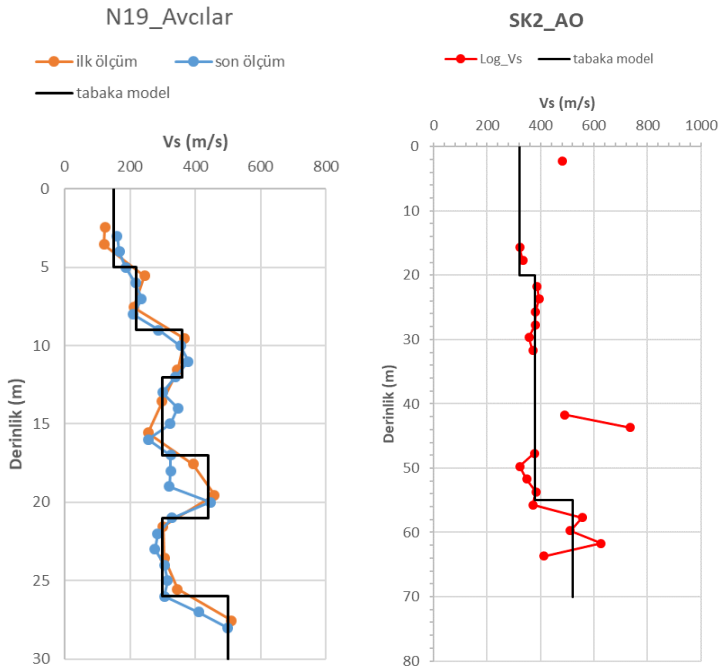
Şekil 1. N19_Avcılar noktasında kuyu içi PS_Logging ölçümleri ve yüzey ölçümlerinden (maswR, remiR, maswL, remiL, PRFR, SFRF) elde edilen a) Vs hız kesiti, b) Vp hız kesiti ve c) Vs30 ve Vr40 (Rayleigh dalgası 40 m dalga boyuna karşılık gelen faz hızı) değerlerinin karşılaştırılması.

Çalışma kapsamında PS_Logging ölçümlerinden Vs30 hesaplamada, birer metre aralıklarla elde edilen kayma dalgası hızı değerlerine, önce manuel bir tabaka modeli (genellikle 3-4 tabakalı) uydurulmuş, sonrasında tabakalı modelden Vs30 değeri hesap edilmiştir. Bu yolun izlenmesindeki en önemli etken, yüzey ölçümlerinden elde edilen Vs30 değerlerinin, tabakalı yer altı hız modelinden hesaplanıyor olmasıdır. Şekil 2'de örnek olarak N19_Avcılar ve SK2_AO noktaları PS_Logging ölçümlerinden elde edilen kayma dalga

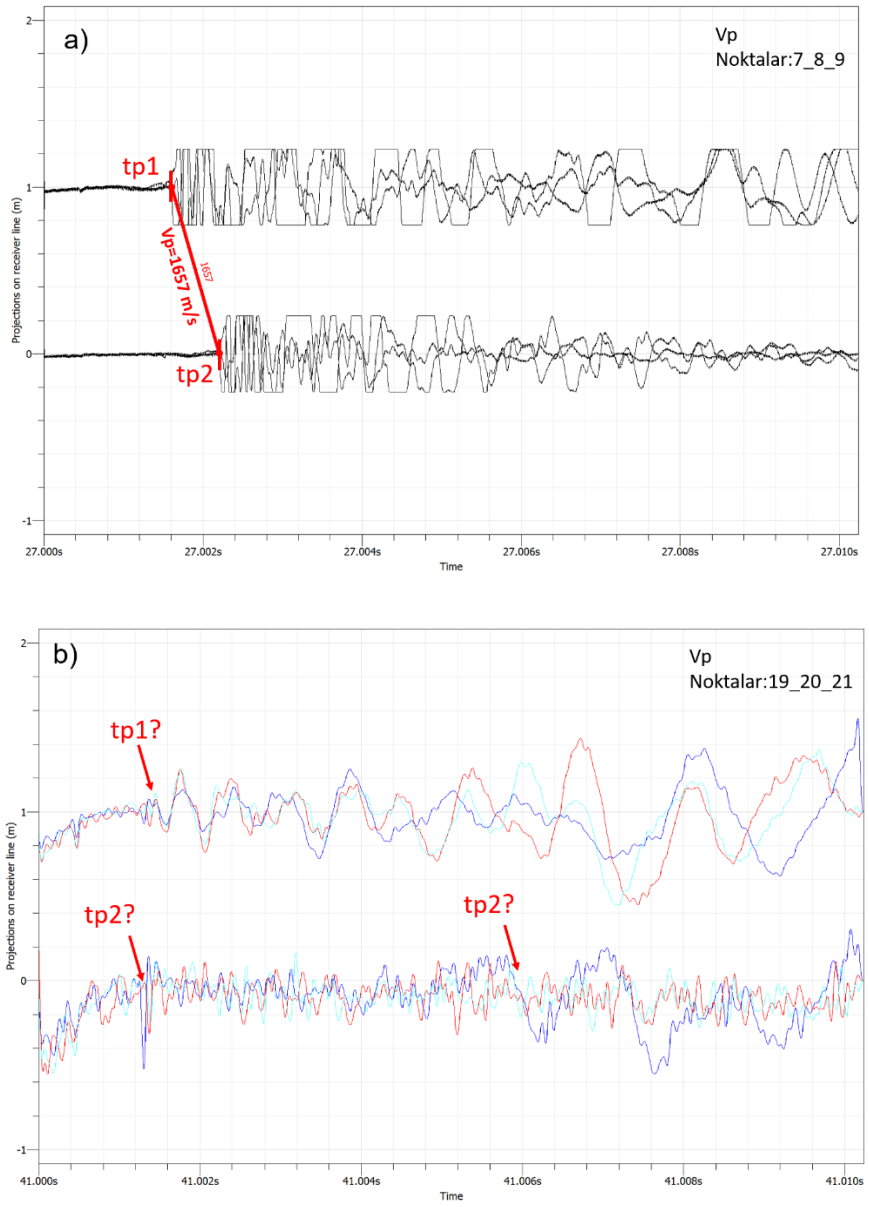
hızları ve manuel oluşturulan tabakalı hız modelleri gösterilmektedir. İzlenen bu yolun önemli bir dezavantajı, ölçü alınamayan derinliklerde, tabaka hızının en yakın derinliktekiyle benzer olduğu kabulünün yapılmış olmasıdır. Şekil 2'de SK2_AO noktası log ölçümünde görüldüğü gibi, yüzeye yakın derinliklerde log ölçülerinde önemli boşluklar (hız hesaplanamayan) yer alır. Bu durumda tabaka modeli, sanki bu noktaların en yakın derinliklerdeki hızlarda geçildiği kabulünü yapmakta, fakat bunun gerçekte olup olmadığı bilinmemektedir. Diğer taraftan, prob yapısı nedeniyle, özellikle ilk 2-3 metrelerde PS_Logging ölçümlerinin alınamaması ve bu hızların daha derindekiyle eşit varsayımı sonucu log Vs30 değerlerini sistematik olarak büyütür.

SK2_AO kuyu noktasında görüldüğü gibi, PS_Logging ölçümlerinde en büyük sorunlardan biri ölçülerdeki boşluklar, yani sağlıklı kayıt alınamayan derinliklerdir. Bu noktaların zaman zaman 3-5 m'ye varan kalınlıklarda oluşması, tabaka hızlarının sağlıklı belirlenmesini engellemiş ve PS_Logging ölçümlerinden Vs30 hesaplanmasında güvenirliği düşürmüştür. Örnek derinliklerde PS_Logging kayıtları Şekil 3'te karşılaştırılır. Şekil 3a'da görüldüğü gibi bazı derinliklerde kayıtlar üzerinde P dalga varışları (tp) son derece kolay seçilirken, diğer bazı derinliklerde P dalga varışlarını ayırt etmek neredeyse imkânsız olmaktadır (Şekil 3b).

Bu sorunun büyük oranda, kuyuların ölçüme uygun koşullarda hazırlanamamasından (zayıf çimentolama, yetersiz coupling vb.) ve ölçüm sırasında ayırt edilebilir P ve S dalgalarının elde edilememesinden kaynaklı olabileceği düşünülmektedir. Bunun yanında, yüzey tabakalarında var olan ayrışma, dolgu malzemesi varlığı ve çevresel gürültüler de ortaya çıkan sonuçlarda etkilidir. PS_Logging probunun doğru kullanılamaması da ölçümlerde hataya neden olabilir. Kuyu içi ölçümler, kuyu hazırlama ve log ölçümlerinin çok maliyetli bir işlem olması nedeniyle tekrarlanması pek mümkün olmayan analizlerdir.



Şekil 2. N19_Avcılar ve SK2_AO noktaları PS_Logging kayma dalgası hız ölçümleri üzerine tasarlanan tabaka modelleri. SK2_AO kuyusunda boşluklar ölçümün alınamadığı derinlikleri gösterir. N19_Avcılar grafiğinde ilk ve son ölçüm iki ayrı zamanda tekrarlanan ölçümleri temsil eder.



Şekil 3. a) Kuyu içi PS_Logging kayıtlarında (aralarında 1 m uzaklık bulunan iki ayrı sensörde 3 ayrı derinlik üst üste çizdirilmiştir) kolay ayırt edilebilir P dalga varışları (tp). b) Farklı derinliklerde bu kez seçilemeyen P dalga varışları.

Çalışma kapsamında 7 kuyu noktasında yüzey ve kuyu ölçümlerinden elde edilen Vs30 değerleri Tablo 2'de verilmektedir. Sadece IUC_SK6 noktasında remiL ölçümü güvenilir bir dispersiyon verisi sağlamamıştır. Her bir yüzey ölçümüyle log ölçümleri arasında Vs30 değerlerinde ortaya çıkan ilişkiler Şekil 4'te gösterilir. Özellikle Rayleigh dalgası analizlerine dayanan maswR ve remiR yöntemlerinden elde edilen Vs30 değerleri, çoğunlukla log ölçümlerinden elde edilen Vs30 değerlerinden daha düşüktür (Şekil 4a ve 4b). Diğer taraftan, Love dalgası analizlerine dayanan maswL ve remiL yöntemleriyle log ölçümleri arasında ortaya çıkan farklar tek yönlü olmayıp, kısmen yüksek, kısmen düşük şekilde saçılmaktadır (Şekil 4c ve 4d).

Tablo 2. Çalışma kapsamında analiz edilen kuyu nokta bilgileri ve gerçekleştirilen ölçümler.

	maswR	remiR	maswL	remiL	PSLog
IUC_N19	288	295	522	392	272
IUC_SK1	297	294	305	261	480
IUC_SK2	191	176	246	261	338
IUC_SK3	222	214	301	222	377
IUC_SK4	277	278	319	401	325
IUC_SK5	414	457	537	628	450
IUC_SK6	347	355	587		531

Şekil 5'te yüzey ölçümleriyle kuyu içi ölçümleri Vs30 değerleri arasındaki farklar yüzdesel olarak bir kutu grafiğinde gösterilir:

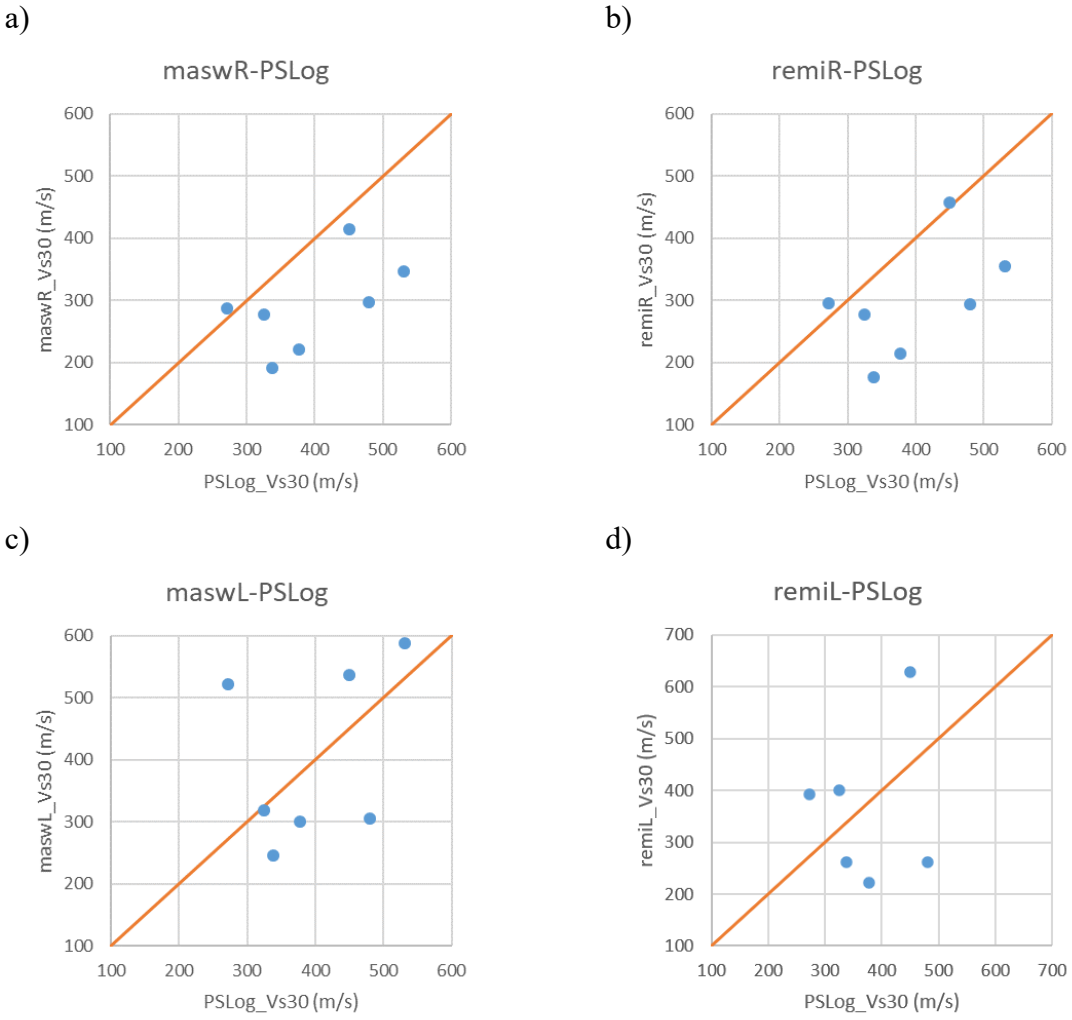
$$\%\, fark = \frac{Vs30_{yöntem} - Vs30_{PSLog}}{Vs30_{PSLog}} * 100 \qquad (1)$$

Sağlıklı bir değerlendirme için örnek sayısının çok yetersiz olduğu göz önünde bulundurarak, PS_Logging ölçümleriyle ortaya çıkan farklarda, maswR ve remiR yöntemlerinin sahip olduğu saçılmaların nispeten daha düşük olduğu söylenebilir. Buna karşılık bu yöntemlerde Vs30 değerleri sistematik olarak PS_Logging ölçümlerinden daha düşük çıkmaktadır. Diğer taraftan, maswL ve remiL yöntemlerinden elde edilen Vs30 değerleriyle PS_Logging ölçümlerinden elde edilen değerler ortalama etrafında saçılmaktadır.

Kuyu içi PS_Logging ölçümleriyle yüzey ölçümlerinden elde edilen Vs30 değerlerinin noktasal bir karşılaştırması Şekil 6'da zemin sınıfı bağımlı olarak verilir. Görüldüğü gibi karşılaştırmalar kaya sınıfı zeminleri (ZB ve ZA) içermemektedir. Bazı noktalarda kuyu ve yüzey ölçümleri sonuçları arasında zemin sınıfı farkları oluşabileceği dikkatten kaçmamalıdır. Özellikle ZD-ZC sınırında PS_Logging, remiL ve maswL ölçümleri ZD zemin sınıfını ZC'ye taşıdıkları açıkça görülmektedir.

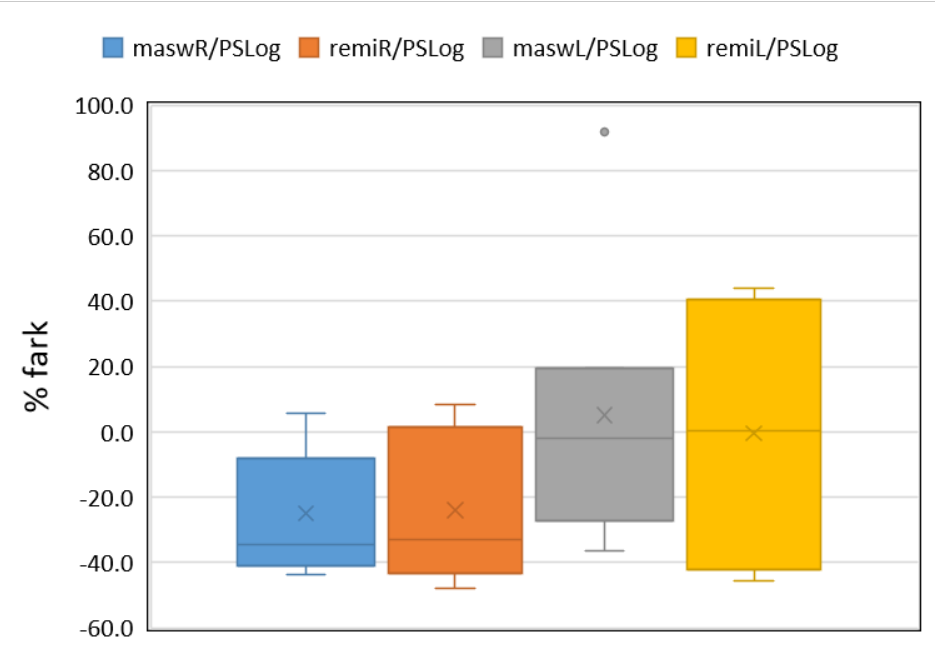
4. SONUÇLAR

Kuyu verilerinin toplanması son derece maliyetli, bu nedenle tekrarı pek mümkün olmayan ölçümlerdir. Aynı zamanda, kuyunun hazırlanması, ölçüm ve analizler yüksek tecrübe gerektirir. Sağlıklı sonuç elde edilebilen kuyu içi ölçümlerin, yüzey ölçümleri için referans oluşturması doğaldır. Ancak, kuyu içi ölçümlerin belirsizlik taşımadığı düşünülmemelidir. Bunun yanında, kuyu verilerinin yüzey ölçümlerine göre zeminin oldukça dar bir hacim aralığını temsil ettiği ve buradan gelecek belirsizliklerin de önemli olabileceği unutulmamalıdır.

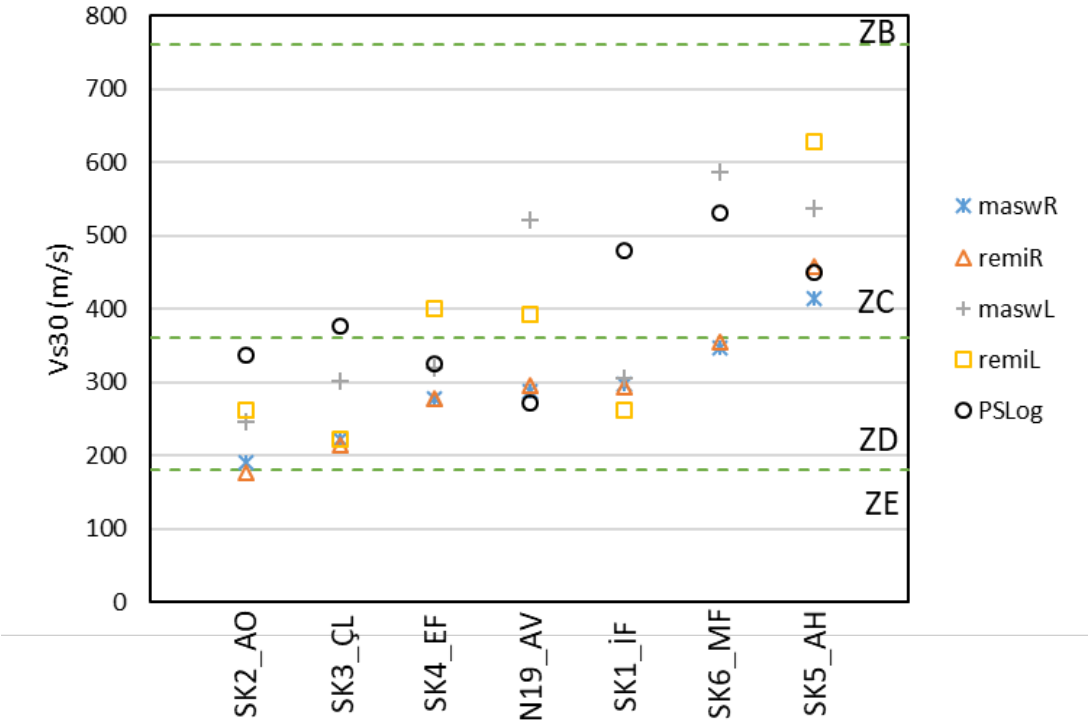


Şekil 4. Kuyu içi ölçümlerle (PSLog) yüzey ölçümlerinden (maswR, remiR, maswL, remiL) elde edilen Vs30 değerlerinin karşılaştırılması. a) PSLog-maswR, b) PSLog-remiR, c) PSLog-maswL, d) PSLog-remiL.

Bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen 7 adet kuyu içi PS_Logging ölçümlerinde, bazı derinliklerde hız ölçümü alınamamış olması, yüzey verileriyle güvenilir bir karşılaştırmayı zayıflatmıştır. Log ölçümleriyle yüzey ölçümleri arasında ortaya çıkan farkların tamamı, log ölçümlerindeki boşluklara atfedilemez. Çünkü kuyu boyunca sağlıklı log ölçümüne sahip N19_Avcılar, SK3_ÇL ve SK4_EF noktalarında dahi, bazı yöntemlerde önemli farklar kendini gösterir. N19_Avcılar noktasında, özellikle Love dalgası analizine dayalı yöntemlerde elde edilen yüksek Vs30 değerleri zemin tabakalarının anizotropik yapısıyla ilişkilendirilebilir.



Şekil 5. Yüzey ve kuyu içi PS_Logging ölçümlerinden elde edilen Vs30 değerleri arasındaki yüzdesel farkların (% fark) dağılımı. Negatif değerler yüzey ölçümlerinin log ölçümlere göre daha küçük, pozitif değerler ise daha büyük Vs30 değerlerini temsil eder.



Şekil 6. Kuyu noktalarında yöntemler arası Vs30 değerlerinin karşılaştırılması. Düşey eksen TBDY (2018) zemin sınıflamasına uygun olarak kesikli çizgilerle bölümlendirilmiştir.

maswR ve remiR yönteminden elde edilen Vs30 değerlerinin genel olarak PS_Logging değerlerine göre düşük kaldığı görülmektedir. Özellikle yüzeyden ilk 2-3 metrelerde prob boyu nedeniyle PS_Logging ölçümlerinin yapılamaması ve buradaki hızların ilk ölçüm alınan derinlikle eş olduğu kabulü, PS_Logging Vs30 değerlerinin sistematik olarak yüksek çıkmasına neden olmaktadır. Diğer taraftan, maswL ve remiL yöntemleriyle PS_Logging değerleri arasındaki farklar eşitlik etrafında dağılmakta, fakat saçılmalar daha yüksektir. Tüm bu farkların çift yönlü, yani bir kısmı yüzey ölçümleri, diğer kısmının PS_Logging kaynaklı gerçekleştiği düşünülmektedir.

Bazı noktalarda kuyu ve yüzey ölçümleri Vs30 değerleri arasındaki farklar, yöntemler arasında zemin sınıfının farklı belirlenmesine yol açabileceği görülmüştür. Bu nedenle, zemin sınıfı belirlemede Vs30 değerlerinin yöntem bağımlı değişkenliklerinin hesaba katılmasında büyük önem olduğu düşünülmektedir.

Ancak, yüzey ölçümleriyle log ölçümler arasında genel bir yargıya varabilmek için, sadece 7 kuyu noktasıyla yapılan bu değerlendirmenin de yetersiz olduğu açıktır. Ayrıca ölçümlerin neredeyse tamamı ZD ve ZC zemin sınıflarını kapsaması nedeniyle yapılan değerlendirmeler bu zemin sınıflarıyla sınırlıdır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma TÜBİTAK 121Y403 nolu proje tarafından desteklenmiştir. Ayrıca 121M760 nolu bir diğer TÜBİTAK projesi, kuyu içi ölçüm verisi sağlayarak önemli bir katkıda bulunmuştur.

KAYNAKLAR

Asten, M.W., Boore, D.M., (2005), "Comparison of shear-velocity profiles of unconsolidated sediments near the Coyote borehole (CCOC) measured with fourteen invasive and non-invasive methods". In: Asten, MW, Boore DM (Eds.) Blind comparisons of shear-wave velocities at closely spaced sites in San Jose, California: U.S. Geological Survey Open-File Report 2005–1169, 35 pp.

Barani, S., De Ferrari, R., Ferretti, G., (2013), "Influence of Soil Modeling Uncertainties on Site Response", Earthquake Spectra, 29(3), 705-732.

Bard, P.Y., Riepl, J. (1999), "Wave propagation in complex geological structures and local effects on strong ground motion", Wave Motion in Earthquake Engineering (ss. 38-95), Southampton England, Boston, WIT Press / Computational Mechanics.

Darko, A.B., Molnar, S., Sadrekarimi, A., (2020), "Blind comparison of non-invasive shear wave velocity profiling with invasive methods at bridge sites in Windsor, Ontario", Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 129, 105906.

Foti, S., Lancellotta, R., Sambuelli, L., Socco, L.V., (2000), "Notes on fk analysis of surface waves", Ann Geophys, 43(6),1199–1209.

Molnar, S., Ventura, C.E., Boroschek, R., Archila, M., (2015), "Site characterization at Chilean strong-motion stations: comparison of downhole and microtremor shear-wave velocity methods", Soil Dyn Earthq Eng, 79, 22–35.

Somerville, P.G., Graves, R.W. (2003), "Characterization of Earthquake Strong Ground Motion", Pure and Applied Geophysics, 160(10), 1811-1828.

TBDY, (2018), Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, AFAD.

Toro, G.R., (1995), "Probabilistic models of site velocity profiles for generic and site-specific ground-motion amplification studies", (No. Technical Rep. No. 779574), Upton, NY., Brookhaven National Laboratory.

Xia, J., Miller, R.D., Park, C.B., Hunter, J.A., Harris, J.B., (2000), "Comparing shear-wave velocity profiles from MASW with borehole measurements in unconsolidated sediments, Fraser River Delta, BC, Canada", J Environ Eng Geophys, 5(3), 1–13.