

## Sığ Sismik Yansıma, MASW ve ReMi Yöntemleri ile Sığ Yapıların İncelenmesi: Isparta Yerleşim Merkezi Kuzeyi Pliyo-Kuvaterner Çökel Yapı Örneği

Mehmet Zakir KANBUR\*, Ali SİLAHTAR, Can ÖZSOY

Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü /ISPARTA  
Alınış Tarihi:05.05.2011, Kabul Tarihi:28.10.2011

**Özet:** Süleyman Demirel Üniversite kampüsü içerisinde bulunan Pliyo-Kuvaterner zamana ait pekişmemiş ve kısmen pekişmiş çökel tabakalaşma özelliklerini ortaya çıkarmak için sığ sismik yansıma, MASW ve ReMi teknikleri uygulanmıştır. Elde edilen S-dalgası hızları, sığ sismik yansıma kesiti ve alanda bulunuan yaklaşık 8 metrelik yarma karşılaştırmalı olarak yorumlanarak alanın 35 metre derinliğe kadar tabakalaşma özellikleri ortaya konulmuştur. Çökel yapıya ait S-dalgası hızları ve kesitler hep beraber değerlendirildiğinde sonuçların birbirlerini desteklediği görülmüştür. Sonuç olarak bu çalışmada kullanılan tekniklerle benzer alanlarda kuyu ölçümlerine ihtiyaç duyulmadan doğru sonuçlar alınabileceğini göstermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Sığ sismik yansıma, MASW, ReMi, Rayleigh dalgası, Dispersiyon.

### An Investigation of Shallow Structures by Shallow Seismic Reflection, MASW and ReMi Techniques: Example of Plio-Quaternary Sediments from Northern of Isparta Urban Area

**Abstract:** Shear (S) wave velocities and seismic sections derived from MASW, ReMi and shallow seismic reflection techniques are compared with an existing 8 m depth cliff. The techniques were performed along with Plio-Quaternary aged unconsolidated and partly consolidated sediments of the the study area in Suleyman Demirel University Campus. The layers of sediment accumulation were imaged up to 35 m depth. Two sets of S-wave velocities and the comparable seismic sections are obtained. It is demonstrated that reliable results in similar areas may be obtained using these techniques without any need of borehole measurements.

**Keywords:** Shallow seismic reflection, MASW, ReMi, Rayleigh wave, Dispersion.

#### Giriş

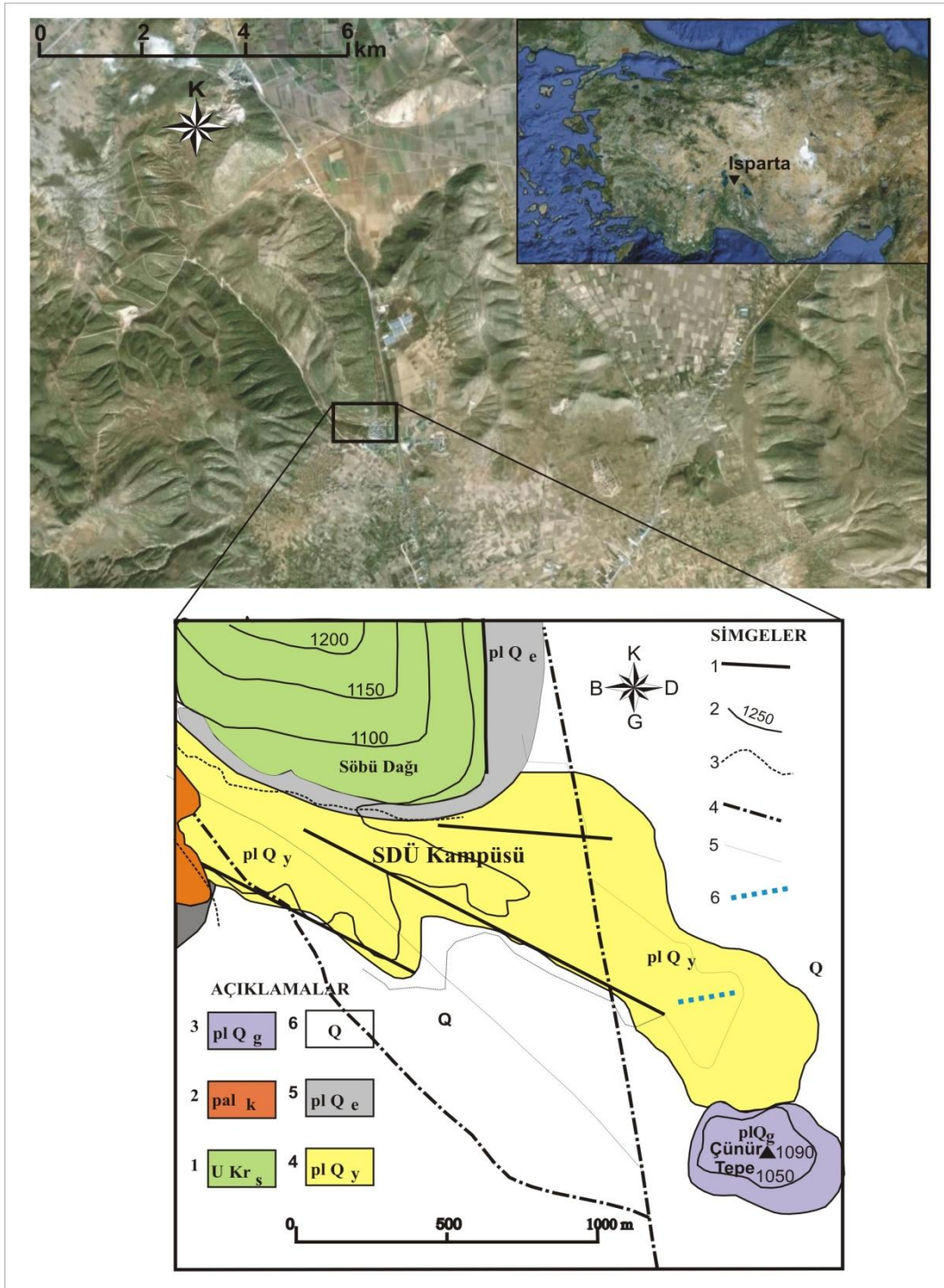
Mühendislik çalışmalarında gerek statik ve gerekse dinamik yüklemeler altında kalan zeminin mekanik davranışlarının karakterize edilmesi yerleşim merkezleri için son derece önemlidir. Dolayısıyla yerin sığ derinliklerinin sismik özelliklerinin araştırılması son yıllarda şehir nüfusunun artışıyla birlikte önem kazanmaya başlamıştır. Jeofizikte, bu amaçla var olan tekniklerin modifiye edilerek kullanılmasıyla birlikte yeni teknikler de geliştirilmeye başlanmıştır. Sismik yansıma tekniği, yer içinin görüntülenmesinde geniş çaplı kullanılan yöntemlerden birisidir.

Bu teknik son yıllarda yüksek çözünürlük sağlayacak şekilde sığ derinliklerin görüntülenmesi için de kullanılmaya başlanmıştır (Yılmaz, 1988; Sheriff ve Geldart 1995; Steeples ve Miller 1998). Sığ derinliklerin yapısal özelliklerinin ortaya konmasında geliştirilen yeni tekniklerden bazıları da yüzey dalgalarının analizine dayanmaktadır. Sığ yer altı tabakalarının görüntülenmesi için üretilen cisim dalgalarının incelenmesinde yüzey dalgaları görüntü olarak değerlendirilmesine karşın, frekans bağımlı (dispersif) özellikleri nedeniyle yüzeye yakın malzemelerin mekanik özelliklerini belirlemek için kullanılabilir (Nazarian vd.,1983; Stokoe vd.,1994; Park

vd.,1998). Bunlardan ReMi ( Kırılma-Mikrotitreşim) (Louie, 2001) ve MASW (Yüzey dalgalarının çok kanallı analizi) (Park vd., 1999) yöntemleri son yıllarda geliştirilen tekniklerdir. Bu teknikler esasen yüzey dalgalarının dispersiyon özelliğinden yararlanarak yerin sığ kısmına ait (30 m derinliğe kadar) ortalama S-dalgası ( $V_{30}$ ) hız yapısını elde etmek için geliştirilmiş tekniklerdir. Bu amaçla gerek ReMi (Louie, 2001; Kanbur vd., 2008) ve gerekse MASW (Park vd., 1999) oldukça yaygın kullanılan tekniklerdendir. Literatürde, son yıllarda bu teknikler yerin yapısal özelliklerini ortaya koymak için de kullanıldığı görülmektedir (Miller vd., 1999; Xia vd., 2000; Park vd., 2001; Kanbur vd., 2008; Pancha vd., 2008).

Bu çalışmada Süleyman Demirel Üniversitesi kampüs alanı içerisinde bulunan Pliyo-Kuvaterner çökel yapısının tabakalaşmasının ve sismik hız özelliklerinin en az 30 m derinliğe kadar ortaya çıkarılması amaçlanmıştır. Bu amaç için ReMi, MASW ve sığ sismik yansıma teknikleri kullanılmıştır. Bu tekniklerin birlikte kullanımının elde edilen sonuçların güvenilirliğini önemli ölçüde arttıracığı

\* zakirkanbur@sdu.edu.tr



**Şekil 1.** Çalışma sahası ve çevresinin basitleştirilmiş jeoloji haritası (Kanbur vd. 2008'den değiştirilmiştir). (AÇIKLAMALAR: 1. UKr<sub>s</sub>. Üst Kretase karbonatları-Söbüdağı Kireçtaşı, 2. pal<sub>k</sub>. Paleojen kırıntılı çökelleri-Kayıköy Fm., 3. plQ<sub>g</sub>. Pliyo-Kuvaterner Gölcük Volkanikleri, 4. plQ<sub>y</sub>. Pliyo-Kuvaterner alüvyal yelpaze, 5. plQ<sub>e</sub>. Pliyo-Kuvaterner etek döküntüleri, 6. Q. Ova çökelleri, SİMGELER: 1. Eğim atımlı faylar, 2. Eş yükselti eğrileri, 3. Vadi, 4. Asfalt yol, 5. Tali yol, 6. ReMi, MASW ve Sismik yansıma profilleri)

düşünülmüştür. Tekniklerin uygulandığı alan SDÜ kampüs alanının ortasında kum üretilen bir alan olduğundan üzerinde K-G doğrultulu yaklaşık 8 m'lik yarma bulunmaktadır ve tabakalaşma bu derinliğe kadar açıkça gözlenmektedir. Daha önce çalışma alanının yaklaşık 200 m kuzeyinde Kanbur vd. (2008) tarafından ReMi yöntemi ile 100 m derinliğe kadar S-dalgası kesiti çıkarılmıştır. Bu çalışmada daha sığ derinliklere ait

tabakaların özelliklerinin ortaya çıkarılması amaçlanmıştır.

### Materyal ve Metot

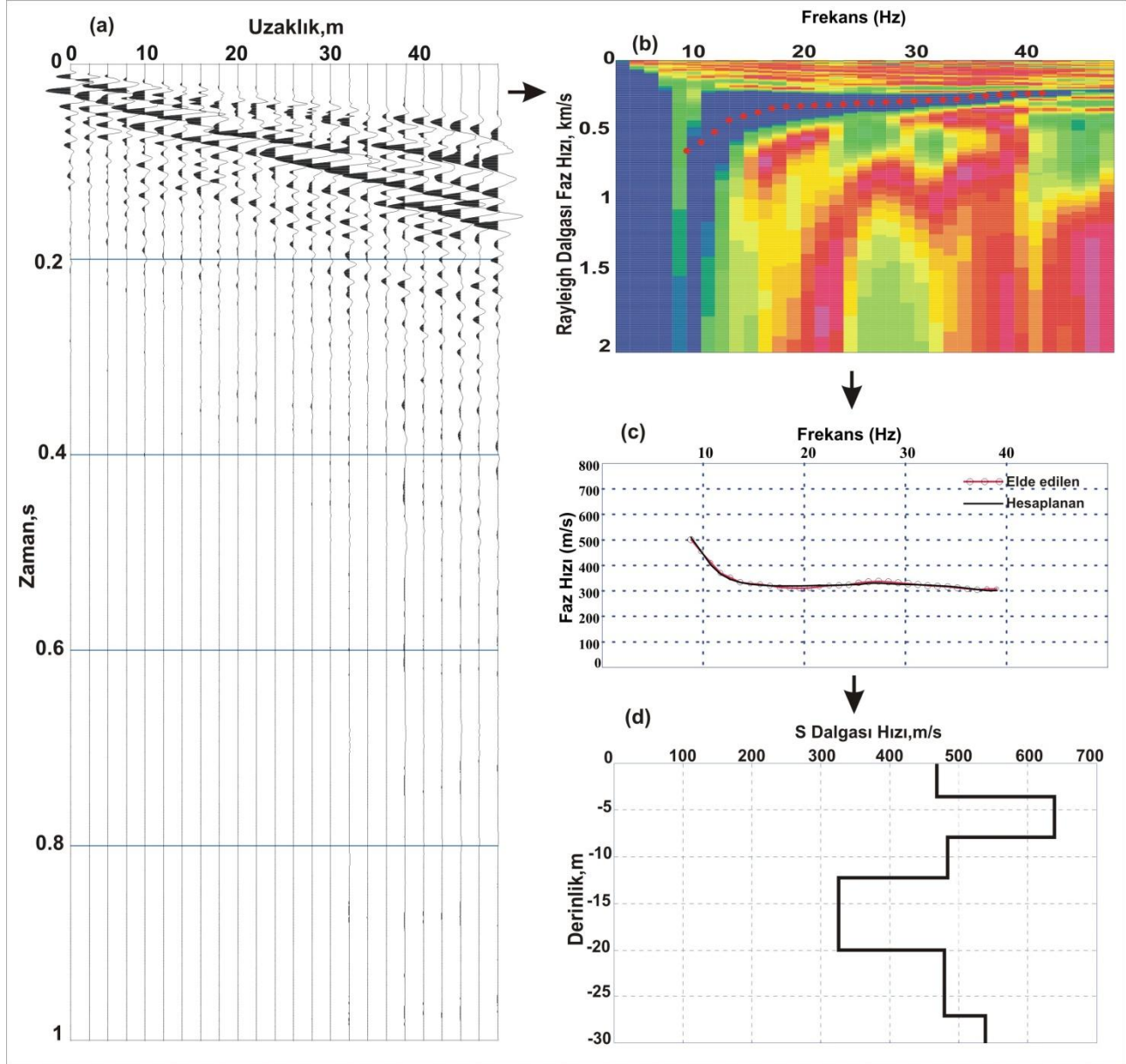
Çalışma alanına ait Pliyo-Kuvaterner çökel serinin sismik hız ve tabakalaşma özellikleri MASW, ReMi ve Sığ sismik yansıma teknikleri kullanılarak incelenmiştir.

Çalışma alanında 8 m derinlikte yarma mevcut olup, üstten aşağı sırasıyla 0-2m arası toprak, 1.5-2.5 m pekişmiş tuf, 1-2 m iri çakıl ve 2-2.5 m kum şeklinde ardalanmaktadır. Bu bilgi jeofizik tekniklerden elde edilen sonuçların yorumlamasında kullanılmıştır.

## MASW

Yerin sığ sismik hız özelliklerini ortaya koymak için son yıllarda en çok kullanılan tekniklerden biri MASW tekniğidir (Park vd., 1999). MASW tekniğinin temel hedefi faz hızının frekansla değiştiği Rayleigh dalgası dispersiyonunu elde etmek ve ters çözüm tekniği ile bunu

S-dalgası hızı ve tabaka derinliğine dönüştürmektir. MASW verisi 4.5 Hz 24 kanallı sismografla toplanmıştır. 4.5 Hz'lik jeofonlar bir çok araştırmacı tarafından bu yöntemde sıkça kullanılmıştır (Park vd., 1999; 2002; Xia vd., 1999a; Stephenson vd., 2005; Tallavo vd., 2008). Jeofon aralığı 2 m, minimum ofset 4 m, maksimum ofset 48 m olarak alınmıştır. Balyoz-çelik levha sismik kaynak olarak kullanılmış ve her ofset noktasında 10 vuruş yapılarak veri toplanmıştır. Veri kazanımı esnasında herhangi bir süzgeç uygulanmamıştır. Hat boyunca (Şekil 1) toplam 20 adet verinin kayıt boyu 2 s ve örnekleme aralığı 0.5 ms alınmıştır.



**Şekil 2.** (a) Metin içerisinde verilen toplama parametrelerine göre elde edilmiş 107 numaralı MASW atış kaydı. (b) MASW verisinin dönüşümüyle elde edilen frekans-faz hızı (f,v) spektrumu ve seçilmiş pikler. (c) Ters çözüm uygulanarak elde edilen dispersiyon eğrisi ile hesaplanan eğrinin karşılaştırılması. (d) Dispersiyon eğrisinin belirli bir başlangıç modeli kullanılarak ters çözümü ile Vs hızları ve derinlik (v,z) bilgisi (Vs modellemesi 6 tabaka için yapılmıştır ve karşılaştırma hatası tüm kayıtlar için ortalama %2.5 düzeyinde gerçekleşmiştir)

Yukarıda belirtilen veri toplama parametreleri ile kaydedilen veri, bilinen sismik kırılma tekniği ile çok benzer özellikleri taşır. Temel fark, veri parametrelerinin Rayleigh dalgası kaydını gözetecek şekilde belirlenmesidir. Burada ölçü; yakın-uzak ofset ve jeofon aralığının, hedef derinlik ve tabaka kalınlıklarına göre tasarlanmasıdır. Bu da dalga boyu ile yakından ilgilidir. Hedef derinlik, maksimum dalga boyu kadar ve çözülmesi istenen minimum tabaka kalınlığının da minimum dalga boyu kadar alınması tavsiye edilmiştir (Park vd., 1999). Veri toplamada, kaynakla ilk jeofon arasının uzaklığı net bir kural olmasa da kayıt içerisinde yakın ofset kirliliğine meydan vermemek için genel olarak maksimum derinliğin %20'si kadar alınması yeterli olacaktır (Park vd., 1999). Alan düzeneklerinde, jeofon aralığı ( $dx$ ), S dalgası ile elde edilen yer altı kesiti çözünürlükle ilişkilendirilir. Daha yüksek çözünürlük, daha küçük  $dx$  gerektirir. Jeofon aralığının en büyük araştırma derinliğinin ( $Z_{max}$ ) onda birinden daha küçük olması önerilir (Stokoe vd., 1994). Alıcıların birinci ve sonuncu jeofon arasındaki uzaklık olarak verilen toplam serim uzunluğu ( $X$ ),  $X \geq Z_{max}$  koşuluna dayanılarak hesaplanır (Nazarian vd., 1983).

Yer içerisindeki dispersiyonu temel olarak S-dalgasının hızındaki düşey değişimle ortaya çıkar. Sismik kaynaktan alıcıya gelen Rayleigh dalgalarının dispersiyonu, arazide jeofonların çizgisel açılım düzeni ile kaydedilir ve elde edilen bu kaydın frekans ve faz hızı dönüşümü yapılır.

Burada faz hızının frekansla değişimini gösteren anomaliye dispersiyon eğrisi denir. Elde edilen bu eğri ters çözüm işlemi ile S-dalgası hızının düşey yönde değişimini ortaya koyar. Arazide belirli aralıklarla bu işlemin tekrarlanması ile hat boyunca kesit elde edilir (Park vd. 1999).

Şekil 2a'da görülen sismik kayıt yukarıda belirtilen sismik veri toplama parametrelerine göre elde edilmiştir. Bu veri Şekil 2b'de görüldüğü gibi faz hızı ve frekans ortamına dönüştürülmüştür. Ortaya çıkan Rayleigh dalgası dispersiyonu her bir noktada faz hızı-frekans bilgisi şeklinde toplanır ve ters çözüm tekniği işlemine tabi tutulur.  $V_s$  ve tabaka kalınlığı hesaplaması dispersiyon eğrisinin, Poisson oranı ve yoğunluğun tahmin edilmesiyle yinelemeli ters çözüm ile hesaplanır. Ters çözüm işlemi, derinlik profiline eş bir S-dalga hızının oluşturulması için her bir frekans bağımlı faz hızı eğrisine uygulanmalıdır (Xia vd., 1999b). Yinelemeli ters çözüm işlemi özel bir başlangıç modeliyle başlatılır. Yer modeli, hız, yoğunluk ve tabaka kalınlığı parametrelerinden oluşur. Bu çalışmada ölçülen ve hesaplanan frekans bağımlı faz hızı eğrilerine uygulanan ters çözüm işlemi sonucunda %2-3 hata oranıyla başarılı çakışmalar gerçekleştirilmiştir (Şekil 2c).

### ReMi

Çalışmada MASW tekniği ile benzer bilgiyi amaçlayan fakat MASW' e göre daha derinlerden bilgi elde etme imkanı sunan ReMi tekniği de kullanılmıştır. Gerek log verileriyle, gerekse aynı amaçla geliştirilen diğer tekniklerle yapılan karşılaştırmalar, ReMi tekniğinin de oldukça güvenilir sonuçlar verdiğini göstermektedir

(Louie, 2001; Thelen vd., 2005; Richwalski vd., 2007; Anderson vd., 2007; Chávez-García vd., 2007, Kanbur vd., 2008).

ReMi tekniği MASW tekniğine benzer özelliktedir. Aralarındaki en temel fark ReMi tekniğinin kaynak olarak çevresel gürültüleri kullanmasıdır. Teknik, temel olarak 2 ilkeye dayanır. Birincisi trafikten ya da başka nedenlerden kaynaklanan çevresel gürültülerin standart sismik kırılma ekipmanı kullanılarak belli bir zaman süresince çizgisel bir profil üzerinde kaydedilmesidir. İkincisi ise, veri kaydının yavaşlık (hızın tersi)-frekans ( $p, f$ ) dönüşümünün yapılmasıdır. Bu yolla Rayleigh dalgası diğer dalgalardan ayrılır ve elde edilen bu eğrinin ters çözüm tekniği ile  $V_s$  ve karşı gelen tabaka derinliklerine dönüştürülür.

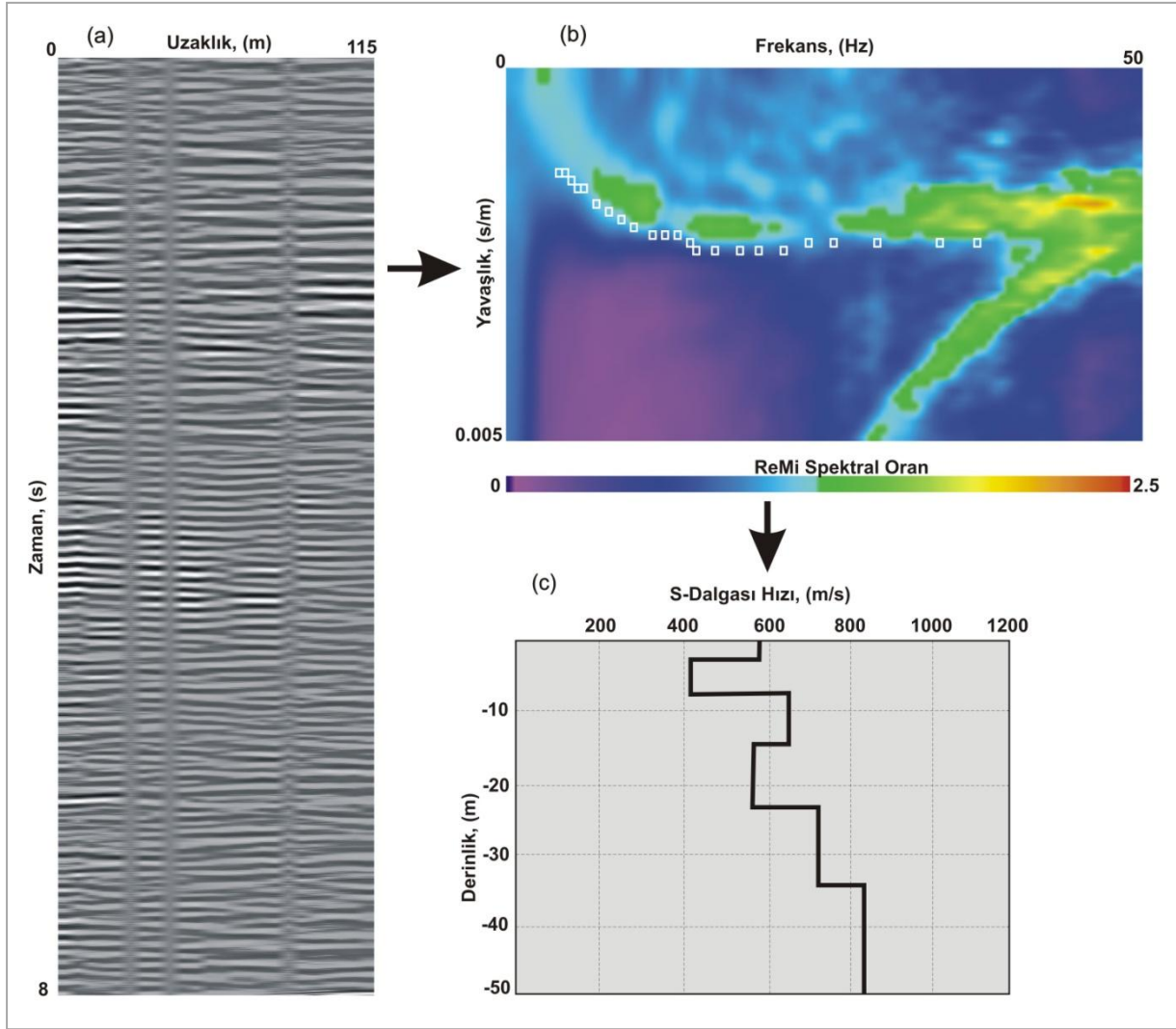
$V_s$  bilgisinin elde edilmesi temel olarak 3 adımdan oluşmaktadır. Birinci adım aşağıda verilen ifadeyle düşey parçacık hızının  $p - \tau$  dönüşümünün yapılmasıdır (Thorson ve Clearbout, 1985).  $p - \tau$  dönüşümü, çeşitli  $x$  noktalarında aynı anda ölçülmüş izlerden oluşan bir sismik kayıt  $(\epsilon, t)$  boyunca çizgisel entegral olarak tanımlanmaktadır. Yavaşlık olarak tanımlanan  $p = dt / dx$ ,  $x$  doğrultusundaki eğimi verir.  $x$  ve  $t$   $\Delta x$  ve  $\Delta t$  şeklinde ayıklaştırılır. Yavaşlık entegrali bu ayrık değerlerin toplamından oluşur. Dönüşümde ortaya çıkan eğimler boyunca belirlenen  $\tau$  değerine karşı gelen  $x$  değerlerinden  $p$  değeri belirlenir. Eğimi veren bu doğru boyunca her izdeki genliklerin toplamı, belirlenen  $\tau$  ve  $p$  çiftine karşılık gelecektir ki bu faz hızını verir.

İkinci adım veriyi  $p - \tau$  ortamından  $p - f$  ortamına McMechan ve Yedlin (1981)'in gösterdikleri gibi Fourier dönüşümü yapılır ve bu dönüşümü takiben üçüncü adımda da Louie (2001) tarafından gösterildiği gibi güç spektrumu alınır. Güç spektrumu  $F(\omega, f)$  ile onun karmaşık eşleniğinden oluşur. Bu şekilde alıcı profili boyunca  $p - \tau$  çiftinin düz ve ters yöndeki dönüşümlerinin toplamı alınır. Böylece her iki yöndeki yavaşlık değerlerinin tek bir  $|p|$  ekseninde toplanması sağlanır ve toplam elde edilmiş olur. Bu dönüşümden arka arkaya uygulanması sonucunda uzaklık zaman  $(\epsilon, t)$  ortamında bulunan sismik kayıt hızın tersi olan yavaşlama ve frekans  $(\omega, f)$  ortamına dönüştürülmüş olur.

ReMi verisi çalışma alanının tam ortasında tek bir nokta için yapılmıştır. Amaç MASW' den elde edilen tabaka hızları ile karşılaştırma yapmak ve göreceli olarak daha derinlere (~50 m) ait hızları elde etmektir. Çalışmada 24 adet 4.5 Hz'lik jeofon 5 m aralıklandırılmış ve böylece maksimum açılım 115 m'ye ulaşmıştır. 0.5 ms örnekleme aralığı ile 8 s'lik gürültü kaydı aynı noktada aralıklarla 30 defa alınarak ReMi spektral oranının yükseltilmesi hedeflenmiştir. Şekil 3a elde edilen ReMi kayıtlarından birini göstermektedir. 30 adet gürültü kaydının her birine genlik kazanımı uygulanarak, uzaklık zaman ortamı hız-frekans ortamına dönüştürülerek hız spektrumları hesaplanmıştır.

Elde edilen spektrumlar birleştirilerek tek bir spektrum elde edilmiş ve bu çıktı üzerinde ortaya çıkan dispersiyon eğrisi dikkate alınarak frekansla değişen görünür hızlar elde edilmiştir. Şekil 3b elde edilen dispersiyon eğrisini göstermektedir. Dispersiyon eğrisine uygulanan ters çözüm hesaplaması ile S-dalgası hızları ve karşı gelen

tabaka derinlikleri elde edilmiştir (Şekil 3c). Literatürde tekniğin detayları ve değişik uygulamaları geniş bir şekilde yer almaktadır (Louie, 2001; Thelen vd., 2005; Richwalski vd., 2007; Anderson vd., 2007; Chávez-García vd., 2007, Kanbur vd., 2008; Kanbur ve Kanbur, 2009).



**Şekil 3.** (a) 10 m'lik ölçüm noktasında alınan tipik ReMi verisi. (b) (a)'da gösterilen gürültü kaydının güç spektrumu. (c) (b)'de içi boş kutucuklarla gösterilen pik dispersiyon eğrisine karşı gelen kuramsal dispersiyon eğrisinden elde edilen Vs hızları ve derinlikleri (Vs modellemesi 4 tabaka için yapılmıştır)

### **Sığ Sismik Yansıma**

Sığ sismik yansıma tekniği çalışma alanının sığ stratigrafik özelliklerini ortaya çıkarmak için kullanılmıştır. Teknik yerin sığ derinliklerine ait yapının incelenmesinde oldukça yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Yılmaz, 1988; Steeples ve Miller 1998; Sheriff ve Geldart 1995). Yansıma verisi MASW profili ile aynı profil üzerinde alınmıştır. Toplam 75 yansıma kayıt verileri şu şekilde alınmıştır. 12 adet 100Hz'lik P jeofonu 1.5 metre aralıklandırılmış kısa ofset 0 ve uzun ofset 16.5 m alınmıştır. Balyoz-çelik levha sismik kaynak olarak kullanılmış ve her ofset noktasında 10 vuruş yapılarak toplanmıştır. Veri toplama esnasında 15 Hz'lik düşük frekanslar süzgeçlenmiştir. Profil boyunca toplam

75 adet verinin kayıt boyu 250 ms ve örnekleme aralığı 0.125 ms alınmıştır. Veriye uygulanan işlemler, genlik kazanımı, bant-geçişli filtre, mute işlemi, CDP sıralama, hız analizi, normal zaman kayması düzeltmesi (NMO) ve 6 katlamalı CMP yığıma işlemleridir. Kesite ilişkin derinlik ortalama hız göz önüne alınarak verilmiştir.

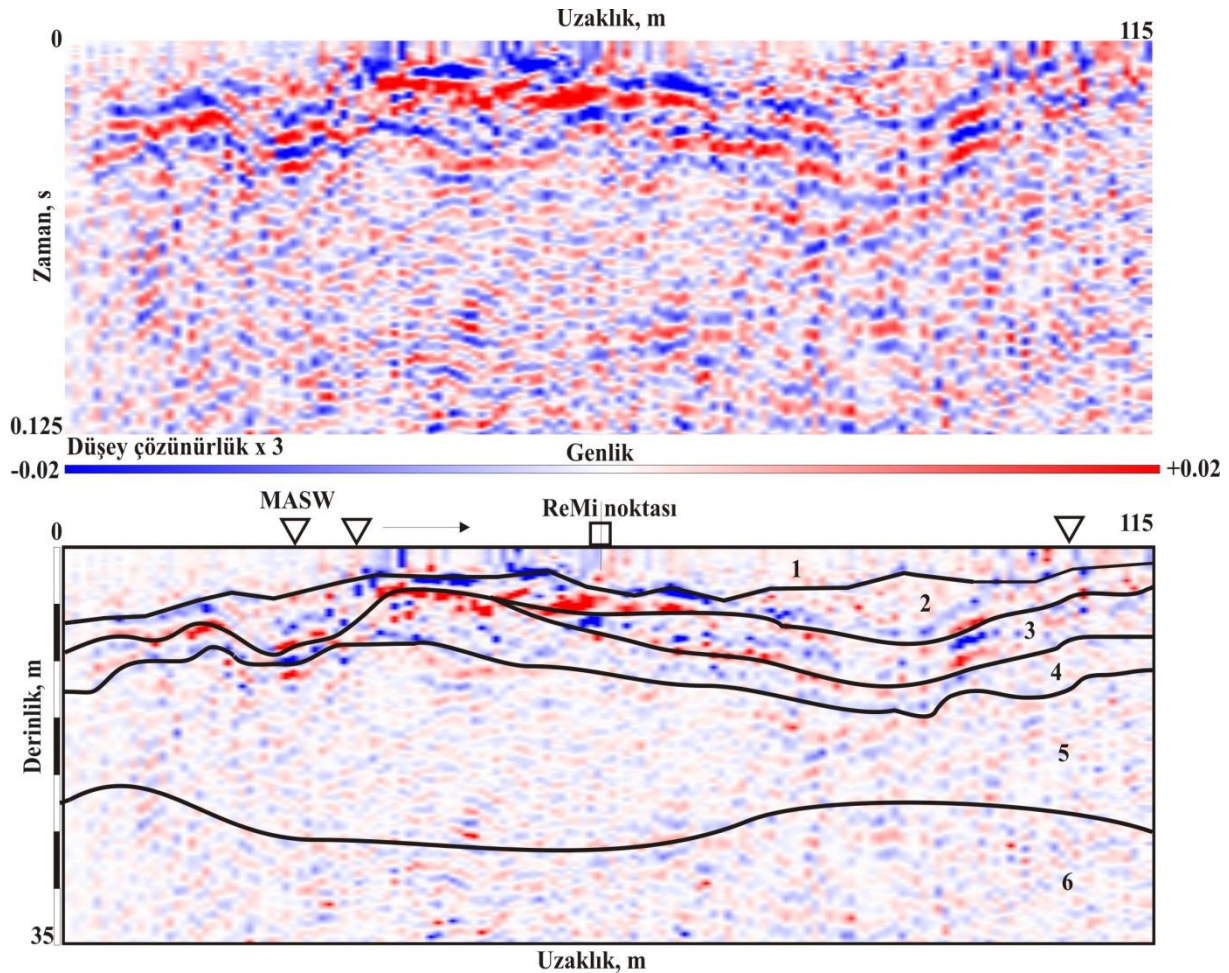
### **Bulgular**

Yer içerisinde sismik dalganın yayılmasında dalganın derinlikle hızının artacağı temel varsayımdır. Bu varsayım genel olarak doğrudur. Bununla birlikte bazen bu çalışmada görüldüğü gibi üstte bulunan volkanik pekişmiş

yahut yarı pekişmiş tuf altta bulunan pekişmemiş kum malzemesinden daha yüksek sismik hızlara sahiptir. Bu durum sismik kırılma tekniğinde ciddi bir problemdir ve tekniğin sonuç vermemesine neden olur. Ancak sismik yansıma, ReMi ve MASW teknikleri için bu durum problem oluşturmamaktadır. Dolayısıyla bu teknikler böyle alanlarda daha doğru sonuç verirler.

Şekil 4 sismik ölçü alanında elde edilmiş verilere ait sığ sismik yansıma kesitini göstermektedir. Ortalama hız göz önüne alındığında yaklaşık 35 m derinlik içerisindeki tabakalar görüntülenmiştir. Yer özelliği ve stratigrafik tanımlama UBC (Uniform Building Code)'ye göre Vs30 temel alınarak yapılmıştır (Kanbur ve Kanbur, 2009).

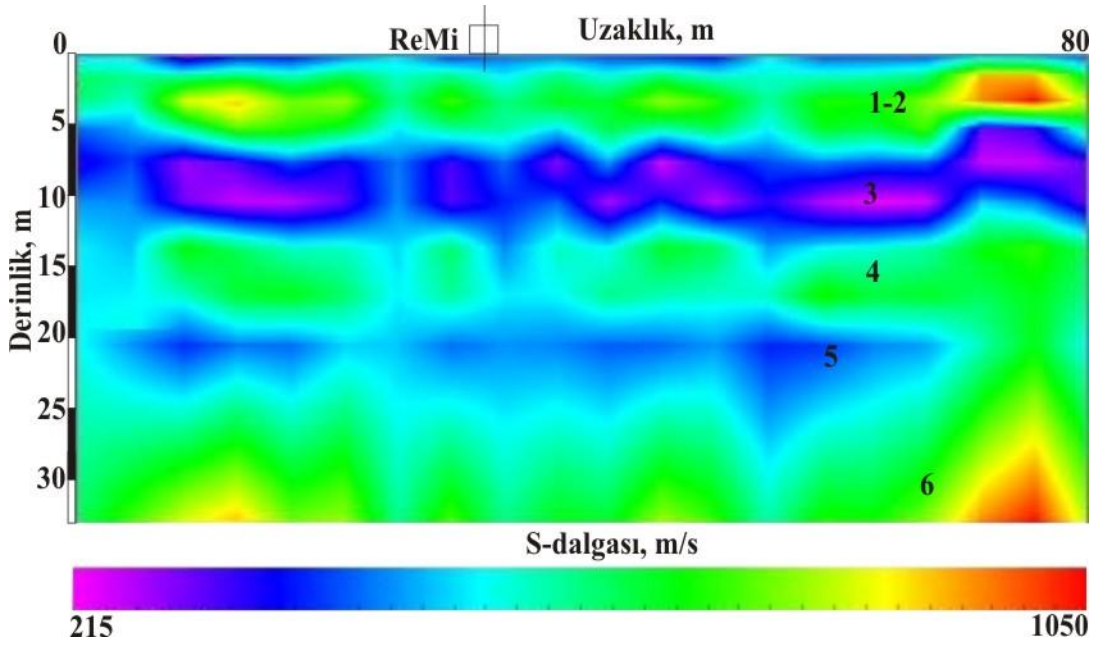
Buna göre toplam 6 birim yorumlanmıştır. Bunlar: 0-5 m, çok ince toprak ve altında yer yer yüzeyleyen pekişmiş ve yarı pekişmiş tuf, 0.5-1.5 m, ağırlıklı 3-5 cm ve daha küçük boyutlu çakıl, 2-3 m kum ve altında 1-2 m ağırlıklı 1-2 cm ve daha küçük boyutlu çakıl, 6-9 m çakıllı kum, daha alt kısmı oluşturan Paleojen kırıntılı çökeller mevcuttur. Açık denizel karakterli bu kırıntılı kayalar kumtaşı, kıltaşı, marn ve çakıltaşı ardalanmalarından oluşmaktadır (Kanbur vd., 2008). Paleojen'in temelini daha ince kırıntılı kayalar oluştururken, üste doğru ardalanmalı kırıntılıların yaygın olduğu gözlenir (Karaman, 1994; Kanbur vd., 2008).



**Şekil 4.** Sismik yığıma kesiti ve yorumu. UBC'ye göre MASW ve ReMi'den elde edilen Vs hızları (Çizelge 1, Kanbur ve Kanbur, 2009) dikkate alınarak kesit üzerinde verilen çökel birimlere ait rakamların anlamları şu şekildedir. 1- ince toprak, pekişmiş ve yer yer yarı pekişmiş tuf, 2- ağırlıklı 2-5 cm çapında çakıl, 3- kum, 4- 1-3 cm çapında çakıl, 5- çakıllı kum, 6- Paleojen kırıntılı çökelleri-Kayıköy Fm (Şekil 1). Üçgenler MASW başlangıç ve bitiş noktasını, kare ReMi ölçü noktasını göstermektedir.

Şekil 5 MASW verilerinden elde edilmiş sismik S-dalgası hız kesitini göstermektedir. Kesit yansıma kesitiyle benzerlik göstermektedir. Kesitte sismik S-dalgası hızı 215-1050 arasında değişen çökel birimler şu şekilde sıralanmaktadır. 1-2 ile gösterilen kısım 850-1050 m/s hızlarına sahip üst kısım, 5-6 m'yi bulan bu üst kısım, ince toprak altında pekişmiş ve yarı pekişmiş yer yer yüzeyleyen tuf ve altında 4-5 cm çaplı çakıl. 3 ile gösterilen koyu mavi ve mor renklerinden oluşan seviye 220-350 m/s hızlarla pekişmemiş kumu göstermektedir.

Kumun hemen altında 4 ve onun altındaki 5 ile gösterilen tabakalar açık mavi ve yeşil karışımli renklerle hızları 650-750 m/s hızlarla çakıl ve kum karışımli bir birime işaret ederken alt tarafta renkler açık mavi koyu maviye dönüşmekte ve hızlarda 350-500 m/s hızlarına inerek az çakıllı pekişmemiş kuma işaret etmektedir. Yaklaşık 25-30m seviyesi sismik kesitte de belirtildiği gibi Paleojen kırıntılıların devamlılığına işaret etmektedir (Kanbur vd., 2008).



Şekil 5. Ölçü alanında elde edilen toplam 20 adet MASW verisinin tek tek ters-çözüm işlemi yapıldıktan sonra 2 boyutlu şekilde yan yana birleştirilmesi ile elde edilmiş MASW kesiti. Kesit üzerinde gösterilen sayılara karşı gelen birimler şu şekildedir: 1, 2- ince toprak, pekişmiş ve yer yer yarı pekişmiş tüf, ağırlıklı 2-5 cm çapında çakıl, 3- kum, 4- 1-3 cm çapında çakıl, 5- çakıllı kum, 6- Paleojen kırıntılı çökelleri-Kayıköy Fm (Şekil 1)

ReMi'den elde edilen S-dalgası hızları MASW sonuçları ile uyum içerisinde gözükmemektedir. Vs30 açısından bakıldığında MASW için tüm noktalar için genel olarak 500 m/s civarlarında çıkmaktadır. ReMi için Vs30 530 m/s'dir. Buna göre ReMi hızlarının göreceli olarak biraz yüksek olduğu gözlenmektedir.

## Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada Pliyo-Kuvaterner çökelleri üzerinde yerin sığ kısmına ait çökellerin sismik hız ve tabakalaşma özelliklerini ortaya koymak için Sismik yansıma, MASW ve ReMi teknikleri kullanılmıştır. Yerin yaklaşık 50 m derinliğine kadar sismik S-dalgası hız değişimleri ve tabakalaşma durumu araştırılmıştır. Çalışmada sığ yansıma kesiti ile MASW kesitleri tabakalaşma açısından değerlendirilmiş, diğer taraftan MASW ve ReMi sonuçları sismik S-dalgası hızı açısından karşılaştırılmıştır.

Şekil 1'de gösterilen profil boyunca elde edilen sismik yansıma kesiti ile 6 değişik çökel tabaka ayırdedilebilmiştir. Sonuçlar çalışma alanında bulunan 7-8 m derinliğe sahip yarımada gözlenen kısım için uygun gözükmemektedir. Bununla birlikte en üstte bulunan ince toprak tabaka sismik kesitte gözükmemektedir. Üst kısımda tüf, çakıl ve kum seviyeleri ve alt kısımda 25m civarlarında Kanbur vd. (2008) tarafından gösterildiği gibi Kayı köyü formasyonu görüntülenmiştir.

Aynı profil üzerinde elde edilen MASW kesiti yansıma kesiti gibi yorumlanmış, benzer tabakalaşma elde edilmiştir. Üst kısmın çözünürlüğünün sismik yansıma göre daha az olduğu gözlenmiştir. Şöyle ki üst üç tabaka tek bir tabaka olarak ortaya çıkmaktadır. Sismik enerji

kaynağının üretmiş olduğu frekans bandı değiştirilemeyeceğinden 2 m aralıkla dizilen jeofon aralığının daraltılması ile bu problem aşılabılır. Bununla birlikte bu durumda hedef derinliğin değişmemesi için jeofon sayısının artırılması gerekmektedir. Daha derinler için MASW'nin yansıma verisi ile uyum içerisinde olduğu görülmüştür.

ReMi tekniği kullanılan tekniklerle kıyaslamak ve göreceli olarak daha derinlerden bilgi almak amacıyla kullanılarak 50 m derinliğe ulaşılmıştır. Her iki teknikten elde edilen sismik S-dalgası hız değerlerinin birbirlerine çok yakın olduğu gözlenmiştir. Hesaplanan MASW ve ReMi'nin Vs30 hızları sırasıyla 500, 530 m/s civarlarındadır. ReMi sonuçlarında diğer iki teknikten farklı olarak daha derinlerden bilgi elde edilmiştir. 45 m'de ortaya çıkan 830 m/s hıza sahip birim Kanbur vd., (2008) tarafından da gösterildiği gibi kireçtaşından oluşan ana kaya ya işaret etmektedir.

Stephenson vd. (2005)'te MASW ve ReMi yöntemlerinin birlikte kullanılmasının sonuçların güvenilirliğini artıracığı ve dolayısıyla bu tekniklerin birlikte kullanılmasının yararına işaret etmektedirler. Bu çalışmanın sonuçları bu araştırmacıların önerilerini desteklemektedir. Sonuçlar MASW yönteminin ayrımlılığının daha yüksek fakat ReMi yönteminin de daha derinlerden bilgi elde etmek için hızlı, kolay ve uygulanabilir olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla daha derinlerden bilgi alınması gerektiği durumlarda ReMi tekniği tamamlayıcı yöntem olarak da kullanılabilir.

Bu çalışma üç yöntemin uygulanmasının göreceli olarak çok zaman almadığını göstermiştir. Eğer sismik S-dalgası hız yapısına ilaveten yer altı süreksizliklerinin ve yapısal

durumunun araştırılması isteniyorsa bu üç yöntemin birlikte kullanılması sonuçların daha güvenilir olmasına katkı sağlayacaktır.

Sonuç olarak bu çalışmada Pliyo-Kuvaterner çökelleri üzerinde yerin sığ kısmına ait çökellerin sismik hız ve tabakalaşma özelliklerini ortaya koymak için Sismik Yansıma, MASW ve ReMi teknikleri kullanılmış ve yerin yaklaşık 50 m derinliğine kadar sismik S-dalgası hız değişimleri ve tabakalaşma durumu ortaya konmuştur. Tüm sonuçlar birlikte değerlendirildiğinde, sonuçların birbirlerini desteklediği görülmektedir.

## Kaynaklar

- Anderson, N., Thitimakorn, T., Ismail, A., Hoffman, D., 2007, A comparison of four geophysical methods for determining the shear wave velocity of soils. *Environmental and Engineering Geoscience*, 13 (1), 11-23.
- Chávez-García, F. J., Domínguez, T., Rodríguez, M., Pérez, F., 2007, Site effects in a volcanic environment: A comparison between HVSR and array techniques at Colima, Mexico. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 97(2), 591-604.
- Kanbur, Z., Görmüş, M., Kanbur, S. 2008. Isparta yerleşim alanı kuzey kesiminin sığ S-Dalgası kesitinin çıkarılmasında Kırınım-Mikrotitreşim Tekniğinin (ReMi) kullanılması. *Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri dergisi*, 29(2). 76-86.
- Kanbur, Z., Kanbur, S. 2009. Isparta Şehir Merkezi Kuzeyinin Sismik Kırılma-Mikrotitreşim (ReMi) Tekniği ile S-Dalgası Hız Dağılımı. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 13(2), 156-172.
- Karaman, M. E. 1994. Isparta-Burdur arasının jeolojisi ve tektonik özellikleri. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 37, 119-134.
- Louie, J.N. 2001. Faster, better: shear-wave velocity to 100 meters depth from refraction microtremor arrays. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 91(2), 347-364.
- McMechan, G.A., Yedlin, M.J. 1981. Analysis of dispersive waves by wave-field transformation. *Geophysics*, 46, 69-874.
- Miller, R.D., Xia, J., C. Park, Ivanov, J., Geier, N., Laflen, D. 1999. Using MASW to map bedrock in Olathe, Kansas: Kansas Geological Survey Open-file Report 99-9.
- Nazarian, S., Stokoe, K. H., II., Hudson, W. R. 1983. Use of spectral analysis of surface waves method for determination of moduli and thicknesses of pavement systems: *Transport. Res. Record*, 930, 38-45.
- Park, C. B., Xia, J., Miller, R. D. 1998. Ground roll as a tool to image nearsurface anomaly: 68th Ann. Internat. Mtg., Soc. Expl. Geophys., Expanded Abstracts, 874-877.
- Park, C.B., Miller, R.D., Xia, J. 1999. Multi-channel analysis of surface waves. *Geophysics*, 64(3), 800-808.
- Park, C.B., Miller, R.D., Xia, J., Ivanov, J. 2001. Characterization of geotechnical sites by Multichannel Analysis of Surface Waves (MASW) method: submitted to the Tenth International Conference on Soil Dynamics and Earthquake Engineering (SDEE) in Philadelphia in October 2001.
- Park, C.B., Miller, R.D., Miura, H. 2002. Optimum field parameters of an MASW survey [Exp. Abs.]: SEG-J, Tokyo, May 22-23, 2002.
- Pancha, A., Anderson, J. G., Louie, J.N., Pullammanappallil, S. 2008. Measurement of shallow shear wave velocities at a rock site using the ReMi technique. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 28, 522-535.
- Richwalski, S. W., Picazzo, M., Parolai, M., Milkereit, C., Baliva, F., Albarello, D., Roy-Chowdhury, K., Zschau, H., J. 2007. Rayleigh wave dispersion curves from seismological and engineering-geotechnical methods: a comparison at the Bornheim test site (Germany). *Journal of Geophysical Engineering*, 4 349-361.
- Sheriff, R. E., Geldart, L.P. 1995. *Exploration Seismology*, second edition, Cambridge University Press 592 pp.
- Steeple, D.W., Miller, R.D. 1998. Avoiding pitfalls in shallow seismic reflection surveys. *Geophysics* 63, 1213-1224.
- Stephenson, W.J. Louie, J.N. Pullammanappallil, S. Williams, R.A. Odum, J.K. 2005. Blind shear-wave velocity comparison of ReMi and MASW results with boreholes to 200 m in Santa Clara Valley: implications for earthquake ground motion assessment, *Bull Seism Soc Am.* 95, 2506-2516.
- Stokoe, K. H., II, Wright, G. W., James, A. B. Jose, M. R. 1994. Characterization of geotechnical sites by SASW method, in Woods, R. D., Ed., *Geophysical characterization of sites: Oxford Publ.*
- Tallavo, F., Cascante, G., Pandey, M. 2008. Experimental and numerical analysis of MASW tests for detection of buried timber trestles. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*. 29(1): 91-102.



- Thelen, W.A., Clark, M., Lopez, C. T., Loughner, C., Park, H., Scott, J.B., Smith, S. B., Greschke, B., Louie, J. N. 2005. A transect of 200 shallow shear velocity profiles across the Los Angeles Basin. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 96(3), 1055-1067.
- Thorson, J.R. ve Claerbout, J.F. 1985. Velocity-Stack and Slant-Stack Stochastic Inversion. *Geophysics*, 50, 2727-2741.
- Xia, J., Miller, R.D., Park, C.B. 1999a. Estimation of near-surface shear-wave velocity by inversion of Rayleigh wave. *Geophysics*, 64(3), 691-700.
- Xia, J., Miller, R.D., Park, C.B., Hunter, J.A., Harris, J.B. 1999b. Evaluation of the MASW technique in unconsolidated sediments [Exp. Abs.]: *Soc. Explor. Geophys.*, p. 437-440.
- 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, B.C., Canada: *Journal of Environmental and Engineering Geophysics*, v. 5, n. 3, p. 1-13.
- Yılmaz, O. 1988. *Seismic data processing*, Society of Exploration. Geophysicist 526 pp.