



## Farklı Yöntemler Kullanarak S Dalga Hızının Bir Boyutlu Analizi ve Mikrotremor Uygulamaları: Kaynaklar (İzmir) Örneği

### One-Dimensional Analysis of S Wave Velocity using Different Methods and Microtremor Applications: an Example of Kaynaklar (Izmir)

Eren Pamuk<sup>1</sup>, Şenol Özyalın<sup>1</sup>, Mustafa Akgün<sup>1</sup>, Tolga Gönenç<sup>1</sup>, Zülfikar Erhan<sup>1</sup>, Aykut Tunçel<sup>1</sup>, Funda Önsen<sup>1</sup>, Özkan Cevdet Özdağ<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Dokuz Eylül Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü, İzmir ([eren.pamuk@deu.edu.tr](mailto:eren.pamuk@deu.edu.tr))

**Özet :** Önemli bir deprem kuşağında yer alan ülkemiz birçok yıkıcı depreme maruz kalmıştır. Deprem sırasında mühendislik yapısında meydana gelen zararlar zeminin dinamik özellikleriyle yakından ilişkilidir. Bu nedenle deprem hasarlarının en aza indirilmesi için öncelikle yapılması gereken mühendislik yapısının oturacağı zeminin iyi tanımlanmasıdır. S dalga hızı bilgisi zeminin deprem sırasındaki davranışını belirlemede önemli rol oynar. Bu çalışma kapsamında İzmir Kaynaklar bölgesi civarında tanımlanan alanda zemin özelliklerini araştırmak için, Çok Kanallı Yüzey Dalga Analizi (MASW- Multi Channel Analysis of Surface Waves), ReMI (Refraction Microtremor), Uzaysal Özilişki (SPAC- Spatial Autocorrelation) ölçümleri alınmıştır. Bu çalışmalardan elde edilen sonuçlar ortak yorumlanarak İzmir Kaynaklar bölgesi civarında zeminin S hız yapısını yüzeyde ve derinde yüksek çözünürlükle elde edilmesine çalışılmıştır. Elde edilen S hız kesitlerine bakıldığında yüzeyden 20 m ye kadar hızlar 400-600m/sn, yaklaşık 90m civarlarına kadar 900-1200 m/sn civarlarında çok yüksek bir hız tabakası vardır. 90m'den itibaren ise bir önceki tabakaya nispeten daha düşük hızlar elde edilmiştir. Ayrıca zeminin hakim titreşim periyodunu belirlemek ve zemin-yapı ilişkisini ortaya koymak için bir dizi mikrotremor ölçümü de yapılmıştır. Mikrotremor ölçümlerinden elde edilen H/V spektrumlarına bakıldığında baskın frekanslar 4-10 Hz civarındadır.

**Anahtar Kelimeler:** S- dalga hızı, Mikrotremor, SPAC, MASW, ReMi

**Abstract:** Turkey which is in the important earthquake zone has suffered from many the many destructive earthquakes. Damages which would occur during the earthquakes on the engineering structure are closely related with the dynamic properties of the soils. For this reason, in order to minimization of the damages the soil conditions at where the engineering structure would be placed must be described well at first. The S-wave velocity information plays important role for the determination of the soil behaviour of the soil during the earthquake. In the context of this study, the measurements of the Multi Channel Analysis of Surface Waves (MASW), Refraction Microtremor (ReMI) and Spatial Autocorrelation (SPAC) were made in order to investigate the soil conditions at the İzmir Kaynaklar region. It was tried to determine the S wave velocities on the surface and at depth with the high resolution by carrying out common interpretation for the results obtained for this area. S-wave velocities are 400-600 m/s up to 20 m depths, whereas these velocities are to be much higher at the range of 900-1200 m/s in around 90 m. From 90 m downward the smaller velocities were obtained compared to the velocities above. Also, in order to determine the predominant vibration period and to understand the structure and soil relations, the series of microtremor measurements were made. The predominant frequencies range at about 4-10 Hz observed in the H/V spectra obtained from the microtremor measurements.

**Keywords:** S-wave velocity, Microtremor, SPAC, MASW, ReMi

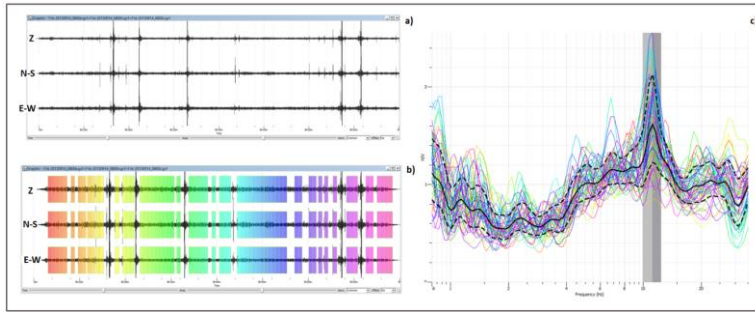
## GİRİŞ

Ege bölgesi depremsellik açısından oldukça aktif bir bölgedir. İzmir ve civarı birinci dereceden deprem bölgesidir. İzmir ve çevresinde 10'un üzerinde aktif fay bulunmaktadır. İzmir'in depremselliği dikkate alındığında deprem sırasında zeminin nasıl davranacağını belirlemek oldukça önemli olacaktır. Deprem sırasında zeminin davranışlarını belirlemede kullanılan en güvenilir yöntemlerden biri, yerin S dalga hız yapısının belirlenmesidir. Bunun için sismik kırılma ve simik yansıma yöntemlerinin olumsuzluklarını ortadan kaldırmak için geliştirilen yüzey dalgası yöntemleri kullanılmıştır. Yüzey dalgası kaynaklı analiz yöntemleri zemin dinamik parametrelerini belirlemek için günümüzde yaygın olarak kullanılmaktadır (Park ve ark., 1999; Liu ve ark., 2000; Louie, 2001). Yüzey dalgası yöntemleri aktif ve pasif kaynaklı olmak üzere iki türü uygulanabilmektedir. S-

dalgası hız profilleri, yüzey (Rayleigh) dalgalarının frekans bağımlı faz hızı (dispersiyon) eğrilerini analizi sonucunda elde edilir. Aktif kaynaklı yöntemler iyi sonuçlar üretmelerine rağmen iyi ve güçlü kaynağa ihtiyaç duyarlar, ancak pasif kaynaklı yöntemlere göre araştırma derinliği daha azdır. Aktif ve pasif kaynaklı yüzey dalgası yöntemlerinde temel amaç dispersiyon eğrisinin elde edilmesidir. Elde edilen dispersiyon eğrilerinden ortama ait bir boyutlu olarak S dalga hız profilleri ortaya konmaktadır. Bu çalışmada aktif ve pasif kaynaklı yöntemler kullanılarak ortama ait S dalga hız profilleri belirlenmeye çalışılmıştır. Hızlı yapılaşma süreci içerisinde giren İzmir ili kaynaklar bölgesi civarında 10 profil boyunca MASW ve ReMi, 5 noktada ise SPAC ölçümleri alınmıştır. Bu çalışmalardan elde edilen sonuçlar ortak yorumlanarak İzmir Kaynaklar bölgesi civarında zeminin S hız yapısını yüzeyde ve derinde yüksek çözünürlükle elde edilmesine çalışılmıştır. Elde edilen S hız kesitlerine bakıldığında yüzeyden 20 m ye kadar hızlar 400-600m/sn, yaklaşık 90m civarlarına kadar 900-1200 m/sn civarlarında çok yüksek bir hız tabakası vardır. 90m'den itibaren ise bir önceki tabakaya göre nispeten daha düşük hızlar elde edilmiştir. Mühendislik yapısı (konut türü yapılar, köprü-viyadükler, barajlar, hastaneler vb.) ile oturduğu zeminin periyodu birbirine yakın olması durumunda rezonans oluşur ve rezonans durumunda mühendislik yapısının salınım genliği büyür ve yapıda hasar meydana gelir. Bu nedenle zemin-yapı ilişkisini ortaya koyabilmek için yapılan mikrotremor ölçümleri oldukça önemlidir. Yerleşim alanları içerisinde zeminlerin hakim titreşim periyotlarını belirleyebilmek için mikrotremor, yatay/düşey spektral oran tekniği sıklıkla kullanılmaktadır (Nogoshi M. and Igarashi T. ,1971; Nakamura, Y., 1989.). Bu amaçla 40 noktada da mikrotremor ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Mikrotremor ölçümlerinden elde edilen H/V spektrumlarına bakıldığında zemin hakim titreşim frekansları 4-10 Hz civarındadır.

## KULLANILAN JEOFİZİK YÖNTEMLER

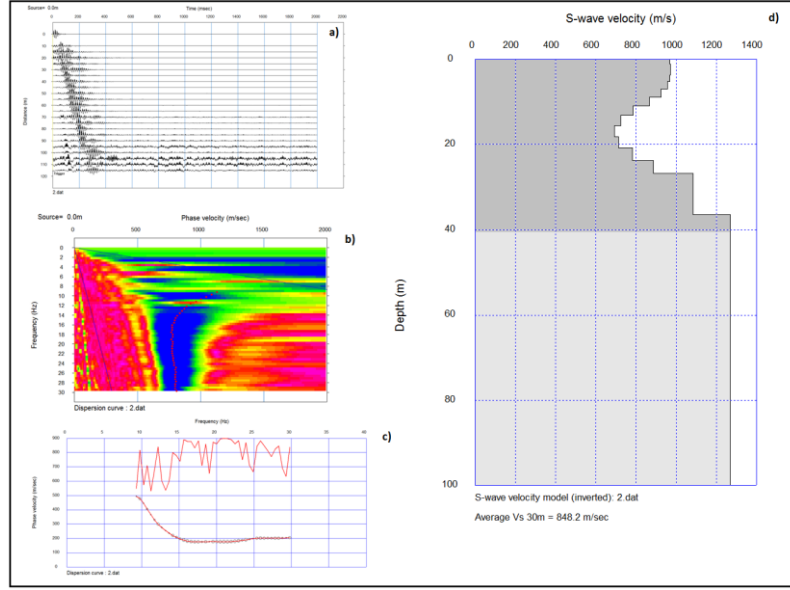
Mikrotremor ölçümleri belirlenen 40 noktada Güralp CMG 6TD marka sismometre kullanılarak, ortalama 30 dk ve 100 Hz örnekleme aralığı ile alınmıştır. Mikrotremor kayıtları Scream 4.4 programı ile sayısal olarak kaydedilmiştir. Geopsy programı ile de mikrotremor verilerine öncelikle 0.5-20 Hz aralığında Bant geçişli süzgeç ve daha sonra filtrelenmiş veriye pencereleme işlemi uygulanmıştır. Herbir pencere için Hızlı Fourier Dönüşümü (FFT) uygulanarak her bir bileşene ait genlik spektrumları elde edilmiştir. Sonuç olarak Yatay bileşenlerin düşey bileşene oranı hesaplanarak H/V spektral oranları elde edilmiştir. Son aşamada ise Konno-Ohmachi yuvarlatması uygulanmıştır (Şekil 1).



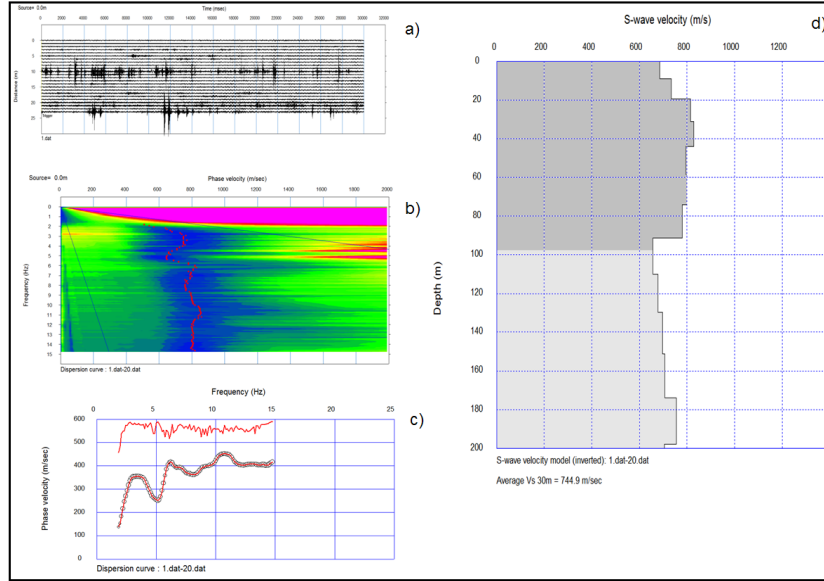
**Şekil 1** a) Üç bileşenli mikrotremor verisi b) Veri işlem uygulanmış ve pencerelenmiş mikrotremor verisi c) H/V spektral oran eğrisi

Çalışma alanında S dalga hızını belirlemek için toplam 10 adet MASW profili seçilmiştir. Aynı profil üzerinde ReMi ölçümleri de alınmıştır. Bu ölçümler sırasında 24 kanallı Geometrics ve Geode marka sismik cihazlar kullanılmıştır. MASW ölçümlerinde kaynak olarak ise balyoz ve hidrolik çekiç kullanılmıştır. Bu çalışmada düşük frekanslı (4.5 Hz) düşey jeofonlar kullanılmıştır. Jeofon aralığı genellikle 5m seçilerek veriler toplanmış ve veri işlem aşamasında Seislmager programı kullanılmıştır. MASW yönteminde toplanan çok kanallı kayıtlardan her bir frekansa ait faz hızı hesaplanmıştır. Daha sonra temel mod dispersiyon eğrisi elde edilerek, ters çözüm ile de Bir boyutlu S-dalgası hız profili elde edilmiştir (Şekil 2). ReMi yönteminde ise bir profilde en az 20 kayıt alınmıştır. Pasif kaynaklı yöntemde ise veri toplama sırasında kaynak olarak çevresel gürültüler

kullanılmıştır (Şekil 3). Aktif ve pasif kaynaklı yüzey dalgası yöntemlerinde temel fark pasif kaynaklı yöntemlerin daha derinden bilgi elde edilmesidir.

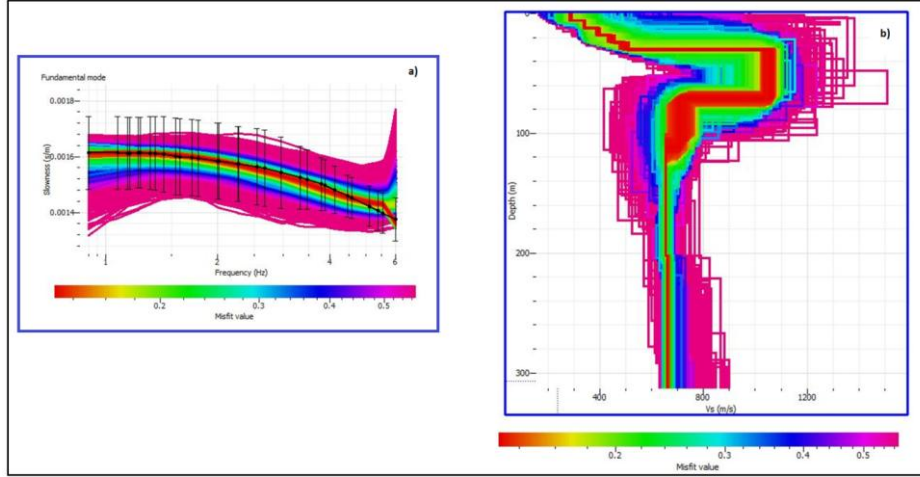


**Şekil 2** MASW yöntemi için a) Çok-kanallı kayıtların toplanması, b) Her bir frekansa ait faz hızı c) Temel-mod dispersiyon eğrisinin çıkarılması ve d) Bir boyutlu S- dalgası hız profilinin elde edilmesi



**Şekil 3** ReMi yöntemi için a) Çok-kanallı kayıtların toplanması, b) Her bir frekansa ait faz hızı c) Temel-mod dispersiyon eğrisinin çıkarılması ve d) Bir boyutlu S- dalgası hız profilinin elde edilmesi

Uzaysal Özilişki Yöntemi (SPAC) yöntemi ile S dalga yapısını elde edebilmek için dizini oluşturan kayıtçıların alıcılar vasıtası ile aynı zaman aralığında sürekli olarak mikrotremorları kaydetmesi zorunludur. Bu çalışmada, SPAC ölçümleri 4 adet Güralp CMG 6TD marka sismometre ile farklı yarıçaplarda dairesel dizilim geometrisi ile alınmıştır. SPAC katsayıları elde edildikten sonra ölçüm noktasına ait dispersiyon eğrisi elde edilmiştir. Bu dispersiyon eğrilerinin hızlı delta dizey yöntemi ile hesaplanması ve en küçük kareler ters-çözümü ile gerçek ve kuramsal dispersiyon eğrilerinin karşılaştırılması sonucu bölgeye ait bir-boyutlu S dalga hız yapısının elde edilmesidir (Şekil 4).



**Şekil 4** a) Yarıçaplar 30-60-100 m için SPAC yöntemi kullanılarak elde edilen Rayleigh dalgasının dispersiyon eğrisi b) Elde edilen bir boyutlu sismik hız kesiti.

## SONUÇLAR

Aktif ve pasif yüzey dalgaları yöntemleri kullanılarak S dalgasının hız profilleri başarılı bir şekilde elde edilmesine çalışılmıştır. S dalga hızının belirlenmesinde kullanılan aktif kaynaklı MASW yöntemiyle yüksek çözünürlükte sıf S dalga hızı profilleri elde edilmiştir. Pasif kaynaklı ReMi ve SPAC yöntemleri ile daha derin ancak MASW yöntemine göre daha az çözünürlükte S dalga hızı profilleri elde edilmiştir. Bütün profillerden elde edilen S dalga hızlarına bakıldığında yüzeyden itibaren 600 m/sn ile 1200 m/sn arasında değişmektedir. Mikrotremor sonuçlarında elde edilen hakim frekanslar 4Hz ile 10Hz arasında değişmektedir. Elde edilen zemin hakim titreşim periyotlarının dağılımı haritalanmıştır. Bölge jeolojik olarak incelendiğinde yaygın olarak kireçtaşı hakimdir. Dolayısıyla elde edilen hızlar ve zemin hakim frekansları jeolojik yapı ile uyumlu olduğu görülmüştür.

## Teşekkür

Arazi çalışmasında yardımcı olan DEÜ Jeofizik mühendisliği 4. sınıf öğrencilerine teşekkür ederiz.

## KAYNAKLAR

### Makale:

- Nakamura, Y., 1989, A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface. QR of RTRI, February, **30**, 1, 25-33.
- Nogoshi M. and Igarashi T. ,1971, On the amplitude characteristics of microtremor. Journal of seismological Society of Japan, **24**, 26-40.
- Liu, H.P., Moore, D.M., Joyner, W.B., Oppenheimer, D.H., Warrick, R.E., Zhang, W., Hamilton, J.C. and Brown, L.T., 2000, Comparison of phase velocities from array measurements of Rayleigh waves associated with microtremors and results calculated from borehole shear-wave velocity profiles, Bull. Seism. Soc. Am., **90**, 666-678
- 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**, 347-364.
- Park, C.B., Miller, R.D., and Xia, J., 1999. Multichannel analysis of surface waves (MASW). Geophysics, **64**, 800-808.