S-DALGA HIZININ MÜHENDİSLİK SİSMOLOJİSİ ÖLÇEĞİNDE ELDE EDİLMESİ İÇİN AKTİF VE PASİF KAYNAKLI YÜZEY DALGASI ANALİZLERİ

A. Karaaslan[1], S. Özalaybey[1], E. Zor[1]

[1]*Yer ve Deniz Bilimleri Enstitüsü,TÜBİTAK MAM,Kocaeli*
Email: aylin.karaaslan@mam.gov.tr

ÖZET:

S-dalga hızı yerel zemin koşullarını belirlemede en önemli zemin parametrelerinden biri olması nedeniyle son zamanlarda mühendislik sismolojisi çalışmalarının sıkça ele alınan araştırma konularından biri haline gelmiştir. Güncel mühendislik sismolojisi çalışmalarında, 1-boyutlu S-dalga hız profilinin elde edilmesi amacıyla geliştirilmiş olan farklı yüzey dalgası analiz yöntemleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu bildiride mühendislik ölçeğinde toplanan 1 ve 2-boyutlu mikrotremör dizin kayıtlarının işlenmesi için kullanılan pasif kaynaklı yüzey dalgası analiz yöntemlerinden F-K ve REMI karşılaştırmalı olarak değerlendirilecektir. Bu karşılaştırmaya ek olarak MASW yöntemi ile gerçekleştirilen aktif kaynaklı uygulama örnekleri verilerek, elde edilen faz hızı dispersiyon sonuçlarının da tartışılması amaçlanmaktadır. Bu amaçla, üretilen sentetik sismogramlar ile Kocaeli ve Bursa illerinde toplanan gerçek mikrotremör ve atış kayıtları yüzey dalgası analiz yöntemleri kullanılarak analiz edilecektir. GEOPSY yazılımı ile gerçekleştirilen farklı yüzey dalgası analizlerinden elde edilen sonuçlar karşılaştırmalı olarak değerlendirilecek, böylece arazi uygulamasında pratik bir yöntem olan REMI yönteminin F-K ve MASW yöntemleri karşısındaki başarısı test edilmiş olacaktır.

ANAHTAR KELİMELER : Mühendislik Sismolojisi, S-Dalgası Hızı, Mikrotremör, Yüzey Dalgaları, Dispersiyon

1. GİRİŞ

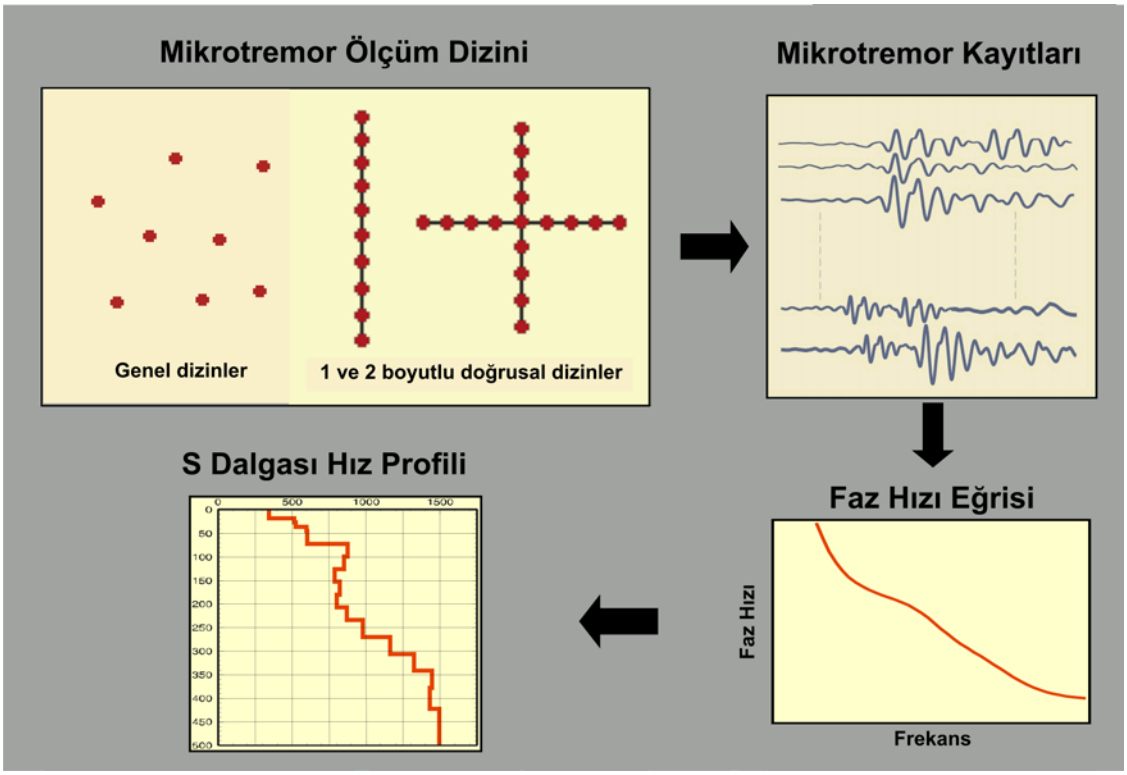
Yerel zemin koşullarını belirlemede en önemli parametrelerden biri olan zeminin S-dalga hızı, aynı zamanda mühendislik sismolojisinin de en sık araştırılan konularından biridir. Zemine ait S-dalga hız profilinin elde edilmesi, mevcut ve önerilen yapı stoğu da göz önünde bulundurularak deprem zararlarının azaltılmasında ve şehir planlamasında katkı sağlayan kilit parametrelerden biridir. Özellikle zeminin 30m derinliğe kadar olan ortalama S-dalga hızı (Vs30), yapı kodlarında yerel zemin koşullarını belirlemek amacıyla kullanılmaktadır. Bu nedenle S-dalga hızı, son zamanlarda jeoteknik ve mühendislik çalışmalarının sıkça ele alınan araştırma konularından biri haline gelmiştir.

S-dalga hızının mühendislik sismolojisi ölçeğinde belirlenmesi amacıyla birçok farklı yüzey dalgası analiz yöntemi geliştirilmiştir. Yüzey dalgası analiz yöntemleri arazide kolay uygulanmaları ve ekonomik olmaları nedeniyle günümüzde mühendislik amaçlı çalışmalarda önemli yer tutmaktadır (Park ve diğ., 2005; Zor ve diğ., 2010). Bu yöntemlerin uygulanmasında yüzey dalgalarının dispersiyon özelliğinden yararlanılmakta, böylece S-dalga hızının derinlikle değişimi belirlenebilmektedir. Aktif ya da pasif kaynaklardan yola çıkarak seyahat eden ve alıcılar tarafından kaydedilen yüzey dalgaları analiz edilerek alıcıların hemen altındaki zeminin dispersif özellikleri saptanabilmektedir. Bu amaçla yüzey dalgasına ait faz hızının dalganın frekansına bağlı olarak değişimini gösteren dispersiyon eğrileri ters çözüm işlemiyle zemine ait S-dalgası hızının derinlikle değişimini gösteren 1-boyutlu S-dalga hız modellerine dönüştürülmektedir. Mühendislik sismolojisinde kullanılan yüzey dalgası analiz yöntemlerinin büyük bir bölümünde kaynak olarak yerin doğal arka plan gürültüsü içinde yer alan

ve genel anlamda 0.5–50 Hz frekans bandında enerji taşıyan mikrotremörler kullanılmaktadır. Mikrotremörlerin mühendislik amaçlı çalışmalarda sıkça kullanılmalarının en önemli nedeni arazi uygulamasında herhangi bir yapay kaynak gerektirmemeleri ve geniş bir frekans bandına yayılan dalga alanı içerikleridir. Bu çalışmada 1-boyutlu ve 2-boyutlu doğrusal dizinler kullanılarak kaydedilen mikrotremör verilerinin işlenmesinde kullanılan pasif kaynaklı yüzey dalgası analiz yöntemleri karşılaştırmalı olarak değerlendirilecek, aynı zamanda MASW yöntemi ile gerçekleştirilen aktif kaynaklı uygulama örnekleri verilerek sonuçlar tartışılacaktır.

2. MÜHENDİSLİK ÖLÇEĞİNDE 1 VE 2-BOYUTLU MİKROTREMÖR DİZİN KAYITLARININ İŞLENMESİ İÇİN KULLANILAN YÜZEY DALGASI ANALİZ YÖNTEMLERİ

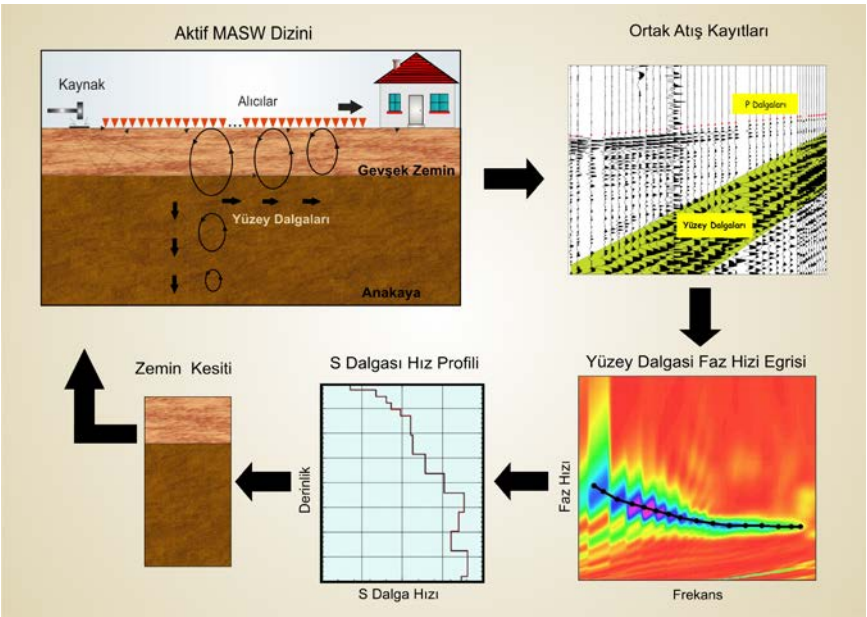
Mikrotremör dalga alanının geniş bir frekans bandında yüzey dalgalarının Rayleigh türü açısından zengin olması (Bonnefoy ve diğ., 2006) ve Rayleigh dalgalarının da düşey bileşen jeofon kayıtçı sistemleri ile kolayca kayıt edilebilir olması nedeniyle mikrotremörler küçük ölçekli mühendislik etüdlerinde kaynak olarak kullanılmaktadır. Mikrotremörler yapılaşmanın yoğun olduğu şehir alanlarında dahi zengin olarak yayınmakta ve özellikle bu türden alanlarda gerçekleştirilen zemin araştırmalarında kolay ve ekonomik bir şekilde kaydedilebilmektedir. Mikrotremörlerin zemin etüdlerinde gözlenerek Rayleigh dalgası analizinde kullanılabilmesi için mikrotremörleri oluşturan dalga alanı farklı geometride oluşturulan çeşitli alıcı dizinleri ile kaydedilmektedir. Bu alıcı dizinleri çalışmanın amacına yönelik olarak 1-boyutlu doğrusal, 2-boyutlu doğrusal, genel 2-boyutlu şeklinde oluşturulabilmektedir (Şekil 1). Yüzey dalgalarının mikrotremör dizin kayıtlarından analiz edilmesi sonucunda 1-boyutlu S-dalga hız profilinin elde edilmesini özetleyen şema Şekil 1'de görülmektedir.



Şekil 1. Mikrotremör Dizin Yöntemi ile S-dalga hız profilinin elde edilmesi.

Mikrotremör dizin kayıtlarının mühendislik sismolojisi ölçeğinde analiz edilerek S-dalga hız profilinin elde edilmesine yarayan birçok yüzey dalgası analiz yöntemi bulunmaktadır. Bu analiz yöntemlerinden biri F-K (Frekans-Dalgasayısı) yöntemidir. F-K yönteminde 2-boyutlu dizinler kullanılarak kaydedilen mikrotremör dalga alanının yatay yavaşlık vektöründen yola çıkılarak, yüzey dalgasına ait faz hızı ve yön bilgisi elde edilebilmektedir (Capon, 1969; Bozdağ ve Kocaoğlu, 2005; Di Guilio ve diğ., 2006; Satoh ve diğ., 2001a; Zor ve diğ., 2010). Mikrotremörlere ait 1-boyutlu doğrusal alıcı dizin kayıtlarının kullanıldığı bir diğer yöntem ise Louie (2001) tarafından geliştirilen REMI (Kırılma Mikrotremör) yöntemidir. REMI Yöntemi'nde mikrotremör dalga alanının yönbağımsız, homojen bir içeriği olduğu varsayımı yapılır. Bu yöntemde 1-boyutlu doğrusal bir alıcı dizini kullanıldığından, dalga alanının yön bilgisi tespit edilememektedir. Doğrusal alıcı dizini doğrultusundan farklı doğrultularda seyahat eden yüzey dalgalarının analiz edilmesi sonucunda gerçek faz hızı değerinden daha yüksek hızlar hesaplanmakta ve hesaplanan bu değer dalganın görünür faz hızı olmaktadır (Strobbia ve Cassiani, 2011). Her bir frekans için hesaplanan en düşük faz hızı değeri ise doğrusal dizin boyunca seyahat eden yüzey dalgasını temsil etmekte ve o frekanstaki gerçek faz hızını vermektedir. Buna karşılık, aktif kaynak kullanılmaması ve şehirleşmenin yoğun olduğu alanlarda uygulama kolaylığı getirmesi gibi önemli avantajları REMI yönteminin mühendislik sismolojisinde kullanımının yaygınlaşmasını sağlamıştır.

Mikrotremör dizin yöntemleri kullanılarak gerçekleştirilen Rayleigh dalgası analizleri ile özellikle 0.5-20 Hz frekans bandında faz hızı dispersiyon eğrileri başarılı bir şekilde elde edilebilmektedir (Cornou ve diğ., 2006; Zor ve diğ., 2010). Bununla beraber, daha yüksek frekans değerlerine karşılık gelen faz hızlarının hesaplanabilmesi için mikrotremör dizin yöntemlerinin yanı sıra aktif kaynaklı MASW yöntemi de sıkça kullanılabilmektedir. MASW yönteminin kullanılması ile aynı zamanda mikrotremör dizin yönteminden elde edilen faz hızı dispersiyon eğrilerinin doğrulanması da sağlanmış olmaktadır. Aktif kaynaklı bir yüzey dalgası analiz yöntemi olan Yüzey Dalgalarının Çok Kanallı Analizi (MASW) Yöntemi Park (1999)'ın gerçekleştirdiği çalışmalar ile mühendislik amaçlı sığ çalışmalarda yaygın olarak kullanılır hale gelmiştir. MASW yönteminde balyoz, vibro, v.s. gibi yapay kaynaklardan üretilen yüzey dalgalarının bir boyutlu alıcı dizinleri ile kaydedilmesi sonucunda oluşan atış kayıtları analiz edilmektedir. MASW yönteminin uygulanışını gösteren şema Şekil 2'de verilmektedir.



Şekil 2. MASW yönteminin şematik gösterimi.

F-K ve REMI gibi pasif kaynaklı yöntemlerin yanında MASW'nin kullanılması ile özellikle yüksek frekanslardaki (5-15 Hz) yüzey dalgası faz hızı değişimi ve dolayısıyla sığ derinliklerdeki (< 30-40 m) S-dalgası hızı bilgisi elde edilebilmektedir. MASW'de yüzey dalgalarını üretmede kullanılan sismik kaynakların alçak frekans içeriklerinin genel anlamda oldukça sınırlı olması nedeniyle yüzey dalgasına ait faz hızı dispersiyonunun alçak frekans bölümü (4-5 Hz'ün altı) hesaplanamamaktadır.

3. SAHA UYGULAMASI, KULLANILAN EKİPMAN VE VERİ İŞLEME YAZILIMI

Bu çalışmada üretilen sentetik sismogramlar ile Kocaeli ve Bursa illerinde toplanan 1-boyutlu mikrotremör ve atış kayıtları ile 2-boyutlu mikrotremör dizin kayıtları REMI, MASW ve F-K Yöntemleri kullanılarak analiz edilecek ve elde edilen faz hızı dispersiyon eğrilerinin karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesi ile REMI'nin F-K ve MASW analiz yöntemleri karşısındaki başarısı test edilecektir.

Mikrotremör dizin ve atış kayıtlarının toplanması için 4.5 Hz köşe frekansına sahip jeofonlar ve toplamda 120 m'lik kablo serimi ile 1-boyutlu ve 2-boyutlu doğrusal alıcı dizinleri oluşturulmuştur. 2-boyutlu dizinler birbirini dik kesen iki adet doğrusal alıcı hattından meydana gelmektedir. Oluşturulan yüzey dalgası kayıtlarının işlenmesinde Avrupa'daki yerbilimciler tarafından, SESAME (Site EffectS assessment using AMbient Excitation) adlı proje kapsamında geliştirilmiş olan ve literatürde yaygın olarak kullanılan, GEOPSY (http://www.geopsy.org) yazılımı kullanılacaktır. GEOPSY yazılımı genel anlamda ortam gürültüsünün analiz edilmesi ile zemin özelliklerinin belirlenmesine yarayan birçok farklı araç içermektedir. Bu çalışmada, toplanan mikrotremör verilerinin F-K ve REMI Yöntemleri ile analiz edilmesi için GEOPSY yazılımı içerisinde yer alan F-K (geleneksel F-K) ve "Pasif deneyler için doğrusal F-K" araçları kullanılacaktır. Atış kayıtlarının veri işlemi ise yazılım içerisinde aktif kaynak çalışmaları (MASW) için geliştirilen| "Aktif deneyler için doğrusal F-K" aracı ile gerçekleştirilecektir.

4. ÇALIŞMADAN BEKLENEN ÇIKTILAR

Bu çalışmanın sonucunda beklenen, REMI analizi ile elde edilen faz hızı değerlerinin alt zarfının F-K'den hesaplanan faz hızları ile örtüşmesi, MASW analizinin ise her iki yöntemi yüksek frekans bandında tamamlaması ve doğrulamasıdır. Her ne kadar 1-boyutlu dizinlerin arazide uygulaması 2-boyutlu dizinlere göre çok daha pratik ve ekonomik olsa da pasif kaynaklı REMI'de dalganın yön bilgisinin çözülememesi ve dolayısıyla yöntemin başarısının mikrotemör dalga alanının tüm yönlerden yayıldığı varsayımına dayanması nedeniyle 2-boyutlu bir mikrotremör dizin yöntemi olan F-K'in faz hızı çözünürlüğünün REMI'ye oranla daha iyi olması beklenmektedir. Benzer şekilde, aktif kaynaklı MASW'de kaydedilen dalga alanının frekans içeriğinin kullanılan kaynak ve alıcı tipi ile sınırlı olması nedeniyle F-K yöntemi alçak frekans bandındaki yüzey dalgası faz hızı dispersiyonunun elde edilmesinde MASW'ye göre daha iyi sonuçlar vermektedir. Sonuç olarak, 1-boyutlu dizinler kullanılarak kaydedilen mikrotremör verilerinin işlenmesinde kullanılan ve uygulamada daha kullanışlı olan REMI yönteminin başarısı 2-boyutlu bir dizin yöntemi olan F-K karşısında değerlendirilmiş olacak, buna ek olarak gerçekleştirilen MASW analizleri ile her iki pasif yüzey dalgası analiz yöntemi ile elde edilen faz hızlarının yüksek frekans bölümünün doğrulanması sağlanmış olacaktır.

KAYNAKLAR

Bonnefoy-Claudet, S., Cotton, F. & Bard, P.-Y. (2006a). The nature of noise wavefield and its applications for site effects studies: A literature review. *Earth-Sci. Rev.*, **79,** 205–227.

Bozdağ, E. & Kocaoğlu, A.H. (2005). Estimation of site amplifications from shear-wave velocity profiles in Yesilyurt and Avcilar, Istanbul, by frequency-wavenumber analysis of microtremors, *J. Seismol.*, **9,** 87–98.

Capon, J. (1969). "High-resolution frequency-wavenumber spectrum analysis". *Proc. IEEE*, **57,** 1408-1418.

Cornou, C., Ohrnberger, M., Boore, D.M., Kudo, K. & Bard, P.-Y. (2006). Derivation of structural models from ambient vibration array recordings: results from an international blind test, in Proceedings of Third International Symposium on the Effects of Surface Geology on Seismic Motion, Grenoble, France, 2006 August 30–September 1, NBT paper.

Di Guilio, G., Cornou, C., Ohrnberger, M., Wathelet, M. & Rovelli, A. (2006). Deriving wavefield characteristics and shear-velocity profiles from two-dimensional small-aperture arrays analysis of ambient vibrations in a small-size Alluvial Basin, Colfiorito, Italy, *Bull. seism. Soc. Am.*, **96(5)**, 1915–1933.

Louie, J, N. (2001). Faster, Better: Shear-wave velocity to 100 meters depth from refraction microtremor arrays: *Bull. seism. Soc. Am.*, **91,** 347-364.

Park, C.B., Miller, R.D., and Xia, J. (1999). Multichannel analysis of surface waves (MASW), *Geophysics*, **64,** 800-808.

Park, C.B., Miller, R.D., Ryden N., Xia, J & Ivanov, J. (2005). Combined use of active and passive surface waves, *J. Environ*. Eng. *Geophys.*, **10(3),** 323–334.

Satoh, T., Kawase, H. & Matsushima, S. (2001a). Estimation of Swave velocity structures in and around the Sendai basin, Japan, using array records of microtremors, *Bull. seism. Soc. Am.*, **91**(2), 206–218.

Strobbia, C., & Cassiani, G. (2011). Refraction microtremors: Data analysis and diagnostics of key hypotheses, *Geophysics*, **76(3),** MA11-MA20.

Zor, E., Özalaybey, S., Karaaslan, A., Tapırdamaz, M.C., Özalaybey, S., Tarancıoğlu, A. Erkan, B. (2010). Shear-wave velocity structure of the İzmit Bay area (Turkey) estimated from active-passive array surface wave and single-station microtremor methods, *Geophys. J. Int*., **182,** 1603–1618.

Url-1 <*http://www.geopsy.org* >, alındığı tarih 24.07.2011.