SİSMİK GÜRÜLTÜ İLİŞKİSİ KULLANILARAK İZMİR VE ÇEVRESİ YERALTI HIZ YAPISI: İLK SONUÇLAR

O. Polat[1], F.J. Chavez-Garcia[2], U. Çeken[3], E. Gök[4] ve M. Keçecioğlu[1]

[1] *Yrd.Doç.Dr., Jeofizik Müh. Bölümü, Dokuz Eylül Üniversitesi, Izmir*
[2] *Universidad Nacional Autónoma (UNAM), Mexico City, Mexico*
[3] *Afet ve Acil Durum Yönetimi (AFAD) Başkanlığı, Deprem Dairesi Başkanlığı, Ankara*
[4] *Deprem Araştırma ve Uygulama Merkezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir*
Email: orhan.polat@deu.edu.tr

ÖZET:

Özellikle derin havzaları temsil eden alanlarda ve İzmir gibi, metropol ölçeğinde yoğun yerleşim alanları içeren bölgelerde geniş boşluklar bulmak, SPAC geometrisi uygulamak, uzun mesafeli açılımlar yapmak, bu zorluklar aşılsa dahi kültürel girişim içermeyen sağlıklı doğal gürültü verisi elde etmek pratikte pek kolay değildir. Dolayısıyla bu çalışma kapsamında; temelde SPAC tekniği ile benzer algoritmayı kullanan, ancak ölçüm istasyonları arasında hassas mesafe aralığı ve doğrultu, azimutal dağılım ve özel dairesel dizilim geometrisi koşullarını aramayan bir yöntem olarak büyük avantaja sahip olan İstasyon Çifti Yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem; sürekli kayıt yapan bir yerel deprem istasyon ağı olması durumunda, veri toplama amaçlı özel arazi uygulamaları yapılmasına ve de bu çalışmaları finanse edecek özel bütçelere (insan gücüne, ekipmana) ihtiyaç duymayan bir uygulama tekniğidir. Analizler sonucunda elde edilen tabakalı kabuk hız yapıları son derece hassastır ve yüksek ayrımlıdır. İzmir'de henüz başlayan bu çalışmada, sürekli kayıt yapan İzmirNET sabit ivme-ölçer deprem istasyon ağı tarafından kaydedilen doğal gürültü verilerine, iki istasyon arasındaki yüzey dalgası Green fonksiyonunu kestirmek için çapraz ilişki yöntemi uygulanmıştır. İkili istasyon çiftleri arasında 0.1 – 1.9 Hz frekans aralıklarında Rayleigh dalgası grup hızları elde edilmiştir. İvme-ölçer istasyonları arasındaki mesafeler 2 – 50 km arasında değişmektedir. Halihazırda 1 haftalık kesintisiz gürültü kayıtlarının kullanılmasıyla yeraltı hız yapısını ortaya koymaya yönelik ilk aşama dispersiyon görüntüleri ilksel sonuç olarak elde edilmiştir. Çalışma kapsamında kent ölçeğinde elde edilen bu ilk sonuçlar, en az bir veya iki aylık kesintisiz gürültü kayıtlarının kullanılmasıyla, İzmir için yüksek ayrımlı yüzey dalgası tomografisi ve sığ yeraltı hız yapısının elde edilmesine ışık tutacaktır.

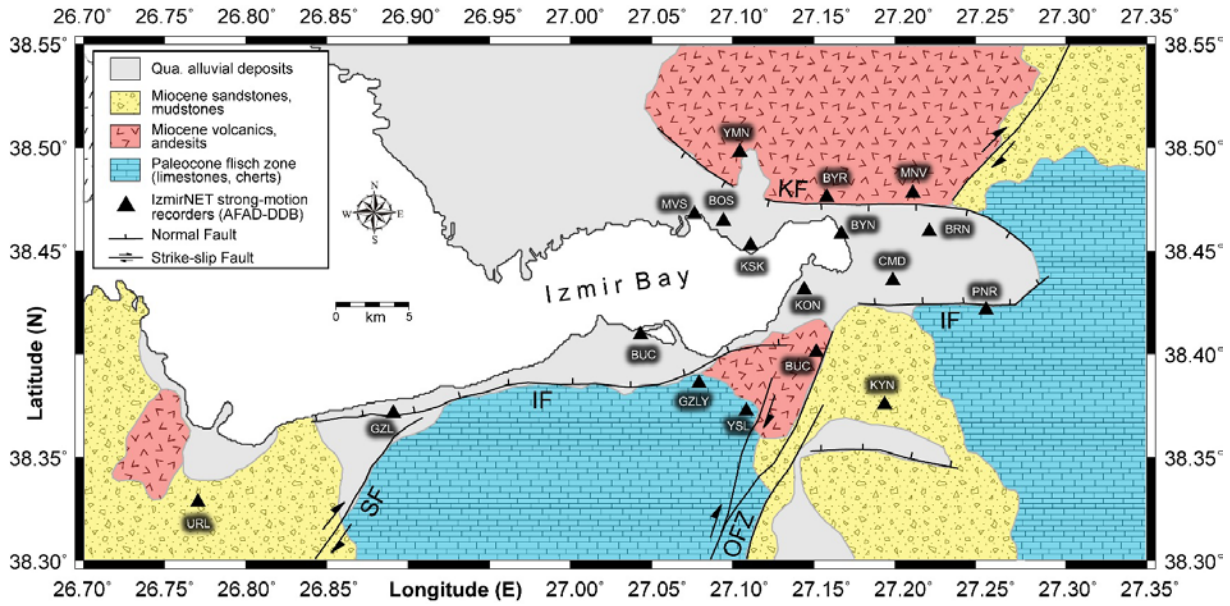
ANAHTAR KELİMELER: Yeraltı hız yapısı, İstasyon Çifti yöntemi, ivme-ölçer ağı, dispersiyon eğrisi

1. GİRİŞ

Son yıllarda dünyanın farklı coğrafyasındaki büyük kentlerin S-dalgası kabuk hız yapılarının tayininde ortaya konan özgün araştırmalardan birisi, sürekli kayıt yapan yerel sabit ivme-ölçer deprem istasyon ağı tarafından kaydedilen doğal gürültü verilerinin, İstasyon Çifti yöntemi (Chavez-Garcia et al., 2005) kullanılarak analiz edilmesidir. Bu tür araştırmadaki en önemli avantaj; veri toplama amaçlı özel arazi çalışmalarına gerek duyulmayışı, özel ölçüm cihazları ve ekipmanlarının kullanılmaması, başka bir deyişle arazide ölçüm yapmak amacıyla finansal bütçe kaynaklarına ihtiyaç duymamasıdır. Sadece, mevcut halde kurulu bir sabit deprem istasyon ağı (ivme veya hız) varsa, bu ağ içindeki kayıtçılar tarafından sürekli kaydedilen doğal gürültü verileri, bu teknik kullanılarak analiz edilebilmektedir. Ancak ülkemizde anakent ölçeğinde yeraltı hız yapısının, deprem verilerinden ziyade doğal sismik gürültü verileri kullanılarak elde edilmesine yönelik bilimsel araştırmalar, yeterli sayı ve duyarlıkta değildir.

İzmir'in yeraltı hız yapısının farklı veri seti ve yöntem kullanılarak ortaya konması, farklı sistemler denetiminde harekete geçme potansiyeli yüksek faylarla çevrili kentin olası hasar analizlerinde, deprem risk hesaplamalarında; özellikle nüfus ve sahip olduğu endüstriyel yatırımlar göz önüne alındığında ayrıca önem arz etmektedir. Yeraltı hız yapısının yüksek ayrımlı, doğru ve güvenilir elde edilmesi; olası bir hasarın artışında; yapı-inşa kalitesinin mi, yerel zemin özelliklerinin mi, yoksa 19 Eylül 1985 Michoacan (Meksika) depreminde (Mw=8.0) olduğu gibi kuvvetli yer hareketi süresinin mi etken olacağının anlaşılması bakımından önemlidir.

Dünyada son 5 yılda sıklıkla kullanılmaya başlanan istasyon çifti yöntemi ile İzmir'de, bu doğrultuda araştırmalara başlanmıştır. Bu doğrultuda sürekli kayıt alan İzmirNET (Polat et al., 2009) kuvvetli yer hareketi deprem istasyon ağındaki istasyonların 1 hafta süresince kaydettiği doğal gürültü verileri analiz edilmektedir (Şekil 1).



Şekil 1. Sürekli kayıt alan ve 2008 yılında kurulan İzmirNET kuvvetli yer hareketi deprem istasyon ağında yer alan ivme-ölçer kayıtçılar ve jeoloji haritası üzerindeki dağılımı (Gok, 2011)

Bu doğrultuda istasyon çiftleri arasındaki doğal gürültü verisinden Rayleigh yüzey dalgası elde edilmekte ve temel kip'e ait farklı frekanslarda grup hızı dispersiyon görüntüleri belirlenmektedir. İlk sonuçlar, ilerleyen aşamalarda İzmir'in tabakalı yeraltı sığ S-dalga hız yapısını ortaya koymaya yönelik cesaretlendirici bulgular ortaya koymaktadır.

2. VERİ VE YÖNTEM

Araştırma kapsamında kullanılan İstasyon Çifti yönteminde temel hedef, yüzey dalgası grup hızı dispersiyon görüntülerini elde etmek ve temel kiplerin hangi frekans aralıklarında yüksek çözünürlüğe ve ayrımlığa sahip olduğunu ortaya koymaktır. Çalışmanın ilerleyen aşamalarına ait bir sonraki hedef ise, dispersiyon eğrilerine standart ters çözüm tekniği uygulamak ve veri boyuna (kayıt süresine) bağlı olarak sığ ve/veya derin yeraltı hız yapısını tayin etmektir. Bu hedef doğrultusundaki çalışmalar halen devam etmektedir.

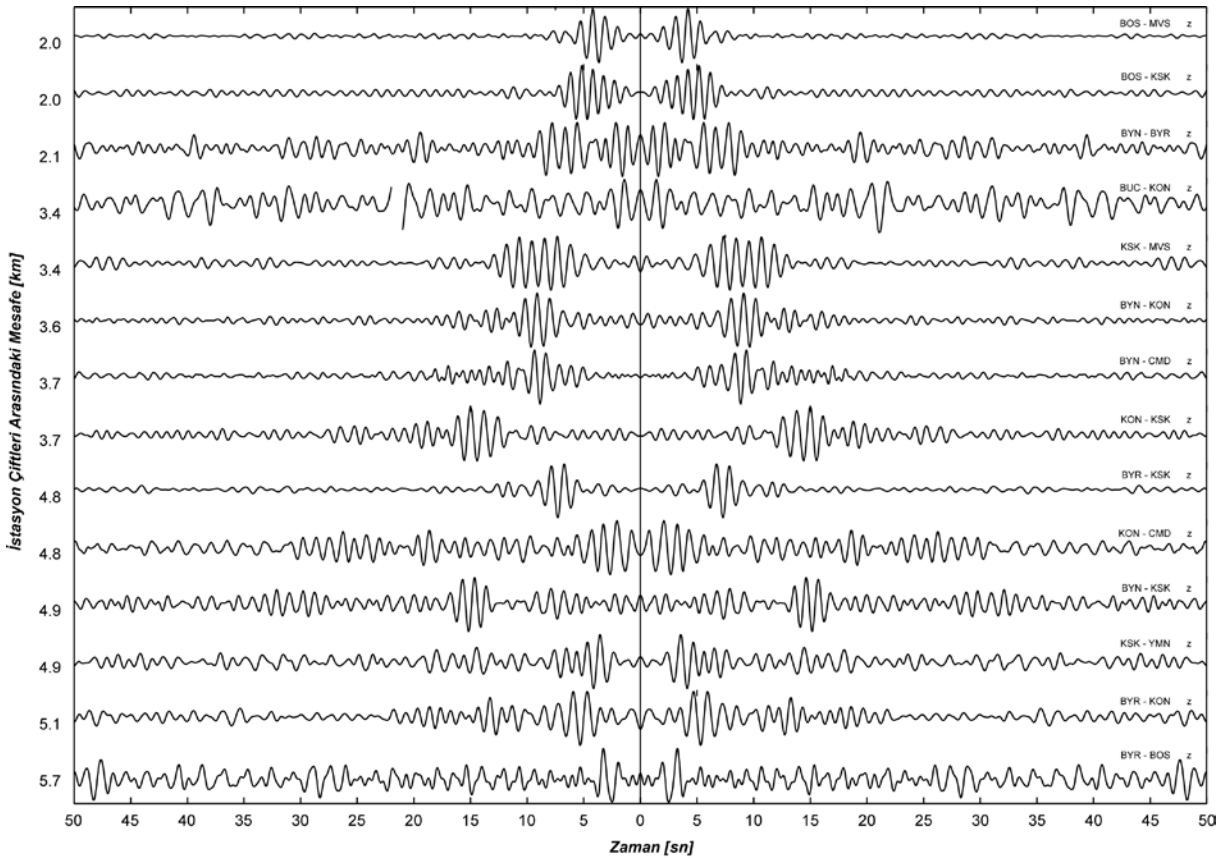
İzmir'de ilk defa uygulanacak olan bu yöntem, daha evvel Meksika ve Kore'de uygulanmıştır. Mexico City ve Seul'de yürütülen çalışmalarda, istasyon çiftleri arasındaki mesafeler, kayıt süresine bağlı olarak, sadece sığ yeraltı S-dalga hız yapısı değil, derin kabuk yapısına da ilişkin ayrıntılı Rayleigh yüzey dalgası grup hızı dağılımları, S-dalga hız yapıları ve tomografik yeraltı görüntüleri elde edilebilmiştir (Chavez-Garcia et al., 2010; Kang and Shin, 2006). Yüzey dalgası ters çözümlerinin kullanıldığı benzer çalışma, California (ABD) ve Almeira (İspanya)'da da gerçekleştirilmiş ve yeraltı yapılarına ilişkin Rayleigh grup hızı tomografileri ortaya konmuştur (Chavez-Garcia et al., 2006; Shapiro et al., 2005). Bu kentlerin ortak özelliklerinin hepsi, kendi yerel deprem istasyon ağlarına sahip olmalarıdır.

İzmir, yoğun yerleşim alanlarının deprem üreten fay sistemlerine olan yakınlığı nedeniyle ülke ölçeğinde önemli bir konuma sahiptir. Yukarıda bahsedilen bilimsel araştırma tekniğinin ihtiyaç duyduğu gereksinimleri karşılayacak bir yerel sabit deprem istasyon ağ geometrisine sahiptir. Bu bakımdan uygun bir test sahası niteliğindedir ve istasyon çifti yönteminin ülkemizde örnek olarak kullanılabileceği aday kentler arasında yer almaktadır. Nitekim bu doğrultuda 2010 yılında yapılan ön değerlendirmeler sonucu, Meksika UNAM Üniversitesi ve İzmir Dokuz Eylül Üniversitesi katılımcıları tarafından ortak bilimsel araştırma programları geliştirilmesine karar verilmiştir. Yapılan münferit girişimler 2011 yılı üçüncü çeyreğinde sonlanmış ve programların (Türkiye-Meksika arasında ikili bilimsel işbirliği anlaşması olmayışı nedeniyle) her ülkenin kendi ulusal kurumları tarafından münferit desteklenmesi kararı çıkmıştır. İzmir'de, bir hafta uzunluğundaki doğal gürültü verilerinin kullanıldığı bu çalışmada, yüzey dalgası grup hızı dispersiyon görüntüleri elde edilmiştir.

3. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

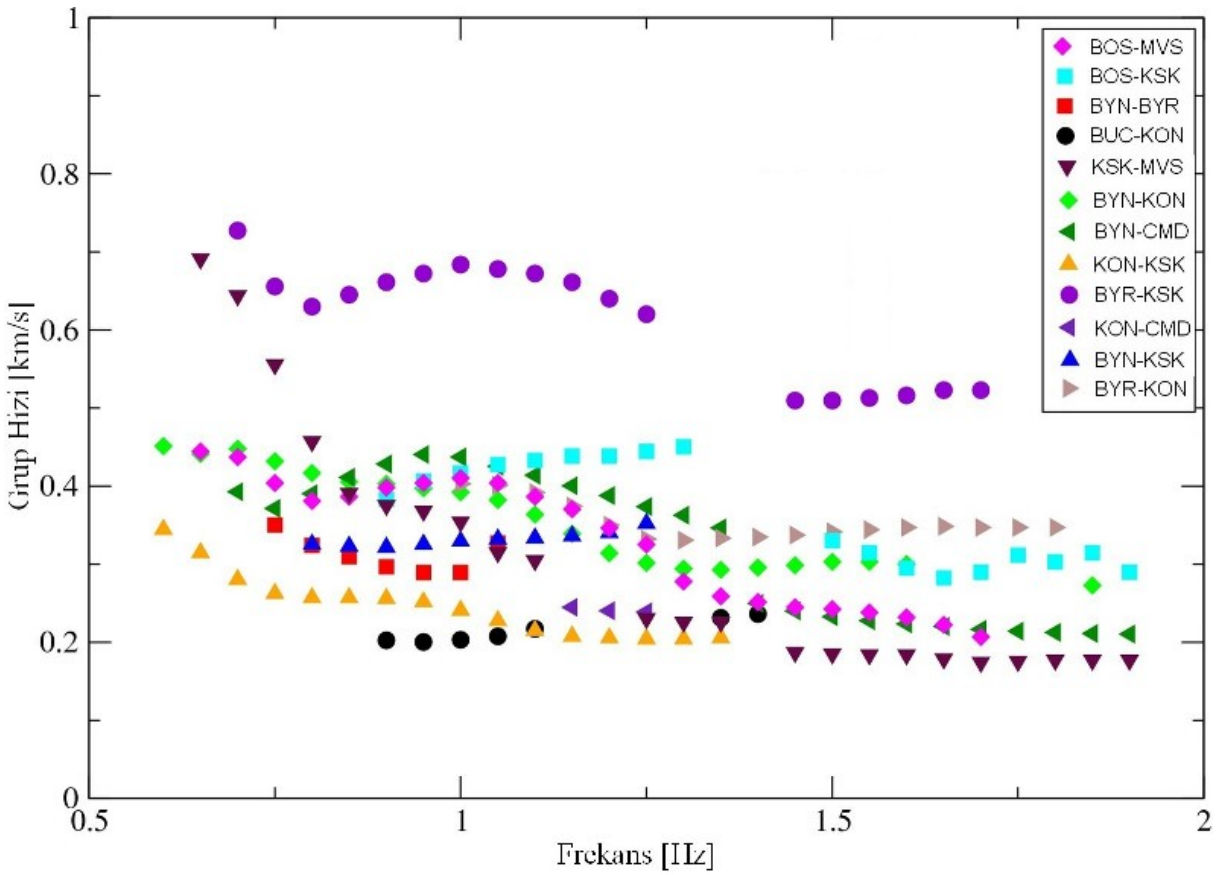
Bu araştırma kapsamında, İzmirNET ivme-ölçer deprem istasyon ağı tarafından sürekli kaydedilen doğal gürültü verileri kullanılarak, ikili istasyon çiftleri arasındaki ortamın Green fonksiyonu çapraz ilişkisi zaman ortamında hesaplanmıştır. Sismik izlerin zaman ortamı ilişki fonksiyonları, 1 hafta uzunluğundaki doğal gürültü veri seti kullanılarak elde edilmiştir. Bu veri boyundaki kayıtlar, saniyede 100 (sps) örnekleme aralığına sahiptir. İstasyon çiftlerine ait zaman ortamı çapraz ilişki analizlerinde elde edilen izler Şekil 2'de verilmiştir.

Her izdeki en büyük pik, Rayleigh dalgalarının temel kipi ile ilişkilidir. Sinyal/Gürültü oranı, istasyonlar arasındaki mesafe arttıkça azalmaktadır. Bu durumda, seçilen veri boyu (1 hafta) ile derin yapılardan ziyade daha sığ derinliklere ait S-dalgası hız yapısı, ters çözüm tekniği uygulandığında elde edilebilecektir. Green fonksiyonunun, sıfır eksenine göre pozitif ve negatif taraflarında yer alan genlikler genelde birbirine eşittir. Bunun anlamı, seçilen istasyon çiftlerine ait mesafeler ve bulundukları konumlar göz önüne alındığında, yer büyütme etkisine etki eden olası bir yönelim etkisinin gözlenmeyişidir. Benzer sonuç, deprem verilerinin kullanıldığı farklı bir yöntemle de elde edilmiştir (Gok, 2011).



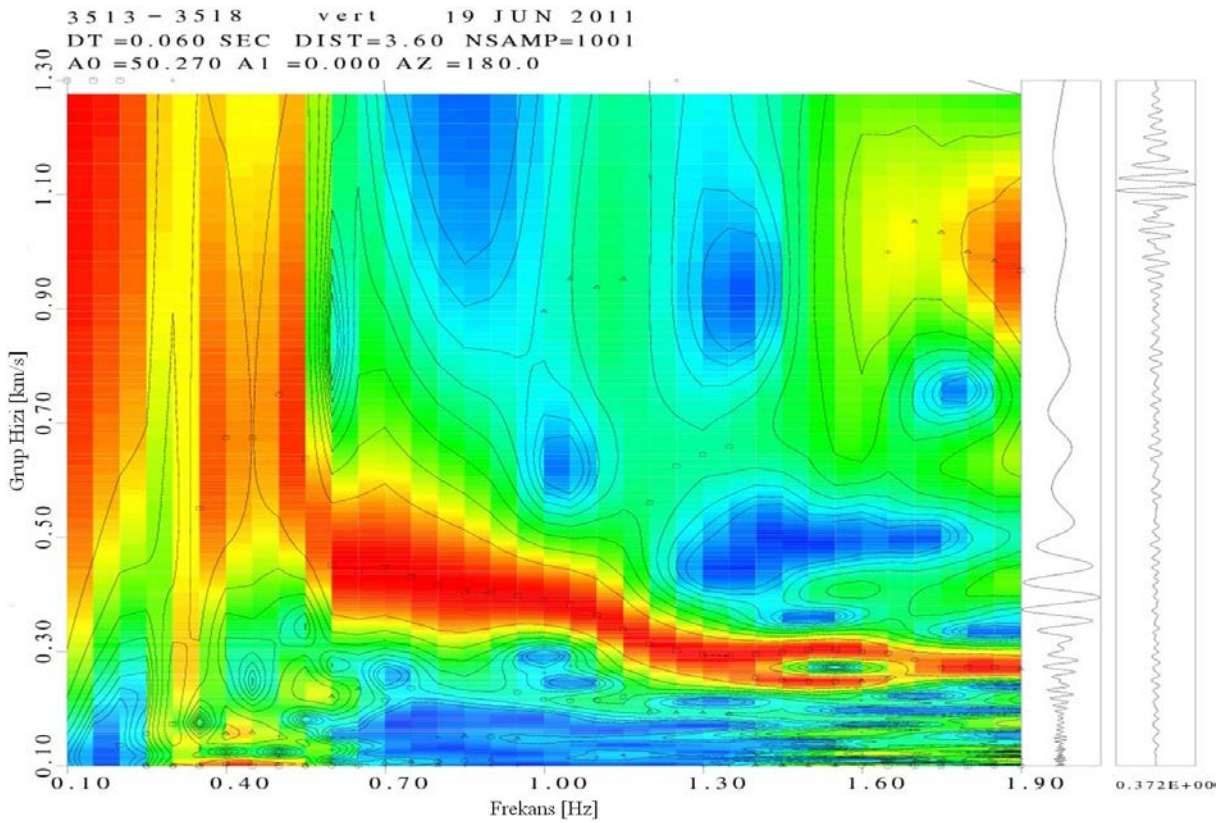
Şekil 2. İzmirNET istasyon çiftleri arasındaki gürültü kayıtlarının çapraz ilişki analizinden elde edilen bazı sismik izlerin zaman ortamındaki görüntüsü

İkili istasyon çiftlerinden bazılarına ait ilişki analizinden elde edilen grup hızlarının değişimi, Şekil 3'de gösterilmiştir. Seçilen istasyonlar arasındaki mesafe 1.6 km (BOS-MVS) ile 5.7 km (BYR-BOS) arasında değişmektedir. İvme-ölçer kayıtçıların çoğu, ağırlıklı olarak Kuvaterner sedimanlar üzerine kurulu olduğundan, hesaplanan grup hızları genelde düşüktür. Rayleigh yüzey dalgası grup hızı en fazla, Karşıyaka (KSK) ile sağlam kaya (andezit) üzerinden yer alan Bayraklı (BYR) istasyon çifti ilişkisinde gözlenmiştir (~750 m/sn). Bu istisna dışında kalan diğer istasyon çiftlerinde 0.5 – 2.0 Hz frekans bandında kalan ortalama grup dalgası hızları, 200 – 500 m/sn arasında değişmektedir.



Şekil 3. İkili istasyon çiftleri arasındaki (şekilde değişik sembollerle gösterilmiştir), ilişki analizinden elde edilen bazı grup hızlarının 0.5-2.0 Hz frekans bandındaki değişimi

1 hafta uzunluğundaki veri boyu için seçilen istasyon çiftleri arasındaki mesafeler kısadır. Daha uzak mesafelerdeki istasyon çiftleri analizine geçmeden evvel, ilişki analizlerinden elde edilen verilere çoklu süzgeç tekniği (MFT) ters çözümü uygulanarak, Rayleigh dalgası grup hızı dispersiyon görüntüsünün, frekansın fonksiyonu olarak nasıl değiştiğinin gözlenmesi hedeflenmiştir. Elde edilen ilk sonuç Şekil 3'de verilmiştir. Burada BYN (3513) ve KON (3518) istasyon çiftine ait Rayleigh dalgası grup hızı dispersiyon eğrisinin, 0.1 - 1.9 Hz frekans bandındaki değişimi görülmektedir. Analiz sonucuna göre temel kip için dispersiyon eğrisinin yaklaşık 0.6 ile 1.9 Hz arasındaki iyi seçildiği ve göreceli olarak yüksek çözünürlüğe sahip olduğu gözlenmiştir. 0.1 – 0.6 Hz frekans bandında ise dispersiyon görüntüsü net değildir ve düşük çözünürlüğe sahiptir. Düşük frekanslardaki bu görüntünün arttırılması ve grup dalgası hızı dispersiyon eğrisinin elde edilmesi, kullanılan veri boyunun artmasına bağlıdır.



Şekil 4. BYN (3513) ve KON (3518) istasyon çiftine ait Rayleigh dalgası grup hızı dispersiyon eğrisinin 0.1 - 1.9 Hz frekans bandındaki görüntüsü

Daha uzun veri boyuna (~1-2 ay) ve daha uzak mesafedeki istasyon çiftlerine yönelik gürültü analizi çalışmaları, DEÜ'de yürütülmekte olan bir yüksek lisans tez çalışması kapsamında, DEÜ Jeofizik Mühendisliği Bölümü Sismoloji Labotauarında halen devam etmektedir. İstasyon mesafesinin kısa olması, özellikle mühendislik çalışmalarında ve sığ sediman kalınlıklarının tayininde önemlidir ve temel kip ile yüksek kiplerin ayrımının daha kolay yapılmasını sağlamaktadır. İstasyonlar çiftleri arasındaki mesafenin ve veri uzunluğunun artması ise, daha derin yapıların kalınlık ve hız değişimlerinin otaya konmasını mümkün kılmaktadır. Mevcut çalışmadan elde edilen sonuçlardaki ayrımlılık, ileride İzmir ve yakın çevresi için yapılacak sığ/derin yeraltı S-dalgası hız yapısının ortaya konmasına yönelik bir ilk adım teşkil etmektedir.

Uluslararası ortak bilimsel işbirlikleri ile yeni bir veri seti ve farklı bir veri-işlem yöntemi kullanılarak, yüzey dalgası dispersiyon görüntülerinden yeraltı S-dalgası sığ/derin kabuk hız yapısının ortaya konmasına yönelik bu çalışma, ülkemizde (veya bölgemizde) mevcut diğer yerel sabit deprem istasyon ağlarına da kolayca uygulanabilecek bir mahiyete sahiptir. Bu bakımdan bu araştırma; yakın gelecekte gerek ulusal, gerekse farklı uluslararası işbirlikleri kapsamında yürütülecek nitelikli araştırmalarla, yeraltı S-dalgası hız yapısının anlaşılmasına ve tomografik görüntüsünün ortaya konmasına ışık tutacaktır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, TÜBİTAK (Proje No: 111Y015) ve DEÜ-BAP (KB.FEN. 2011157 talep) no'lu projeler ile Mexican National Council of Science and Technology of Mexico (CONACYT, Proje No: 2011-43086) tarafından desteklenmiştir. Sismik gürültü verilerini sağlayan AFAD Deprem Dairesi Başkanlığına teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

Chavez-Garcia, F.J., Rodriguez, M. ve Stephenson, W.R. (2005). An alternative approach to the SPAC analysis of microtremors: Exploiting stationarity of noise. *Bull.Seism.Soc.Am.* **95:1**, 277-293.

Chavez-Garcia, F.J., Rodriguez, M. ve Stephenson, W.R. (2006). Subsoil structure using SPAC measurements along a line. *Bull.Seism.Soc.Am.* **96:2**, 729-736.

Chavez-Garcia, F.J. ve Quintanar, L. (2010). Velocity structure under the Trans-Mexican volcanic belt: preliminary results using correlation of noise. *Geophys.J.Int.* **183**, 1077-1086.

Gok, E., (2011). Investigation of Earthquake Hazard and Seismic Site Characteristic in the Examples of Bursa and Izmir. Doktora Tezi, Jeofizik Müh. Bölümü, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.

Kang, T.S. ve Shin, J.S. (2006). Surface-wave tomography from ambient seismic noise of accelerograph networks in southern Korea. *Geophys.Res.Lett.* **33**, doi:10.1029/2006GL027044.

Polat, O., Ceken, U., Uran, T., Gok, E., Yilmaz, N., Beyhan, M., Koc, N., Arslan, B., Yilmaz, D. ve Utku, M. (2009). IzmirNet: A Strong-Motion Network in Metropolitan Izmir, Western Anatolia, Turkey. *Seism.Res.Lett.* **80:5**, 831-838.

Shapiro, N.M., Campillo, M., Stehly, L. ve Ritzwoller, M.H. (2005). High resolution surface-wave tomography from ambient seismic noise. *Science* **307**, 1615-1618.