

İZMİRNET GÜRÜLTÜ İLİŞKİSİ

Correlation of Noise From Izmirnet

Murat KEÇECİOĞLU¹ ve Orhan POLAT^{1,a}

¹ Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Müh. Bölümü, Buca 35040 İzmir

(^a orhan.polat@deu.edu.tr)

ÖZET

Bu çalışmada İzmir NET yerel sabit deprem istasyonları tarafından sürekli kaydedilen 1 hafta uzunluğundaki doğal gürültü verileri kullanılarak, farklı derinliklere ait Rayleigh yüzey dalgası grup hızlarına ait ilk sonuçlar elde edilmiştir. Bu amaçla 20 istasyon verisi analiz edilmiş ve 12 istasyon çifti için farklı periyotlarda grup dalgası dispersiyon eğrileri hesaplanmıştır. Andezit birimlerin üzerine kurulu olan kuzeydeki BYR-KSK istasyon çiftine ait grup dalgası hızlarının yüzeye yakın alanlarda 0.5 km/sn ($T=0.6$ sn), daha derinlere doğru ($T>1.5$ sn) 0.8 km/sn olduğu gözlenmiştir. Körfezin güneyindeki KSK-MVS istasyon çiftinde sığ derinlikler için ($T<1.0$ sn) 0.3 km/sn düşük grup dalgası hızları tespit edilmiştir. Daha derini temsil eden $T>1.2$ sn periyot değerinden sonra bu yol doğrultusunda hızlarda artış tespit edilmiştir (0.7 km/sn). Benzer analizler, körfezin doğusunda ve güneyinde yer alan birkaç istasyon çifti için de tekrarlanmış ve grup hızlarının güney’de, körfezin kuzeyine göre daha düşük olduğu belirlenmiştir. Hızların derinlikle değişimi, farklı periyotlar için ayrıca haritalanmıştır.

Anahtar kelimeler: Çapraz ilişki, Green fonksiyonu, Doğal gürültü, Dispersiyon eğrileri, Sabit deprem istasyonu, İstasyon çifti

ABSTRACT

Preliminary results for Rayleigh surface wave group velocities have been obtained by using 1 week ambient noise continuous data recorded by IzmirNET local permanent seismic network. For this purpose, the data from 20 stations was analyzed and group velocity dispersion curves have been calculated for 12 station pairs at different periods. Group velocities which represent BYR-KSK station pair installed on andesite units at the North, were observed as 0.5 km/s ($T=0.6$ s) near the surface, and as 0.8 km/s towards to the deeper part ($T>1.5$ s). Low group velocities were detected in KSK-MVS station pair, at the south of Izmir Bay, for the lower depths as 0.3 km/sn ($T<1.0$ sn). An increase

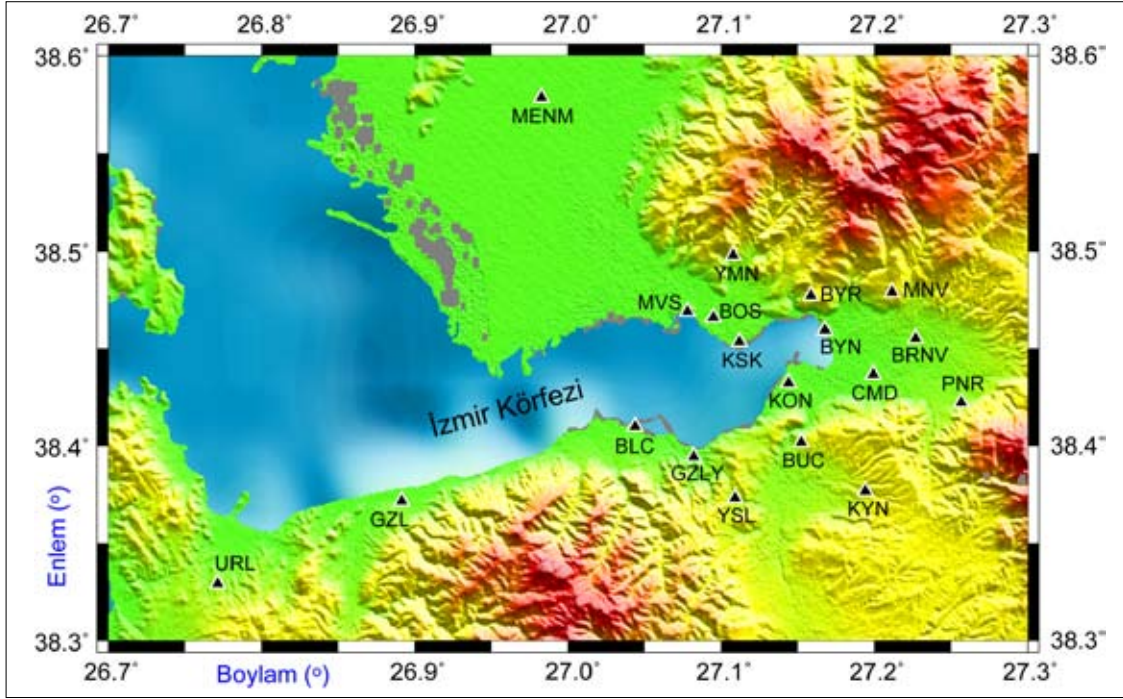
in group velocities (0.7 km/sn) along this path line was determined above $T>1.2$ s periods representing deeper parts. Similar analyses have been repeated for a few station pairs located at the Eastern and Southern part of the Gulf, and revealed that group velocities at south were lower regarding the north. Velocity-depth variations have been also mapped for different periods.

Key words: Cross-correlation, Green’s function, Ambient noise, Dispersion curves, Permanent seismic station, Station pair

GİRİŞ

İzmir NET, sürekli kayıt yapan yerel bir sabit deprem istasyon ağıdır. Bu ağdaki çoğu kayıtçılar ağırlıklı olarak, kuvaterner ve neojen havzalar üzerinde yer alır. Bu havzaların yeraltı hız yapılarının ortaya konması önemlidir. Çünkü yer hareketinin kestirilmesinde ve sismik tehlike-risk analizlerinde büyük öneme sahip olan yeraltı hız yapısı henüz yeterince bilinmemektedir. Bunun ortaya konması sadece İzmir için değil, bölge ve ülke ölçeğinde ayrıca önem arz etmektedir.

İzmir, orta büyüklükte ancak sıklıkla deprem üreten fay sistemlerine sahiptir ve bu sistemlere olan yakınlığı, sahip olduğu nüfus yoğunluğu ve sanayisi de göz önüne alındığında yüksek risk teşkil eden önemli kentlerden birisidir. Yerleşim yoğunluğu ağırlıklı olarak, derinliği henüz tam bilinmeyen (Bornova, Balçova, Mavişehir gibi) kalın alüvyal havzalar üzerine kuruludur (Şekil 1). Bu kente 2008 yılında ilk aşamada, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) Deprem Dairesi Başkanlığı (DDB) desteğiyle 16 istasyondan oluşan İzmirNET yerel ivme-ölçer deprem istasyon ağı kurulmuştur. Sayı şu an yine AFAD-DDB’nin desteğiyle 20’nin üzerine çıkarılmıştır. Proje süresince farklı jeolojik birimler üzerine kurulu istasyonlardan elde edilen deprem verileri ile, yerel jeolojinin neden olduğu büyütmeler ortaya konmuştur (Ceken ve diğ. 2009; Gok ve diğ. 2010). Ancak olası bir depremde büyük öneme sahip olan ve önemli bir risk unsuru teşkil eden alüvyal havzaların yeraltı hız yapısı henüz belirsizdir. Yapılan araştırmalar jeolojik ve



Şekil 1. İzmirNET kuvvetli yer hareketi ağına bağlı deprem istasyonları (Gok 2011).

Figure 1. Distribution of earthquake stations belong to İzmirNET strong motion network (Gok 2011).

tektonik koşulların, deprem sonucu açığa çıkan sismik dalgaların soğrulması, saçılması nedeniyle hasar oranını önemli derecede etkilediğini ortaya koymuştur. Özellikle sığ ve kalın alüvyon ortamlara ait hızlarının derinlikle değişimi, deprem sırasında zeminin davranışını önemli oranda etkilemektedir (Bard ve Chavez-Garcia 1993). İzmir’de yerleşim yeri planlamaları ve yatırım kararları üzerinde etkili olmasına rağmen yeraltı hız yapısı ve hız değişimlerinden kaynaklanan sismik tehlike henüz gerçekçi olarak ortaya konmamıştır. Oysaki yer hareketinin özelliklerinin bilinmesi, her şeyden önce farklı derinliklerdeki hız değişimlerinin iyi anlaşılmasıyla mümkün olur. Doğruluk payı yüksek böylesi bir hassas sonuca ulaşmak, bir veya birkaç yöntemden elde edilen sonuçların korele edilmesini gerektirir. Bu araştırma, önerilen bu yöntemlerden sadece birini ele almakta, son 5 yılda gittikçe artan bir ivmeyle kullanılmaya başlanan yeni bir yöntemle (sabit deprem istasyon ağına yer alan istasyon çiftleri tarafından kaydedilen doğal gürültü verileri ile) yeraltı hız yapısını araştırmayı hedeflemektedir.

Bu araştırmada tercih edilen doğal gürültü verilerinin kullanılmasındaki temel yaklaşım, sismik gürültü alanının ideal izotrop olmamasından kaynaklanan saçılma etkisini en az indirmesidir. Bu nedenle doğal gürültü verileri, özellikle çapraz ilişki hesaplamalarında ve kabuk hız yapısı analizlerinde tercih edilmektedir. Ayrıca yüzey dalgaları en kolay doğal gürültülerden elde edilmektedir. Bunun nedeni, okyanus dalgaları ve atmosferik hareketlerin sonucu üretilen titreşimlerin, kayıtçı istasyon çiftleri arasındaki ortam için Green fonksiyonu

olarak kolayca tanımlanabilmeleri nedeniyle (Sabra ve diğ. 2005, Shapiro ve Campillo 2004). Okyanus veya atmosferik kökenli doğal gürültülerin dalga formları, belli bir zaman (araştırılacak derinliğe ait dalga boyuna göre birkaç saat veya birkaç ay) geçtikçe durağanlaşır ve istasyonlar arasındaki yeraltı hız yapısını karakterize edecek duruma gelir. Stabil hale gelen bu gürültüler, istasyon çiftleri için Green fonksiyonlarını elde etmek için çapraz ilişki fonksiyonlarının analizlerinde kullanılır ve depremler sonucu açığa çıkan yüzey dalgalarına benzerdir. Ancak her zaman sayıca fazla deprem kaydı yakalamak mümkün değildir. Dolayısıyla doğal gürültü verilerinin çapraz ilişkisi, istasyon çiftleri arasında yayılan yüzey dalgalarının Green fonksiyonu ile örtüşür ve bu tür verilerin Green fonksiyonu çapraz ilişkisinin kullanılması, yeraltı hız yapısının sağlıklı kestirilmesini sağlar (Chavez-Garcia ve Luzon 2005).

İstasyon Çifti yönteminin gerçekleştirildiği uygulamalardan birisi Mexico City’de yapılmış ve doğal gürültülerin çapraz ilişkisi hesaplanarak Green fonksiyonları elde edilmiştir (Chavez-Garcia ve Quintanar 2010). Çiftler halinde gruplandırılan istasyonlara ait Rayleigh yüzey dalgası temel mod’larının mesafenin fonksiyonu olarak değişimi incelenmiş ve ters çözüm tekniği ile Rayleigh yüzey dalgası grup hızı dispersiyon eğrileri hesaplanmıştır. Rayleigh yüzey dalgası tarafından domine edildiği için analizlerde, sadece düşey bileşen gürültü kayıtları kullanılmıştır. Hesaplamalar sonucu elde edilen grup hızlarının çalışma alanının güneyinden kuzeyine doğru (Mexico City havzasından dağlık kesime doğru) arttığı rapor edilmiştir. Yüzey dalgalarının ilk 9

km derinlikte normal hızda ilerleyemediği ve bu duruma yüksek heterojenitenin neden olduğunun ortaya konduğu çalışmada, anakent havzasındaki bu heterojenitenin sadece büyütme değil, uzun süren kuvvetli yer hareketini de açıkladığı sonucuna ulaşılmıştır.

İvme-ölçer istasyon ağları tarafından kaydedilen doğal gürültülerin kullanıldığı benzer çalışmalar, Kore'nin başkenti Seul ile ülkenin güneyindeki bir başka kentte daha yürütülmüştür (Cho ve diğ. 2007, Kang ve Shin 2006). Derin kabuk yapısına ilişkin grup dalgası hız dağılım tomografisinin ve farklı periyotlara ilişkin yüksek ayrımlı yeraltı hız yapısının elde edildiği bu çalışmalardan başka, farklı kayıtçı düzenekleri kullanılarak aynı yöntem Yeni Zelanda Parkfield'de, İspanya Almeida'da ve California (USArray)'da gerçekleştirilmiş; sığ-derin yapılara ilişkin Rayleigh grup hızı dispersiyon eğrileri ve hız yapıları ortaya konmuştur (Chavez-Garcia ve diğ. 2006, Shapiro ve diğ. 2005). Türkiye'de aynı yöntem kullanılarak yürütülmekte olan bir başka çalışmada Doğu Akdeniz ve Karadeniz'de düşük, Ege Bölgesinde yüksek grup hız değerleri hesaplanmıştır (Cambaz ve Karabulut, 2011). Bu çalışmaların hepsinin ortak özellikleri, sabit deprem istasyon ağları tarafından kaydedilen doğal gürültü kayıtlarını kullanmalarıdır.

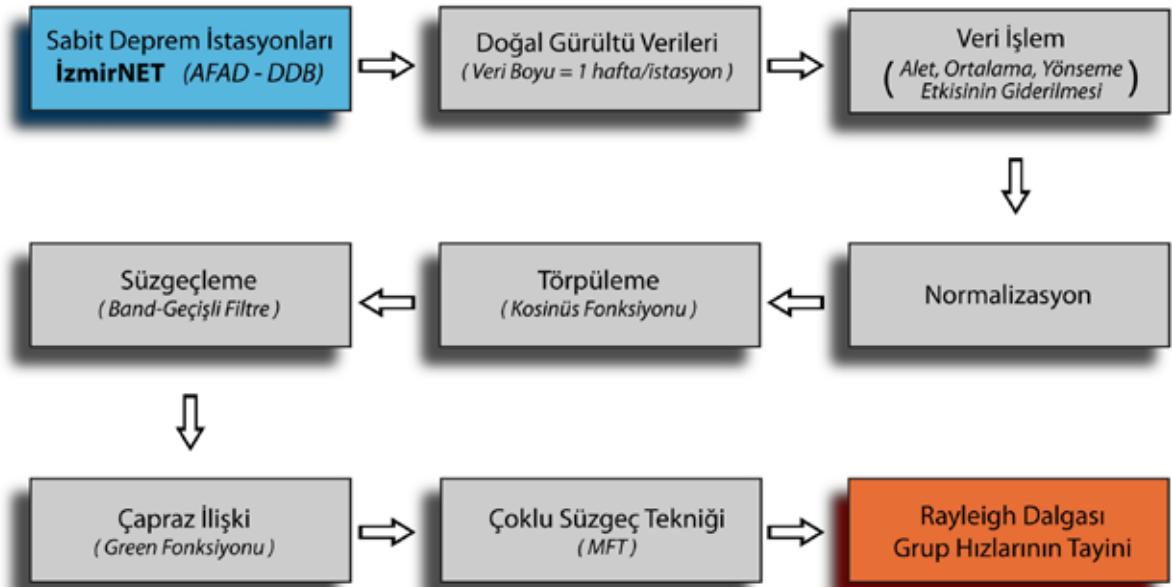
VERİ ve YÖNTEM

Bu çalışma kapsamında kullanılan doğal gürültü verileri, AFAD-DDB tarafından işletilen ve ulusal kuvvetli yer hareketi ağının bir parçası olan İzmirNET ivme-ölçer ağından temin edilmiştir. 2008 yılından kurulan bu yerel ağdaki kayıtçıların teknik özellikleri,

örnekleme sayısı ve sinyal nitelikleri ile ilgili bilgiler, Polat ve diğ. (2009)'da ayrıntılı olarak verilmiştir.

Araştırmada kullanılan yöntem ise, derin yeraltı yapılarını temsil eden dalga boylarını ve sismik hızları hesaplamadaki hassasiyeti ve yüksek ayrımlılığı nedeniyle önemli bir avantaja sahip olan İstasyon Çifti yöntemidir (Chavez-Garcia ve diğ. 2005). Yöntemin uygulanış biçimi genel olarak Uzamsal Özilişki (SPAC, Spatial Autocorrelation) yöntemi üzerine kurulur (Aki 1957). Bu teknikte, yarım dairesel dizilim üzerine belli azimutal dağılıma göre hassas konumlandırılmış kayıtçılardan elde edilen gürültü verilerinin analizi ile çapraz ilişki hesaplamaları yapılabilmektedir. Ancak hassas olması gereken dizilim geometrisi, özellikle anakent düzeyindeki büyük şehirlerde uygulamada her zaman mümkün olmayabilir ve konumlandırma hataları içerebilir. Her ne kadar bu hataları en aza indirmeye yönelik çeşitli algoritmalar geliştirilse de (Bettig ve diğ. 2001, Ohori ve diğ. 2002, Cho ve diğ. 2004), derin yeraltı hız yapısını tayin etmede üretilen sonuçlar geneldir. Dizilimdeki istasyon çiftleri arasındaki mesafenin azalmasına (yada tam tersine artmasına) bağlı olarak elde edilen sonuçlar sınırlıdır. Yine de SPAC, birkaç yüz metreye kadar Vs profillerinin güvenilir olarak elde edilmesini mümkün kılmaktadır (Kocaoğlu ve Fırtana 2011, Özalaybey 2011, Zor ve diğ. 2011).

Rayleigh yüzey dalgası içermesinden dolayı, bu çalışmada sadece düşey bileşen gürültü kayıtları kullanılmıştır. Pencere boyu 60 sn ve kaydırma aralığı genelde 20 sn olarak belirlenmiştir. Verilere Chavez-Garcia ve diğ. (2005)'de tanımlanan standart spektral düzeltme işlemleri uygulanmış ve işlem adımları Şekil 2 'de verilmiştir.



Şekil 2. Veri işlem aşamalarını gösteren şematik diyagram.

Figure 2. Schematic diagram which shows data processing stages.

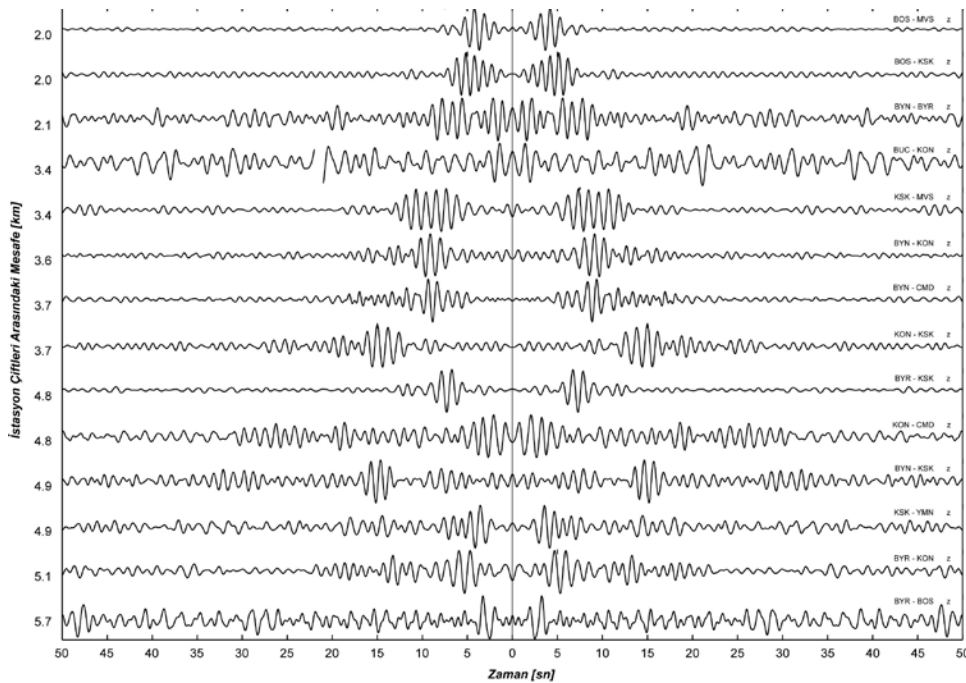
Ön analizler kapsamında doğal gürültü verileri önce 1 saat uzunluğunda seçilmiş ve tüm analizler bu başlangıç veri setine uygulanmıştır. Ancak elde edilen sonuçlar yeterli derecede hassas bulunmadığında, sığ/derin yapılarla olası ilişkisini ortaya koymak amacıyla veri boyu 1 haftaya çıkarılmıştır. Bu çalışmada kapsamında üretilen tüm sonuçlar, 1 hafta uzunluğundaki bu yeni veri setinin analiziyle elde edilmiştir. Tüm istasyonlardan saniyede 100 örnek olarak gelen sayısal verinin örnekleme aralığı, saniyede 5 örnek olacak şekilde azaltılmıştır. Daha sonra 1 günlük dizinler halinde her bir kayıt istasyonu için veri setleri oluşturulmuştur. Bu veriler üzerinde alet etkisi giderilmiştir. Rastgele veya geçici olaylar yanında doğrusal kaymayı, zamanla azalan veya çoğalan gerçek dışı çok uzun periyotlu (çok alçak frekanslı) değişimleri ayıklamak ve spektrum ortamında özellikle alçak frekans bandının olumsuz yönde etkilenmemesi için, veri setindeki ortalama ve doğrusal yönseme (linear trend) etkisi giderilmiştir. Bundan başka, kayıtçı cihazların dinamik aralığından kaynaklanan düzensizlikler ile kayıt zamanı içinde meydana gelen mikro depremlerin etkisini en aza indirmek için normalizasyon işlemi uygulanmıştır. Spektrum hesaplamalarında temel sorun olan verinin her iki ucunda oluşan simetrik süreksizlikleri ve dalgalanmaları (Gibbs Olayını) gidermek için, %10 işleli Kosinüs fonksiyonu ile törpüleme yapılmıştır. Bu sayede verinin oldukça dar bir kısmının tıraşlanması ve hızlı bir biçimde sifıra yaklaştırılması sağlanmıştır (Canitez ve Gürbüz 1987). Daha sonra veriler, 0.05 ile 2.0 Hz arasında band-geçişli filtre ile süzülmüştür. Bu aşamalar tamamlandıktan sonra, n=20 adet kayıt

istasyonu için toplamda $190 [n(n-1)/2=20 \times 19/2=190]$ adet istasyon çifti oluşturulmuştur. Uzak mesafedeki istasyon çiftleri için, 1 hafta uzunluklu yeni veri setinden ilk değerlendirme sonrası iyi kalite sonuç elde edilememiş, ancak yakın mesafedeki 12 istasyon çiftinin analizleri tamamlanmıştır. Halen farklı kombinasyonlar çiftlerine ait analizlere devam edilmektedir. Ancak daha uzak mesafedeki istasyon çiftlerine ait çalışmalar, veri boyunun (örneğin en az 1-2 ay olacak şekilde) arttırılmasıyla önümüzdeki süreçte yeniden başlayacak ve 2012'nin sonlarında tamamlanacaktır.

SONUÇLAR

Seçilen istasyonlar arasındaki mesafe 1.6-12.3 km arasında değişmektedir. İstasyonların 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

Veri işlem aşamaları tamamlandıktan sonra istasyon çiftlerine ait çapraz ilişki fonksiyonları hesaplanmıştır. İstasyonlar arasındaki yer yapısının özelliklerini ortaya koymak amacıyla, bu fonksiyonların türevleri alınmış ve Green fonksiyonları elde edilmiştir. Rayleigh yüzey dalgası çapraz ilişki analizinden elde edilen istasyon çiftlerine ait Green fonksiyonları ve mesafe ile değişimi hesaplanmıştır (Şekil 3).

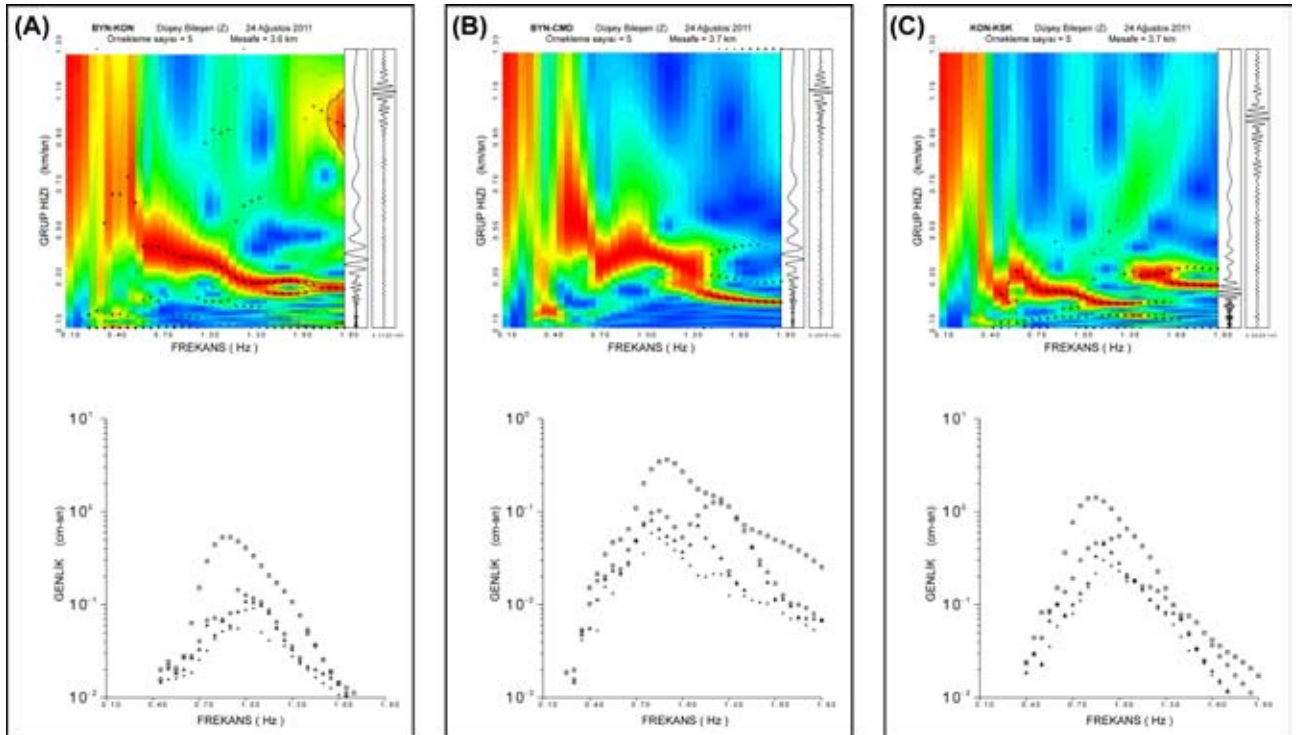


Şekil 3. İstasyon çiftleri için Rayleigh yüzey dalgası çapraz ilişki analizinden elde edilen sismik izlerin mesafe ile değişimi (Polat ve diğ. 2011).

Figure 3. Change of seismic traces with distance, obtained from the cross-correlation analysis of Rayleigh surface waves for station pairs (Polat ve diğ. 2011).

Bazı istasyon çiftlerine ait sismik izlerin görüldüğü bu şekil, sıfır eksenine göre simetriktir. Her bir izde görülen en büyük genlik (pulse), temel mod Rayleigh yüzey dalgası kipidir. BUC-KON sismik izinde hemen tüm periyotlardaki genliklerde düzensizlik gözlenirken, KON-CMD istasyon çiftinde ise düşük frekanslara doğru enerjilerde saçılma gözlenmektedir. Bunun dışında kalan diğer istasyon çiftlerinde ise temel mod Rayleigh yüzey dalgası rahat seçilmektedir. BOS-MVS izinde temel mod Rayleigh pulse'ı varış zamanı, yaklaşık $t=4$ sn'dir. İstasyon çiftleri arasındaki mesafe $x=2$ km olduğuna göre, bu hat üzerindeki ortamın hızı $V=x/t=2\text{km}/4\text{sn}=500$ m/sn'dir. BOS-KSK, BYN-KON, BYN-CMD, KON-KSK ve BYN-KSK istasyon çiftleri içinde benzer hesaplamalar yapıldığında ortam hızlarının sırasıyla; 400, 360, 370, 247 ve 327 m/sn oldukları görülür. Bu istasyonların tamamı kuvaterner alüvyon çökellerin üzerinde yer almaktadır ve gözlenen hızlar jeoloji ile belli bir uyum içindedir. Öte yandan BYR-KSK, KSK-YMN, BYR-KON ve BYR-BOS istasyon çiftleri incelendiğinde hızların yaklaşık olarak; 0.64, 1.40, 1.02 ve 1.63 km/sn oldukları gözlenir. Bu istasyon çiftlerindeki YMN ve BYR istasyonları, İzmir Körfezi kuzeyindeki andezitik volkanik birimler üzerinde yer alır ve hızların, sedimanlardaki istasyonlara göre daha büyük çıkmasının temel nedenini oluşturur.

Bir sonraki aşamada, her bir istasyon çiftine ait Rayleigh yüzey dalgası grup hızı dispersiyon eğrileri, Çoklu Süzgeç Tekniği (MFT) kullanılarak hesaplanmıştır (Dziewonski et al. 1969; Herrmann 1985). BYN-KON, BYN-CMD ve KON-KSK istasyon çiftlerine ait dispersiyon eğrileri Şekil 3'de verilmiştir. Her üç istasyon çifti için kullanılan istasyon gruplarının birbirlerinden olan uzaklıkları ortalama 3.6 km'dir. Hepsinde 0.6 Hz'den daha düşük frekanslarda dispersiyon görüntüsü genelde net değildir ve düşük çözünürlüğe sahiptir. BYN-KON için yer kabuğunun uzun dalga boylarını ifade eden derin yapılara enerjiler 0.1-0.6 Hz frekans bandında net olarak gözlenemese de, daha sığ yapılara ilişkin temel mod'lar ve en büyük genlikler 0.6-1.9 Hz arasında iyi seçilmektedir (Şekil 3a). Enerji kalitesinin iyi olduğu sığ derinliklere ilişkin bu aralık (periyot cinsinden ifade edilirse 0.5-1.7 sn), dalga boyu ile inilen derinlik göz önüne alındığında 500-1700 m derinlikleri temsil etmektedir. Bununla birlikte BYN-CMD doğrultusunda Rayleigh temel mod ve yüksek mod enerjileri 0.65-1.90 Hz bandında gözlenmektedir (Şekil 3b). Körfezin kuzeyi ile güneyi arasında yer alan KON-KSK hattında, ortamın yüksek heterojenitesinden dolayı düşük enerjiler elde edilse de, 0.6-1.3 Hz frekans aralığında temel mod, 1.3-1.9 Hz bandında da 1.yüksek mod Rayleigh yüzey dalgası kip'lerinin göreceli olarak yüksek çözünürlüğe sahip olduğu gözlenmiştir (Şekil 3c).

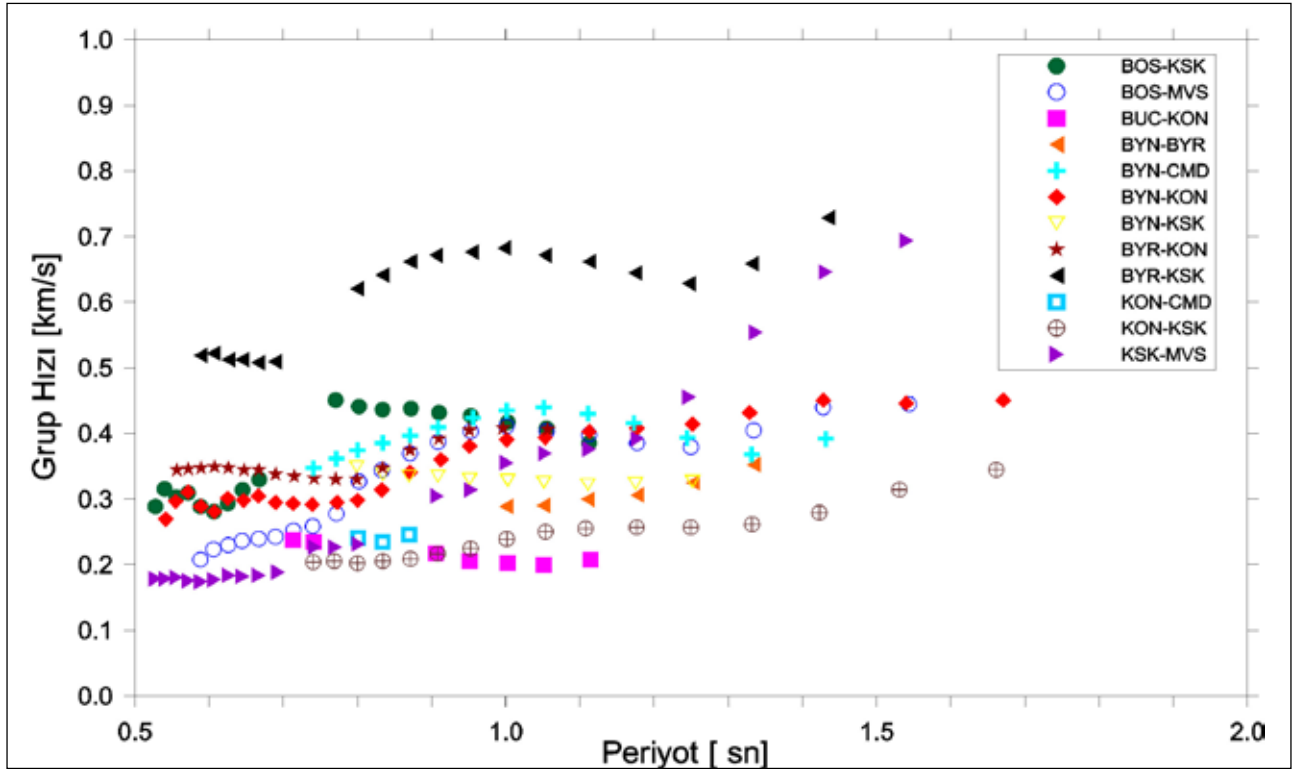


Şekil 4. 0.1-1.9 Hz frekans bandındaki farklı istasyon çiftlerine ait Rayleigh dalgası grup hızı dispersiyon eğrisi ve frekans bağımlı genlikleri. a) BYN-KON için istasyon çifti, b) BYN-CMD için istasyon çifti, c) KON-KSK için istasyon çifti.

Figure 4. Examples of Rayleigh waves group velocity dispersion curves ve frequency dependent amplitudes for different station pairs between 0.1-1.9 Hz frequency band. a) station pair for BYN-KON, b) station pair for BYN-CMD, c) station pair for KON-KSK.

Periyot (T) değerleri ile farklı dalga boylarına ait derinlik (h) arasında belli oranlar söz konusudur. Genel kabul aralarında 1/3 oranı olduğu şeklindedir ($h=T/3$). Ancak birçok yayında bu oranların farklı yorumlanması söz konusudur. Örneğin Shapiro ve diğ. (2005), inilen derinlik (h) ile dalga boyu (T) ilişkisini $h=T+(T/3)$ olarak yorumlamıştır. Yani 7.5 sn periyodunun 10 km, 15 sn periyodunun ise 20 km derinlikteki kabuk yapısına ait olduğunu belirtmiştir. Öte yandan Stankiewicz ve diğ. (2011), dalga boyu (T) ile inilen derinlik (h) ilişkisi

için $h=T$; Chourak ve diğ. (2003) ise bu oranı $h=T/2$ olarak kabul etmiştir. Li ve diğ. (2009, 2010), Petrosino ve diğ. (2002) ve Zeng ve diğ. (2008) tarafından yapılan çalışmalarda da h ve T arasındaki oran değeri $h=T/3$ olarak yorumlanmıştır. İzmir’de yürütülen ve ön sonuçları alınan bu çalışmada 12 istasyon çiftine ait yüzey dalgası dispersiyon eğrilerinde gözlenen iyi kalitedeki enerji piklerinin seçilmesiyle, temel mod Rayleigh dalgası grup hızlarının değişimi 0.5-2.0 sn periyot aralığında hesaplanmıştır (Şekil 5).



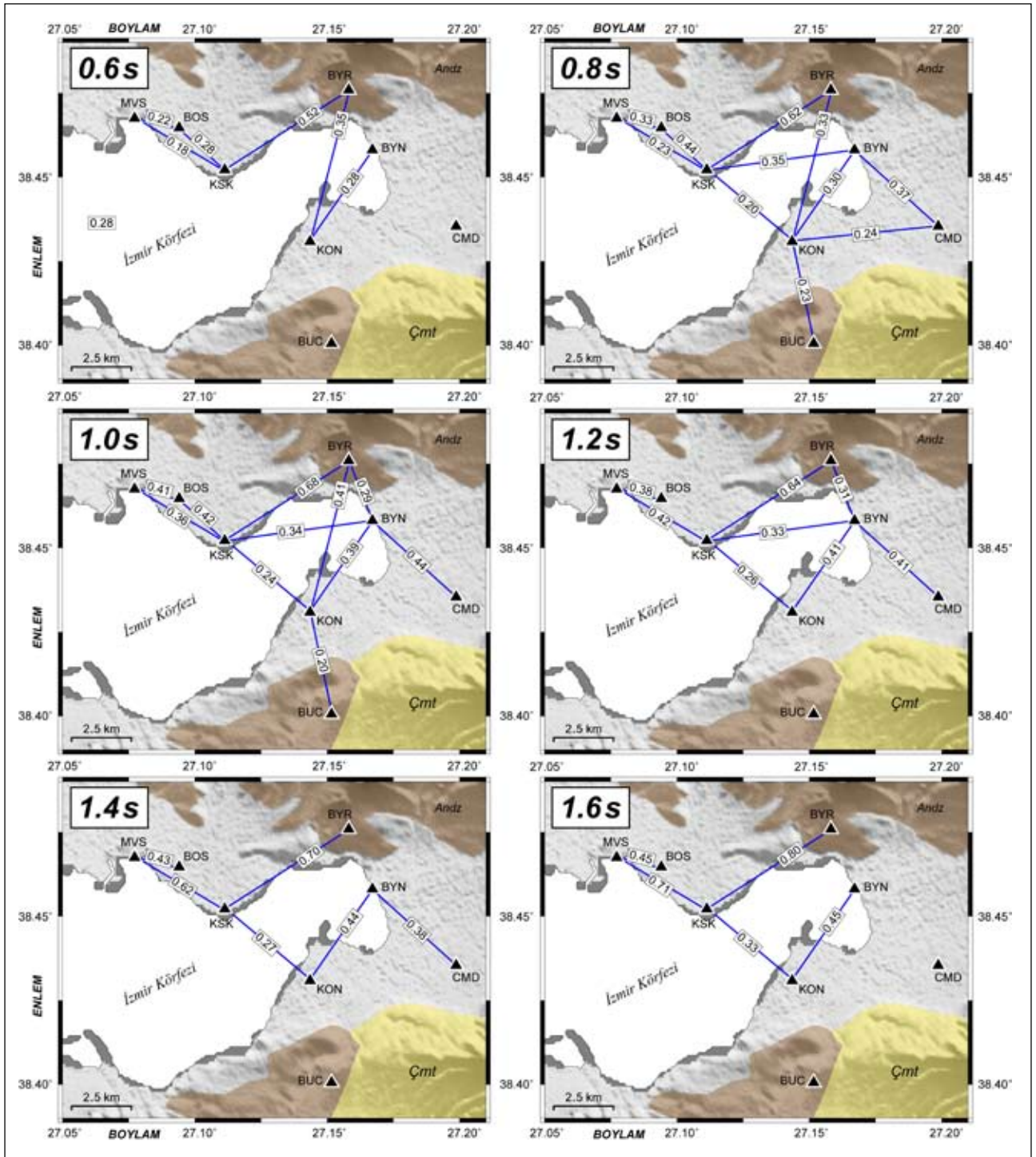
Şekil 5. Rayleigh temel mod'lar için, farklı istasyon çiftlerinden elde edilen grup hızı dispersiyon görüntüleri

Figure 5. Group velocity dispersion images obtained from different station pairs for Rayleigh wave fundamental modes.

Periyot değerleri arttıkça (daha derin yapılara doğru), grup hızlarında genelde bir artış gözlenmektedir ki derine inildikçe (teoride) bu beklenen bir sonuçtur. Dalga boyu (T) ile inilen derinlik (h) arasında, yukarıdaki çalışmalarda yorumlanan sonuçlar göz önüne alınırsa; 1/3 kuralına göre inilen derinliklerin $T=0.5$ sn periyodunda $h=167$ m ile, $T=1.7$ sn periyodu için $h=566$ m arasında olduğu düşünülebilir. En büyük oranlardan birisi olan 1/1 oranı (yani $h=T$) kabul edilirse, bu çalışma kapsamında elde edilen dalga boylarını temsil eden derinliklerin 500 ile 1700 m arasında değiştiği sonucuna varılır.

Yerinin farklı derinliklerine karşılık gelen grup hızları, dispersiyon eğrilerinde seçilmiş ve farklı periyot değerleri için haritalanmıştır (Şekil 6). Periyotlardaki artış (düşük frekanslara doğru yönelim), hızlarda ve

dolayısıyla derinliklerdeki artışı ifade etmektedir. Yeryüzünün sığ kesimlerini temsil eden 0.6 sn periyodunda, çok fazla sayıda istasyon çiftine ait net grup hızı değerleri gözlenememiştir. Gözlenen hızlar BYR-KSK arasındaki 0.52 km/sn grup hızı dışında genelde düşüktür ve 0.18 ile 0.28 km/sn arasında değişmektedir. 0.8 sn periyodu (en fazla 800 m derinlik) için, BYN-BYR hattı dışında, diğer 11 istasyon çifti için grup hızları seçilmiştir. En fazla hız BYR-KSK hattında 0.62 km/sn olarak hesaplanmıştır. KSK-BOS arasındaki hızın, bir önceki periyot haritası ile karşılaştırıldığında belirgin olarak arttığı (0.44 km/sn) gözlenmiştir. BUC istasyonu andezit birimleri üzerinde yer almasına rağmen; gerek düşük enerji yoğunluğu, gerekse farklı jeolojik birimlerle (BUC-KON) eşleştirilmesinden dolayı, düşük hız (0.23 km/sn) elde edilmiştir. İzmir Körfezinin doğusunda yer



Şekil 6. Yer kabuğunun derinlerine doğru farklı periyotlarda istasyon çiftleri arasındaki grup hızları. İçi dolu üçgenler deprem istasyonlarını, istasyonlar arasındaki çizgiler hız doğrultusunu ve doğrultular arasındaki rakamlar ise km/sn cinsinden grup hızlarını göstermektedir. Andz: Andezitik volkanikler, Çmt: Çamurtaşı-kumtaşı.

Figure 6. Group velocities towards to deeper part of the earth crust at different periods between station pairs. Filled circles are seismic station, lines between stations indicate path, and numbers on the line show group velocities in km/s. Andz: Andesitic volcanics, Çmt: Mudstone-sandstone.

alan CMD istasyonu Bornova havzası üzerindedir ve gözlenen hızlar, nispeten Körfezin Kuzeyinde yer alan istasyon çiftlerinden göreceli olarak yüksektir (0.37km/sn). Bunun dışında kalan diğer istasyon çiftleri için de genellikle düşük hız değerleri (0.20-0.30 km/sn) tespit edilmiştir. 1.0 sn periyodu için hazırlanan grup hızı dağılım haritasında KON-CMD istasyon çifti için dispersiyon eğrisinden sağlıklı grup hızı seçilememiştir. En yüksek hızlar BYR-KSK (0.68 km/sn) hattında gözlenmiştir. Körfezin doğusunda doğru CMD-BYN doğrultusunda hızın arttığı (0.44 km/sn) gözlenmiştir. 1.0 sn periyoduna karşılık gelen derinlikte en dikkat çekici hız artışı KSK-MVS hattında gözlenmiş ve hızın bir önceki periyottaki 0.23 km/sn'den 0.36 km/sn'ye yükseldiği belirlenmiştir. Her ne kadar çok önemli farklılık göstermese de, hızdaki artış oranı yaklaşık %60 olmuştur. BUC-KON arasında hızda bir artış gözlenmemiş, az da olsa azalma tespit edilmiştir. 1.2 sn periyot değerine karşılık gelen derinliklerdeki grup hızlarının genelde değişmediği ve 1.0 periyodundaki istasyon çiftleri ile benzer değerlerde olduğu gözlenmiştir. Sadece KSK-MVS hattındaki hızların bir önceki periyoda ait 0.36 km/sn'den 0.42 km/sn'ye yükseldiği belirlenmiştir. 1.4 ve 1.6 sn periyotlarda, çok az sayıda istasyon çiftine ait dispersiyon eğrilerinden grup dalga hızları seçilebilmiştir. Bu derinliklerdeki en belirgin hız artışlarının KSK-MVS doğrultusunda olduğu gözlenmiştir. Hesaplanan hızlar, 1.4 ve 1.6 sn periyot değerleri için sırasıyla 0.62 ve 0.71 km/sn'dir. BYR-KSK istasyon çiftine ait hızlar 1.2 , 1.4 ve 1.6 sn periyotları için sırasıyla 0.64, 0.70 ve 0.80 km/sn'dir.

TARTIŞMA

BYR kayıtçısının yer aldığı istasyon çiftlerinde yüksek grup hızları gözlenmiştir. Yine kuzeyde yer alan KSK-MVS hattında, yüksek periyotlara doğru sistematik artış gözlenmiştir. Güney kesimlerde yer alan istasyon çiftlerinde ise göreceli olarak daha düşük hızlar elde edilmiş ve bazı istasyon çiftlerinde yüksek periyotlara doğru hızın artmadığı tespit edilmiştir. Benzer çalışmalardan hareketle (Chavez-Garcia ve Rodriguez 2007, Chavez-Garcia ve Quintanar 2010), doğal gürültü kaynak alanının Kuzey'den Güney'e eğilimli olduğu sonucuna varılabilir. Körfezin güney kesimlerindeki hızların ise farklı derinliklerde doğru belirgindeğişmemesi (hatta azalması); olası bir düşük hız zonundan veya yatay heterojenitedeki artıştan kaynaklanıyor olabilir. Kuzeyde alüvyon çökeller üzerinde yer alan KSK-MVS hattındaki hızların, periyot ile birlikte artış gösterdiği gözlenmiştir. Bu durum, derine inildikçe farklı jeolojik birimlerin ve hız zonlarının varlığından kaynaklanıyor olabilir. Gravite modellemeleri ile yapılan çalışmalarda bu yoruma benzer sonuçlar elde edilmiş ve KSK-MVS hattına yakın bir gravite derinlik kesitinde 500 ve 900 m derinlikte, farklı yoğunluktaki birimler modellemiştir (Pamukçu ve diğ. 2010). Yine de kesin yargıya varmak

için gürültü analizlerinin devam etmesi ve zamansal açıdan farklı uzunluktaki (1-2 ay) veri setlerinin kullanılması gerekmektedir. Bu araştırma kapsamında elde edilen sonuçlar, kesin ve nihai delil olarak ele alınmamalıdır. Çünkü derin yapıları işaret eden düşük frekanslardaki çözüm kalitesinin arttırılması, istasyonlar arasındaki mesafe ve veri boyunun arttırılmasıyla ilişkilidir. Daha uzun veri boyunun (örneğin 1 veya 2 ay) kullanılacağı analizler bu çalışmanın ilerleyen safhalarında yapılacaktır. Elde edilecek sonuçların, Rayleigh yüzey dalgası temel kip ve yüksek kip ayrımının daha iyi yapılmasını sağlayacağı beklenmektedir. İstasyonlar çiftleri arasındaki mesafenin ve buna bağlı veri boyunun arttırılması, daha derin yapıların kalınlık ve hız değişimlerinin çok daha net ortaya konmasını mümkün kılabilir. Grup hızı dispersiyon eğrilerinden faz hızı dispersiyon eğrilerinin elde edilmesi ve buradan ters çözüm teknikleri ile (yüksek çözünürlüklü) S-dalgası sığ hız yapılarına geçilmesi, farklı hesaplama gridleme teknikleri kullanılarak tomografik görüntüleme çalışmaları, bu araştırmanın nihai sonucu olarak 2012 yılı sonlarına doğru tamamlanmış olacaktır. Türkiye-Meksika arasındaki uluslararası bilimsel işbirliği ile yeni bir veri seti, farklı bir analiz tekniği kullanılarak elde edilen bu ilk sonuçlar, ülkemizde mevcut diğer yerel (veya bölgesel) sabit deprem istasyon ağlarına da kolayca uygulanan bir altyapıyı oluşturmuş olması bakımından da ayrıca önemlidir. Bu nedenle araştırma, farklı ulusal veya uluslararası işbirlikleri kapsamında yürütülmesi muhtemel diğer nitelikli çalışmalara da ışık tutacak mahiyettedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Türkiye (DEÜ, TÜBİTAK) ve Meksika (UNAM, CONACYT) münferit bilimsel araştırma fonlarından sağlanan destek kapsamında, Jeofizik Müh. Murat Keçecioglu'nun DEÜ Yüksek Lisans tez çalışmasının ilk aşamasını oluşturmaktadır. Söz konusu araştırma TÜBİTAK (Proje No: 111Y015, 2011-2013 dönemi) ve DEÜ-BAP (KB.FEN.2012-001, 2011-2013 dönemi) projeleri tarafından desteklenmiştir. Değerli görüş ve önerileri ile makalenin şekillenmesine olan desteğinden ötürü Jeofizik Dergisi Editörü Dr. Ali Aydın'a, faydalı tespitleri ve tavsiyeleri ile makale içeriğinin geliştirilmesine büyük oranda katkı koyan Dr. Yusuf Bayrak'a, Dr. Nihan Hoşkan'a ve isim bildirmeyen hakeme teşekkür ederiz. Doğal gürültü verilerinin proje kapsamında kullanımını sağlayan Dr. Murat Nurlu ve Sn. Ulubey Çeken ile birlikte tüm AFAD Deprem Dairesi Başkanlığı çalışanlarına teşekkürü bir borç biliriz. Sistem alt yapısının kurulumuna olan katkılarından dolayı Dr. Elçin Gök'e ve Dr. Francisco J. Chavez Garcia'ya minnettarız. Sinyal işleme ve veri analizlerinde SAC (Goldstein ve diğ. 1998), haritaların üretiminde GMT (Wessel ve Smith 1995) yazılımı kullanılmıştır.

KAYNAKLAR

- Aki, K. 1957, Space ve time spectra of stationary stochastic waves, with special reference to microtremors, Bull. Earthquake Res. Inst. Univ. Tokyo 25, 415-457.
- Bard, P.Y. ve Ghavez-Garcia, F.J. 1993, On the decoupling of surficial sediments from surrounding geology at Mexico City, Bull. Seism. Soc. Am. 83, 1979-1991.
- Bettig, B., Bard, P.Y., Scherbaum, F., Riepl, J., Cotton, F., Cornou, C. ve Hatzfeld, D. 2001, Analysis of dense array noise measurements using the modified spatial auto-correlation method (SPAC): Application to the Grenoble area, Boll. Geofis. Teor. Appl. 42, 281-304.
- Cambaz, M.D. ve Karabulut, H. 2011, Velocity structure of Turkey ve surroundings by passive imaging technique, 1. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı 11-14 Ekim 2011, Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Ankara, s18.
- Canitez, N. ve Gürbüz, C. 1987, Spektrum Hesaplamalarında Ön İşlemler ve Pencereleme, Spektral Analiz ve Jeofizik Uygulamaları kitabı, TMMOB Jeofizik Mühendisleri Odası Eğitim Yayınları No 1, Canitez, N., Yaramancı, U. ve Özdemir, H. (ed.), İstanbul.
- Ceken, U., Gok, E., Yilmaz, D. ve Polat, O. 2009, Preliminary Results of the Ground-Motion Characterization of Metropolitan Izmir: Aegean Region of Turkey, 5th Congress of Balkan Geophysical Society 10-16 May 2009, Belgrade-Serbia, p6569.
- Chavez-Garcia, F.J. ve Luzon, F. 2005, On the Correlation of Seismic Microtremors, J. Geophysical Research 110:B11313, doi:10.1029/2005JB003671.
- Chavez-Garcia, F.J. ve Rodriguez, M. 2007, The Correlation of Microtremors: Empirical Limits and Relations Between Results in frequency and Time Domains, Geophys. J. Int. 171, 657-664, doi: 10.1111/j.1365-246X.2007.03529.x.
- 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.
- Cho, I., Tada, I. ve Shinozaki, Y. 2004, A New Method to Determine Phase Velocities of Rayleigh Waves From Microseisms, Geophysics 69, 1535-1551.
- Cho, K.H., Herrmann, R.B., Ammon, C.J. ve Lee, K. 2007, Imaging the Upper Crust of the Korean Peninsula by Surface-Wave Tomography, Bull. Seism. Soc. Am. 97 (1B), 198-207.
- Chourak, M., Corchete, V., Badal, J., Seron F. ve Gomez, F. 2003, Imaging of the Near Surface Shear-Wave Structure of the Granada Basin (Southern Spain), Bull. Seism. Soc. Am. 93 (1), 430-442.
- Dziewonski, A.M., Bloch, S. ve Landisman, M. 1969, A Technique for the Analysis of Transient Seismic Signals, Bull. seism. Soc. Am., 59, 427-444.
- Gok, E., Polat, O., Ceken, U., Yalcinkaya, E., Kececioglu, M. ve Akcig, Z. 2010, Site Amplification at strong-ground motion stations in Metropolitan Izmir, Turkey, European Seismological Commission 32nd General Assembly (ESC-2010) on 6-10 September 2010, Montpellier-France, p243.
- Gok, E. 2011, Investigation of Earthquake Hazard ve Seismic Site Characteristic in the Examples of Bursa ve Izmir, Doktora Tezi (ingilizce), Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, p170.
- Goldstein, P., Dodge, D., Firpo, M. ve Stan, R. 1998, Electronic Seismologist: What's new in SAC2000? Enhanced Processing ve Database access, Seismol. Res. Lett. 69, 202-205.
- Herrmann, R.B. 1985, Computer Programs in Seismology, Vol. 8, Saint Louis University, Saint Louis, MO.
- 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.
- Kocaoğlu, A. ve Fırtana, K. 2011, Uzamsal Özilişki Katsayılarının Doğrudan Ters Çözümü İle S-Dalgası Hız Profillerinin Elde Edilmesi, Birinci Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı (1.TDMSK), 11-14 Ekim 2011 ODTÜ, Ankara, s123.
- Li, H., Su, W., Wang C-Y ve Huang, Z. 2009, Ambient noise Rayleigh Wave Tomography in Western Sichuan and eastern Tibet, Earth Planet. Sci. Lett. 282, 201-211.
- Li, H., Bernardi, F. ve Michelini, A. 2010, Surface wave dispersion measurements from ambient seismic noise analysis in Italy, Geophys. J. Int. 180, 1242-1252, doi: 10.1111/j.1365-246X.2009.04476.x
- Ohuri, M., Nobata, A. ve Wakamatsu, K. 2002, A comparison of ESAC ve FK methods of estimating phase velocity using arbitrarily shaped microtremor arrays, Bull. Seism. Soc. Am. 92, 2323-2332.
- Özalaybey, S. 2011, Arka Plan Sismik Gürültü İle Sismolojik Çalışmalar, Birinci Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı (1.TDMSK), 11-14 Ekim 2011 ODTÜ, Ankara, s121.
- Petrosino, S., Cusano, P., Saccorotti, G. ve Del Pezo, E. 2002, Seismic Attenuation and Shallow Velocity Structures at Stromboli Volcano, Italy, Bull. Seism. Soc. Am. 92 (3), 1102-1116.
- Pamukçu, O., Yurdakul, A., Kahveci, M., Salk, M., Gönenc, T., Ersay, E., Ergintav, S., Belgen, A. 2010, Evaluation of Microgravity and GPS/GNSS Data Together by the Network System and a Case Study in Izmir (Western Turkey), 10th SGEM-2010 Conference 20-26 June 2011, Bulgaria, s777.
- 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.
- Polat, O., Chavez-Garcia, F., Çeken, U., Gök, E. ve Kececioglu, M. 2011, Sismik Gürültü İlişkisi Kullanılarak İzmir

ve Çevresi Yeraltı Hız Yapısı: İlk Sonuçlar, Birinci Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı (1.TDMSK), 11-14 Ekim 2011 ODTÜ, Ankara, s125-126.

(WWW: <http://people.deu.edu.tr/orhan.polat/yayin.htm>)

Sabra, K.G., Gerstoft, P., Roux, P., Kuperman, W.A. ve Fehler, M.C. 2005, Extracting time-domain Greens function estimates from ambient seismic noise, *Geophys. Res. Lett.* 32, L03310, doi:10.1029/2004GL021862.

Shapiro, N.M. ve M. Campillo 2004, Emergence of broadband Rayleigh waves from correlations of the ambient seismic noise, *Geophys.Res.Lett.* 31, L07614, doi:10.1029/2004GL019491.

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.

Stankiewicz- J., Weber, M.H., Mohsen, A. ve Hofstetter,

R. 2011, Dead Sea Basin Imaged by Ambient Seismic Noise Tomography, *Pure Appl. Geophys.*, doi: 10.1007/s00024-011-0350-y.

Wessel, P. ve Smith, W.H.F. 1995, New version of the Generic Mapping Tools (GMT), *EOS Transactions* 76, p329.

Zheng, S., Sun, X., Song, X., Yang, Y. ve Ritzwoller, M.H., Surface wave tomography of China from ambient seismic noise correlation, *Journal of G³ Geochemistry Geophysics Geosystems* 9 (5), 1-8, doi:10.1029/2008GC001981.

Zor, E., Özalaybey, S., Karaaslan, A., Tapırdamaz, M.C., Özalaybey, S.Ç., Tarancıoğlu, A. ve Erkan, B. 2011, Aktif ve Pasif Kaynaklı Dizin Yöntemleri ile S-Dalga Hız Yapısı Eldesi ve Zemin Sınıflaması, Birinci Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı (1.TDMSK), 11-14 Ekim 2011 ODTÜ, Ankara, s122.