



## Yüzey dalgalarının çok-kanallı analizi yönteminde uygun atış mesafesinin seçimi

### *Selection of optimum shot distance in multi-channel analysis of the surface wave method*

Ünal DİKMEN, Ahmet Tuğrul BAŞOKUR, İsmail AKKAYA, Muzaffer Özgü ARISOY

Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, 06100 Tandoğan, ANKARA

Geliş (received) : 30 Temmuz (July) 2009

Kabul (accepted) : 07 Aralık (December) 2009

#### ÖZ

Bu çalışmada, yüzey dalgalarının çok-kanallı analizi yönteminde atış mesafesinin (atış noktasıyla ilk jeofon arası uzaklık) dispersiyon görüntüsü üzerindeki etkisi incelenmiştir. Aynı serim düzeni korunarak farklı atış mesafelerinde yüzey dalgalarının çok-kanallı analizi yöntemi (MASW) kayıtları toplanmış ve her bir kaydın dispersiyon görüntüsü hesaplanarak karşılaştırılmıştır. Yüksek kipleri temel kipten ayırmak için en az bir yakın ve bir uzak atış kaydı gereklidir. Sismik enerji kaynağının gücüne bağlı olarak, kısa serim boyu kullanıldığında, yakın atış mesafesi jeofon aralığının en fazla dört katı, uzak atış mesafesi ise serim boyunun en az üçte biri veya daha büyük olmalıdır. Daha büyük serim boyu kullanıldığında, yakın ve uzak kaynakların dalga şekli üzerindeki etkileri artmaktadır. Bu durumda, yüksek sinyal/gürültü oranlı veri elde etmek için, kaynak gücünün artırılması veya serim boyunun kısa tutulması gerekmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Atış mesafesi, dispersiyon, yüzey dalgası.

#### ABSTRACT

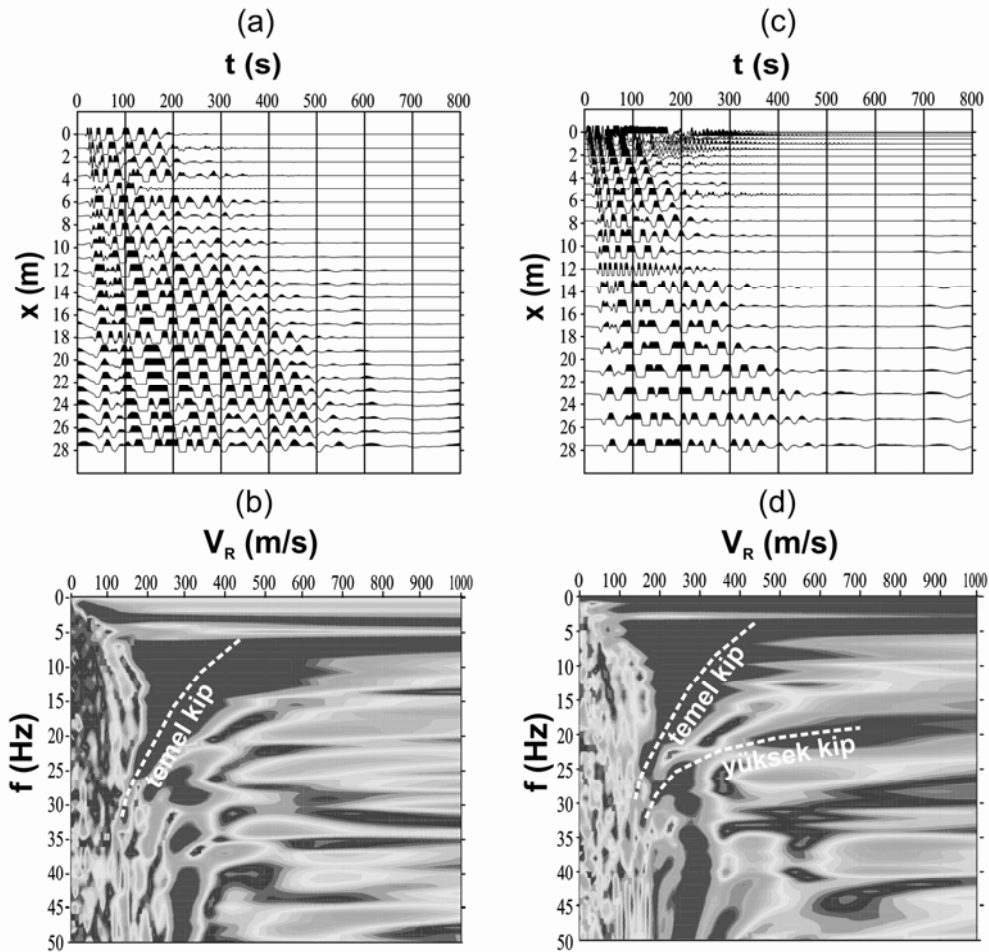
*In this study, the effects of shot distance (the distance between the source and the first receiver) on dispersion image were examined for the multi-channel analysis of surface waves (MASW) method. The MASW records were measured for a variety of shot distances and the corresponding calculated dispersion images were compared, for a fixed layout. At least one pair of near and far shot records is required for clearly distinguishing the fundamental mode from the higher modes. When a short spread length is used, the near shot distance should be no longer than four times the geophone interval, and the far shot distance should be longer than one-third of the spread length depending on the power of the seismic source. Where the larger spread length is used, the dominance of near and far site effects on the waveform become clear. In this case, the power of the source should be increased or the spread length should be shortened in order to have high signal/noise ratio data.*

**Keywords:** Shot distance, dispersion, surface wave.



ma yöntemiyle benzerlik gösterir. Kullanılan serim uzunluğu, kayıt edilebilecek en büyük dalga boyu ile ilişkili olduğundan araştırma derinliğini belirler. Jeofon aralığı, kayıt edilebilecek en küçük dalga boyu ile ilişkilidir. Bu nedenle, jeofon aralığı doğrudan sığ araştırma derinliğinin çözünürlüğünü etkileyen bir değişkendir. Uygulamada yaygın olarak, doğrusal dizilim ve eşit jeofon aralığı kullanılır. Bununla birlikte, jeofonlar arası mesafenin eşit alınmaması ve jeofonların artan mesafeyle dizilmesi, dispersiyon görüntüsü çözünürlüğünü artırır. Şekil 2a' da sabit jeofon aralıklı bir dizilimde elde edilen MASW kaydı, Şekil 2b' de ise Şekil 2a kaydından hesaplanan dispersiyon görüntüsü verilmiştir. Benzer şekilde, Şekil 2c' de artan jeofon aralıklarıyla elde edilen MASW kaydı ile Şekil 2d' de Şekil 2c' deki kayıttan hesaplanan dis-

persiyon görüntüsü verilmiştir. Şekil 2b ve Şekil 2d' de verilen dispersiyon görüntüleri karşılaştırıldığında, artan jeofon aralıklarıyla elde edilen MASW kaydına ilişkin dispersiyon görüntüsünde temel kip yanında yüksek kip seçilebilmektedir. MASW yönteminde kaynak olarak balyoz, çekiç, patlatma veya ağırlık düşürme gibi geçici enerji üreten kaynaklar kullanılır. Bu tür kaynaklar, hızlı veri toplama sağlarken, frekans içeriğinin çoğu durumda zayıf olmasından dolayı sınırlı çalışma olanağı sağlar. Belirli frekans aralığında harmonik dalga üretici kaynaklar geçici kaynaklara göre özellikle düşük frekanslarda daha iyi enerji oluşturur. Veri toplamada, genel olarak 1-2 ms örnekleme aralığı kullanılarak 1 s süresince veri toplanması,  $V_s$  değişimin belirlenmesi için yeterlidir.



Şekil 2. Jeofon aralıkları farklı iki MASW kaydı ve dispersiyon görüntüsü: (a) sabit jeofon aralığı, (b) dispersiyon görüntüsü, (c) artan jeofon aralığı, (d) dispersiyon görüntüsü.

Figure 2. MASW records collected from two different layout configurations: (a) constant geophone interval, (b) dispersion image, (c) increasing geophone interval, (d) dispersion image.

Gerek aktif kaynaklı, gerekse pasif kaynaklı yüzey dalgası yöntemlerinde dispersiyon eğrisinin belirlenmesi için farklı sayısal yöntemler geliştirilmiştir. Geliştirilen bu sayısal yöntemlerin tamamı, zaman-uzaklık ( $t,x$ ) ortamında elde edilen verinin spektral özelliklerinin belirlenmesine dayanır. Kullanılan sayısal yöntemler arasında frekans-dalgasayısı ( $f-k$ ), kesişme zamanı-yavaşlık ( $t-p$ ), faz kaydırma (phase shifting) veya uzaysal özilişki (SPAC) dönüşümleri yaygın kullanılan yöntemlerdir (Okada, 2003; Park vd., 2004).

Her bir tabakanın kalınlığı, yoğunluğu, P ve S-dalgası hız değerlerinin tanımlandığı bir yeryüzü modeli için yeryüzeyindeki alıcı noktalarında kuramsal yüzey dalgası hesaplanarak, dispersiyon eğrisi belirlenir. Kuramsal dispersiyon eğrisinin sayısal hesaplanmasında Thomson-Haskel yöntemi (Thomson, 1950; Haskell, 1953) veya bu yöntemi esas alarak geliştirilen sıklık dizeyi yöntemi (Kausel ve Roësset, 1981), ya da sonlu farklar (Hossian ve Drnevich, 1989), Green fonksiyonları (Hisada, 1995) gibi sayısal çözüm yöntemleri kullanılır. Ters-çözüm işlemi için en küçük kareler yöntemi tabanlı algoritmaların (Calderon-Macias vd., 2000) yanısına genetik algoritma ve yapay sinir ağları (Santamarina ve Fratta, 1998), Monte Carlo yöntemi (Scales ve Tenorio, 2001) kullanılan diğer algoritmalarıdır.

### FAZ KAYDIRMA YÖNTEMİYLE DİSPERSİYON GÖRÜNTÜLEME

Faz kaydırma yöntemi, atış noktasında oluşturulan ve dizilim doğrultusunda ilerleyen düzlem dalganın, ortamın hızına bağlı olarak, her bir jeofona belirli bir gecikmeyle ulaştığı varsayımına dayanır. Frekans ortamında belirli bir frekans ve hız aralığında gecikmeler hesaplanarak yeryüzünün gerçek S-dalga hızı belirlenebilir. Bunun için,  $M$  sayıda jeofonun sabit aralıklarla doğrusal dizildiği bir MASW çalışmasından elde edilen bir atış kaydı  $r_j$  ( $j = 1, 2, \dots, N$ ),  $N \times M$  boyutunda ( $N$ : her bir kanal kayıttaki örnek sayısı) bir dizey olarak tanımlanabilir.  $r_j$  kayıtının frekans ortamı Fourier dönüşümü,

$$R_j(x_j, \omega) = FFT[r_j(x_j, t)], \quad \omega = 2\pi f \quad (1)$$

ile verilir. Burada,  $\omega$ ; (rad/s) açısal frekansı gösterir.  $R_j(\omega)$  karmaşık bir veri olduğundan, genlik ( $A_j(\omega)$ ) ve faz ( $\phi_j(\omega)$ ) cinsinden aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$R_j(\omega) = A_j(\omega) \cdot e^{-i\phi_j(\omega)}, \quad i = \sqrt{-1} \quad (2)$$

$A_j(\omega)$  genliği, ofset mesafesi ( $x$ ) ve açısal frekansa ( $\omega$ ) bağlı olarak değişim gösterir (Park vd., 1998). Faz, her bir açısal frekanstaki faz hızı ( $v_p$ ) ile belirlenir.

$$\phi_j(\omega) = \frac{\omega x}{v_p} = kx \quad k = \omega / v_p, \quad x = x_o +$$

$$(j-1)\Delta x \quad (3)$$

Burada,  $k$  dalga sayısını,  $x$  atış noktasının  $j$ 'inci jeofona olan uzaklığını gösterir.  $R_j(\omega)$  izlerinde aynı frekanslı dalgalar farklı jeofona ait kayıta, farklı genlik ve fazda görülür.  $A_j(\omega)$  genliği,  $v_p$  faz hızına ilişkin herhangi bir bilgi içermediğinden,  $R_j(\omega)$  spektrumuna faz hızı bilgisi kaybedilmeden izleyen normalleştirme işlemi uygulanabilir.

$$P_j(\omega) = \frac{R_j(\omega)}{|R_j(\omega)|} = \frac{A_j(\omega) e^{-j\phi_j(\omega)}}{A_j(\omega)} = e^{-j\phi_j(\omega)} \quad (4)$$

Şekil 3a'da, tekdüze yarı sonsuz bir ortamda birim genlikli, 10 Hz frekanslı ve 240 m/s hızla yayılan bir düzlem dalga gösterilmiştir ve Şekil 3b'de Fourier genlik spektrumu verilmiştir. Şekil 3a' da verilen  $m$  eğimli doğru boyunca sinüzoidal dalgalar aynı faz hızı ile yayılır. Bu doğru boyunca belirli bir zaman aralığında toplanan genliklerin değeri, farklı eğimli doğrulardan elde edilecek toplam genlikten daha büyük olur. Toplama işleminin yapıldığı zaman aralığı bir periyot uzunluğunda ise toplanan genliklerin değeri normalleştirmenin bir sonucu olarak, kullanılan jeofon sayısına eşit olur. Faz kaydırma yöntemi ile yüzey dalgası verilerinden dispersiyon eğrisinin hesaplanması bu yaklaşıma dayanır. Uygulamada genliklerin toplanması, belirli bir frekans (örneğin 5- 30 Hz) ve faz hızı aralığı (örneğin 30-1000 m/s) tanımlanarak yapılır. Frekans ve faz hızı her bir adımda küçük artırımlarla farklı eğim, dolayısıyla farklı faz hızlarındaki eğrileri temsil eder. Genliklerin toplanması, uzaklık-zaman ( $x-t$ ) verisinin Fourier Dönüşü-

mü sonrası normalleştirilmesiyle ve kaynak-alıcı mesafelerine bağlı olarak faz verilmesiyle gerçekleştirilir.

$$A_S(v_p) = e^{-i\Delta_{1,p}} R_1(\omega) + e^{-i\Delta_{2,p}} R_2(\omega) + e^{-i\Delta_{3,p}} R_3(\omega) + \dots + e^{-i\Delta_{N,p}} R_M(\omega) = \sum_{m=1}^M e^{-i\Delta_{m,p}} R_m(\omega). \quad (5)$$

Burada,

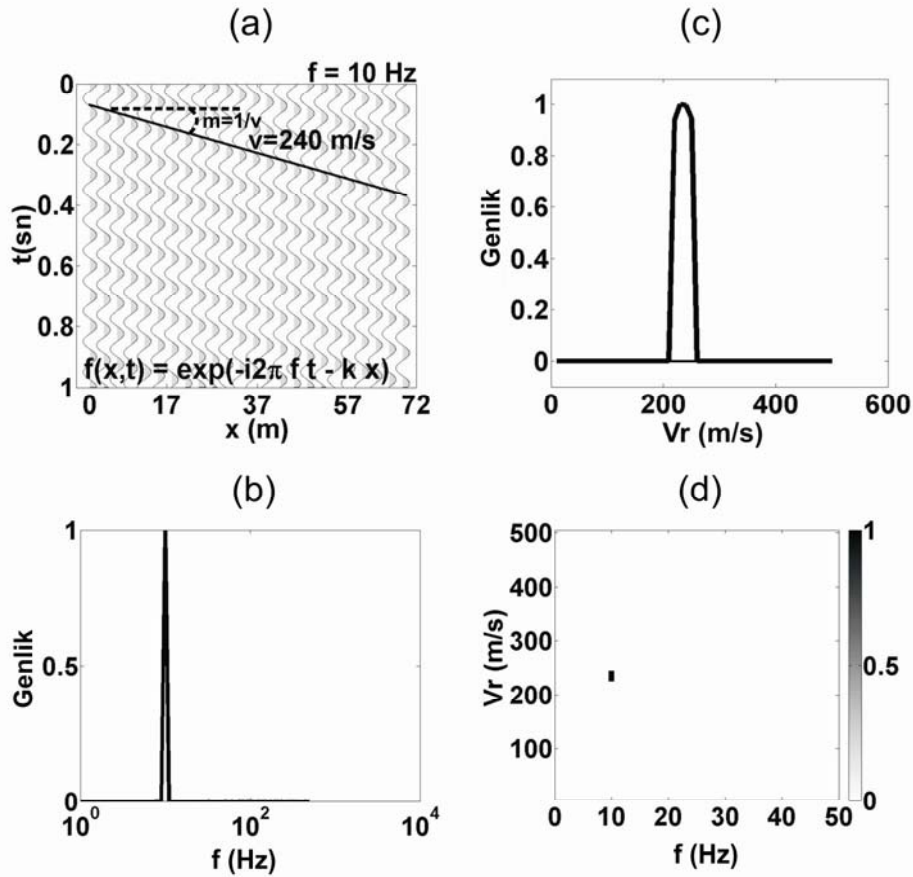
$$\Delta_{m,p} = \omega(x_o + x_m) / v_p = k_p(x_o + x_m) \quad (6)$$

faz terimi, karmaşık değerli olup, atış uzaklığı ve faz hızı ile artış gösterir. Belirli bir frekans ve faz hızı aralığı için (5) bağıntısı ile verilen toplama işleminden faz hızı-toplam genlik eğrisi elde edilir (Şekil 3c). Burada yalnızca ortamın gerçek hızı olan 240 m/s' de 1 değeri ve diğer tüm frekans

ve faz hızlarında 0 değerini vermektedir. Doruk eğiminin keskinliği, dispersiyon eğrisinin çözünürlülüğünü doğrudan etkiler. Şekil 3d, Şekil 3a'da verilen düzlem dalganın dispersiyon görüntüsüdür. Şekil 3d' den görülebileceği gibi yayılan düzlem dalga tek frekanslı (10 Hz) olduğundan 240 m/s değerinde bir doruk değeri ile temsil edilmektedir.

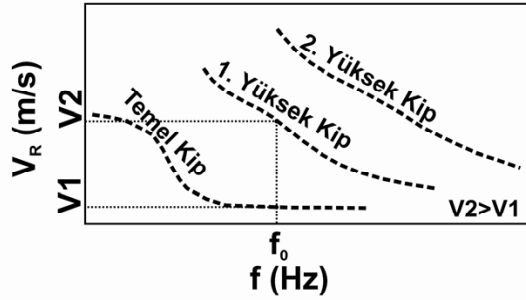
### ATIŞ UZAKLIĞININ DISPERSİYON GÖRÜNTÜSÜNE ETKİSİ

Ölçü alımında serim uzunluğu, jeofon aralığı ve atış uzaklığının seçimi, araştırma derinliğini, uzaysal katlamayı, yakın ve uzak etkileri ve dispersiyon görüntüsünün çözünürlülüğünü etkileyen parametrelerdir. MASW uygulamalarında dispersiyon eğrisinin elde edilmesi amacıyla tek bir atış kaydının yeterli olduğu kanısı yaygındır.



Şekil 3. (a) Yarı-sonsuz tekdüze ortamda 10 Hz frekanslı 240 m/s hızla yayılan düzlem dalga, (b) Fourier genlik spektrumu (normalleştirilmiş), (c) toplam normalleştirilmiş genlik-faz hızı eğrisi, (d) dispersiyon görüntüsü.  
Figure 3. (a) A plane wave propagating in a semi-infinite and homogeneous medium with 10 Hz frequency and 240 m/s velocity, (b) Fourier amplitude spectrum (normalized), (c) total normalized amplitude-phase velocity curve, (d) dispersion image.

Bununla birlikte, kimi zaman temel kip dışında yüksek kipler etkin olabilmekte ve temel kip olarak algılanabilmektedir. Yüksek kiplin, temel kip olarak veri işleminde kullanılması, yeraltı hız dağılımı ile ilişkili olmayan bir modelin elde edilmesine yol açar. Şekil 4'de bir yüzey dalgasından elde edilebilecek temel ve yüksek kipler görüntülenmiştir. Temel kip yerine yüksek kiplin seçilmesi, gerçek hızdan daha yüksek bir hızın, dolayısıyla var olandan farklı mühendislik özelliklerde bir yeraltı modelinin elde edilmesine neden olur.



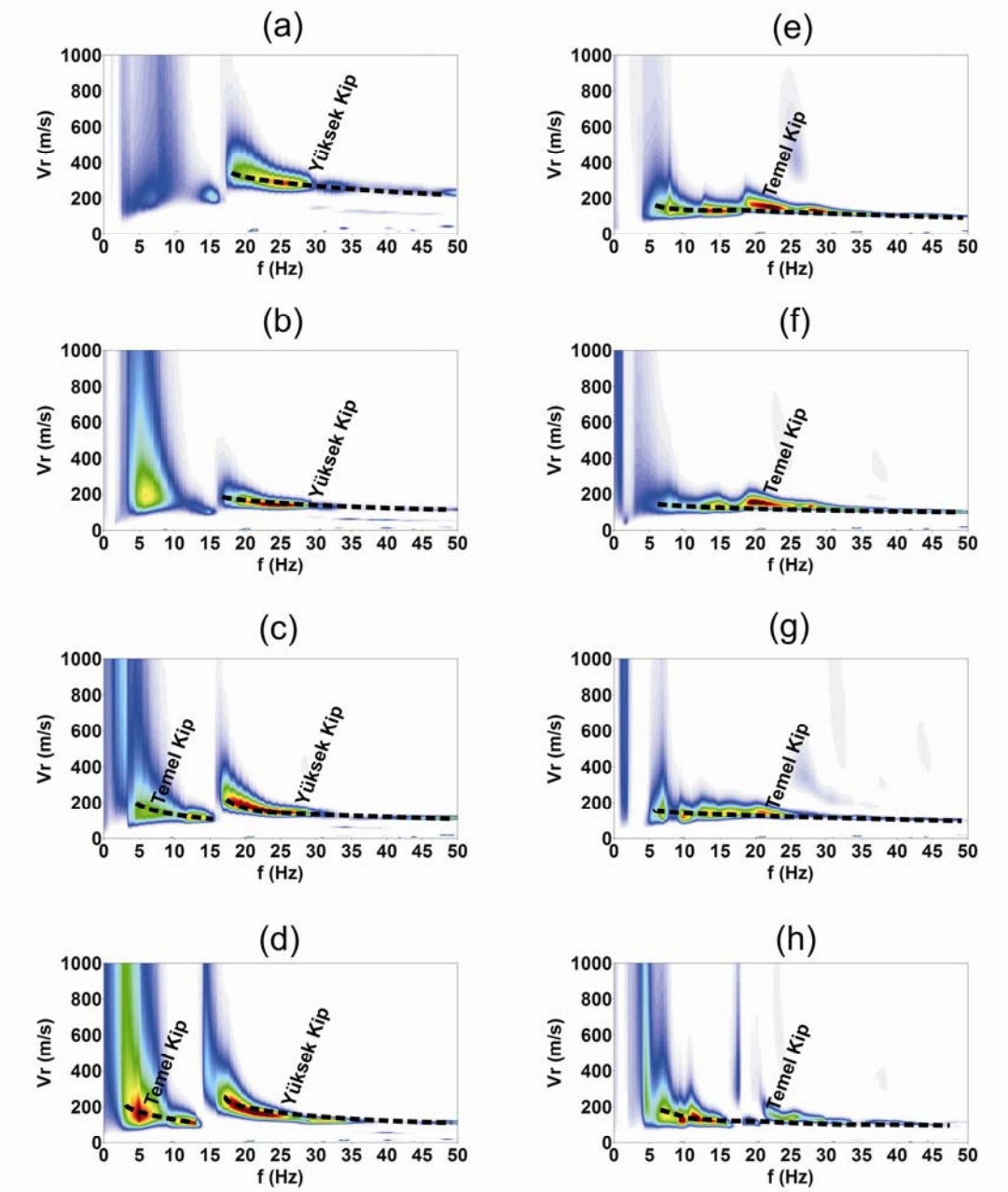
Şekil 4. Yüzey dalgalarının temel ve yüksek kipleri.  
Figure 4. Fundamental and higher modes of surface waves.

Uygulamada atış uzaklığı genel olarak serim boyunun yaklaşık %20'sine kadar alınmaktadır. Kısıtlı güçte enerji kaynağı ve büyük serim boyu (>70 m) kullanıldığında S/G oranı düşük olur. Kayıt süresi genel olarak 1 s seçilir. Bu tür bir kayıt süresi için kullanılacak örnekleme aralığı 1-2 ms kadardır. Bununla birlikte, kullanılan kayıt süresi ve örnekleme aralığının seçimi doğrudan ortamın mühendislik özelliklerini belirler. Araştırılan ortamın hızı düşük ise (örneğin konsolide olmamış derin alüvyon ortamlarda,  $V_s < 100$  m/s) kayıt süresi arttırılabilir. Kayıt süresinin gereğinden fazla büyük seçilmesi, S/G oranının düşmesine ve uzak kaynakların kayıtlarda etkin duruma gelmesine neden olmaktadır. Yüksek S/G oranı elde etmek için kayıt süresinin arttırılması yerine jeofon aralığının azaltılması tercih edilmelidir. Aktif kaynaklı yüzey dalgası çalışmalarında kullanılan düşey jeofonların öz frekansları dispersiyon eğrisinin alt frekans sınırını denetlerken, frekans bant genişliği üzerinde kullanılan enerji kaynağı etkindir. Örneğin, öz frekansı 4.5 Hz olan bir düşey jeofonun kullanıl-

dığı durumda, öz frekansın altındaki frekanslarda jeofonun duyarsız olması nedeniyle dispersiyon eğrisi belirsizdir.

Bu çalışmada, atış mesafesinin dispersiyon görüntüsü üzerindeki etkisini araştırmak amacıyla 24 kanallı bir sismograf kullanılarak üç farklı jeofon aralığında (1, 3 ve 5 m) toplam 23, 69 ve 115 m uzunluklarında üç serim kullanılmıştır. Her bir serim için serim boyu sabit tutularak farklı atış uzaklıklarında (1, 2, 4, 8, 12, 16, 24 ve 48 m) 8 MASW verisi toplanmıştır. Yalnızca 5 m jeofon aralığı kullanılan serimde, 48 m atış mesafesi için tetikleme kablosunun yeterli uzunlukta olmamasından dolayı kayıt alınamamıştır. Veri toplanmasında 4.5 Hz frekanslı düşey jeofon ve 8 kg ağırlığında bir balyoz enerji kaynağı olarak kullanılmıştır.

1 m jeofon aralığı ve 23 m serim uzunluğu kullanılarak yapılan MASW çalışmasında 1, 2, 4, 8, 12, 16, 24 ve 48 m atış mesafelerinde elde edilen sismik kayıtların dispersiyon görüntüleri sırasıyla Şekil 5a-h' de verilmiştir. Bu serim için atış mesafesi 8 m ve daha az olan kayıtlara ait dispersiyon görüntülerinde (Şekil 5a-d), temel kip yanında yüksek kip de belirgindir. Bununla birlikte, atış mesafesinin 12 m-48 m değerleri (Şekil 5e-h) için dispersiyon görüntülerinde temel kip belirgindir ve yüksek kip görülmemektedir. Balyoz gibi sınırlı bir enerji kaynağının ve 23 m serim boyunun kullanıldığı bu çalışmada, serim boyunun 1/3 oranına kadar olan atış mesafesi uzaklıklarında temel ve yüksek kipler kolaylıkla ayrılabilir. 3 m jeofon aralığı ve 69 m serim boyu kullanılarak yapılan MASW çalışmasında, 23 m serim boyu kullanılan çalışma ile aynı atış mesafeleri için elde edilen sismik kayıtların dispersiyon görüntüleri sırasıyla Şekil 6a-h' de verilmiştir. Bu serimde atış uzaklığının 8 m ve daha az olan kayıtlarına ait dispersiyon görüntülerinde (Şekil 6a-d), temel kip ile birlikte yüksek kip belirgindir. Atış mesafesinin 12-48 m aralığına karşılık gelen kayıtlardan hesaplanan dispersiyon görüntülerinde (Şekil 6e-h) yüksek kip belirsizdir. 5 m jeofon aralığı ve 115 m serim boyu kullanılarak yapılan MASW çalışmasında aynı atış uzaklıkları için elde edilen dispersiyon görüntüleri sırasıyla Şekil 7a-g' de verilmiştir. Bu serimde tetikleme kablosunun yetersiz olması nedeniyle 48 m atış için kayıt ali-



Şekil 5. 1 m jeofon aralığı ve farklı ofsetler için dispersiyon görüntüleri: (a) 1 m, (b) 2 m, (c) 4 m, (d) 8 m, (e) 12 m, (f) 16 m, (g) 24 m, (h) 48 m.

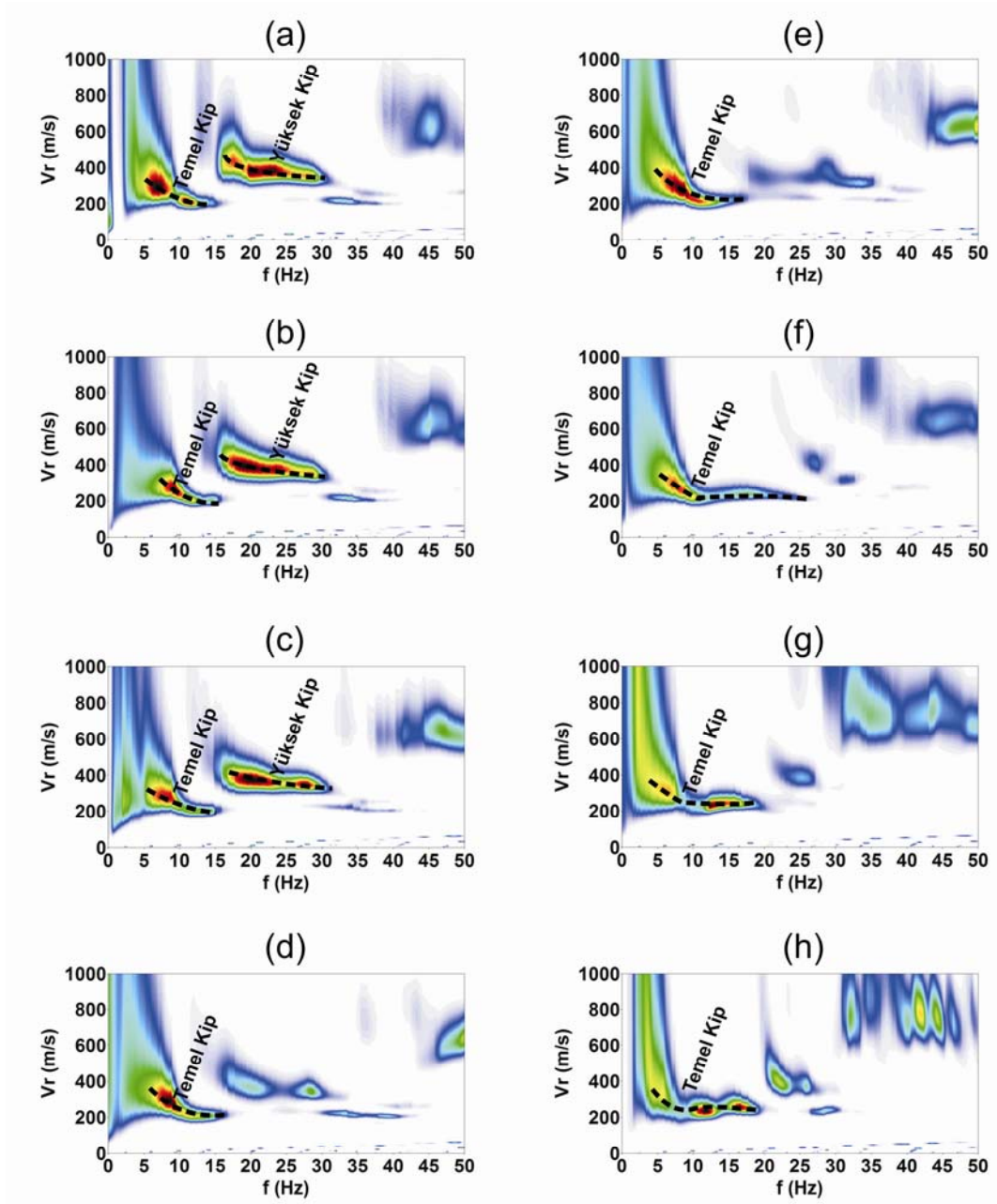
Figure 5. Dispersion images for a variety of offsets: (a) 1 m, (b) 2 m, (c) 4 m, (d) 8 m, (e) 12 m, (f) 16 m, (g) 24 m, (h) 48 m for the case of 1 m geophone spacing.

namamıştır. Kullanılan enerji kaynağının gücüne bağlı olarak, serim boyu arttıkça S/G oranının azaldığı, yakın ve uzak etkilerin kayıt içerisinde belirgin hale geldiği görülmektedir. Bununla birlikte, küçük atış mesafelerinde yüksek kipler daha belirgin olarak görülmektedir. Sınırlı güçte enerji kaynağı, dispersiyon eğrisinin frekans bant genişliğini doğrudan etkiler. Bu ne-

denle, bu tür enerji kaynağının kullanılması durumunda serim boyu kısa tutulmalıdır.

## TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Yüzey dalgalarının analizi, Rayleigh dalgası temel kipi için belirlenen dispersiyon eğrisi üzerine kurulmuştur. Dispersiyon görüntüsünde te-



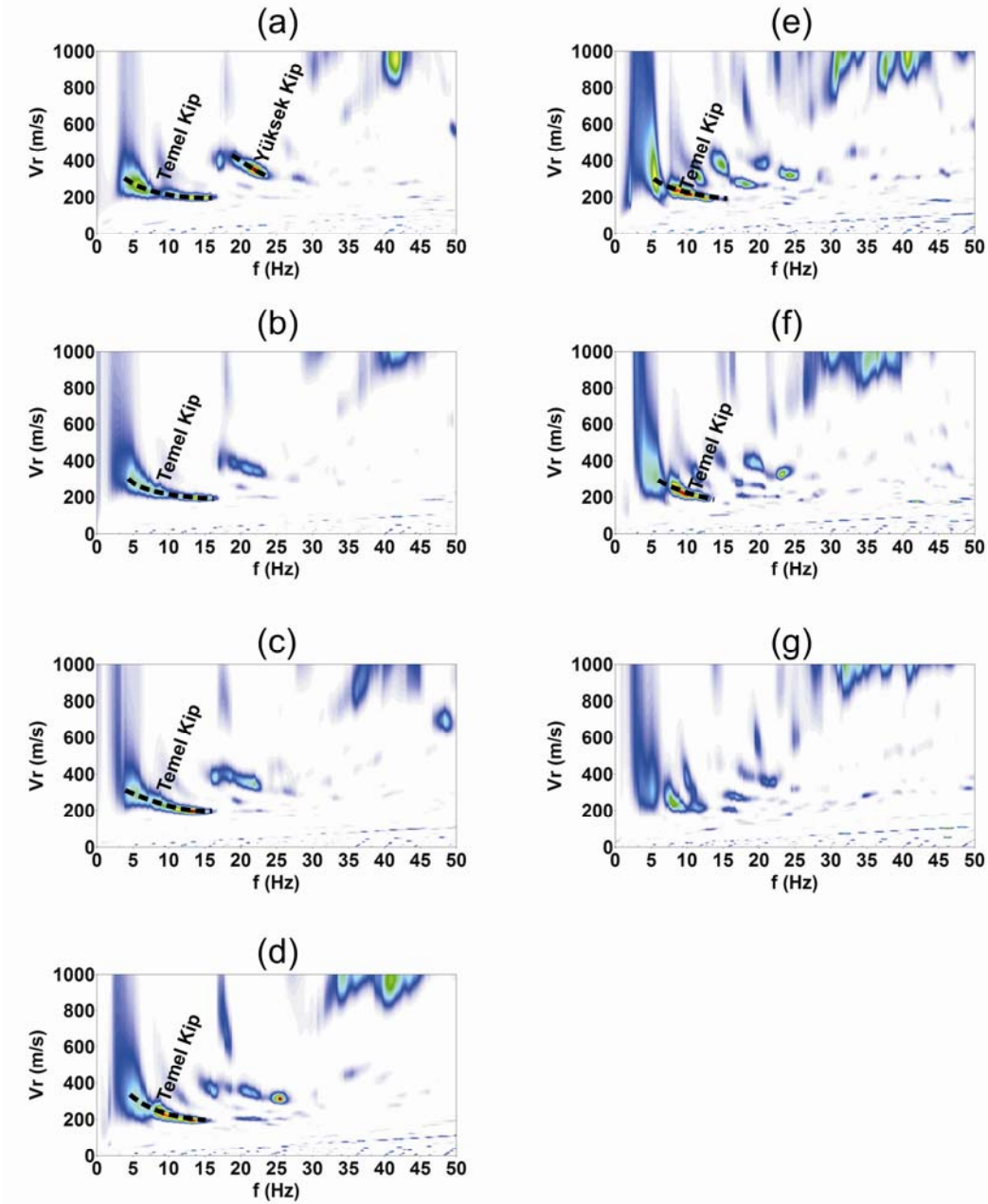
Şekil 6. 3 m jeofon aralığı ve farklı ofsetler için dispersiyon görüntüleri: (a) 1 m, (b) 2 m, (c) 4 m, (d) 8 m, (e) 12 m, (f) 16 m, (g) 24 m, (h) 48 m.

Figure 6. Dispersion images for a variety of offsets: (a) 1 m, (b) 2 m, (c) 4 m, (d) 8 m, (e) 12 m, (f) 16 m, (g) 24 m, (h) 48 m for the case of 3 m geophone spacing.

mel kip yerine yüksek kiplerin seçilmesi veya belirli bir frekanstan sonra birinden diğerine dispersiyon eğrisinin uzatılması, gerçek hızlardan daha yüksek hızların elde edilmesinin yanı sıra örneğin derinde görülmesi gereken hızın daha sığ derinliğe atanması gibi bir hız çekişmesi sorununu getirir. Bu nedenle, temel ki-

pin doğru belirlenmesi S-dalgası hızının sağlıklı belirlenmesi için zorunludur. Uygulamalarda serim boyunun arttırılması, güçlü enerji kaynağının kullanılmasını gerektirmesinin yanı sıra, S/G oranının azalmasına ve yakın-uzak alan etkilerinin dispersiyon görüntüsünde etkin olmasına neden olmaktadır. Jeoteknik amaçlı çalışma-





Şekil 7. 5 m jeofon aralığı ve farklı ofsetler için dispersiyon görüntüleri: (a) 1 m, (b) 2 m, (c) 4 m, (d) 8 m, (e) 12 m, (f) 16 m, (g) 24 m.

Figure 7. Dispersion images for a variety of offsets: (a) 1 m, (b) 2 m, (c) 4 m, (d) 8 m, (e) 12 m, (f) 16 m, (g) 24 m for the case of 5 m geophone spacing.

lar için genel olarak 1-2 ms örnekleme aralığı ve 1-2 s uzunluğunda kayıt süresi yeterlidir. Kayıt süresinin gereğinden fazla artırılması, benzer şekilde S/G oranının düşmesine neden olmakta ve yakın-uzak alan etkilerini arttırmaktadır. Bununla birlikte, özellikle derin alüvyal alanlarda yapılan çalışmalarda, yüzey dalgalarının kayıt süresi içerisinde kalmasını sağlamak ama-

ciyla kayıt süresi arttırılabilir. Ancak kayıt süresinin arttırılması yerine serim boyunun kısa tutulması önerilir. Genel olarak 5 yığma yeterlidir. Veri toplanması aşamasında S/G oranını arttırmak amacıyla fazla sayıda yığma işlemi kimi zaman harici gürültülerin kayıtlarda etkin olmasına neden olabilmektedir. Bu nedenle, yığma sayısı özellikle dış kaynakların mevcut olmadığı du-

rumlarda arttırılmalıdır. Kullanılan enerji kaynağı, dispersiyon eğrisinin frekans bant genişliğini doğrudan etkiler. Büyük enerji kaynağı, geniş frekans bandında dispersiyon eğrisinin seçilmesini sağlar. Jeofon aralığı, sığ derinliğin çözünürlüğünü, serim boyu ise araştırma derinliğini etkileyen iki değişkendir. Küçük jeofon aralığı, sığ derinlik için yüksek çözünürlük sunar. Büyük serim boyu, büyük araştırma derinliği sunmasına rağmen ayrımlık, kullanılan enerji kaynağı ile de doğrudan ilişkilidir.

Kimi zaman hesaplanan dispersiyon görüntülerinde temel kipin yüksek kiplerden ayrımı güçtür. Bu durumdan kaçınmanın ve dispersiyon görüntüsü üzerinde seçilen kipin temel kip olduğundan emin olmanın yolu, iki farklı atış mesafesi için (yakın ve uzak atış) kayıtların alınmasıdır. Yakın atış, kısa jeofon aralığının (1-3 m) kullanıldığı serimde, jeofon aralığının dört katına kadar çıkabilir. Uzak atış mesafesi ise, kullanılan enerji kaynağının gücüne bağlı olarak, en az serim boyunun üçte biri veya daha büyük mesafede olmalıdır.

### KATKI BELİRTME

Bu çalışmada kullanılan veri, TMMOB Jeofizik Mühendisleri Odası (JFMO), tarafından 4-5 Nisan 2009 tarihlerinde gerçekleştirilen “Jeoteknik araştırmalarda yüzey dalgası yöntemleri: ölçü alımı, analizi ve yorumu” başlıklı kurs ve Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Jeofiziği dersi Uygulaması kapsamında toplanmıştır. Veri toplanmasında emeği geçen tüm JFMO yönetimine ve kursiyerlere, ayrıca Ankara Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü dördüncü sınıf öğrencilerine en içten dileklerimizle teşekkür ederiz.

### KAYNAKLAR

Calderon-Macias, C., Sen, M. K., and Stoffa, P.L., 2000. Artificial neural networks for parameter estimation in geophysics. *Geophysical Prospecting*, 48, 21-48.

Haskell, N. A., 1953. The dispersion of surface waves on multilayered media. *Bulletin of Seismological Society of America*,

43, 17-34.

- Hisada, Y., 1995. An efficient method for computing Green's functions for a layered half-space with sources and receivers at close depths (Part 2). *Bulletin of the Seismological Society of America*, 85, 1080-1093.
- Hossian, M. M., and Drnevich, V.P., 1989. Numerical and optimization techniques applied to surface wave for back-calculation of layer moduli. In: *Non-destructive Testing of Pavements and Back-calculation of Moduli*, III. A. J. Bush., and G.Y. Baladi (eds.), American Society for Testing and Materials, Special Publication, 1026, pp. 649-669.
- Kausel, E., and Roësset, J. M., 1981. Stiffness matrices for layered soils. *Bulletin of Seismological Society of America*, 71, 1743-1761.
- Okada, H., 2003. The microtremor survey method. *Geophysical Monograph Series-12*, Society of Exploration Geophysicists, Tulsa.
- Park, C. B., Miller, R. D., and Xia, J., 1998. Ground roll as a tool to image near-surface anomaly. 68 th Annual International Meeting, Society of Exploration Geophysics, Abstracts, pp. 874-877.
- Park, C. B., Miller, D., Lafren, N., Cabrillo, J., Ivanov, B., and Huggins R., 2004. Imaging dispersion curves of passive surface waves. *Society of Exploration Geophysics, Abstracts*, pp. 1357-1360.
- Santamarina, J. C., and Fratta, D., 1998. *Introduction to Discrete Signals and Inverse Problems in Civil Engineering*. ASCE Press, Reston, VA.
- Scales, J., and Tenorio, L., 2001. Prior information and uncertainty in inverse problems. *Geophysics*, 66, 389-397.
- Thomson, W.T., 1950. Transmission of elastic waves through a stratified soil media. *Research Report R81-2*, Department of Civil Engineering, MIT, Cambridge.