



SİSMİK KIRILMA VERİLERİNDE JEOFON MERKEZ FREKANSININ İLK VARİŞ ZAMANLARI ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Mustafa ŞENKAYA*, Hakan KARSLI

Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Trabzon, Türkiye

Anahtar Kelimeler	Öz
<i>Jeofon, Merkez Frekans, İlk Varış Zamanı, Sismik Kırılma.</i>	Ülkemizde, arazide gerçekleştirilen ya da kamu kurumlarınca kontrol edilen Jeofizik çalışmalarda çok kanallı yüzey dalgası ölçümü için genellikle 4.5Hz' lik düşey bileşen jeofonlar kullanılmaktadır. Ancak, bazı kamu kurumları 4.5Hz düşey jeofonlarla, ilk varışların belirlenmesi amacıyla sismik kırılma çalışmaları yapılmasına izin vermemekte ve ilk varışların bu jeofonlarla elde edilen sismik kırılma verilerinden güvenilir şekilde okunamayacağını düşünmektedir. Bu çalışma kapsamında, sismik kırılma verilerinde jeofon merkez frekansının ilk varışlar üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Çalışmada, 4.5, 14 ve 40 Hz merkez frekanslı üç farklı düşey bileşen jeofon için hesaplanan sentetik sismik izler ve iki farklı sahada, farklı üreticilere ait sırasıyla 4.5-14 Hz, 4.5-40 Hz jeofon çiftleri ile toplanan gerçek sismik kırılma verileri kullanılmıştır. Sentetik ve tüm saha verileri üzerinde yapılan ilk varış analizleri açık şekilde göstermiştir ki, sismik kırılma verilerinden elde edilecek ilk varışlar, kullanılan jeofonların merkez frekanslarından bağımsızdır. Dolayısıyla, aynı saha parametreleri ile farklı merkez frekanslı jeofonlarla toplanan sismik kırılma verilerinin ilk varış zamanları değişiklik göstermemektedir. Bu tip veri setlerinde görülebilecek tek fark, kayıt edilen verinin genlik spektrumunda merkez frekans etrafındaki genliğin artması olacaktır, ancak bu durum ilk varış zamanlarını etkilememektedir. Sonuç olarak, sismik kırılma arazi çalışmalarında hem çok kanallı yüzey dalgası hem de geleneksel sismik kırılma verilerinin toplanmasında, farklı jeofon setlerinin lojistiğine ihtiyaç olmayıp, tek bir jeofon setinin (örneğin 4.5 Hz) yeterli olacağı bu çalışmayla gösterilmiştir.

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF GEOPHONE CENTER FREQUENCY ON THE FIRST ARRIVAL TIMES IN SEISMIC REFRACTION DATA

Keywords	Abstract
<i>Geophone, Center Frequency, First Arrival Time, Seismic Refraction.</i>	In our country, 4.5Hz vertical geophones are generally used for multi-channel surface wave measurement in geophysical studies or field studies controlled by public institutions. However, some public institutions do not allow using 4.5Hz vertical geophones in seismic refraction studies to identify the first arrivals and believed that the first arrivals could not be reliably picked from the seismic refraction data obtained with these geophones. Within the scope of this study, the effect of geophone center frequency on first arrivals of seismic refraction data was investigated. In study, synthetic seismic traces calculated for three different vertical component geophones with 4.5, 14 and 40 Hz center frequencies and real seismic refraction data collected in two different areas with 4.5-14 Hz, 4.5-40 Hz geophone pairs produced by different companies were used. The first arrival time analysis on synthetic and both real data significantly indicated that the first arrival times are independent of the center frequencies of the used geophones. Therefore, the first arrival times of seismic refraction data collected with same field parameters but with different center frequency geophones do not demonstrate changing. The only difference seen for these data is increasing of amplitudes in spectrum around center frequency of geophone, however it could not affect the first arrivals. Consequently, it has been shown in the proposed study that a single geophone set (e.g., 4.5 Hz) will

* İlgili yazar / Corresponding author: msenkaya@ktu.edu.tr

be adequate in acquisition of both multi-channel surface wave and traditional seismic refraction data, and logistics of different geophone sets are not needed.

Alıntı / Cite

Şenkaya, M., Karşlı, H., (2021), Sismik Kırılma Verilerinde İlk Varış Zamanlarının Jeofon Merkez Frekansına Göre Değişimi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 9(3), 880-893.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

M. Şenkaya, 0000-0003-2152-3479
H. Karşlı, 0000-0002-7758-1363

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	12.07.2021
Revizyon Tarihi / Revision Date	04.05.2021
Kabul Tarihi / Accepted Date	22.06.2021
Yayın Tarihi / Published Date	21.09.2021

1. Giriş (Introduction)

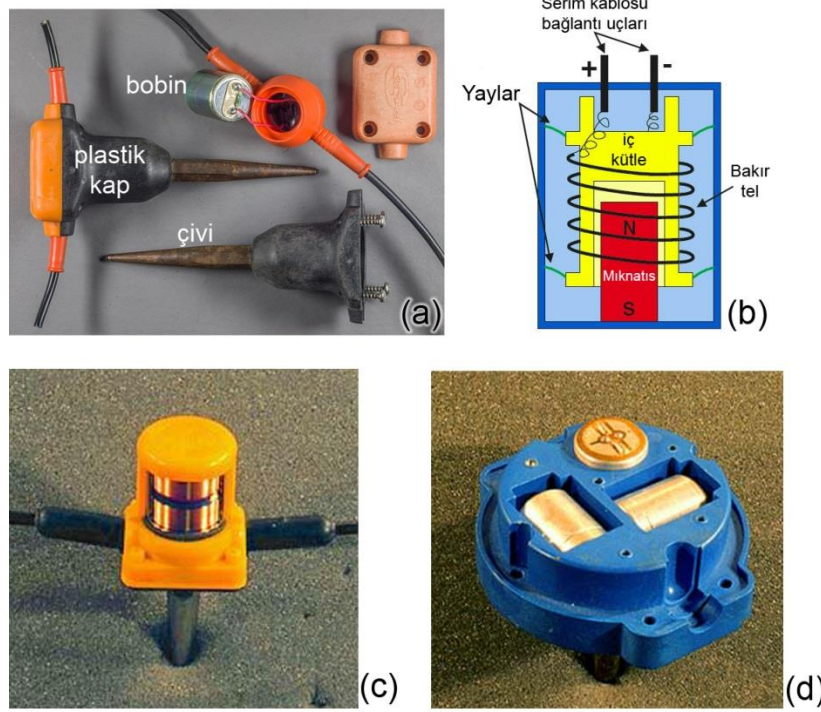
Sismik kırılma yöntemi Jeofizik mühendisliğinin en temel yöntemlerinden biridir. Sağladığı akustik ve/veya elastik parametreler nedeniyle ülkemizde geoteknik ve mikro-bölgeleme çalışmaları (Çimen vd., 2014; Kurtuluş ve Bozkurt, 2016; Zorluer ve Gücek, 2019), heyelan ve yamaç duraylılığı problemleri (Vanlı Senkaya vd., 2015; Bayram ve Alpaslan, 2021), sıvılaşma analizleri (Uyanık vd., 2013; Işık vd., 2016; Ateş, 2017) gibi zemin ve çevre problemleri başta olmak üzere neredeyse tüm mühendislik-tasarım çalışmalarında en sık başvurulan yöntemdir (Babacan vd., 2014; Grit ve Kanlı, 2016; Yalcinkaya vd., 2016). Sismik yöntemlerle elde edilen temel yer parametresi sismik dalgaların jeolojik birimler içindeki yayılım hızları yani birimlerin sismik hızlarıdır. Sismik hızlar bir kaynak noktasında üretilen dalga türlerine göre boyuna ya da sıkışma-genleşme (P-dalgası) ve enine ya da kesme-kayma (S-dalgası) dalgası hızları olarak bilinirler. Bu dalga hızlarından yararlanarak zeminlere ait gözeneklilik (Uyanık, 2011, 2019), yoğunluk (Uyanık ve Çatlıoğlu, 2015), geçirgenlik (Osazuwa ve Chinedu, 2008; Harmoko vd., 2019) v.b. fiziksel özellikler; zemin taşıma gücü (Keçeli, 2016), elastisite, kayma ve hacim modülleri gibi elastik parametreler (Keçeli, 2012); sıvılaşma (Andrus vd., 2004; Uyanık vd., 2013; Uyanık, 2020; Babacan ve Ceylan, 2021), zemin hakim frekansı (Kramer, 1996; Gaytan vd., 2020) ve zemin büyütmesi (Vanlı Senkaya vd., 2016; Vanlı Senkaya vd., 2020) gibi dinamik özellikler belirlenmektedir. Tüm bu bilgilerin doğru ve güvenilir elde edilebilmesi ancak sismik hızların doğru belirlenebilmesi ile gerçekleşir. Dolayısıyla, saha çalışmalarda kayıt edilen sismik verilerin kalitesi doğrudan çıktıların güvenilirliğini etkiler.

Bir sismik kırılma ölçüm çalışmasını gerçekleştirmek için gerekli olan genel ekipmanlar; kayıtçı (türüne göre ihtiyaç duyulması halinde harici bir bilgisayarla beraber), jeofonlar, serim kablosu, tetikleme jeofonu ya da sensörü ve sismik dalga oluşturabilecek bir kaynaktır (balyoz, patlayıcı v.b.). Bu ekipmanlardan jeofon ve kaynak dışındaki tüm ekipmanlar, her bir üretici için özel tasarımlar olup, satın alınması halinde paket şeklinde teslim edilmektedir. 2000'li yıllar öncesinde Amerika Birleşik Devletleri tekelinde olan sismik ekipman üretimi, özellikle 2000'li yılları takip eden dönemde, İtalya ve Çin'deki alternatif üreticilerle çeşitlenmiştir. Dolayısıyla, kullanıcılar için özellikle jeofon açısından birçok seçenek ortaya çıkmıştır (Veen ve Green, 1998; Pugin vd., 2004; Tsoflias vd., 2006; Sudarshan vd., 2016; Yalcinkaya vd., 2018)

Jeofonlar, en basit anlamıyla tüm sismik çalışmalarda kullanıcının yeri dinlemesini sağlayan, yerin mekanik hareketlerini elektrik sinyallerine döndürerek kayıt edilmesine olanak veren özel ve hassas ekipmanlardır (Hall, 1975; Ernest, 1979; Woo ve Woodall, 1992; Smith vd., 2004). Bir jeofon; bobin, plastik kap ve metalik çivi' den oluşur (Şekil 1a). Bobin; mıknatıs, bakır tel ve yaydan oluşan bir sistem olup, jeofonun en önemli parçasıdır (Şekil 1b). Bobinin sahip olduğu mıknatıs ve bakır tel sargıları, jeofonun merkez frekansı ve dolayısıyla teorik olarak jeofonun en duyarlı olduğu frekansı belirlerken, bobinin plastik kap içerisinde XYZ düzlemindeki yerleşimi jeofonun kayıt edeceği sinyallerin doğrultusunu belirler. Örneğin, 4.5 Hz' lik düşey jeofon, 4.5 Hz lik olaylara duyarlı bir bobinin, plastik kap içerisine Z ekseninde yani dik olarak yerleştirilmesiyle üretilir (Şekil 1c ve d). Yaygın merkez frekansları 4.5, 10, 14 ve 40 Hz' tir.

Son yıllarda ülkemizde farklı merkez frekanslı jeofonların kullanılması nedeniyle, sismik kırılma ilk varışlarının kimi jeofonlarda diğerlerinden daha iyi kayıt edildiği anlayışı yerleşmiştir. Özellikle çeşitli kamu kurumlarında, çok kanallı yüzey dalgası çalışmalarında sıkça kullanılan 4.5Hz lik düşey bileşen jeofonlarla, klasik sismik kırılma çalışmaları yapılmaması istenmekte ve ilk varışların bu jeofonlarla elde edilen sismik kırılma verilerinden güvenilir şekilde okunamayacağı düşünülmektedir.

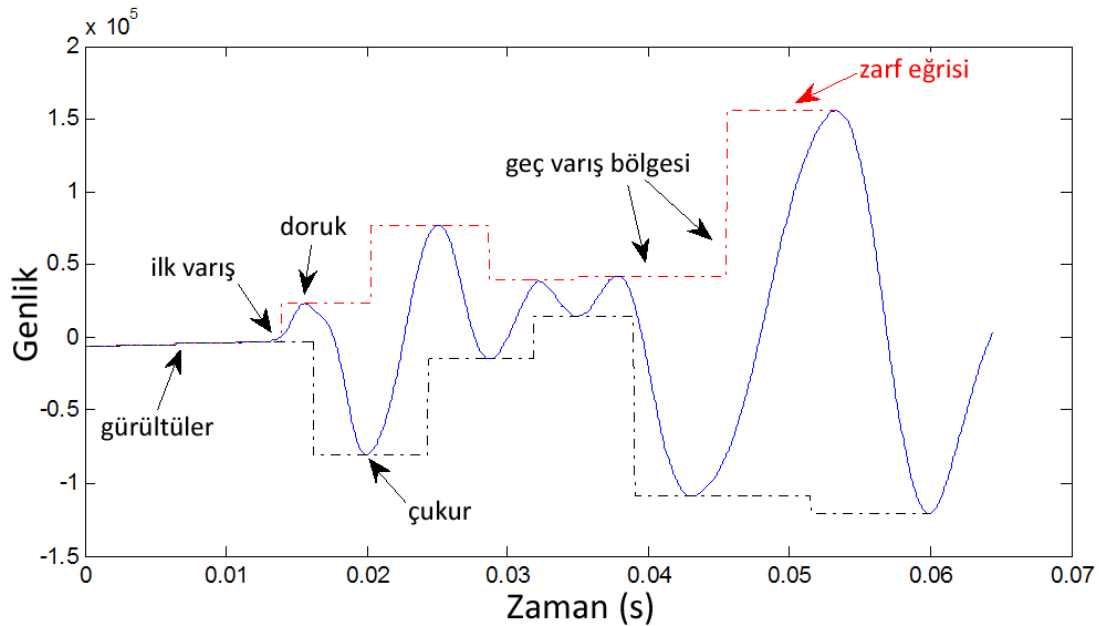
Bu çalışmada, farklı merkez frekanslı düşey bileşen jeofonlarla kayıt edilen sismik kırılma verilerinden okunan ilk varış zamanlarının değişip değişmediğinin incelenmesi amaçlanmıştır. İlk olarak sentetik testler sunulurken, daha sonra farklı sahalardan elde edilen gerçek sismik kırılma verileri üzerinden karşılaştırmalar yapılacaktır. Çalışmanın sağlayacağı bilgi ve görsellerin, bu soruya açık şekilde cevap vereceği düşünülmektedir.



Şekil 1. (a) Bir jeofonun kapalı ve açık gösterimi (URL-1, n.d.), (b) bir bobinin şematik gösterimi (URL-2, n.d.), (c) bobini Z eksenini boyunca dik yerleştirilen dikey jeofon (URL-3, n.d.), (d) her bir bobini X,Y ve Z eksenleri boyunca yerleştirilen 3 bileşenli jeofon (URL-3, n.d.).((a) Covered and uncovered demonstration of a geophone (URL-1, n.d.), (b) a schematic representation of a coil (URL-2, n.d.), (c) the vertical geophone with placed vertically coil (URL-3, n.d.), (d) a three-dimensional geophone with placed each coil along the X, Y and Z axes (URL-3, n.d.)).

2. Sentetik Testler (Synthetic Tests)

İlk varış (ilk kırılma, ilk yer değiştirme), bir sismogramda arka plan (background) gürültüden sonra açık olarak değişimin görüldüğü ilk olay olarak tanımlanır (Douglas vd., 1997) (Şekil 2). Sismik izlerde ilk varış polaritesi yukarı yönlü (pozitif ya da doruk) genlik olarak gözlenebileceği gibi aşağı yönlü (negatif ya da çukur) genliklerle de görülebilirler. İlk varışın polaritesi, bir ilk varışın güvenilirliğini etkilemeyecek bir parametredir (Senkaya ve Karşlı, 2014).



Şekil 2. Bir sismik kırılma sinyali içerisindeki ilk varış ve diğer olaylar (Douglas vd., 1997' den değiştirilerek).(The first refraction and other events in a seismic refraction signal (modified from Douglas et. al. 1997)).

Sismik kırılma çalışmalarında ana hedef, doğrudan ve/veya kritik kırılarak gelen sismik cisim dalgalarını (P ve S-dalgaları) kayıt etmek ve bu kayıtlardan ilk varış zamanı okuması yapmaktır. Yatay n tabakalı bir ortamda doğrudan gelen ve kritik kırılarak seyahat eden cisim dalgası seyahat zamanları yani ilk varış zamanları;

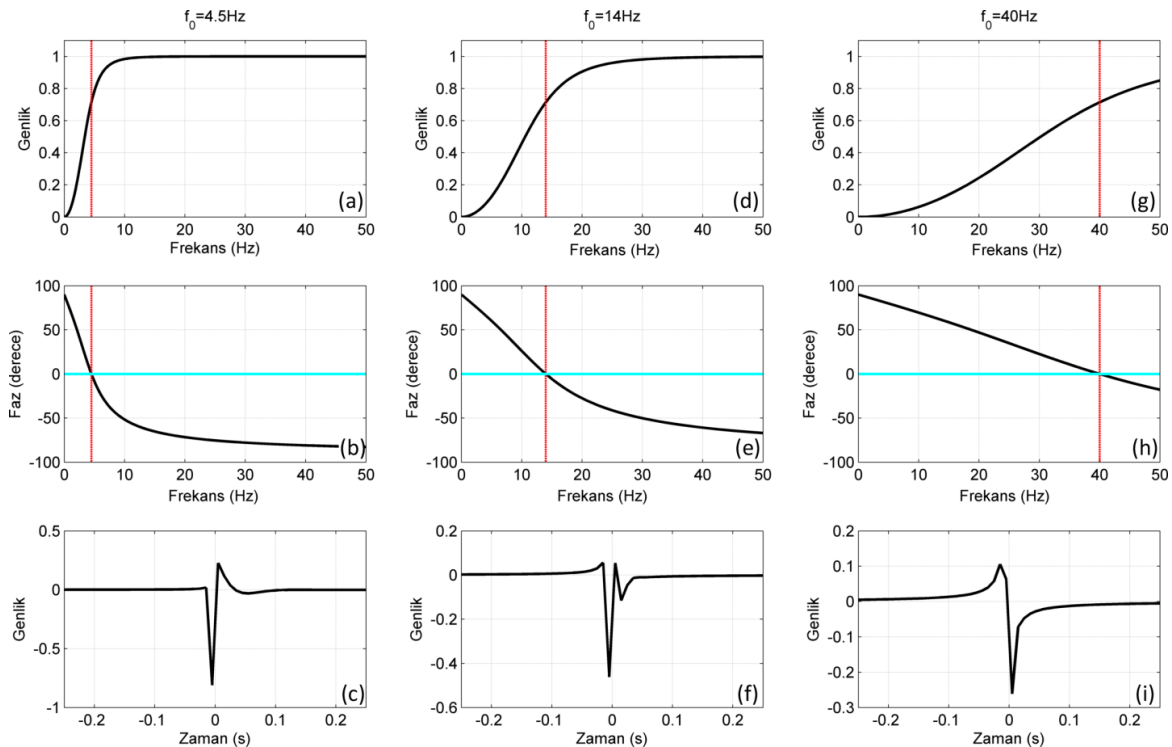
$$T_{T,i} = \frac{x}{V_i} + 2 \left(\sum_{k=1}^{i-1} \frac{h_k \sqrt{V_i^2 - V_k^2}}{V_i V_k} \right), \quad i = 1:n \quad (1)$$

denklemlerle hesaplanabilir. Denklem (1) de, n ; toplam tabaka sayısı, $T_{T,i}$; i . tabaka için dalga seyahat zamanı, x ; alıcı uzaklığı, h ; tabaka kalınlığı, V ; ilgili tabakaya ait dalga hızını göstermektedir. Denklem (1)' de açık şekilde görüldüğü gibi cisim dalgası dalga seyahat zamanı; dalga hızları, tabaka kalınlığı ve alıcı uzaklığının bir fonksiyonudur ve frekanstan bağımsızdır.

Bir T_T zamanında jeofona varan sismik enerji, jefondaki kütle-yay sistemini harekete geçirir. Sismik enerjinin, kayıt edilebilir bir sayısal sinyale dönüşmesi; jeфон içindeki kütle, boyutu ve yayın sertliğine bağlı olarak belirli bir frekansta titreşmesiyle gerçekleşir ve bu frekans "jeфон merkez frekansı (Hz)" olarak isimlendirilir. Jeфон içerisindeki yayın sertliği ise "sönüm sabiti" ni kontrol eder. Dolayısıyla bir jeфон, sismik enerjiye merkez frekansı ve sönüm sabitine göre tepki verir. Bu tepki fonksiyonu Hons (2008) tarafından;

$$H(f) = \frac{f^2}{-f^2 + 2j\lambda f_0 f + f_0^2} \quad (2)$$

ile tanımlanmıştır. Burada; f frekans örnekleri, f_0 jeфон merkez frekansı, λ sönüm sabiti ve j karmaşık niceliktir ($\sqrt{-1}$). Denklem (2) karmaşık bir fonksiyon olduğundan, bir jeфонun tepki fonksiyonu; genlik ve faz spektrumları olarak incelenebilir. Elde edilen bu karmaşık tepki spektrumunun ters Fourier dönüşümü alınarak jeфон tepki fonksiyonunun zaman ortamı görüntüsü elde edilebilir. Buna göre, 4.5, 14 ve 40 Hz merkez frekanslı jeфонlar için genlik, faz spektrumları ve tepki fonksiyonlarının zaman ortamı görüntüleri hesaplanarak Şekil 3'te gösterilmiştir. Hesaplamalarda frekans örnekleme aralığı $\Delta f=0.01$ Hz ve jeфон sönüm sabiti $\lambda =0.7$ olarak kullanılmıştır.



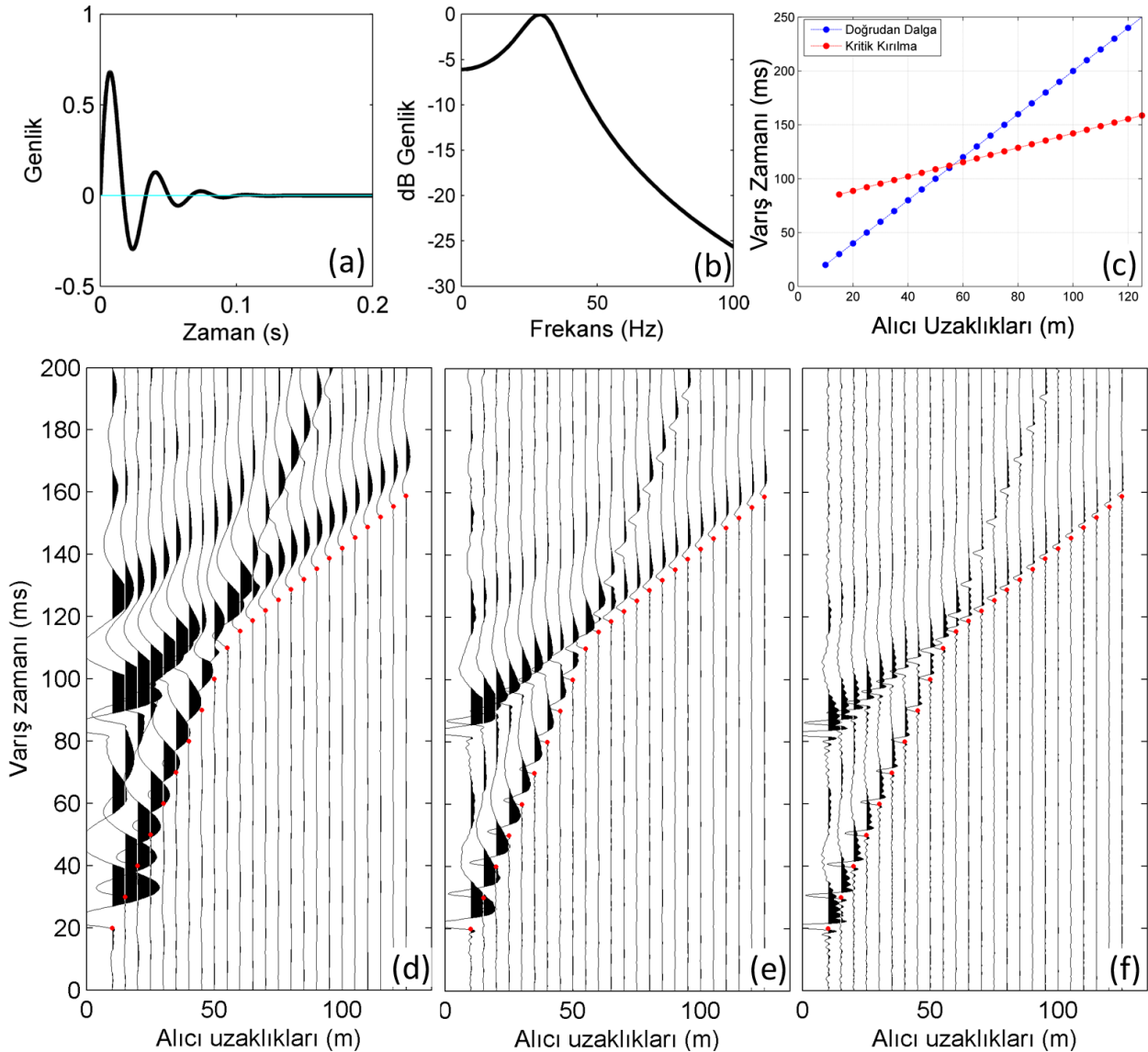
Şekil 3. (a-c) 4.5, (d-f) 14 ve (g-i) 40 Hz merkez frekanslı jeфонlar için sırasıyla tepki fonksiyonu genlik spektrum, faz spektrumu ve tepki fonksiyonu zaman ortamı görüntüsü. Jeфонların doğal frekanslarına karşılık genlik ve faz bilgileri kırmızı çizgilerle gösterilmiştir. (The amplitude and phase spectrum of response function and response function in the time domain for the center frequency of (a-c) 4.5, (d-f) 14, and (g-i) 40 Hz, respectively. The natural frequency of each geophone is demonstrated by a red line).

Şekil 3' te görüldüğü üzere farklı merkez frekansa sahip jeofonların, tepki fonksiyonları dolayısıyla sismik sinyale verecekleri tepkiler de değişiklik göstermektedir. Bu farklılıkların sentetik bir sismik kırılma verisi üzerindeki etkilerinin modellenmesi adına, basit iki tabakalı bir yer modeli kullanılarak spektral ortamda yapay sismik kırılma izleri hesaplanmıştır. Buna göre, spektral ortamda bir sismik iz $S(f)$;

$$S(f) = W(f) \cdot R(f) \cdot G(f) \cdot A(f) \quad (3)$$

şeklinde tanımlanır. Denklem (3)' de; kaynak fonksiyonu $W(f)$, yerin tepkisi $R(f)$, jeofon (veya alıcı) tepkisi $G(f)$ ve kayıtcı tepkisinin $A(f)$ ile tanımlanmıştır.

Sismik kırılma çalışmalarında sıklıkla kullanılan balyoz kaynakların ürettikleri kaynak fonksiyonları minimum fazlı (nedensel) dalgacılar ile temsil edilir. Balyoz kaynağın ürettiği sinyallerin spektral aralığı, ağırlığına, vuruş gücüne ve kullanılan tablanın boyutlarına göre değişmekle birlikte genel olarak 20-40 Hz arasında değişmektedir (Miller vd., 1992). Bu nedenle modelleme sırasında kaynak fonksiyonu olarak, tepe frekansı 30 Hz olan minimum fazlı Berlage dalgacı kullanılmıştır. Berlage dalgacı modüle olmuş bir sinüs sinyalidir (Jeffreys, 1932; Aldridge, 1990). Kullanılan Berlage dalgacı zaman fonksiyonu ve Fourier genlik spektrumu Şekil 4a ve b'de gösterilmiştir.



Şekil 4. Maksimum genlik frekansı 30 Hz, örnekleme zamanı 0.25 ms, sönüm değeri 50 olan Berlage dalgacı (a) zaman fonksiyonu, (b) genlik spektrumu, (c) İki tabakalı bir yer modeli için doğrudan ve kritik kırılma ilk varış zamanlarını gösteren uzaklık-zaman (X-T) grafiği. ((a)The time function and (b) amplitude spectrum of the Berlage wavelet with maximum amplitude frequency 30 Hz, time sampling 0.25 ms, damping value 50, (c) the distance-time (X-T) graphic of the first arrivals for direct and head waves for a two-layered sub-surface model.)

Sentetik model için kullanılacak uzaklık ve zaman parametreleri; kaynak-ilk alıcı mesafesi (offset) 10 m, alıcı aralığı 5 m, alıcı sayısı 24, birinci ve ikinci tabaka hızları sırasıyla 500 m/s ve 1500 m/s, tabaka kalınlığı 20 m olarak kabul

edilmiştir. Yer tepkisi $R(f)$ 'nin elde edilmesi amacıyla ilk olarak, doğrudan ve kritik kırılarak gelen dalgalar için ilk varış zamanları Denklem (1) yardımıyla hesaplanmıştır (Şekil 4c). Daha sonra ilk varış zamanlarına karşılık gelen genlik ve kayıtcının tepki spektrum değerleri $A(f)$ ise 1.0 olarak kabul edilmiştir. Jeofon tepki spektrumu, $G(f)$, ise sırasıyla 4.5 Hz, 14 Hz ve 40 Hz merkez frekansları için Denklem (2) kullanılarak hesaplanmıştır. Her bir jeofonda sentetik olarak kayıt edilen sismik izler ise Denklem (3) ile hesaplanmıştır. Hesaplama gerçek dünyayı temsil etmek için maksimum sinyal genliğinin %0.5'i kadar arka plan gürültüsü eklenmiş, ayrıca uzaklıkla genlik azalımının karakterize edilmesi için tüm izler uzaklığın tersi, $g(x)=1/x$ fonksiyonu ile çarpılmıştır. Her bir jeofon için elde edilen sismik izler ve sentetik yeraltı modelinden hesaplanan ilk varış zamanları Şekil 4d-f'de gösterilmiştir. Tüm sentetik modellerde, her bir jeofon için hesaplanan ilk varış zamanları ile sismik izlerdeki ilk varışların üst üste geldiği açıkça görülmektedir. Bununla beraber, 40 Hz merkez frekanslı jeofon kaydında, ilk varış genliği öncesinde göreceli yüksek frekanslı ve düşük genlikli yan salınımlar göze çarpmaktadır.

3. Saha Testleri (Field Tests)

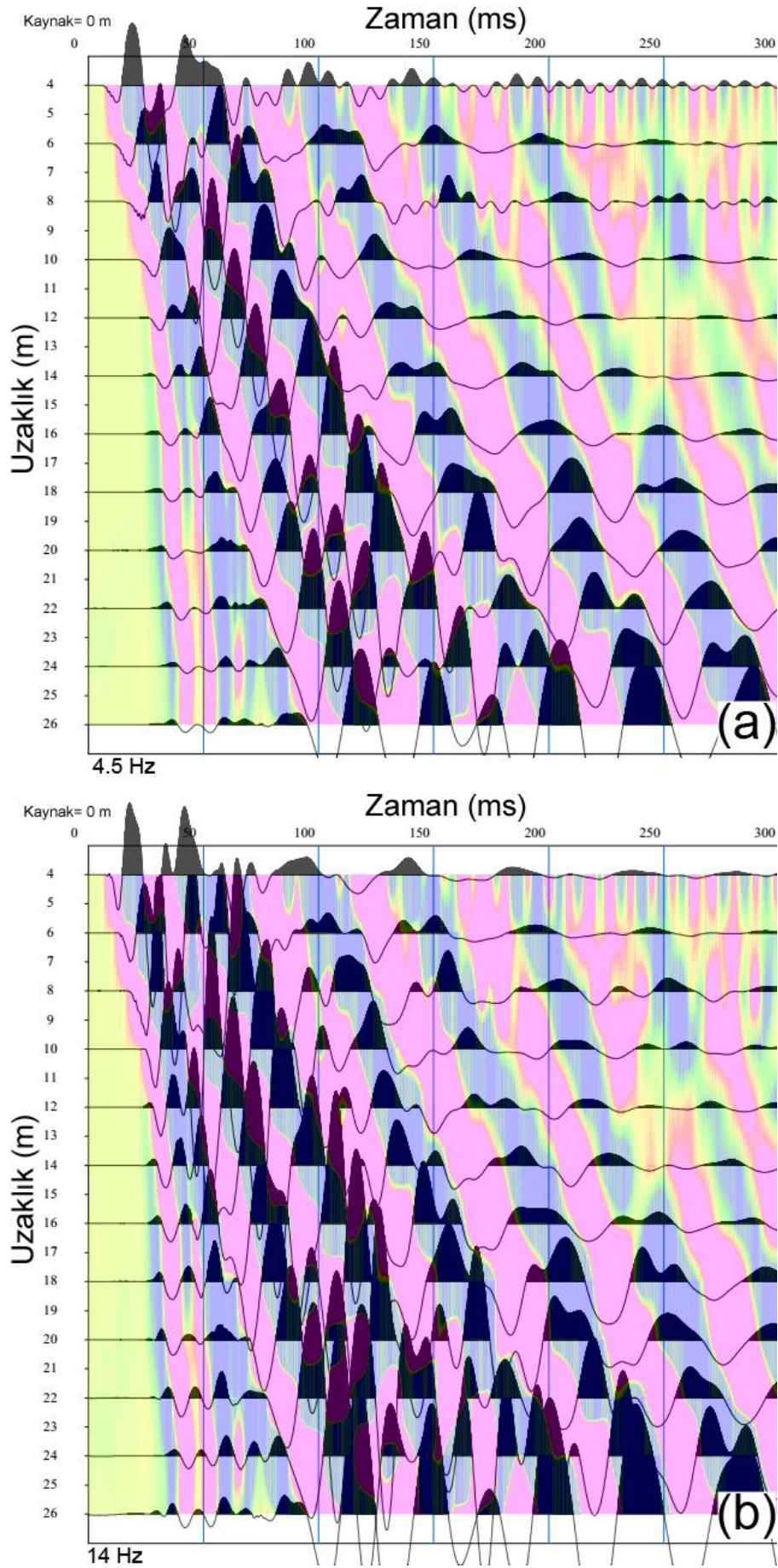
Saha testlerinde kullanılacak sismik kırılma verileri Trabzon ilinde iki farklı arazide, farklı üreticilere ait sismograf ve her arazide iki farklı merkez frekanslı düşey bileşenli jeofonlarla toplanmıştır. Toplanan veri setlerine ait tüm parametreler Tablo 1'de verilmiştir.

Trabzon ili Karadeniz Teknik Üniversitesi (KTÜ) Yerleşkesi (Saha 1) ve Yomra ilçesi Kaşüstü Mahallesi (Saha 2) için toplanan veri setleri sırasıyla Şekil 5 ve Şekil 6'da gösterilmiştir. Her iki sahada da veri kalitesi yüksek olup, ilk varışları net şekilde okunabilmektedir.

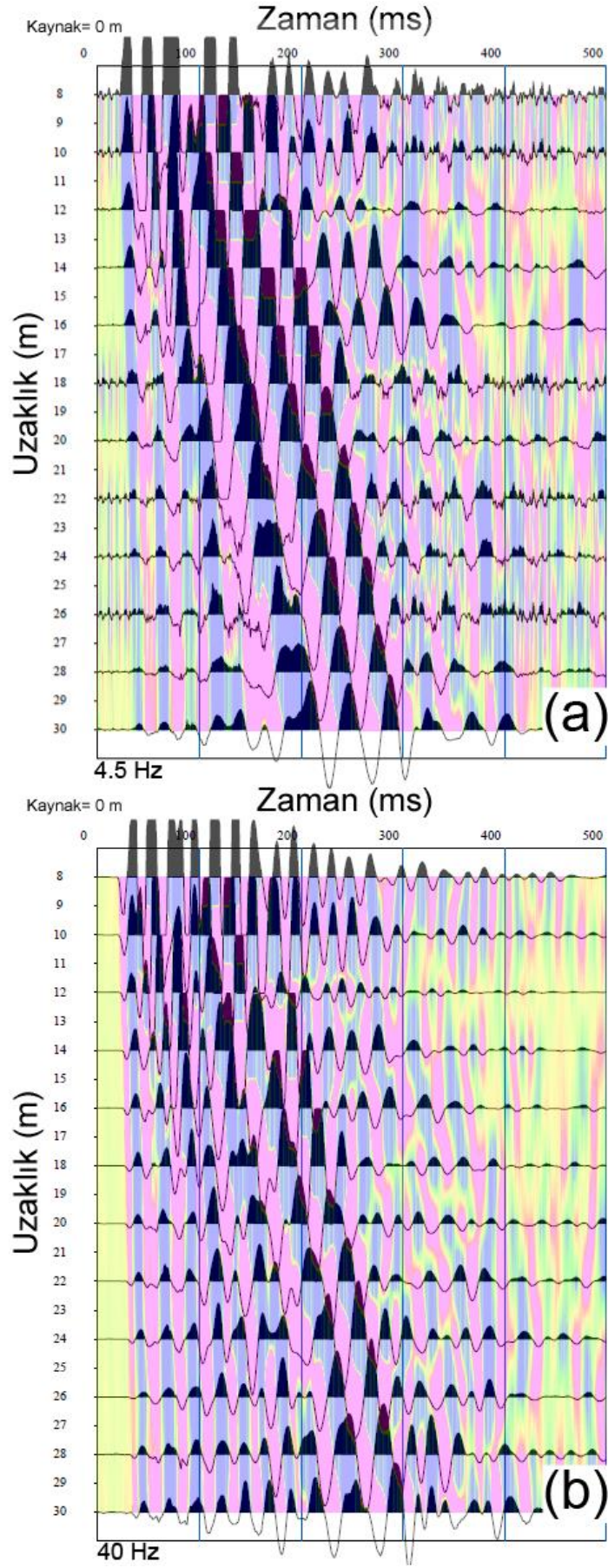
Tablo 1. Saha ve veri toplama parametreleri. (The parameters for field and data acquisition)

Saha no	1	2
Saha konumu	KTÜ Kampüs (Trabzon)	Kaşüstü (Trabzon)
Kayıtçı	Geometrics ES3000	PASI 16S24-U
Kullanılan kanal sayısı	12	12
Jeofonlar	4,5Hz PASI	4,5Hz PASI
	14Hz OYO	40Hz PASI
Jeofon bağlantı çeşidi	çift klips	tek klips
Alıcı aralık (m)	2	2
İlk ofset (m)	4	8
Zaman örnekleme (ms)	0,25	1
Kayıt süresi (ms)	500	1024
Balyoz (kg)*	10	10
Düşey yığma	3	3

* Tüm atışlar aynı kişi tarafından yapılmıştır



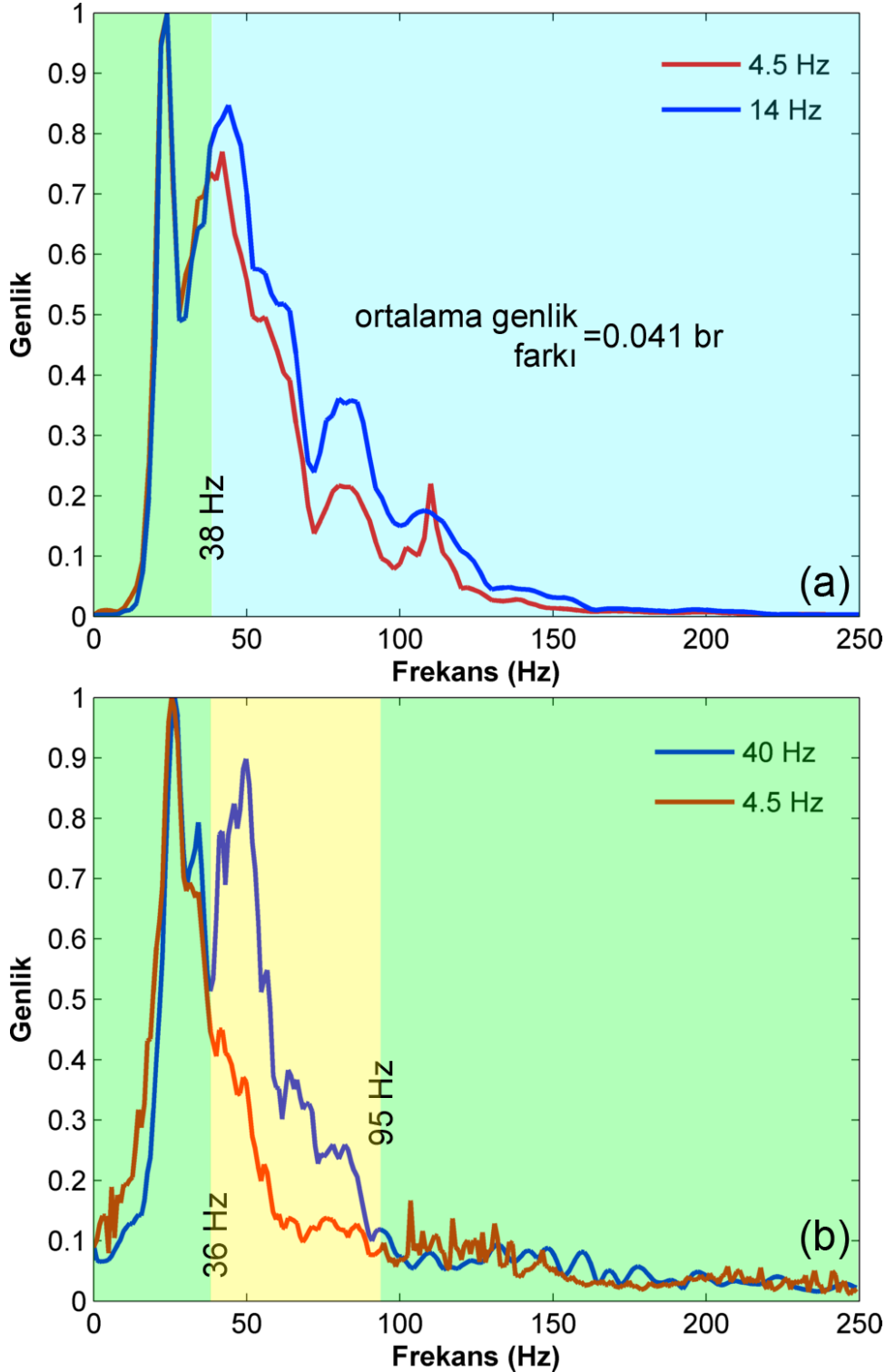
Şekil 5. Saha 1' de (a) 4.5Hz ve (b) 14Hz jeofonla toplanan sismik kırılma verilerinin wiggle ve renkli gösterimi (İlk varış ayrımlılığı adına zaman eksenini 300 ms' te sınırlandırılmıştır). (The seismic refraction data in a wiggle and colored scale obtained by (a) 4.5 Hz and (b) 14 Hz in Field 1 (the time axis limited by 300 ms for better first arrival resolution)).



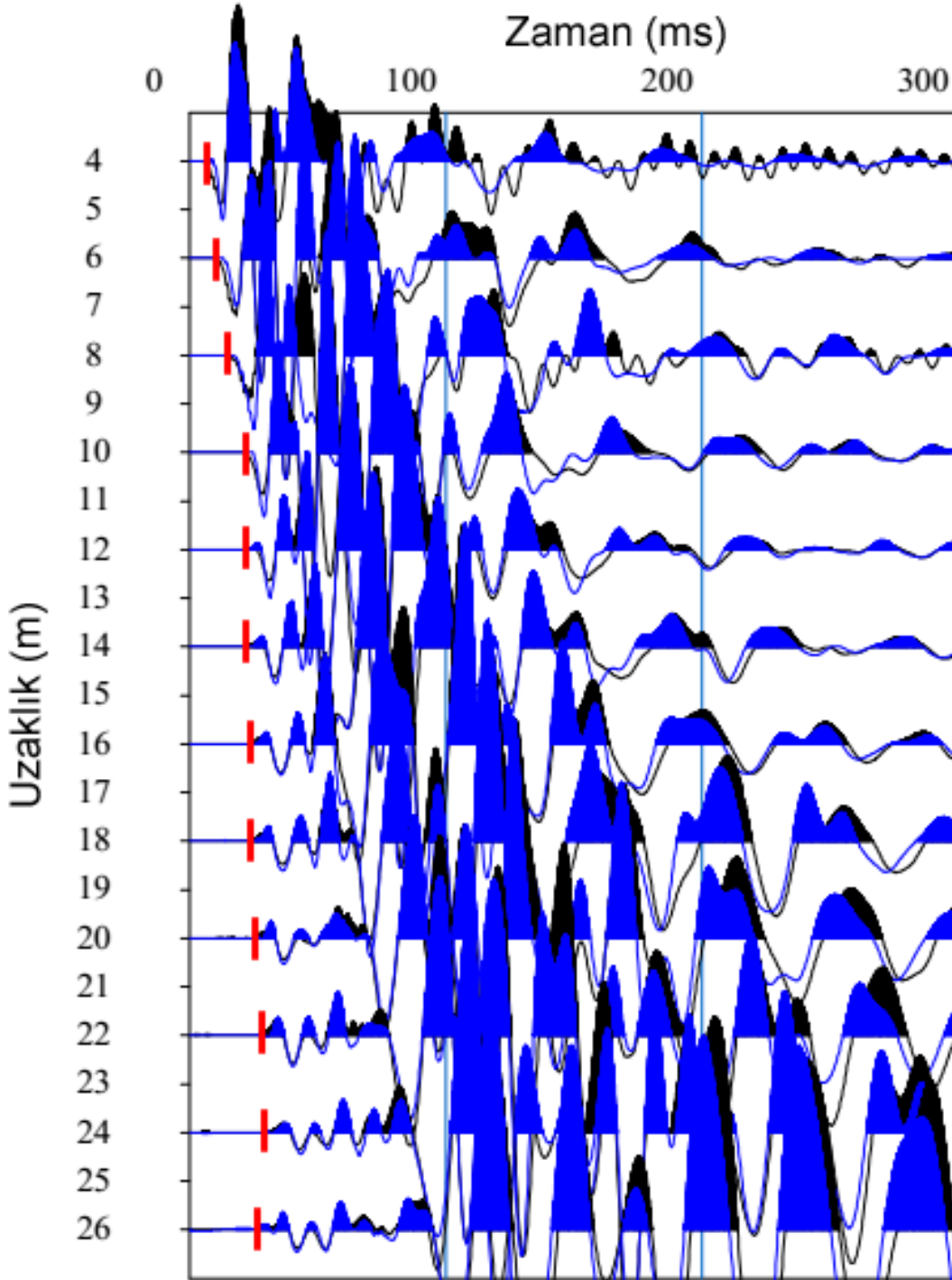
Şekil 6. Saha 2' de (a) 4.5Hz ve (b) 40Hz jeofonla toplanan sismik kırılma verilerinin wiggle ve renkli gösterimi (İlk varış ayrımlılığı adına zaman eksenini 500 ms' te sınırlandırılmıştır). (The seismic refraction data in a wiggle and colored scale obtained by (a) 4.5 Hz and (b) 40 Hz in Field 2 (the time axis limited by 500 ms for better first arrival resolution)).

Saha 1' de toplanan sismik kırılma verilerinin ortalama genlik spektrumuna bakıldığında (Şekil 7a), her iki verinin 0-38 Hz aralığında neredeyse aynı genlik değerlerine ulaştığını, 38 Hz sonrasında ise ortalama genlik farkının sadece 0.041 birim (br) olduğu görülmektedir. Dolayısıyla, 4.5 ve 14 Hz merkez frekanslı jeofonla toplanan iki veri setinin aynı karaktere sahip, benzer veriler olduğu söylenebilir.

Saha 2' de merkez frekansları 4.5 Hz ve 40 Hz olan düşey jeofonlarla veri toplanmıştır. Şekil 7b' de iki veri setinin 0-36 Hz ve 95-250 Hz aralıklarında aynı karakterde olduğu gözlenirken; 40 Hz verisi 36-95 Hz bandında, 4.5 Hz verisine göre daha yüksek genlikler kayıt etmiştir. Bunun nedeni, 40Hz jeofonların göreceli olarak yüksek frekanslara 4.5 Hz'li jeofonlardan daha duyarlı olmasıdır. Dolayısıyla Saha 2 veri setleri arasındaki karakter farkı göreceli olarak daha fazladır.



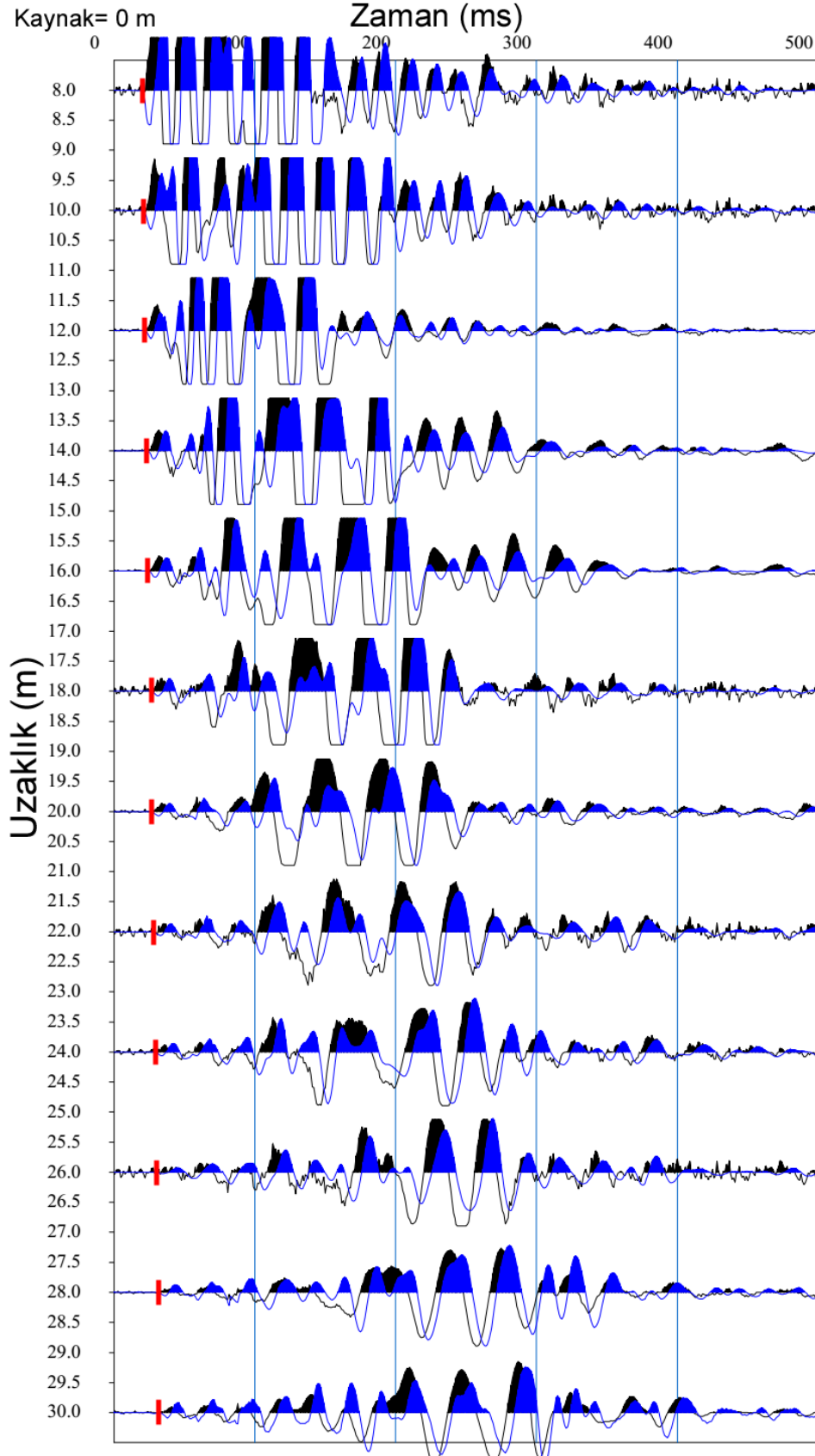
Şekil 7. (a) Saha 1 ve (b) Saha 2' de toplanan sismik verilerin genlik spektrumları ve karşılaştırmaları. (The amplitude spectrums and comparisons of seismic refraction data obtained in (a) Field 1 and (b) Field 2).



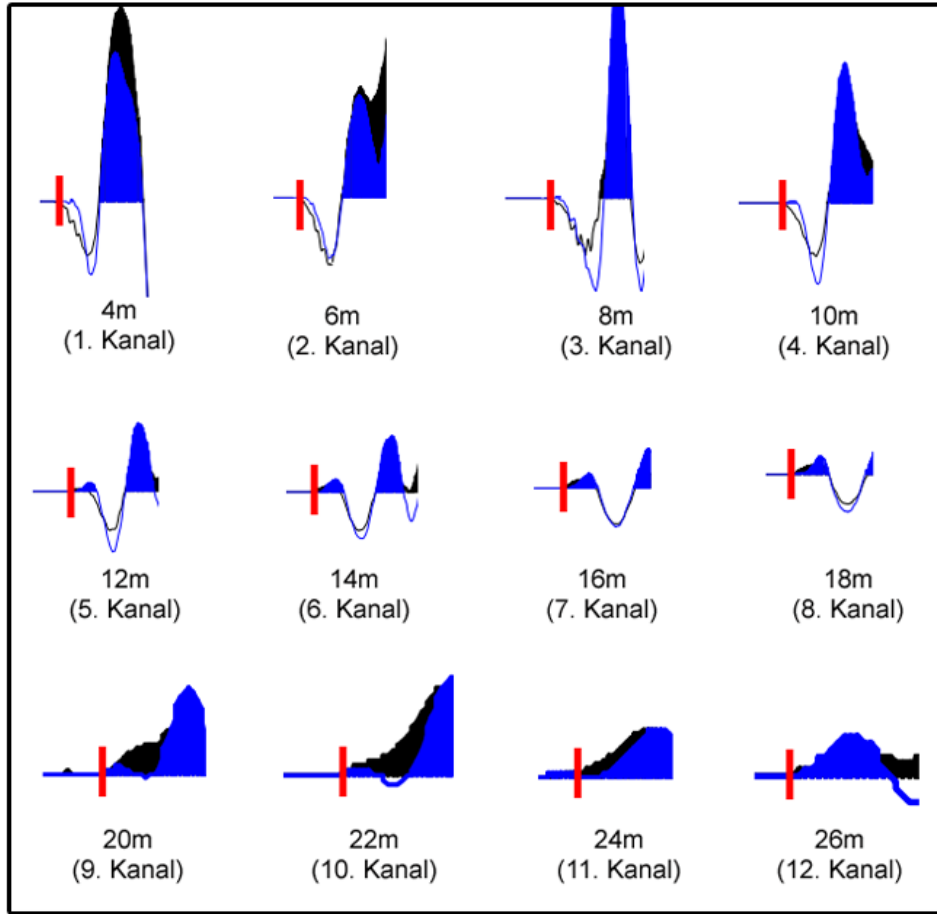
Şekil 8. Saha 1 için toplanan 4.5 Hz (siyah wiggle) ve 14 Hz (mavi wiggle) verilerinin her bir kanalda üst üste çizdirilmesi ve işaretlenen ilk varışlar (İlk varış ayrımlılığı adına zaman eksenini 300 ms' te sınırlandırılmıştır). (The overlapped demonstration of seismic refraction data obtained by 4.5 Hz (black wiggle) and 14 Hz (blue wiggle) in Field 1, and the first arrivals (the time axis limited by 300 ms for better first arrival resolution)).

Her iki sahada veri setlerindeki ilk varış zamanı değişimlerin izlenmesi için, her bir sahada toplanan veri çifti üst üste çizdirilmiş ve ilk varış zamanları işaretlenmiştir. Saha 1 için Şekil 8' de, Saha 2 için Şekil 9' da gözlenen ilk varışlar açıkça göstermektedir ki, her iki sahada da ilk varışlar zamanları tüm kanallarda üst üste gelmekte ve işaretlenen ilk varışlar her farklı merkez frekanslı iki veriyi de temsil etmektedir. Bu örtüşme, geometrik faktör nedeniyle genliklerin zayıfladığı ve rastgele gürültülerin gözlemediği uzak alıcılarda dahi tutarlılığını kaybetmemektedir. Herhangi bir kuşkuya izin vermemek adına için, Saha 1 ve Saha 2' deki her bir jeofonda gözlenen ilk varış dalga paketi ve işaretlenen ilk varışların yakınlştırılmış görüntüleri Şekil 10' de sunulmuştur. Yakınlştırılmış görüntülerde, ilk varış dalgacıklarının dalga formlarında (örneğin Şekil10a' da ilk beş kanal) ya da ilk varışların polaritesinde (örneğin Şekil10b' de ilk dört kanal) farklılıklar görünse de, karşılaştırılan her bir alıcı çifti için ilk varış zamanları açık şekilde aynıdır. Bu tip genlik ve polarite farklılıkları kaynak yakın alan etkisi, kontrolsüz kaynak kullanımına bağlı kaynak dalgacığındaki rastgelelikler, üreticinin kullandığı bobin, bobin tel

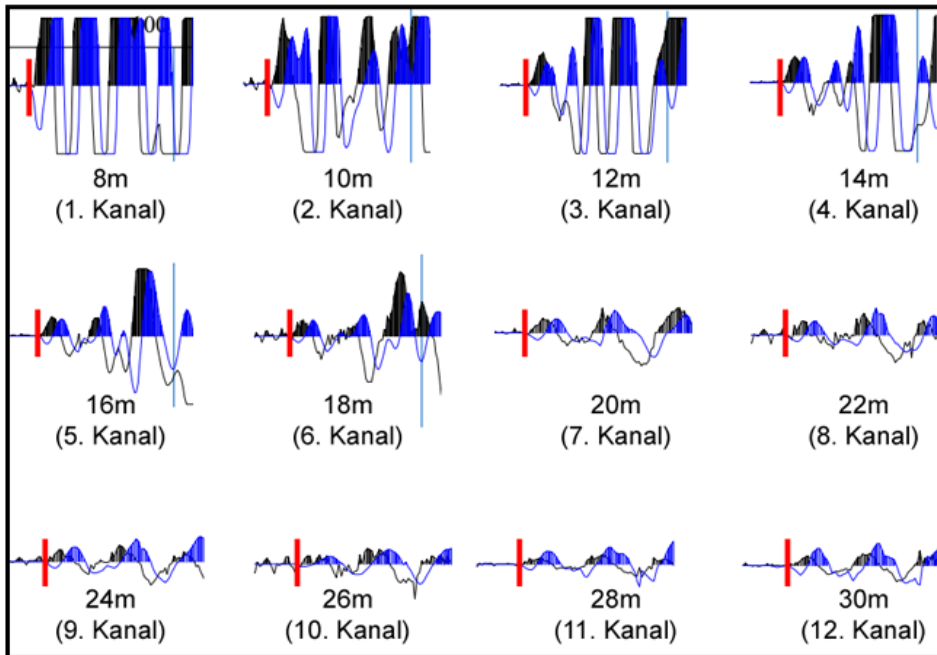
sarım yönü vb. nedenlerle oluşabilmektedir. Ancak, bu farklılıklar görsel ya da formsal farklılıklar yaratmanın ötesine geçmemektedir.



Şekil 9. Saha 2 için toplanan 4.5 Hz (siyah wiggle) ve 40 Hz (mavi wiggle) verilerinin her bir kanalda üst üste çizdirilmesi ve işaretlenen ilk varışlar (ilk varış ayrımlılığı adına zaman eksenini 500 ms' te sınırlandırılmıştır). (The overlapped demonstration of seismic refraction data obtained by 4.5 Hz (black wiggle) and 40 Hz (blue wiggle) in Field 2, and the first arrivals (the time axis limited by 500 ms for better first arrival resolution)).



(a)



(b)

Şekil 10. (a) Saha 1, (b) Saha 2' de tüm kanallardaki ilk varış paketleri ve işaretlenen ilk varışların yakınlaştırılmış görüntüsü.
(The focus visions on the first arrival regions and the picked first arrivals for (a) Field 1 and (b) Field 2).

4. Sonuçlar (Conclusions)

Bu çalışma, ülkemizde mühendislik ve çevre problemlerinin çözümünde sıklıkla kullanılan Jeofizik yöntemlerden olan sismik kırılma yönteminin, saha uygulanmasında önemli bir sorun olan ancak şimdiye kadar cevaplanmamış “farklı merkez frekanslı jeofonlarla kayıt edilen sismik kırılma verilerinde ilk varış zamanları değişir mi” sorusuna sentetik ve saha verileri analizleri ile yanıt aramıştır. Sentetik testlerde, 4.5, 14 ve 40 Hz alıcılar için hesaplanan sentetik izler ile teorik olarak hesaplanan ilk varış zamanlarının tüm jeofonlarda eşleştiği, bununla beraber yüksek merkez frekanslı jeofonlarda artan yanılmalara, özellikle rasgele gürültülü ortamlarda, dikkat edilmesi gerektiği görülmektedir. İki farklı sahada (Saha 1 ve Saha 2), farklı merkez frekansa sahip jeofon setleriyle (4.5-14 Hz ve 4.5 -40 Hz), her bir sahada tek bir serim üzerinde, aynı ekipman, kaynak-alıcı dizilimi ve zaman parametreleri ile toplanan sismik kırılma verileri göstermiştir ki; jeofonların merkez frekansları ilk varış zamanlarını etkilememekte ve farklı jeofonlarla toplanan sismik kırılma verilerinde aynı ilk varışlar işaretlenebilmektedir. Dolayısıyla, sismik kırılma arazi çalışmalarında farklı sismik uygulamalar için, örneğin çok kanallı yüzey dalgası ve geleneksel sismik kırılma, farklı jeofon setlerinin lojistiğine ihtiyaç olmayıp, tek bir jeofon setinin yeterli olacağı anlaşılmaktadır. Böylece, bu çalışmanın yanlış bir anlayışı gidererek, özellikle 4.5 Hz'li jeofonlar kullanarak, aynı profil üzerinde hem sismik kırılma hem de yüzey dalgası verisi toplayacak uygulamalara önemli katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar (References)

- Aldridge, D.F., 1990. The Berlage wavelet. *GEOPHYSICS* 55, 1508–1511. <https://doi.org/10.1190/1.1442799>
- Andrus, R.D., Stokoe, K.H., Hsein Juang, C., 2004. Guide for Shear-Wave-Based Liquefaction Potential Evaluation. *Earthquake Spectra* 20, 285–308. <https://doi.org/10.1193/1.1715106>
- Ateş, A., 2017. Gölyaka (Düzce) İmara Esas Yerleşim Alanındaki Zeminlerin SPT ve Sismik Hız Verileriyle Sivilaşma Riskinin Araştırılması. *Politeknik Dergisi* 20, 753–763. <https://doi.org/10.2339/politeknik.368977>
- Babacan, A.E., Ceylan, S., 2021. Evaluation of soil liquefaction potential with a holistic approach: a case study from Araklı (Trabzon, Turkey). *Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata* 62.
- Babacan, A.E., Gelisli, K., Ersoy, H., 2014. Seismic tomography and surface wave analysis based methodologies on evaluation of geotechnical properties of volcanic rocks: A case study. *J. Earth Sci.* 25, 348–356. <https://doi.org/10.1007/s12583-014-0417-7>
- Bayram, M., Alpaslan, N., 2021. JEOFİZİK VE JEOTEKNİK YAKLAŞIMLAR ile YAMAÇ DURAYSIZLIĞI ETKİLERİNİN İNCELENMESİ-TÜRKİYEDEN BİR ÖRNEK. *İstanbul Yerbilimleri Dergisi* 2021, 21–41.
- Çimen, Ö., Uyanık, O., Elmasdere, E., Korkmaz, K., Keskin, S., 2014. Mavikent-Isparta Örneğinde Sismik Mikrobölgeleme Çalışmaları için Yerel Zemin Koşullarının Belirlenmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 14, 46–54. <https://doi.org/10.19113/sdufbed.50974>
- Douglas, A., Bowers, D., Young, J.B., 1997. On the onset of P seismograms. *Geophysical Journal International* 129, 681–690. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.1997.tb04503.x>
- Ernest, M.H., 1979. Geophone with damping coil. US4159464A.
- Gaytan, A.R., Estrella, H.F., Preciado, A., Bandy, W.L., Lazcano, S., Nolasco, L.A., González, J.A., Korn, M., 2020. Subsoil classification and geotechnical zonation for Guadalajara City, México: Vs30, soil fundamental periods, 3D structure and profiles. *Near Surface Geophysics* 18, 175–188. <https://doi.org/10.1002/nsg.12085>
- Grit, M., Kanlı, A.I., 2016. Integrated Seismic Survey for Detecting Landslide Effects on High Speed Rail Line at Istanbul–Turkey. *Open Geosciences* 8, 161–173. <https://doi.org/10.1515/geo-2016-0017>
- Hall, J.E.M., 1975. Geophone casings. US3930218A.
- Harmoko, U., Yulianto, G., Indriana, R.D., 2019. The possibility of geothermal permeability detection by using seismic refraction method. *J. Phys.: Conf. Ser.* 1217, 012041. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1217/1/012041>
- Hons, M.S., 2008. Seismic sensing: comparison of geophones and accelerometers using laboratory and field data. *Library and Archives Canada = Bibliothèque et Archives Canada, Ottawa.*
- Işık, A., Ünsal, N., Gürbüz, A., Şişman, E., 2016. FETHİYE YERLEŞİM ALANINDAKİ ZEMİNLERİN SPT VE KAYMA DALGA HIZI VERİLERİYLE SIVILAŞMA POTANSİYELİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi* 31, 0–0. <https://doi.org/10.17341/gazimmfd.278458>
- Jeffreys, H., 1932. *Handbuch der Geophysik.* *Nature* 129, 487–488. <https://doi.org/10.1038/129487a0>
- Keçeli, A., 2016. Sismik Yöntem İle Zemin Taşıma Kapasitesi ve Oturmasının Saptanması. *Uygulamalı Yerbilimleri Dergisi* 9, 23–41.
- Keçeli, A., 2012. Sismik Hızlar İle Saptanabilen Zemin Parametreleri. *Jeofizik Dergisi* 26, 17–29.
- Kramer, S.L., 1996. *Geotechnical Earthquake Engineering*, 1st edition. ed. Pearson, Upper Saddle River, N.J.
- Kurtuluş, C., Bozkurt, A., 2016. Çayırhan İlçesi'nin, Ankara, Zemin Özelliklerinin Jeofizik ve Geoteknik Yöntemlerle Araştırılması. *Uygulamalı Yerbilimleri Dergisi* 8, 15–27.
- Miller, R.D., Pullan, S.E., Steeples, D.W., Hunter, J.A., 1992. Field comparison of shallow seismic sources near Chino, California. *GEOPHYSICS* 57, 693–709. <https://doi.org/10.1190/1.1443283>

- Osazuwa, I.B., Chinedu, A.D., 2008. Seismic refraction tomography imaging of high-permeability zones beneath an earthen dam, in Zaria area, Nigeria. *Journal of Applied Geophysics* 66, 44–58. <https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2008.08.006>
- Pugin, A.J.M., Larson, T.H., Sargent, S.L., McBride, J.H., Bexfield, C.E., 2004. Near-surface mapping using SH-wave and P-wave seismic land-streamer data acquisition in Illinois, U.S. *The Leading Edge* 23, 677–682. <https://doi.org/10.1190/1.1776740>
- Senkaya, M., Karsli, H., 2014. A semi-automatic approach to identify first arrival time: the Cross-Correlation Technique. *Earth Sciences Research Journal* 18.
- Smith, D., Evancich, N., McLoughlin, M., Wenstrand, D., 2004. Digital geophone system. US20040252585A1.
- Sudarshan, S.K.V., Huang, L., Li, C., Stewart, R.R., Becker, A., 2016. Seismic surveying with drone-mounted geophones. 2016 IEEE International Conference on Automation Science and Engineering (CASE) 1354–1359. <https://doi.org/10.1109/COASE.2016.7743566>
- Tsoflias, G.P., Steeples, D.W., Czarnecki, G.P., Sloan, S.D., Eslick, R.C., 2006. Automatic deployment of a 2-D geophone array for efficient ultra-shallow seismic imaging. *Geophysical Research Letters* 33. <https://doi.org/10.1029/2006GL025902>
- URL-1, H., n.d. English: Geophone by SERCEL [WWW Document]. URL https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Geophone_hg.jpg (accessed 9.28.20).
- URL-2, n.d. Geophones [WWW Document]. URL <https://vibration.desy.de/equipment/geophones/> (accessed 2.17.21).
- URL-3, n.d. URL https://www.crewes.org/ResearchLinks/Converted_Waves/Page2.php (accessed 2.17.21).
- Uyanik, O., Çatlıoğlu, B., 2015. SİSMİK HIZLARDAN YOĞUNLUĞUN BELİRLENMESİ. *Jeofizik* 3–15.
- Uyanik, O., 2020. Soil liquefaction analysis based on soil and earthquake parameters. *Journal of Applied Geophysics* 176, 104004. <https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2020.104004>
- Uyanik, O., 2019. Estimation of the porosity of clay soils using seismic P- and S-wave velocities. *Journal of Applied Geophysics* 170, 103832. <https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2019.103832>
- Uyanik, O., 2011. The porosity of saturated shallow sediments from seismic compressional and shear wave velocities. *Journal of Applied Geophysics* 73, 16–24. <https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2010.11.001>
- Uyanik, O., Ekinci, B., Uyanik, N.A., 2013. Liquefaction analysis from seismic velocities and determination of lagoon limits Kumluca/Antalya example. *Journal of Applied Geophysics* 95, 90–103. <https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2013.05.008>
- Vanli Senkaya, G., Karsli, H., Senkaya, M., 2016. Comparison of soil amplification calculations using Vs30 and impedance ratio, in: SEG Technical Program Expanded Abstracts 2016, SEG Technical Program Expanded Abstracts. Society of Exploration Geophysicists, pp. 5001–5005.
- Vanli Senkaya, G., Karsli, H., Senkaya, M., Güney, R., 2015. Imaging of Landslide Deposits around Uzungöl Lake (Trabzon-Turkey) by Refraction Tomography and MASW, in: International Conference on Engineering Geophysics, Al Ain, United Arab Emirates, 15-18 November 2015, SEG Global Meeting Abstracts. Society of Exploration Geophysicists, pp. 27–30.
- Vanlı Senkaya, G., Senkaya, M., Karsli, H., Güney, R., 2020. Integrated shallow seismic imaging of a settlement located in a historical landslide area. *Bull Eng Geol Environ* 79, 1781–1796. <https://doi.org/10.1007/s10064-019-01612-0>
- Veen, M. van der, Green, A.G., 1998. Land streamer for shallow seismic data acquisition; evaluation of gimbal-mounted geophones. *Geophysics* 63, 1408–1413. <https://doi.org/10.1190/1.1444442>
- Woo, D.M., Woodall, J.C., 1992. Geophone. US5119345A.
- Yalcinkaya, E., Alp, H., Ozel, O., Gorgun, E., Martino, S., Lenti, L., Bourdeau, C., Bigarre, P., Coccia, S., 2016. Near-surface geophysical methods for investigating the Buyukcekmece landslide in Istanbul, Turkey. *Journal of Applied Geophysics* 134, 23–35. <https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2016.08.012>
- Yalcinkaya, E., Tekebaş, S., Arslan, M.S., 2018. Spac Analizlerinde Kırılma Jeofonlarının Kullanımı. Presented at the Türkiye Ulusal Jeodezi ve Jeofizik Birliği Bilimsel Kongresi, İzmir.
- Zorluer, İ., Gücek, S., 2019. Afyonkarahisar Uydükent Bölgesinin Sismik Kırılma Yöntemi Sonuçlarının Mikrobölgeleme Esasına Göre Değerlendirilmesi. Presented at the International Symposium on Innovations in Civil Engineering and Technology, Afyonkarahisar, p. 311.