

**İSTANBUL, AVCILAR BÖLGESİNDE DERİN S-DALGASI HIZ YAPISININ  
ARAŞTIRILARAK DEPREM YER TEPKİSİNİN BELİRLENMESİ**

**PROJE NO: TUJJB-UDP04-03**

**PROJE FİNAL RAPORU**

**Mayıs 2008**

Proje Yürütücüsü: Doç. Dr. Argun Kocaoğlu

Araştırmacılar: Ar. Gör. Karolin Fırtına

Prof. Dr. Haluk Eyidoğan

Doç. Dr. Serdar Özalaybey

TUJJB

ARAŞTIRMA PROJESİ FİNAL RAPORU

# 1 Giriş

Avcılar ilçesi 1999 Kocaeli Depremi sırasında 120 km lik uzaklığa karşın oldukça fazla hasar almıştır. Gözlemlenen sismik büyütme bu uzaklıkta SmS fazında oluşması beklenen genlik artışı ile açıklanmıştır (Boztepe-Güney ve Horasan, 2002). Ancak, Avcılar ve civarında zemin etkisi ile oluşan bir büyütmenin var olduğu daha farklı uzaklıklardaki depremlerin zayıf yer hareketi kayıtlarının referans istasyonu yöntemi ile analiz edilmesi ile saptanmıştır (Ergin ve diğ., 2004). Daha önce benzeri sonuçlar Özel ve diğ. (2002) tarafından da bulunmuştur. Ayrıca, Belirti Mühendislik (2001) tarafından Avcılar genelinde 25 noktada yapılan mikrotremor ölçümleri ile Nakamura yöntemi (Nakamura, 1989) kullanılarak zemin büyütmeleri elde edilmiştir. Ancak, Nakamura yöntemi ile zemine ait baskın frekans belirlenebilirken, büyütmenin genliği ile tartışmalı sonuçlar elde edilmektedir (Malagnini ve diğ., 1996, Seekins ve diğ., 1996, Bonilla ve diğ., 1997).

Bu çalışmanın amacı, gözlemsel olarak saptanan sismik büyütmeye neden olduğu düşünülen derin S-dalgası hız yapısını ortaya çıkarmak ve sismik büyütme etkisini dalga yayılımını modellemesi yoluyla incelemek olmuştur. Genel olarak temel kaya üzerinde bulunan sediman katmanların kalınlıklarındaki yanal değişimler, sismik yer tepkisinde yüksek büyütmelere, uzun periyotlarda sarsıntının daha uzun gerçekleşmesine neden olurlar (Hartzell ve diğ., 2003). Ayrıca, topoğrafyanın da sismik büyütmeyle etkilediği bilinmektedir.

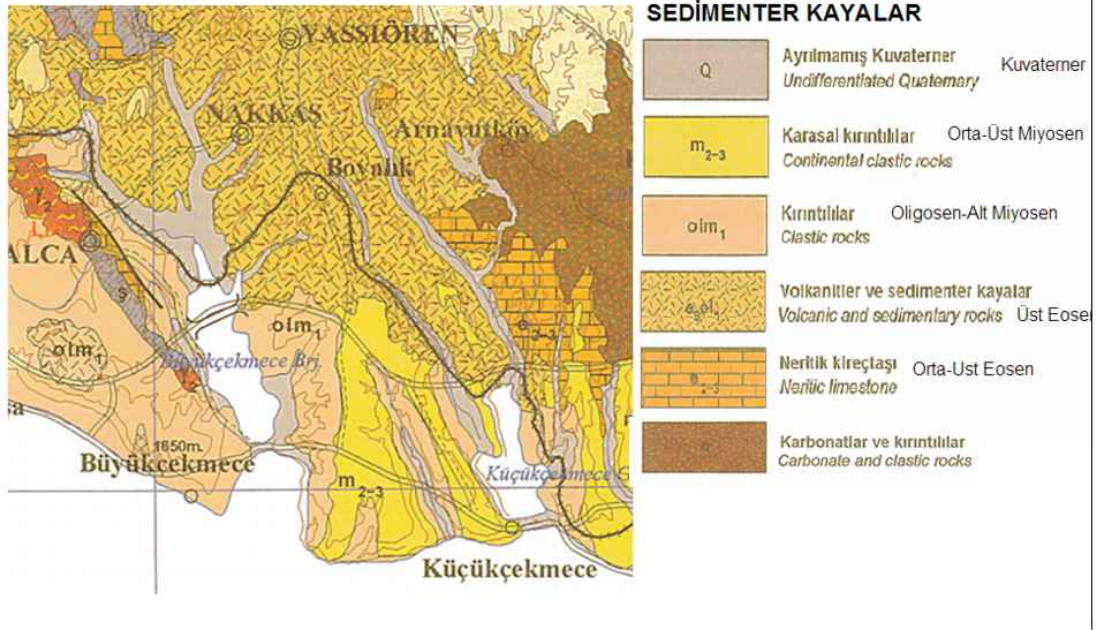
Çalışmada S-dalgası hız profillerini belirlemek amacıyla, genellikle 0.5-10 Hz frekans bandında enerji taşıyan mikrotremorların ölçümüne dayanan ve pasif yüzey dalgası analizi yöntemlerinden biri olarak bilinen uzamsal özilişki yöntemi (spatial auto-correlation coefficient method - SPAC) (Aki, 1957, Ferrazzini ve Aki (1991), Malagnini ve diğ. (1993), Chouet ve diğ. (1998), Kudo ve diğ., 2002) kullanılmıştır. SPAC yöntemi daha önce Kudo ve diğ. (2002) tarafından Avcılar'da (İÜ Kampüsü) uygulanmış ve bir S-dalgası hız yapısı elde edilmiştir. Yine aynı noktada Bozdağ ve Kocaoğlu (2002) tarafından frekans-dalgasayısı analizi ile benzeri bir hız yapısı belirlenmiştir. Bu yöntemin frekans- dal-

gasayısı (f-k) (Capon, 1969, Goldstein ve Archuleta, 1991, Milana ve diğ., 1996, Zywicki ve Rix, 1999, Liu ve diğ., 2000), kesme zamanı-ışın parametresi dönüşümü (slantstacking) (McMechan ve Yedlin, 1981, Louie, 2001) yöntemlerine göre avantajı ölçümlerin en az sayıda (4) istasyonla yapılabilmesidir.

Projenin ilk aşamasında Avcılar ilçe merkezinde belirlenen 9 noktada ölçümler yapılmış ve elde edilen gözlemsel dispersiyon eğrilerindeki değişimlerin derin yapıdan çok 30-50 m arasındaki sığı yapıdan kaynaklandığı sonucuna varılmıştır. Bu nedenle ikinci aşama ölçümler çalışma alanı genişletilerek yapılmıştır. Bu kapsamda ikisi KG ve diğeri DB doğrultulu olmak üzere toplam üç profil boyunca 2-Boyutlu (2B) S-dalgası kesitleri elde edilmiştir. KG doğrultulu profillerden biri (P2) Küçük Çekmece ile Batı Profili, kuzeyde Hadımköy'den güneyde Avcılar'ın doğusuna (Eston) uzanmaktadır. K-G doğrultulu ikinci profil (Doğu Profili) ise kuzeyde Başakşehir'den (P3-1) güneyde Florya'ya (P3-7) uzanmaktadır.

## 2 Jeoloji

Şekil 1 de verilen çalışma bölgesine ait jeolojik harita MTA'nın 1/500000 ölçekli haritasından alınmıştır. Bölgede grovak olarak da bilinen kumtaşı, kiltası ve siltaşlarından oluşan karbonifer yaşlı Trakya formasyonunun üzerinde Kireçtaşı killi kireçtaşı marl ve siltaşlarından oluşan Eosen yaşlı Kırklareli ve Sazlıdere formasyonları yer almaktadır. Oligosen yaşlı Gürpınar formasyonunun üzerinde ise sırasıyla Çukurçeşme Güngören ve Bakırköy formasyonları olarak adlandırılan Miyosen yaşlı birimler yer almaktadır. Çalışma alanlarına ait jeolojik istifte (Şekil 2) Eosen birimlerin üstünde yer alan Gürpınar formasyonu Küçükçekmece Gölü' ne yakın yerlerde ve Kodova Deresi' nin göle yakın kesimlerinde yüzeylenir. Gürpınar formasyonunun en altında çakıllı seviyeler, çakıllı seviyelerin üzerinde de marn, kil ve şeylli geçişler gözlenir. En üst seviyede ise kil tabakası bulunan Gürpınar formasyonunun kalınlığı yaklaşık 200 m' dir. Gürpınar



Şekil 1: Çalışma alanının jeolojik haritası (MTA'nın 1/500000 ölçekli haritasından alınmıştır).

formasyonunun üzerinde yer alan. Çukurçeşme formasyonu, siltli ince kum ve çakılardan oluşur. İnceleme alanındaki yaklaşık kalınlığı, 15-40 m arasında değişmektedir. Çukurçeşme formasyonunun üzerinde, yer yer orta-sert, dayanımlı marn mercikleri olan, yeşilimsi mavi killerden oluşan Güngören formasyonu yer alır (Zarif ve diğ., 1998). Yaklaşık 1-5 m kalınlığındadır. Güngören formasyonunun üzerinde yer alan Bakırköy formasyonu genel olarak, ince-kalın katmanlı, açık renkli kireçtaşlarından oluşur ve yaklaşık kalınlığı 5-10 m' dir. Stratigrafik istifin en üzerinde ise birimleri uyumsuz olarak örten alüvyon bir katman yer alır.

Gürpınar formasyonu, Büyükçekmece Gölü' nün doğusu, güneydoğusu, Gürpınar ve çevresinde yaygın biçimde yüzeylenmiştir. Birim, ince kum ve silt araseviyeli, yer yer kayma yüzeyli, aşırı konsolide olmuş, çok katı-sert killerden oluşmaktadır (Yüzer ve Eyüboğlu, 1998). Gürpınar formasyonunu oluşturan ana birimler, kilitaşları ve kumtaşlarıdır. Kilitaşları ince-orta, kumtaşları ise orta-kalın katmanlıdır. Kilitaşları, genellikle dayanımsız birimlerdir ve içerdikleri su oranının artmasıyla heyelan riski taşımaktadırlar. Birimin kuzeyden güneye Marmara Denizi boyunca kalınlığı artmaktadır. Formasyonun yaşı, Oligosen olmakla birlikte bölgedeki en yaşlı stratigrafik birimdir (Herece ve Şentürk, 2000).

Çukurçeşme formasyonu, Avcılar-Esenyurt arasında, Haramidere ile Ambarlı' da dere yamaçlarında, Rami' nin kuzeyi ve Çukurçeşme' de yaygın olarak gözlenmektedir. Akarsu çökellerinden oluşan formasyon, sarımsı-kahve renkli kum ve silt aratabakaları içerir. Birimin alt bölümünü, yaygın olarak çakıllar oluşturur. Çakıllar 1-10 cm çapında, seyrek olarak çok iri çakıl boyutundadırlar. Formasyon aynı zamanda, istifte altında yer alan Gürpınar formasyonuna ait, silisleşmiş iri ağaç gövdeleri ve tuf blokları da içermektedir (Herece ve Şentürk, 2000). Çukurçeşme formasyonu, Kavaklı' nın batısında, istifte altında bulunan Gürpınar formasyonu üzerine uyumsuz olarak gelirken, üst dokanağında Bakırköy formasyonu tarafından uyumsuzlukla örtülmektedir. Formasyonun yaşı, Üst Miyosen olarak saptanmıştır.

Güngören formasyonu, Büyükçekmece ile Haliç arasındaki bölümde gözlenir. İstif, en altta plaj kumu ile başlayıp, yeşil kil, beyaz marn ve killi kum ardalanmaları ile devam eder (Herece ve Şentürk, 2000). Yer yer karbonatlı kireçtaşları, marn ve kireçtaşı araseviyeleri vardır. Çukurçeşme formasyonu, üzerinde uyumsuz olarak yer alan Güngören formasyonu, üst seviyelerinde de Bakırköy formasyonu ile geçiş göstermektedir. Güngören formasyonunun yaşı, Üst Miyosen olarak belirlenmiştir (Yüzer ve Eyüboğlu, 1998).

Bakırköy formasyonu, Büyükçekmece ile Küçükçekmece arasındaki sırtlarda, Beylikdüzü, Avcılar, Gürpınar, Atatürk Hava Limanı, Yeşilyurt, Bakırköy ve Zeytinburnu'nda yaygın olarak gözlenmektedir. İnceleme alanlarında, sırt ve tepeleri oluşturmaktadır. Genel olarak kirli beyaz kireçtaşı, killi kireçtaşı, yeşilmisi kilitaşı ve seyrek kumtaşı ile siltaşı ardalanmalarından oluşur. Aynı zamanda silt boyutunda açık yeşilimsi, kahve renkli gevşek kumtaşı merceklerini de kapsayan birimin en belirgin özelliği, kalın ve bol erime boşluklu, Mactra fosilli kireçtaşı düzeyleridir (Herece ve Şentürk, 2000).

Çalışma alanında jeolojik istifin en üst bölümünü, Kuvaterner yaşlı alüvyal birimler oluşturur. Birim, çakıl, kum, silt ve kil gibi ayrık malzemelerden meydana gelmiştir (Yüzer ve Eyüboğlu, 1998).

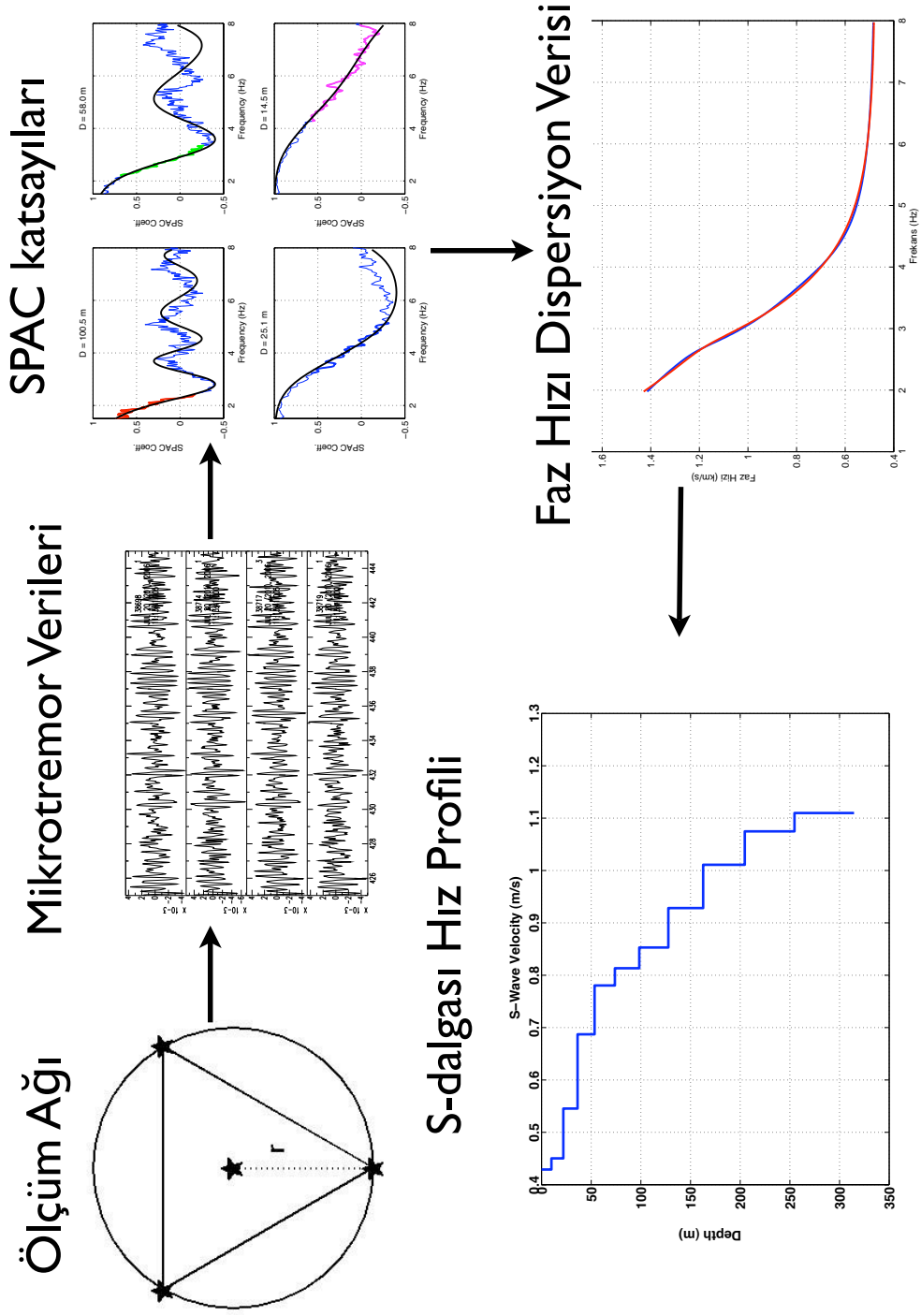
### **3 Yöntem: S-dalgası Hız Profillerinin Elde Edilmesi**

S-dalgası hız profilleri dizilim-mikrotremor (array-microtremor) ölçümlerinin SPAC yöntemi ile analizinden elde edilmiştir. Yöntemin uygulanmasındaki adımlar sırasıyla: 1) Dizilim mikrotremor verilerinin toplanması, 2) SPAC yöntemi ile faz hızı dispersion eğrilerinin elde edilmesi ve 3) Dispersiyon eğrilerinden Ters çözümle S-dalgası hız profillerinin bulunması olarak özetlenebilir (Şekil 3). Bir dizilim-işleme (array-processing) yöntemi olan ve kuramsal esasları Aki (1957) tarafından verilen SPAC yönteminde, veriler genellikle dairesel veya yarı-dairesel bir sismometre dizilimi ile kaydedilmektedir. Bir

Formasyon	Yaş	Kalınlık (m)	Litoloji	Açıklama
	Kuvaterner	0-20		Güncel dolgu ve bitkisel toprak. Alüvyon.
Bakırköy	Üst Miyosen	0-20		Orta-kalın tabakalı, yer yer erime boşluklu, kirel beyaz maktra fosilif kireçtaşı. İnce kil araseviyeleri içeren marm.
Güngören		0-10		Yeşil kireçtaşı araseviyeli, mavimsi yeşil plastik kil.
Çukurçeşme	Üst Miyosen	0-20		Genellikle sarı, bol mikali, seyrek çakıl araseviyeli, kil mercekli, yer yer çapraz tabakalı, çakıllı ince kum.
Gürpınar		Oligosen	0-230	

Şekil 2: Avcılar ve çevresinde genelleştirilmiş stratigrafik kesit (Yüzer ve Eyüboğlu,1988' den tekrar çizilmiştir).

veya daha fazla doğrultudan düzlem dalgalar olarak yayınan ve hakim olarak yüzey dalgası (çoğunlukla Rayleigh dalgası) enerjisi taşıyan mikrotremor dalga alanının dizilim içindeki yayılımı sırasındaki faz hızı, dairenin merkezindeki alıcıda kaydedilen sinyal ile çevresindeki alıcılarda kaydedilen sinyallerin özilişkilerinin azimutal ortalamasından hesaplanan SPAC katsayılarından elde edilmektedir. Frekansa bağlı SPAC katsayıları sıfırıncı-dereceden Bessel fonksiyonu biçimindedir. Bu çalışmada tüm ölçüm noktalarında kullanılan dizilim biri merkezde diğerleri bir eşkenar üçgenin köşelerinde olmak üzere toplam 4 sismometre ile oluşturulmuştur. Seçilen bu geometri ile yöntem enaz maliyet ve işgücüyle uygulanabilmiştir. Ölçümlerin yapıldığı bölgeye bağlı olarak, dalga alanının ancak birkaç doğrultudan yayınan yüzey dalgalarından oluşması durumunda elde edilen SPAC katsayıları ilk minimumun gözlemlendiği frekanstan daha yüksek frekanslarda Bessel fonksiyonundan uzaklaşmaktadır.

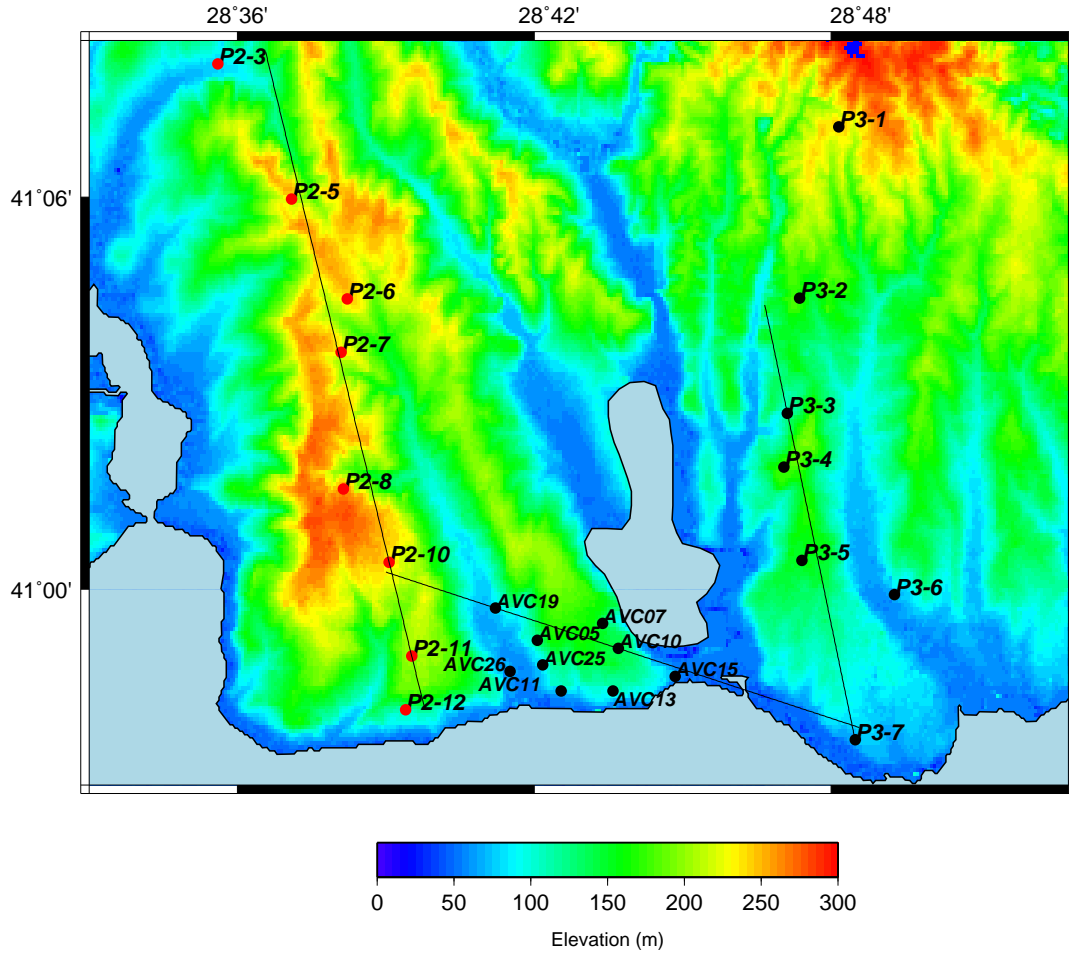


Şekil 3: S-dalgası hız profillerinin elde edilmesinde kullanılan yöntemin adımları.



## 4 Arazi Çalışmaları: Dizilim-Mikrotremor Ölçümleri

Mart–Nisan 2006 döneminde gerçekleştirilen ilk grup ölçümler Avcılar merkezi civarında yoğunlaştırılmıştır. Bu aşamada veriler toplam 9 noktada (AVC kodlu noktalar) toplanmıştır. Temmuz–Eylül 2006 döneminde ise çalışma alanı genişletilmiş ve ölçümler 15 yeni noktada (P2 ve P3 kodlu noktalar) yapılmıştır. (Şekil 4) Ölçümlere ilişkin lokasyon



Şekil 4: Dizilim mikrotremor ölçümlerinin yapıldığı noktalar ve oluşturulan profiller.

ve kayıt bilgileri Tablo 1 de verilmiştir. İkinci dönemde toplanan verilerle yaklaşık K-G doğrultulu iki profil ve DB doğrultulu bir profil oluşturulmuştur. KG doğrultulu P2 profili kuzeyde Hadımköy'den güneyde Avcılar'ın doğusuna (Eston) uzanmaktadır. K-

G doğrultulu P3 profili ise kuzeyde Başakşehir'den güneyde Florya'ya uzanmaktadır. Ölçümler, biri merkezde ve üçü bir eşkenar üçgenin köşelerinde (bir çember üzerinde) olacak şekilde 4 sismometre kullanılarak oluşturulan bir dizilimle ve iki aşamada (dizilim yarıçapları  $R=58$  m ve  $R=14.5$  m) yapılmıştır. Kullanılan bu ölçüm geometrisi ile SPAC yöntemi için ilişki uzaklıkları 14.5 m, 25 m, 58 m ve 100 m olmaktadır. Ölçümlerde örnekleme aralığı 0.01 s olarak seçilmiş ve kayıt uzunlukları ilk aşama ölçümlerde ( $R=58$  m) en az 40 dakika ve ikinci aşama ölçümlerde ( $R=14.5$  m) en az 20 dakika olarak seçilmiştir. Veriler Mark Products-L4 (1-Hz) sismometreler ve bu proje kapsamında satın alınan REFTEK 130-01 sayısal kayıtçılar kullanılarak toplanmıştır (Şekil ??).



Şekil 5: Bir dizilim noktasında kullanılan kayıtçı sistem ve sismometre.

Nokta	Tarih	Gün	Kayıt Baş.	Yarıçap	Enlem	Boylam	Lokasyon
AVC10	04 03 2006	63	10:03:00 12:02:46	58.0 14.5	40 59' 05.8"	28 43' 42.0"	İ.Ü. İnşaat Fak.
AVC07	04 03 2006	63	14:11:32 15:39:12	48.0 14.5	40 59' 28.5"	28 43' 22.8"	İ.Ü. Veterinerlik Fak.
AVC05	11 03 2006	70	9:01:00 10:36:10	58.0 14.5	40 59' 13.2"	28 42' 03.8"	Cihangir Mah. Özyıl Sitesi'nin 300 m. Kuzeyi
AVC19	16 03 2006	75	8:21:00 10:15:41	58.0 14.5	40 59' 42.9"	28 41' 12.9"	Haramidere Sanayi Sitesi
AVC26	16 03 2006	75	13:17:39 14:42:20	58.0 14.5	40 58' 44.5"	28 41' 30.8"	Ambarlı Doğalgaz Santrali Güneyinde
AVC11	18 03 2006	77	8:03:00 9:45:00	53.0 14.5	40 58' 26.7"	28 42' 32.5"	Ambarlı Sahil
AVC15	18 03 2006	77	15:40:50 13:55:00	58.0 14.5	40 58' 39.9"	28 44' 51.1"	Avcılar Denizköşkler Mah.
AVC25	01 04 2006	91	10:55:00 12:23:00	58.0 14.5	40 58' 50.5"	28 42' 10.3"	Ambarlı Fuel-Oil Santrali 200 m KB sı
AVC13	02 04 2006	92	9:22:14 10:53:48	50.0 14.5	40 58' 26.7"	28 43' 35.4"	Avcılar Mekez
P2-3	20 07 2006	201	9:26:40 10:20:33 11:13:41	58.0 58.0 14.5	41 08' 02.3"	28 35' 36.0"	Köpek Eğitim Merkezi, Hadımköy (ölçü tekrarlandı)
P2-5	12 07 2006	193	15:10:10 16:16:49	58.0 14.5	41 05' 58.5"	28 37' 05.5"	TEM Kuzeyi, Ayçiçek tarlası
P2-6	12 07 2006	193	10:45:06 12:09:44	58.0 14.5	41 04' 26.7"	28 38' 13.3"	Winsa yakını, Çakmaklı
P2-7	01 08 2006	213	12:57:00 14:03:56	58.0 14.5	41 03' 37.6"	28 38' 05.8"	Fabrikalar, Çakmaklı
P2-8	01 08 2006	213	9:02:00 10:27:06	58.0 14.5	41 01' 32.3"	28 38' 08.3"	Cebit'in 1km Doğusu, Beylikdüzü
P2-10	20 07 2006	201	15:50:00 16:53:00	58.0 14.5	41 00' 24.7"	28 39' 04.0"	Kavaklı Beldesi, Beylikdüzü
P2-11	25 07 2006	206	8:59:00 10:07:26	58.0 14.5	40 58' 58.6"	28 39' 31.5"	İhlas Marm. Evleri (II) Yakuplu Belediyesi
P2-12	09 08 2006	221	9:20:00 10:43:00	58.0 14.5	40 58' 09.2"	28 39' 24.1"	ESTON
P3-1	24 07 2006	205	10:49:00 11:58:00	58.0 14.5	41 07' 04.7"	28 48' 09.3"	Başakşehir
P3-2	05 09 2006	248	12:38:00 13:28:23	58.0 14.5	41 04' 27.6"	28 47' 22.1"	Masko'nun arkası, Ziya Gökalp Mah. (TEM' e 1 km)
P3-3	05 09 2006	248	9:44:00 10:47:00	58.0 14.5	41 02' 41.8"	28 47' 07.1"	Soyak Olimp. Kent Halkalı
P3-4	04 09 2006	247	12:25:20 13:34:10	58.0 14.5	41 01' 52.4"	28 47' 02.6"	Ziraat Meslek Lisesi, Sefaköy
P3-5	04 09 2006	247	8:50:00 10:00:00	58.0 14.5	41 00' 26.5"	28 47' 24.8"	Fevzi Çakmak İlk Okulu, Sefaköy
P3-6	14 08 2006	226	9:44:20 10:56:00	58.0 14.5	40 59' 55.1"	28 49' 16.8"	TTN, İhracatçılar Birliği, Çobançeşme
P3-7	11 08 2006	223	9:20:00 10:28:30	58.0 14.5	40 57' 41.7"	28 48' 29.3"	İBB Sosyal Tesisleri, Florya

Tablo 1: Dizilim mikrotremor ölçümlerinin yapıldığı noktalara ait konum ve kayıt bilgileri

## 5 Veri-İşlem Aşamaları

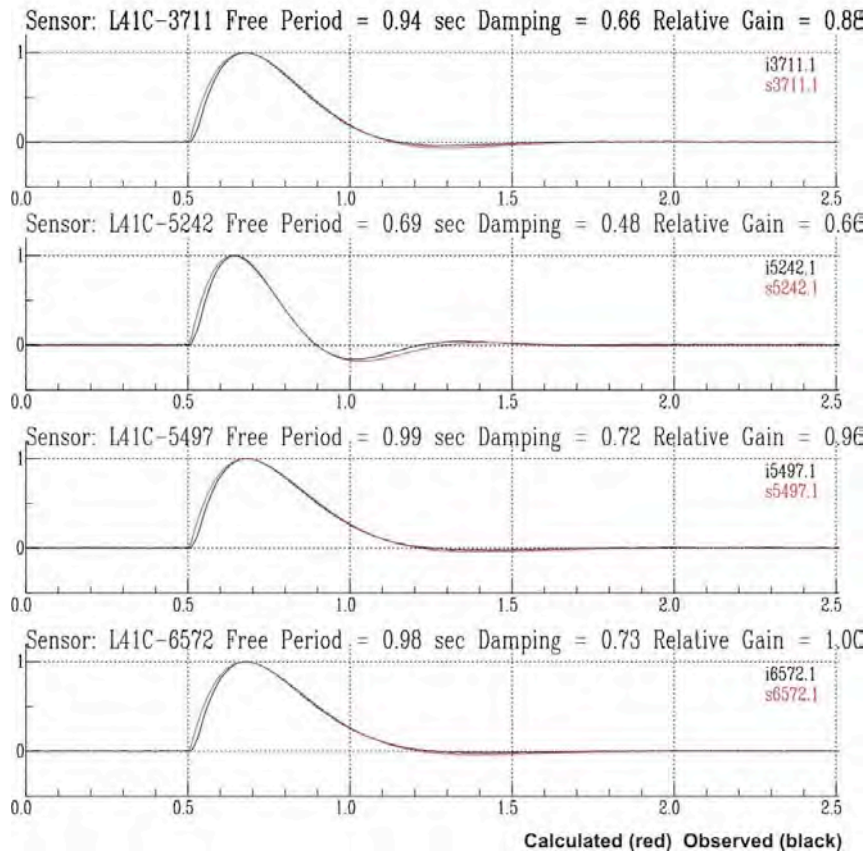
### 5.1 Kayıtçıların Laboratuvar testi

Sismik kayıtçılar, arazide kullanmaya başlamadan önce, laboratuvarında kayıtlar alınarak test edilmiştir. Bu çalışma sırasında, REFTEK 130-01 sayısal kayıtçılarda verileri flash-diskte depolamaya ilişkin donanımsal bir sorun saptanmış ve sorun giderilmediği takdirde arazi çalışmaları sırasında veri kaybının söz konusu olabileceği anlaşılmıştır. Firma yetkilileri ile yaptığımız yazışmalar sonucunda, donanım ile ilgili problemin cihazlar geri gönderilmeden bölümümüzde giderilebileceği anlaşılmış ve gerekli onarım prosedürü takip edilerek sorun giderilmiştir. Laboratuvarında uzun süreli kayıtlar alınarak testlerin başarılı olduğu saptanmıştır.

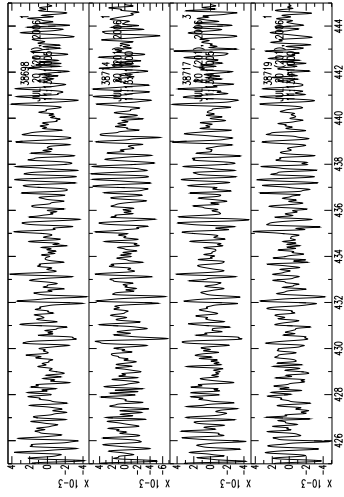
### 5.2 Ön Veri-işlem

Faz hızı dispersiyon eğrilerinin elde edilmesi ve daha sonra ters çözümle S-dalgası hız profillerinin oluşturulması için gerekli ön veri-işlem aşaması, toplanan verilerin kayıtçılardan bilgisayar ortamına aktarılması, format dönüşümü (REFTEK formatından SEG-Y formatına), analiz için kullanılacak veri penceresinin belirlenerek verilerin kesilmesi, sismometre tepki fonksiyonlarının giderilmesi ve son olarak 10-Hz kesme frekansında alçak-geçişli süzgeçleme adımlarından oluşmaktadır. Çok kanallı mikrotremor ölçümleri ile faz hızı dispersiyon bilgisinin doğru olarak elde edilebilmesi için sismometrelerin tepki fonksiyonlarının saptanması gerekmiştir. Bu amaçla, kalibrasyon sinyali kullanılarak elde edilen gözlemsel tepki fonksiyonlarından sismometre sönüm oranı ve serbest salınım periyotları saptanmıştır (Şekil 6). Sismometre tepki fonksiyonlarını kayıtlardan gidermek amacıyla bir SAC makrosu yazılmıştır. Ön veri-işlem aşamasından geçmiş 20 s uzunluklu örnek veriler, P2 profili için Şekil 7 – 14-a da, P3 profili için ise Şekil 15 – 19-a da verilmiştir.

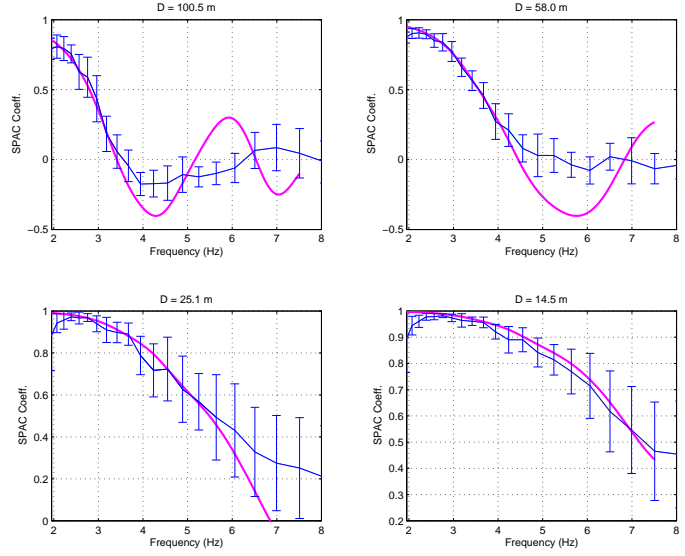
### ITU L4C-1Hz Calculated and Observed Calibration Pulse Fits



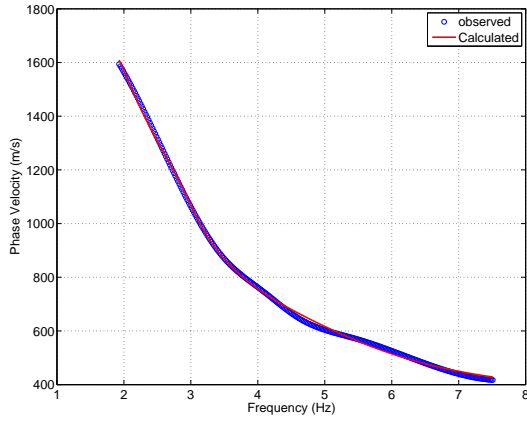
Şekil 6: Sismometrelere ilişkin gözlemsel ve kuramsal tepki fonksiyonları.



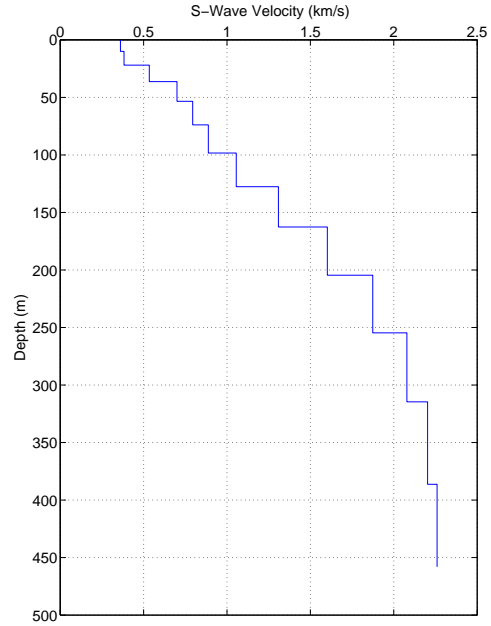
(a)



(b)

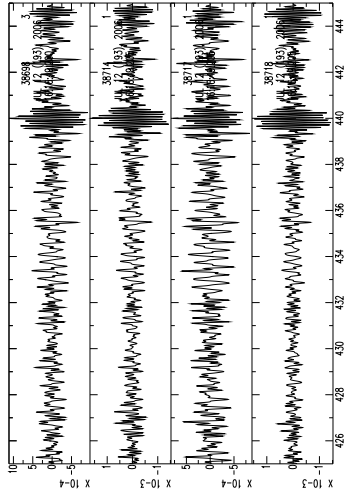


(c)

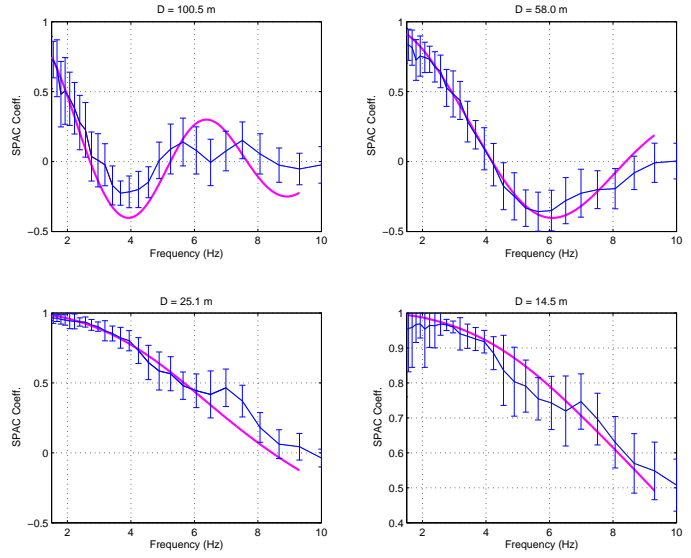


(d)

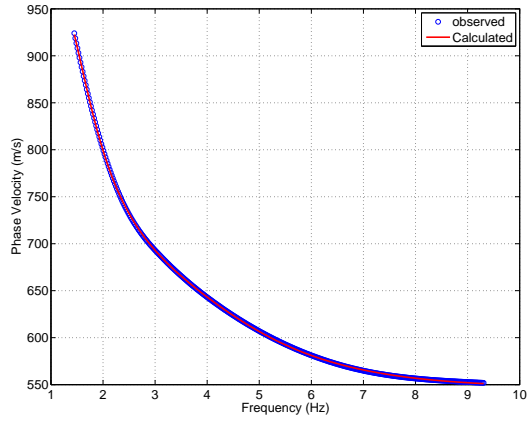
Şekil 7: (a) P2-3 noktasında kaydedilen 20 s lik örnek veri, (b) Gözlemsel SPAC katsayıları ve en iyi uyumu veren Bessel fonksiyonları, (c) Gözlemsel ve kuramsal Dispersion eğrileri (d) S-dalgası hız profili.



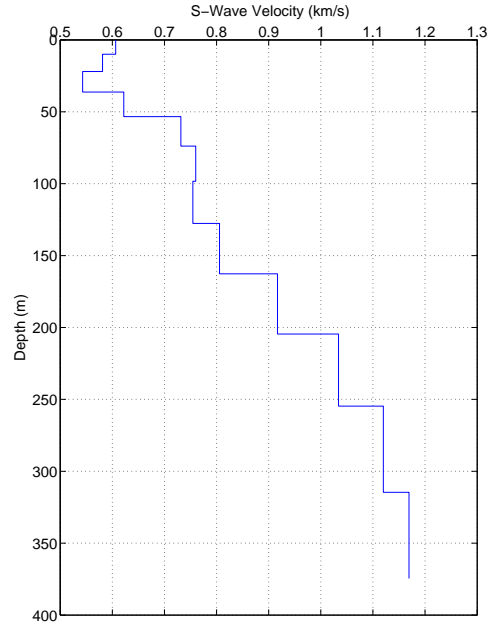
(a)



(b)

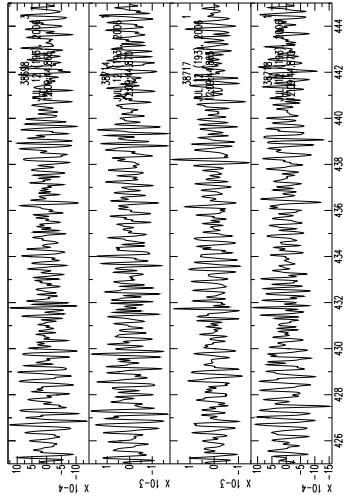


(c)

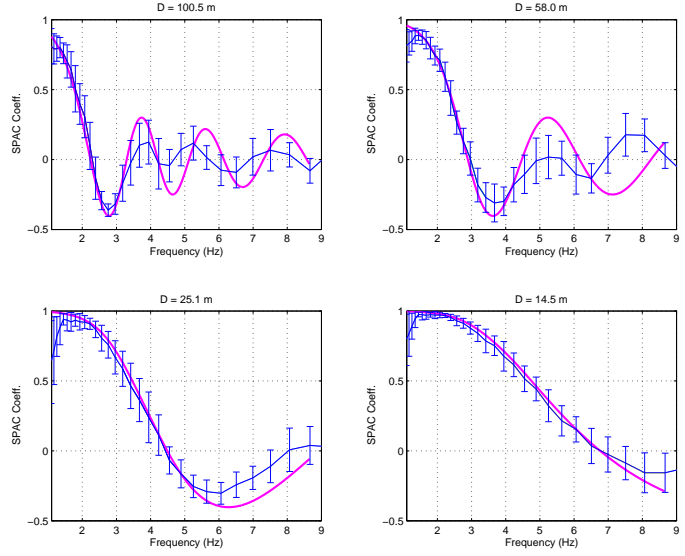


(d)

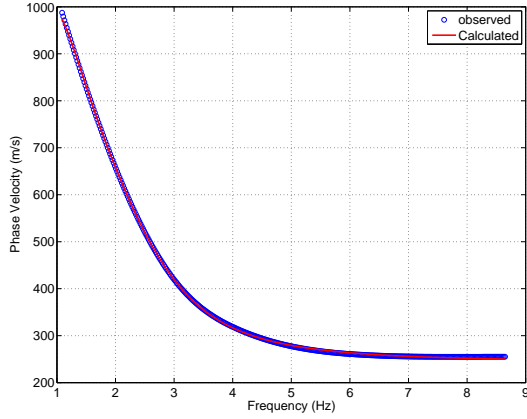
Şekil 8: (a) P2-5 noktasında kaydedilen 20 s lik örnek veri, (b) Gözlemsel SPAC katsayıları ve en iyi uyumu veren Bessel fonksiyonları, (c) Gözlemsel ve kuramsal Dispersion eğrileri (d) S-dalgası hız profili.



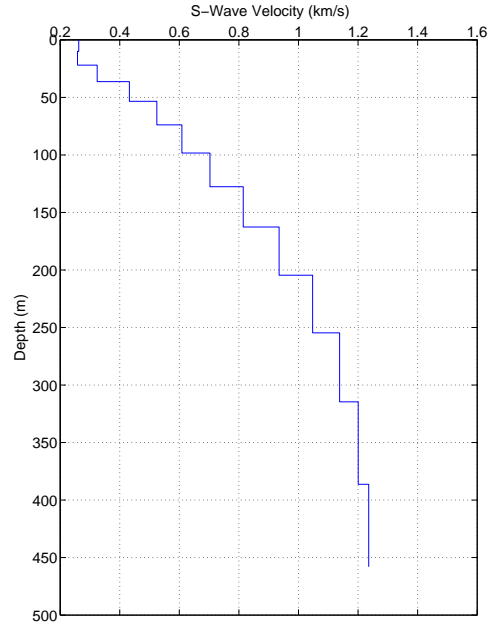
(a)



(b)



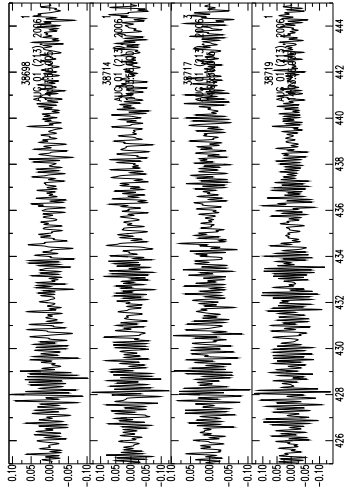
(c)



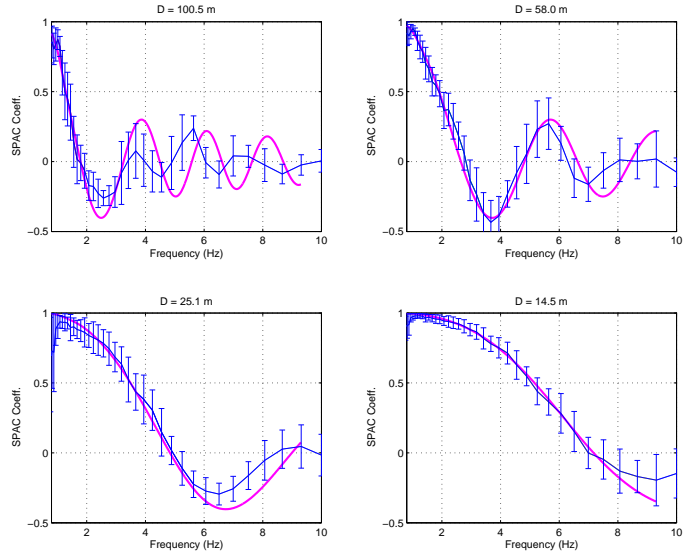
(d)

Şekil 9: (a) P2-6 noktasında kaydedilen 20 s lik örnek veri, (b) Gözlemsel SPAC katsayıları ve en iyi uyumu veren Bessel fonksiyonları, (c) Gözlemsel ve kuramsal Dispersion eğrileri (d) S-dalgası hız profili.

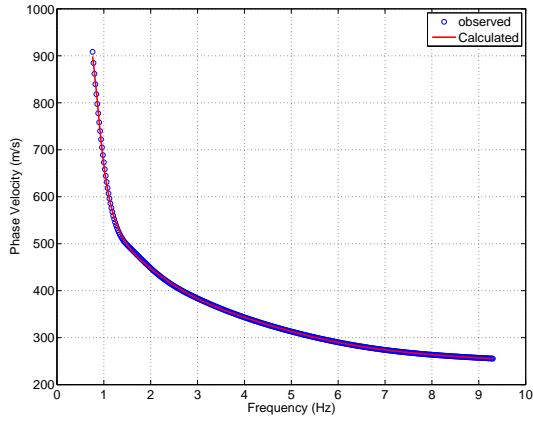




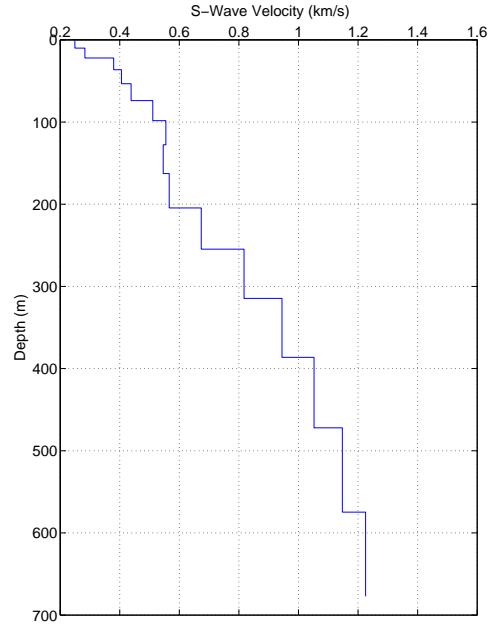
(a)



(b)

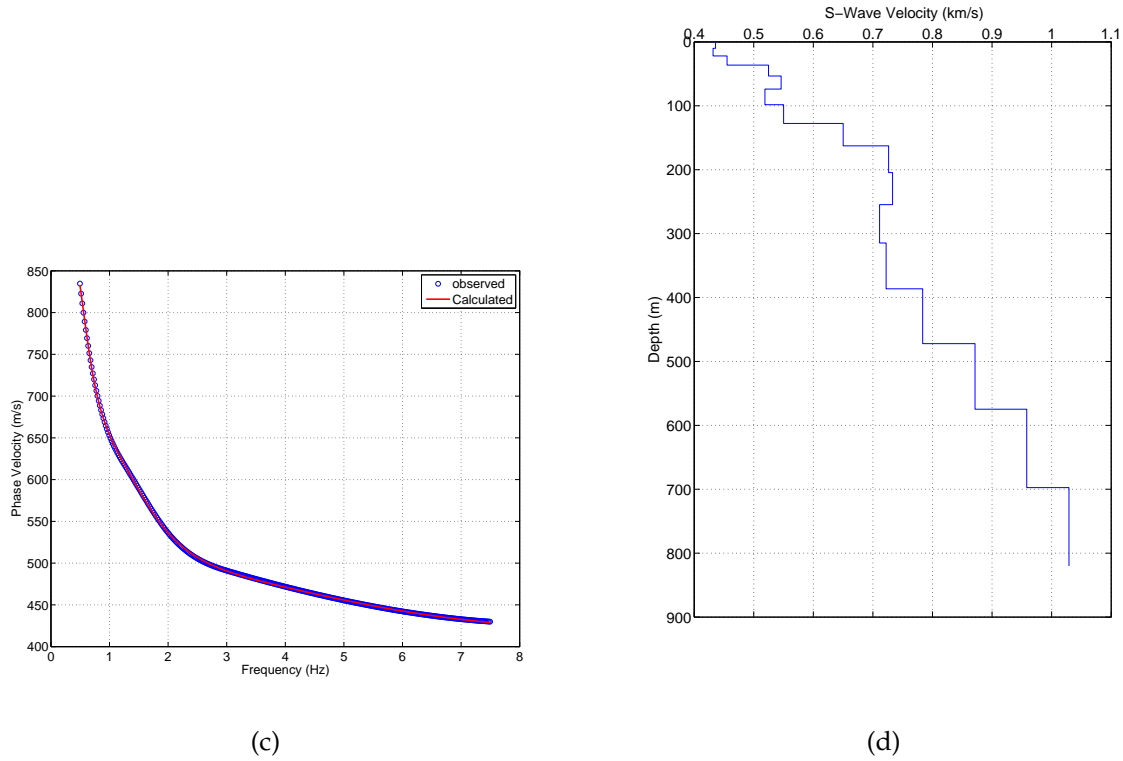
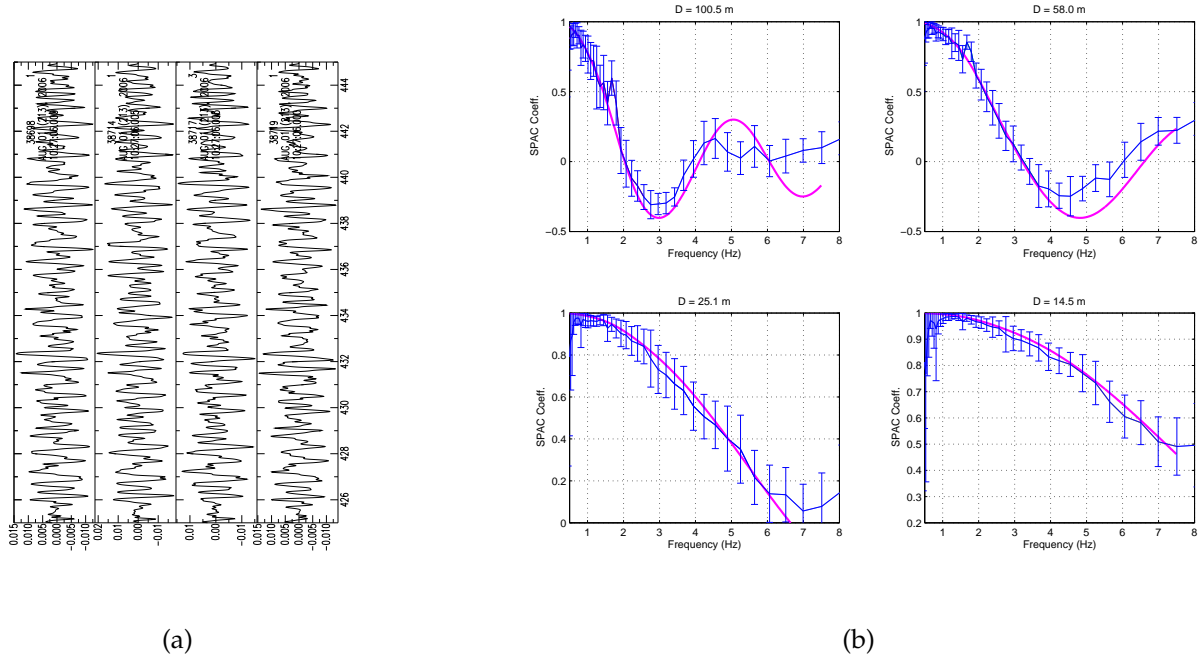


(c)

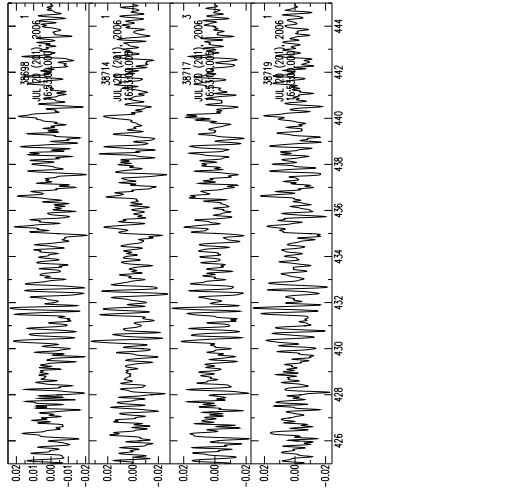


(d)

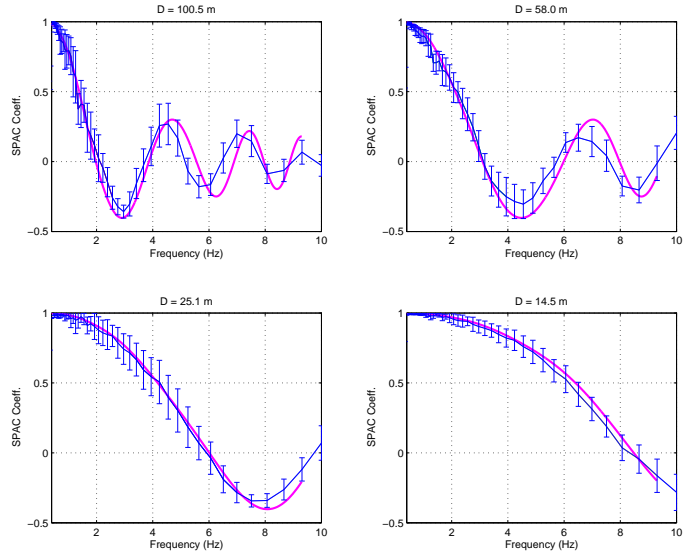
Şekil 10: (a) P2-7 noktasında kaydedilen 20 s lik örnek veri, (b) Gözlemsel SPAC katsayıları ve en iyi uyumu veren Bessel fonksiyonları, (c) Gözlemsel ve kuramsal Dispersiyon eğrileri (d) S-dalgası hız profili.



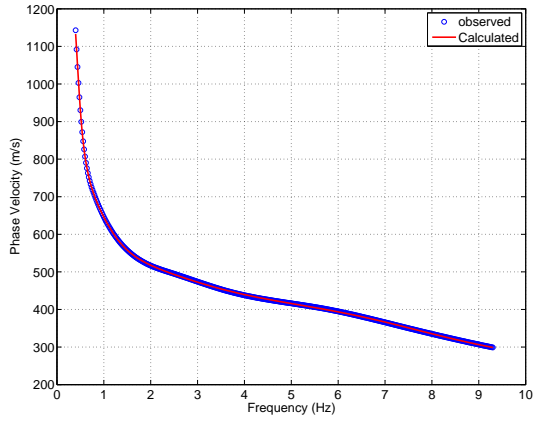
Şekil 11: (a) P2-8 noktasında kaydedilen 20 s lik örnek veri, (b) Gözlemsel SPAC katsayıları ve en iyi uyumu veren Bessel fonksiyonları, (c) Gözlemsel ve kuramsal Dispersiyon eğrileri (d) S-dalgası hız profili.



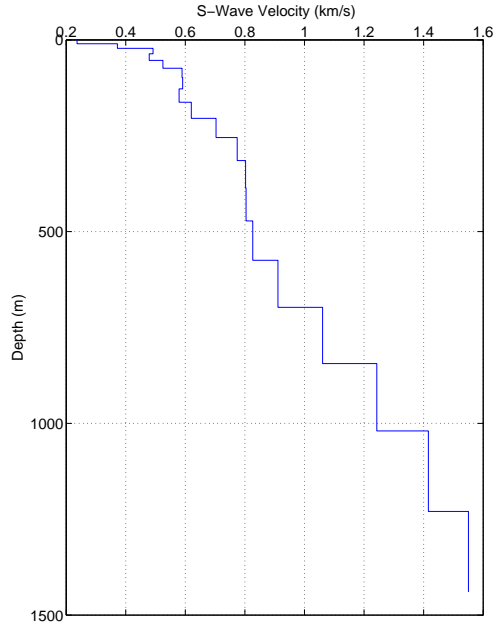
(a)



(b)

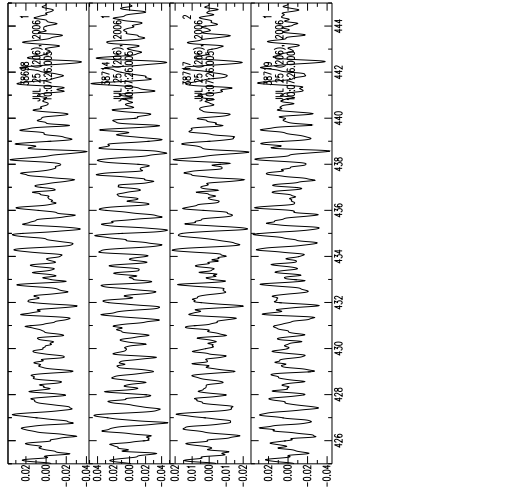


(c)

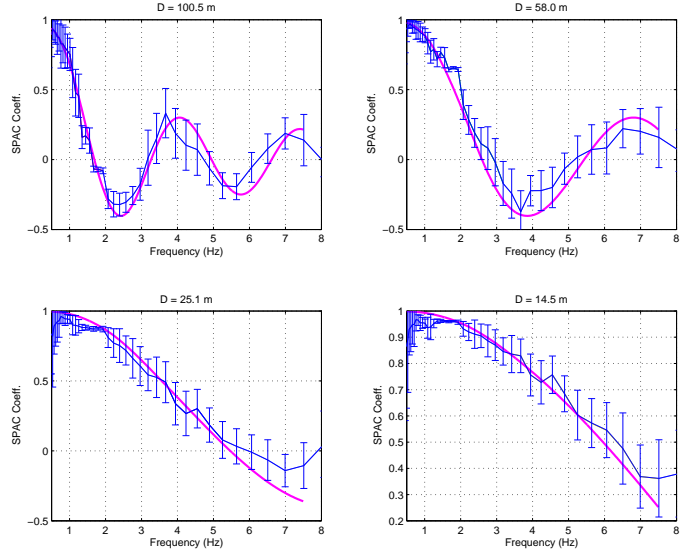


(d)

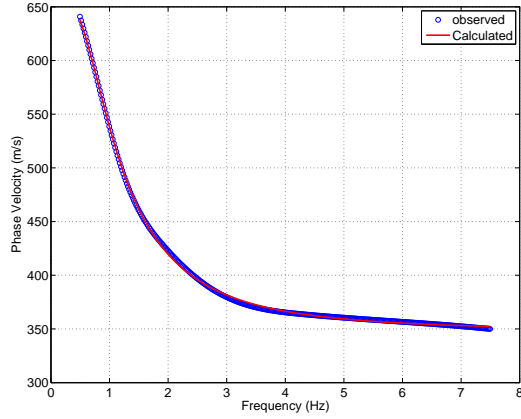
Şekil 12: (a) P2-10 noktasında kaydedilen 20 s lik örnek veri, (b) Gözlemsel SPAC katsayıları ve en iyi uyumu veren Bessel fonksiyonları, (c) Gözlemsel ve kuramsal Dispersiyon eğrileri (d) S-dalgası hız profili.



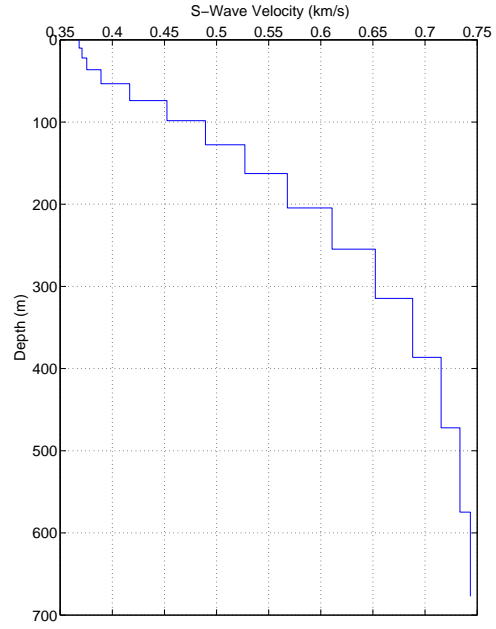
(a)



(b)

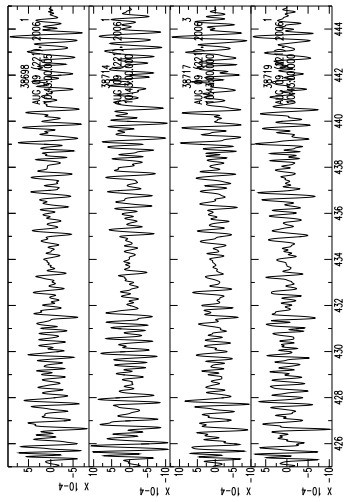


(c)

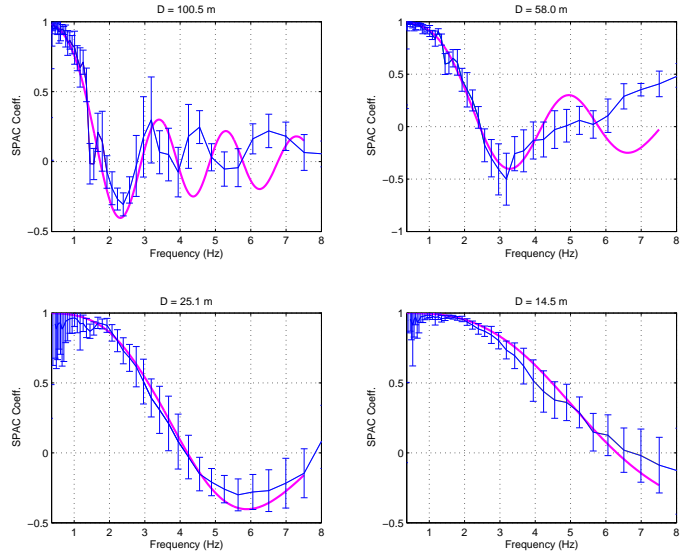


(d)

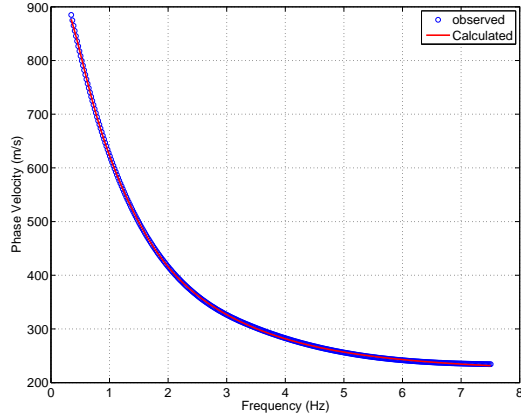
Şekil 13: (a) P2-11 noktasında kaydedilen 20 s lik örnek veri, (b) Gözlemsel SPAC katsayıları ve en iyi uyumu veren Bessel fonksiyonları, (c) Gözlemsel ve kuramsal Dispersiyon eğrileri (d) S-dalgası hız profili.



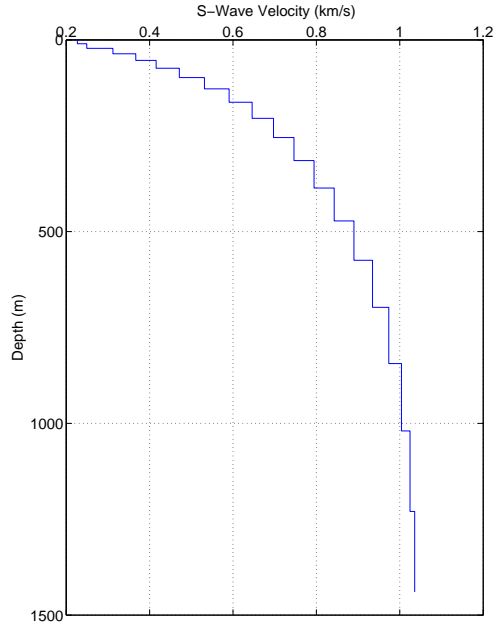
(a)



(b)



(c)

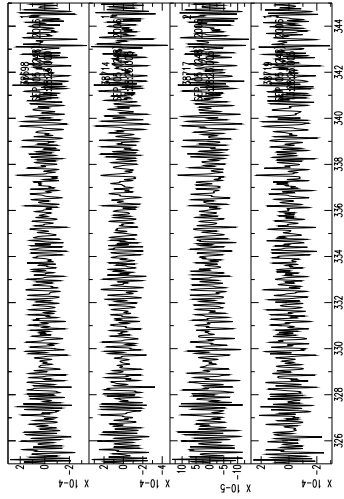


(d)

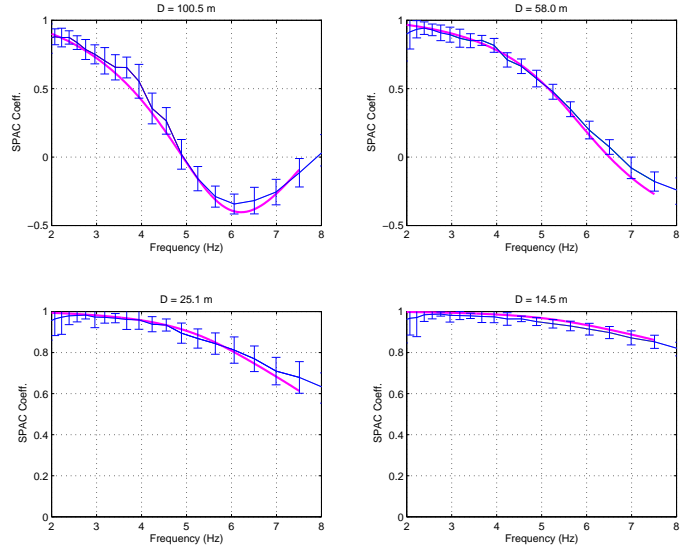
Şekil 14: (a) P2-12 noktasında kaydedilen 20 s lik örnek veri, (b) Gözlemsel SPAC katsayıları ve en iyi uyumu veren Bessel fonksiyonları, (c) Gözlemsel ve kuramsal Dispersiyon eğrileri (d) S-dalgası hız profili.

### 5.3 Faz Hızı Dispersion Eğrileri

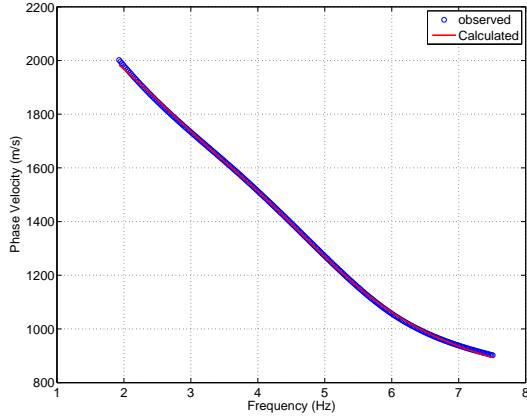
Her noktada elde edilen veri setinden, 4 ayrı uzaklık için SPAC katsayıları hesaplanmıştır. Bu işlem sırasında pencere uzunlukları büyük dizilim için 40 s ve küçük dizilim için 20 s olarak seçilmiştir. Böylece, 40 dak. ve 20 dak. lık ölçüm süresi içinde 60 pencere elde edilmektedir. SPAC katsayıları elde edilirken kullanılabilen en düşük frekans, ortamın hız yapısına bağlı olarak dizilim içerisinde yayılan dispersif Rayleigh dalgalarının o frekanstaki dalga boyuna ve dolayısıyla dizilim boyutuna bağlıdır. Analiz sonuçlarına göre, dispersiyon eğrisinde gözlemlenen en düşük frekans 1-3 Hz arasındadır. Dispersiyonun gözlemlendiği en yüksek frekans ise, dizilimdeki en küçük ilişki uzaklığına ve mikrotremorları oluşturan kaynaklarının frekans içeriğine bağlıdır ve bu çalışmada genellikle 8-10 Hz civarındadır.



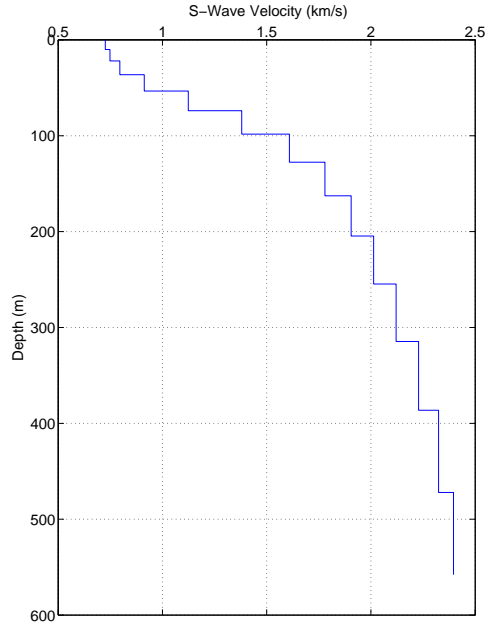
(a)



(b)

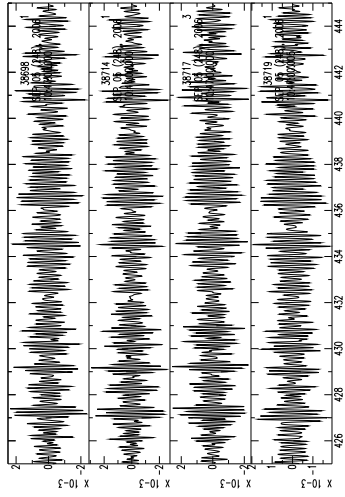


(c)

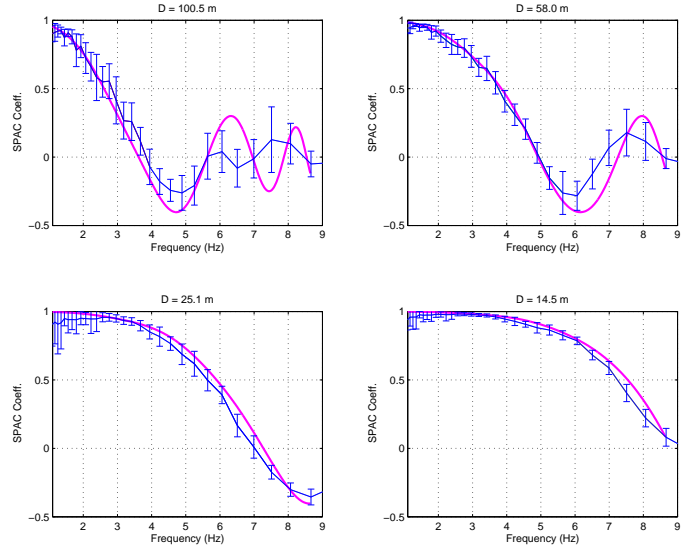


(d)

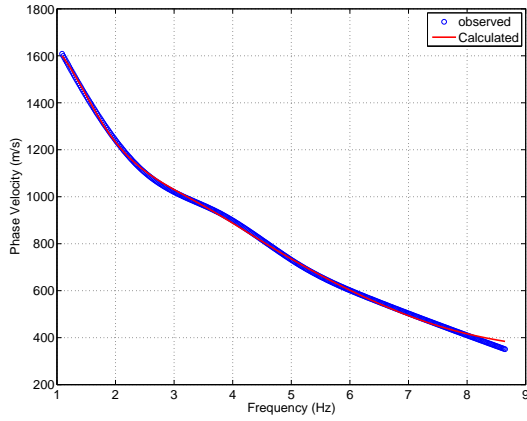
Şekil 15: (a) P3-2 noktasında kaydedilen 20 s lik örnek veri, (b) Gözlemsel SPAC katsayıları ve en iyi uyumu veren Bessel fonksiyonları, (c) Gözlemsel ve kuramsal Dispersiyon eğrileri (d) S-dalgası hız profili.



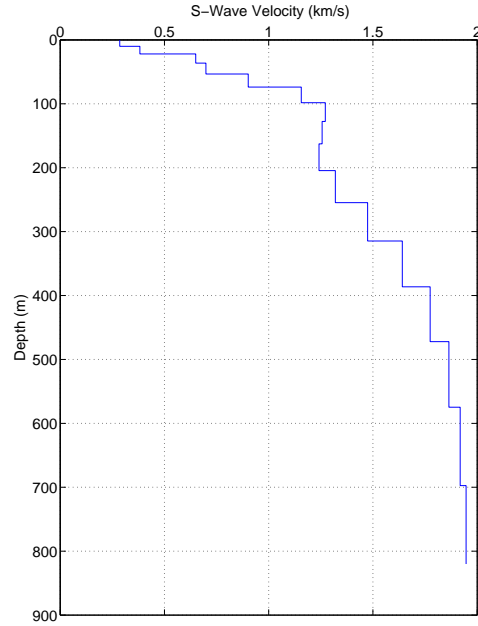
(a)



(b)



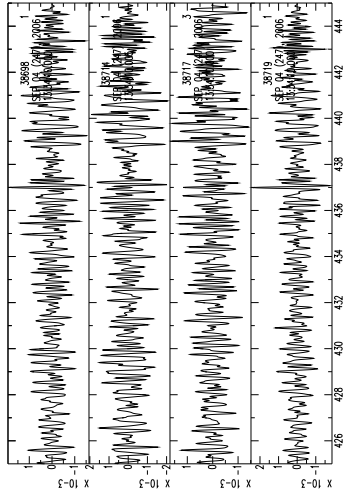
(c)



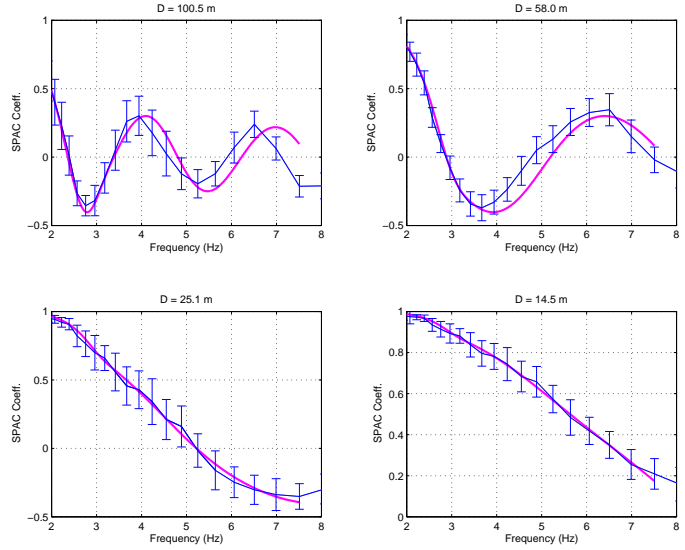
(d)

Şekil 16: (a) P3-3 noktasında kaydedilen 20 s lik örnek veri, (b) Gözlemsel SPAC katsayıları ve en iyi uyumu veren Bessel fonksiyonları, (c) Gözlemsel ve kuramsal Dispersiyon eğrileri (d) S-dalgası hız profili.

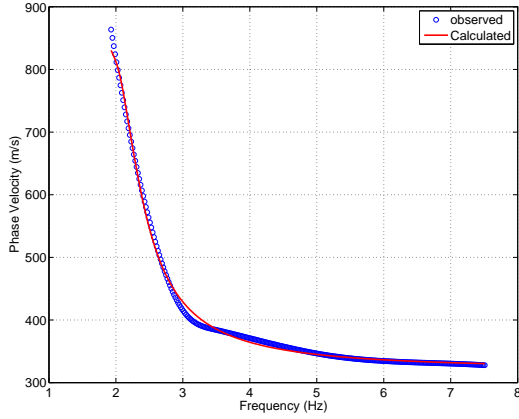




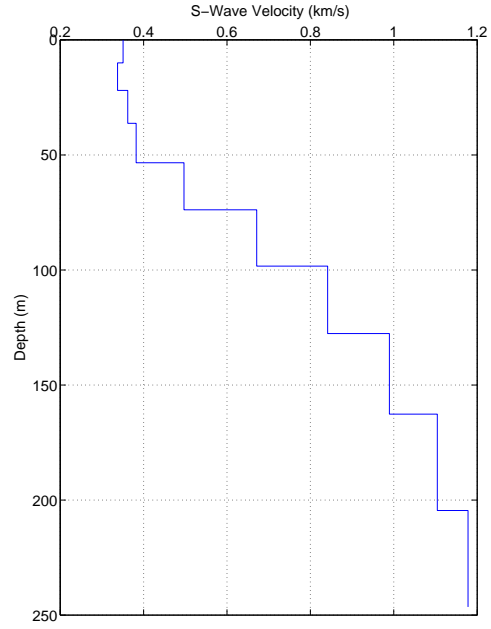
(a)



(b)

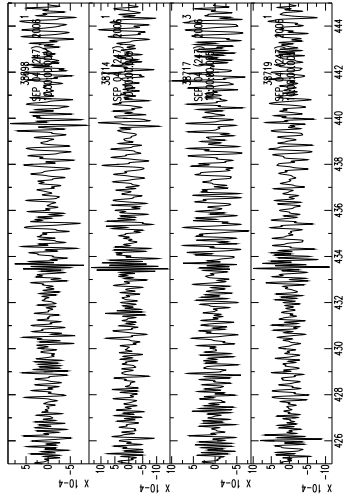


(c)

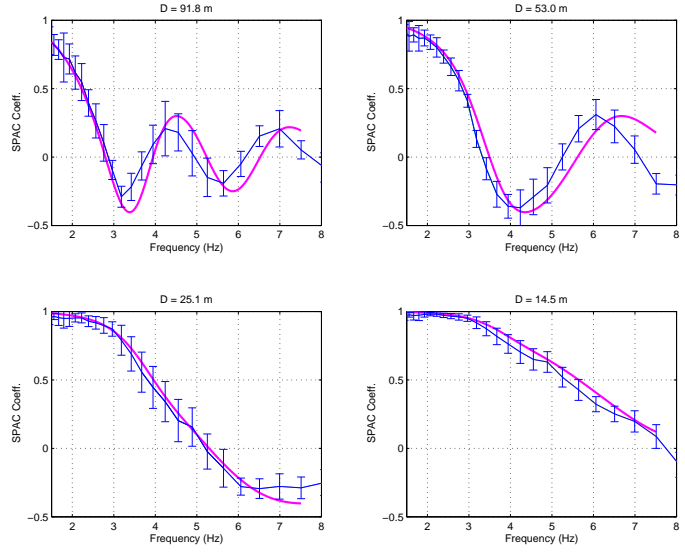


(d)

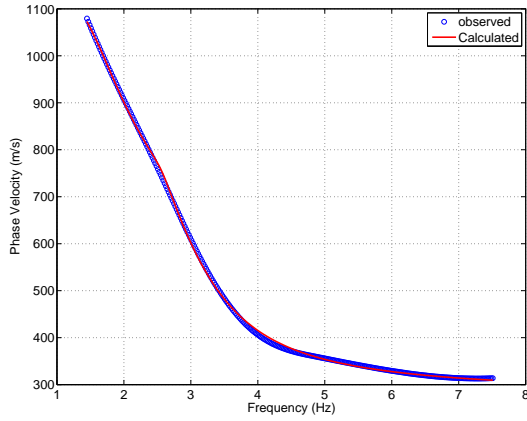
Şekil 17: (a) P3-4 noktasında kaydedilen 20 s lik örnek veri, (b) Gözlemsel SPAC katsayıları ve en iyi uyumu veren Bessel fonksiyonları, (c) Gözlemsel ve kuramsal Dispersiyon eğrileri (d) S-dalgası hız profili.



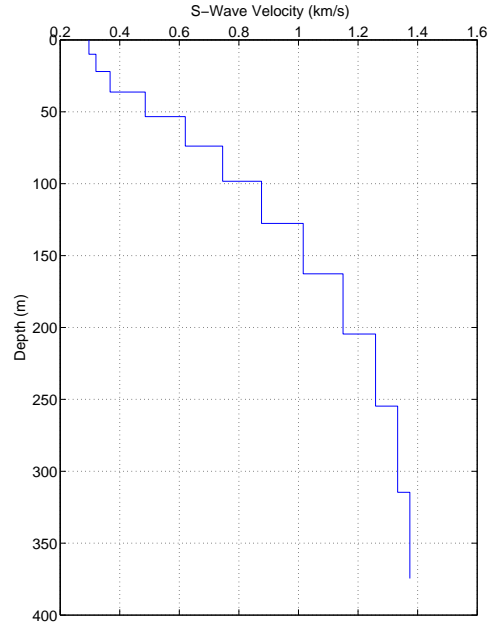
(a)



(b)

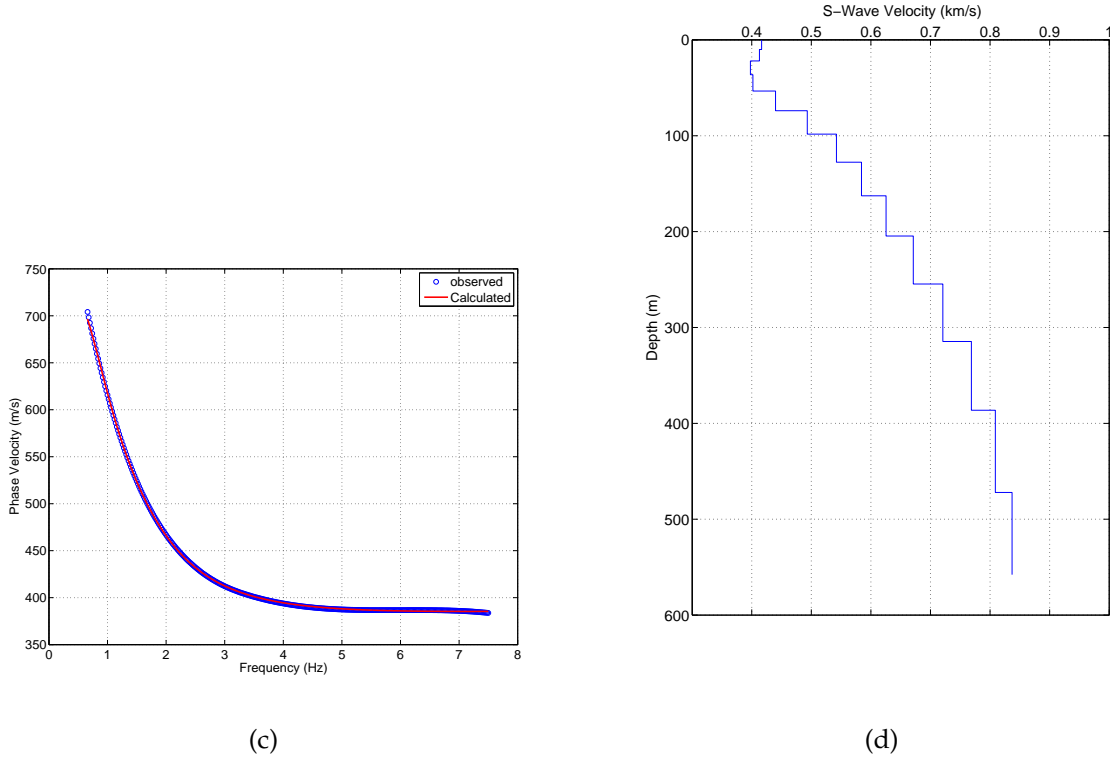
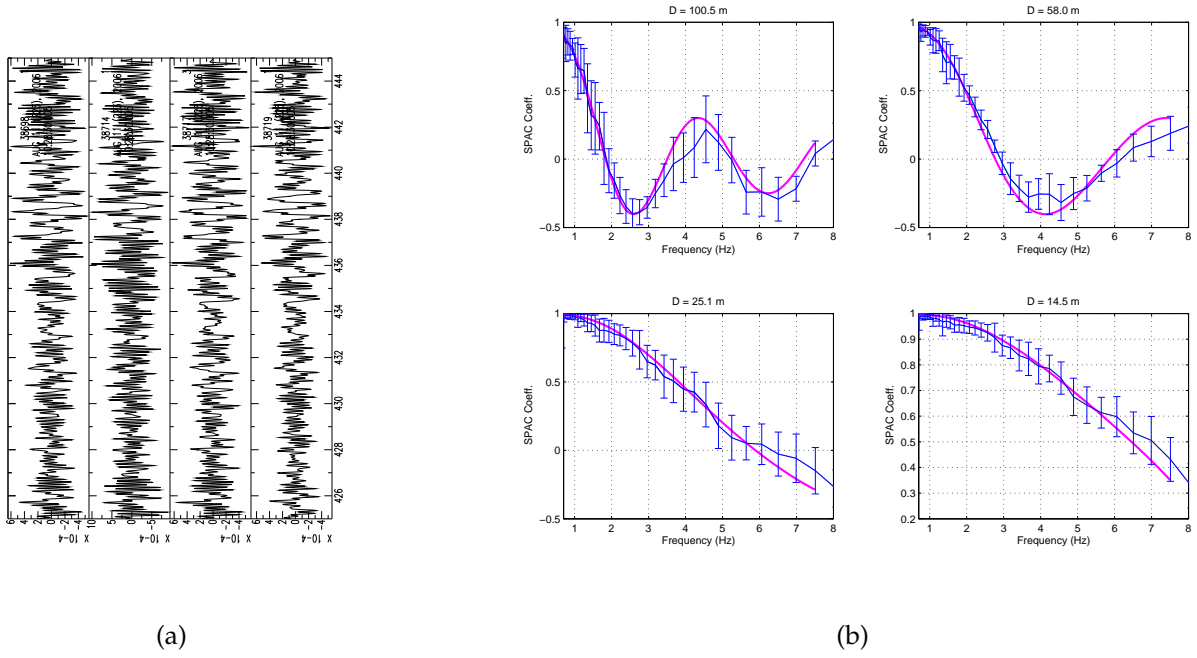


(c)



(d)

Şekil 18: (a) P3-5 noktasında kaydedilen 20 s lik örnek veri, (b) Gözlemsel SPAC katsayıları ve en iyi uyumu veren Bessel fonksiyonları, (c) Gözlemsel ve kuramsal Dispersiyon eğrileri (d) S-dalgası hız profili.

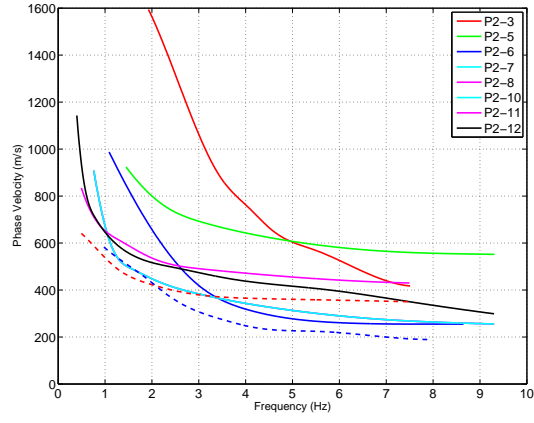


Şekil 19: (a) P3-7 noktasında kaydedilen 20 s lik örnek veri, (b) Gözlemsel SPAC katsayıları ve en iyi uyumu veren Bessel fonksiyonları, (c) Gözlemsel ve kuramsal Dispersiyon eğrileri (d) S-dalgası hız profili.

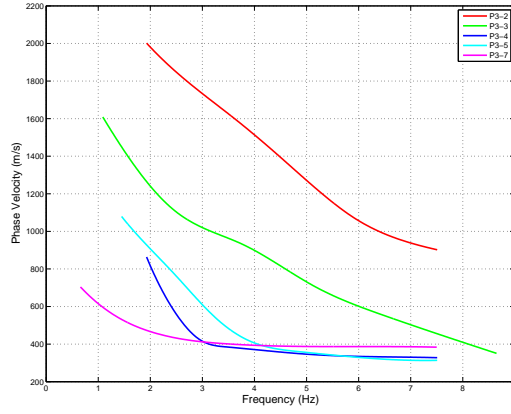
İzleyen veri-işlem adımında ise, 4 uzaklık için elde edilen SPAC katsayılarına çakışan kuramsal SPAC katsayıları (argümanında faz hızı, frekans ve ilişki uzaklığını bulunduran Bessel fonksiyonu) hesaplanmıştır. Bu işlem sırasında dikkat edilen nokta, her uzaklık için gözlemsel özilişki değerlerinin ilk minimumunun olduğu frekanstan daha yüksek frekanslarda bulunan değerlerin analize dahil edilmemesidir. Bu durum, ölçülen dispersif dalga alanının tek bir doğrultuda yayınıyor olması ve biri merkezde ve diğer üçü bir eşkenar üçgenin köşelerinde bulunan toplam dört alıcıyla oluşturulan dizilimler kullanıldığında, SPAC katsayılarının Bessel fonksiyonunun ilk minimumu civarına kadar olan frekanslarda güvenilir olarak bulunabilmesinden kaynaklanmaktadır (Okada, 2003). Gözlemsel özilişki katsayıları ve en iyi çakışmayı veren kuramsal özilişki katsayılarının frekansa bağlı değişimleri, P2 profili için Şekil 7 – 14-b de, P3 profili için ise Şekil 15 – 19-b de verilmiştir. Gözlemsel SPAC değerlerin çakıştırmada kullanılan kısımları ilk minimum civarındadır. Elde edilen kuramsal değerler, çoğu kez (birden fazla yönden sinyal yayınması durumunda) gözlemsel değerlerle ilk minimumun ötesinde de iyi bir uyum sağlamıştır. Toplam 15 noktadan P3-1 noktası dışındaki tüm noktalar için elde edilen dispersiyon eğrileri Şekil 20 de verilmiştir. P3-1 noktası yüzeyde S-dalgası hızının 1500-2000 m/s olduğu grovaklar üzerinde yer almaktadır. Bu noktada yapılan ölçümlerden, dizilim boyutunun yeterince büyük olmamasından dolayı dispersiyon verisi elde edilememiştir. Bu tür bir lokasyonda dizilim boyutlarının 1 km civarında olması gereklidir.

#### **5.4 Dispersion Verilerinin ters çözümü**

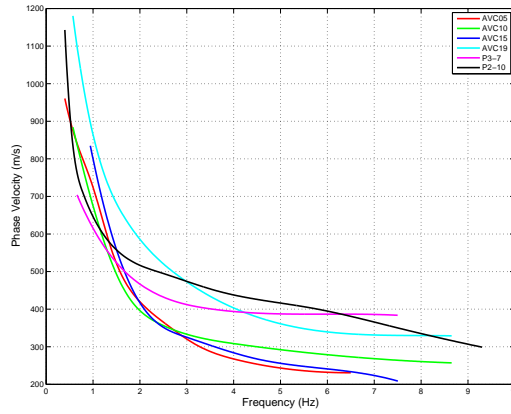
Bir boyutlu (1-B) ve yatay katmanlı bir yer modeli için Rayleigh dalgası faz hızlarının hesaplanmasında kullanılan model parametreleri, her katmana ait kalınlık, P-dalgası hızı S-dalgası hızı ve yoğunluk değerleridir. Katmanlara ilişkin S-dalgası hızı ve kalınlık parametreleri faz hızlarını hakim olarak kontrol eden iki parametredir. Buna karşın, faz hızları, P-dalgası hızı ve yoğunluk parametrelerine çok daha az duyarlıdır. Bu nedenle, ters çözümde, katmanlara ait P-dalgası hızlarının S-dalgası hızlarına oranı ( $V_p/V_s$ ) veya



(a)



(b)



(c)

Şekil 20: P2 (a), P3 (b) ve AVC (c) profillerine ait gözlemsel dispersiyon eğrileri.

Poisson oranları sabit alınmıştır. Yoğunluk değerleri ise P-dalgası hızları kullanılarak ampirik ilişkilerden yararlanarak hesaplanmıştır. Bu durumda, ters çözümle belirlenen parametreler S-dalgası hızları ve katman kalınlıklarıdır. Ancak, katman kalınlıkları ve S-dalgası hızlarının her ikisinin de bilinmeyen olarak ele alınması, doğrusallaştırılmış ters çözüm yaklaşımında çoğul çözümlülük olasılığını arttırdığından, hız modelinin sabit kalınlıklı birçok ince katmandan oluştuğu varsayılarak, yalnızca S-dalgası hızları bilinmeyen olarak alınmıştır. Gözlemsel faz hızlarındaki belirsizliğin düşük frekanslarda daha büyük olması ve ters çözümde çözünürlüğün derinlikle azalması nedeniyle, modelde kullanılan katman kalınlıkları derinlikle orantılı şekilde belirlenmiştir. Ayrıca, ters çözüm algoritmasının duraylılığını arttırmak bakımından, katmanlar arasındaki hız değişimlerini en aza indirgeyen diferansiyel yuvarlatma yaklaşımı kullanılmıştır. Faz hızı dispersiyon verisinden S-dalgası hız modelini elde etmek amacıyla, Marquardt-Levenberg algoritmasına dayanan SURF96 ters çözüm programı (Herrmann ve Ammon, 2002) kullanılmıştır. Başlangıç modeli, katman kalınlıklarının derinlikle orantılı olarak arttırıldığı 11-19 katmandan oluşan bir modeldir. Modeldeki en büyük derinlik (yarı-sonsuz ortama giriş derinliği) gözlenen en büyük dalga boyunun yarısı olarak alınmıştır. Başlangıç modelinde kullanılan S-dalgası hızları, tüm katmanlar için faz hızlarının ortalamasına eşittir. Ters çözümde  $V_p/V_s$  oranları sabit alınmıştır. Ters çözüm sonuçları P2 profili için Şekil 7 – 14-c-d de, P3 profili için ise Şekil 15 – 19-c-d de verilmiştir. Dispersion verilerin ters çözümünden elde edilen modeller ince katmanlardan oluşan ve yumuşak hız değişimlerinin olduğu modellerdir. Bu tür yumuşak geçişlerin olduğu S-dalgası hız modellerinin daha gerçekçi olacağı düşünülebilir. Ancak, P-S hız logu gibi ek veriler olmaksızın modelin doğruluğuna ilişkin kesin bir sonuca varmak mümkün değildir. Gözlemsel dispersiyon verilerini sağlayan en yalın (en az katmanlı) S-dalgası hız modellerinin bulunabilmesi amacıyla proje kapsamında interaktif bir MATLAB programı geliştirilmiştir (Ek-1).

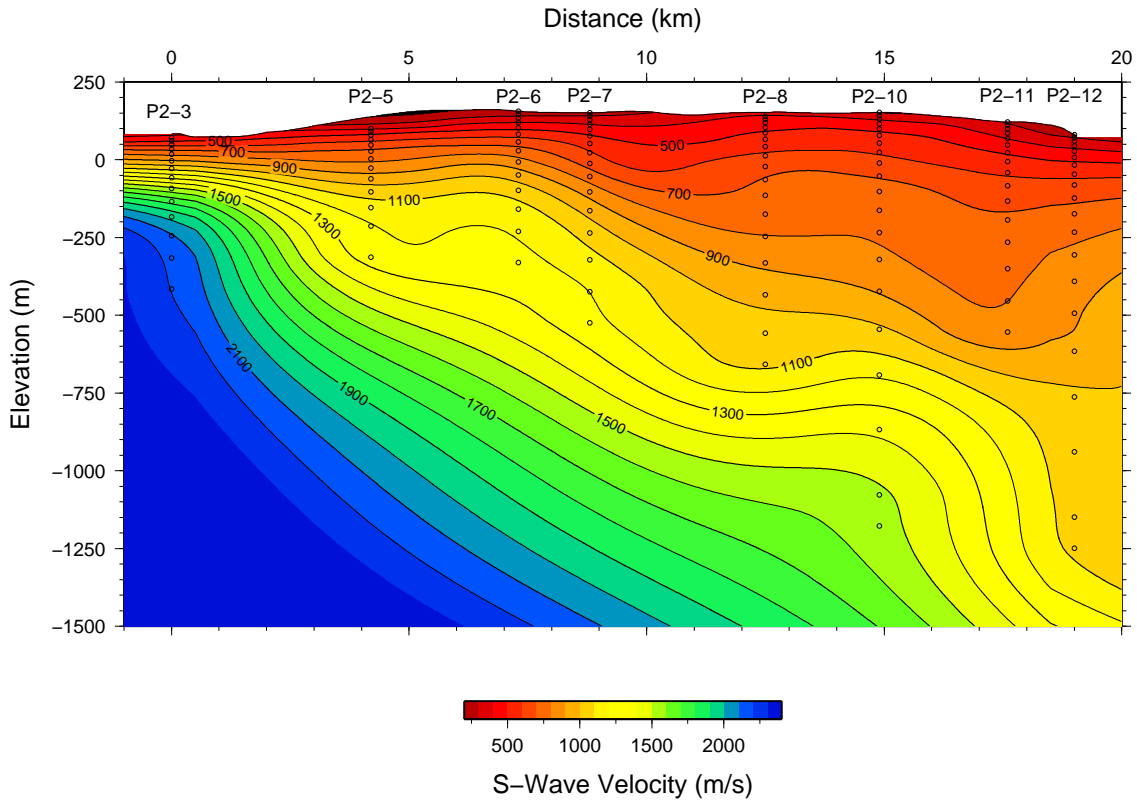
## 5.5 2B Boyutlu S-dalgası Hız Modelleri

P2, P3 ve AVC profilleri boyunca elde edilen 1B S-dalgası hız modelleri kullanılarak 2B S-dalgası hız modelleri elde edilmiştir. Şekil 21 de verilen P2 ve P3 profillerine ait hız modelleri incelendiğinde, bölge jeolojisine uyumlu olarak sediman kalınlığının kuzeye doğru azaldığı görülmektedir. Ayrıca, yüzeye yakın düşük hızlı ( $V_s < 500$  m/s) birimlerin kuzeye doğru incelendiği ve bunların yerini daha hızlı birimlerin aldığı görülmektedir. Temel kaya olarak adlandırabileceğimiz (hızın yaklaşık 2000 m/s olduğu) birim güneyde 2500 m derinlikteyken, 21 km kuzeyde 250 m derinliktedir. Küçük Çekmece gölünün doğusunda Florya'dan kuzeye Başakşehir'e kadar uzanan P3 profili incelendiğinde P2 profiline benzer bir hız yapısının olduğu ancak temel kayanın 250 m olduğu derinliğin profilin güney ucundan 13 km kuzeyde olduğu görülmektedir. Ayrıca, P2 den farklı olarak güneydeki sediman kalınlığı yaklaşık olarak 1000 m dir. AVC profiline ait 2B hız modeli ise Şekil 22 de verilmiştir.

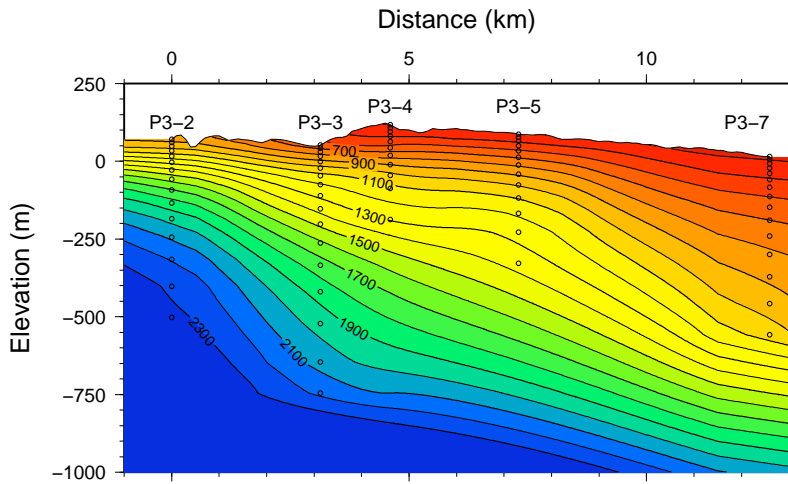
## 6 Dalga Yayınımı Modellemesi

### 6.1 Yöntem

Oluşturulan 2B S-dalgası hız modelleri kullanılarak Spektral Elemanlar yöntemi ile dalga yayınımı modellenmiştir. Bu çalışmada amaç hız modellerindeki yanal değişimlerin ve temel kaya topoğrafyası ve yüzey topoğrafyasının sismik büyütme etkisini araştırmaktır. Bu nedenle farklı deprem kaynaklarını ve episantr uzaklıklarını ele alan modelleme yaklaşımları yerine kaynak olarak 2B modelin altından belirli bir açıyla gelen düzlem SH-dalgası varsayılmıştır. Kaynak dalgacık olarak sismik modellemede sıklıkla kullanılan ve band-sınırlı bir frekans içeriği olan Ricker dalgacığı kullanılmıştır. Örneğin, Ricker dalgacığının baskın frekansı 2 Hz alındığında bu dalga yayınımının 5 Hz e kadar hesaplanabileceği anlamına gelir. Şekil 23 de AVC profili boyunca elde edilen 2B S-dalgası hız



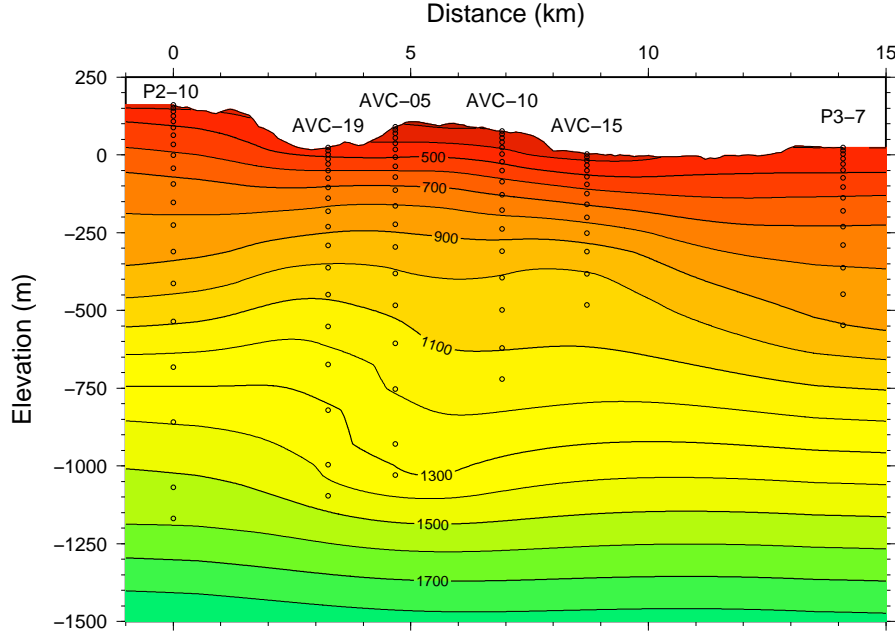
(a)



(b)

Şekil 21: P2 (a) ve P3 (b) profillerine ait 2B S-dalgası hız modelleri.



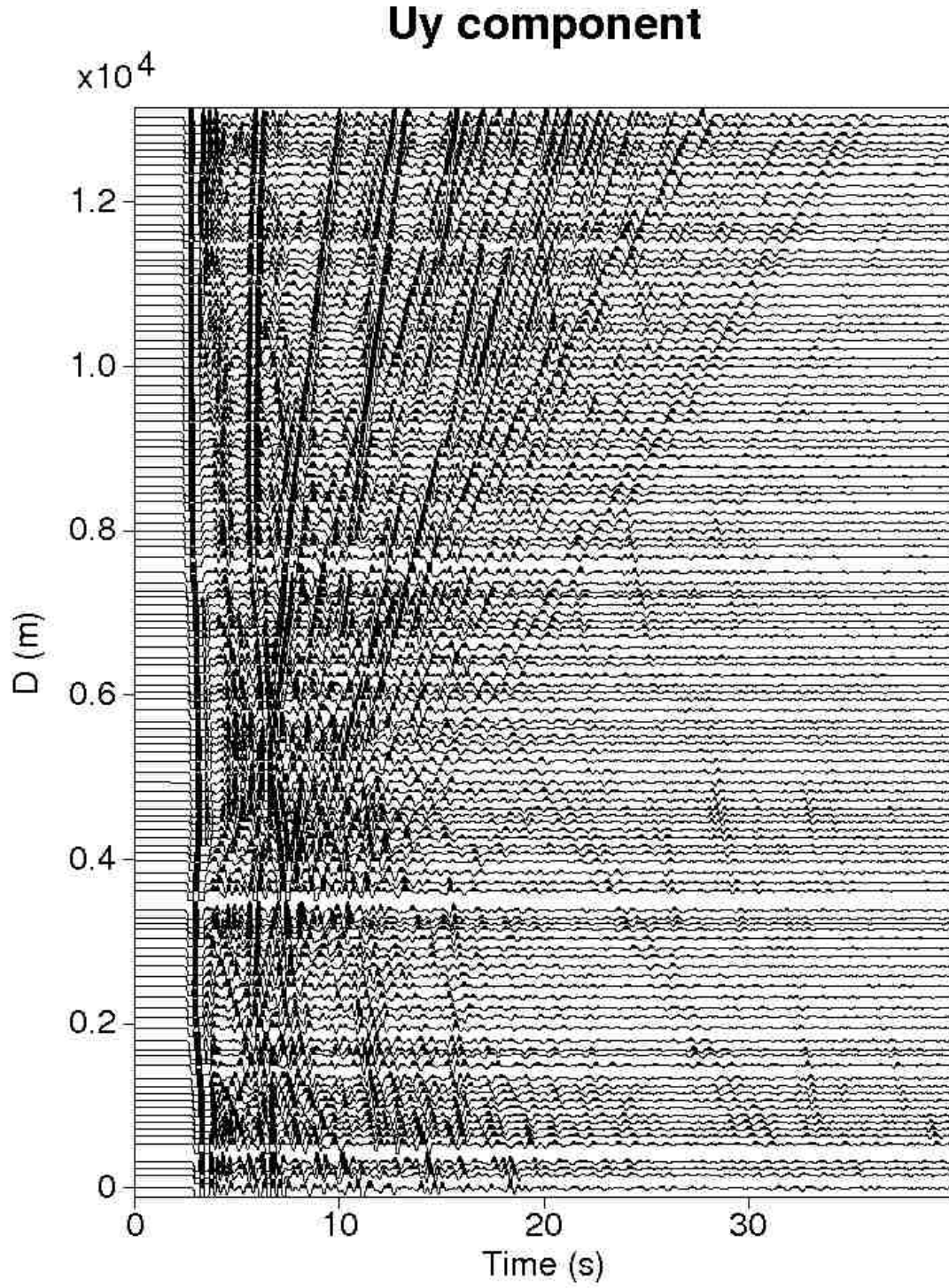


Şekil 22: AVC profiline ait 2B S-dalgası hız modeli.

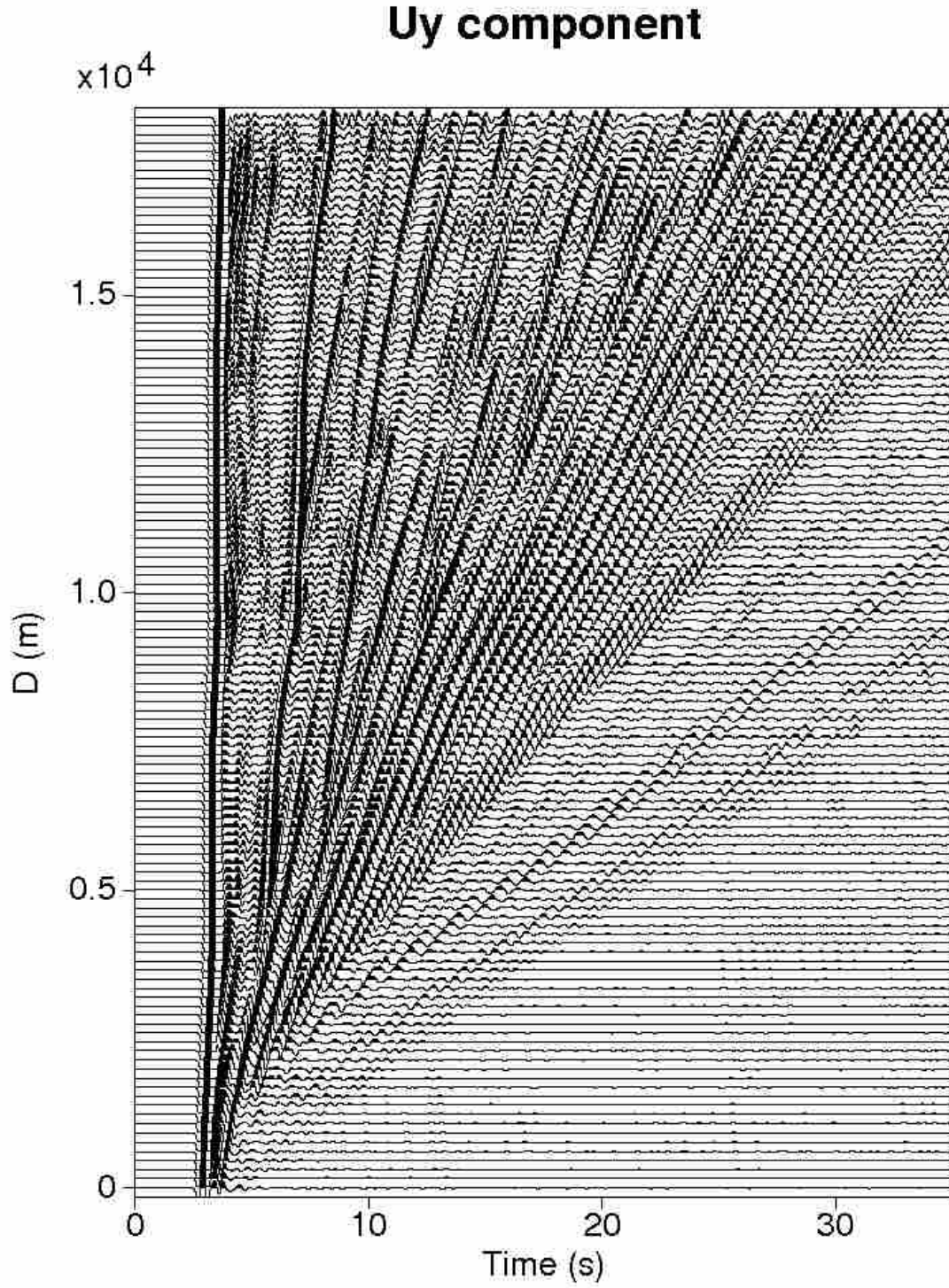
modelinden hesaplanan sentetik sismogramlar (tanecik hızı) verilmiştir. Simülasyonda 5 derece geliş açılı düzlem SH-dalgası kullanılmıştır. Kaynak zaman fonksiyonu baskın frekansı 2-Hz olan Ricker olan Ricker dalgacıdır. Şekil 24 de ise P2 profili için elde edilen sentetik sismogramlar verilmiştir.

## 6.2 Spektral Büyütmeler

Sönümlü en-küçük kareler yöntemi ile elde edilen ve içinde yumuşak değişimlerin olduğu hız modellerinin bazılarında Ek-1 de değinilen interaktif düz çözüm programı kullanılarak daha az katman sayılı ancak daha keskin hız değişimlerinin olduğu modeller elde edilmiştir. Hız gradyanlarının bulunduğu yumuşak değişimli modeller kullanılarak hesaplanan sismik büyütmelerin değerleri ile keskin hız değişimlerinin olduğu basit modellerden hesaplanan site amplifikasyon değerleri arasında büyük farklılıklar oluşmamıştır. 1B sismik amplifikasyon NRATTLE programı ile hesaplanmıştır. Şekil 25 de ki örnek incelendiğinde iki durum arasında genlikler açısından önemli bir fark görülmemektedir.

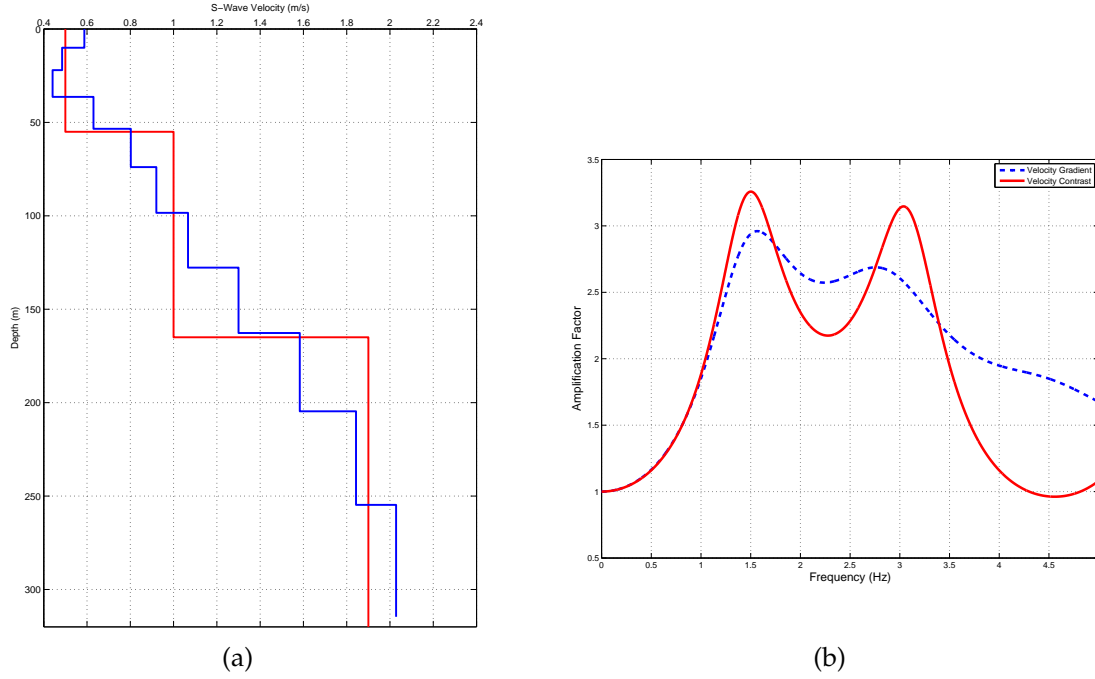


Şekil 23: AVC Profili için sentetik SH-dalgası sismogramları.



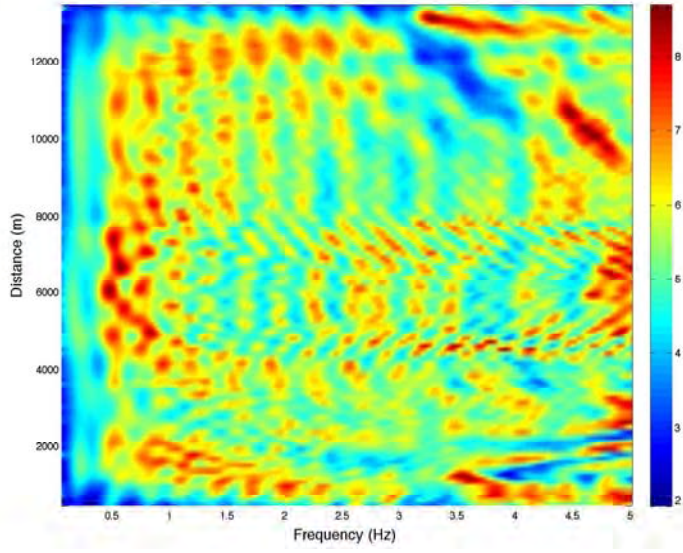
Şekil 24: P2 Profili için sentetik SH-dalgası sismogramları.

Ancak, yarı-sonsuz ortam (temel kaya) ile üzerinde yer alan katmanlar arasındaki hız

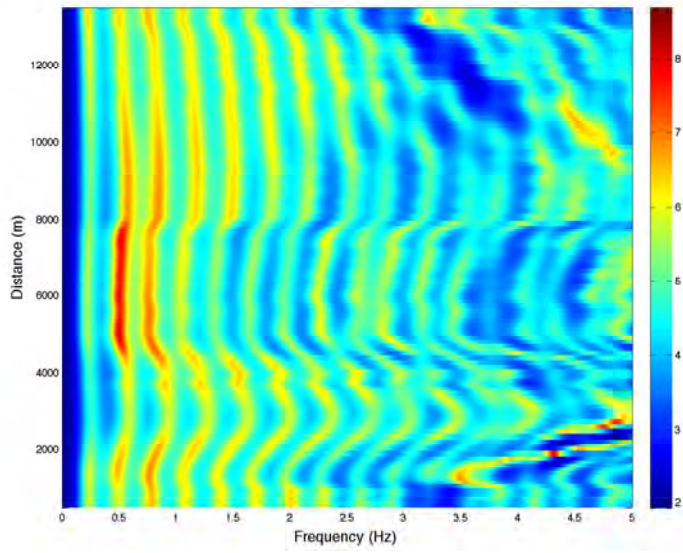


Şekil 25: (a) Hız gradyanlı ve hız kontrastlı iki model ve (b) Karşılık gelen 1B sismik büyütme.

kontrastı daha belirleyici bir faktördür. Bu nedenle doğrudan ters çözümlerden elde edilen yumuşak değişimli 1B hız yapıları kullanılarak 2B modeller elde edilmiştir ve simülasyonlar buna göre yapılmıştır. Spektral büyütme için tüm profil boyunca elde edilen sentetik sismogramlar daha sonra frekans ortamında kaynak dalgasının spektrumuna (yarı-sonsuz ortamdaki sismik genliğe karşılık gelmek üzere) oranlanmıştır. Ayrıca, iki boyutluluğun, elde edilen büyütme olan etkisini (1B dan farklı olarak) araştırabilmek için 2B modelden profil boyunca enterpolasyonla birçok 1B model oluşturulmuş ve her bir 1B hız modeli için NRATTLE programı ile spektral büyütme hesaplanmıştır. Şekil 26 de AVC profili için edilen spektral büyütme verilmiştir. Şekil 27 de ise P2 profili için edilen spektral büyütme verilmiştir. Bu çalışmada kullanılan yaklaşıma göre, spektral büyütme değerleri yüzeydeki genliklerin yarı-sonsuz ortamdaki genliklere oranı olarak hesaplanmıştır. Büyütme yüzeylenen bir anakayaya oranla elde



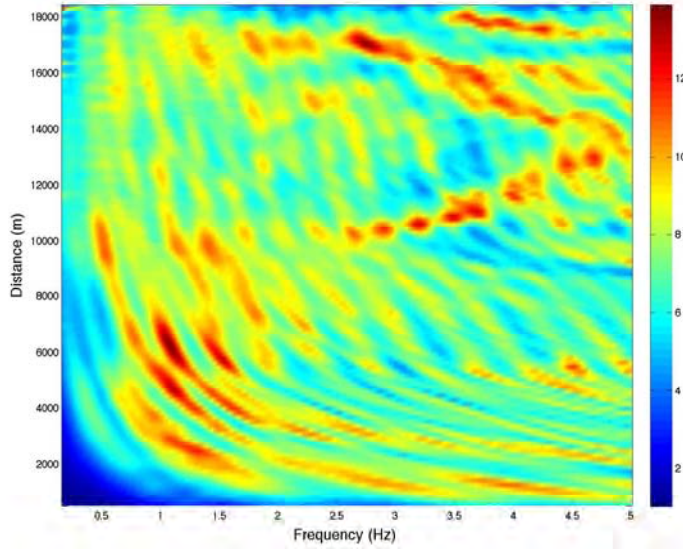
(a)



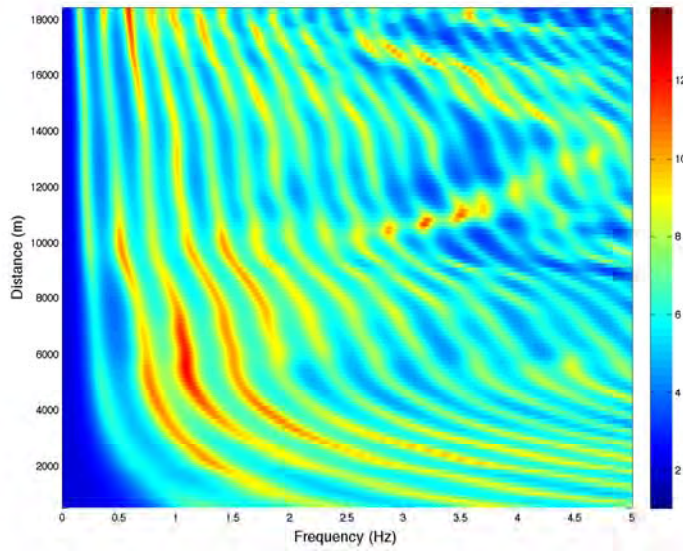
(b)

Şekil 26: AVC Profili boyunca spektral büyütme: 2B dalga yayını simülasyonundan (a), 1B modellerden hesaplanan (b).





(a)



(b)

Şekil 27: P2 Profili boyunca spektral büyüme: 2B dalga yayılımı simülasyonundan (a), 1B modellerden hesaplanan (b).

edilmiş olsaydı tüm değerler bulunanların 1/2 katı olacaktı. AVC profili için elde edilen sonuçlar incelendiğinde 2B lu modelden elde edilen büyütme değerlerinin özellikle 1 Hz den yüksek frekanslarda 1.5-2 kat daha fazla olduğu görülmektedir. AVC profili boyunca S-dalgası hız profili çok değişken değildir. Ancak profilin orta kesiminde (Avcılar'ın merkezi) 2-3 Hz de ve daha sonra 4-5 Hz arasında büyütme gözlemlenmektedir. Orta kesim aynı zamanda topoğrafyanın da yükseldiği yerdir.

P2 profili incelendiğinde, temel titreşim frekansı ve daha yüksek modları kuzeyden güneye doğru yüksek frekanslardan alçak frekanslara kaydığı gözlemlenmektedir. Ayrıca 1B lu analize göre güneye doğru gidildikçe yüksek frekansdaki büyütme arttığı gözlemlenmektedir. Sentetik sismogramlar incelendiğinde, özellikle güneye doğru kalınlaşan düşük hızlı birimlerin içinde gelişen uzun dalga paketlerine (reverberasyon/Love dalgası oluşumu) rastlanmaktadır.

## Kaynaklar

- [1] Aki, K., 1957. Space and time spectra of stationary stochastic waves with special reference to microtremors, Bull. Earthquake Res. Inst. Tokyo Univ., 35, 415-457.
- [2] Belirti Mühendislik, 2001. Avcılar ilçesi 1000 hektarlık alanın imara esas Jeolojik-Jeofizik-Jeoteknik Etüt Raporu, Nisan 2001, İstanbul.
- [3] Bonilla, L.F., Steidl, J.H., Lindley, G.T., Tumarkin, A.G., and Archuleta, R.J., 1997. Site amplification in the San Fernando Valley, California: Variability of site-effect estimation using the S- wave, coda, and H/V methods, Bull. Seism. Soc. Am., 87, 710-730.
- [4] Bozdağ, E. and Kocaoğlu, A., 2002. Estimation of Earthquake Site Effects by Array Processing of Microtremors. 1st International Symposium of Istanbul Technical

University the Faculty of Mines on Earth Sciences and Engineering, p.217, 16-18 May 2002, Istanbul, Turkey.

- [5] Boztepe-Güney, A. and Horasan, G., 2002. Enhanced ground motions due to large-amplitude critical Moho reflections (SmS) in the Sea of Marmara, Turkey, *Geophysical Research Letters*, 29, No:1.
- [6] Capon, J., 1969. High resolution frequency-wavenumber spectrum analysis, *Proc. IEEE*, 57, 1408- 1418.
- [7] Chouet, B., De Luca, G., Milana, G., Dawson, P., Martini, M. and Scarpa, R., 1998. Shallow velocity structure of Stromboli Volcano, Italy, derived from small-aperture array measurements of Strombolian tremor, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 88, 653-666.
- [8] Ergin, M., Özalaybey, S., Aktar, M., Yalçın, M.N., 2004. Site Amplification at Avclar, Istanbul, *Tectonophysics*, 391, 335-346.
- [9] Ferrazzini, V., and Aki, K., 1991. Characteristics of seismic waves composing Hawaiian volcanic tremor and gas piston events observed by a near source array, *Journal of Geophysical Research*, 96, 6199-6209.
- [10] Goldstein, P., and Archuleta, R.J., 1991. Deterministic frequency-wavenumber methods and direct measurements of rupture propagation during earthquakes using a dense array: Theory and methods, *Journal of Geophysical Research*, 96, 6173-6185.
- [11] Hartzell, S., Carver, D., Williams, R.A., Harmsen, S., and Zerva, A., 2003. Site response, shallow shear-wave velocity, and wave propagation at the San Jose, California, dense seismic array, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 93, 443-464.



- [12] Herece, E. ve Şentürk, K., 2000. Hava Harp Okulu Yerleşim Alanı Zemininin Deprem Davranışı Açısından İncelenmesi Projesi (Proje Başkanı: Erdal Herece), M.T.A. Genel Müdürlüğü-S.D. Üniversitesi, Ankara, Isparta.
- [13] Herrmann, R.B, and Ammon, C.J., 2002. *Computer Programs in Seismology, Surface Waves, Receiver Functions, and Crustal Structure, Version 3.15.*
- [14] Kudo, K., Kanno, T., Okada, H., Özel, O., Erdik, M., Takahashi, M., Sasatani, T., Higashi, S., and Yoshida, K., 2002. Site specific issues on strong ground motion during the Kocaeli, Turkey Earthquake of August 17, 1999, as inferred from array observations of microtremors and aftershocks, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 92, 448-465.
- [15] Liu, H.P., Moore, D.M., Joyner, W.B., Oppenheimer, D.H., Warrick, R.E., Zhang, W., Hamilton, J.C., and Brown, L.T., 2000. Comparison of phase velocities from array measurements of Rayleigh waves associated with microtremors and results calculated from borehole shear-wave velocity profiles, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 90, 666-678.
- [16] Louie, J.N., 2001. Faster, better: Shear-wave velocity to 100 meters depth from refraction microtremor arrays, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 91, No:2.
- [17] Malagnini, L., Rovelli, A., Hough, S.E. and Seeber, L., 1993. Site amplification estimates in the Garigliano Valley, Central Italy, based on dense array measurements of ambient noise, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 83, 1744-1755.
- [18] Malagnini, L., Tricario, P., Rovelli, A., Herrmann, R.B., Opice, S., Biella, G., and de Franco, R., 1996. Explosion, earthquake, and ambient noise recordings in a Pliocene sediment-filled valley: Inferences on seismic response properties by reference-and non-reference-site techniques, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 86, 670-682.

- [19] Milana, G., Barba, S., Del Pezzo, E., and Zambonelli, E., 1996. Site response from ambient noise measurements: New perspectives from an array study in Central Italy, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 86, 320-328.
- [20] Nakamura, Y., 1989. A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface, *QR of RTRI*, 30, 25-33.
- [21] Okada, H., 2003. *The microtremor Survey Method*, Geophysical Monographs, Society of Exploration Geophysicists, pp. 135.
- [22] Seekins, L.C., Wennerberg, L., Margheriti, L., and Liu, H.P., 1996. Site amplification at five locations in San Francisco, California: A comparison of S waves, codas, and microtremors, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 86, 627-635.
- [23] Yüzer, E. ve Eyüboğlu, R., 1998. Kentsel yerleşim planlamasında genelleştirilmiş bir mühendislik jeolojisi yaklaşımı (Avcılar-İstanbul), Kentleşme ve Jeoloji Sempozyumu, Uluslararası Mühendislik Jeolojisi Türk Milli Komitesi TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi Avcılar Belediye Başkanlığı, İstanbul, 233-248.
- [24] Zywicki, D.J., and Rix, G.J., 1999. Frequency-wavenumber analysis of passive surface waves, *The Symposium on the Application of Geophysics to Engineering and Environmental Problems*, Conference Proceedings, March 14-18, Oakland, CA, 75-84.

## 7 Ekler

### 7.1 Ek-1: Interaktif Dispersiyon Modelleme Programı

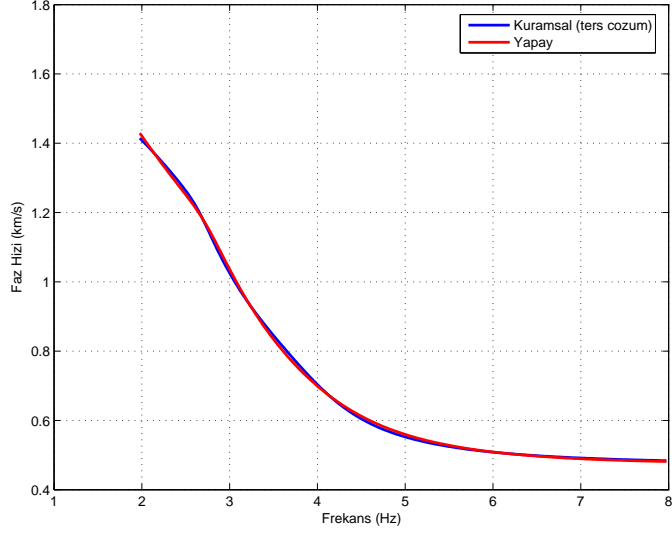
Sönümlü en-küçük-kareler yöntemiyle doğrusallaştırılmış ters çözüm yaklaşımının sağlıklı olarak kullanılması bakımından, birçok ince katmandan oluşan bir başlangıç modelinin seçimi ve buna bağlı olarak kullanılan diferansiyel yuvarlatma, genellikle keskin hız değişimlerinin olduğu katmanlı yapılar yerine, katman geçişlerinin hız gradyanlarıyla gerçek-

leştiği yapıların elde edilmesine yol açmaktadır. Bu durum, yarı-sonsuz ortam üzerinde bulunan iki katmanlı basit bir yapı için üretilen yapay dispersiyon verisi kullanılarak irdelenmiştir. Yapay veriyi üretmek için kullanılan model parametreleri Tablo 7.1 de verildiği gibidir. Şekil 28(a) da gösterilen yapay ve kuramsal (ters çözümden elde edilen) faz hızı dispersiyon verilerinin uyumu incelendiğinde, ters çözümden elde edilen modelin (Şekil 28(b)) veriyi temsil eden bir model olarak değerlendirilebileceği anlaşılmaktadır.

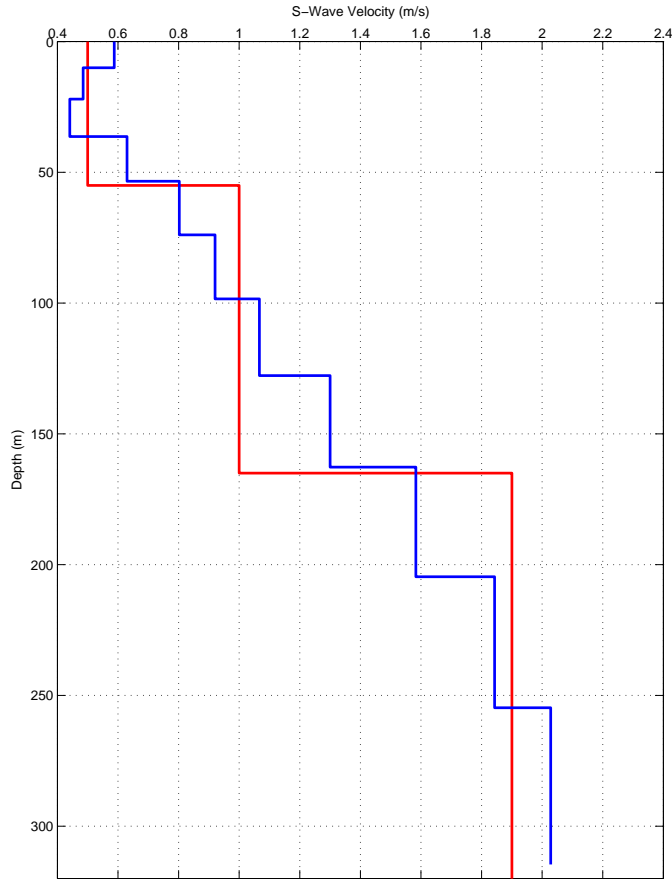
$H(m)$	$V_p(m/s)$	$V_s(m/s)$	$\rho(gr/cm^3)$
55	1658	500	1.7
110	2082	1000	1.9
-	3555	1900	2.2

Tablo 2: Yapay dispersiyon verisi için kullanılan hız modeli.

Diğer bir yaklaşım ise, bir kullanıcı arayüzü yardımıyla interaktif düz çözümler yaparak gözlemsel veriye en iyi uyumu veren modeli araştırmaktır. Proje kapsamında, bu yaklaşım benimsenerek MATLAB platformunda grafik arayüzlü bir program geliştirilmiştir. Düz çözümler modülü SURF96 programı içinde bulunan modülden MATLAB ortamına uyarlanmıştır. Geliştirilen bu programa istenirse SURF96 dan elde edilen bir S-dalgası hız modeli yüklenebilmekte ve hız modeli interaktif olarak değiştirilmekte ve kuramsal eğrideki değişim eş zamanlı olarak gözlemlenebilmektedir. Böylece, hız gradyanlarının olduğu bir modelden hareketle basitleştirilmiş modeller üretilebilmektedir.

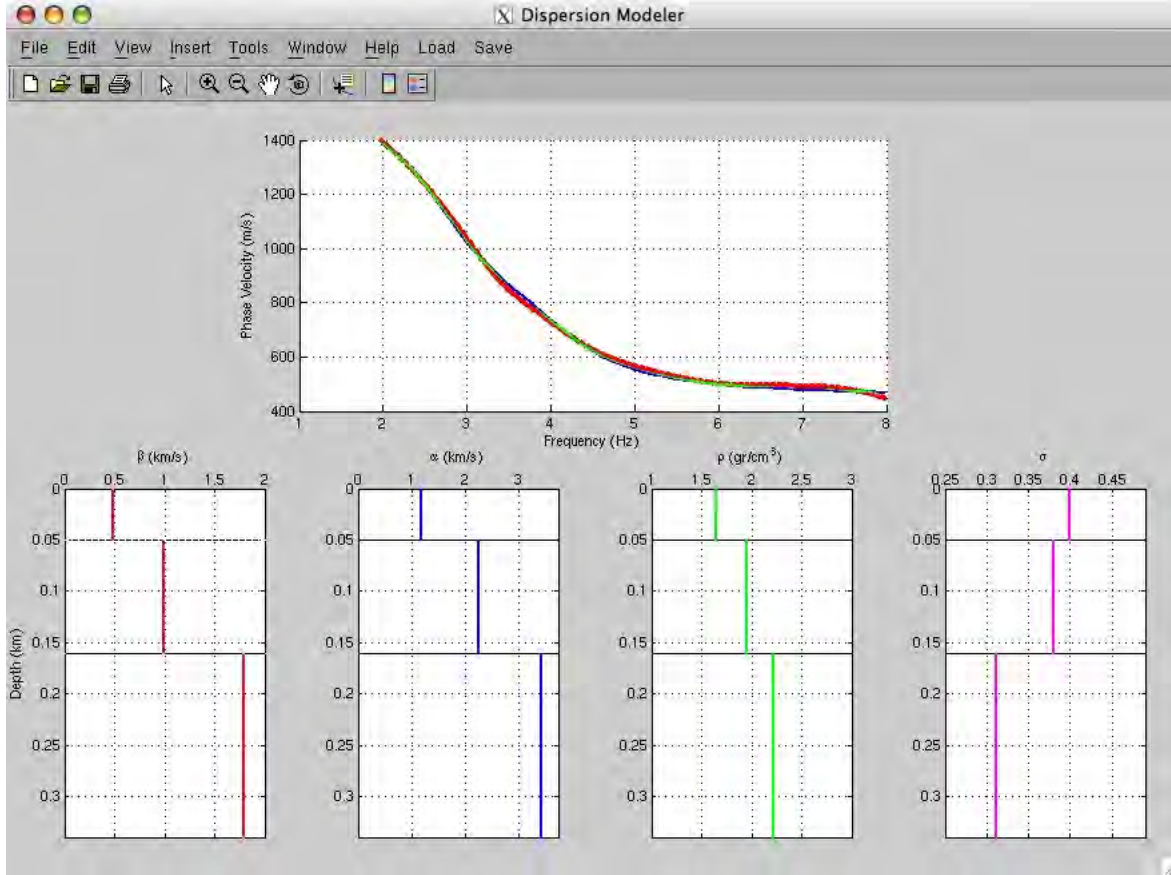


(a)



(b)

Şekil 28: (a) Gözlemsel veri (yapay) olarak kullanılan dispersiyon eğrisi ile ters çözümden elde edilen modele ait dispersiyon eğrisinin karşılaştırması ve (b) Yapay veriyi üretilirken kullanılan gerçek model ve ters çözümden elde edilen modelin karşılaştırması.



Şekil 29: Dispersiyon verilerinden S-dalgası hız modellerinin interaktif düz çözüm yaklaşımıyla belirlenmesi amacıyla MATLAB ortamında geliştirilen programdan bir görüntü. Mouse yardımı ile model üzerinde yapılan değişiklikler, kuramsal eğrinin dinamik olarak güncellenmesine ve böylece kuramsal ve gözlemsel eğrilerin karşılaştırılmasına olanak sağlamaktadır.