

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DALGA GRADİYOMETRİ YÖNTEMİ İLE YÜZEY DALGALARININ
DİSPERSİYON ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Aylin KARAASLAN

Anabilim Dalı : Jeofizik Mühendisliği

Programı : Jeofizik Mühendisliği

HAZİRAN 2011

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DALGA GRADİYOMETRİ YÖNTEMİ İLE YÜZEY DALGALARININ
DİSPERSİYON ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Aylin KARAASLAN
505081401

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 06 Mayıs 2011
Tezin Savunulduğu Tarih : 10 Haziran 2011

Tez Danışmanı :

Doç. Dr. Argun KOCAOĞLU

Diğer Jüri Üyeleri :

Doç. Dr. Ayşe Kaşlılar (İ.T.Ü)

Doç. Dr. Serdar ÖZALAYBEY (TÜBİTAK-MAM)

HAZİRAN 2011

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasında Dalga Gradiyometri Yöntemi kullanılarak Yüzey Dalgası Faz Hızı Dispersiyon eğrilerinin elde edilmesi amaçlanmıştır. Frekans Ortamı Dalga Gradiyometri Yöntemi (FDGY) ve Zaman Ortamı Dalga Gradiyometri Yöntemi (ZDGY) basit ve gerçekçi sentetik sismogramlar üzerine uygulanarak yöntemin önemli analiz parametreleri test edilmiş ve yöntemin sınırları belirlenmeye çalışılmıştır. Basit ve gerçekçi sentetik sismogramlar üzerinde ZDGY ve MASW (Yüzey Dalgalarının Çok Kanallı Analizi) ile gerçekleştirilen analiz sonuçları karşılaştırılmıştır.

Tez çalışmamın her aşamasında bilgisi ve önerileriyle bana yol gösteren değerli tez danışman hocam Doç. Dr. Argun Kocaoğlu'na çalışmama katkılarından dolayı içten teşekkürlerimi sunarım.

Bu tezin gerçekleştirilmesinde, fikir aşamasından sonuçlanmasına kadar geçen tüm süreçte, deneyimi ve tavsiyeleri ile karşılaştığım problemlerin çözümünde bana hep ışık tutan hocam Doç. Dr. Serdar Özalaybey'e katkılarından dolayı çok teşekkür ederim.

Çok kıymetli aileme, benden hiç esirgemedikleri destek ve gösterdikleri özveri için sonsuz teşekkürler.

Haziran 2011

Aylin KARAASLAN

İÇİNDEKİLER

Sayfa

KISALTMALAR	vii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	xi
SEMBOL LİSTESİ	xvii
DALGA GRADİYOMETRİ YÖNTEMİ İLE YÜZEY DALGALARININ DİSPERSİYON ANALİZİ	xix
DISPERSION ANALYSIS OF SURFACE WAVES BY USING WAVE GRADIOMETRY METHOD	xxi
1. GİRİŞ	1
2. DALGA GRADİYOMETRİ YÖNTEMİNİN TEORİSİ.....	7
2.1 Frekans Ortamı Dalga Gradiyometri Yöntemi (FDGY)	8
2.2 Zaman Ortamı Dalga Gradiyometri Yöntemi (ZDGY).....	9
3. BASİT SENTETİKLER İLE DALGA GRADİYOMETRİ YÖNTEMİNİN ÖNEMLİ PARAMETRELERİNİN ANALİZİ	15
3.1 Basit Sentetik Sismogramların Oluşturulması	16
3.2 Sayısal Türev Alma Algoritmalarının Karşılaştırılması.....	19
3.3 Dalga Gradiyometri Yöntemi İçin Alıcı Aralığı Analizi	25
3.3.1 FDGY için alıcı aralığı analizi	26
3.3.2 ZDGY için alıcı aralığı analizi.....	28
3.3.3 Dalga gradiyometri yöntemi için gürültü analizi	31
4. ZAMAN ORTAMI DALGA GRADİYOMETRİ YÖNTEMİNİN MASW İLE KARŞILAŞTIRILMASI	41
4.1 Tek Modlu Basit Sentetik İçin Karşılaştırma	42
4.1.1 Yüzey Dalgalarının Aktif Kaynaklı Çok Kanallı Analizi (MASW).....	51
4.2 İki Modlu Basit Sentetik İçin Karşılaştırma.....	57
4.2.1 İki modlu basit sentetik sismogramların üretilmesi	57
4.2.2 İki modlu basit sentetik ile mod ayrımlılığının incelenmesi.....	57
5. GERÇEKÇİ SENTETİKLER İÇİN ZDGY ANALİZİ.....	73
5.1 SF İle Üretilen Gerçekçi Sentetik İçin ZDGY Analizi.....	73
5.2 Dİ İle Üretilen Gerçekçi Sentetik İçin ZDGY Analizi.....	79
6. GERÇEK ATIŞ KAYITLARININ ZGDY İLE ANALİZ EDİLMESİ.....	83
SONUÇLAR	91
KAYNAKLAR	97
EKLER.....	101
ÖZGEÇMİŞ.....	109

KISALTMALAR

BNK	: Beş Nokta Kuralı
CPT	: Konik Penetrasyon Testi
DG	: Dalga Gradiyometri
DGK	: Dalga Gradiyometri Katsayıları
DGY	: Dalga Gradiyometri Yöntemi
DS	: Dalga-Sayısı Sentezleme
FHD	: Faz Hızı Dispersiyon
FDGY	: Frekans Ortamı Dalga Gradiyometri Yöntemi
FK	: Frekans-Dalgasayısı Yöntemi
GHD	: Grup Hızı Dispersiyon
İFF	: İleri Fark Formülasyonu
MASW	: Yüzey Dalgalarının Çok Kanallı Analizi
MFF	: Merkezi Fark Formülasyonu
REMI	: Mikrotremör Kırılma Yöntemi
SF	: Sonlu Farklar
SGO	: Sinyal Gürültü Oranı
SPAC	: Uzaysal Özilişki Yöntemi
SPT	: Standart Penetrasyon Testi
ÜNK	: Üç Nokta Kuralı
ZDGY	: Zaman Ortamı Dalga Gradiyometri Yöntemi
WGM	: Wave Gradiometry Method
FDGM	: Frequency Domain Wave Gradiometry Method
TDGM	: Time Domain Wave Gradiometry Method
SNR	: Signal to Noise Ratio

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1 : Sentetikleri üretmek için kullanılan hız modeli.	16
Çizelge 5.1 : SF için kullanılan yer modeli.	73

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 3.1	: Çizelge 3.1’de verilen yer modeli için hesaplanan FHD eğrileri.....	17
Şekil 3.2	: Çizelge 3.1’de verilen yer modeli için hesaplanan GHD eğrileri.....	17
Şekil 3.3	: 4m alıcı aralığı için hesaplanan sentetik sismogramlar.	18
Şekil 3.4	: 2m alıcı aralığı için hesaplanan sentetik sismogramlar.	18
Şekil 3.5	: 2m alıcı aralığına sahip sentetik sismogramlar üzerinde farklı sayısal türev alma operatörleri kullanılarak gerçekleştirilen FDGY analizleri ile elde edilen FHD eğrileri.....	21
Şekil 3.6	: 4m alıcı aralığına sahip sentetik sismogramlar üzerinde MFF ve BNK kullanılarak gerçekleştirilen FDGY analizleri ile elde edilen FHD eğrileri.	25
Şekil 3.7	: 4 m alıcı aralığı için FDGY kullanılarak elde edilen FHD eğrileri (renkli eğriler) ve karşılık gelen Teorik Dispersiyon Eğrisi (siyah eğri).	27
Şekil 3.8	: 2 m alıcı aralığı için FDGY kullanılarak elde edilen FHD eğrileri (renkli eğriler) ve karşılık gelen Teorik Dispersiyon Eğrisi (siyah eğri).	28
Şekil 3.9	: 4 m alıcı aralığı için ZDGY kullanılarak elde edilen FHD eğrileri (renkli eğriler) ve karşılık gelen Teorik Dispersiyon Eğrisi (siyah eğri).	29
Şekil 3.10	: 2 m alıcı aralığı için ZDGY kullanılarak elde edilen FHD eğrileri (renkli eğriler) ve karşılık gelen Teorik Dispersiyon Eğrisi (siyah eğri).	30
Şekil 3.11	: SGO=20 için 50-58 m aralığındaki alıcılara eklenen ilişkisiz (rastgele) beyaz gürültü.	32
Şekil 3.12	: %5 ilişkisiz (rastgele) beyaz gürültü için farklı ilk alıcı uzaklıklarından hesaplanan FHD eğrileri (renkli eğriler) ve Teorik Dispersiyon Eğrisi (siyah).	33
Şekil 3.13	: %5 oranında ilişkisiz (rastgele) beyaz gürültü için hesaplanan Ortalama eğri (kırmızı daireler), Standart Sapması (siyah dikey çubuklar) ve Teorik Dispersiyon Eğrisi (siyah kalın eğri).	33
Şekil 3.14	: SGO=20 için 50-58 m aralığındaki alıcılara eklenen aynı beyaz gürültü.	34
Şekil 3.15	: %5 oranında aynı gürültü eklenmiş farklı ilk alıcı uzaklıklarından hesaplanan FHD eğrileri (renkli eğriler) ve Teorik Dispersiyon Eğrisi (siyah).	35
Şekil 3.16	: %5 oranında aynı gürültü için hesaplanan Ortalama eğri (kırmızı daireler), Standart Sapması (siyah dikey çubuklar) ve Teorik Dispersiyon Eğrisi (siyah kalın eğri).	36
Şekil 3.17	: SGO=20 için 50-58 m aralığındaki alıcılara eklenen yüksek ilişkili (benzer) beyaz gürültü.	37

Şekil 3.18	: %5 oranında yüksek ilişkili (benzer) gürültü eklenmiş sinyallerden farklı ilk alıcı uzaklıklarında hesaplanan FHD eğrileri (renkli eğriler) ve Teorik Dispersiyon Eğrisi (siyah).	38
Şekil 3.19	: %5 oranında yüksek ilişkili gürültü için hesaplanan Ortalama eğri (kırmızı daireler), Standart Sapması (siyah dikey çubuklar) ve Teorik Dispersiyon Eğrisi (siyah kalın eğri).....	38
Şekil 4.1	: a) 242-250 m aralığındaki alıcılara ait süzülmemiş sinyaller b) Aynı sinyallerin $f_n = 0.5Hz$ merkez frekansında süzülmüş halleri.	43
Şekil 4.2	: $f_n = 0.5Hz$ merkez frekansı için ZDGY analizi. a) Analize katılan alıcı grubundan ortadaki alıcıya ait sismogramın kendisi (kırmızı) ve zamansal türevi (siyah). b) Yerdeğiştirme sinyalinin Hilbert dönüşümüne ait zarf. c) Yerdeğiştirme sinyalinin uzaysal türevine ait Hilbert dönüşümünün zarfı. d) Zamana bağlı B katsayısı e) Zamanın fonksiyonu olarak faz hızı f) $f_n = 0.5Hz$ için elde edilen faz hızı değeri (pembe dikdörtgen) ve teorik faz hızı eğrisi (siyah eğri).	44
Şekil 4.3	: $f_n = 4Hz$ merkez frekansı için ZDGY analizi. a) Analize katılan alıcı grubundan ortadaki alıcıya ait sismogramın kendisi (kırmızı) ve zamansal türevi (siyah). b) Yerdeğiştirme sinyalinin Hilbert dönüşümüne ait zarf. c) Yerdeğiştirme sinyalinin uzaysal türevine ait Hilbert dönüşümünün zarfı. d) Zamana bağlı B katsayısı e) Zamanın fonksiyonu olarak faz hızı f) $f_n = 4Hz$ için elde edilen faz hızı değeri (pembe dikdörtgen) ve teorik faz hızı eğrisi (siyah eğri).	47
Şekil 4.4	: $f_n = 10Hz$ merkez frekansı için ZDGY analizi. a) Analize katılan alıcı grubundan ortadaki alıcıya ait sismogramın kendisi (kırmızı) ve zamansal türevi (siyah). b) Yerdeğiştirme sinyalinin Hilbert dönüşümüne ait zarf. c) Yerdeğiştirme sinyalinin uzaysal türevine ait Hilbert dönüşümünün zarfı. d) Zamana bağlı B katsayısı e) Zamanın fonksiyonu olarak faz hızı f) $f_n = 10Hz$ için elde edilen faz hızı değeri (pembe dikdörtgen) ve teorik faz hızı eğrisi (siyah eğri).	49
Şekil 4.5	: Tek modlu sentetiğin 242-250 m aralığındaki alıcılar üzerinden ZDGY ile analiz edilmesi sonucunda elde edilen faz hızı dağılım paneli (renkli hız paneli) ve teorik FHD eğrisi (düz siyah eğri).	51
Şekil 4.6	: MASW yönteminin şematik gösterimi.	54
Şekil 4.7	: Tek modlu sentetiğe ait 100-250 m aralığındaki alıcı hattının MASW ile analiz edilmesi sonucunda elde edilen hız enerji çizimi, teorik FHD eğrisi (düz siyah eğri) ve k_{min} eğrisi (kesikli çizgi).	56
Şekil 4.8	: MASW ve ZDGY için kullanılan, farklı serim uzunluklarındaki (siyah oklarla gösterilen aralıklar) ve farklı ilk alıcı uzaklıklarındaki (yeşil renkle taralı alanlar) sismogramlar.	58
Şekil 4.9	: 100-250 m aralığındaki alıcı hattının MASW ile analiz edilmesi sonucunda elde edilen hız enerji çizimi, teorik FHD eğrileri (düz siyah eğriler) ve k_{min} eğrisi (kesikli çizgi).	59
Şekil 4.10	: 242-250 m aralığındaki beş alıcının ZDGY ile analiz edilmesi sonucunda elde edilen hızlar(renkli hız paneli) ve teorik FHD eğrileri (düz siyah eğriler).	60

Şekil 4.11	: 100-500 m aralığındaki alıcı hattının MASW ile analiz edilmesi sonucunda elde edilen hız enerji çizimi, teorik FHD eğrileri (düz siyah eğriler) ve k_{min} eğrisi (kesikli çizgi).....	61
Şekil 4.12	: 492-500 m aralığındaki beş alıcının ZDGY ile analiz edilmesi sonucunda elde edilen hızlar (renkli hız paneli) ve teorik FHD eğrileri (düz siyah eğriler).	62
Şekil 4.13	: 100-750 m aralığındaki alıcı hattının MASW ile analiz edilmesi sonucunda elde edilen hız enerji çizimi, teorik FHD eğrileri (düz siyah eğriler) ve k_{min} eğrisi (kesikli çizgi).....	63
Şekil 4.14	: 742-750 m aralığındaki beş alıcının ZDGY ile analiz edilmesi sonucunda elde edilen hızlar (renkli hız paneli) ve teorik FHD eğrileri (düz siyah eğriler).	64
Şekil 4.15	: 100-1000 m aralığındaki alıcı hattının MASW ile analiz edilmesi sonucunda elde edilen hız enerji çizimi, teorik FHD eğrileri (düz siyah eğriler) ve k_{min} eğrisi (kesikli çizgi).	65
Şekil 4.16	: 992-1000 m aralığındaki beş alıcının ZDGY ile analiz edilmesi sonucunda elde edilen hızlar (renkli hız paneli) ve teorik FHD eğrileri (düz siyah eğriler).	66
Şekil 4.17	: 242-250 m aralığındaki beş alıcının ZDGY ile analiz edilmesi sonucunda elde edilen hızlar (renkli hız paneli) ve teorik grup hızı eğrileri (düz siyah eğriler).....	67
Şekil 4.18	: 6 Hz merkez frekansı için 242-250 m alıcı aralığında gerçekleştirilen ZDGY analizi. a) Analize katılan alıcı grubundan ortadaki alıcıya ait sismogramın kendisi (kırmızı) ve zamansal türevi (siyah). b) Yerdeğiştirme sinyalinin Hilbert dönüşümüne ait zarf. c) Yerdeğiştirme sinyalinin uzaysal türevine ait Hilbert dönüşümünün zarfı. d) Zamana bağlı B katsayısı e) Zamanın fonksiyonu olarak faz hızı f) $f_n = 6Hz$ için elde edilen faz hızı değerleri (pembe-mor alan) ve teorik faz hızı eğrisi (siyah eğri).....	69
Şekil 4.19	: 6 Hz merkez frekansı için 992-1000 m alıcı aralığında gerçekleştirilen ZDGY analizi. a) Analize katılan alıcı grubundan ortadaki alıcıya ait sismogramın kendisi (kırmızı) ve zamansal türevi (siyah). b) Yerdeğiştirme sinyalinin Hilbert dönüşümüne ait zarf. c) Yerdeğiştirme sinyalinin uzaysal türevine ait Hilbert dönüşümünün zarfı. d) Zamana bağlı B katsayısı e) Zamanın fonksiyonu olarak faz hızı f) $f_n = 6Hz$ için elde edilen iki moda ait faz hızı değerleri (pembe-mor kareler) ve teorik faz hızı eğrisi (siyah eğri).	71
Şekil 5.1	: MASW (alıcı hattının tümü) ve ZDGY (yeşil renkle taralı alan) için kullanılan sismogramlar.	74
Şekil 5.2	: 88 m'deki sinyale ait genlik spektrumu	75
Şekil 5.3	: 86-90 m aralığındaki alıcılara ait sinyallere ZDGY Analizi uygulanması sonucunda elde edilen FHD paneli (renkli hız paneli) ve teorik faz hızı dispersiyon eğrileri (siyah eğriler).	76
Şekil 5.4	: 86-90 m aralığındaki alıcılara ait sinyallere ZDGY Analizi uygulanması sonucunda elde edilen FHD paneli (renkli hız paneli) ve teorik grup hızı eğrileri (siyah eğriler).....	77

Şekil 5.5	: 2-97 m aralığındaki alıcı hattına ait sinyallere MASW uygulanması sonucunda elde edilen hız enerji çizimi, teorik FHD eğrileri (siyah eğriler) ve k_{min} eğrisi (kesikli çizgi).	78
Şekil 5.6	: MASW (alıcı hattının tümü) ve ZDGY (yeşil renkle taralı alan) için kullanılan sismogramlar.	79
Şekil 5.7	: 298 m'deki sinyale ait genlik spektrumu	80
Şekil 5.8	: 296-300 m alıcı aralığındaki sinyallere ZDGY Analizi uygulanması sonucunda elde edilen FHD paneli (renkli hız paneli) ve teorik faz hızı dispersiyon eğrileri (siyah eğriler)	80
Şekil 5.9	: 100-300 m aralığındaki alıcı hattına ait sinyallere MASW uygulanması sonucunda elde edilen hız enerji çizimi, teorik FHD eğrileri (siyah eğriler) ve k_{min} eğrisi (kesikli çizgi).	82
Şekil 6.1	: a) Sp54 çalışma alanının Kocaeli İli içerisindeki konumu b) Daha önceki çalışmada Sp54 sahasından elde edilen MASW enerji hız çizimi (renkli panel) ve k_{min} , k_{max} eğrileri (gri eğriler).	84
Şekil 6.2	: ZDGY analizinde kullanılan alıcı grubuna ait sismogramlar.	85
Şekil 6.3	: ZDGY analizinin gerçekleştirildiği alıcı grubunda ortadaki alıcıya ait atış kaydının genlik spektrumu.	86
Şekil 6.4	: ZDGY analizi sonucunda elde edilen FHD (renkli hız paneli).	87
Şekil 6.5	: MASW analizi için kullanılan atış kayıtları.	88
Şekil A.1	: %10 oranında ilişkisiz beyaz gürültü için farklı ilk alıcı uzaklıklarından hesaplanan FHD eğrileri (renkli eğriler) ve Teorik Dispersiyon Eğrisi (siyah).	102
Şekil A.2	: %15 oranında ilişkisiz beyaz gürültü için farklı ilk alıcı uzaklıklarından hesaplanan FHD eğrileri (renkli eğriler) ve Teorik Dispersiyon Eğrisi (siyah).	102
Şekil A.3	: %10 oranında aynı gürültü için farklı ilk alıcı uzaklıklarından hesaplanan FHD eğrileri (renkli eğriler) ve Teorik Dispersiyon Eğrisi (siyah).	103
Şekil A.4	: %20 oranında aynı gürültü için farklı ilk alıcı uzaklıklarından hesaplanan FHD eğrileri (renkli eğriler) ve Teorik Dispersiyon Eğrisi (siyah).	103
Şekil A.5	: %50 oranında aynı gürültü için farklı ilk alıcı uzaklıklarından hesaplanan FHD eğrileri (renkli eğriler) ve Teorik Dispersiyon Eğrisi (siyah).	104
Şekil A.6	: %10 oranında yüksek ilişkili gürültü için farklı ilk alıcı uzaklıklarından hesaplanan FHD eğrileri (renkli eğriler) ve Teorik Dispersiyon Eğrisi (siyah).	104
Şekil A.7	: %25 oranında yüksek ilişkili gürültü için farklı ilk alıcı uzaklıklarından hesaplanan FHD eğrileri (renkli eğriler) ve Teorik Dispersiyon Eğrisi (siyah).	105
Şekil A.8	: %10 oranında ilişkisiz gürültü için hesaplanan Ortalama eğri (kırmızı daireler), Standart Sapması (siyah dikey çubuklar) ve Teorik Dispersiyon Eğrisi (siyah kalın eğri).	105
Şekil A.9	: %15 oranında ilişkisiz gürültü için hesaplanan Ortalama eğri (kırmızı daireler), Standart Sapması (siyah dikey çubuklar) ve Teorik Dispersiyon Eğrisi (siyah kalın eğri).	106

Şekil A.10 :	%10 oranında aynı beyaz gürültü için hesaplanan Ortalama eğri (kırmızı daireler), Standart Sapması (siyah dikey çubuklar) ve Teorik Dispersiyon Eğrisi (siyah kalın eğri).	106
Şekil A.11 :	%20 oranında aynı beyaz gürültü için hesaplanan Ortalama eğri (kırmızı daireler), Standart Sapması (siyah dikey çubuklar) ve Teorik Dispersiyon Eğrisi (siyah kalın eğri).	107
Şekil A.12 :	%50 oranında aynı beyaz gürültü için hesaplanan Ortalama eğri (kırmızı daireler), Standart Sapması (siyah dikey çubuklar) ve Teorik Dispersiyon Eğrisi (siyah kalın eğri).	107
Şekil A.13 :	%10 oranında yüksek ilişkili gürültü için hesaplanan Ortalama eğri (kırmızı daireler), Standart Sapması (siyah dikey çubuklar) ve Teorik Dispersiyon Eğrisi (siyah kalın eğri).	108
Şekil A.14 :	%25 oranında yüksek ilişkili gürültü için hesaplanan Ortalama eğri (kırmızı daireler), Standart Sapması (siyah dikey çubuklar) ve Teorik Dispersiyon Eğrisi (siyah kalın eğri).	108

SEMBOL LİSTESİ

p: Yatay Dalga Yavaşlığı
G(x): Geometrik Yayılma
A(x) ve B(x): Dalga Değişimi Katsayıları
u: Yer Değiştirme
 $\hat{u}_x, u_x$: Yer Değiştirmenin Uzaysal Türevi
 $\dot{u}(t), u_t$: Yer Değiştirmenin Zamansal Türevi
 ω : Açısız Frekans
 $\omega(t)$: Anlık Frekans
 ψ : Yer Değiştirme Uzaysal Türev Analitik Sinyalinin Anlık Fazı
 ϕ : Yer Değiştirme Analitik Sinyalinin Anlık Fazı
 Δx : Uzaysal Örnekleme Aralığı
dt: Zamanda Örnekleme Aralığı
 λ : Dalga Boyu
k: Dalga Sayısı
t: Zaman
h: Türev Örnekleme Aralığı
Vs: S-dalgası Hızı
 ω_n : Gauss Filtresinin Merkez Frekansı
 α : Filtre Fonksiyonunun Çözünürlük Parametresi
 f_0 : Merkez Frekans
 $|U|$: Yerdeğiştirme Sinyalinin Hilbert Dönüşümünün Zarfı
C(t): Zamana Bağlı Faz Hızı
 $f'(x_0)$: f(x) Fonksiyonunun x_0 Noktasındaki Türevi
 δ : Türev Hatası
 $\omega_{l,n}$: Simetrik Filtrenin Alt Limiti
 $\omega_{u,n}$: Simetrik Filtrenin Üst Limiti
 $H_n(\omega)$: Gauss Filtre Fonksiyonu
 $h_n(t)$: Zaman Ortamında Gauss Filtresi
 β : Filtre Fonksiyonunun Düşüm Parametresi
 $u(x, t)$: Uzaklık-Zaman Ortamında Atış Ölçümü
 $U(x, \omega)$: Atış Ölçümünün Fourier Dönüşümü
 $P(x, \omega)$: Faz Spektrumu
 $A(x, \omega)$: Genlik Spektrumu
 Φ : Dalga Sayısı
 c_ω : ω Frekansındaki Faz Hızı
 $V(\omega, \phi)$: $U(x, \omega)$ Fonksiyonunun İntegral Dönüşümü
 $I(\omega, c_\omega)$: Frekans ve Faz Hızına Bağlı Tanımlanan Dalga Alanı

DALGA GRADİYOMETRİ YÖNTEMİ İLE YÜZEY DALGALARININ DİSPERSİYON ANALİZİ

ÖZET

Bu tez çalışmasında, iyi kalibre edilmiş, yoğun sismik dizinler ile kaydedilen dalga alanına ait uzaysal gradyan kullanılarak yatay dalga yavaşlığı ve geometrik yayılmanın elde edilmesine yarayan Dalga Gradiyometri Yöntemi (DGY) kullanılarak yüzey dalgası Faz Hızı Dispersiyon (FHD) eğrilerinin elde edilmesi amaçlanmıştır. DGY’de uzaysal türevin doğru bir şekilde alınması büyük önem taşıdığından öncelikle, yöntemin uzaysal gradyan parametreleri olan alıcı aralığı ve uzaysal türev alma operatörleri değerlendirilmiştir (explored). Yerdeğiştirme alanına ait uzaysal gradyanın hesaplanmasından kaynaklanacak hatayı en aza indirmek amacıyla, Sonlu Farklar yaklaşımına dayanan farklı türev operatörleri denenmiş ve sonuç olarak tüm analizlerde uzaysal türevin hesaplanmasında en az hata ile çalışan Beş Nokta Kuralı tercih edilmiştir. BNK için alıcı aralığı ve %10 hata ile çözülebilecek en küçük dalga boyu arasında bir ilişki tanımlanmış ve Merkezi Fark Formülasyonu (MFF) yerine BNK kullanılması durumunda uygulamada iki kat büyük bir alıcı aralığının yeterli olacağı görülmüştür.

DGY ile, mühendislik sismolojisi çalışmalarında yüzey dalgalarının dispersiyon analizi için sıkça kullanılan bir yöntem olan MASW’nin karşılaştırılması amacıyla; gürültü içermeyen, tek modlu sentetik sismogramlar kullanılmıştır. Frekans Ortamı Dalga Gradiyometri Yöntemi (FDGY) ve Zaman Ortamı Dalga Gradiyometri Yöntemi (ZDGY) kullanılarak, tüm frekans bandında teorik faz hızları ile uyumlu faz hızları hesaplanmıştır. Bununla beraber, MASW kullanılarak elde edilen faz hızlarının düşük çözünürlüğe sahip olduğu ve hem FDGY hem de ZDGY’nin alçak frekans bandında MASW’ye oranla önemli bir üstünlüğünün olduğu görülmüştür. Aynı zamanda, farklı alıcı uzaklıkları için FHD hesaplanmış ve tek modlu, gürültüsüz sentetik veri seti için farklı alıcı uzaklıklarından alınan sinyallerin kullanılmasıyla elde edilen faz hızlarını değiştirmediği gözlenmiştir.

DGY’nin gürültü ile ilgili sınırlarını belirlemek amacıyla, farklı içerikli beyaz gürültüler tek modlu sentetik sismogramlara eklenmiş ve elde edilen FHD sonuçları değerlendirilmiştir. Sonuç olarak yöntemin, gürültü içeriğinin türüne bağlı olarak, 2-10 seviyelerindeki Sinyal Gürültü Oranı (SGO) için kabul edilebilir hata sınırları içerisinde çalıştığı görülmüştür. Sismogramın tüm kanallarına ilişkisiz (rastgele) gürültü eklenmesi durumunda, yüksek SGO’lar için dahi alıcı uzaklığına bağımlı sonuçlar elde edilmiştir. Sismogramın tüm kanallarına aynı ya da yüksek ilişkili (benzer) gürültü eklenmesi durumunda, farklı alıcı uzaklıklarından elde edilen faz hızlarının 2-4 gibi oldukça düşük SGO’larda dahi birbiriyle örtüştüğü görülmüştür.

DGY'nin çoklu modlar içeren bir dalga alanı için performansını test etmek amacıyla, temel mod ve 1. yüksek modları içeren başka bir sentetik veri seti hazırlanmıştır. Çoklu mod durumunda, iki mod aynı frekansta farklı faz hızları ile seyahat edeceğinden, dalga alanının spektral oranları ile çalışan FDGY kullanılarak, bir frekans için yalnızca tek bir faz hızı hesaplanabilecek ve bu faz hızı da her iki moda ait faz hızlarının bir bileşimi olacaktır. Bu nedenle, iki modlu sentetik sismogramların analiz edilmesi için ZDGY kullanılmıştır. Sentetik veri setine ZDGY'nin uygulanması sonucunda, DGY'nin iki moda ait faz hızlarını çözme becerisinin kullanılan Gauss filtresinin modları ayırma gücüne ve uzaklık bağımlı mod girişimine bağlı olduğu görülmüştür. ZDGY yakın alanda yetersiz sonuçlar vermekte ve yöntemin başarısı, uzaklıkla artan mod ayrımlılığı nedeniyle, uzak mesafelerdeki alıcılara ait verilerin kullanılması ile kademeli olarak artmaktadır. MASW'nin iki moda ait faz hızlarını çözme konusunda daha başarılı olduğu görülmüştür. Diğer taraftan, yöntemin alçak frekansta faz hızı çözünürlüğü çok düşük kalmakta ve analizde çok uzun alıcı hatlarına ait çok kanallı veriler kullanılmadığı sürece bu problem devam etmektedir.

Sonlu Farklar (SF) ve Dalgasayısı İntegrasyonu (Dİ) kullanılarak üretilen gerçekçi sentetikler üzerinde karşılaştırmalı ZDGY ve MASW analizleri gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak, ZDGY ile hesaplanan FHD'nin çözünürlüğünün yalnızca temel mod enerjisinin var olduğu alçak frekanslarda MASW'ye göre çok daha yüksek olduğu görülmüştür. Bununla beraber, ZDGY yüzey dalgası modlarına ait grup hızlarının birbirine yaklaştığı frekanslarda gerçekleşen mod girişiminden etkilenmektedir. Bu durum yakın alıcı uzaklıklarında, modlara ait faz hızlarının düşük çözünürlükte hesaplanmasına neden olmaktadır. MASW ise alıcı hattındaki tüm kanalların dalga alanı verisini kullandığından, iki moda ait faz hızlarını saptama konusunda daha iyi sonuçlar vermektedir.

Son olarak, toplanan gerçek bir atış verisi ZDGY ve MASW ile analiz edilmiş ve elde edilen sonuçlar birbiriyle ve aynı sahada daha önce gerçekleştirilen bir çalışmanın sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Toplanan atış kaydında, temel mod enerjisi bulunmadığından her iki yöntemin uygulanması sonucunda yalnızca 1. yüksek moda ait faz hızları hesaplanabilmiştir. Sonuç olarak, her iki yöntem kullanılarak elde edilen FHD'nin birbiriyle ve aynı sahada daha önce gerçekleştirilen çalışmanın FHD sonuçları ile uyumlu olduğu görülmüştür. Sentetik veri setinden elde edilen sonuçlarla da uyumlu olarak, alçak frekanslarda ZDGY'nin faz hızlarını çözme konusunda MASW'ye oranla daha iyi bir sonuç vermiştir.

Sentetik ve gerçek veri setleri üzerinde gerçekleştirilen uygulamalardan elde edilen sonuçlara dayanarak, dalga alanına ait uzaysal gradyanın analiz edilmesinin tek modlu yüzey dalgası yayılımı için dispersiyon analizinde alternatif ve pratik yeni bir yöntem olarak kullanılabileceği önerilmiştir. Bununla beraber, çok modlu dalga yayılımını içerebilecek daha gerçekçi uygulamalar için DGY, alçak frekans bandındaki yüksek çözünürlük gücü ile, yüzey dalgası dispersiyon analizinde MASW'yi tamamlayıcı bir yöntem olarak kullanılabilir.

DISPERSION ANALYSIS OF SURFACE WAVES BY USING WAVE GRADIOMETRY METHOD

SUMMARY

The aim of this study is to obtain surface wave phase velocity dispersion by using Wave Gradiometry Method (WGM) which is based on the estimation of horizontal wave-slowness and geometrical spreading using the spatial gradient of the wavefield recorded by well-calibrated and dense seismic arrays. Since WGM requires accurate spatial derivatives, first of all, the optimum spatial gradient parameters; sensor spacing and spatial differentiation operations are explored. Differentiation operators based on numerical finite difference approximation are examined in order to calculate spatial gradients of the displacement field and as a conclusion Five Point Rule is chosen for its lowest error values. A relationship between sensor spacing and minimum wavelength that can be resolved with %10 derivation error is defined for the Five Point Rule. It is observed that for this error level, two times the given sensor spacing is enough while using Five Point Rule rather than Central Difference Formula.

In order to test and compare the performance of WGM with MASW method, which is commonly used for the dispersion analysis of surface waves in engineering seismology studies, synthetic seismograms including single-mode, noise-free surface waves are used. WGM is applied by using the frequency domain (FDGM) and time domain (TDGM) approaches. Both FDGM and TDGM result in phase velocities consistent with the theoretical phase velocities for almost all frequency band. On the other hand, phase velocity dispersion estimated from the MASW suffers from insufficient spatial resolution and it is seen that both FDGM and TDGM have a significant superiority over MASW at the lower frequency band. Phase velocity dispersion is also computed using sensors from different offsets and it is observed that using signals from different offsets does not change the phase velocity dispersion results for the synthetic data set.

For the determination of the limitations of WGM related to the nature of the noise content, different types of white noise are added on to the single-mode synthetic seismograms and the estimated phase velocity results are evaluated. As a result, it is observed that the method can yield accurate results with reasonable error levels for Signal to Noise Ratios (SNRs) of 2-10 depending on the nature of the noise content. In the case of uncorrelated noise, offset variable phase velocity results are obtained even for high SNRs. On the other hand, for the same and/or highly correlated white noise content, phase velocities estimated from different offsets are consistent for SNRs as low as 2 to 4.

To test the performance of WGM for a wavefield consisting of multi-mode surface waves, another synthetic data set, including only fundamental and the first higher modes, is prepared. In this multi-mode case, since the two modes propagate with different phase velocities at a given frequency, using FDGM, which is based on the frequency domain spectral ratios of the wavefield, only one phase velocity will be observed and this phase velocity will be the combination of the phase velocities of the two surface wave modes. Hence, because of this deficiency of FDGM, TDGM is chosen for the analysis of the multi-mode synthetic seismograms. The application of TDGM to this synthetic data set shows that the WGM's success to resolve phase velocities of the two modes depend on the mode separation ability of the time domain Gaussian filter applied and the degree of offset dependent modal interference. Thus, it is observed that TDGM achieves poor results at near offsets and its success increases gradually by using data from larger offsets since the two modes get most separated in time as a function of increasing offset. On the other hand, MASW seems to perform better in resolving the phase velocities of the two modes while the low frequency resolution limitations remain problematic unless multi-channel data from unrealistic long offsets are used.

Complete synthetic seismograms computed using Finite Difference and Wavenumber Integration Methods are also analyzed by using TDGM and MASW. As a result, it is seen that TDGM gives higher resolution phase velocity results than MASW at lower frequencies where only the fundamental mode energy exists. On the other hand, TDGM suffers from modal interference at frequencies where the group velocities of the fundamental and first higher mode converge. This results in poor resolution in distinguishing the phase velocities of these modes at near offsets. The MASW seems again better perform in recovering the phase velocities of the two modes since it uses the complete wave-field available from multi-channels.

Finally, a real shot gather data set collected at a given site is analyzed by TDGM and MASW to compare the results of the two methods with each other and with the results of an earlier study carried out at the same site. In this shot gather, the fundamental mode energy was absent and thus, only the phase velocity of the 1st higher mode is obtained by applying both TDGM and MASW. As a result, it is seen that the phase velocities estimated by using both methods are consistent with each other and results of the earlier study. In this case, in agreement with the results of the synthetic data set, it is seen that TDGM performs better than the MASW method in resolving the phase velocities at the lower frequency band.

Based on the applications on synthetic and real data sets, it is suggested that the analysis of spatial gradient of the wavefield can be a new alternative and practical method to obtain surface wave dispersion in the case of a single-mode surface wave propagation. However, for more realistic applications and considering multi-mode surface wave propagation, it can be used as complementary to MASW for the surface wave dispersion analysis with its high resolving power at lower frequencies.

1. GİRİŞ

Sediman alanlarda meydana gelen deprem hasarlarının sağlam kaya zemine oranla yüksek olduğunun görülmesi son yıllarda bu türden alanları popüler bir araştırma konusu haline getirmiştir (Wills,ve diğ., 2000; Zor, ve diğ., 2010). Günümüzde büyük depremler esnasında bazı sediman zeminlerde merkezüssünden uzakta olmalarına rağmen ağır hasarların meydana gelmesi ile ilgili örnekler çoktur. Bu örneklerden biri de 17 Ağustos 1999 depreminde ($M_w = 7.4$) merkezüssünden ~150 km uzaklıkta bulunan İstanbul'un Avcılar semtinde meydana gelen ağır hasardır. Avcılar'da oluşan bu ağır hasar yerel zemin etkileri ile açıklanmaktadır (Özel, ve diğ., 2002; Ergin ve diğ., 2004; Bozdağ ve Kocaoğlu, 2005). Zemine ait S-dalgası hız profilinin elde edilmesi, mevcut ve önerilen yapı stoğu da göz önünde bulundurularak deprem zararlarının azaltılmasında, acil durum hazırlığında ve çevre düzenleme planlamasında katkı sağlayan kilit parametrelerden biridir. Zeminin S-dalgası hız profilinin doğru bir şekilde elde edilmesi sismik tehlikenin belirlenmesi ve güçlü yer hareketlerinin simülasyonu için çok önemlidir (Frankel, 1993; Joyner 2000; Field ve diğ. 2000; Satoh ve diğ. 2001b). Zeminin özellikle 30m derinliğe kadar olan sıg S-dalgası profili (Vs30) ise, yapı kodlarında kullanılan yerel zemin koşullarının ve zemin etkisinin belirlenmesi için gereklidir. Bu nedenle zeminin S-dalgası hızı, günümüzde jeoteknik ve mühendislik çalışmalarında sıkça araştırılan önemli parametrelerden biri haline gelmiştir.

Zemin sınıflaması ve S-dalgası hızının belirlenmesi amacıyla günümüzde birçok farklı jeoteknik ve jeofizik araştırma yöntemi kullanılmaktadır. Zemine ait S-dalgası hızının elde edilmesi amacıyla uygulanan yöntemlerden bazıları Konik Penetrasyon Testi (CPT) (Lunne, 1997), Standart Penetrasyon Testi (SPT) (Clayton, 1995) ve kuyu sismiğidir (Dobrin ve Savit, 1988). Tüm bu yöntemlerde sondaj kuyularının açılması zorunlu olduğundan ve ölçüm yapılan cihazlar sondaj kuyularına indirildiğinden bu türden araştırmaların maliyeti yüksek ve arazide uygulanmaları da özellikle yerleşimin yoğun olduğu bölgelerde zor olmaktadır (Stephenson ve diğ., 2005).

Zemine ait S-dalgası hız profilinin belirlenmesi amacıyla jeofizik çalışmalarında sıkça kullanılan bir yöntem de klasik Sismik Kırılma Yöntemi'dir. Klasik Sismik Kırılma Yöntemi'nde S dalgasının üretilmesi oldukça zordur ve yöntemin uygulamasında şehirleşmenin yoğun olduğu bölgelerde düşük Sinyal Gürültü Oranı (SGO) nedeniyle sorunlar yaşanabilmektedir. Aynı zamanda Sismik Kırılma çalışmalarında yalnızca dispersiyon özelliği göstermeyen cisim dalgaları kullanıldığından zemine ait hız bilgisinin sığ derinlikler için elde edilebilmesi mümkün olmaktadır.

Günümüzde zemine ait S-dalgası hız yapısının belirlenmesi amacıyla yukarıda bahsedilen yöntemlere alternatif olarak aktif ve pasif kaynaklı yüzey dalgası yöntemleri geliştirilmiş ve bu yöntemler arazide kolay uygulanmaları ve ekonomik olmaları nedeniyle sıkça kullanılır hale gelmiştir (Park ve diğ., 1999; Stokoe ve diğ., 1994). Bu yöntemlerin uygulamasında yüzey dalgalarının dispersiyon özelliğinden yararlanılmakta, böylece S-dalgası hızının derinlikle değişimi belirlenebilmektedir. Yüzey dalgalarının seyahat hızı (faz hızı) dalganın frekansına (dalga boyuna) bağlı olarak değişim göstermektedir. Yüzey dalgalarının bu özelliğine dispersiyon adı verilmekte ve temelde zemine ait S-dalgası hızının derinlikle değişimine bağlı olarak ortaya çıkmaktadır. Aktif ya da pasif kaynaklardan yola çıkarak seyahat eden ve alıcılar tarafından kaydedilen Rayleigh dalgaları analiz edilerek kaynağın ve alıcıların hemen altındaki zeminin S-dalgası hız profili saptanabilmektedir. Bu amaçla Rayleigh dalgasına ait faz hızının dalganın frekansına bağlı olarak değişimini gösteren dispersiyon eğrileri ters çözüm işlemiyle zemine ait S-dalgası hızının derinlikle değişimini gösteren 1-boyutlu S-dalgası hız modellerine dönüştürülmektedir. Zeminin S-dalgası hız profilinin elde edilmesi ise, zemin büyütme tepki eğrisi, zemin hakim titreşim frekansı ve zeminin sıvılaşma potansiyeli gibi zeminin deprem esnasında göstereceği jeofizik ve jeoteknik davranışın modellenerek değerlendirilmesini sağlamaktadır.

Rayleigh dalgasına ait dispersiyon eğrilerinin elde edilmesi ve buradan 1-boyutlu S-dalgası hız modellerinin hesaplanması amacıyla birçok "Yüzey Dalgası Faz Hızı Analiz Yöntemi" kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden bazılarında kaynak olarak yerin doğal arka plan gürültüsü (pasif kaynak) kullanılırken, mühendislik amaçlı bazı yöntemlerde ise yüzey dalgası üretmeye yarayan balyoz, vibro ya da patlatma gibi yapay kaynaklar (aktif kaynak) tercih edilmektedir.

Pasif Kaynaklı Yüzey Dalgası Faz Hızı Analiz Yöntemleri genel anlamda Mikrotremör Dizin Yöntemleri olan Uzaysal Özilişki (SPAC) (Aki, 1957; Okada, 2003) ve Frekans-Dalgasayısı (FK) Analizleri'nin (Capon, 1957) yanında Mikrotremör Kırılma (REMI) Yöntemi (Louie, 2001) olarak sayılabilir.

Aktif kaynaklı bir Yüzey Dalgası Faz Hızı Analiz Yöntemi olan ve Park ve diğ. (1999) tarafından önerilen Yüzey Dalgalarının Çok Kanallı Analizi (MASW) ise son dönemde mühendislik amaçlı sığ çalışmalarda ya da Mikrotremör Dizin uygulamalarının yanında tamamlayıcı olarak sıkça kullanılan popüler bir yöntem haline gelmiştir. Bu yöntemde doğrusal bir alıcı dizini üzerinde kaydı alınan yüzey dalgası alanının hızı frekansın fonksiyonu olarak hesaplanmaktadır. Bu analiz ile elde edilen dispersiyon eğrileri, özellikle yüksek frekanslardaki (5-15 Hz) yüzey dalgası faz hızı değişiminin ve dolayısıyla sığ derinliklerdeki ($< 30-40$ m) S-dalgası hızının elde edilmesine yönelik bilgi sağlamaktadır.

Mikrotremör Dizin uygulamaları ya da MASW analizinin yanında tamamlayıcı olarak kullanılabilecek yeni bir aktif kaynaklı yöntem ise ilk kez Langston (2007a) tarafından sunulmuştur. Yöntem, dalga denkleminin basit bir çözümünü yer değiştirme alanına ait uzaysal gradyanı, zaman gradyanı (hız) ve yer değiştirmenin kendisiyle ilişkilendirmek için kullanmaktadır (Langston, 2007a, 2007b ve 2007c). Dalga alanının uzaysal değişimini dalga denklemi üzerinden inceleyen yöntem, sonuç olarak yatay dalga hızının ve bunun yanında geometrik yayılmanın elde edilmesini sağlamaktadır. Bu yöntemde sismik dalga alanının uzaysal değişiminden yola çıkılarak dalgaya ait önemli özellikler ortaya konmakta ve dalgaya ait bu özellikler zemine ait hız gibi önemli parametrelerin saptanmasında kullanılmaktadır.

Sismik dalga alanının yer değiştirme gradyanının incelenmesi, Uzaysal Gradyan Analizi, günümüze kadar genel anlamda büyük depremler sonucunda oluşan kuvvetli yer hareketi kayıtlarının analizi için kullanılmıştır (Bodin ve diğ., 1997). Langston ve diğ. (2006) tarafından ABD'de yapılan bir çalışmada ise konsolide olmamış sediman bir alanda büyük patlatmalar gerçekleştirilmiş ve Uzaysal Gradyan Analizi bu patlatmaların kuvvetli yer hareketi kayıtlarına uygulanmıştır. Çalışmada kullanılan veri seti Mississippi körfezinde gerçekleştirilen iki büyük patlatmanın doğrusal bir dizin tarafından kaydedilen üç bileşen kuvvetli yer hareketi ivme kayıtlarından oluşmaktadır.

Sonuç olarak yüksek genliğe sahip cisim ve yüzey dalgası fazları için elde edilen sonuç hız değerlerinin, fazların varış zamanlarının modellenmesi sonucunda bulunan değerler ile bütünüyle örtüştüğü görülmüştür.

Sonrasında Langston (2007a)'da bu analiz yöntemi doğrusal sismik dizinler için uygulanmış, böylece Sismik Yerdeğiştirme Gradyanı Analizi'nin kullanım alanı genişletilmiştir. Bu çalışmada yöntem kuvvetli yer hareketi verilerinin yanında sismik kırılma veri setlerine de uygulanmış ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Sismik kırılma veri seti SH-dalgası kaynağından üretilen sismik dalgaların yatay jeofon dizini kayıtlarından oluşmaktadır. Çalışmada sismik kırılma hattı boyunca seyahat eden Love dalgalarının yatay yavaşlıklarının değişimi ve göreceli geometrik yayılmaları incelenmiş ve hat boyunca bu iki parametrede belirgin değişimler olduğu gözlenmiştir.

Uzaysal Gradyan Analizi'nin 2-boyutlu bölgesel dizinlere uygulanması Langston (2007b)'de gerçekleştirilmiştir. Yer değiştirme gradyanı, gelişigüzel yerleştirilmiş 2-boyutlu sismometre dizin kayıtları için bir “Sonlu Farklar” yaklaşımı ile hesaplanmış ve yer değiştirme gradyanının frekans bağımlı hataları ortaya konarak doğru sonuçların elde edilmesi sağlanmıştır. Çalışmada gerçekleştirilen sismik dalgaların 2-boyutlu Uzaysal Gradyan Analizi sonucunda dalganın genlik ve faz özellikleri olan yatay yavaşlık, yayılma yönü, radyal geometrik yayılma değişimleri ve yayılma yapısındaki azimutla ilgili değişimler gibi önemli bilgiler elde edilmiştir. Böylece 1-boyutlu analiz sonuçlarına ek olarak, dalga azimutu ve azimutla ilgili yayılma yapısı gibi dalganın yöne bağlı özellikleri de saptanmış olmaktadır. Moscow, Tennessee'de konumlandırılmış beş elemanlı kare şeklindeki 2-boyutlu dizin ile New Madrid Sismik Zonu'nda meydana gelen bir yerel deprem kaydedilmiş ve kayıtlar Langston (2007b)'de sunulan analiz tekniği kullanılarak değerlendirilmiştir. Değerlendirmeler sonucunda, analizin yerel deprem kaynaklı P ve S dalgalarının yayılma yönünün saptanmasında oldukça başarılı olduğu görülmüştür. Aynı zamanda kaydedilen dalgaların büyük bir kısmının dizin boyunca ileri seyahat eden ve geri saçılan düşük faz hızlı yüzey dalgalarından meydana geldiği ortaya konmuştur. Ampirik bir Monte Carlo tekniği ile hesaplanan yavaşlık, geometrik yayılma ve yayılma yapısı katsayılarına ait hatalar da belirlenmiştir. Bu çalışma ile Uzaysal Gradyan Analizi'nin içerisinde birçok farklı dalga yayılma sistemini barındıran karmaşık sismogramların çözümlenmesinde kullanılabileceği

ortaya konmuştur. Sonuç olarak, Uzaysal Gradyan Analizi'nin birbirine girişen sinyallerin ayrılmasında başarılı bir şekilde kullanılabileceği görülmüş ve sismik, akustik ya da elektromanyetik kaynaklı farklı dalga tipleri için uygulanabilirliği önerilmiştir.

Diğer bir çalışmada (Liang ve Langston, 2009) Dalga Gradiyometri (DG) Analizi'nde Rayleigh dalgaları üzerine yoğunlaşmıştır. Bu çalışmada Kuzey Amerika'da konuşlandırılmış olan USArray ağına ait neredeyse eşit olarak aralıklandırılmış taşınabilir 400 adet istasyonda kaydedilen deprem sismogramları analiz edilmiştir. Ağırlıklandırılmalı ters çözüm ve indirgeyici hız teknikleri kullanılarak kullanılan düzensiz dizinler için uzaysal gradyanın doğru bir şekilde hesaplanması sağlanmış, gerçekleştirilen sayısal deneylerle Dalga Gradiyometri Yöntemi (DGY) ile hesaplanan parametreler analiz edilmiştir. Sayısal deneyler ve depremlerden elde edilen analiz sonuçlarında azimut ve yayılma yapısındaki değişimlerin ışın yollarına bağlı geliştiği, DGY ile hesaplanan faz hızlarının ana istasyon çevresindeki yerel hız ortalamasını temsil ettiği sonuçlarına varılmıştır. DGY'nin farklı yönlerden gelen deprem sinyalleri üzerine uygulanması ile faz hızı, dalga yönelimi, geometrik yayılma ve yayılma yapısı parametreleri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlarda Rayleigh dalgalarının ortalama faz hızları 60-150s periyot aralığında ortalama yer modelleri ile uyumlu şekilde 3.8-4.1 km/s arasında değişim göstermiş ve farklı yönlerden gelen depremler için gerçekleştirilen analizlerden hesaplanan faz hızı ve geometrik yayılma haritalarının arasında büyük benzerlikler gözlenmiştir. DGY'nin ortamdaki arka plan gürültüsüne duyarlılığını tespit etmek için orijinal sinyaller üzerine, sinyalin en büyük genlik değerinin $\pm\%10$ 'u aralığında değişen rasgele Gauss gürültüsü eklenmiştir. Gerçekleştirilen analizlerde gürültülü ve gürültüsüz sinyallerden elde edilen DG parametrelerinin arasında kuvvetli bir ilişki olduğu gözlenmiş, buradan DGY'nin ortamda $\%10$ gibi bir rasgele Gauss arka plan gürültüsü bulunması durumunda dahi duraylı olduğu sonucuna varılmıştır. Liang ve Langston (2009) çalışmasında aynı zamanda DGY'nin günümüzde dizin verilerinin analiz edilmesinde kullanılan İki İstasyon (Knopoff ve diğ., 1966; Yao ve diğ., 2006) ve Hüzmeleme (Birtill ve Whiteway, 1965; Rost ve Thomas, 2002) Teknikleri ile karşılaştırması yapılmıştır. Kurile Adaları depremlerinde meydana gelen depremlerin USArray kayıtlarına sırasıyla Dalga Gradiyometri Yöntemi (DGY), İki İstasyon ve Hüzmeleme Teknikleri uygulanarak yöntemlerin performansı test edilmiştir.

Dalga Gradiyometri ve İki İstasyon Yöntemleri ile faz hızı 100-125 s aralığında küresel ortalama ile uyumlu şekilde 4 km/s olarak elde edilirken, Hüzmeleme Tekniği ile 0.4 km/s daha hızlı faz hızları hesaplanmıştır. Bu çalışmada aynı zamanda DGY'nin diğer iki yöntemin uygulanması ile elde edilemeyen, dalga alanında gerçekleşen genlik değişimleri ve İki İstasyon Yöntemi ile verilemeyen dalga yönelimi gibi önemli parametrelerin hesaplanmasındaki başarısı ortaya konmuştur.

Langston (2007a)'da verilen Dalga Gradiyometri Analiz Yöntemi frekans ortamında spektral oranlamaya dayanmaktadır. Langston (2007a)'da belirtildiği gibi spektral oranlamanın yapıldığı herhangi bir yöntemde pencerelemeden kaynaklanan kesme etkileri, paydada yer alabilecek spektral boşluklar ve diğer gürültü kaynakları gibi problemler ile karşılaşılabilir (Langston ve Hammer, 2001). Spektral oranlamadan kaynaklanan sorunlardan kaçınmak için analitik sinyale dayanarak geometrik yayılmanın ve yatay dalga yavaşlığının (hızının) değişiminin elde edilmesini sağlayan zaman ortamı yaklaşımı Dalga Gradyanı Analizi Langston (2007c) tarafından verilmiştir. Bu yöntemde dalga alanının faz bilgisi de kullanıldığından dalga alanının yayılma yönü saptanabilmekte, aynı zamanda Langston (2007a)'da sunulan frekans ortamı yaklaşımı ile mümkün olmayan ve yüzey dalgalarının faz hızı analizinde önemli yer tutan mod ayrımlılığı da zaman ortamı yaklaşımı ile sağlanabilmektedir.

Bu tez çalışmasında Langston (2007a, 2007b ve 2007c) tarafından önerilen Dalga Gradiyometri Yöntemi kullanılarak Yüzey Dalgası Faz Hızı Dispersiyon eğrilerinin elde edilmesi amaçlanmıştır. FDGY ve ZDGY öncelikle basit sentetik sismogramlar üzerine uygulanmıştır. Frekans ortamı yaklaşımının ortamda birden fazla mod bulunması durumunda modlara ait faz hızlarını çözemeyeceği gerçeğinden yola çıkılarak gerçekçi sentetik sismogramlar üzerine ZDGY uygulanarak önemli analiz parametreleri test edilmiş ve yöntemin sınırları belirlenmeye çalışılmıştır. Üretilen basit sentetikler, Dalgasayısı İntegrasyonu ve Sonlu Farklar yöntemleri kullanılarak oluşturulan gerçekçi sentetikler ve son olarak da gerçek atış kayıtları üzerinde gerçekleştirilen karşılaştırmalı ZDGY ve MASW Analizleri ile yöntemin MASW karşısındaki avantaj ve dezavantajları incelenmiş ve ZDGY'nin genel anlamda alçak frekans bandında MASW'ye oranla daha başarılı sonuçlar verdiği gözlenmiştir.

2. DALGA GRADİYOMETRİ YÖNTEMİNİN TEORİSİ

Langston (2007a,2007b ve 2007c)'de önerilen Dalga Gradiyometri Yöntemi (DGY) temel olarak bir ya da iki boyutlu dizin kayıtlarından yatay dalga yavaşlığının ve geometrik yayılmanın uzaklıkla değişiminin elde edilmesi için geliştirilmiş olan bir yöntemdir. Yöntemin temeli, kaydedilen dalga alanının uzaysal gradyanı kullanılarak hız ve geometrik yayılmanın elde edilmesine dayanmaktadır.

Sismik dalga alanının uzaysal değişimi, yani yer değiştirmenin türevi, bu dalga alanını oluşturan dalga tiplerinin belirlenmesinde ve ortama ait parametrelerin bu sismik dalgaların özellikleri incelenerek elde edilmesinde kullanılabilmektedir.

Yöntemin temeli sismik dalga genliklerinin bir dizin boyunca uzaklığa ve yatay dalga yavaşlığına bağlı olarak değişiminin izlenmesi esasına dayanmaktadır. Geometrik yayılmaya ve uzaklığa bağlı olarak değişen bir hıza sahip ve +x doğrultusunda, bir boyutta yayılan bir cisim ya da yüzey dalgasının yer değiştirmesi şu şekilde gösterilebilir:

$$u(t, x) = G(x) f(t - p(x - x_0)) \quad (2.1)$$

Burada $G(x)$ geometrik yayılmaya, p uzaklık x ile değişen yatay dalga yavaşlığına, x_0 ise referans bir uzaklığa karşılık gelmektedir. **2.1**'deki dalganın uzaysal gradyanının elde edilebilmesi için x 'e göre türevinin alınması ile **2.2** elde edilir.

$$\frac{\partial u}{\partial x} = A(x)u + B(x) \frac{\partial u}{\partial t} \quad (2.2)$$

2.2'de $A(x)$ ve $B(x)$ katsayıları üzerinden üç farklı zaman serisi arasındaki ilişki tanımlanmaktadır. Bu zaman serileri yer değiştirmenin uzaysal türevi, yer değiştirmenin kendisi ve yine yer değiştirmenin zamansal türevidir. **2.2** çözülerek elde edilecek olan Dalga Gradiyometri Katsayıları (DGK) $A(x)$ ve $B(x)$, dalga ve yayıldığı ortam ile ilgili sırasıyla geometrik yayılma ve yatay dalga yavaşlığı bilgilerini içermektedir.

Bu katsayılar;

$$A(x) = \frac{G'(x)}{G(x)} \quad (2.3)$$

ve

$$B(x) = \frac{\partial}{\partial x}[-p(x - x_0)] = -[p + \frac{\partial p}{\partial x}(x - x_0)] \quad (2.4)$$

şeklinde hesaplanabilir. $A(x)$ katsayısından geometrik yayılmanın elde edilmesi 2.4'te verildiği şekilde katsayının $[x_0, x]$ arasında integralinin alınması ile mümkün olmaktadır.

$$\int_{x_0}^x A(x)dx = \ln \frac{G(x)}{G(x_0)} \quad (2.5)$$

2.6'da verildiği şekilde $B(x)$ katsayısının $[x_0, x]$ arasında integralinin alınması ile ise yatay dalga yavaşlığı ya da yavaşlığın tersi olan yatay dalga hızı elde edilebilmektedir.

$$p = -\frac{1}{(x - x_0)} \int_{x_0}^x B(x)dx \quad (2.6)$$

2.6'da L'Hospital kuralı kullanılırsa limit $x \rightarrow x_0$ 'a giderken;

$$p(x_0) = -B(x_0) \quad (2.7)$$

haline gelmektedir. Buradan görülmektedir ki, bir noktada dalgaya ait yer değiştirmenin kendisi, türevi ve dalga alanının hızı ölçüldüğü takdirde 2.2'de tanımlanan ilişki kullanılarak o noktaya ait geometrik yayılma ve yatay dalga hızı elde edilebilmektedir. 2.1'den yola çıkılarak DGK olan $A(x)$ ve $B(x)$ birçok yöntem kullanılarak elde edilebilir. 2.1, frekans ya da zaman ortamında çözülebilir. Frekans ve zaman ortamı yaklaşımları aşağıda ayrıntılı olarak anlatılmaktadır.

2.1 Frekans Ortamı Dalga Gradiyometri Yöntemi (FDGY)

Kaydedilen bir boyutlu dalga alanının frekans ortamında analiz edilmesi sonucunda bu dalga alanına ait geometrik yayılma ve yatay dalga hızı parametrelerinin elde edilmesi için kullanılan FDGY, Langston 2007a çalışmasında sunulmuştur.

Bu yöntemde öncelikle DGK frekans ortamında hesaplanmakta, ardından bu katsayılardan geometrik yayılma ve yatay dalga hızına geçiş yapılabilmektedir. Bu amaçla 2.2'nin Fourier dönüşümü alınırsa 2.8 elde edilir. $\hat{u}_{,x} = A(x)\hat{u} + B(x)i\omega\hat{u}$ (2.8)

2.8'de $\hat{u}$ ve $\hat{u}_x$ sırasıyla, yerdeğiştirmenin ve yerdeğiştirmeye ait uzaysal türevin Fourier dönüşümleridir. 2.8'de tüm terimler $\hat{u}$ 'ne bölüldüğünde ise 2.9 bulunmaktadır.

$$\frac{\hat{u}_{,x}}{\hat{u}} = A(x) + i\omega B(x) \quad (2.9)$$

Buradan 2.10 ve 2.11 hesaplanabilir:

$$A(x) = \text{Re}\left\{\frac{\hat{u}_{,x}}{\hat{u}}\right\} \quad (2.10)$$

$$B(x) = \frac{1}{\omega} \text{Im}\left\{\frac{\hat{u}_{,x}}{\hat{u}}\right\} \quad (2.11)$$

2.10 ve 2.11 incelendiğinde görülmektedir ki yer değıştirmenin uzaysal türevi ve yer değıştirmenin kendisine ait karmaşık spektral oranın gerçel ve sanal kısımları hesaplanarak sırasıyla, A(x) ve B(x) katsayıları elde edilebilmektedir. Zaman verileri bu şekilde Fourier Dönüşümü ile frekans ortamına aktarılarak kolay ve hızlı bir şekilde geometrik yayılma ve yatay hız bilgilerini taşıyan katsayılar hesaplanmış olmaktadır. Frekans ortamında alınacak bir spektral oran hesaplanırken birçok problemle karşılaşmaktadır. Bunlar pencereleme etkileri, paydadaki spektral boşluklar ve diğer gürültü kaynakları olarak sıralanabilir. Bu nedenle zaman ortamında analitik sinyali kullanarak A(x) ve B(x) katsayılarını hesaplamaya yarayan bir yöntem olan Zaman Ortamı Dalga Gradiyometri Yöntemi Langston (2007c)'de sunulmuştur.

2.2 Zaman Ortamı Dalga Gradiyometri Yöntemi (ZDGY)

FDGY'de sinyalin sadece genlikleri göz önünde bulundurulmakta ve DGK A(x) ve B(x), yer değıştirmenin uzaysal türevi ve yer değıştirmenin kendisinin spektral olarak oranlanması yoluyla elde edilmektedir. Bu şekilde hesaplama yapan bir yöntemde orijinal sinyalin yalnızca genliği hesaba katılmış ve dalga değışimi analizinin önemli

bir bölümünü oluşturan yön bilgisi göz ardı edilmiş olacaktır. **2.2**'nin analitik sinyal kavramı ile ele alınması sonucunda DGK'nın hesaplanmasının yanında dalga alanına ait faz bilgisi de korunmuş olmaktadır. Zaman ortamında yapılan bu analizin en önemli yönü herhangi bir matris ters çözümüne ya da spektral oranlamaya ihtiyaç duyulmadan tüm bu bilgilerin elde edilebilmesidir. Langston (2007b) tarafından verilen ZDGY, anlık faz ve anlık genlikleri kullanarak $A(x)$ ve $B(x)$ uzaysal katsayılarının hesaplanmasına olanak tanımaktadır. Gösterimi basitleştirmek amacıyla **2.2** şu şekilde yazılabilir:

$$u_{,x} = Au + Bu_{,t} \quad (2.12)$$

Burada virgüllü gösterim x ve t değişkenleri üzerinden türev alma işlemine karşılık gelmektedir. **2.12**'nin Hilbert dönüşümü alınır, $-i$ ile çarpılır ve eşitliğin kendisine eklenirse analitik sinyal **2.13**'teki gibi elde edilir.

$$U_{,x} = AU + BU_{,t} \quad (2.13)$$

$$H\left[\frac{\partial u}{\partial t}\right] = \frac{\partial}{\partial t} H[u] \quad (2.14)$$

Hilbert transformu doğrusal bir operatör olduğu için **2.15** bulunur.

$$U_{,x} = AU + B \frac{\partial}{\partial t} U \quad (2.15)$$

Analitik sinyal faz bilgisiyle birlikte tanımlanırsa aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$|U_{,x}|e^{i\psi} = A|U|e^{i\phi} + B \frac{\partial}{\partial t} \{|U|e^{i\phi}\} \quad (2.16)$$

2.16'da ψ ve ϕ sırasıyla yer değiştirme türevi analitik sinyaline ve yer değiştirme analitik sinyaline ait anlık fazlardır. Zaman türevi alınarak zincir kuralı uygulandığında aşağıda verilen **2.17** elde edilmiş olur.

$$|U_{,x}|e^{i\psi} = A|U|e^{i\phi} + B \frac{\partial |U|}{\partial t} e^{i\phi} + B|U|e^{i\phi} i \frac{\partial \phi}{\partial t} \quad (2.17)$$

2.18 ise anlık frekans, anlık faz üzerinden zaman türevi alınarak elde edilebilir.

$$\omega(t) = \frac{d\phi(t)}{dt} \quad (2.18)$$

Bu nedenle **2.17**'de son terim yer değiştirme analitik sinyalinin anlık frekans bilgisini taşıtmaktadır. Anlık faz ise aşağıdaki şekilde hesaplanabilir:

$$\phi(t) = \tan^{-1} \left[\frac{-H[u(t)]}{u(t)} \right] \quad (2.19)$$

Bu durumda yer değiştirmenin uzaysal turevine ait anlık faz ise şu şekilde verilmektedir:

$$\psi(t) = \tan^{-1} \left[\frac{-H[u_x(t)]}{u_x(t)} \right] \quad (2.20)$$

2.19'dan elde edilen anlık faz üzerinden turev alınarak anlık frekans orijinal zaman sinyali $u(t)$ 'ye bağlı olarak hesaplanmaktadır.

$$\omega(t) = \frac{1}{|U|^2} \{u_x(t)H[u(t)] - u(t)H[u_x(t)]\} \quad (2.21)$$

2.21'de $\omega(t)$ zamana bağlı olarak hesaplanan anlık frekansı, $|U|$ orijinal zaman sinyalinin hilbert transformu üzerinden alınan zarf fonksiyonunu, $u_x(t)$ ise orijinal sinyalin zamana göre turevini göstermektedir. **2.21** düzenlenirse, **2.22** elde edilir.

$$|U_x|e^{i(\psi-\phi)} = A|U| + B \frac{\partial |U|}{\partial t} + iB|U|\omega(t) \quad (2.22)$$

2.22'nin gerçel ve sanal kısımları ayrı ayrı eşitlikler olarak yazıldığında **2.23** ve **2.24** bulunmaktadır.

$$|U_x| \cos(\psi - \phi) = A|U| + B \frac{\partial |U|}{\partial t} \quad (2.23)$$

$$|U_x| \sin(\psi - \phi) = B|U|\omega(t) \quad (2.24)$$

Gerçel ve sanal kısımların yukarıdaki eşitliklerde görüldüğü şekilde ayrılması bilinmeyen iki ayrı uzaysal değişim katsayısı A ve B için iki ayrı eşitlik vermektedir.

2.25 ve **2.26**'da A ve B katsayılarının nasıl hesaplandığı görülmektedir.

$$B = \frac{1}{\omega(t)} \frac{|U_x|}{|U|} \sin(\psi - \phi) \quad (2.25)$$

$$A = \frac{|U_{,x}|}{|U|} \cos(\psi - \phi) - \frac{1}{\omega(t)} \frac{|U_{,x}|}{|U|^2} \frac{\partial |U|}{\partial t} \sin(\psi - \phi) \quad (2.26)$$

ZDGY’de analiz edilen dalgaya ait hız bilgisi ve dalganın yönü, yukarıda **2.25** ile tanımlanan B katsayısı üzerinden **2.7** kullanılarak elde edilmektedir. **2.25** incelendiğinde, B katsayısının değerini dolayısıyla dalga hızını temel olarak anlık frekans $\omega(t)$ ve yerdeğiştirme analitik sinyalinin uzaysal türevi ile yerdeğiştirme analitik sinyaline ait zarfların oranı olan $\frac{|U_{,x}|}{|U|}$,’nun belirlediği görülmektedir.

Dalgaya ait yön bilgisi ise, yerdeğiştirme sinyaline ve yerdeğiştirme sinyalinin uzaysal türevine ait anlık fazların farkını veren $\sin(\psi - \phi)$ teriminden gelmektedir (**2.25**). Böylelikle FDGY’de gözardı edilen dalgaya ait yön bilgisi ZDGY analizi ile elde edilmiş olmaktadır. Geometrik yayılma bilgisini taşıyan A katsayısının hesaplanmasında da anlık frekans, dalgaya ait zarfların oranlanması ve anlık faz farklarını içeren benzer terimler kullanılmaktadır (**2.26**).

Bu sonuçların altında yatan fiziksel teoriyi daha iyi anlayabilmek için bir düzlem dalga ele alınabilir. Düzlem dalganın geometrik yayılımı $G(x)$ ’in sabit olması durumunda $A = 0$ sağlanmış olacaktır. Bu durumda aşağıdaki ilişki tanımlanabilir:

$$U_{,x} = BU_{,t} \quad (2.27)$$

$U_{,x}$ ve $U_{,t}$ analitik sinyallerinin zarfları ve fazları cinsinden **2.28**’deki gibi bulunur. $B = \frac{|U_{,x}|}{|U_{,t}|} e^{i(\psi - \gamma)}$ (2.28)

$A = 0$ olması durumunda B katsayısı için ikinci bir yaklaşım ise **2.23** kullanılarak elde edilir.

$$B = \frac{|U_{,x}|}{\frac{\partial |U|}{\partial t}} \cos(\psi - \phi) \quad (2.29)$$

2.25 ve **2.29**, **2.28**’e eşdeğerdir ancak bu eşitliklerde B katsayısının hesaplanması hız yerine yer değiştirme analitik sinyalinin zarfı, anlık fazı ve anlık frekansı üzerinden gerçekleştirilmektedir. **2.30**’da doğrusal bir dizin boyunca ileriye doğru (+x doğrultusunda) seyahat eden bir düzlem dalga tanımlanmaktadır.

$$\frac{\partial u}{\partial x} = -p \frac{\partial u}{\partial t} \quad (2.30)$$

Böyle bir düzlem dalga için u_t , $-u_x$ ile doğru orantılıdır. Doğrusallık özelliği nedeniyle aynı şekilde U_t de $-U_x$ ile doğru orantılıdır. **2.28'**de $e^{i\pi} = -1$ olduğundan U_t ile U_x arasındaki anlık faz farkı π kadardır. Bu durumda **2.31** yazılabilir.

$$p = -\frac{|U_x|}{|U_t|} e^{i\pi} = \frac{|U_x|}{|U_t|} \quad (2.31)$$

Doğrusal bir dizin boyunca geriye doğru (-x doğrultusunda) seyahat eden bir düzlem dalga için u_t , $+u_x$ ile doğru orantılıdır ve anlık faz farkı sıfırdır. Bu durumda **2.32** yazılabilir.

$$p = -\frac{|U_x|}{|U_t|} e^0 = -\frac{|U_x|}{|U_t|} \quad (2.32)$$

2.31 ve **2.32'**deki ilişkiden görülmektedir ki anlık faz, seyahat eden dalgaların yönlerini saptamak amacıyla kullanılabilir. Bu şekilde geometrik yayılma ve hız bilgisi zaman ortamında A ve B katsayılarından hesaplanan dalganın yön bilgisi de dalganın anlık fazından gelmektedir.

ZDGY'de, bu tez kapsamında analiz edilen yüzey dalgalarına ait Faz Hızı Dispersiyon (FHD) eğrilerine geçiş yapılabilmesi için öncelikle yüzey dalgasına ait sinyallerin belirli merkez frekanslarında süzülmesi ve süzölmüş bu sinyallerin analize dahil edilmesi gerekmektedir. Böylece FHD'yi oluşturan, frekansa bağlı faz hızları hesaplanmış olacaktır. Bu nedenle ZDGY ile faz hızı analizinin ilk aşamasında sinyaller, verilen merkez frekanslarında Dzierwonski (1969) tarafından önerilen ve üstel bir fonksiyon olan Gauss Filtresi ile süzölmüştür. ω_n 'in, n. merkez frekansı f_n 'e karşılık gelen açısal frekans olması durumunda Gauss Filtresi;

$$H_n(\omega) = e^{-\alpha \left(\frac{\omega - \omega_n}{\omega_n} \right)^2} \quad (2.33)$$

şeklinde hesaplanır. $H_n(\omega)$ 'nın zaman ortamındaki karşılığı ise **2.33'**te verilen ifadenin ters Fourier dönüşümü alınarak **2.34'**teki gibi verilir.

$$h_n(t) = \frac{\sqrt{\pi}\omega_n}{2\alpha} e^{-\frac{\omega_n^2 t^2}{4\alpha}} \cos(\omega_n t) \quad (2.34)$$

Filtre fonksiyonunun çözünürlüğünü α parametresi belirlemektedir ve bir ortamda artan çözünürlük bir diğer ortamda çözünürlüğün azalmasına karşılık gelmektedir. Uygulanacak olan filtrede α parametresinin seçimi sismogramda varolan dispersiyonun doğasına bağlı olarak gerçekleştirilmektedir (Dziewonski, 1969). Dziewonski (1969)'da verilen filtre fonksiyonu görelî bant genişliği ile çalışmaktadır. Görelî bant genişliğinin BAND olması durumunda simetrik filtrenin üst ve alt limitleri $\omega_{l,n}$ ve $\omega_{u,n}$ sırasıyla,

$$\omega_{l,n} = (1 - BAND)\omega_n \quad (2.35)$$

ve

$$\omega_{u,n} = (1 + BAND)\omega_n \quad (2.36)$$

bağıntıları ile verilmektedir. β parametresi ise fonksiyonun düşümünü tanımlamakta ve fonksiyonun bant sınırlarında arzu edilen değeri ile belirlenmektedir.

$$\beta = \ln \left[\frac{H_n(\omega_n)}{H_n(\omega_{l,n})} \right] = \ln \left[\frac{H_n(\omega_n)}{H_n(\omega_{u,n})} \right] \quad (2.37)$$

α parametresi, BAND ve β cinsinden şu şekilde tanımlanabilmektedir,

$$\alpha = \beta / BAND^2 \quad (2.38)$$

Bu durumda filtre fonksiyonu;

$$H_n(\omega) = \begin{cases} 0 & ; \quad \omega < (1 - BAND).\omega_n \quad \text{için} \\ e^{-\alpha \left(\frac{\omega - \omega_n}{\omega_n} \right)^2} & ; \quad (1 - BAND).\omega_n \leq \omega \leq (1 + BAND).\omega_n \quad \text{için} \\ 0 & ; \quad \omega > (1 + BAND).\omega_n \quad \text{için} \end{cases} \quad (2.39)$$

şeklinde verilir.

3. BASİT SENTETİKLER İLE DALGA GRADİYOMETRİ YÖNTEMİNİN ÖNEMLİ PARAMETRELERİNİN ANALİZİ

DGY’de daha önceki bölümde değinildiği gibi hız ve geometrik açılımın belirlenebilmesi için yer değiştirmenin kendisi ile, yer değiştirmenin uzaysal ve zamansal türevleri arasındaki ilişki kullanılmaktadır. Yöntem faz hızı analizinde, doğrusal bir dizin boyunca farklı alıcılarda kaydedilen sismik dalgaların zamansal türevleri ve bu alıcılarda kaydedilen dalgalar üzerinden gerçekleştirilen uzaysal türev hesaplamaları ile çalışmaktadır. Yöntemin doğru çalışması zamansal ve uzaysal türevlerin en az hatayla elde edilebilmesine bağlıdır.

Dalgaın zamansal türevinin doğru bir şekilde alınabilmesi için zamanda örnekleme aralığının çözülmek istenen en yüksek frekans değeri (Nyquist frekansı) ile orantılı yeterince küçük bir değerde tutulması yeterli olurken, uzaysal türev hesaplanırken kullanılan sayısal türev analiz yönteminin hata oranı ve yine kullanılan alıcı aralığı önem kazanmaktadır.

DGY ile yüzey dalgalarının faz hızı analizi yapılırken dalga genlikleri ve bu genliklerin oranları kullanılacağından (2.10, 2.11 ve 2.25, 2.26) sinyalin üzerinde bulunan gürültü oranı ve bu gürültünün içeriğinin de faz hızı hesaplamalarının doğruluğunu etkilemesi beklenmektedir. Aynı zamanda DGY analizinde bir hat boyunca seyahat eden yüzey dalgalarının faz hızları incelendiğinde, analizin gerçekleştirildiği alıcı uzaklığına bağımlı sonuçların elde edilip edilmediği de değerlendirilmelidir.

Yüzey dalgası faz hızı analizinde yöntemin yüzey dalgası modlarını ayırma ve dalga alanında çoklu modlar olması durumunda bu modların hızlarını saptayabilme gücü de test edilmelidir. DGY’nin yukarıda bahsedilen ve yüzey dalgası faz hızı analizinde etkili olan tüm parametreleri için en uygun değerlerin saptanması ve yöntemin sınırlarının belirlenmesi amacıyla bir çok test gerçekleştirilmiştir. Bu testlerin tümünde kullanılmak üzere basit sentetik sinyaller üretilmiştir.

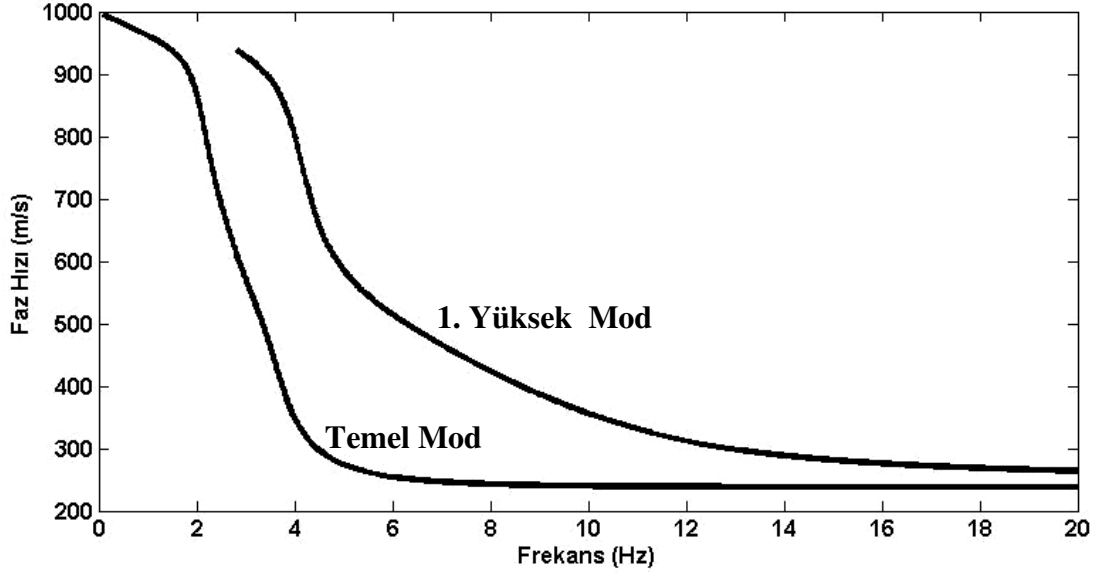
3.1 Basit Sentetik Sismogramların Oluşturulması

Yukarıda bahsedilen testlerde kullanılmak üzere sinüzoidal sinyallerin üst üste toplanması ile oluşturulan basit sentetik sismogramlar kullanılmıştır. Bu amaçla öncelikle Çizelge 3.1’de verilen yer altı hız modeli için teorik FHD eğrisi hesaplanmıştır.

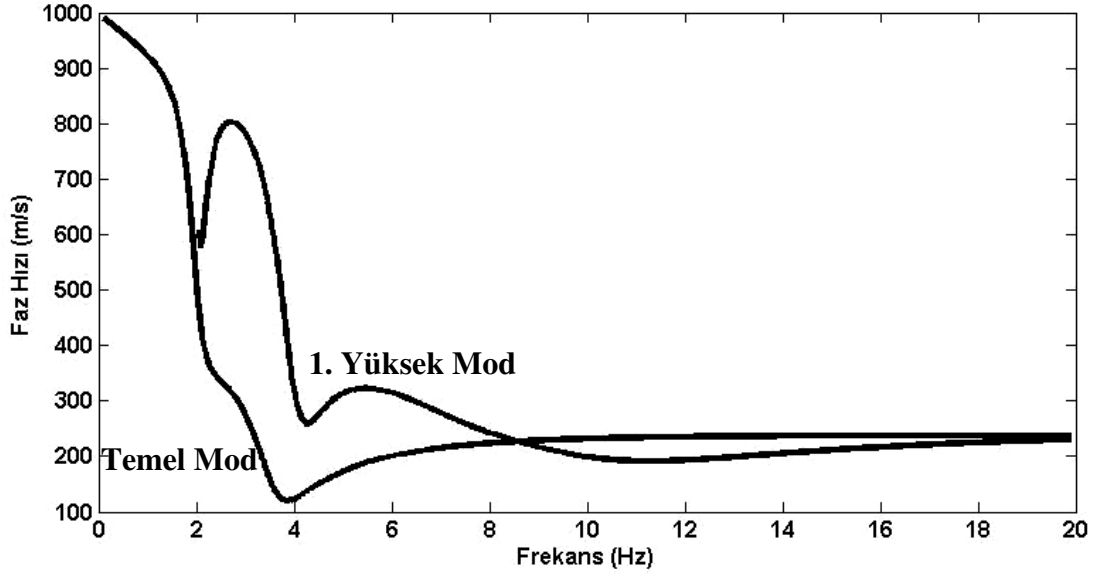
Çizelge 3.1 : Sentetikleri üretmek için kullanılan hız modeli.

Tabaka No	Kalınlık (m)	V_p Hızı (m/s)	V_s Hızı (m/s)	Yoğunluk (g/cm^3)
1	27	1250	250	1.50
2	18	2000	410	1.60
3	27	2890	850	1.70
4	∞	3900	1050	2.00

Çizelge 3.1’de de görüldüğü gibi kullanılan model, 4 tabakalı bir modeldir ve modelde yaklaşık 50 m derinlikte iki kata varan bir hız kontrastı bulunmaktadır. Bu hız kontrastı, aynı zamanda ikinci tabakadan üçüncü tabakaya geçiş derinliğine karşılık gelmektedir. Teorik FHD eğrisinin hesaplanması Sesarray paketinin içinde yer alan gpdc aracı kullanılarak Çizelge 3.1’de verilen dört tabakalı hız modeli için gerçekleştirilmiştir. Teorik FHD eğrisi 0.1-20 Hz frekans aralığında toplam 1024 frekans noktası için hesaplanmıştır. Çizelge 3.1’de verilen model için hesaplanan temel mod ve 1. yüksek moda ait FHD eğrileri Şekil 3.1’de görülmektedir. Aynı modelden hesaplanan temel mod ve 1. yüksek mod için Grup Hızı Dispersiyon (GHD) eğrileri ise Şekil 3.2’de verilmektedir.



Şekil 3.1 : Çizelge 3.1’de verilen yer modeli için hesaplanan FHD eğrileri

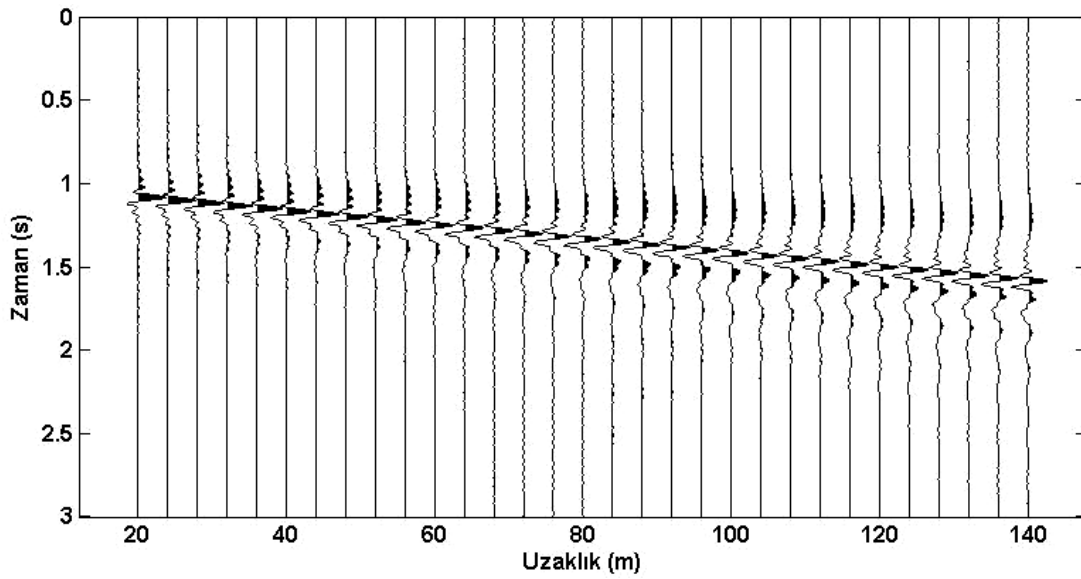


Şekil 3.2 : Çizelge 3.1’de verilen yer modeli için hesaplanan GHD eğrileri.

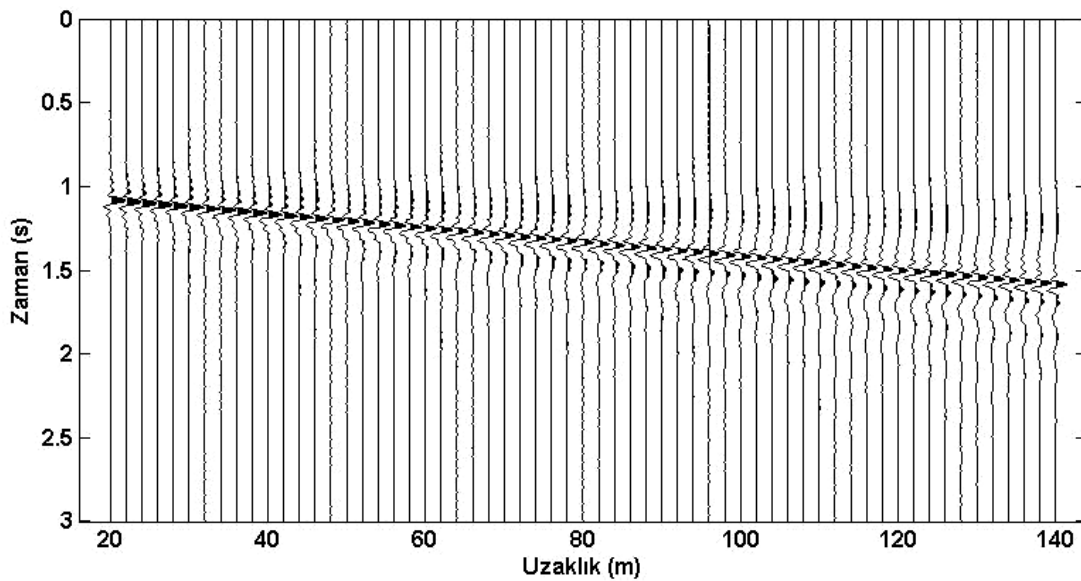
Sentetik sismogramlar mod toplama yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır. Mod toplama yönteminde sentetik sismogramlar, teorik FHD eğrisini oluşturan frekanslarda ve bu frekanslara karşılık gelen faz hızları ile seyahat eden basit sinüzoidal sinyallerin üst üste toplanması ile oluşturulmaktadır. Her bir frekansta faz hızına bağımlı olarak seyahat eden sinüzoidal sinyaller 3.1’deki gibi tanımlanmaktadır. 3.1’de $c(\omega)$, açısal frekans ω ’ya bağlı olarak değişen faz

$$\sin\left(\omega t \pm \frac{\omega}{c(\omega)}x\right) \quad (3.1)$$

Sentetik sismogramların oluşturulmasında, uzaklığa bağlı geometrik yayılma ve soğurulma etkileri kullanılmamıştır ve her bir frekansta sinüzoidallerin genliği birim büyüklükte alınmıştır. Sentetik sismogramların zamanda örnekleme aralığı $dt=0.004$ s olarak belirlenmiş ve sırasıyla 4m ve 2m alıcı aralıkları için hesaplanmıştır. Sinyal uzunluğu, ilk alıcı uzaklığı ve toplam serim uzunluğu ise yapılan parametre analizine göre değiştirilmiştir. Bu sentetik sismogramlar ilerleyen bölümlerde anlatılacak olan DGY'nin parametrelerinin test edilmesi aşamasında kullanılmıştır. 4m ve 2m alıcı aralıkları ile hesaplanan sentetik sismogramlar sırasıyla Şekil 3.3 ve Şekil 3.4'te verilmektedir.



Şekil 3.3 : 4m alıcı aralığı için hesaplanan sentetik sismogramlar.



Şekil 3.4 : 2m alıcı aralığı için hesaplanan sentetik sismogramlar.

DGY için gerçekleştirilen sayısal türev analiz yönteminin hata oranı, alıcı aralığı ve gürültü analizlerinde Şekil 3.1’de görülen temel mod için üretilen basit sentetik sismogramlar kullanılırken, yöntemin yüzey dalgası modlarını ayırma ve dalga alanında çoklu modlar olması durumunda bu modların hızlarını saptayabilme gücünün test edilmesi için yine Şekil 3.1’de verilen temel mod ve 1. yüksek modun toplamından oluşturulan sentetik sismogramlar kullanılmıştır. Analiz için üretilen sentetiklerde geometrik yayılma ve soğurulma etkileri olmadığından, bu çalışmada geometrik yayılma bilgisini taşıyan A katsayısı değerlendirilmemiştir.

3.2 Sayısal Türev Alma Algoritmalarının Karşılaştırılması

DGY’nin temeli sismik alıcılarda kaydedilen yer değiştirme sinyalinin kendisi (u), uzaysal ve zamansal türevleri (u_x ve u_t) kullanılarak yatay dalga hızı ve geometrik açılım değerlerinin bulunması esasına dayanmaktadır. Yer değiştirme sinyalinin zamana bağlı türevinin başarılı bir şekilde alınabilmesi için verinin zamanda örnekleme aralığının sık olması yeterli olmaktadır ancak uzaysal türevin hesaplanması söz konusu olduğunda yöntemin doğru çalışabilmesinin tek yolu etkin bir türev formülasyonu kullanılması ve bu sayede hız ve geometrik açılımın hesaplanmasında kullanılan uzaysal türev değerlerinin doğru bir şekilde elde edilebilmesidir. Bu amaçla, yer değiştirme sinyalinin uzaysal türevi farklı sayısal türev hesaplama algoritmaları ile elde edilmiştir. Gerçekleştirilen analizde sırasıyla, “İleri Fark Formülasyonu (İFF)”, “Merkezi Fark Formülasyonu (MFF)”, “Üç Nokta Kuralı (ÜNK)” ve “Beş Nokta Kuralı (BNK)” sayısal türev algoritmaları kullanılmıştır. İzleyen bölümde Dalga Gradiyometri (DG) hesaplamalarında kullanılan her bir sayısal türev alma algoritması ile elde edilen Faz Hızı Dispersiyon (FHD) eğrileri Çizelge 3.1’de verilen model için üretilen teorik dispersiyon eğrisi ile karşılaştırılmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir. Uzaysal türevin hesaplanmasında kullanılan farklı sayısal türev alma algoritmalarına ait formülasyonlar aşağıda verilmiştir (3.1, 3.2, 3.3, 3.4).

Eşit aralıklı x noktalarında örneklenmiş olan $f(x)$ fonksiyonunun x_0 noktasındaki türevi olan $f'(x_0)$ değerini yaklaşık olarak elde etmek için birçok matematiksel türev ifadesi geliştirilmiştir. $f(x)$ fonksiyonunun örnekleme aralığı h ve

$h \neq 0$ olsun. Bu durumda $f(x)$ fonksiyonunun x_0 noktasındaki türevi $f'(x_0)$, hata terimleri de ihmal edilerek;

İFF'ye Göre:

$$f'(x_0) \approx \frac{f(x_0 + h) - f(x_0)}{h} \quad (3.1)$$

MFF'ye Göre:

$$f'(x_0) \approx \frac{1}{2h} [f(x_0 + h) - f(x_0 - h)] \quad (3.2)$$

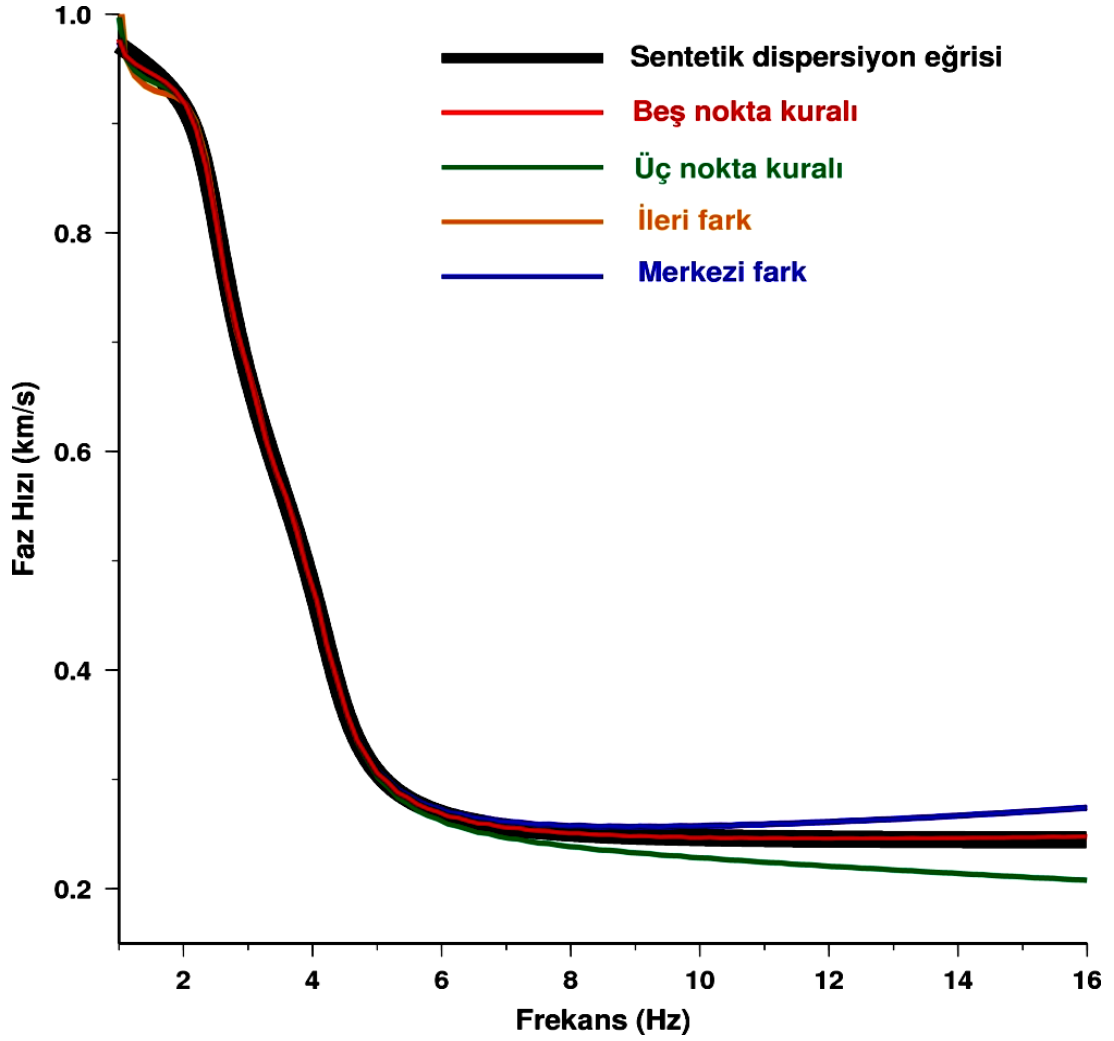
ÜNK'ya Göre:

$$f'(x_0) \approx \frac{1}{2h} [f(x_0 - 2h) - 4f(x_0 - h) + 3f(x_0)] \quad (3.3)$$

BNK'ya Göre:

$$f'(x_0) \approx \frac{1}{12h} [f(x_0 - 2h) - 8f(x_0 - h) + 8f(x_0 + h) - f(x_0 + 2h)] \quad (3.4)$$

şeklinde yaklaşık olarak elde edilir. Şekil 3.4'te verilen sentetik sismogramları oluşturan yüzey dalgası FHD eğrilerinin elde edilmesi amacıyla FDGY analizini gerçekleştirilen bir Matlab kodu yazılmış ve bu matlab kodunda uzaysal türevin hesaplanması için yukarıda bahsedilen türev alma operatörleri kullanılmıştır. Sentetik sismogramlar üzerinde, farklı türev alma operatörleri kullanılarak gerçekleştirilen FDGY analizlerinden elde edilen FHD sonuçları karşılaştırılmış ve sonuçlar Şekil 3.5'te sunulmuştur.



Şekil 3.5 : 2m alıcı aralığına sahip sentetik sismogramlar üzerinde farklı sayısal türev alma operatörleri kullanılarak gerçekleştirilen FDGY analizleri ile elde edilen FHD eğrileri.

Şekil 3.5'te görüldüğü gibi teorik dispersiyon eğrisine en yakın eğri BNK ile hesaplanan eğridir. Diğer sayısal türev yöntemlerinden elde edilen dispersiyon eğrileri ise genel anlamda yaklaşık 9 Hz frekansından sonra teorik dispersiyon eğrisinden uzaklaşmaktadır. ÜNK kullanılması durumunda yaklaşık 8 Hz'ten sonra doğru faz hızlarından daha düşük hız değerleri elde edilirken, İFF ve MFF kullanıldığında ise doğru faz hızı değerlerinden daha yüksek hız değerleri hesaplanmaktadır. MFF ve İFF kullanılarak elde edilen eğriler yüksek frekans bandında birebir örtüşmektedir. Bu sonuçlar incelendiğinde BNK'nın test edilen diğer algoritmalara göre daha doğru FHD sonuçları verdiği ve uzaysal türevin hesaplanmasında en başarılı algoritma olduğu açıkça görülmektedir. Bu nedenle bu tez çalışmasında ilerleyen bölümlerde gerçekleştirilen tüm dalga değişimi hesaplamalarında sayısal türev alma yöntemi olarak BNK kullanılmıştır.

Sinüzoidal bir dalganın uzaysal türevi alınırken uzaysal örnekleme aralığından kaynaklanan hata değeri düzlem dalga yaklaşımı için Langston (2007a)'da verilmiştir. Bu çalışmada n adet alıcıdan oluşan, Δx örnekleme aralığına sahip doğrusal bir dizin için yer değiştirmenin uzaysal türevinin MFF ile hesaplanması durumunda sayısal türevden kaynaklanacak olan hata teriminden yola çıkılarak çözülebilecek en küçük dalga boyu, λ elde edilmiştir. MFF ile hesaplanacak bir uzaysal türev ikinci dereceden doğruluğa sahip olacaktır.

MFF'nin hata terimi **3.5**'te en sağdaki terimdir.

$$\frac{\partial u}{\partial x} = \frac{u(t, x + \Delta x) - u(t, x - \Delta x)}{2\Delta x} - \frac{1}{6} \frac{\partial^3 u}{\partial x^3} \Delta x^2 \quad (\text{Langston, 2007a}) \quad (3.5)$$

$u(t, x) = e^{i\omega(t - px)}$ gibi bir düzlem dalga için uzaysal örnekleme aralığından kaynaklanacak türev hatasının belirlenmesi için bu hatanın δ gibi bir eşik değerden düşük olması zorunluluğu tanımlanmıştır (**3.6**).

$$\left| \frac{-\frac{1}{6} \frac{\partial^3 u}{\partial x^3} \Delta x^2}{\frac{\partial u}{\partial x}} \right| = \frac{1}{6} \omega^2 p^2 \Delta x^2 \leq \delta \quad (3.6)$$

k 'nın yatay dalga sayısı, λ 'nın ise yatay dalga boyu olduğu **3.7**'de görülmektedir.

$$k = \omega p = \frac{2\pi}{\lambda} \quad (3.7)$$

Böylece **3.7**'de $\delta = 0.1$ (%10 hata) için kullanılması gereken örnekleme aralığının değeri **3.8**'deki gibi hesaplanabilmektedir.

$$\Delta x \leq \lambda \frac{\sqrt{1.5\delta}}{\pi} = 0.123\lambda \quad (3.8)$$

Bu durumda, MFF kullanılması durumunda uzaysal türevin %10 hata ile hesaplanabilmesi için uzaysal örnekleme aralığının yatay dalga boyunun %12'si ya da bundan daha küçük olması gerektiği görülmektedir. BNK ile hesaplanacak bir uzaysal türev dördüncü dereceden doğruluğa sahip olacaktır. BNK'nin hata terimi **3.9**'da en sağdaki terimdir (Burden ve Faires, 1989).

$$\frac{\partial u}{\partial x} = \frac{-u(t, x + 2\Delta x) + 8u(t, x + \Delta x) - 8u(t, x - \Delta x) + u(t, x - 2\Delta x)}{12\Delta x} - \frac{1}{30} \frac{\partial^5 u}{\partial x^5} \Delta x^4 \quad (3.9)$$

Buradan uzaysal türevdeki hatanın δ gibi bir hata eşiğinden düşük olması **3.10**'daki gibi tanımlanmaktadır.

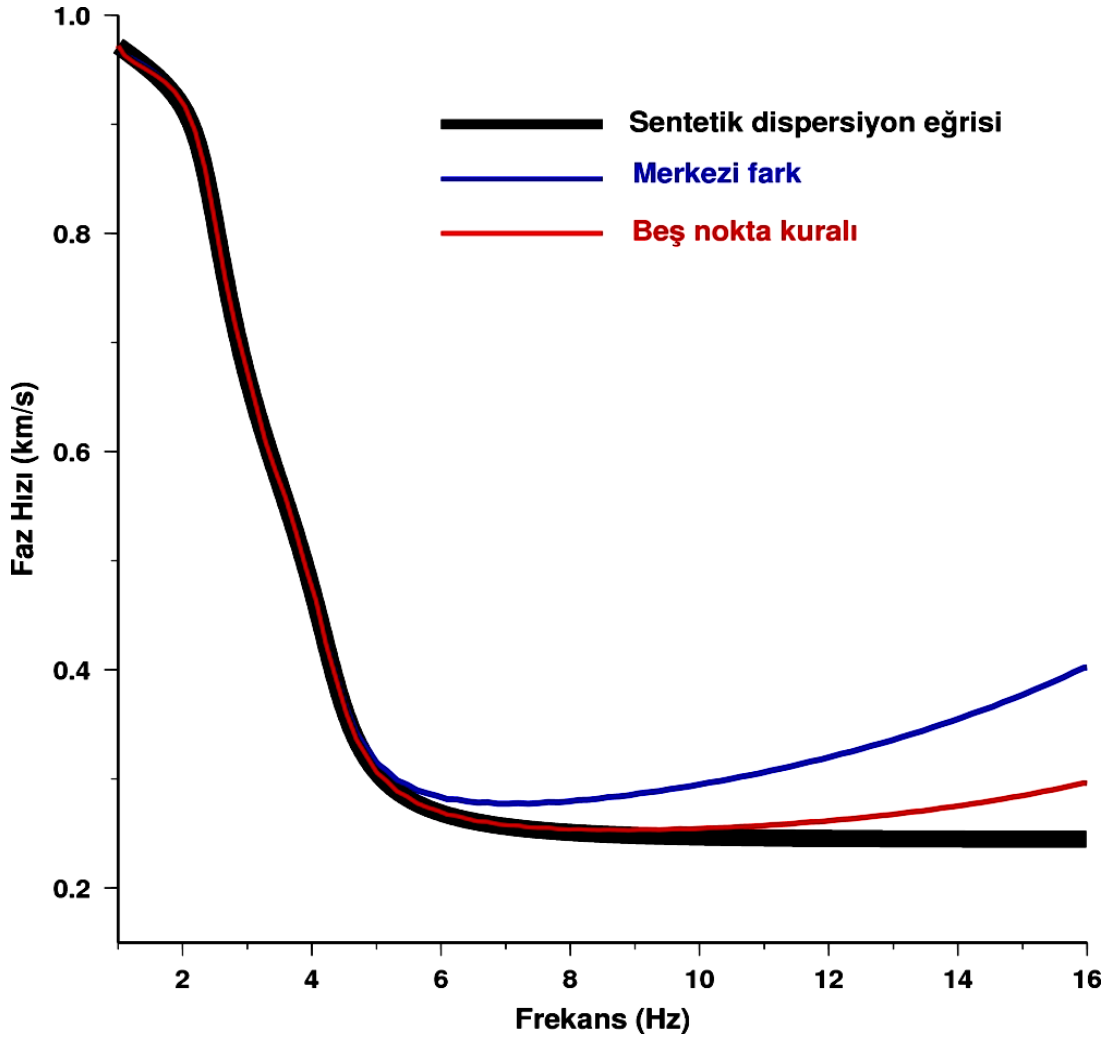
$$\left| \frac{-\frac{1}{30} \frac{\partial^5 u}{\partial x^5} \Delta x^4}{\frac{\partial u}{\partial x}} \right| = \frac{1}{30} \omega^4 p^4 \Delta x^4 \leq \delta \quad (3.10)$$

Bu durumda $\delta = 0.1$ (%10 hata) için kullanılması gereken örnekleme aralığı **3.11**'deki gibi olacaktır.

$$\Delta x \leq 0.210\lambda \quad (3.11)$$

Uzaysal türevin hesaplanmasında alıcı aralığının MFF ve BNK üzerinde etkisini görebilmek için 4 m alıcı aralığı için iki ayrı sayısal türev yöntemiyle hesaplanan sonuç faz hızı eğrileri karşılaştırılmıştır. İki farklı yöntemle hesaplanan faz hızı eğrileri Şekil 3.6'da verilmektedir. Şekil 3.6 incelendiğinde MFF ile elde edilen FHD eğrisinin daha önce **3.6**'da tanımlanmış olan kabul edilebilir türev hata sınırı olan $\delta = 0.1$ değerini yaklaşık 8 Hz'te aştığı görülmektedir. 8 Hz'te elde edilmesi gereken teorik faz hızı değeri 250 m/s iken MFF ile elde edilen faz hızı değeri 278 m/s'dir. 8 Hz frekansından daha yüksek frekans değerlerinde ise hata oranı giderek artmakta ve hesaplanan FHD eğrisi teorik eğriden uzaklaşmaktadır. Bu durum MFF ile uzaysal türev alınırken 4m'lik alıcı aralığının 8 Hz frekansından daha yüksek frekanslarda yetersiz kaldığı, 8 Hz'ten yüksek frekansları %10 ve altında bir hatayla çözebilmek için alıcı aralığının düşürülmesi gerektiği anlamına gelmektedir. 8 Hz frekansında 250 m/s hızla seyahat eden bir dalganın dalga boyu 31.25 m'dir. **3.8**'de alıcı aralığı olan 4 m yerine yazılırsa, bu alıcı aralığı için elde edilebilecek en kısa dalga boyunun 32.52 m olduğu görülür ki bu değer 8 Hz frekansında seyahat eden dalganın dalga boyuna çok yakındır. **3.8**'de tanımlanan alıcı aralığı-dalga boyu ilişkisinden elde edilen 4 m alıcı aralığı ile çözülebilecek en kısa dalga boyu değeri olan 32.52 m ile, uygulamada %10 ve altında hata değeriyle çözülebilen dalga boyu değeri olan 31.25 m neredeyse birebir örtüşmektedir. Yine Şekil 3.6'da BNK ile elde edilen FHD eğrisi, kabul edilebilir türev hata sınırı olan $\delta = 0.1$ değerini yaklaşık 14 Hz'te aşmaktadır. 14 Hz'te elde edilmesi gereken teorik faz hızı değeri 244 m/s iken BNK ile elde edilen faz hızı değeri 271 m/s'dir. 14 Hz frekansından daha yüksek frekans değerlerinde ise hata oranı giderek artmakta ve hesaplanan FHD eğrisi teorik eğriden giderek uzaklaşmaktadır.

Bu durumda BNK ile uzaysal türev alınırken 4m'lik alıcı aralığının 14 Hz frekansından daha yüksek frekanslarda yetersiz kaldığı, 14 Hz'ten yüksek frekansları %10 ve altında bir hatayla çözebilmek için alıcı aralığının düşürülmesi gerektiği söylenebilir. 14 Hz'te 244 m/s hızla seyahat eden bir dalganın dalga boyu 17.43 m'dir. **3.11**'de alıcı aralığı olan 4 m yerine yazılırsa, bu alıcı aralığı için elde edilebilecek en kısa dalga boyunun ise 19.04 m olduğu görülür ki bu değer 14 Hz frekansında seyahat eden dalganın dalga boyuna oldukça yakındır. **3.11**'de tanımlanan alıcı aralığı-dalga boyu ilişkisinden elde edilen, 4 m alıcı aralığı ile çözülebilecek en kısa dalga boyu değeri olan 19.04 m ile, uygulamada %10 ve altında hata değeriyle çözülebilen dalga boyu değeri olan 17.43 m birbirine çok yakın değerlerdir. Bu sonuçlardan yola çıkılarak Langston (2007a) tarafından tanımlanmış olan **3.8** ve onun BNK için elde edilmiş karşılığı olan **3.11**'de tanımlanan ilişkinin verilen alıcı aralığı değerleri için çözülebilecek en kısa dalga boyunu (en yüksek frekansı) belirlemede oldukça başarılı olduğu söylenebilir. Aynı zamanda uzaysal türevin hesaplanmasında BNK'nın MFF karşısındaki üstünlüğü bir kez daha görülmektedir. 4m alıcı aralığı ile MFF kullanılarak yapılacak bir faz hızı hesaplamasında %10 ve altında bir türev hatası ile çözülebilecek en yüksek frekans değeri 8 Hz iken, BNK kullanıldığında bu değer 14 Hz'e kadar yükseltilebilmekte ve böylece faz hızı hesaplamasında önemli bir iyileşme sağlanmaktadır. Bu nedenle izleyen bölümlerde DGY analizinde uzaysal türevin hesaplanması için BNK'nın kullanılmasına karar verilmiştir.



Şekil 3.6 : 4m alıcı aralığına sahip sentetik sismogramlar üzerinde MFF ve BNK kullanılarak gerçekleştirilen FDGY analizleri ile elde edilen FHD eğrileri.

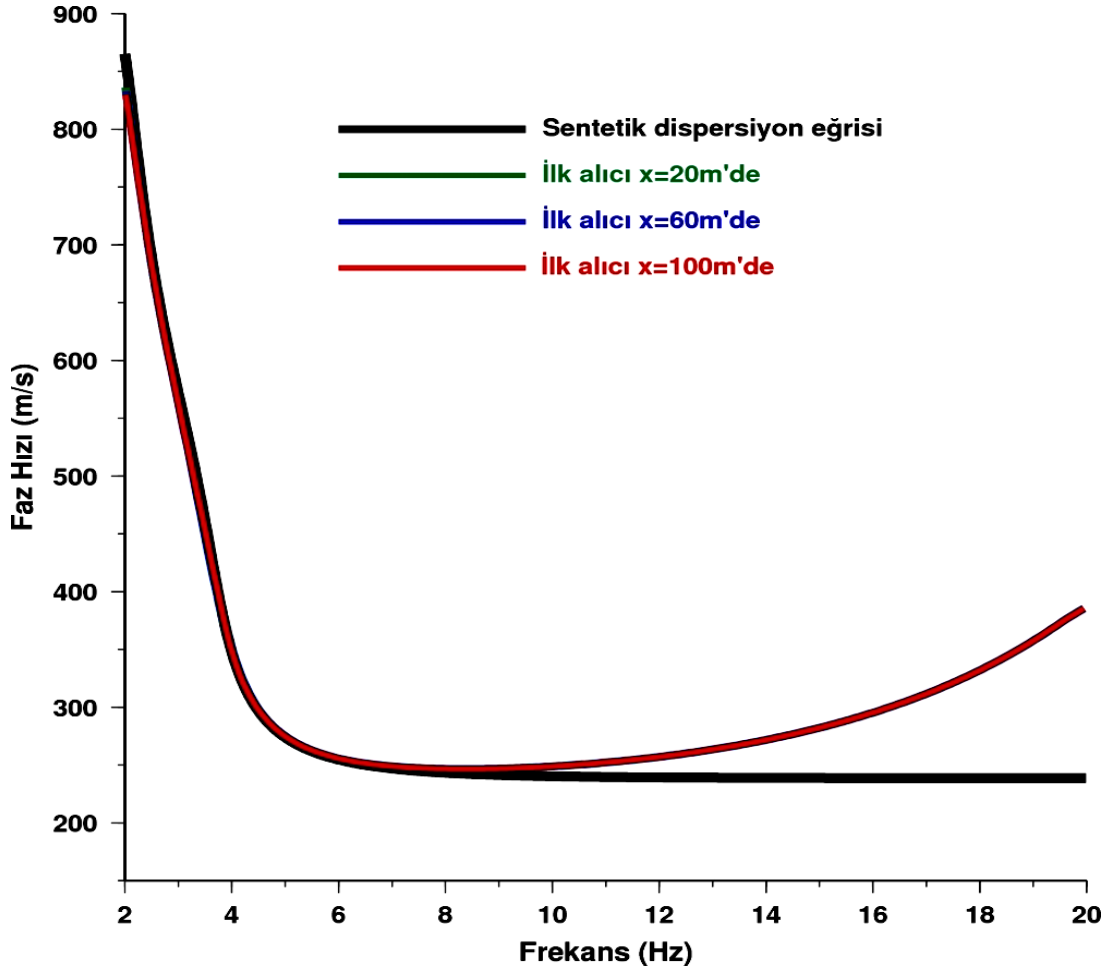
3.3 Dalga Gradiyometri Yöntemi İçin Alıcı Aralığı Analizi

DGY’de daha önceki bölümlerde bahsedildiği gibi hız ve geometrik açılımın belirlenebilmesi için yer değiştirme sinyalinin kendisi ile, yer değiştirmenin uzaysal ve zamansal türevleri arasındaki ilişki kullanılmaktadır (2.2).Yöntem yüzey dalgası faz hızı analizinde doğrusal bir dizin boyunca farklı alıcılarda kaydedilen sismik dalgalar arasında gerçekleştirilen zamansal ve uzaysal türev hesaplamaları ile çalışmaktadır. Yöntemin doğru çalışması bu zamansal ve uzaysal türevlerin doğru alınabilmesine bağlıdır. Yer değiştirme sinyalinin zamansal türevinin doğru alınabilmesi için zamanda örnekleme aralığının küçük olması yeterlidir. Yer değiştirmenin uzaysal türevinin sağlıklı bir şekilde elde edilebilmesi için ise dizin boyunca alıcı aralığının mümkün olduğunca kısa tutulması gerekmektedir.

Bu amaçla Çizelge 3.1’de verilen hız modeli için 4m ve 2 m alıcı aralıkları kullanılarak üretilen basit sentetik sismogramlar kullanılmıştır (Şekil 3.3 ve Şekil 3.4). İzleyen bölümde, FHD eğrisinin 2-20 Hz frekans aralığında doğru bir şekilde elde edilebilmesi için kullanılması gereken alıcı aralığının belirlenmesi amacıyla sentetik sismogramlar, FDGY ve ZDGY ile analiz edilmiştir. Her iki yöntem için analizler yazılan Matlab kodları ile gerçekleştirilmiştir.

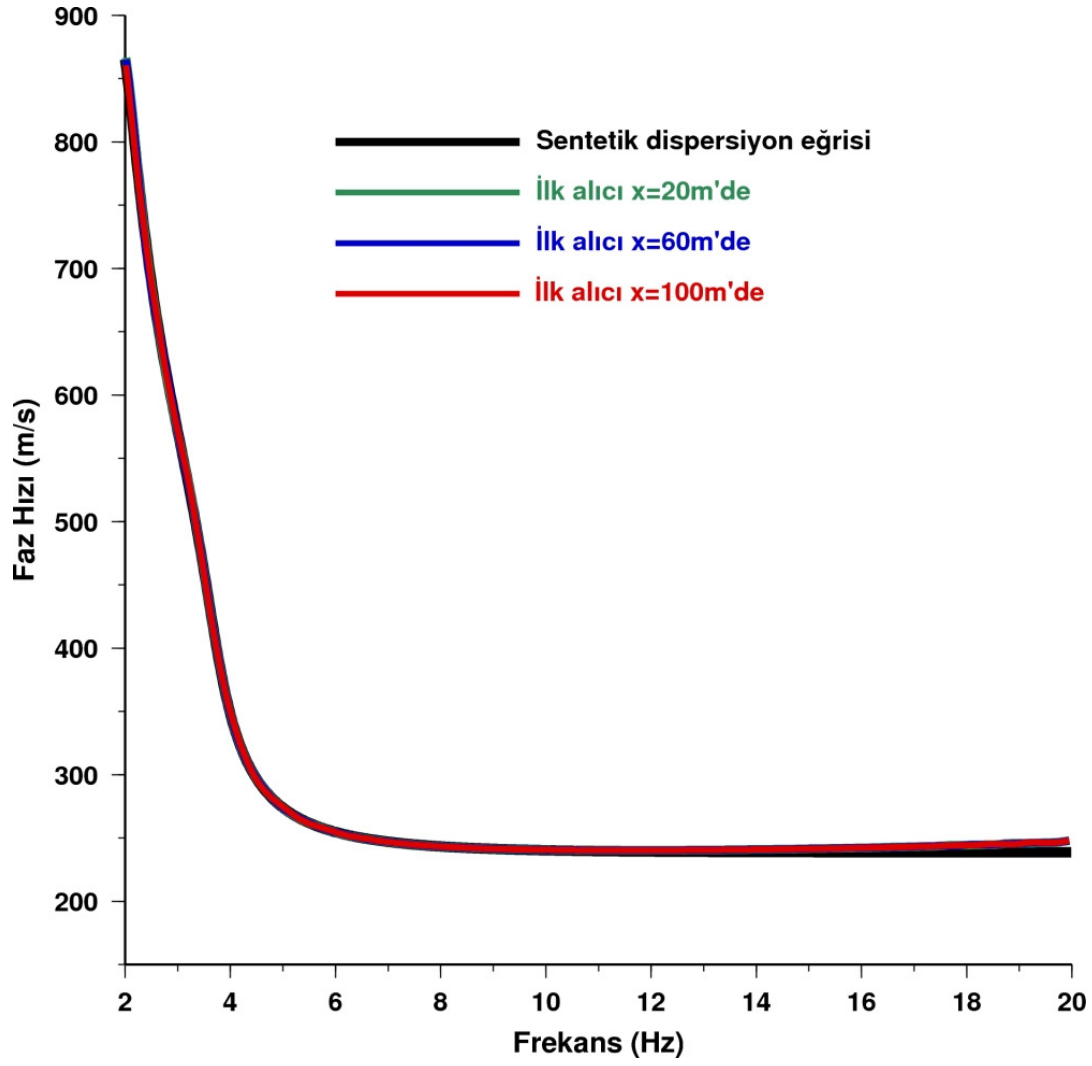
3.3.1 FDGY için alıcı aralığı analizi

FDGY analizi için 2.10, 2.11 ve 2.7’yi kullanan bir matlab kodu yazılmış ve analizler bu kodun çalıştırılmasıyla gerçekleştirilmiştir. 4m ve 2m alıcı aralıkları için oluşturulan sentetiklerden FDGY ile elde edilen FHD eğrileri ve hesaplanan teorik eğri sırasıyla Şekil 3.7 ve Şekil 3.8’de görülmektedir. FHD eğrileri, yöntemin kullanılan ilk alıcı uzaklığına duyarlılığını da gözlemlemek amacıyla üç farklı ilk alıcı uzaklığı $x=20m$, $x=60 m$ ve $x=100m$ için hesaplanmıştır. Şekil 3.7 incelendiğinde tüm ilk alıcı uzaklıkları için elde edilen sonuç FHD eğrilerinin birebir örtüştüğü ve analizin hat boyunca farklı alıcı grupları için uygulanmasının bu örnekte sonucu değiştirmedeği görülmektedir. Teorik dispersiyon eğrisi ile hesaplanan eğriler arasındaki uyum incelendiğinde; hesaplanan eğrilerin yaklaşık 8 Hz frekansında teorik eğriden ayrıldığı ve teorik eğriye göre daha yüksek hızlar kestirdiği gözlenmektedir. Yüksek frekans bandında gözlenen bu durum, alıcı aralığının 4m olmasından kaynaklanan yetersiz uzaysal çözünürlük ile açıklanabilir.



Şekil 3.7 : 4 m alıcı aralığı için FDGY kullanılarak elde edilen FHD eğrileri (renkli eğriler) ve karşılık gelen Teorik Dispersiyon Eğrisi (siyah eğri).

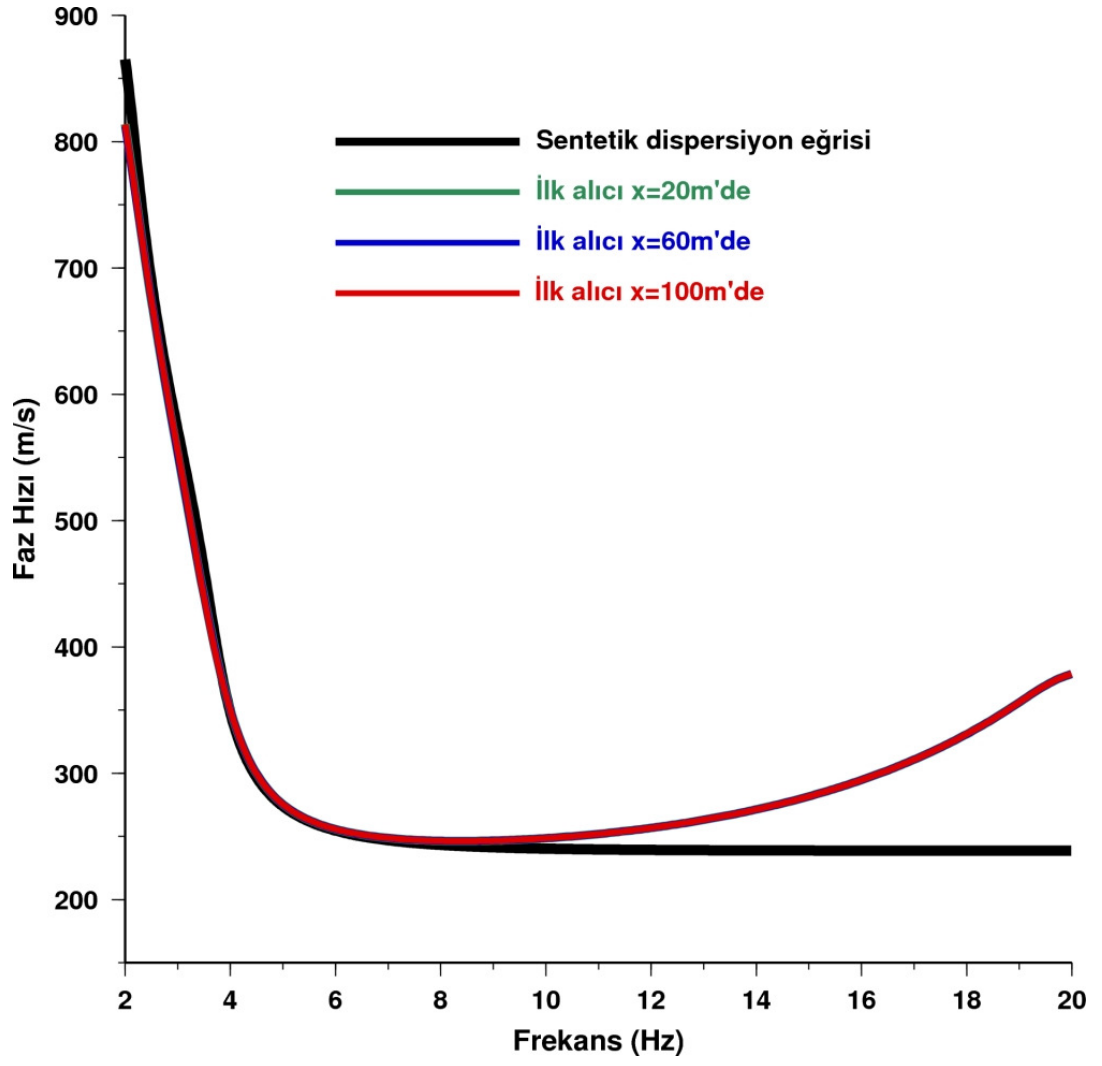
Şekil 3.8 incelendiğinde 2m alıcı aralığı için hesaplanan sentetiklerin analiz edilmesi sonucunda elde edilen FHD eğrilerinin neredeyse tüm frekans bandında teorik eğri ile çakıştığı gözlenmektedir. Yalnızca 16 Hz frekansından daha yüksek frekanslarda hesaplanan FHD eğrisi ile teorik eğrinin arasının çok az da olsa açıldığı ve teorik hızlardan bir miktar daha yüksek hızlar elde edildiği görülmektedir. Üç farklı ilk alıcı uzaklığı $x=20\text{m}$, $x=60\text{ m}$ ve $x=100\text{m}$ için hesaplanan FHD eğrileri arasında Şekil 3.7'dekine benzer şekilde herhangi bir fark görülmemektedir.



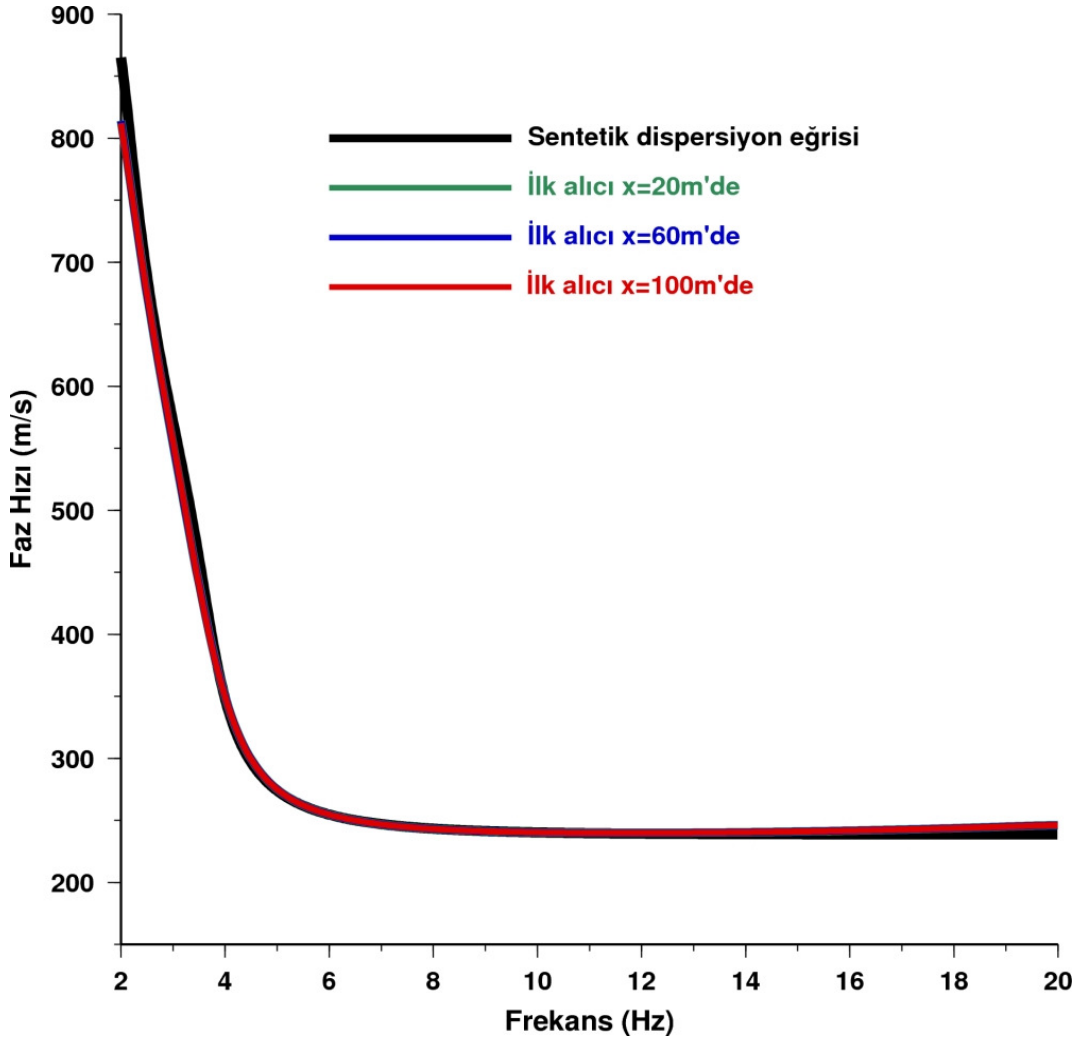
Şekil 3.8 : 2 m alıcı aralığı için FDGY kullanılarak elde edilen FHD eğrileri (renkli eğriler) ve karşılık gelen Teorik Dispersiyon Eğrisi (siyah eğri).

3.3.2 ZDGY için alıcı aralığı analizi

4m ve 2m alıcı aralıkları için oluşturulan sentetiklerden ZDGY ile elde edilen FHD eğrileri ve hesaplanan teorik eğri sırasıyla Şekil 3.9 ve Şekil 3.10'da görülmektedir.



Şekil 3.9 : 4 m alıcı aralığı için ZDGY kullanılarak elde edilen FHD eğrileri (renkli eğriler) ve karşılık gelen Teorik Dispersiyon Eğrisi (siyah eğri).



Şekil 3.10 : 2 m alıcı aralığı için ZDGY kullanılarak elde edilen FHD eğrileri (renkli eğriler) ve karşılık gelen Teorik Dispersiyon Eğrisi (siyah eğri).

FHD eğrileri, ZDGY ile analizin ilk alıcı uzaklığına duyarlılığını da gözlemlemek amacıyla üç farklı ilk alıcı uzaklığı $x=20\text{m}$, $x=60\text{ m}$ ve $x=100\text{m}$ için hesaplanmıştır. Şekil 3.9 incelendiğinde tüm ilk alıcı uzaklıkları için elde edilen sonuç FHD eğrilerinin birebir örtüştüğü ve zaman ortamı analizinin hat boyunca farklı alıcı grupları için uygulanmasının sonucu değiştirmediği görülmektedir. Teorik dispersiyon eğrisi ile hesaplanan eğriler arasındaki uyum açısından incelendiğinde; hesaplanan eğrilerin FDGY sonucuna benzer şekilde yaklaşık 8 Hz frekansında teorik eğriden ayrıldığı ve teorik eğriye göre daha yüksek hızlar kestirdiği gözlenmektedir. Yüksek frekans bandında gözlenen bu durum, 4m alıcı aralığının yüksek frekans bandında uzaysal çözünürlüğü sağlamak için yeterince küçük olmaması ile açıklanmaktadır.

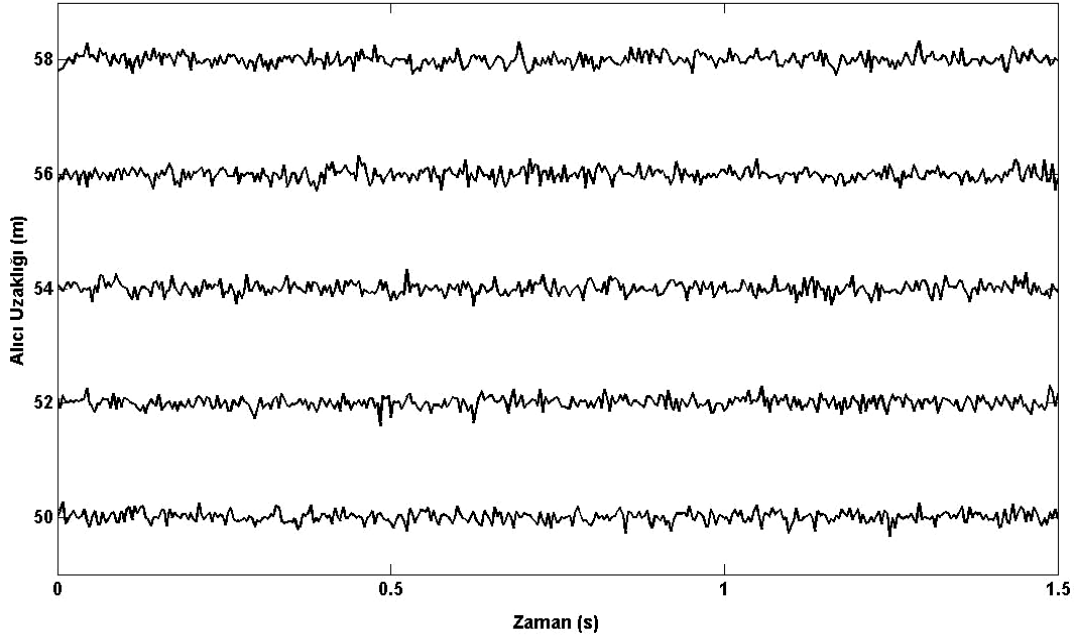
Şekil 3.10 incelendiğinde 2m alıcı aralığı için hesaplanan sentetiklerin zaman ortamı dalga değişimi yöntemi ile analiz edilmesi sonucunda elde edilen dispersiyon eğrilerinin neredeyse tüm frekans bandında teorik eğri ile çakıştığı gözlenmektedir. Aynı zamanda üç farklı ilk alıcı uzaklığı $x=20\text{m}$, $x=60\text{ m}$ ve $x=100\text{m}$ için hesaplanan dispersiyon eğrileri birebir örtüşmektedir. Bu durumda 2m alıcı aralığının ilgilenilen frekans bandı olan 2-20 Hz aralığında FHD eğrilerinin hesaplanması için gerekli ve yeterli olduğu söylenebilir.

3.3.3 Dalga gradiyometri yöntemi için gürültü analizi

Dalga Gradiyometri Yöntemi'nde hız analizi yapılırken yer değiştirme sinyali ve onun türevlerine ait dalga genliklerinin oranları kullanıldığından yöntemin başarısının Sinyal Gürültü Oranından (SGO) etkileneceği açıktır. Dalga gradiyometri yönteminin farklı SGO'lar için vereceği sonuçları görmek ve yöntemin sınırlarını belirlemek amacıyla daha önce Bölüm 3.1'de ayrıntılı olarak anlatılan $\Delta x=2\text{m}$ alıcı aralıklı basit sentetik sismogramlar kullanılmıştır. Sismogramın toplam uzunluğu 6sn, zamanda örnekleme aralığı ise 0.004 sn'dir. Oluşturulan alıcı dizininde, noktasal kaynak ile ilk alıcı aynı noktadadır ve toplam dizin uzunluğu 250 m'dir. Yukarıda ayrıntılı olarak anlatılan sismogramlar üzerine farklı oranlarda gürültü eklenmiş ve elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

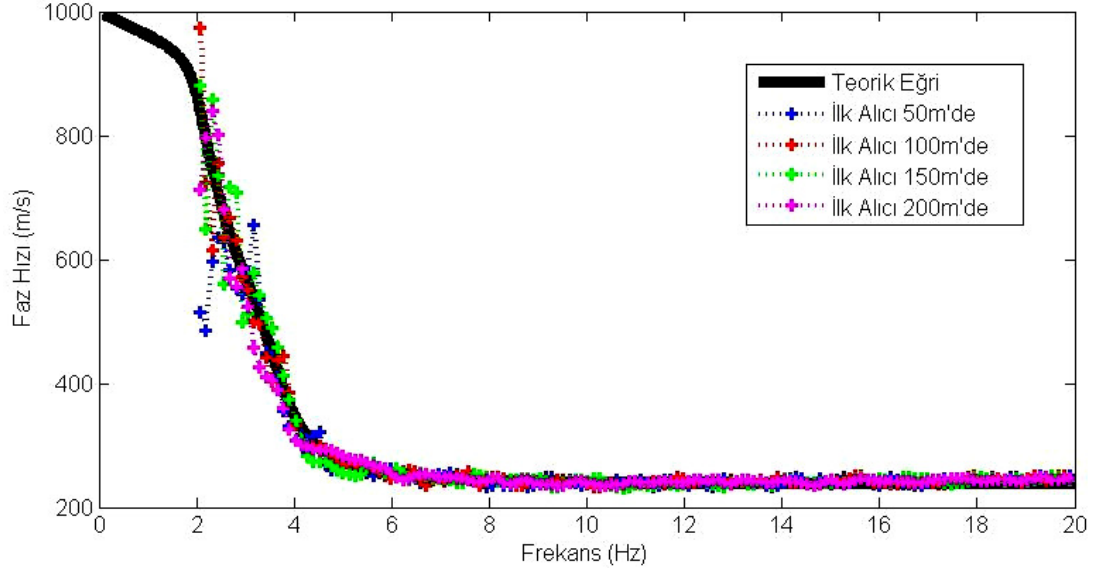
Öncelikle Matlab programının içerisinde bulunan “awgn (Automatic white gaussian noise)” fonksiyonu kullanılarak üretilen rastgele beyaz gürültü tüm sismogramlar üzerine eklenmiştir. Beyaz gürültü eklenmiş sismogramlar üretilirken Sinyal Gürültü Oranı (SGO) göz önünde bulundurulmuş olup, sırasıyla genlik olarak %5 (SGO=20) ve %10 (SGO=10) ve %15 (SGO=6.67) gürültü içeren sismogramlar hesaplanmıştır. Awgn komutu ilişkisiz (rastgele) gürültü üretmektedir. Dolayısıyla bu komut kullanıldığında üretilen sentetik sismogram kayıtlarının her bir kanalına birbiriyle ilişkili olmayan, zamanda birbirinden tamamen farklı gürültüler eklenmiş olmaktadır. Bu şekilde SGO=20 için üretilen beyaz gürültü örneği Şekil 3.11'de verilmiştir. Gürültünün alıcıdan alıcıya değişimini gösterebilmek amacıyla 1.5 s'lik kısmı şekilde verilmektedir. Şekil 3.11 incelendiğinde farklı alıcılara eklenen gürültülerin zaman ortamında birbirinden büyük farklılık gösterdiği görülmektedir. Aynı zamanda alıcıdan alıcıya gürültülerin çapraz ilişki katsayıları da hesaplanmıştır.

Sonuç olarak 50 m'deki alıcıdaki gürültü ile sırasıyla 52,54,56 ve 58 m'deki alıcılara eklenen gürültü arasındaki ilişki katsayıları yine sırasıyla 0.071, 0.078, 0.085 ve 0.090 olarak bulunmuştur. Bu durumda alıcılara eklenen gürültüler arasındaki ilişkinin çok zayıf olduğu söylenebilir.

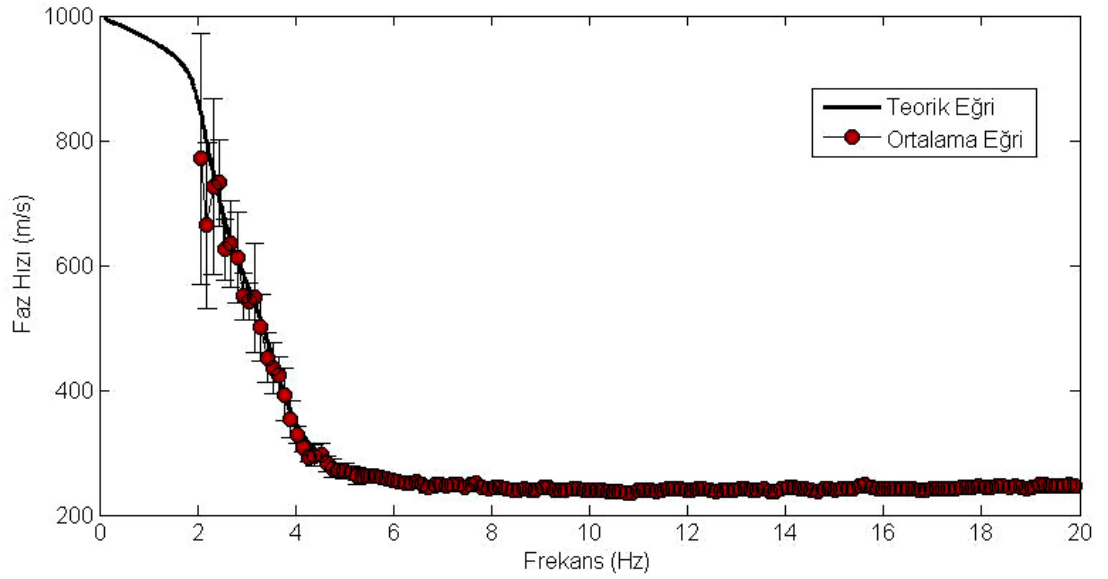


Şekil 3.11 : SGO=20 için 50-58 m aralığındaki alıcılara eklenen ilişkisiz (rastgele) beyaz gürültü.

Sismogram kayıtlarının tüm kanallarına birbirinden çok farklı gürültüler eklendiğinde elde edilen faz hızı eğrileri %5 gürültü oranı için Şekil 3.12’de görülmektedir. %10 ve %15 gürültü oranları için hesaplanan faz hızı eğrileri ise EK A’da verilmektedir. İlişkisiz gürültünün hat boyunca farklı alıcılarda etkisini gözlemlemek amacıyla sırasıyla 50-58m, 100-108m, 150-158m ve 200-208m aralığındaki alıcılar kullanılarak FHD eğrileri hesaplanmıştır. Alıcı aralığı 2m ve kullanılan sayısal türev yöntemi BNK olduğundan FHD elde edilirken hat boyunca kaynağa göre yukarıda bahsedilen uzaklıklarda konumlandırılmış olan beşli alıcı grubu kullanılmıştır. %5 gürültü oranı için sırasıyla 50-58m, 100-108m, 150-158m ve 200-208m alıcı uzaklıkları ile hesaplanan ortalama eğriler ve standart sapmaları Şekil 3.13’te görülmektedir. %10 ve %15 gürültü oranları için 50-58m, 100-108m, 150-158m ve 200-208m alıcı uzaklıkları ile hesaplanan ortalama eğriler ve standart sapmaları EK A’da verilmektedir.



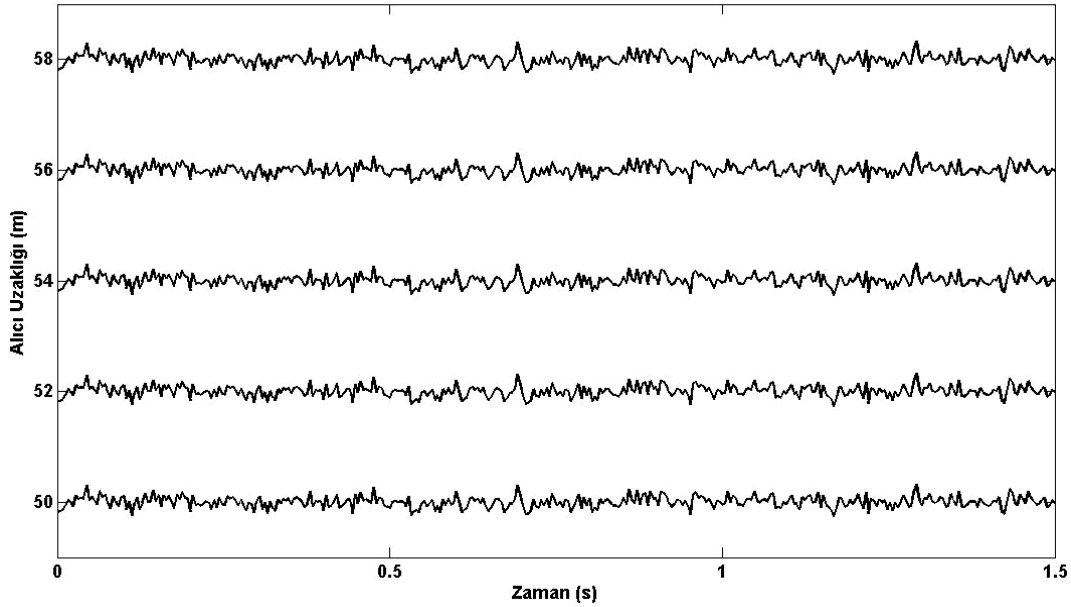
Şekil 3.12 : %5 ilişkisiz (rastgele) beyaz gürültü için farklı ilk alıcı uzaklıklarından hesaplanan FHD eğrileri (renkli eğriler) ve Teorik Dispersiyon Eğrisi (siyah).



Şekil 3.13 : %5 oranında ilişkisiz (rastgele) beyaz gürültü için hesaplanan Ortalama eğri (kırmızı daireler), Standart Sapması (siyah dikey çubuklar) ve Teorik Dispersiyon Eğrisi (siyah kalın eğri).

Sismogram kayıtlarının tüm kanallarına ilişkisiz gürültüler eklendiğinde elde edilen faz hızı eğrileri incelendiğinde DG yönteminin bu şekilde üretilen bir gürültü alanını SGO oranının en az 10 olması durumunda tolere edebildiği görülmektedir. Bu değerden düşük SGO oranlarında ise DG analizi ile elde edilen faz hızı eğrileri, teorik eğriden saptmakta ve özellikle alçak frekans bandında gerçek hız değerlerinden uzaklaşmakta ya da gerçek hız değerleri etrafında yüksek oranda salınım göstermektedir.

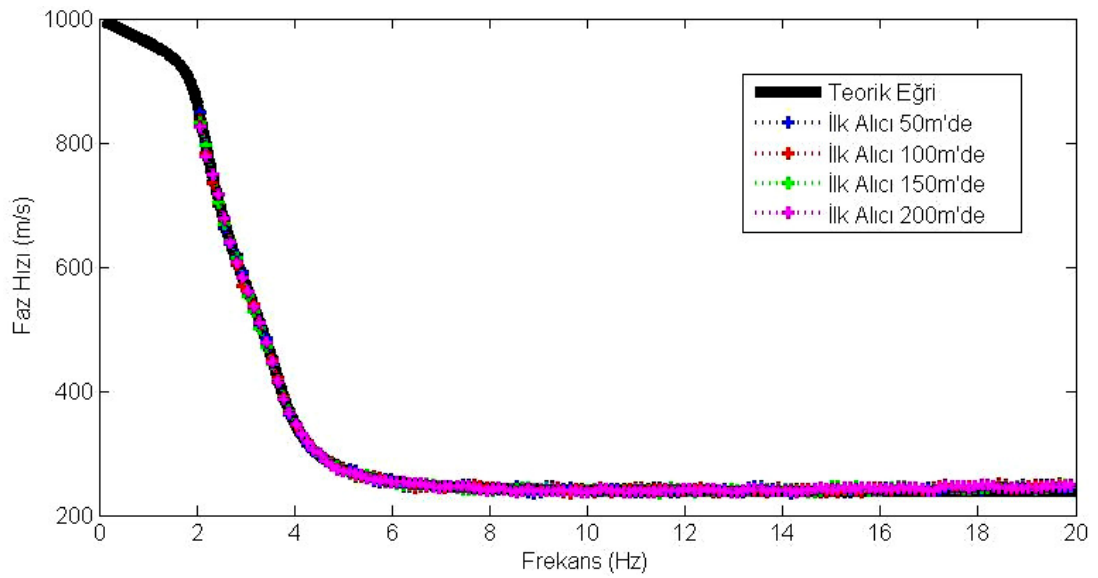
DGY’de yer deşiştirmenin turevleri hesaplanmaktadır ve uretilen sonuç FHD eğrilerini etkileyen temel terimler bu turev terimleridir. Yer değiştirmenin turevi hesaplanırken alıcı aralıkları 1-2 m gibi mümkün olduğunca küçük değerlerde tutulmaktadır. Bu nedenle gürültü analizinin ikinci bölümünde bu kadar küçük alıcı aralıklarında hat boyunca seyahat eden gürültünün de alıcıdan alıcıya çok yavaş değişeceği varsayılarak birbiri ardına gelen alıcılar üzerine aynı beyaz gürültü eklenmiş ve hesaplamalar bu alıcılar üzerinden yapılmıştır. Beyaz gürültü eklenmiş sismogramlar uretilirken SGO göz önünde bulundurulmuş olup, sırasıyla %5 (SGO=20), %10 (SGO=10), %20 (SGO=5) ve %50 (SGO=2) gürültü içeren sismogramlar hesaplanmıştır. Bu şekilde SGO=20 için uretilen ve ardı ardına gelen alıcılardaki sinyallere eklenen beyaz gürültü örneği şekil 3.15’te verilmiştir. şekil 3.14 incelendiğinde 50-58 m aralığındaki alıcılara eklenen beyaz gürültünün birebir aynı olduğu görölmektedir. Hat boyunca 50-58m, 100-108m, 150-158m ve 200-208m uzaklığında bulunan alıcı gruplarındaki tüm sinyaller üzerine grubun ortasındaki alıcıya ait gürültü eklenmiştir. Bu şekilde FHD eğrileri hesaplanmış ve böylece tüm alıcılardaki sinyaller üzerinde aynı gürültünün olması durumunda yöntemin performansının ne olacağı sorgulanmıştır.



şekil 3.14 : SGO=20 için 50-58 m aralığındaki alıcılara eklenen aynı beyaz gürültü.

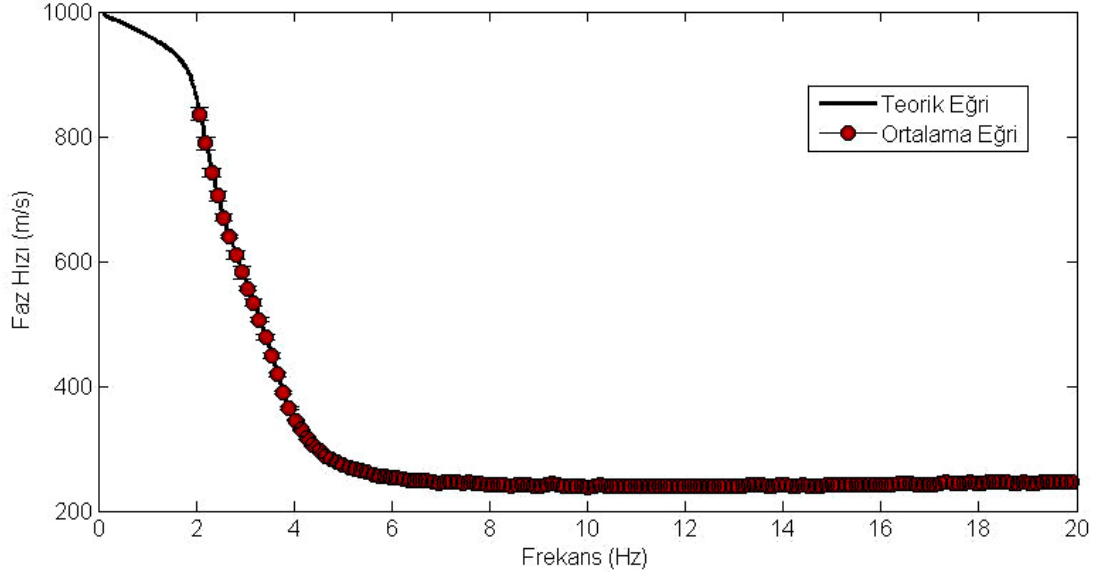
DGY’de hesaplamaların gerçekleştirildiği tüm kanallara aynı gürültü eklendiğinde elde edilen faz hızı eğrileri %5 gürültü oranı için Şekil 3.15’de görülmektedir.

%10, %20 ve %50 gürültü oranları için hesaplanan faz hızı eğrileri ise EK A’da verilmektedir. Eklenen gürültü ardı ardına gelen alıcılarda aynı kalmaktadır ancak hat boyunca alıcı uzaklığı arttıkça değişmeye devam etmektedir. Yani 50-58m, 100-108m, 150-158m ve 200-208m aralığındaki beşer alıcılı gruplar içerisinde gürültü sabit kalırken, hat boyunca gürültü değişmekte ve tüm bu alıcı gruplarına birbirinden farklı gürültüler uygulanmaktadır. Bu nedenle yukarıda uzaklıkları verilen farklı alıcı grupları için FHD eğrileri hesaplanmıştır.



Şekil 3.15 : %5 oranında aynı gürültü eklenmiş farklı ilk alıcı uzaklıklarından hesaplanan FHD eğrileri (renkli eğriler) ve Teorik Dispersiyon Eğrisi (siyah).

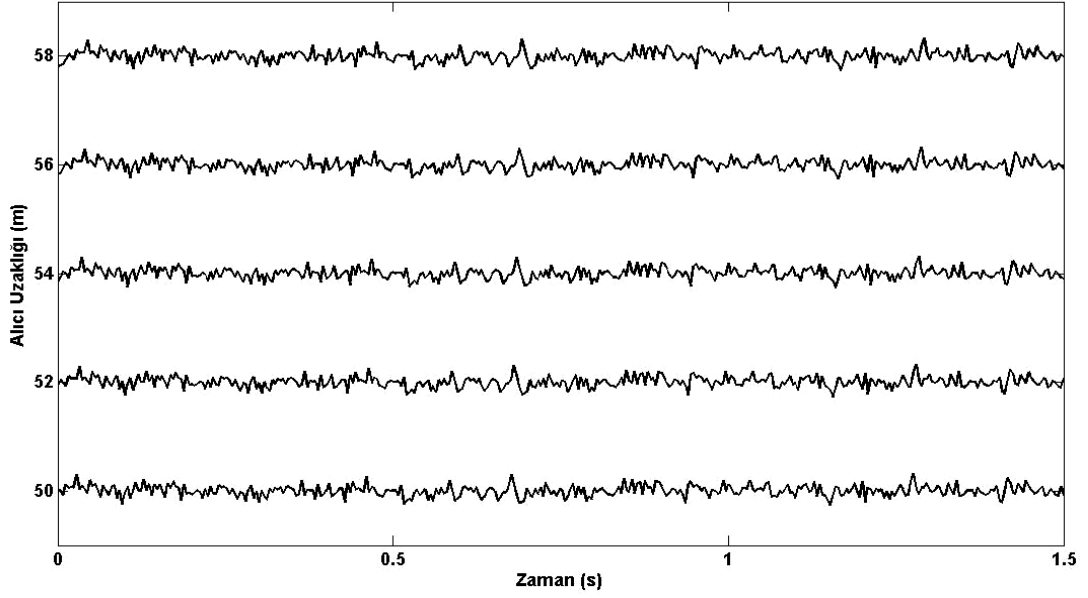
%5 gürültü oranı için sırasıyla 50-58m, 100-108m, 150-158m ve 200-208m alıcı uzaklığındaki alıcı gruplarından hesaplanan ortalama eğriler ve standart sapmaları Şekil 3.16’da görülmektedir. %10, %20 ve %50 gürültü oranları için sırasıyla 50-58m, 100-108m, 150-158m ve 200-208m alıcı uzaklığındaki alıcı gruplarından hesaplanan ortalama eğriler ve standart sapmaları EK A’da verilmektedir.



Şekil 3.16 : %5 oranında aynı gürültü için hesaplanan Ortalama eğri (kırmızı daireler), Standart Sapması (siyah dikey çubuklar) ve Teorik Dispersiyon Eğrisi (siyah kalın eğri).

Sismogramın tüm kanallarına aynı gürültünün eklenmesi durumunda elde edilen faz hızı eğrileri incelendiğinde DG yönteminin bu şekilde üretilen bir gürültü alanını 2 gibi çok düşük bir SGO oranına kadar tolere edebildiği görülmektedir. SGO oranının bu değerden daha yüksek olması durumunda DG analizi ile elde edilen faz hızı eğrileri, teorik eğri ile neredeyse birebir örtüşmekte ve hesaplanan faz hızlarının hata payı çok düşük olmaktadır.

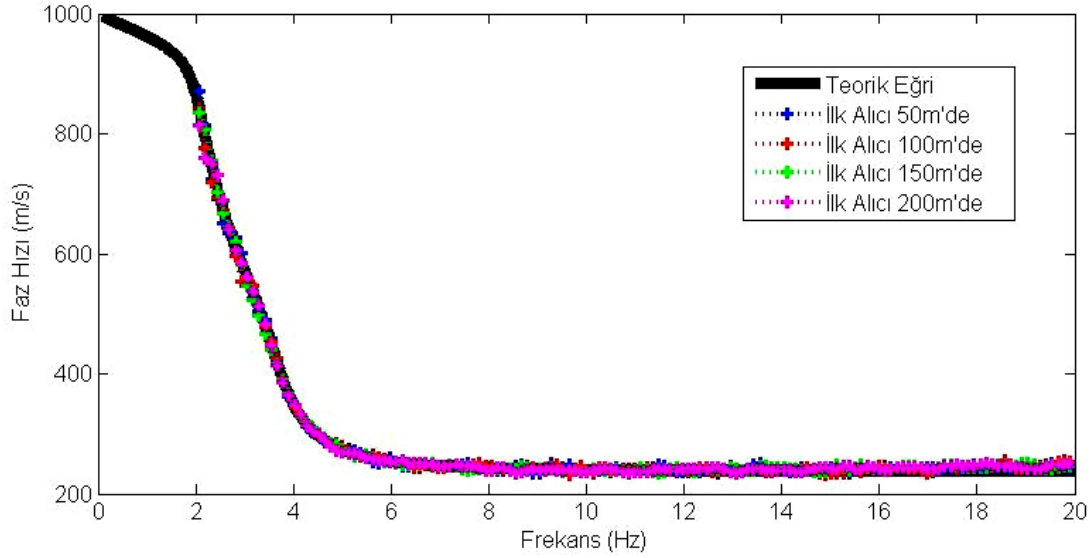
Gürültü analizi için son olarak, DGY’de kullanılan 2m gibi küçük alıcı aralıklarında gerçek bir sinyalde seyahat eden gürültünün aynı hat boyunca seyahat eden sinyaller gibi alıcıdan alıcıya çok yavaş değişeceği varsayılarak birbiri ardına gelen alıcılar üzerine zamanda bir miktar kaydırılmış (yüksek ilişkili) beyaz gürültüler eklenmiş ve hesaplamalar bu sinyaller üzerinden gerçekleştirilmiştir. Böylece bir anlamda gerçek bir sinyalde, verinin üzerine eklenmesi beklenen ortam gürültüsüne yakın bir gürültü alanı üretilmiş olmaktadır. Beyaz gürültü eklenmiş sismogramlar üretilirken SGO göz önünde bulundurulmuş olup, sırasıyla genlik olarak %5 (SGO=20), %10 (SGO=10), %25 (SGO=4) ve %40 (SGO=2.5) gürültü içeren sismogramlar hesaplanmıştır. Bu şekilde SGO=20 için üretilen ve ardı ardına gelen alıcılardaki sinyallere eklenen beyaz gürültü örneği Şekil 3.17’de verilmiştir.



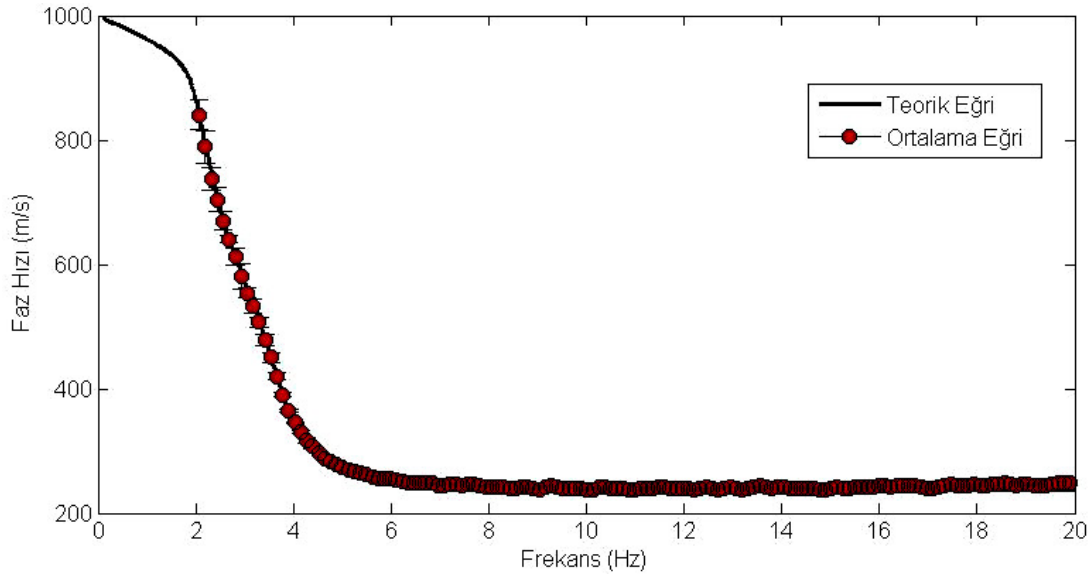
Şekil 3.17 : SGO=20 için 50-58 m aralığındaki alıcılara eklenen yüksek ilişkili (benzer) beyaz gürültü.

Şekil 3.17 incelendiğinde 50-58 m aralığındaki alıcılara eklenen beyaz gürültünün şeklinin birebir aynı olduğu, yalnızca zamanda bir miktar kaydırıldığı, yani fazının değiştiği görülmektedir. Hat boyunca 50-58m, 100-108m, 150-158m ve 200-208m uzaklığında bulunan alıcı gruplarındaki tüm sinyallere ilk alıcı için üretilen gürültünün zaman ortamında bir miktar kaydırılmış versiyonu eklenmiştir. Gürültünün alıcıdan alıcıya kaydırılma miktarı sinyalin farklı frekans bantlarındaki hızları göz önünde bulundurularak belirlenmiştir. Sinyale ait Teorik Faz Hızı eğrisi incelendiğinde en yüksek faz hızının yaklaşık 1000 m/s, en düşük hızın ise yaklaşık 200 m/s olduğu gözlenmektedir. Sinyalin zamanda örnekleme aralığı 0.004 s'dir, yani 4 ms'dir. 1 Hz frekansı için yaklaşık hızı 1000 m/s alırsak, bu sinyalin alıcı aralığı olan 2m'yi yaklaşık 2ms'de alacağını görürüz. Aynı şekilde 20 Hz frekansında seyahat eden bir sinyalin de 200 m/s hızla 2m'lik alıcı aralığını 10 ms'de alacağını hesaplarız. Sinyali zamanda bir örnek kaydırmak (4 ms) alçak frekans bandında bu sinyali bir alıcı, yüksek frekans bandında ise yaklaşık yarım alıcı aralığı ötelemekle aynıdır. Zamanda kaydırmanın çok yüksek olmaması için gürültü alıcıdan alıcıya birer zaman örneği (4 ms) kaydırılarak sinyaller üzerine eklenmiştir. Böylece birbiri ardına gelen alıcılara eklenen gürültülerin ilişkisinin yüksek olması sağlanmıştır. Bu şekilde FHD eğrileri hesaplanmış ve böylece tüm alıcılardaki sinyaller üzerinde yüksek ilişkili gürültülerin olması durumunda yöntemin performansının ne olacağı sorgulanmıştır. DGY uygulanırken hesaplamaların

gerçekleştirildiği tüm kanallara yüksek ilişkili gürültülerin eklenmesi durumunda elde edilen faz hızı eğrileri %5 gürültü oranı için Şekil 3.18’de görülmektedir. %10 ve %25 gürültü oranları için elde edilen faz hızı eğrileri ise EK A’da verilmektedir. %5 gürültü oranı için sırasıyla 50-58m, 100-108m, 150-158m ve 200-208m alıcı uzaklığındaki alıcı gruplarından hesaplanan ortalama eğriler ve standart sapmaları Şekil 3.19’da görülmektedir. %10 ve %25 gürültü oranları için hesaplanan ortalama eğriler ve standart sapmaları EK A’da verilmektedir.



Şekil 3.18 : %5 oranında yüksek ilişkili (benzer) gürültü eklenmiş sinyallerden farklı ilk alıcı uzaklıklarında hesaplanan FHD eğrileri (renkli eğriler) ve Teorik Dispersiyon Eğrisi (siyah).



Şekil 3.19 : %5 oranında yüksek ilişkili gürültü için hesaplanan Ortalama eğri (kırmızı daireler), Standart Sapması (siyah dikey çubuklar) ve Teorik Dispersiyon Eğrisi (siyah kalın eğri).

Sismogramın tüm kanallarına benzer gürültülerin eklenmesi durumunda elde edilen faz hızı eğrileri incelendiğinde DG yönteminin bu şekilde üretilen gerçekçi bir gürültü alanını 4 gibi düşük bir SGO oranına kadar tolere edebildiği görülmektedir. SGO oranının bu değerden daha yüksek olması durumunda DG analizi ile elde edilen faz hızı eğrileri, teorik eğri ile neredeyse birebir örtüşmekte ve hesaplanan faz hızlarının hata payı çok düşük olmaktadır. Sentetik sismogramlara rasgele beyaz gürültü eklendiğinde, analizin gerçekleştirildiği alıcı uzaklığına bağımlı sonuçların elde edildiği görülmektedir. Bu durumda yüksek SGO değerleri için dahi farklı alıcı uzaklıklarında hesaplanan FHD sonuçları büyük farklılıklar göstermektedir. Sentetiklere aynı ya da benzer beyaz gürültünün eklenmesi durumunda ise düşük SGO değerlerine kadar farklı alıcı uzaklıklarından elde edilen FHD sonuçlarının çok fazla değişmediği, bu durumun ancak %2-4 gibi düşük SGO değerlerinde bozulmaya başladığı görülmektedir.

4. ZAMAN ORTAMI DALGA GRADİYOMETRİ YÖNTEMİNİN MASW İLE KARŞILAŞTIRILMASI

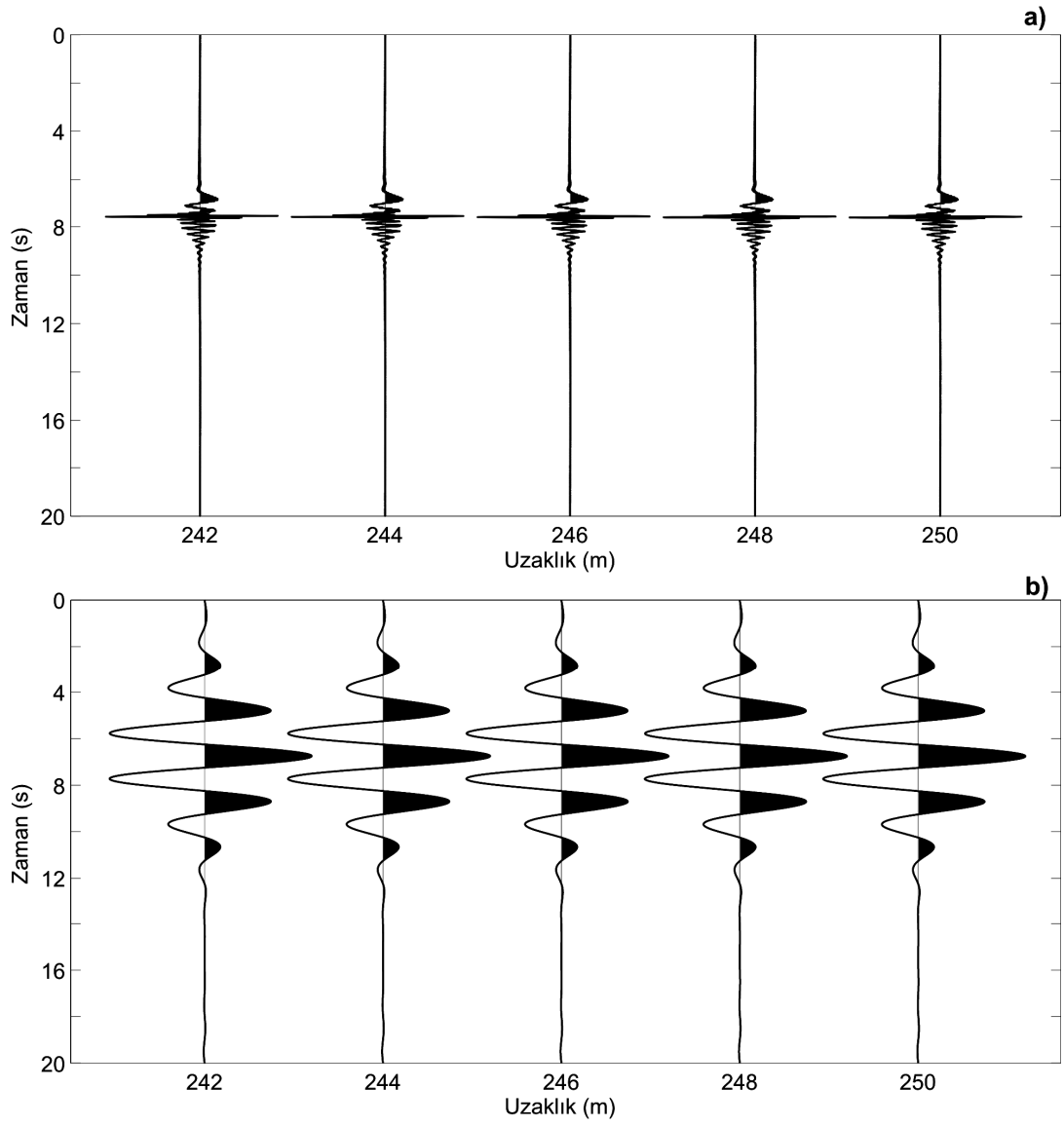
Yüzey Dalgası Faz Hızı Analizi'nde her bir frekansa karşılık gelen faz hızı değerleri elde edilmeye çalışılmaktadır. Böylece yüzey dalgası hızının frekansa bağlı değişimi saptanmış olmakta ve buradan da zemine ait 1-boyutlu S-Dalgası hız profiline geçiş yapılmaktadır. Ortamda yüzey dalgasına ait tek bir modun bulunması durumunda FHD eğrileri Frekans Ortamı (FDGY) ya da Zaman Ortamı (ZDGY) Gradiyometri Yöntemleri'nden herhangi biri kullanılarak başarılı bir şekilde elde edilebilmektedir. Bununla beraber, ortamda yüzey dalgasına ait birden fazla mod enerjisinin varolması durumunda FHD analizinin doğru bir şekilde yapılabilmesi için bu modların birbirinden ayrılabilmesi gerekmektedir. FDGY'de herhangi bir dalgaya ait hız değerleri frekans ortamında spektral oranlama ile elde edilmektedir (2.11 ve 2.7). 2.11 incelendiğinde bu yöntem ile her bir frekansa karşılık tek bir hız değerinin hesaplanabileceği görülmektedir. Bu durum cisim dalgalarına ait hızların hesaplanmasında problem teşkil etmemektedir çünkü cisim dalgalarının dispersiyon özelliği yoktur, bu nedenle ortamda farklı faz hızları ile yayınan cisim dalgası modları bulunmamaktadır. Buna karşılık dispersiyon özelliğine sahip yüzey dalgalarının farklı modları ortamda aynı frekanslarda ancak farklı faz hızları ile yayınmaktadırlar. Bu durumda faz hızları farklı dahi olsa aynı frekansta yayınan bu modların ayrımlılığının FDGY yöntemi ile sağlanamayacağı açıktır. FDGY yöntemi ile bir frekans değeri için faz hızı değeri hesaplanırken farklı modların ayrımlılığı sağlanamayacak ve elde edilen faz hızı değerleri farklı yüzey dalgası modlarına ait hızların bir karışımı olacaktır. Bu nedenle ortamda birden fazla yüzey dalgası modunun yayınması durumunda yüzey dalgasına ait farklı modların faz hızlarının doğru bir şekilde elde edilebilmesi amacıyla bu bölümde ve ilerleyen bölümlerde yalnızca ZDGY kullanılmıştır. ZDGY ve MASW Yöntemleri kullanılarak FHD analizleri gerçekleştirilmiş ve her iki yöntemin sonuçları karşılaştırılmıştır. Bu bölümde öncelikle ortamda yalnızca tek bir yüzey dalgası modunun yayınması durumunda yöntemlerin çözümlerinin ne olacağı incelenmiş, ardından üretilen iki

modlu basit sentetik üzerinde her iki yöntem kullanılarak gerçekleştirilen analiz sonuçları karşılaştırılmıştır.

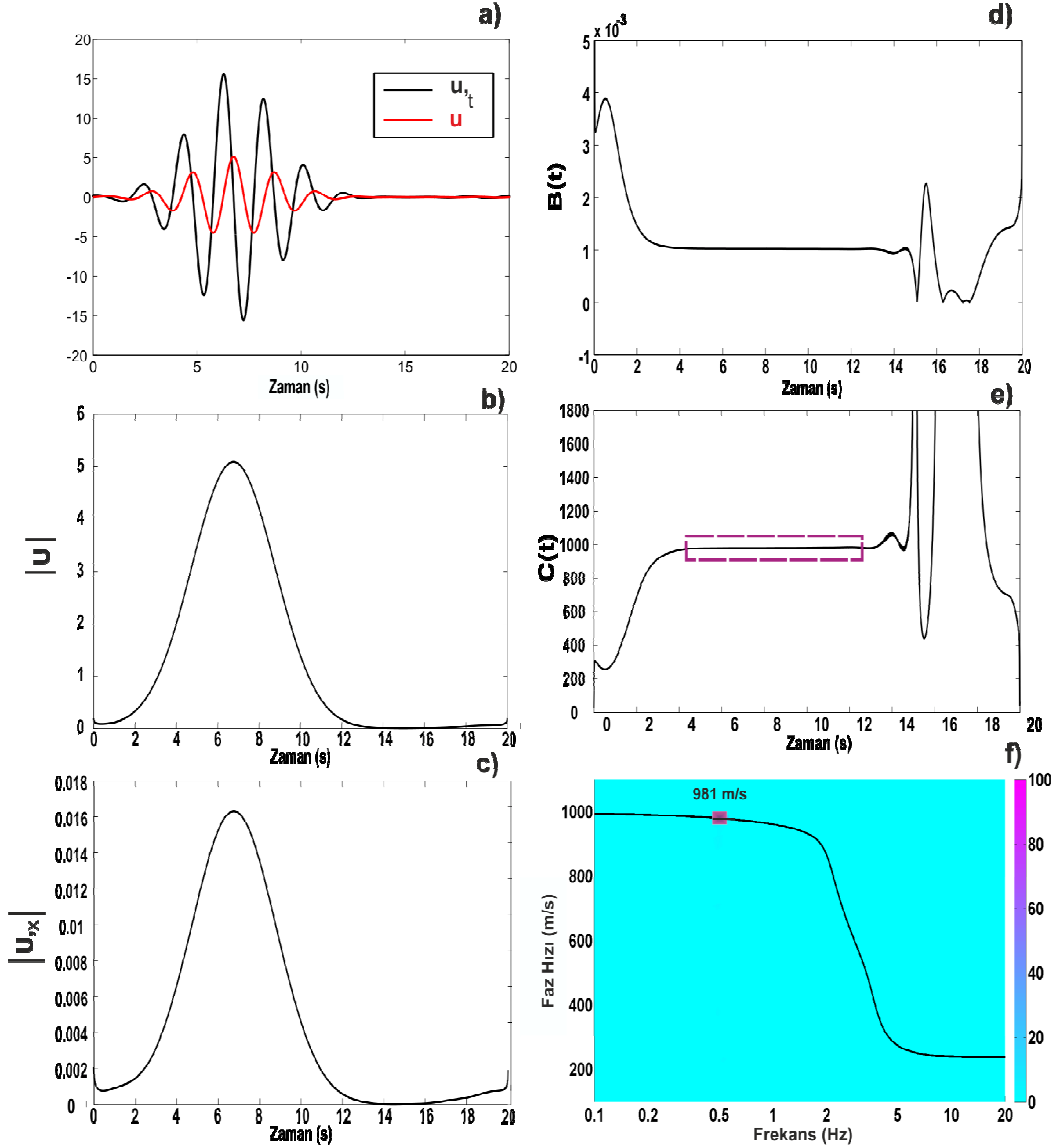
4.1 Tek Modlu Basit Sentetik İçin Karşılaştırma

Ortamda tek bir mod (temel mod) olması durumunda ZDGY ve MASW Yöntemleri'nin FHD çözümlerinin karşılaştırılması amacıyla Bölüm 3.1'de verilen 2m alıcı aralığına sahip sentetik sismogramlar kullanılmıştır. ZDGY ile FHD eğrilerinin elde edilmesi amacıyla yazılan Matlab kodunda, öncelikle tüm sinyaller belirli bir frekans bandında Bölüm 2.2'de ayrıntılı olarak anlatılan filtre ile süzölmektedir. Süzölen bu sinyaller üzerinden **2.21** ve **2.25** kullanılarak sırasıyla anlık frekans ve zamana bağlı B katsayısı hesaplanmaktadır. Ardından süzölen her bir frekans bandındaki yüzey dalgası faz hızı **2.7** kullanılarak B katsayısı üzerinden zamanın fonksiyonu olarak elde edilebilmektedir.

Yüzey dalgasının temel moduna ait FHD'nin elde edilmesi amacıyla gerçekleştirilen ZDGY analizinin aşamaları örnek üç frekans değeri için ($f_n = 0.5Hz$, $f_n = 4Hz$ ve $f_n = 10Hz$) aşağıda özetlenmektedir. ZDGY ile FHD analizinde uzaysal türev, **3.4**'te verilen BNK sayısal türev yöntemi ile hesaplanmış, bu nedenle analizlerde art arda gelen toplam beş alıcıya ait sinyaller kullanılmıştır. Hesaplamalar 242-250 m aralığındaki alıcılara ait sinyaller üzerinden gerçekleştirilmiştir. ZDGY ile FHD analizi yapılırken sinyaller öncelikle belirli bir frekans bandında 4.1'de verilen Gauss filtresi ile süzölmektedir. Şekil 4.1a'da art arda gelen beş alıcıya ait süzölmemiş sinyaller ve Şekil 4.1b'de ise aynı sinyallerin $f_n = 0.5Hz$ merkez frekansında süzölmüş hali görölmektedir.



Şekil 4.1 : a) 242-250 m aralığındaki alıcılara ait süzülmemiş sinyaller b) Aynı sinyallerin $f_n = 0.5 \text{ Hz}$ merkez frekansında süzölmüş halleri.

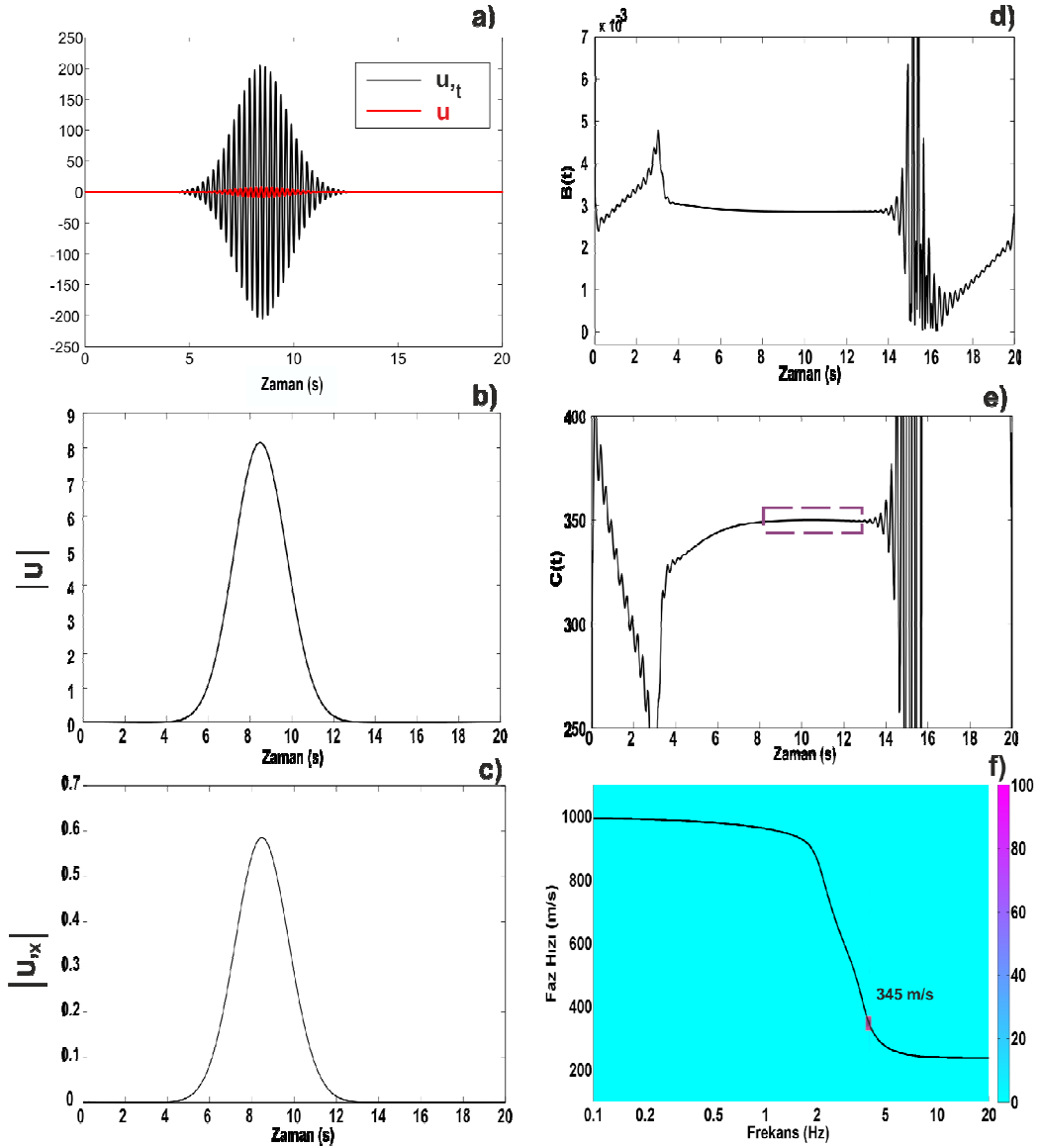


Şekil 4.2 : $f_n = 0.5\text{Hz}$ merkez frekansı için ZDGY analizi. a) Analize katılan alıcı grubundan ortadaki alıcıya ait sismogramın kendisi (kırmızı) ve zamansal türevi (siyah). b) Yerdeğiştirme sinyalinin Hilbert dönüşümüne ait zarf. c) Yerdeğiştirme sinyalinin uzaysal türevine ait Hilbert dönüşümünün zarfı. d) Zamana bağlı B katsayısı e) Zamanın fonksiyonu olarak faz hızı f) $f_n = 0.5\text{Hz}$ için elde edilen faz hızı değeri (pembe dikdörtgen) ve teorik faz hızı eğrisi (siyah eğri).

ZDGY ile FHD analizinin gerçekleştirilmesi amacıyla yazılan MATLAB kodunda daha önce de belirtildiği gibi öncelikle sinyaller verilen merkez frekansları için 4.1’de verilen Gauss Filtresi ile süzölmektedir. Ardından süzülen bu sinyallere ait uzaysal türevler BNK sayısal türev alma yöntemi ile hesaplanmaktadır. Yer değiştirme sinyaline ait uzaysal türev $u_{,x}$, analizin temelini oluşturmakta ve birçok

aşamada yer almaktadır (2.20 ve 2.25). Uzaysal türevin hesaplanması BNK ile gerçekleştirildiğinden analizde art arda gelen beş alıcıya ait sinyaller kullanılmaktadır. Yer değiştirme sinyalinin zaman türevi $u_{,t}$ ise, kullanılan beşli alıcı grubunun ortasındaki alıcıya ait sinyal üzerinden alınmaktadır. Bu nedenle Şekil 4.2a'da verilen zamansal türev $u_{,t}$ (siyah sismogram) , aynı şekilde kırmızı sismogramla verilen ve alıcı hattının ortasındaki (246 m) alıcıya ait olan yerdeğiştirme sinyali üzerinden hesaplanmıştır. Yer değiştirme sinyalinin zamansal türevi analiz esnasında anlık frekans $\omega(t)$ 'nin hesaplanması aşamasında kullanılmaktadır (2.21). Analizin ilerleyen aşamasında ise hesaplanan bu anlık frekans değeri B katsayısının elde edilmesinde kullanılmaktadır (2.25). Şekil 4.2b'de yer değiştirme sinyaline ait Hilbert dönüşümünün zarfı $|U|$ zamanın fonksiyonu olarak görülmektedir. 2.21 ile verilen $\omega(t)$ 'nin hesaplanmasında kullanılan $|U|$, aynı zamanda B katsayısının elde edilmesine yarayan eşitliğin paydasında yer almaktadır (2.25). Şekil 4.2c'de yer değiştirme sinyalinin uzaysal türevine ait Hilbert dönüşümünün zarfı görülmektedir. Bu değer ZDGY analizinde B katsayısının hesaplanması aşamasında devreye girmektedir ve B katsayısının değeri esas olarak zaman ortamında $\frac{|U_{,x}|}{|U|}$ oranlamasına dayanmaktadır (2.25). ZDGY analizinde bir diğer aşama B katsayısının hesaplanmasında kullanılan sırasıyla yerdeğiştirme sinyaline ve yerdeğiştirmenin uzaysal türevine ait anlık fazların hesaplanmasıdır (ϕ ve ψ). 2.19 ve 2.20 kullanılarak elde edilen anlık fazlar ϕ ve ψ , 2.25 aracılığıyla B katsayısının hesaplanmasında yer almaktadır. Şekil 4.2d'de ise 2.25 ile zamanın fonksiyonu olarak hesaplanan B katsayısı görülmektedir. Şekil 4.2d incelendiğinde B katsayısının 3-13 s zaman aralığında sabit bir değer olarak hesaplandığı gözlenmektedir. Şekil 4.2a,b ve c'ye bakılarak 3-13 s zaman aralığının sinyalde 0.5 Hz frekansında yayınan yüzey dalgasına ait enerjinin bulunduğu aralık olduğu görülmektedir. Bu zaman aralığında $\frac{|U_{,x}|}{|U|}$ oranlaması sonucunda verilen frekansa ait doğru B katsayısı değerleri hesaplanmaktadır. 3-13 s aralığının dışındaki zamanlarda $u_{,t}$ değerinin sıfır olduğu ve temel olarak $\frac{|U_{,x}|}{|U|}$ oranlanmasına dayanan B katsayısının doğru değerden saptığı sırasıyla Şekil 4.2a ve Şekil 4.2d'de

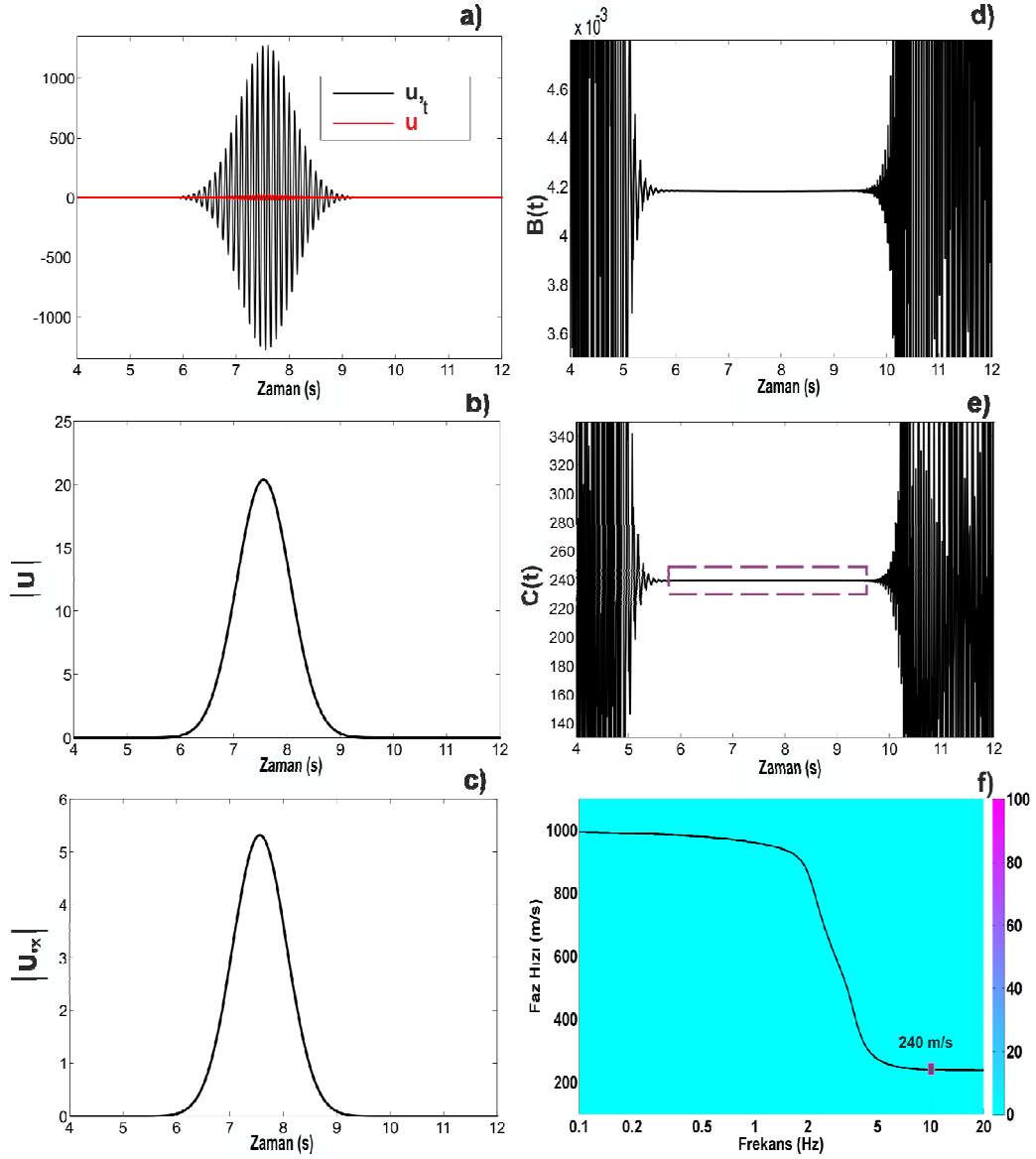
görülmektedir. B katsayısının hesaplanmasının ardından **2.7** kullanılarak, verilen frekans değeri $f_n = 0.5Hz$ için faz hızı değerleri zamanın fonksiyonu olarak elde edilmektedir (Şekil 4.2e). Şekil 4.2e'ye bakılarak faz hızı değerlerinin B katsayısına benzer şekilde 3-13 s aralığında sabit bir değer (981 m/s) olarak elde edildiği görülmektedir. Şekilde mor çerçeveyeyle işaretlenen 3-13 s zaman aralığının dışında faz hızı bu sabit değerden uzaklaşmakta ve büyük salınımlar göstermektedir. $f_n = 0.5Hz$ için zamanın fonksiyonu olarak elde edilen faz hızı değerleri (Şekil 4.2e), teorik faz hızı değerleri göz önünde bulundurularak 0-1100 m/s aralığında oluşturulan faz hızı sınıfları üzerinden histogramlanmış, ardından bu frekans değerinde her bir faz hızı sınıfının tekrarlaması sayısı elde edilmiştir. Bu dağılımda en çok elde edilen faz hızı sınıfına ait tekrarlaması sayısı 1'e eşitlenmiş, yani tüm faz hızı sınıflarının tekrarlaması sayıları bu maksimum değere göre normalize edilmiştir. Böylece faz hızının dağılım fonksiyonu hesaplanmıştır. Sonrasında elde edilen faz hızı dağılımında tüm tekrarlaması sayıları 100 ile çarpılmıştır. Bu durumda bir frekans değeri için en çok tekrarlanan faz hızı sınıfı 100 değeri ile ifade edilmekte, daha az tekrarlaması sayısına sahip faz hızı sınıfları ise 100'den düşük ve 0-100 aralığındaki değerleri almaktadır. Hesaplanan bu değerler ile bir renk kodu oluşturulmuştur. Bu renk kodunda azalan faz hızı tekrarlaması sayısı ile birlikte mor-pembeden camgöbeğine doğru bir geçiş olmaktadır. Yani kullanılan renk ölçeğinde en büyük tekrarlaması sayısı olan 100 değeri mor-pembeye karşılık gelirken, sıfır değeri ise camgöbeğine karşılık gelmektedir. Şekil 4.2f'te $f_n = 0.5Hz$ için hesaplanan faz hızı sınıflarının tekrarlanma sayıları çizdirilmiştir. Şekilde en çok tekrarlanma sayısına sahip faz hızı olan 981 m/s'nin mor-pembe renkte görülmektedir. Bu faz hızı değeri Şekil 4.2e'de zamanın fonksiyonu olarak verilen faz hızı $C(t)$ 'nin histogramlanması ve bu frekansta tüm zamanlar boyunca en çok tekrarlanan faz hızı sınıfının saptanması ile elde edilmiştir. Sinyalin verilen her bir merkez frekans değeri için süzülmesi ve yukarıda anlatılan işlemlerin her bir frekans için tekrarlanması ile 0.1-20 Hz frekans aralığı boyunca bütün bir FHD eğrisi hesaplanabilmektedir.



Şekil 4.3 : $f_n = 4\text{Hz}$ merkez frekansı için ZDGY analizi. a) Analize katılan alıcı grubundan ortadaki alıcıya ait sismogramın kendisi (kırmızı) ve zamansal türevi (siyah). b) Yerdeğiştirme sinyalinin Hilbert dönüşümüne ait zarf. c) Yerdeğiştirme sinyalinin uzaysal türevine ait Hilbert dönüşümünün zarfı. d) Zamana bağlı B katsayısı e) Zamanın fonksiyonu olarak faz hızı f) $f_n = 4\text{Hz}$ için elde edilen faz hızı değeri (pembe dikdörtgen) ve teorik faz hızı eğrisi (siyah eğri).

Şekil 4.3'te $f_n = 4\text{Hz}$ frekansında gerçekleştirilen ZDGY analizi özetlenmiştir. Şekil 4.3a'da $f_n = 4\text{Hz}$ merkez frekansında süzölmüş yerdeğiştirme sinyali ve yerdeğiştirmenin zamansal türevi görülmektedir. Şekil 4.3b'de yerdeğiştirme sinyaline ait Hilbert dönüşümünün zarfı $|U|$ zamanın fonksiyonu olarak verilmektedir. Şekil 4.3c'de yerdeğiştirme sinyalinin uzaysal türevine ait Hilbert

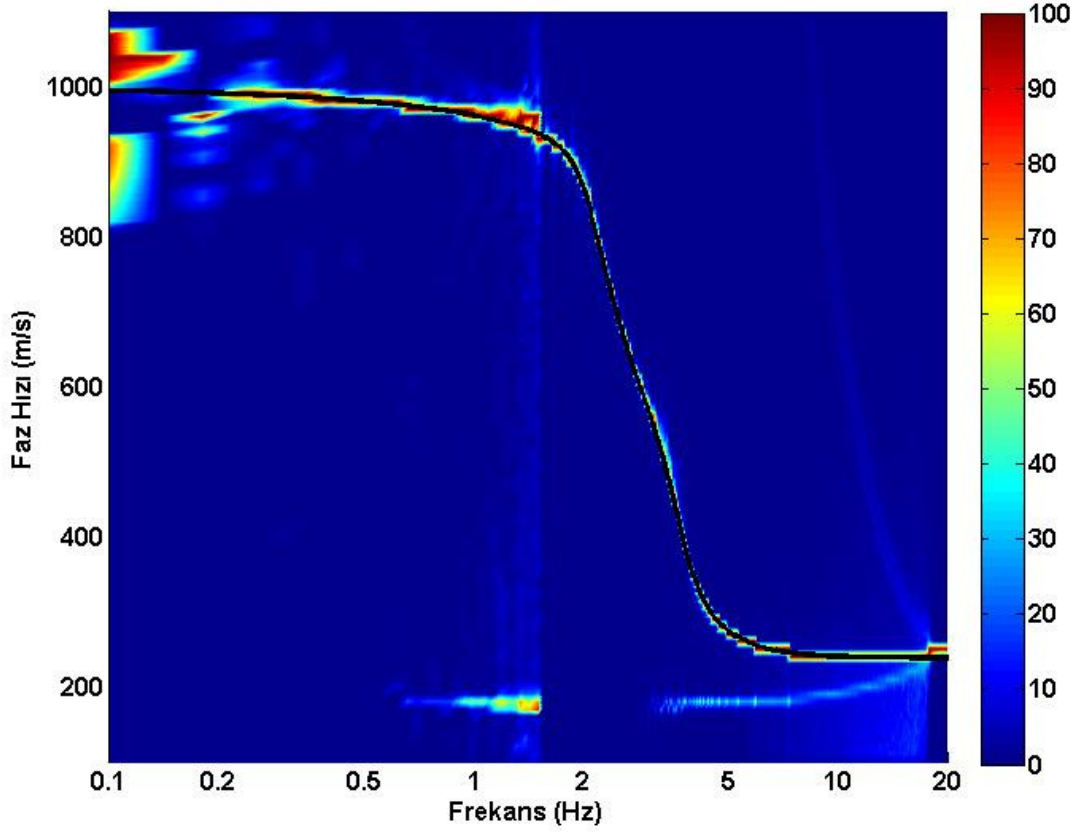
dönüşümünün zarfı görülmektedir. Şekil 4.3d’de ise B katsayısı zamanın fonksiyonu olarak verilmektedir. Şekil 4.3d incelendiğinde B katsayısının yaklaşık 6-13 s zaman aralığında sabit bir değer olarak hesaplandığı gözlenmektedir. Şekil 4.3a,b ve c’ye bakılarak 6-13 s zaman aralığının sinyalde 4 Hz frekansında yayınan yüzey dalgasına ait enerjinin bulunduğu aralık olduğu görülmektedir. Bu zaman aralığında $\frac{|U_{,x}|}{|U|}$ oranlaması sonucunda verilen frekansa ait doğru B katsayısı değerleri hesaplanmaktadır. 6-13 s aralığının dışındaki zamanlarda $u_{,x}$ değerinin sıfır olduğu ve temel olarak $\frac{|U_{,x}|}{|U|}$ oranlanmasına dayanan B katsayısının doğru değerden saptığı sırasıyla Şekil 4.3a ve Şekil 4.3d’de görülmektedir. B katsayısının hesaplanmasının ardından **2.7** kullanılarak, verilen frekans değeri $f_n = 4Hz$ için elde edilen faz hızı değerleri Şekil 4.3e’de zamanın fonksiyonu olarak verilmektedir. Şekil 4.3e’ye bakılarak faz hızı değerlerinin B katsayısına benzer şekilde yaklaşık 7-13 s arasında sabit değer (345 m/s) olarak elde edildiği görülmektedir. Şekilde mor çerçeve içerisinde gösterilen 7-13 s zaman aralığının dışında faz hızı bu sabit değerden uzaklaşmakta ve büyük salınımlar göstermektedir. Şekil 4.3f’te $f_n = 4Hz$ için hesaplanan faz hızlarının histogramlanması sonucunda elde edilen tekrarlanma sayıları çizdirilmiştir. Şekilde en çok tekrarlanma sayısına sahip faz hızı olan 345 m/s mor-pembe renkte görülmektedir. Bu faz hızı değeri Şekil 4.3e’de zamanın fonksiyonu olarak verilen faz hızı $C(t)$ ’nin histogramlanması ve bu frekansta tüm zamanlar boyunca en çok tekrarlanan faz hızı değerinin saptanması ile elde edilmiştir.



Şekil 4.4 : $f_n = 10\text{Hz}$ merkez frekansı için ZDGY analizi. a) Analize katılan alıcı grubundan ortadaki alıcıya ait sismogramın kendisi (kırmızı) ve zamansal türevi (siyah). b) Yerdeğiştirme sinyalinin Hilbert dönüşümüne ait zarf. c) Yerdeğiştirme sinyalinin uzaysal türevine ait Hilbert dönüşümünün zarfı. d) Zamana bağlı B katsayısı e) Zamanın fonksiyonu olarak faz hızı f) $f_n = 10\text{Hz}$ için elde edilen faz hızı değeri (pembe dikdörtgen) ve teorik faz hızı eğrisi (siyah eğri).

Şekil 4.4a'da $f_n = 10\text{Hz}$ merkez frekansında süzölmüş yerdeğiştirme sinyali ve yerdeğiştirmenin zamansal türevi görülmektedir. Şekil 4.4b'de yerdeğiştirme sinyaline ait Hilbert dönüşümünün zarfı $|U|$ zamanın fonksiyonu olarak verilmektedir. Şekil 4.4c'de yerdeğiştirme sinyalinin uzaysal türevine ait Hilbert

dönüşümünün zarfı görülmektedir. Şekil 4.4d’de ise B katsayısı zamanın fonksiyonu olarak verilmektedir. Şekil 4.4 incelendiğinde B katsayısının yaklaşık 6-9 s zaman aralığında sabit bir değer olarak hesaplandığı gözlenmektedir. Şekil 4.4a, b ve c’ye bakılarak 6-9 s zaman aralığının sinyalde 10 Hz frekansında yayılan yüzey dalgasına ait enerjinin bulunduğu aralık olduğu görülmektedir. Bu zaman aralığında $\frac{|U_{,x}|}{|U|}$ oranlaması sonucunda verilen frekansa ait doğru B katsayısı değerleri hesaplanmaktadır. 6-9 s aralığının dışındaki zamanlarda $u_{,x}$ değerinin sıfır olduğu ve temel olarak $\frac{|U_{,x}|}{|U|}$ oranlanmasına dayanan B katsayısının doğru değerden saptığı sırasıyla Şekil 4.4a ve Şekil 4.4d’de görülmektedir. B katsayısının hesaplanmasının ardından, verilen frekans değeri $f_n = 10\text{Hz}$ için elde edilen faz hızı değerleri Şekil 4.4e’de zamanın fonksiyonu olarak verilmektedir. Şekil 4.4e’ye bakılarak faz hızı değerlerinin B katsayısına benzer şekilde yaklaşık 6-9 s arasında sabit değer (240 m/s) olarak elde edildiği görülmektedir (mor çerçevenin içinde kalan bölge). 6-9 s zaman aralığının dışında faz hızı bu sabit değerden uzaklaşmakta ve büyük salınımlar göstermektedir. Şekil 4.4f’te $f_n = 10\text{Hz}$ için hesaplanan faz hızlarının histogramlanması sonucunda elde edilen tekrarlanma sayıları çizdirilmiştir. Şekilde en çok tekrarlanma sayısına sahip faz hızı olan 240 m/s mor-pembe renkte görülmektedir. Bu faz hızı değeri Şekil.4.6e’de zamanın fonksiyonu olarak verilen faz hızı $C(t)$ ’nin histogramlanması ve bu frekansta tüm zamanlar boyunca en çok tekrarlanan faz hızı değerinin saptanması ile elde edilmiştir. Şekil 4.5’te tek modlu sentetik için 242-250 m aralığındaki alıcılar kullanılarak ZDGY analizi ile elde edilen FHD görülmektedir. Şekil 4.5 incelendiğinde FHD’nin 0.2-20 Hz frekans bandında başarılı bir şekilde elde edildiği görülmektedir. Şekilde her bir frekans için en çok tekrarlanan faz hızı değerleri kırmızıdan-sarıya uzanan bir renk aralığında verilmektedir. Buradan neredeyse ilgilenilen tüm frekans bandında ZDGY ile elde edilen faz hızlarının teorik eğriyle birebir örtüştüğü görülmektedir. Ortamda tek bir yüzey dalgası modunun seyahat etmesi durumunda ZDGY yöntemi ile analizde problem yaşanmamakta ve bu tek moda ait faz hızı değerleri doğru bir şekilde hesaplanmaktadır.



Şekil 4.5 : Tek modlu sentetiğin 242-250 m aralığındaki alıcılar üzerinden ZDGY ile analiz edilmesi sonucunda elde edilen faz hızı dağılım paneli (renkli hız paneli) ve teorik FHD eğrisi (düz siyah eğri).

Şekil 4.5’de verilen faz hızı dağılım panelinde kırmızı renkli alanlar en çok tekrarlanma sayısına sahip faz hızlarına karşılık gelmektedir. Şekil 4.5’nin sağ tarafında tekrarlanma sayısı için oluşturulan ölçek verilmiştir. Ölçekte, tekrarlanma sayısı azaldıkça kırmızı tonlarından maviye doğru bir geçiş tanımlanmıştır. İlerleyen bölümlerde verilecek olan ZDGY analiz sonuçlarının tümünde faz hızı dağılım panelinde aynı ölçeklendirme kullanılmıştır.

4.1.1 Yüzey Dalgalarının Aktif Kaynaklı Çok Kanallı Analizi (MASW)

Yüzeye yakın S-dalgası hız profilinin belirlenmesi amacıyla bir dalga-yayınım metodu olan Yüzey Dalgalarının Spektral Analizi (SASW) ilk kez 1980’li yılların başında ortaya konmuş ve birçok jeofizik ve jeoteknik mühendislik çalışmasında yaygın olarak kullanılmıştır (Nazarian and Stokoe, 1983). SASW yönteminde yüzeyde balyoz gibi yapay kaynaklarla üretilen yüzey dalgalarının (Rayleigh dalgaları) spektral özellikleri kullanılmaktadır. Bu yöntemde uygulamada genel

olarak iki alıcı (jeofon) kullanılmakta ve araştırılan derinlik aralığını kapsayabilmek adına, alıcı-alıcı ve alıcı-kaynak mesafeleri birçok defa değiştirilmektedir. Arazi uygulamasında tekrarlı olarak gerçekleştirilmesi gereken bu prosedür nedeniyle yalnızca bir noktadaki ölçüm saatler almaktadır. İlk kez Al-Husseini ve diğ. (1981), Gabriels ve diğ. (1987) gibi araştırmacılar tarafından ortaya konan Yüzey Dalgalarının Çok Kanallı Analizi (MASW), Park ve diğ. (1999)'nin çalışmasıyla tüm dünyada yaygın olarak uygulanır hale gelmiştir. MASW yönteminde aktif bir kaynak kullanılarak (balyoz, vibratör, patlatma v.b) üretilen yüzey dalgaları doğrusal bir alıcı dizini boyunca kaydedilmektedir. Yöntem atış ölçümlerinin genellikle yakın kaynak-alıcı mesafeleriyle sınırlı olduğu yüzeye yakın mühendislik uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. 1-boyutlu doğrusal bir hat boyunca kaydedilen sismik sinyaller FK dönüşümü ya da eğimli yığma tekniği kullanılarak analiz edilmekte ve sonuç olarak yüzey dalgasına ait faz hızı dispersiyon eğrisi elde edilmektedir. MASW yaklaşımı öncelikle dispersiyonun yüzey üzerinde gerçekleşen enerji birikimlerinden seçilebildiği bir görüntü yüzeyi oluşturur. Faz hızı dispersiyon eğrileri bu yüzey üzerinden enerji yönelimleri takip edilerek çıkarılmaktadır. Hat boyunca seyahat eden her türden sismik dalga eğer belirgin bir enerjiye sahipse bu görüntü üzerinde kendini belli etmektedir. Görüntüleme işlemi için zaman–uzaklık ortamında kaydedilen çok kanallı kayıtlar frekans(f)-dalga sayısı(k) ya da frekans(f)-faz hızı(c) ortamlarına dönüştürülmektedir. Öncelikle kullanılan geleneksel FK metodu olmuştur. $p-\omega$ dönüşümü ((McMechan ve Yedlin, 1981) ve faz kayması metodu (Park v.d., 1998) ise daha sonra geliştirilen diğer yöntemlerdir. Yöntem aktif kaynak kullanılarak kaydedilen atış ölçümlerinden dispersiyonun elde edilmesi amacıyla bir dalga alanı dönüşümünden faydalanmaktadır. Kullanılan bu dönüşüm ile yüzey dalgasının farklı modları ayırt edilebilmektedir. Yöntemin tercih edilmesinin en önemli nedenlerinden biri de uygulamada kolaylıkla elde edilen yüksek SGO'dur. Sismik çalışmalarda istenen bu yüksek SGO, yüzey dalgalarının cisim dalgalarına göre çok daha uzaklara seyahat edebilmesi, dolayısıyla gürültüden daha az etkilenmesi sonucunda gerçekleşmektedir. MASW yöntemi basit bir üç aşamalı dönüşüm şeklinde çalışmaktadır. Atış ölçümü $u(x,t)$ x-t uzaklık-zaman ortamında tanımlanır ve $u(x,t)$ 'nin Fourier dönüşümü, $U(x,\omega)$ 4.7'deki gibi elde edilebilir.

$$U(x,\omega) = \int u(x,t)e^{-i\omega t} dt \quad (4.7)$$

Bir sonraki adımda $U(x, \omega)$ iki farklı terimin çarpımı şeklinde yazılırsa;

$$U(x, \omega) = P(x, \omega) \cdot A(x, \omega) \quad (4.8)$$

4.8'de $P(x, \omega)$ ve $A(x, \omega)$ sırasıyla faz ve genlik spektrumlarıdır. $U(x, \omega)$ 'da tüm frekans bileşenleri birbirinden tamamen ayrılmış durumdadır. Her bir frekans bileşenine ait varış zamanı bilgisi faz spektrumu $P(x, \omega)$ içerisinde saklanmakta ve bu durumda $P(x, \omega)$ dalgaya ait dispersiyon bilgisinin tümünü içerisinde barındırmaktadır. $A(x, \omega)$ ise soğurulma ve geometrik yayılma gibi dalganın genliği ile ilgili diğer parametrelerle ilişkilidir. Buradan **4.9** yazılabilir.

$$U(x, \omega) = e^{i\Phi x} A(x, \omega) \quad (4.9)$$

4.9'da $\Phi = \omega/c_\omega$ şeklinde tanımlanmaktadır. Burada c_ω faz hızına, ω ise açısal frekansa karşılık gelmektedir. **4.9'**da tanımlanan $U(x, \omega)$ 'ya aşağıdaki dönüşüm uygulanırsa $V(\omega, \phi)$ şu şekilde elde edilebilir:

$$\begin{aligned} V(\omega, \phi) &= \int e^{i\phi x} [U(x, \omega)/|U(x, \omega)|] \cdot dx \\ &= \int e^{-i(\Phi - \phi)x} [A(x, \omega)/|A(x, \omega)|] \cdot dx \end{aligned} \quad (4.10)$$

4.10'daki integral, **4.9'**daki dalga alanına bir frekans değeri için kabul edilen bir faz hızı değeri kullanılarak ($c_\omega = \omega/\phi$) uzaklık bağımlı bir faz kayması uygulanması ve ardından belirli bir uzaklık aralığındaki tüm bu dalga alanlarının toplanması şeklinde düşünülebilir. Bu işlem tek bir frekans için $U(x, \omega)/|U(x, \omega)|$ ifadesinin zaman ortamı karşılığına eğimli yığma uygulanmasına eşdeğerdir. Analiz esnasında eşit ağırlıklandırma sağlayabilmek için farklı uzaklıklardaki dalga alanları $U(x, \omega)$, uzaklığa bağlı olarak normalize edilmekte, böylece soğurulma ve geometrik yayılma gibi etkiler en aza indirgenmeye çalışılmaktadır. Bu durumda verilen herhangi bir ω açısal frekansı için $V(\omega, \phi)$ en yüksek değerini **4.11'**deki durumda alacaktır.

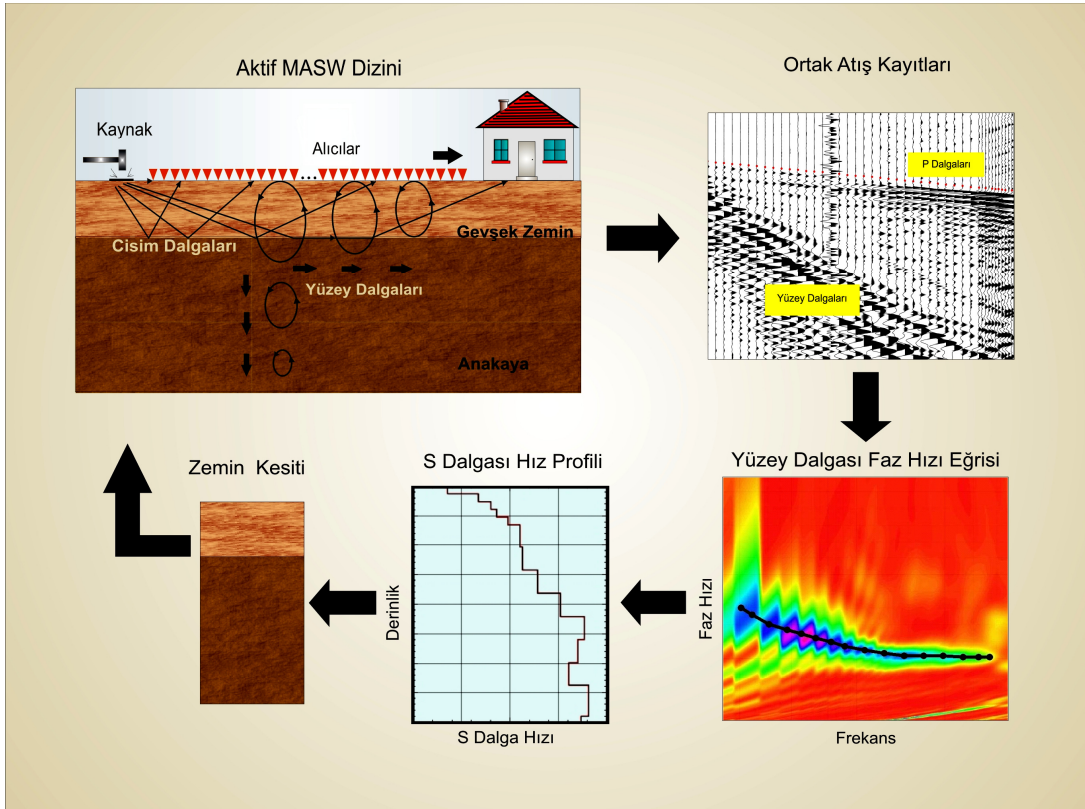
$$\phi = \Phi = \omega/c_\omega \quad (4.11)$$

Her bir ω için $V(\omega, \phi)$ 'da pik oluşmasını sağlayan faz hızı c_ω , doğru faz hızıdır. Dalga alanında belirli frekans aralığında yüksek modlu yüzey dalgalarının kayda değer enerji taşınması durumunda verilen farklı faz hızı değerleri için farklı ve birden

çok pik elde edilecektir. MASW analizinin sonunda dispersiyon eğrilerinin elde edilebilmesi için $V(\omega, \phi)$ ifadesinde değişkenler 4.12 kullanılarak değiştirilmekte ve $I(\omega, c_\omega)$ ifadesi elde edilmektedir.

$$c_\omega = \omega / \phi \quad (4.12)$$

$I(\omega, c_\omega)$ dalga alanı içerisinde, verilen bir ω için c_ω eksenı boyunca 4.11'i sağlayan pikler yer alacaktır. Farklı ω değerleri boyunca oluşan bu piklerin geometrik yerlerinin saptanması dispersiyon eğrilerinin oluşturulmasına olanak sağlamaktadır. Sonrasında MASW analizi sonucunda elde edilen dispersiyon eğrileri tercih edilen bir ters çözüm yöntemi kullanılarak S-dalgası hız profillerine dönüştürülmektedir. MASW uygulamasının şematik gösterimi Şekil 4.6'da görülmektedir.



Şekil 4.6 : MASW yönteminin şematik gösterimi.

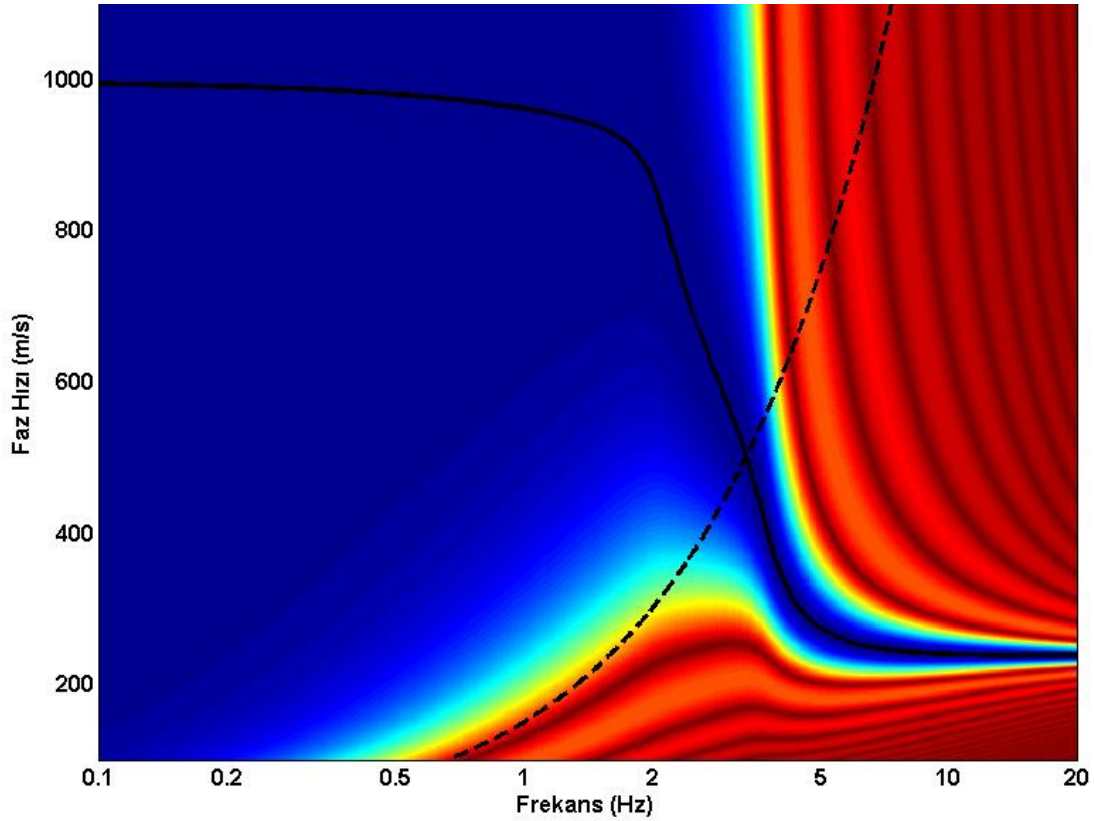
FHD analizinde MASW'nin alçak frekans çözünürlüğünü serim uzunluğu belirlemektedir. Doğrusal serimin uzunluğu arttıkça yöntemin alçak frekanstaki çözünürlüğü de artmaktadır. Yöntemin alçak frekans bandında serim uzunluğuna bağlı gelişen çözünürlük gücünü belirlemek için, çözülebilir en büyük dalga boyu $\lambda_{\max}$ ya da bu dalga boyuna karşılık gelen çözülebilir en küçük dalga sayısı sınırı

$k_{\min}$ ile serim uzunluğu arasındaki ilişkiyi tanımlayan eşitlikler kullanılmaktadır. Bu tezde MASW ile gerçekleştirilen tüm FHD analizlerinde $k_{\min}$ değeri, Park ve diğ. (1999) tarafından önerilen 4.13 ile hesaplanmıştır. L'nin serim uzunluğu olması durumunda MASW Yöntemi ile çözülebilir en küçük dalga sayısı şu şekilde hesaplanabilir:

$$k_{\min} = \frac{2\pi}{L} \quad (\text{Park ve diğ., 1999}) \quad (4.13)$$

Tek modlu sentetikler ZDGY ile elde edilen FHD sonuçlarının karşılaştırılması amacıyla yukarıda kısaca bahsedilen MASW yöntemi ile Acarel (2003)'te verilen program kullanılarak analiz edilmiştir. Bu amaçla tek modlu sentetikte 100-250 m aralığındaki alıcı hattına ait sinyaller alınmıştır.

Şekil 4.7'de verilmekte olan, MASW ile 100-250m aralığındaki alıcı hattından elde edilen FHD incelendiğinde, yaklaşık 3 Hz'ten 20 Hz'e kadar temel moda ait faz hızı değerlerinin ortalama %15-20 gibi kabul edilebilir bir hata payıyla hesaplanabildiği ancak 3 Hz'den daha alçak frekanslarda temel moda ait faz hızı değerlerinin hata payının oldukça yüksek olduğu gözlenmektedir. Bu durum Şekil 4.7'de kesikli siyah çizgi ile izlenen $k_{\min}$ eğrisi ile de uyum içerisindedir. 100-250 alıcı hattından MASW ile elde edilen faz hızı değerlerinin alçak frekanstaki çözünürlüğünü $k_{\min}$ eğrisi ile gösterilen çözülebilir en küçük dalga sayısı (en büyük dalga boyu) sınırı belirlemektedir. Bu sınırın gerisinde kalan frekanslarda MASW'nin faz hızı çözünürlüğü azalmakta ve elde edilen faz hızı değerlerinin güvenilirliği ortadan kalkmaktadır.



Şekil 4.7 : Tek modlu sentetiğe ait 100-250 m aralığındaki alıcı hattının MASW ile analiz edilmesi sonucunda elde edilen hız enerji çizimi, teorik FHD eğrisi (düz siyah eğri) ve $k_{\min}$ eğrisi (kesikli çizgi).

ZDGY ve MASW ile elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında (Şekil 4.5 ve Şekil 4.7) her iki yöntemde elde edilen FHD'nin 3-20 Hz frekans bandında teorik faz hızı değerleri ile örtüştüğü gözlenmektedir. 3 Hz'den daha alçak frekans değerlerinde ise MASW ile elde edilen faz hızı değerlerinin hata payı çok yüksek değerlere ulaşırken, ZDGY ile faz hızları alçak frekans bandında başarılı bir şekilde elde edilebilmiştir. ZDGY ile elde edilen FHD 0.2-3 Hz frekans bandında çok dar bir faz hızı aralığına işaret etmekte ve böylece alçak frekans bandında da doğru hızlar çok düşük hata payları ile elde edilebilmektedir. Bu karşılaştırmanın sonucu olarak ZDGY analizinin FHD'nin elde edilmesinde alçak frekans bandında MASW'ya göre büyük bir üstünlüğünün olduğu söylenebilir.

4.2 İki Modlu Basit Sentetik İçin Karşılaştırma

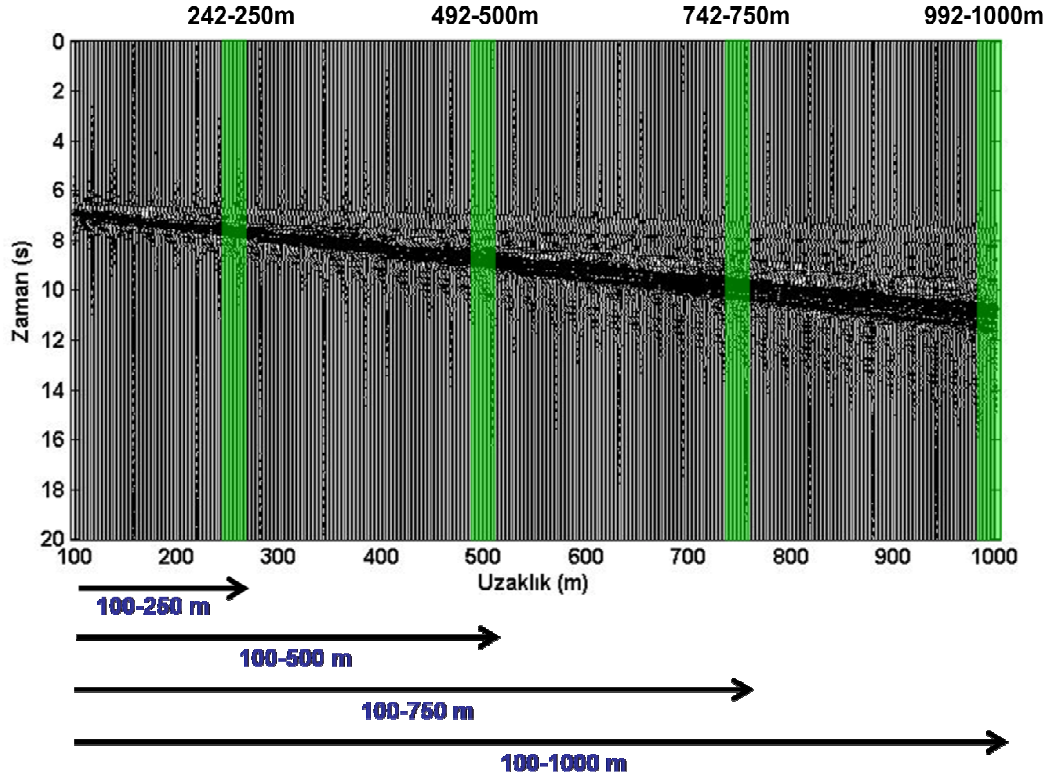
4.2.1 İki modlu basit sentetik sismogramların üretilmesi

ZDGY ile Yüzey Dalgası Faz Hızı Analizi'nde, yöntemin farklı yüzey dalgası modlarını ayırma ve dalga alanında çoklu modlar olması durumunda bu modların faz hızlarını saptayabilme gücünü test etmek amacıyla iki modlu (temel mod ve 1. yüksek mod) basit sentetik sismogramlar oluşturulmuştur. Basit sentetik sismogramlar oluşturulurken Çizelge 3.1'de verilen hız modeli için üretilen temel mod ve 1. yüksek moda ait teorik FHD eğrileri kullanılmıştır. Sentetik sismogramlar, teorik temel mod ve teorik 1. yüksek mod FHD eğrilerini oluşturan frekans değerlerinde ve iki ayrı modun bu frekanslara karşılık gelen faz hızları ile seyahat eden basit sinüzoidal sinyallerin üst üste toplanması sonucunda üretilmiştir. Modlara ait sinyaller üst üste toplanırken, her bir frekans için her iki moda ait genlikler sabit ve 1 birim olarak alınmış, böylece sismogramda iki moda ait enerjiler aynı seviyede tutulmuştur. Sentetik sismogramların zamanda örnekleme aralığı $dt=0.004$ s'dir. Yüksek frekans bandında türevden kaynaklanan hatalardan kaçınmak için alıcı aralığı olarak $\Delta x=2m$ seçilmiştir. ZDGY ve MASW Yöntemlerinin farklı ilk alıcı uzaklıkları ve farklı toplam serim uzunlukları için karşılaştırmalı analizinin yapılabilmesi için kaynak-ilk alıcı uzaklığı 100m olarak sabit tutulmuş, toplam serim boyu ise 1000m'ye kadar uzatılmıştır.

4.2.2 İki modlu basit sentetik ile mod ayrırlılığının incelenmesi

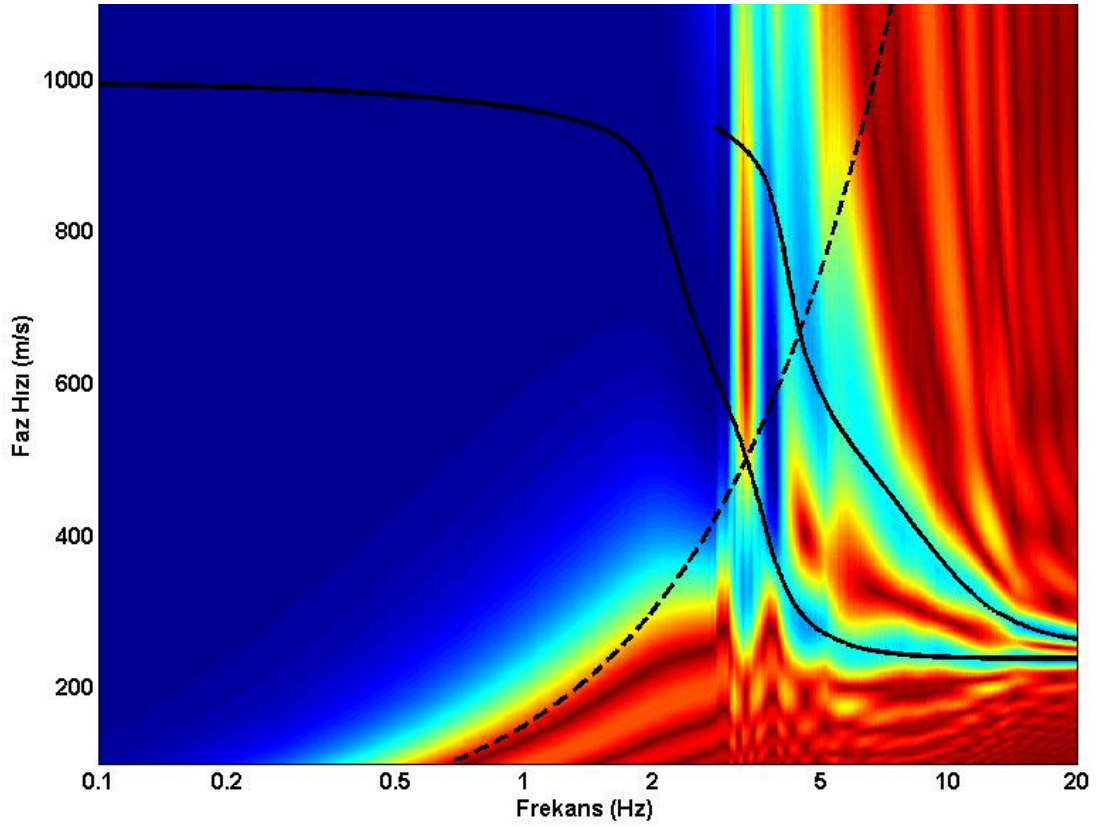
İki modlu basit sentetiklere uygulanan FHD analizinde, MASW Yöntemi'nin serim uzunluğu ile doğru orantılı olarak artan alçak frekans çözünürlüğünü farklı serim uzunlukları ile test etmek amacıyla sentetik sismogramlardan sırasıyla 100-250m, 100-500m, 100-750m ve 100-1000m serim uzunlukları için üretilen sinyaller MASW ile değerlendirilmiştir. ZDGY'de yöntemin mod ayırım gücü yüzey dalgası modlarının zaman ortamında ayrırlı olmasına bağlıdır. Faz hızları birbirinden farklı olmasına rağmen grup hızlarının birbirine çok yakın olması nedeniyle sismogramda üst üste girişen iki farklı moda ait sinyaller, zaman ortamında ayrırlılıkları olmadığı için ZDGY ile ayıramayacaktır (Langston, 2007c). ZDGY ile yüzey dalgası modlarının ayrılabilmesi için sinyallerin hat boyunca zaman ortamında birbirlerinden ayrılabilecek mesafeye kadar seyahat etmeleri gerekmektedir. Uzaklığın ZDGY ile elde edilen sonuç dispersiyon eğrileri ve mod ayrırlılığı üzerindeki etkisini

incelemek için sırasıyla 242-250m, 492-500m, 742-750m ve 992-1000m uzaklık aralığındaki beşli alıcı gruplarına ait sismogramlar ZDGY ile analiz edilmiştir. MASW için kullanılan farklı serim uzunluğundaki ve ZDGY analizinde kullanılan farklı ilk alıcı uzaklıklarındaki alıcı gruplarına ait sismogramlar Şekil 4.8’de görülmektedir.



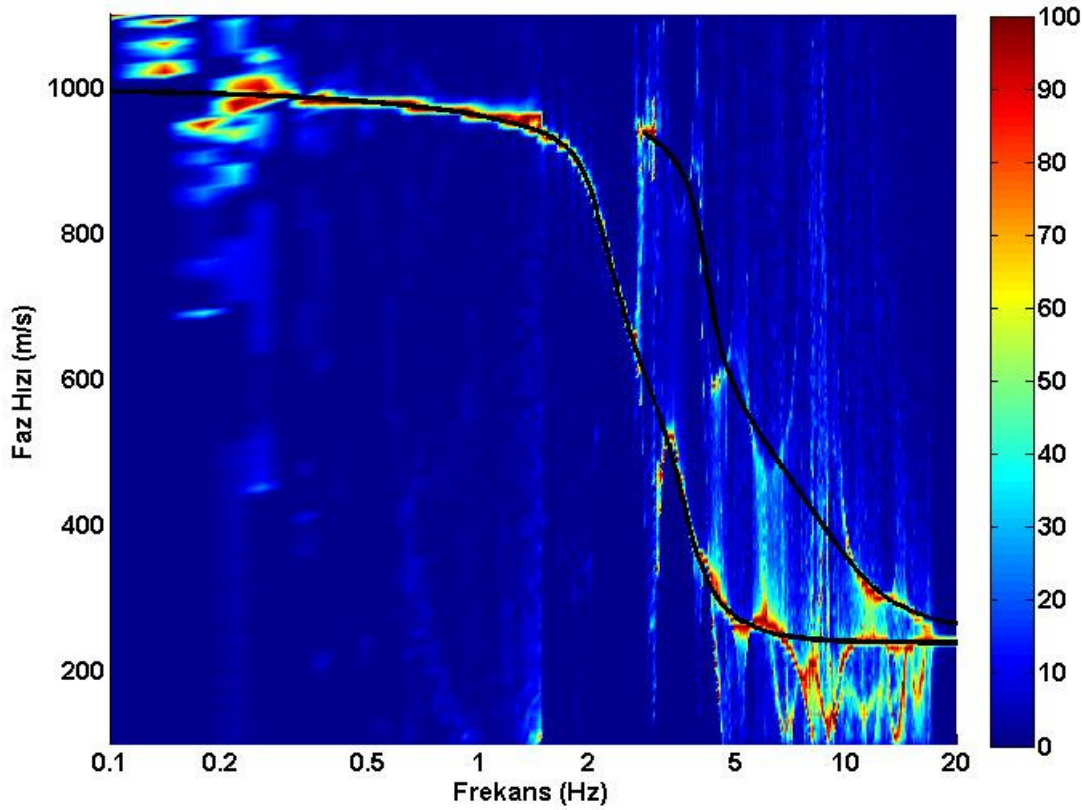
Şekil 4.8 : MASW ve ZDGY için kullanılan, farklı serim uzunluklarındaki (siyah oklarla gösterilen aralıklar) ve farklı ilk alıcı uzaklıklarındaki (yeşil renkle taralı alanlar) sismogramlar.

MASW ve ZDGY ile yapılan karşılaştırmalı analizlerde beklendiği gibi MASW ile elde edilen FHD eğrilerinin alçak frekans çözünürlüğünün serim uzunluğuyla doğru orantılı olarak arttığı gözlenmiştir. Yine beklenen şekilde ZDGY ile elde edilen FHD eğrilerinde mod ayrımlılığının artan ilk alıcı uzaklığı ile birlikte geliştiği görülmüştür. Farklı uzaklıklar için elde edilen sonuç FHD sonuçları ileride verilen şekillerde sunulmaktadır.



Şekil 4.9 : 100-250 m aralığındaki alıcı hattının MASW ile analiz edilmesi sonucunda elde edilen hız enerji çizimi, teorik FHD eğrileri (düz siyah eğriler) ve k_{min} eğrisi (kesikli çizgi).

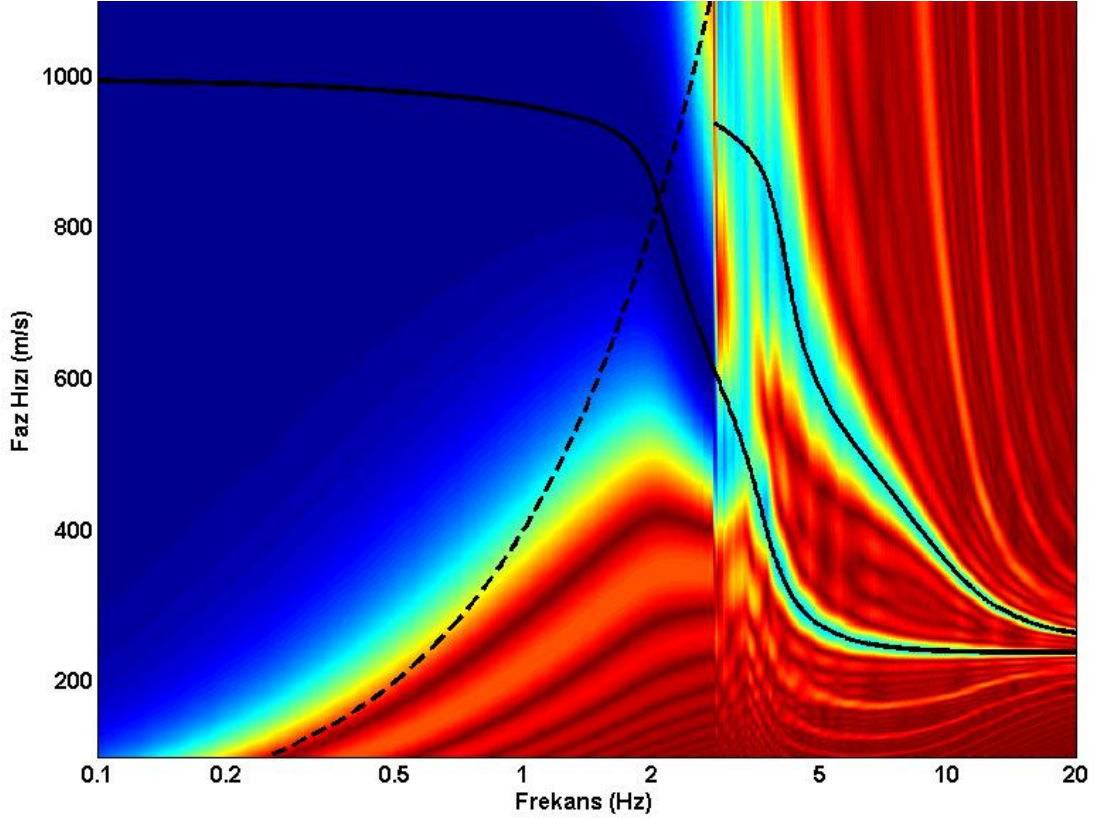
MASW ile 100-250m aralığındaki alıcı hattından elde edilen FHD incelendiğinde, modların ayrımlılığının 5-20 Hz frekans bandında sağlandığı, ancak 3 Hz'ten daha alçak frekans değerlerinde mod ayrımlılığının yok olduğu görülmektedir. Aynı zamanda 3 Hz frekans değerinin altında elde edilen temel moda ait faz hızı değerlerinin hata payının oldukça yüksek olduğu gözlenmektedir. Bu durum Şekil 4.9'da kesikli siyah çizgi ile izlenen k_{min} eğrisi ile de uyum içerisindedir. 100-250 alıcı hattından MASW ile elde edilen faz hızı değerlerinin alçak frekanstaki çözünürlüğünü k_{min} eğrisi ile gösterilen çözülebilir en küçük dalga sayısı (en büyük dalga boyu) sınırı belirlemektedir. Bu sınırın gerisinde kalan frekanslarda faz hızı çözünürlüğü azalmakta ve elde edilen faz hızı değerlerinin güvenilirliği ortadan kalkmaktadır.



Şekil 4.10 : 242-250 m aralığındaki beş alıcının ZDGY ile analiz edilmesi sonucunda elde edilen hızlar(renkli hız paneli) ve teorik FHD eğrileri (düz siyah eğriler).

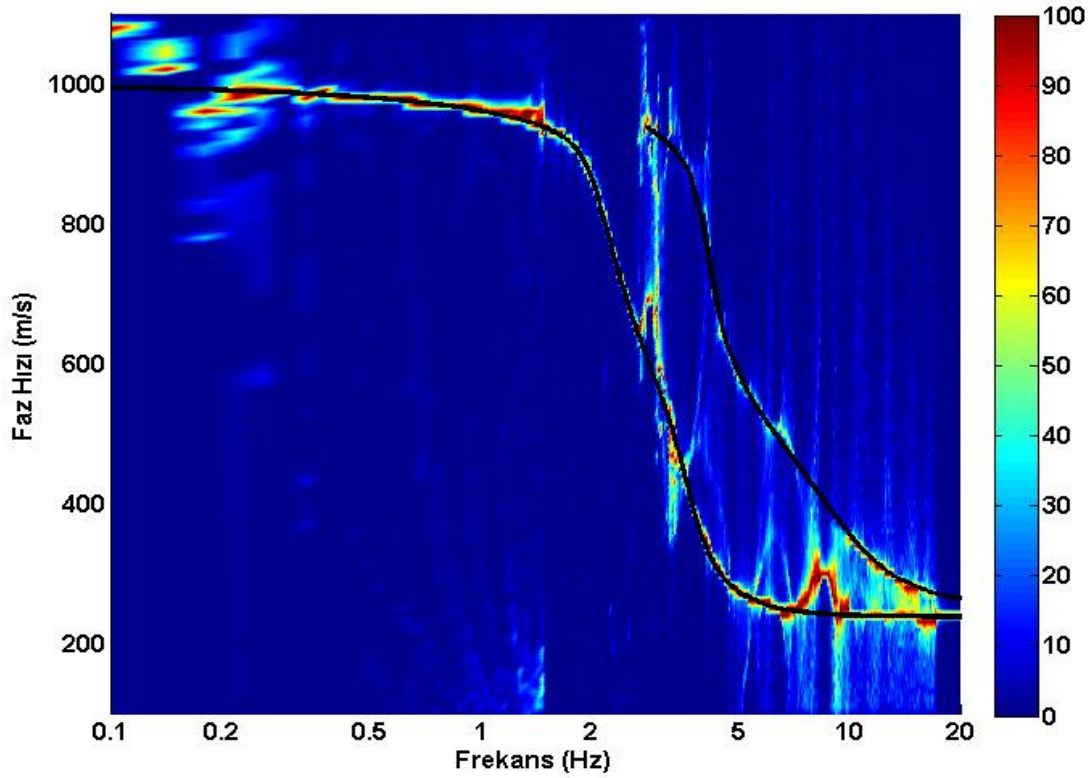
ZDGY ile 242-250 m aralığındaki beş alıcıdan elde edilen ve Şekil 4.10'da verilen FHD incelendiğinde, temel moda ait FHD'nin alçak frekans çözünürlüğünün 0.2 Hz'ten 1. yüksek mod enerjisinin girdiği 2.8 Hz'e kadar gayet iyi olduğu, 1. yüksek mod enerjisinin girdiği 2.8 Hz'ten itibaren elde edilen faz hızı değerlerinde saçılmaların belirdiği gözlenmektedir. Örneğin 2.8-3 Hz frekans bandında 1. yüksek modun faz hızı yakalanırken, yöntem 3.25-5 Hz frekans bandında tekrar temel modun faz hızını bulmaktadır. Yaklaşık 5 Hz frekansından sonra mod ayrırlılığı iyice azalmaktadır. 5-20 Hz frekans bandında zaman zaman temel modun, zaman zaman 1. yüksek modun faz hızı yakalanmasına rağmen, mod ayrırlılığının bu frekans bandında çok iyi olduğu söylenemez. Genel anlamda incelenen tüm frekans bandında, 2.8-3 Hz ve 7-10 Hz frekans bantları hariç, temel moda ait faz hızı değerlerinin elde edildiği söylenebilir. Temel moda ait faz hızının çözülemediği 2.8-3 Hz frekans bandı 1. yüksek mod enerjisinin ilk giriş yaptığı, 7-10 Hz frekans bandı ise iki moda ait grup hızlarının birbirine çok yaklaştığı frekanslara karşılık gelmektedir. 7-10 Hz frekans bandında iki moda ait grup hızları birbirine çok yaklaştığından modların zamanda ayrırlılığı kalmamakta ve bu nedenle ZDGY ile

faz hızı eldesi doğru bir şekilde yapılamamaktadır. 1. yüksek moda ait faz hızı değerleri ise 2.8-3 Hz ve 10-16 Hz frekans bantlarında görülebilmektedir. 242-250 m aralığındaki alıcılardan elde edilen FHD sonuçlarına bakılarak ZDGY'nin mod ayrırlılığının bu mesafede çok iyi olmadığı, ancak neredeyse tüm frekans bandında temel moda ait faz hızlarının çözülebildiği söylenebilir.



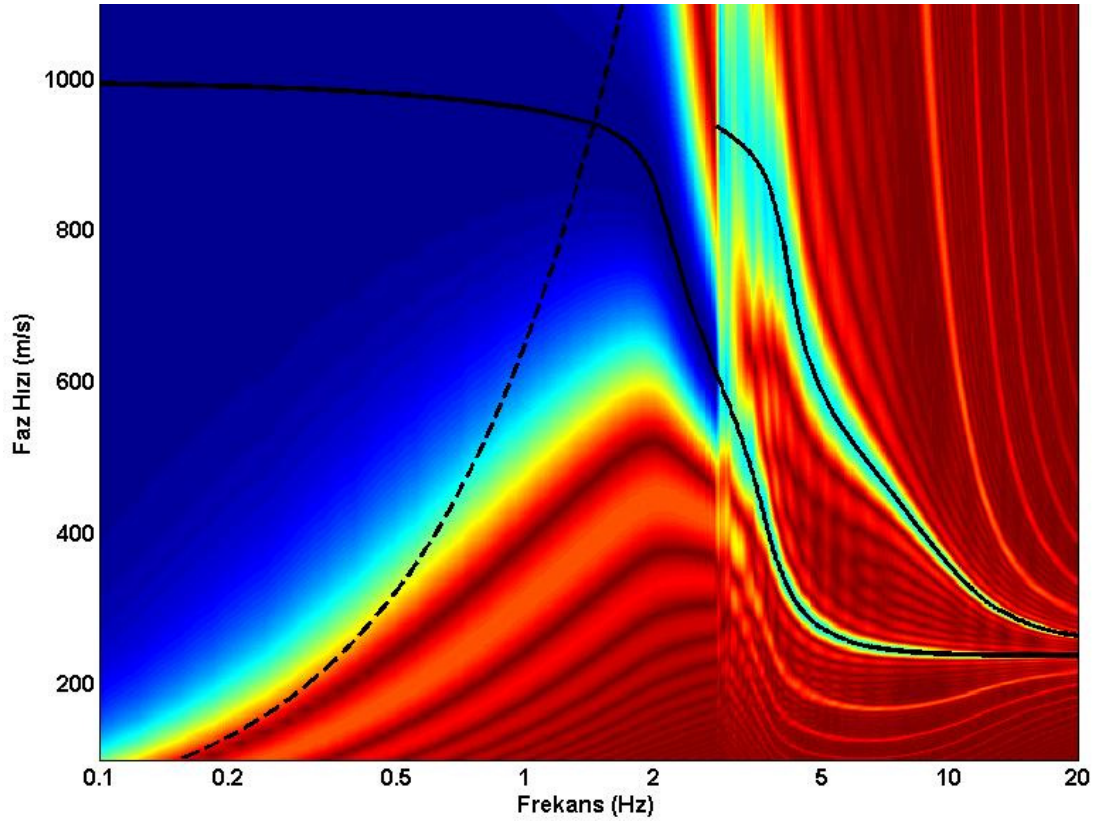
Şekil 4.11 : 100-500 m aralığındaki alıcı hattının MASW ile analiz edilmesi sonucunda elde edilen hız enerji çizimi, teorik FHD eğrileri (düz siyah eğriler) ve k_{min} eğrisi (kesikli çizgi).

MASW ile 100-500m aralığındaki alıcı hattından elde edilen FHD incelendiğinde, modların ayrırlılığının 3.55-20 Hz frekans bandında sağlandığı, daha alçak frekanslarda yöntemin modları ayırmakta zorlandığı görülmektedir. Yaklaşık 2.20 Hz frekans değerinin altında elde edilen temel moda ait faz hızlarının hata payının oldukça yüksek olduğu gözlenmektedir. Bu durum Şekil 4.11'de kesikli siyah çizgi ile izlenen k_{min} eğrisi ile de uyum içerisindedir. k_{min} sınırının gerisinde kalan frekanslarda faz hızı çözünürlüğü azalmakta ve elde edilen faz hızlarının güvenilirliği kalmamaktadır.



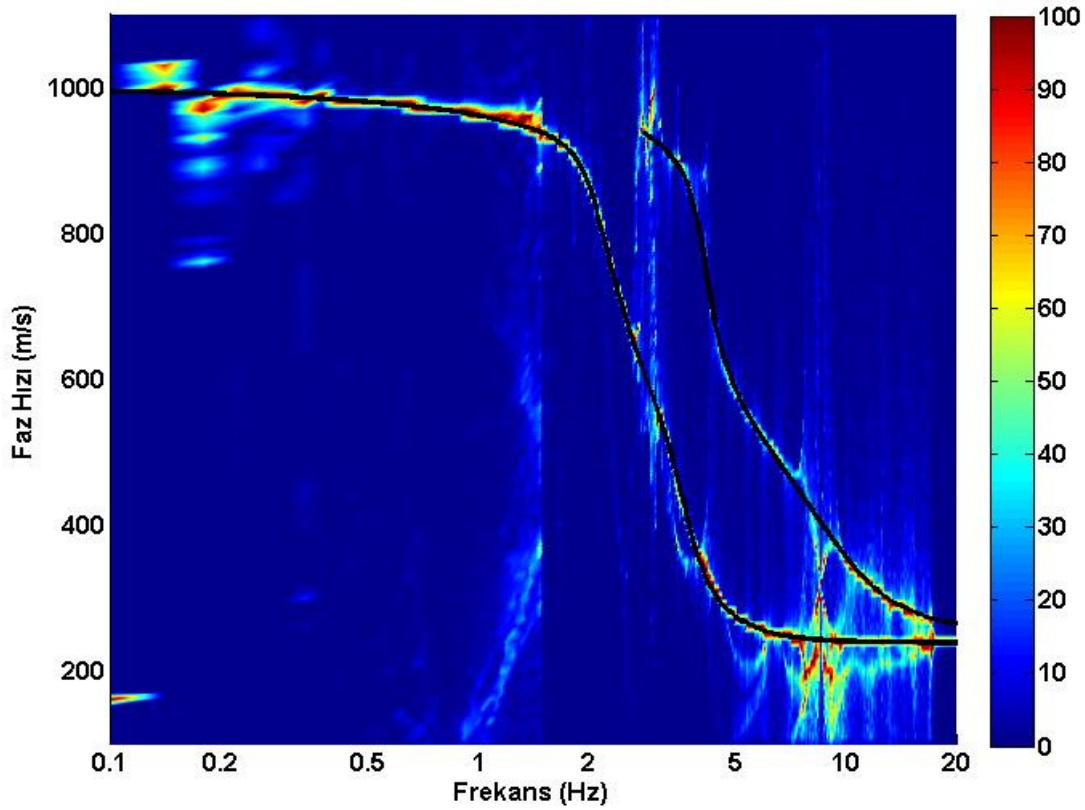
Şekil 4.12 : 492-500 m aralığındaki beş alıcının ZDGY ile analiz edilmesi sonucunda elde edilen hızlar (renkli hız paneli) ve teorik FHD eğrileri (düz siyah eğriler).

ZDGY ile 492-500 m aralığındaki beş alıcıdan elde edilen ve Şekil 4.12’de verilen FHD incelendiğinde, temel moda ait FHD’nin alçak frekans çözünürlüğünün 0.2 Hz’ten 1. yüksek mod enerjisinin girdiği 2.8 Hz’e kadar gayet iyi olduğu, 1. yüksek mod enerjisinin girdiği 2.8 Hz’ten itibaren elde edilen faz hızı değerlerinde saçılmaların belirdiği gözlenmektedir. Ancak faz hızındaki bu saçılmalar 242-250 m aralığındaki kadar yoğun olmadığı da görülmektedir. Faz hızındaki bu saçılmalar 2.8-3.5 Hz frekans bandında oluşmakta, daha yüksek frekans bandında ise iki moda ait grup hızlarının birbirine çok yaklaştığı 7.15-9.8 Hz aralığı haricinde temel modun faz hızı doğru bir şekilde bulunmaktadır. 2.8-3.3 Hz ve 7.15-9.8 Hz frekans bantları haricinde ZDGY ile bu uzaklıkta mod ayrırlılığı sağlanmaktadır denebilir. 492-500 m aralığındaki alıcılardan elde edilen FHD sonuçlarına bakılarak ZDGY’nin mod ayrırlılığının bu mesafede iyi olduğu ve genel anlamda neredeyse tüm frekans bandında her iki moda ait faz hızlarının çözülebildiği söylenebilir.



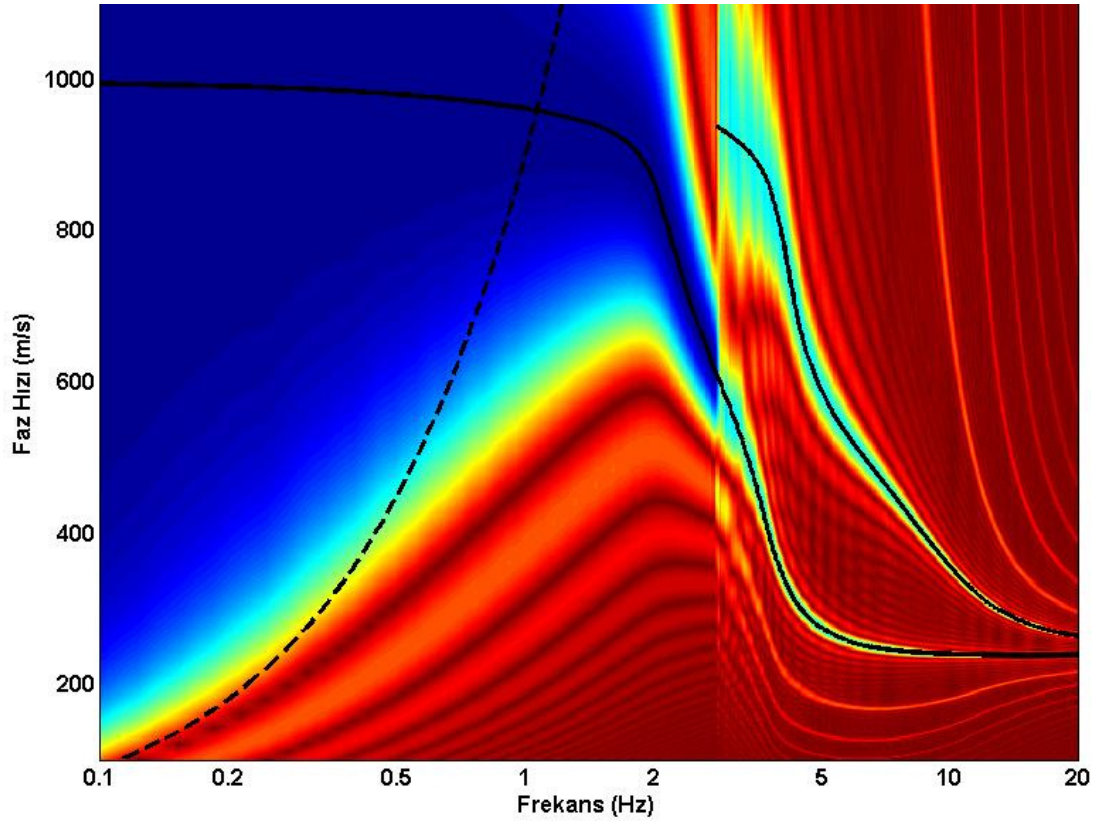
Şekil 4.13 : 100-750 m aralığındaki alıcı hattının MASW ile analiz edilmesi sonucunda elde edilen hız enerji çizimi, teorik FHD eğrileri (düz siyah eğriler) ve $k_{\min}$ eğrisi (kesikli çizgi).

MASW ile 100-750m aralığındaki alıcı hattından elde edilen FHD incelendiğinde, analizin yapıldığı frekans bandının tümünde iki modun birbirinden ayrılabilirdiği görülmektedir. Yaklaşık 1.98 Hz frekans değerinin altında elde edilen temel moda ait faz hızlarının hata payının oldukça yüksek olduğu gözlenmektedir. Bu durum Şekil 4.13'te kesikli siyah çizgi ile izlenen $k_{\min}$ eğrisi ile de uyum içerisindedir. $k_{\min}$ sınırının gerisinde kalan frekanslarda faz hızının çözünürlüğü azalmakta ve elde edilen faz hızı değerlerinin güvenilirliği ortadan kalkmaktadır.



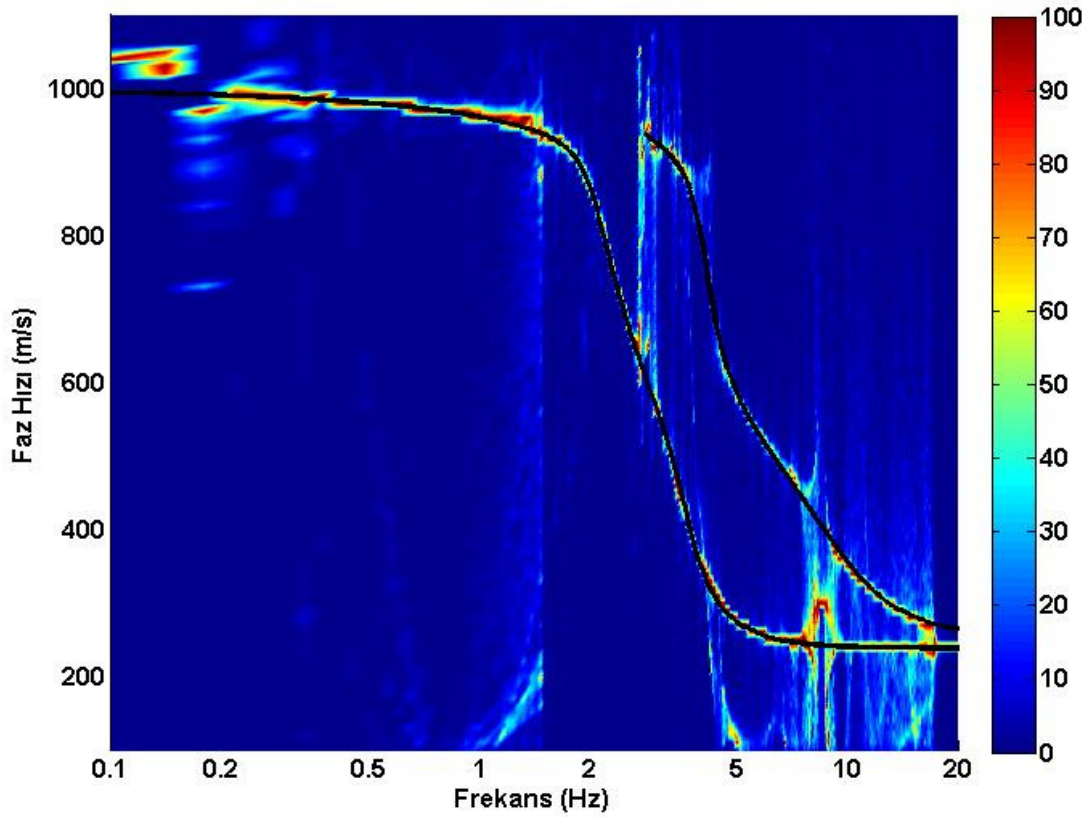
Şekil 4.14 : 742-750 m aralığındaki beş alıcının ZDGY ile analiz edilmesi sonucunda elde edilen hızlar (renkli hız paneli) ve teorik FHD eğrileri (düz siyah eğriler).

ZDGY ile 742-750 m aralığındaki beş alıcıdan elde edilen ve Şekil 4.14'te verilen FHD incelendiğinde, mod ayrırlılığının genel anlamda tüm frekans bandında sağlandığı gözlenmektedir. Faz hızındaki saçılmalar yalnızca 1. temel mod enerjisinin giriş yaptığı 2.8-3 Hz frekans aralığında ve yine iki moda ait grup hızlarının birbirine çok yaklaştığı 7.8-9 Hz frekans aralığında görülmektedir. ZDGY ile 742-750 m aralığındaki alıcılardan elde edilen FHD sonuçlarına bakılarak bu mesafede mod ayrırlılığının sağlandığı söylenebilir. Bu mesafede genel olarak tüm frekans bandında her iki moda ait faz hızlarının çözülebildiği görülmektedir.



Şekil 4.15 : 100-1000 m aralığındaki alıcı hattının MASW ile analiz edilmesi sonucunda elde edilen hız enerji çizimi, teorik FHD eğrileri (düz siyah eğriler) ve k_{min} eğrisi (kesikli çizgi).

MASW ile 100-1000m aralığındaki alıcı hattından elde edilen FHD incelendiğinde, analizin yapıldığı frekans bandının tümünde iki modun birbirinden ayrılabilirdiği görülmektedir. Yaklaşık 1.87 Hz frekans değerinin altında elde edilen temel mod faz hızlarının hata payının oldukça yüksek olduğu gözlenmektedir. Bu durum Şekil 4.15'te kesikli siyah çizgi ile izlenen k_{min} eğrisi ile de uyum içerisindedir. 100-1000 alıcı hattından MASW ile elde edilen faz hızı değerlerinin alçak frekanstaki çözünürlüğünü k_{min} eğrisi ile gösterilen çözülebilir en küçük dalga sayısı (en büyük dalga boyu) sınırı belirlemektedir. Bu sınırın gerisinde kalan frekanslarda faz hızının çözünürlüğü azalmakta ve elde edilen temel moda ait faz hızı değerlerinin güvenilirliği kalmamaktadır.

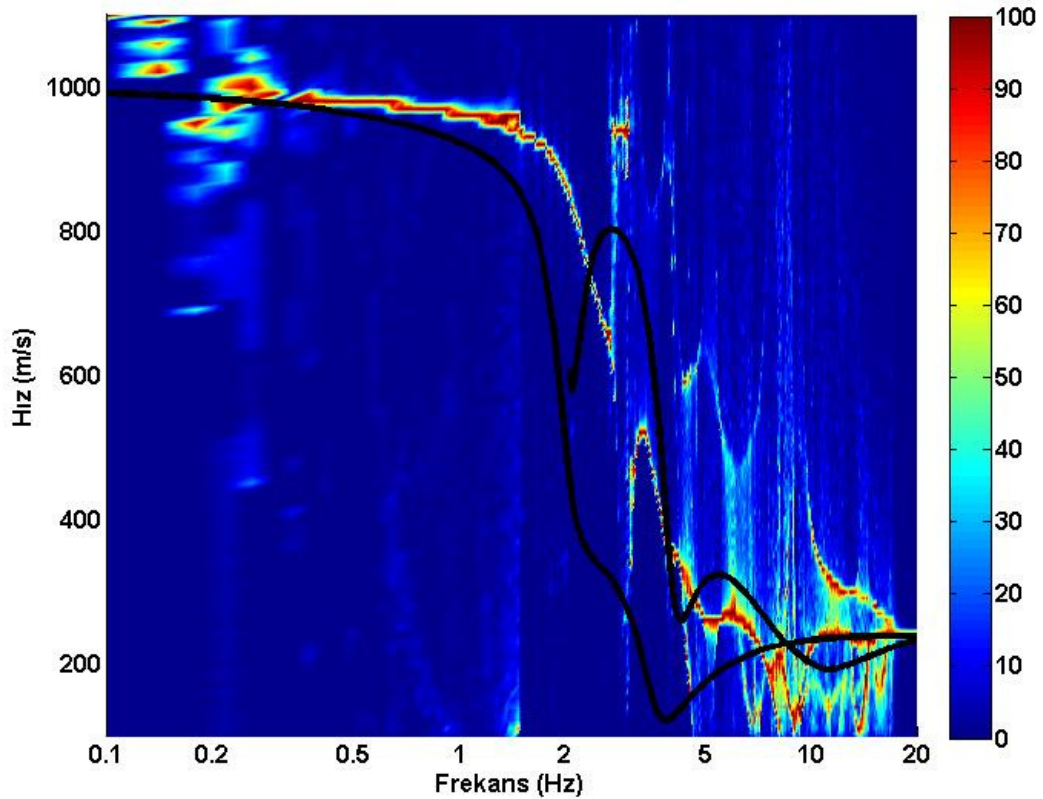


Şekil 4.16 : 992-1000 m aralığındaki beş alıcının ZDGY ile analiz edilmesi sonucunda elde edilen hızlar (renkli hız paneli) ve teorik FHD eğrileri (düz siyah eğriler).

ZDGY ile 992-1000 m aralığındaki beş alıcıdan elde edilen ve Şekil 4.16’da verilen FHD incelendiğinde, mod ayrımlılığının genel anlamda tüm frekans bandında sağlandığı gözlenmektedir. Faz hızındaki saçılmalar yalnızca 1. temel mod enerjisinin ilk kez gözlemlendiği 2.8-2.97 Hz frekans aralığında ve iki moda ait grup hızlarının birbirine çok yaklaştığı 8.22-8.76 Hz frekans aralığında görülmektedir. ZDGY ile 992-1000 m aralığındaki alıcılardan elde edilen FHD sonuçlarına bakılarak bu mesafede mod ayrımlılığının sağlandığı söylenebilir. Şekil 4.16’dan bu mesafede genel olarak tüm frekans bandında her iki moda ait faz hızlarının doğru bir şekilde çözülebildiği görülmektedir.

ZDGY’nin farklı modları ayırma gücü sinyali farklı frekans bantlarında süzmek için kullanılan Gauss Filtresi (Dziewonski, 1969) ile de ilişkilidir. ZDGY’nin mod ayrımlılığının zayıf kaldığı 242-250 m alıcı aralığında ve aksine mod ayrımlılığının yüksek olduğu 992-1000 m alıcı aralığında $f_n = 6\text{Hz}$ merkez frekansı için gerçekleştirilen analizler aşağıda ayrıntılı bir şekilde anlatılmıştır. Şekil 4.10 ve Şekil 4.16’da mod ayrımlılığının 6 Hz frekansında 242-250 m alıcı aralığında

gerçekleştirilen analizle sağlanamadığı, ancak 992-1000 m alıcı aralığında her iki moda ait hızların doğru bir şekilde elde edildiği görülmektedir. Analizde kullanılan bu iki farklı alıcı grubundan elde edilen sonuçların farklı olması, 6 Hz frekansında seyahat iki modun grup hızlarının birbirine çok yakın olması, dolayısıyla yakın mesafelerde her iki moda ait varışların zamanda birbirinden yeterince ayrılamamasıdır. Uzak mesafede ise aynı frekansta seyahat eden iki modun grup varışları birbirinden yeterince ayrıldığında kullanılan Gauss filtresi ile süzülen modların zaman ortamındaki ayrımlılığı artmakta ve bu sayede her iki modun faz hızları hesaplanabilmektedir. Şekil 4.17’de iki modlu sentetik için 242-250 m alıcı aralığındaki sinyaller üzerinde gerçekleştirilen ZDGY analizi sonucunda hesaplanan FHD ve teorik grup hızı eğrileri görülmektedir. Şekil 4.20 incelendiğinde, yaklaşık 5 Hz frekansından sonra her iki modun grup hızlarının birbirine yaklaştığı, 8.5 Hz’te aynı değere ulaştığı ve bu frekans değerinden sonra da birbirine yine çok yakın devam ettiği gözlenmektedir. Bu nedenle yaklaşık 5-10 Hz frekans bandında modların sinyalde birbirine çok yakın grup varışlarıyla kendilerini gösterecekleri yani mod girişiminin gerçekleşeceği söylenebilir.

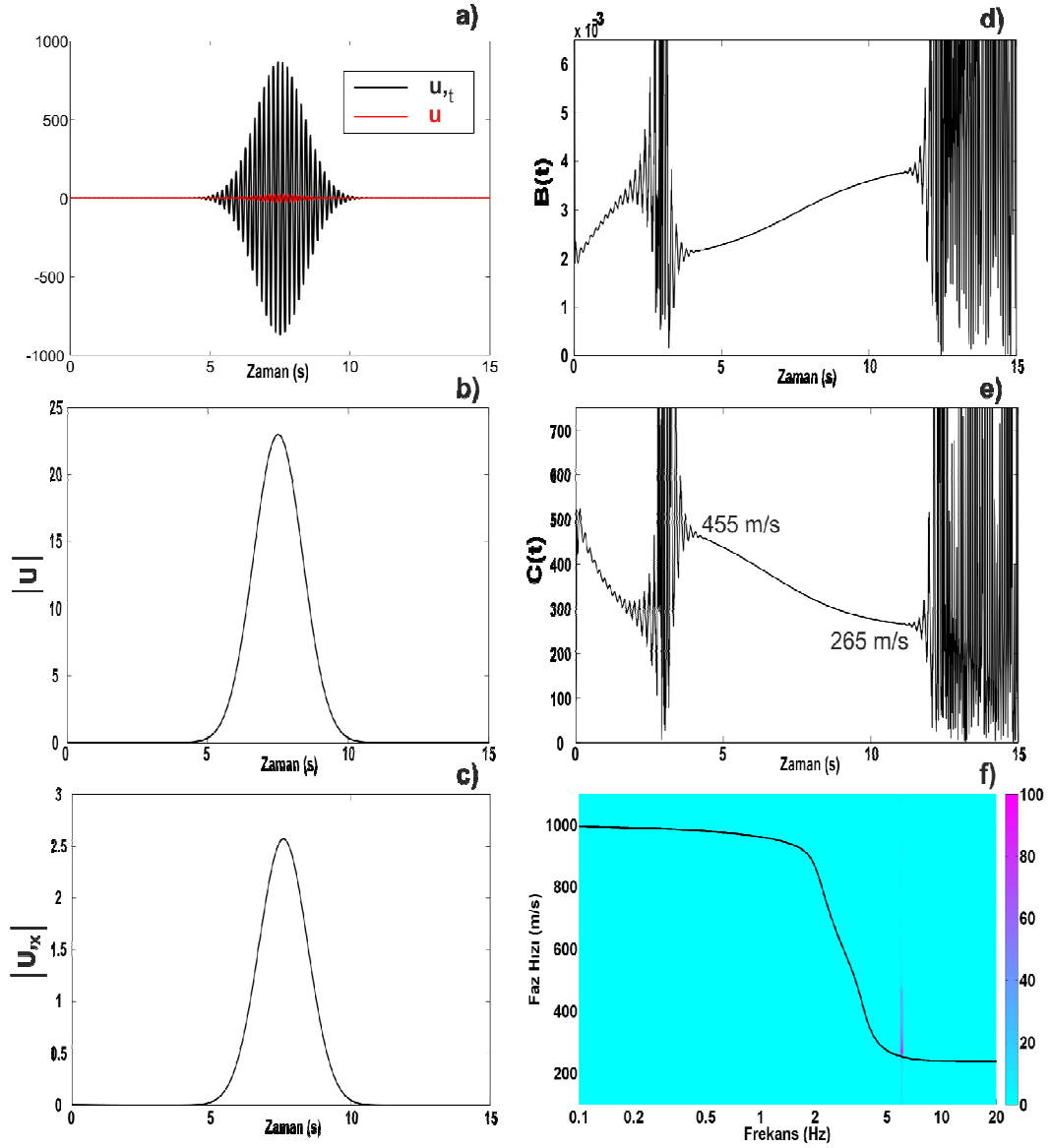


Şekil 4.17 : 242-250 m aralığındaki beş alıcının ZDGY ile analiz edilmesi sonucunda elde edilen hızlar (renkli hız paneli) ve teorik grup hızı eğrileri (düz siyah eğriler).

ZDGY analizinde kullanılan Gauss filtresi ile mod ayrımlılığının sağlanması ve doğru faz hızlarının elde edilebilmesi her iki moda ait $|U|$ ve $|U_x|$ zarflarının maksimumlarının ayrımlı olmasına bağlıdır. Mod girişiminin kullanılan filtrenin başarısını ne şekilde etkilediği Herrmann (1973)'te açıklanmaktadır. Bunun için filtreleme sonucunda elde edilen Gauss zarfının süresi olarak t_d parametresi tanımlanmıştır. t_d , zarfın genliğinin maksimum değerinin $e^{-\pi}$ değerine düştüğü noktanın zarfın pik noktasından olan zaman uzaklığıdır. t_d Hermann (1973) tarafından, α ve T_0 (merkez periyot) cinsinden 4.14'teki gibi tanımlanır:

$$t_d = T_0 \sqrt{\alpha/\pi} \quad (4.14).$$

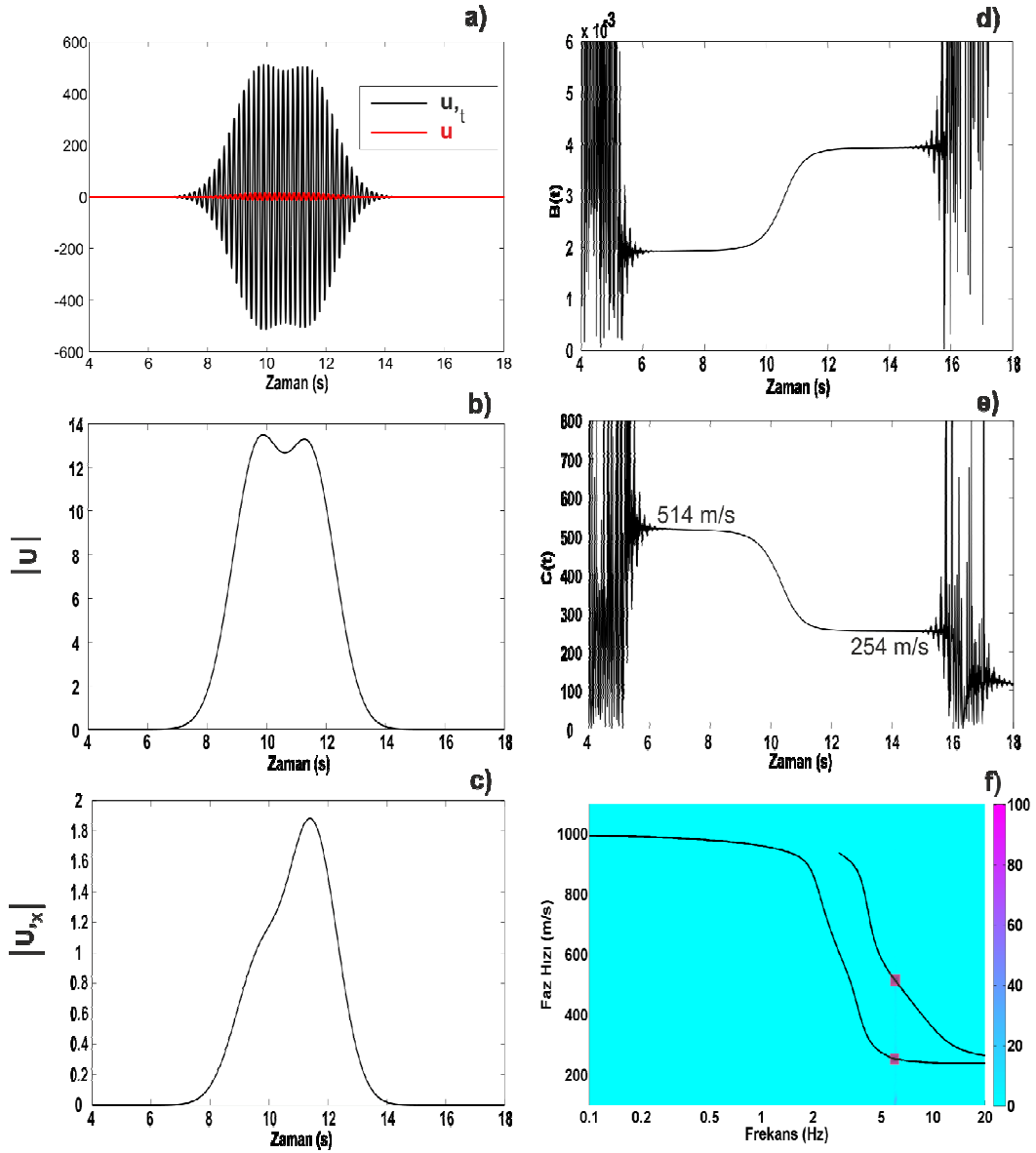
Eğer iki moda ait zarfların maksimumları birbirinden $2t_d$ 'den fazla ayrılmışsa, bu durumda iki mod girişmeyecektir ancak iki modun zarflarının maksimumları birbirinden $2t_d$ 'den az ayrılmışsa mod girişimi gerçekleşecektir. Sonuç olarak elde edilen zarfın maksimumu iki ayrı modun gerçek maksimumları ile örtüşmeyecek ve zarf iki modun genlik bilgisinin üst üste eklenmesi ile oluşacaktır (Herrmann, 1973). Yukarıda açıklanan duruma örnek olarak $f_n = 6\text{Hz}$ merkez frekansında 242-250 m ve 992-1000 m uzaklıktaki alıcı gruplarına ait sinyaller üzerinde gerçekleştirilen ZDGY analizleri Şekil 4.18 ve Şekil 4.19'da özetlenmiştir.



Şekil 4.18 : 6 Hz merkez frekansı için 242-250 m alıcı aralığında gerçekleştirilen ZDGY analizi. a) Analize katılan alıcı grubundan ortadaki alıcıya ait sismogramın kendisi (kırmızı) ve zamansal türevi (siyah). b) Yerdeğiştirme sinyalinin Hilbert dönüşümüne ait zarf. c) Yerdeğiştirme sinyalinin uzaysal türevine ait Hilbert dönüşümünün zarfı. d) Zamana bağlı B katsayısı e) Zamanın fonksiyonu olarak faz hızı f) $f_n = 6\text{ Hz}$ için elde edilen faz hızı değerleri (pembe-mor alan) ve teorik faz hızı eğrisi (siyah eğri).

Şekil 4.18’den de görüldüğü gibi $f_n = 6\text{ Hz}$ için 242-250 m alıcı aralığına ait sinyaller üzerinde gerçekleştirilen ZDGY Analizi sonucunda; her iki moda ait faz hızı değerleri doğru bir şekilde elde edilememektedir. Temel modun ve 1. yüksek modun teorik faz hızları 6 Hz frekansında sırasıyla 254 ve 514 m/s’dir. Şekil 4.18e’den de görüleceği gibi 6Hz frekansı için elde edilen zamana bağlı faz hızları

265-455 m/s arasında değişmekte ve her iki modun gerçek faz hızlarına ulaşamamaktadır. $C(t)$ 'nin histogramlanması sonucunda elde edilen ve 6 Hz frekansı için hesaplanan zamana bağlı faz hızlarının pembe-mor renkte görüldüğü Şekil 4.18f incelendiğinde, en çok tekrarlanma sayısına sahip faz hızlarının geniş bir aralığa yayıldığı gözlenmektedir. Bunun nedeni, analizin gerçekleştirildiği mesafe olan 242-250 m aralığında iki yüzey dalgası modunun grup hızlarının birbirine çok yakın olması nedeniyle zamanda birbirlerinden yeterince ayırlanamamalarıdır. Bu durum Şekil 4.18a,b ve c'de gözlenmektedir. İki modun bu uzaklıkta ayrımlılığı olmadığı için u , u_t , $|U|$ ve $|U_{,x}|$ 'te iki ayrı maksimum oluşmamakta ve tek bir pik görülmektedir. Faz hızı esasen $\frac{|U_{,x}|}{|U|}$ oranına dayanmaktadır. $|U|$ ve $|U_{,x}|$ 'te tek bir pik bulunduğundan, $\frac{|U_{,x}|}{|U|}$ oranı da tek bir maksimuma sahip olacaktır. Bu maksimum her iki modun genliklerinin üst üste eklenmesi ile oluştuğundan, hesaplanan zamana bağlı faz hızı değerleri de her iki modun hızlarını barındıracaktır.



Şekil 4.19 : 6 Hz merkez frekansı için 992-1000 m alıcı aralığında gerçekleştirilen ZDGY analizi. a) Analize katılan alıcı grubundan ortadaki alıcıya ait sismogramın kendisi (kırmızı) ve zamansal türevi (siyah). b) Yerdeğiştirme sinyalinin Hilbert dönüşümüne ait zarf. c) Yerdeğiştirme sinyalinin uzaysal türevine ait Hilbert dönüşümünün zarfı. d) Zamana bağlı B katsayısı e) Zamanın fonksiyonu olarak faz hızı f) $f_n = 6\text{Hz}$ için elde edilen iki moda ait faz hızı değerleri (pembe-mor kareler) ve teorik faz hızı eğrisi (siyah eğri).

Şekil 4.19f incelendiğinde $f_n = 6\text{Hz}$ için 992-1000 m alıcı aralığına ait sinyaller üzerinde gerçekleştirilen ZDGY Analizi sonucunda, her iki moda ait faz hızı değerlerinin doğru bir şekilde elde edildiği görülmektedir. Temel modun ve 1. yüksek modun teorik faz hızları 6 Hz frekansında sırasıyla 254 ve 514 m/s'dir. Şekil 4.19e incelendiğinde 6-11 s aralığında hesaplanan zamana bağlı faz hızı değerlerinin

sabit olduğu ve 1. yüksek moda ait teorik faz hızı olan 514 m/s ile birebir örtüştüğü görülmektedir. 1. yüksek modun faz hızının saptandığı 6-11 s aralığı aynı zamanda, Şekil 4.19a,b ve c’de 1. yüksek moda ait pikin gözleendiği zaman aralığına karşılık gelmektedir. 11-15 s aralığında ise temel moda ait pik gözlenmekte ve bu aralıkta temel modun teorik faz hızı değeri olan 254 m/s elde edilmektedir. $C(t)$ ’nin histogramlanması sonucunda elde edilen ve 6 Hz frekansı için hesaplanan zamana bağılı faz hızlarının görüldüğü Şekil 4.19f incelendiğinde, en çok tekrarlanma sayısına sahip pembe-mor renk ile görülen faz hızlarının, iki modun teorik faz hızları olan 254 ve 455 m/s’ye karşılık geldiği gözlenmektedir. Faz hızlarının doğru bir şekilde elde edilebilmesinin nedeni, analizin gerçekleştirildiği mesafe olan 992-1000 m aralığında iki yüzey dalgası modunun zamanda ayrımlılığının gelişmesidir. Bu durum Şekil 4.19a,b ve c’de gözlenmektedir. İki mod bu uzaklıkta zamanda birbirlerinden ayrıldıkları için u_r , $|U|$ ve $|U_x|$ ’te sırasıyla 1. yüksek mod ve temel moda ait iki ayrı maksimum oluşmakta, yani iki ayrı pik gözlenmektedir. $|U|$ ve $|U_x|$ ’te iki ayrı pik oluştuğundan, $\frac{|U_x|}{|U|}$ oranı da iki ayrı maksimuma sahip olmakta

ve böylece her iki modun faz hızları doğru bir şekilde hesaplanabilmektedir. Gauss filtresinin ortamda birden çok modun seyahat etmesi durumunda bu modları filtrelemedeki başarısı, bu modların zamanda birbirlerinden ne kadar ayrımlı olduklarına bağılıdır. Özetle, ZDGY ile grup hızı birbirine çok yakın olan yüzey dalgası modlarının faz hızlarının analiz edebilmesi için modların zamanda birbirinden ayrılmasını sağlayacak, yeterli mesafelerde seyahat etmeleri gerekmektedir.

5. GERÇEKÇİ SENTETİKLER İÇİN ZDGY ANALİZİ

Daha önce ele alınan sentetik sismogramların üretilmesinde basit bir yaklaşım kullanılarak dispersiyon eğrileri üzerinden modal toplama yapılarak sismogramda tüm mod enerjilerinin eşit şekilde içerilmesi sağlanmıştır. Sentetik sismogramların üretilmesinde daha gerçekçi bir yaklaşım için bu bölümde sismik kaynağın mod enerjilerinin oluşumu üzerine etkileri ve ortamın soğurulma özelliklerini de içerebilecek iki farklı yöntem kullanılmıştır. Farklı veri setlerinin ZDGY ile analiz edilmesi amacıyla iki farklı gerçekçi sentetik sismogram grubu üretilmiştir. Gerçekçi sentetik sismogram gruplarından birinin oluşturulmasında Dalga-Sayı İntegrasyonu (Dİ) (Wave Number Integration) (Hermann ve diğ., 2004) metodu kullanılırken, bir diğer grubun üretilmesi için ise Sonlu Farklar (SF) (Finite Difference) (Larsen ve diğ., 1995) metodu tercih edilmiştir. Gerçekçi sentetiklerin analizinde, bir önceki bölümde tek modlu ve iki modlu basit sentetik için ayrıntılı olarak verilen ZDGY analizi aşamaları aynı şekilde uygulanmıştır.

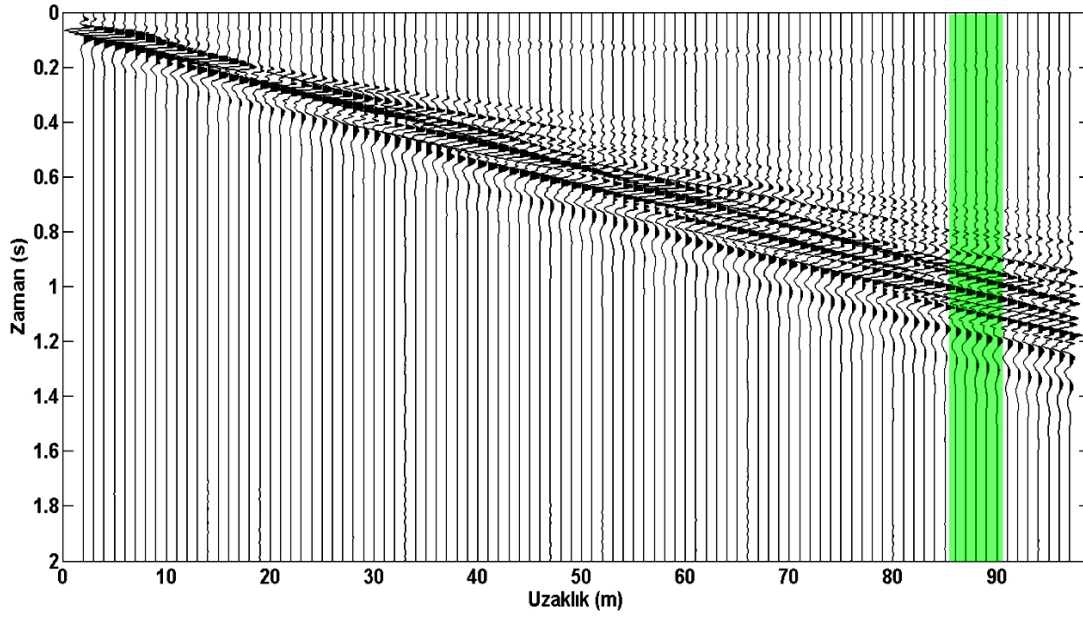
5.1 SF İle Üretilen Gerçekçi Sentetik İçin ZDGY Analizi

Gerçekçi sentetikler SF yöntemi ile Çizelge 5.1’de verilen yer modeli kullanılarak üretilmiştir. Çizelge 5.1’de verilen yer modeli incelendiğinde modelin 5 m kalınlıklı, P ve S-Dalgası hızları kademeli olarak artan katmanlardan oluştuğu görülmektedir. Model toplamda 7 katmandan oluşmaktadır ve yalnızca son iki katman arasında iki kata ulaşan yüksek bir hız kontrastı bulunmaktadır.

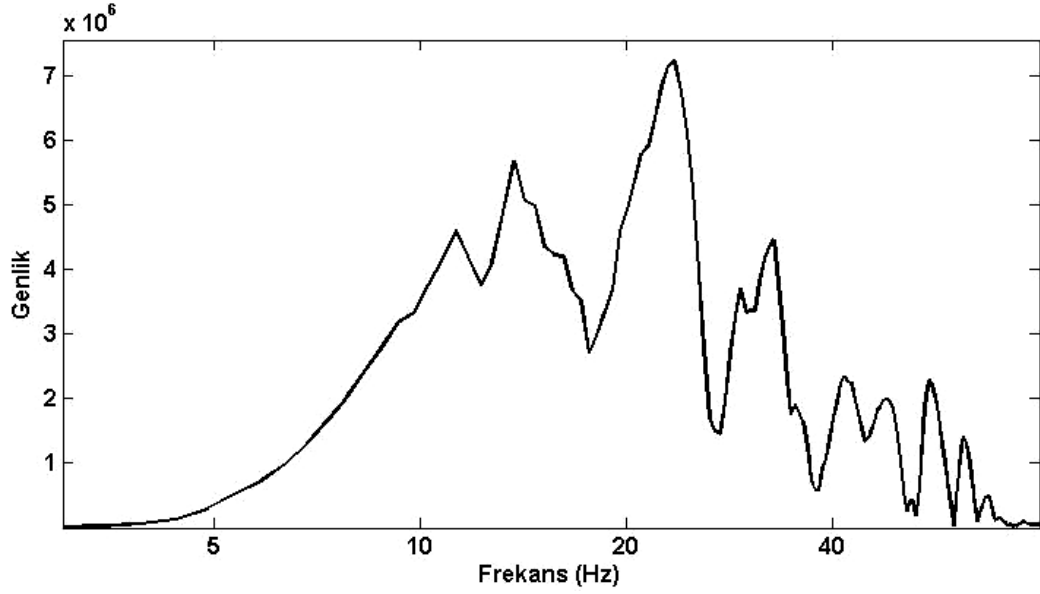
Çizelge 5.1 : SF için kullanılan yer modeli.

Derinlik (m)	V _p (m/s)	V _s (m/s)	V _p /V _s	Yoğunluk (gr/cm ³)
0	500	100	5	1.8
5	600	150	4	1.8
10	700	200	3.5	1.8
15	875	250	3.5	2
20	1050	300	3.5	2
25	1225	350	3.5	2
30	2450	700	3.5	2.4

Üretilen sentetik sismogramların zamanda örnekleme aralığı $dt=0.001$ s ve toplam sinyal uzunluğu ise 2 s'dir. Alıcı hattı kaynaktan 2 m uzaklıkta başlamakta ve 97 m'de son bulmaktadır. Kaynak olarak düşey bir nokta kaynak kullanılmış, alıcı aralığı ise 1 m olarak alınmıştır. MASW ve ZDGY analizlerinde Şekil 5.1 'de verilen sismogramlar kullanılmıştır. MASW'de alıcı hattının tümü kullanılırken, ZDGY analizi için Şekil 5.1'de yeşil renkte taranmış olan 86-90 m aralığındaki alıcılara ait sismogramlar seçilmiştir. Seçilen alıcı aralığının ortasında bulunan alıcıya ait sinyalin genlik spektrumu ise Şekil 5.2'de verilmektedir.

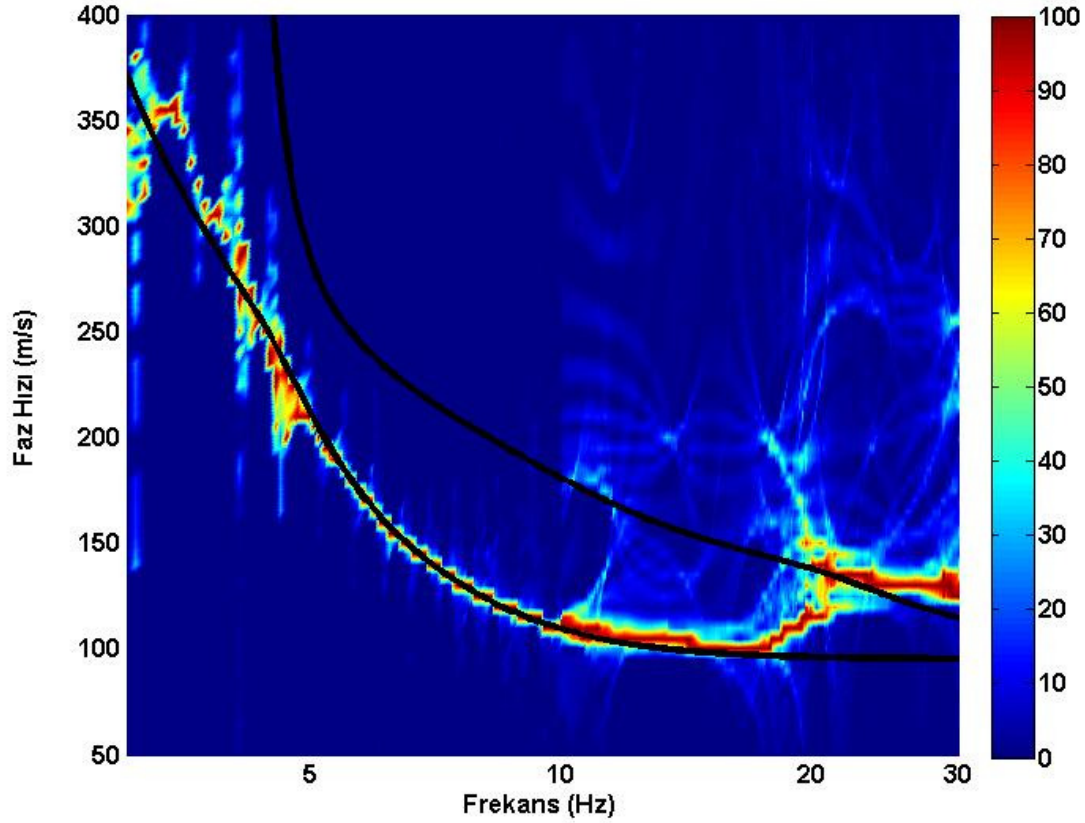


Şekil 5.1 : MASW (alıcı hattının tümü) ve ZDGY (yeşil renkle taralı alan) için kullanılan sismogramlar.



Şekil 5.2 : 88 m'deki sinyale ait genlik spektrumu

Şekil 5.2'de verilen genlik spektrumu incelendiğinde; sinyal enerjisinin yaklaşık 3-80 Hz arasında yer aldığı, ancak 5 Hz'in altında ve 70 Hz'ün altında bu enerjinin çok alçak seviyelere indiği görülmektedir. Mühendislik amaçlı çalışmalarda yüzey dalgası FHD'nin genel olarak 0.5-30 Hz frekans aralığında hesaplanması yeterli olmaktadır (Zor ve diğ., 2010). Bu nedenle ZDGY analizi sinyalin genlik spektrumu da göz önünde bulundurularak 3 Hz'ten 30 Hz frekansına kadar gerçekleştirilmiştir. ZDGY analizinin 86-90 m aralığındaki alıcılara ait sinyallere uygulanması sonucunda elde edilen FHD Şekil 5.3'te verilmektedir.

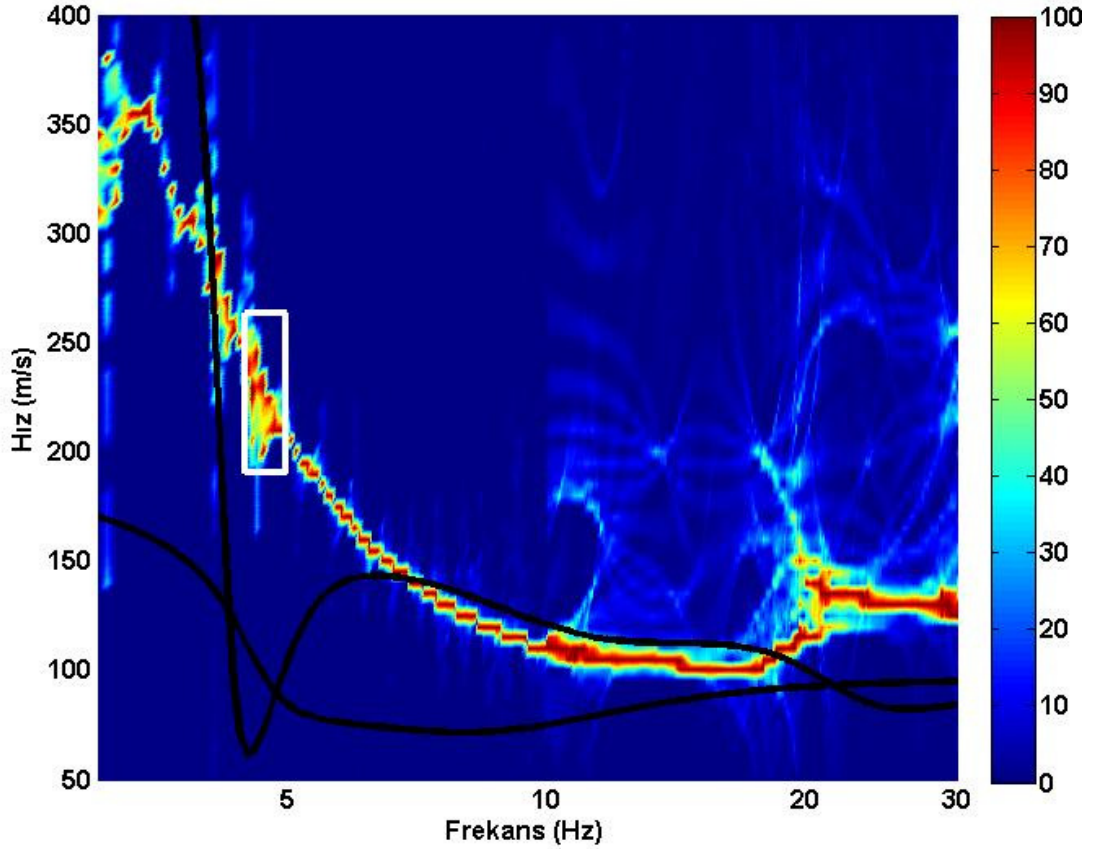


Şekil 5.3 : 86-90 m aralığındaki alıcılara ait sinyallere ZDGY Analizi uygulanması sonucunda elde edilen FHD paneli (renkli hız paneli) ve teorik faz hızı dispersiyon eğrileri (siyah eğriler).

ZDGY analizi ile elde edilen FHD incelendiğinde, sonuçların 4-18 Hz frekans bandında temel modun teorik faz hızı eğrisiyle birebir uyumlu olduğu görülmektedir. 3-4 Hz aralığında teorik faz hızı değerlerinden biraz daha yüksek hızlar bulunmakta ancak elde edilen faz hızları teorik eğriden çok uzaklaşmamaktadır (Şekil 5.3). 18 Hz frekansında faz hızı değerlerinde bir sıçrama olmakta ve 20 Hz frekansından itibaren 1. yüksek modun teorik faz hızı değerlerine yakın değerler bulunmaktadır ancak 18-30 Hz aralığında hesaplanan faz hızları her iki modun teorik faz hızları ile birebir uyumlu değildir. Bunun nedeni, 18 Hz frekansından itibaren iki ayrı moda ait grup hızlarının birbirine çok yakın takip etmesi ve bu mesafede sinyalde mod ayrımlılığının gerçekleşmemiş olmasıdır (Şekil 5.4).

Şekil 5.6’da sunulan aynı sentetiğe ait MASW sonuçları incelendiğinde 18 Hz’ten itibaren 1. yüksek mod enerjisinin giriş yaptığı izlenmektedir. ZDGY Analizi sonucunda elde edilen faz hızı değerlerinin temel moda ait faz hızı değerinden 1. yüksek modun faz hızı değerine ani bir geçiş yaptığı nokta da 18 Hz frekansına karşılık gelmektedir. Sonuç olarak ZDGY Analizi sonucunda sinyalde 1. yüksek mod

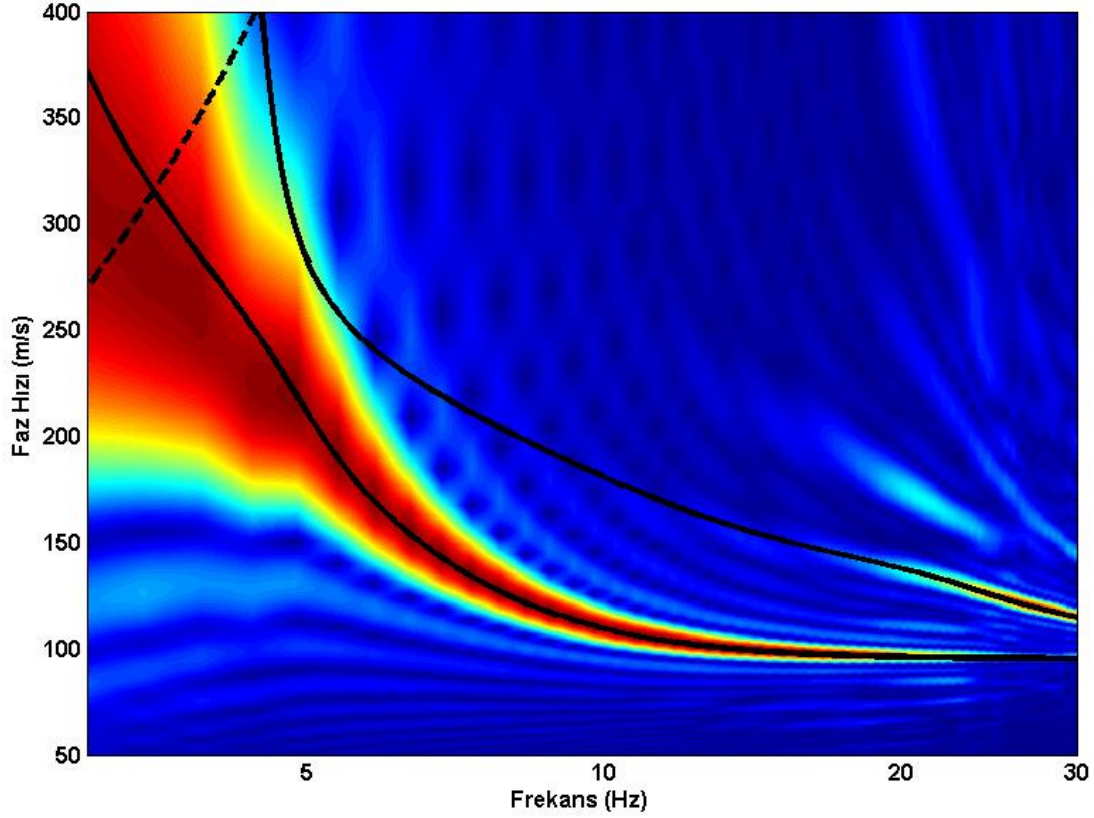
enerjisinin henüz oluşmadığı 3-18 Hz frekans bandında temel modun faz hızı değerlerinin elde edildiği, 1. yüksek mod enerjisinin giriş yaptığı 18 Hz frekansından itibaren ise bu moda ait faz hızı değerlerine yakın faz hızlarının hesaplandığı söylenebilir.



Şekil 5.4 : 86-90 m aralığındaki alıcılara ait sinyallere ZDGY Analizi uygulanması sonucunda elde edilen FHD paneli (renkli hız paneli) ve teorik grup hızı eğrileri (siyah eğriler).

Yaklaşık 4.45-4.80 Hz frekans aralığında hesaplanan faz hızlarında görülen saçılma bu frekans bandında iki moda ait grup hızlarının birbirine yaklaşması ve bu frekans bandının yaklaşık iki ucunda birbirleriyle kesişmeleridir (Şekil 5.4). Analizin gerçekleştirildiği mesafede 4.45-4.80 frekans bandında mod ayrırlılığı olmadığından elde edilen faz hızı değerlerinde saçılmalar oluşmaktadır. Saçılmanın meydana geldiği alan Şekil 5.4'te beyaz çerçeve içerisinde gösterilmektedir.

ZDGY ile MASW'dan elde edilen sonuçların karşılaştırılması amacıyla aynı veri setine MASW uygulanmıştır. MASW ile elde edilen FHD sonucu Şekil 5.5.'te verilmektedir.

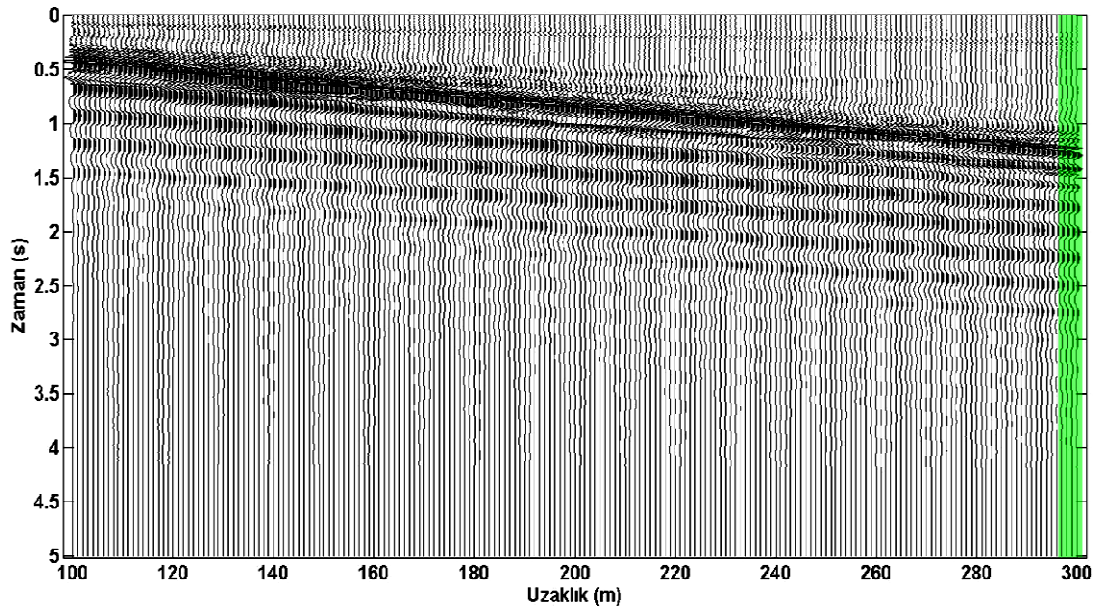


Şekil 5.5 : 2-97 m aralığındaki alıcı hattına ait sinyallere MASW uygulanması sonucunda elde edilen hız enerji çizimi, teorik FHD eğrileri (siyah eğriler) ve $k_{\min}$ eğrisi (kesikli çizgi).

MASW ile elde edilen FHD incelendiğinde (Şekil 5.5), temel moda ait faz hızı değerlerinin 5- 30 Hz frekans bandında doğru bir şekilde elde edildiği görülmektedir. Yaklaşık 18 Hz’te giriş yapan 1. yüksek moda ait faz hızları da bu frekanstan itibaren gözlenmekte ve 1. yüksek moda ait teorik faz hızı eğrisi ile uyum göstermektedir. Bununla beraber 5 Hz frekansında elde edilen faz hızlarının hata oranı %30 civarındadır ve hesaplanan faz hızlarının hata payı 3 Hz frekansı için %50’yi aşmaktadır. Bu durum Şekil 5.5’te kesikli siyah çizgi ile izlenen $k_{\min}$ eğrisi ile de uyum içerisinde olduğu için 2-97 m aralığındaki alıcı hattından MASW ile elde edilen faz hızı değerlerinin alçak frekanstaki çözünürlüğü $k_{\min}$ eğrisi ile sınırlıdır. Bu sınırın gerisinde kalan frekanslarda MASW’nin faz hızı çözünürlüğü azalmakta ve elde edilen faz hızı değerlerinin güvenilirliği azalmaktadır.

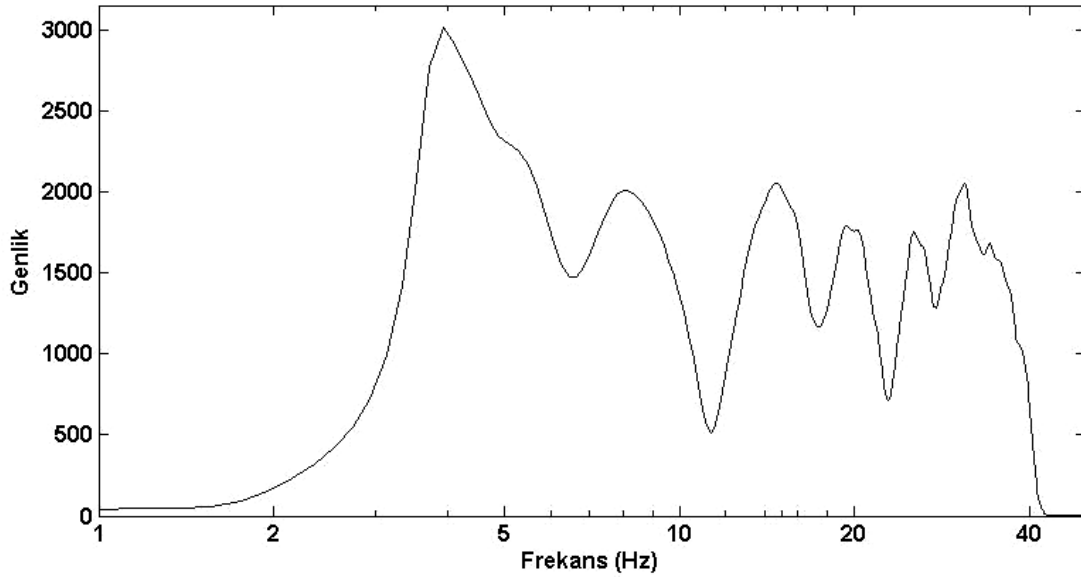
5.2 Dİ İle Üretilen Gerçekçi Sentetik İçin ZDGY Analizi

Gerçekçi sentetikler Dİ yöntemi ile Çizelge 3.1’de verilen yer modeli kullanılarak üretilmiştir. Üretilen sentetik sismogramların zamanda örnekleme aralığı $dt=0.01$ s ve toplam sinyal uzunluğu ise 5 s’dir. Alıcı hattı kaynaktan 100 m uzaklıkta başlamakta ve 300 m’de son bulmaktadır. Kaynak olarak düşey bir nokta kaynak kullanılmış, alıcı aralığı ise 1 m olarak alınmıştır. Üretilen sentetik sismogramlar Şekil 5.6’da görülmektedir. MASW’de alıcı hattının tümü kullanılırken, ZDGY analizi için Şekil 5.6’da yeşil renkte taranmış olan 296-300 m aralığındaki alıcılara ait sismogramlar kullanılmıştır.



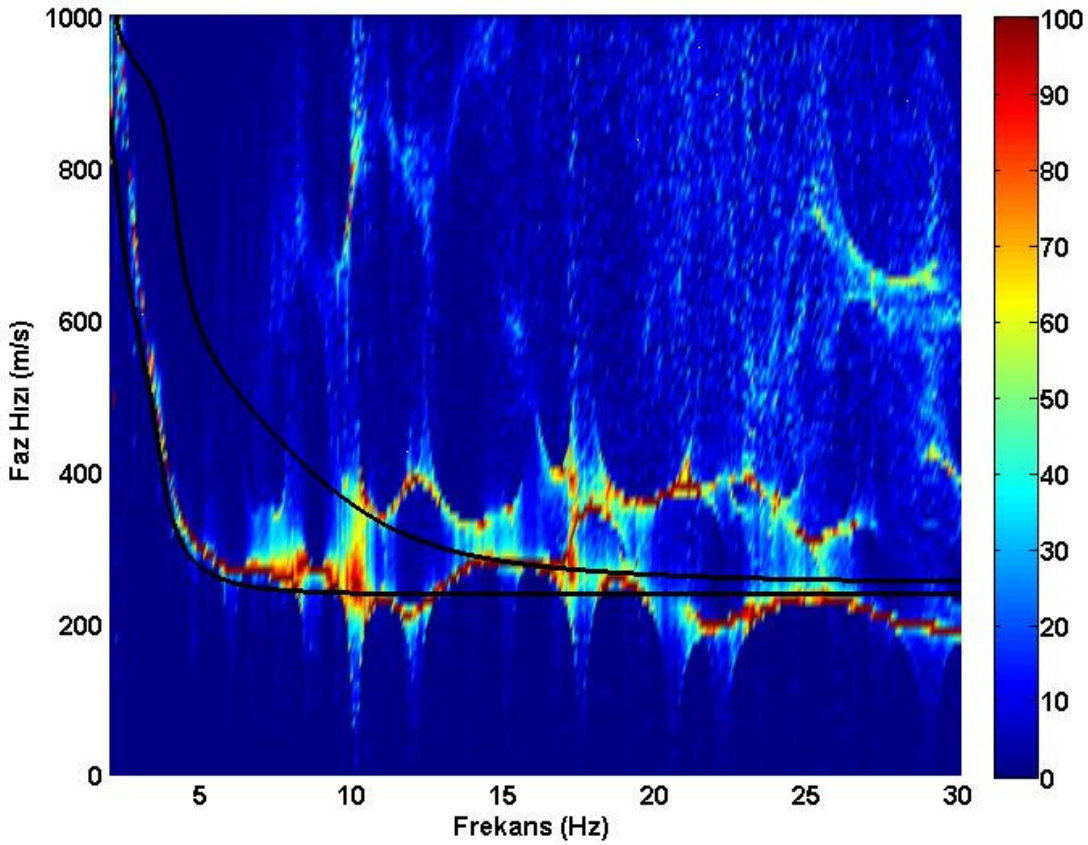
Şekil 5.6 : MASW (alıcı hattının tümü) ve ZDGY (yeşil renkle taralı alan) için kullanılan sismogramlar.

Şekil 5.7’de analizin gerçekleştirildiği alıcı hattının ortasında bulunan (298m) alıcıya ait sinyalin genlik spektrumu verilmektedir. Şekil 5.7’de verilen genlik spektrumu incelendiğinde; sinyal enerjisinin yaklaşık 2-40 Hz arasında yer aldığı ve bu aralığın dışında enerjinin çok alçak seviyelere indiği görülmektedir. Mühendislik amaçlı çalışmalarda FHD analizinde kullanılan frekans aralığı da göz önünde bulundurularak ZDGY analizi 2 Hz’ten 30 Hz frekansına kadar gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5.7 : 298 m'deki sinyale ait genlik spektrumu

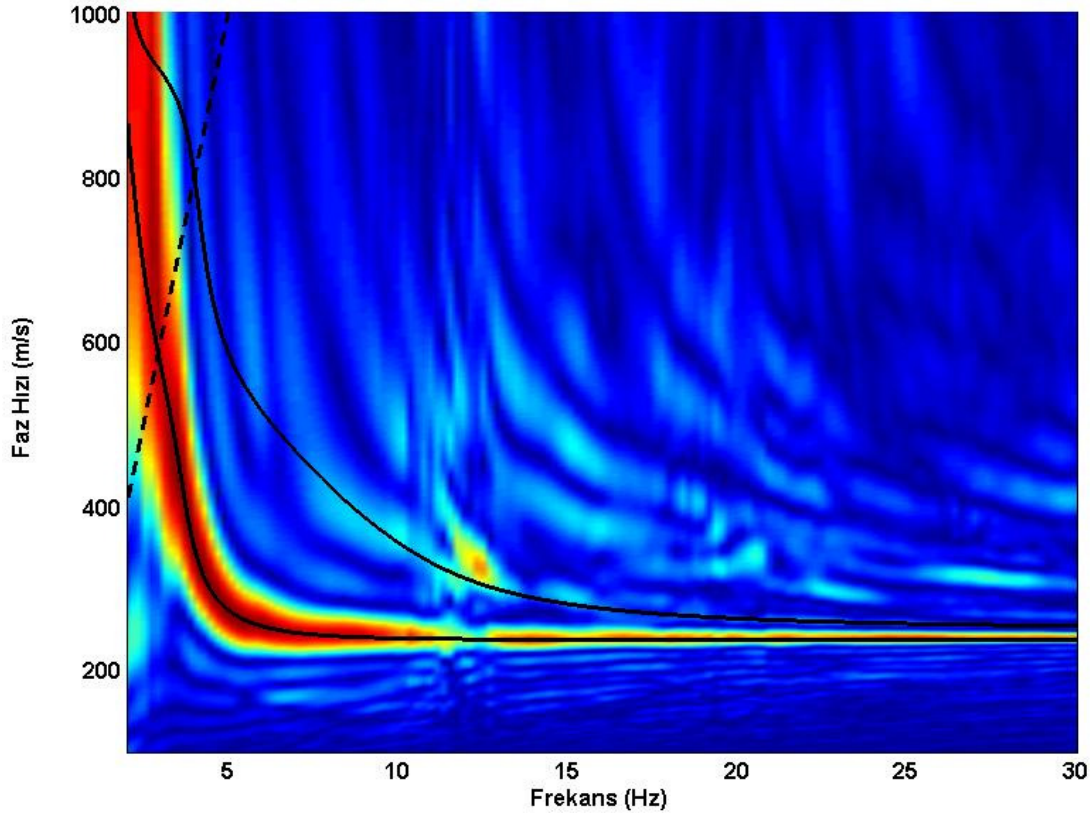
ZDGY analizinin 296-300 m aralığındaki alıcılara ait sinyallere uygulanması sonucunda elde edilen FHD Şekil 5.8'de verilmektedir.



Şekil 5.8 : 296-300 m aralığındaki alıcılara ait sinyallere ZDGY Analizi uygulanması sonucunda elde edilen FHD paneli (renkli hız paneli) ve teorik faz hızı dispersiyon eğrileri (siyah eğriler) .

ZDGY analizi ile elde edilen FHD incelendiğinde, sonuçların iki modun grup hızlarının birbirine yaklaştığı 5-6 Hz frekans değerlerine kadar temel modun teorik faz hızı eğrisiyle uyumlu olduğu görülmektedir. 2-3.26 Hz frekans aralığında ise temel moda ait teorik faz hızı değerlerinden biraz daha yüksek hızlar bulunmakta ancak elde edilen faz hızları teorik eğriden çok uzaklaşmamaktadır (hata oranı en çok 2 Hz’te %25 civarına ulaşmaktadır) (Şekil 5.8).

ZDGY ile yaklaşık 12 Hz frekansına kadar temel modun teorik faz hızı değerlerine yakın hızlar hesaplanmakta, 13.7-17 Hz frekans bandında ise 1. yüksek modun faz hızları yakalanmaktadır. 22.7-26.5 Hz frekans bandında yeniden temel modun faz hızları elde edilmekte, bu aralığın ötesinde ise temel modun faz hızlarından daha düşük değerler hesaplanmaktadır. Şekil 3.2’de gerçekçi sentetiğin hesaplandığı yer modeline ait teorik grup hızı teorik grup hızı eğrileri görülmektedir. Şekil 3.2 incelendiğinde, yaklaşık 5 Hz frekansından sonra her iki modun grup hızlarının birbirine yaklaştığı, 8.5 Hz’te aynı değere ulaştığı ve bu frekans değerinden sonra da birbirine yine çok yakın devam ettiği gözlenmektedir. ZDGY ile hesaplanan FHD sonuçları da yaklaşık 6 Hz frekansından itibaren teorik faz hızı eğrileri etrafında salınmaya başlamaktadır. Bunun nedeni modların 5 Hz’ten sonra grup hızlarının birbirine yakın takip etmesi ve mod girişiminin gerçekleşmesidir. Aynı model için üretilen iki modlu basit sentetiğin 242-250 m alıcı aralığında gerçekleştirilen ZDGY analizi sonuçları ile karşılaştırıldığında iki sentetikten elde edilen sonuçların benzer olduğu görülmektedir (Şekil 4.10). Sonuç olarak ZDGY ile iki modun grup hızlarının birbirine yakın seyrettiği 6 Hz frekansına kadar temel modun faz hızı değerleri hesaplanabilmiş ancak daha yüksek frekans değerlerinde mod girişimi gerçekleştiğinden iki yüzey dalgası modunun faz hızları başarılı bir şekilde ayrıl原因amamaktadır. ZDGY ile MASW’dan elde edilen sonuçların karşılaştırılması amacıyla aynı veri setine MASW uygulanmıştır. MASW ile elde edilen FHD sonucu Şekil 5.9’da görülmektedir.



Şekil 5.9 : 100-300 m aralığındaki alıcı hattına ait sinyallere MASW uygulanması sonucunda elde edilen hız enerji çizimi, teorik FHD eğrileri (siyah eğriler) ve $k_{\min}$ eğrisi (kesikli çizgi).

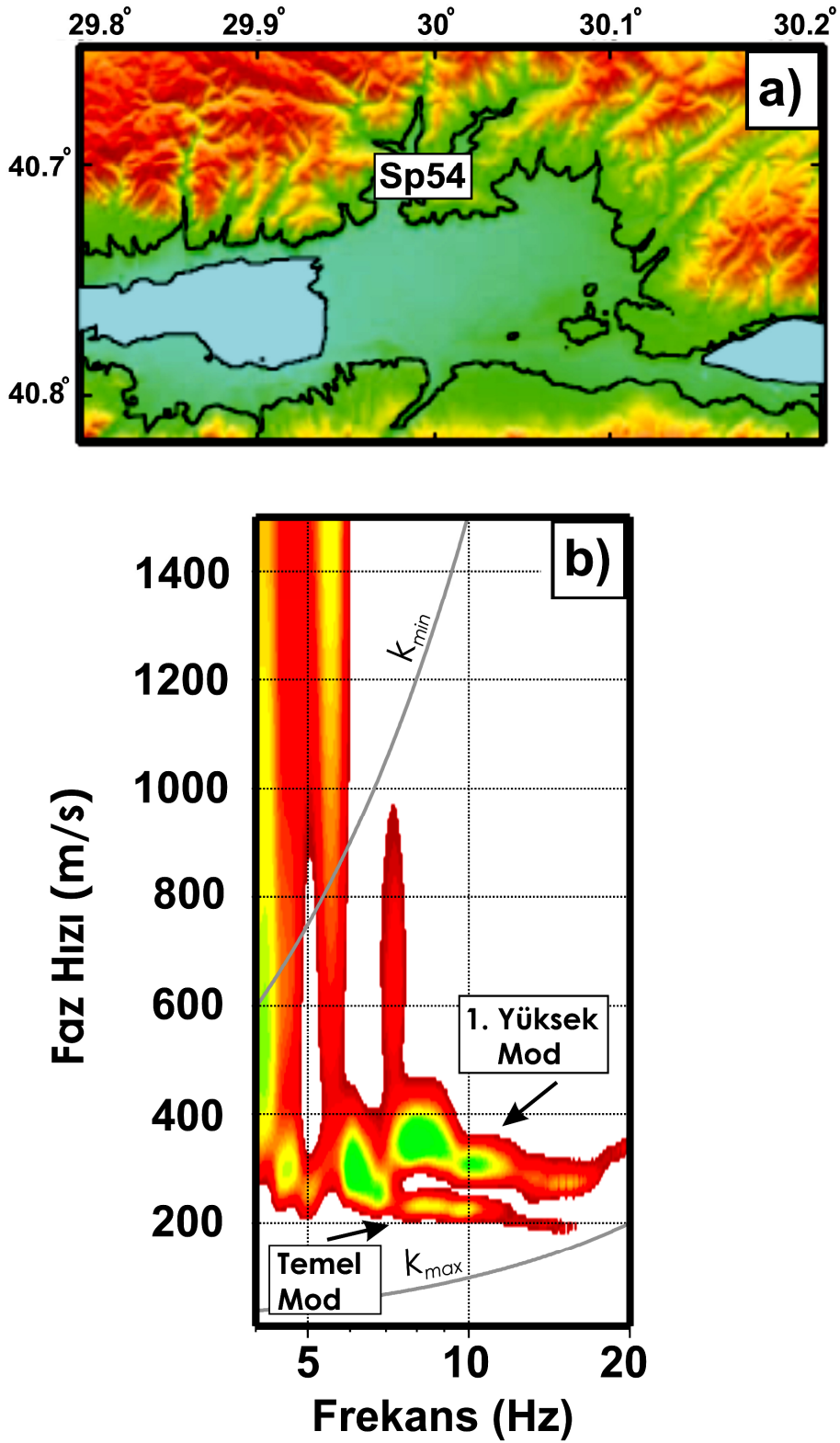
MASW ile elde edilen FHD incelendiğinde, temel moda ait faz hızı değerlerinin 3.5-30 Hz frekans bandında başarılı bir şekilde elde edildiği görülmektedir (Şekil 5.9). ZDGY Analizi'ne benzer şekilde incelenen frekans bandında yüksek moda ait faz hızı değerleri elde edilmemiştir. 3.5 Hz frekansının altında elde edilen faz hızlarının hata oranı artmakta ve hesaplanan faz hızı değerlerinin güvenilirliği azalmaktadır. Bu durum Şekil 5.9'da kesikli siyah çizgi ile izlenen $k_{\min}$ eğrisi ile de uyum içersindedir. 100-300 m aralığındaki alıcı hattından MASW ile elde edilen faz hızı değerlerinin alçak frekanstaki çözünürlüğü $k_{\min}$ eğrisi ile sınırlıdır. Bu sınırın gerisinde kalan frekanslarda MASW'nin faz hızı çözünürlüğü azalmaktadır.

Özetle, gerçekçi sentetiklerin analiz edilmesi sonucunda ZDGY ile FHD analizinin alçak frekans bandında MASW'ye göre daha başarılı olduğu ancak iki modun grup hızlarının yakın seyrettiği frekanslarda mod girişimi sonucunda ZDGY'nin iki modun hızlarını ayırma konusunda zorlandığı görülmektedir.

6. GERÇEK ATIŞ KAYITLARININ ZGDY İLE ANALİZ EDİLMESİ

Gerçek atış kayıtlarının ZGDY ve MASW ile analiz edilmesi ve sonuçların karşılaştırılması amacıyla 2011 yılının Nisan ayında Kocaeli’de seçilen bir sahada atış kayıtları toplanmıştır. Atış kayıtlarının toplandığı Sp54 sahasında daha önce TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi Yer ve Deniz Bilimleri Enstitüsü’nün yürüttüğü “Kocaeli İli İçin Zemin Sınıflaması ve Sismik Tehlike Değerlendirme Projesi” kapsamında V_{s30} değerinin elde edilmesi ve zemin sınıflaması amaçlı olarak veriler toplanmış, Mikrotremor Dizin ve MASW yöntemleri ile değerlendirilmiştir. Çalışmanın sonuçları Zor (2010)’da verilmektedir. Sp54 çalışma alanının Kocaeli ili içerisindeki konumu ve daha önce yapılan çalışmadan elde edilen MASW sonucu Şekil 6.1’de görülmektedir. Bu tez çalışmasında aynı sahanın tercih edilmesinin nedeni, daha önce MASW analizi ile elde edilen FHD sonuçlarıyla bu tez çalışması için toplanan atış verilerinin MASW ve ZGDY ile analiz edilmesi ile elde edilen FHD sonuçlarının karşılaştırılması ve ZGDY’nin performansının değerlendirilmesidir. Böylece elde edilen sonuçların kontrolünün sağlanması amaçlanmaktadır.

Bu tez çalışmasında atış kayıtları sismik kırılma ve yansıma çalışmalarında da sıkça kullanılan Geometrics kayıtçı sistemi ile 48 kanallı olarak toplanmıştır (www.geometrics.com). Kayıtçı sistemi bir adet Geometrics GEODE24 kayıtçı, bilgisayar, kablo sistemi ve 4.5 Hz’lik jeofonlardan oluşmaktadır ve saniyede 250 örnek alacak şekilde ayarlanmıştır. Sismik kaynak olarak 8 kg’lık bir balyoz kullanılmış ve doğrusal bir alıcı dizini ile atış kayıtları oluşturulmuştur. Alıcı aralığı dalga gradiyometri analizinde uzaysal türevden kaynaklanabilecek hataları en aza indirmek amacıyla hat başına yerleştirilen 18 alıcı için 1m tutulmuş, hat sonu olan 167 m’ye kadar yerleştirilen 30 adet alıcı için ise alıcı aralığı 5m olacak şekilde dizilim gerçekleştirilmiştir.

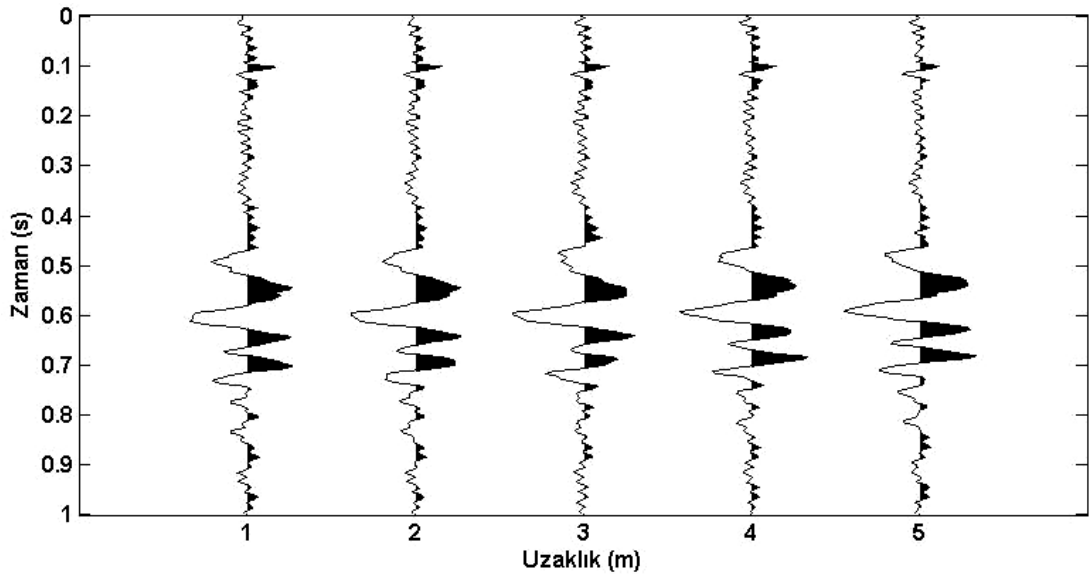


Şekil 6.1 : a) Sp54 çalışma alanının Kocaeli İli içerisindeki konumu b) Daha önceki çalışmada Sp54 sahasından elde edilen MASW enerji hız çizimi (renkli panel) ve k_{min} , k_{max} eğrileri (gri eğriler).

Şekil 6.1b incelendiğinde Sp54 çalışma alanında daha önce toplanan atış kayıtlarının MASW ile analiz edilmesi ile elde edilen sonuçlarda yüzey dalgasına ait temel mod ve 1. yüksek modun faz hızlarının hesaplandığı görülmektedir. 1. yüksek modun enerjisi 7-18 Hz frekans bandında oldukça yüksek seviyede gözlenmekte, temel moda ait faz hızı değerleri ise yaklaşık 6-17 Hz frekans bandında hesaplanmaktadır.

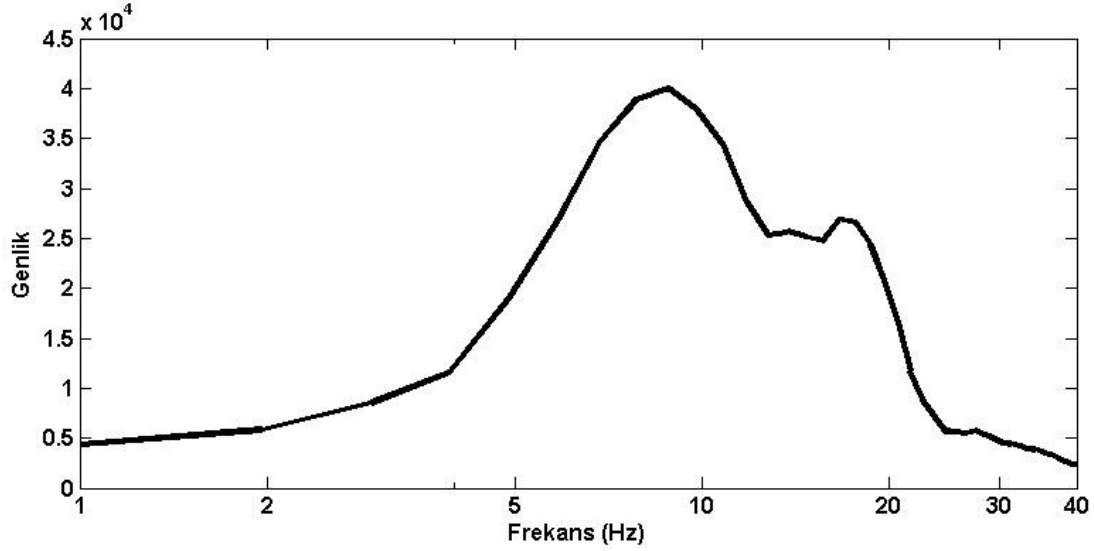
Bu tez çalışması için oluşturulan atış kayıtları üzerine ZDGY ve MASW analizlerinin uygulanmasına örnek olarak bir veri seti seçilmiştir. Seçilen veri seti ile analizler gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmuştur.

Kaynak hat başlangıcından 117 m uzaklıktadır, ZDGY analizinde hat başlangıcında bulunan 1m alıcı aralığına sahip beşli alıcı grupları kullanılmıştır. Aşağıda ZDGY analizinin gerçekleştirildiği alıcı gruplarından birine ait sonuçlar örnek olarak verilmektedir. Kullanılan alıcı grubuna ait sismogramlar ve alıcı grubunda ortadaki alıcıya ait atış kaydının genlik spektrumu sırasıyla Şekil 6.2 ve Şekil 6.3'te verilmektedir.



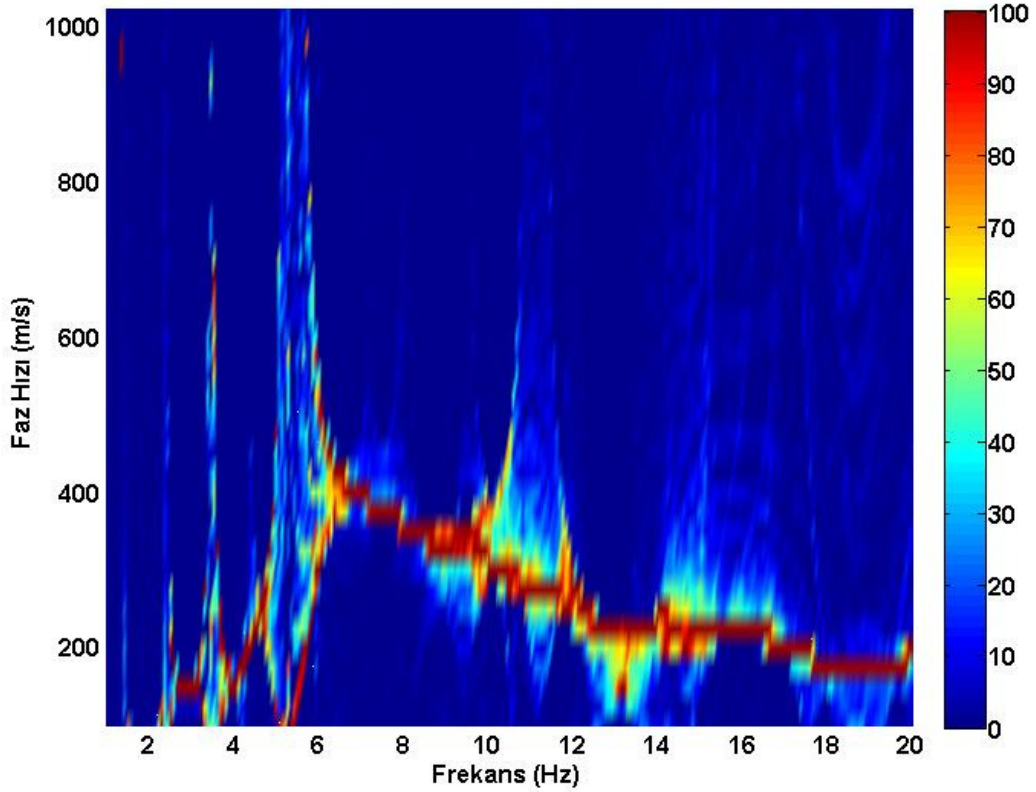
Şekil 6.2 : ZDGY analizinde kullanılan alıcı grubuna ait sismogramlar.

Şekil 6.3 incelendiğinde kaydedilen sinyallerin yaklaşık 1-40 Hz frekans bandında enerjiye sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 6.3 : ZDGY analizinin gerçekleştirildiği alıcı grubunda ortadaki alıcıya ait atış kaydının genlik spektrumu.

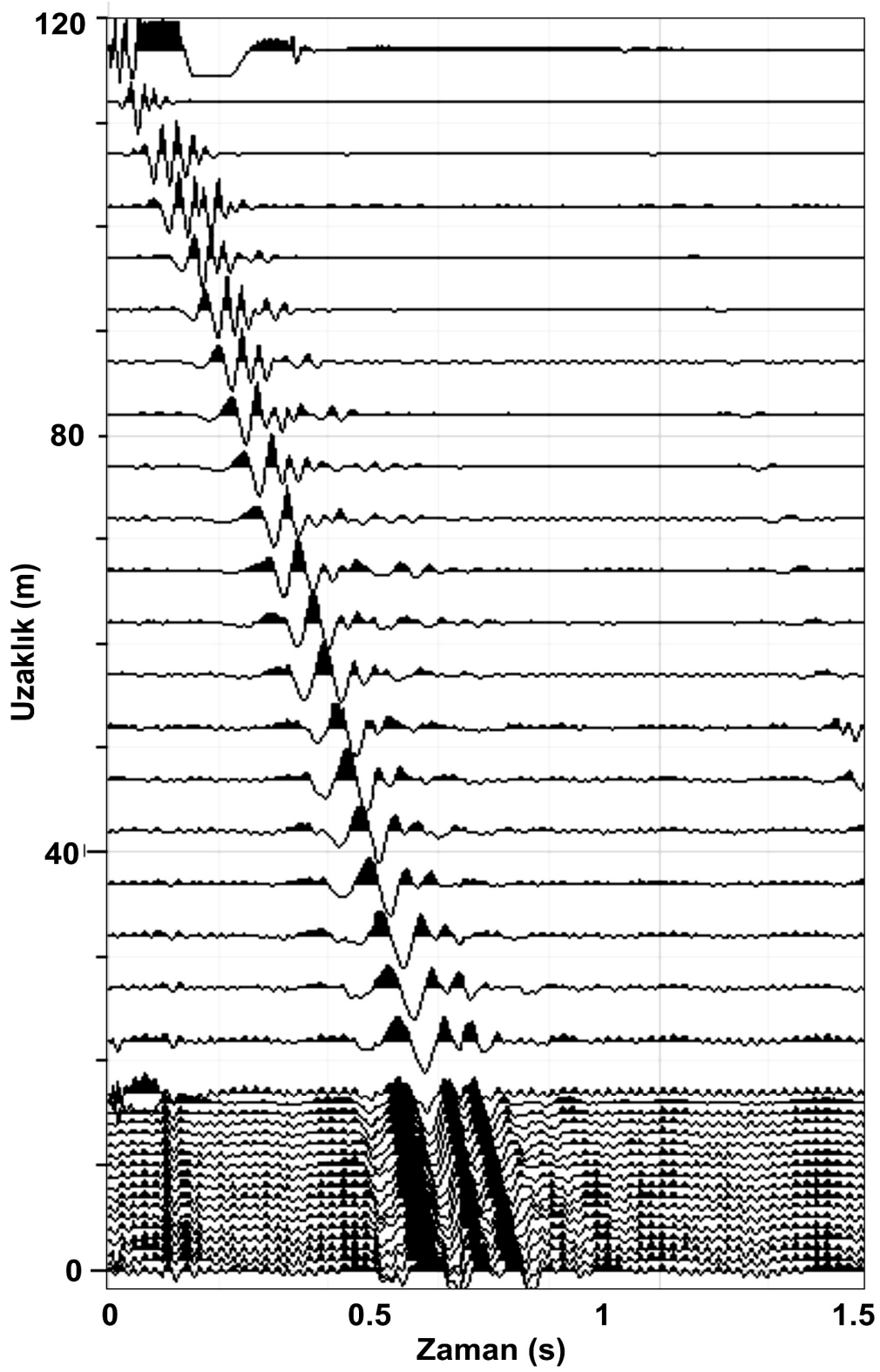
Şekil 6.4'te ZDGY analizi sonucunda hesaplanan FHD görülmektedir. Şekil 6.4 incelendiğinde ZDGY analizi sonucunda FHD'nin 6-20 Hz frekans bandında başarılı bir şekilde elde edilebildiği gözlenmektedir. 6 Hz'ten daha alçak frekans değerlerinde ise FHD hesaplanamamıştır. 6 Hz'ün altında faz hızlarının elde edilememesi kullanılan kaynağın alçak frekans bandında sinyal üretememesi ve atış kaydında 4.5 Hz'lik alıcıların kullanılması ile ilgilidir. Hesaplanan faz hızı değerleri daha önce yapılan çalışmada gerçekleştirilen MASW analizi sonucunda hesaplanan 1. yüksek mod faz hızları ile uyum içerisindedir (Şekil 6.1). Sinyalde yüzey dalgasının temel moduna ait enerjilerin ürememesi ya da 1. yüksek modun enerjisinin baskın olması nedeniyle ZDGY Analizi ile temel moda ait faz hızları elde edilmemiştir.



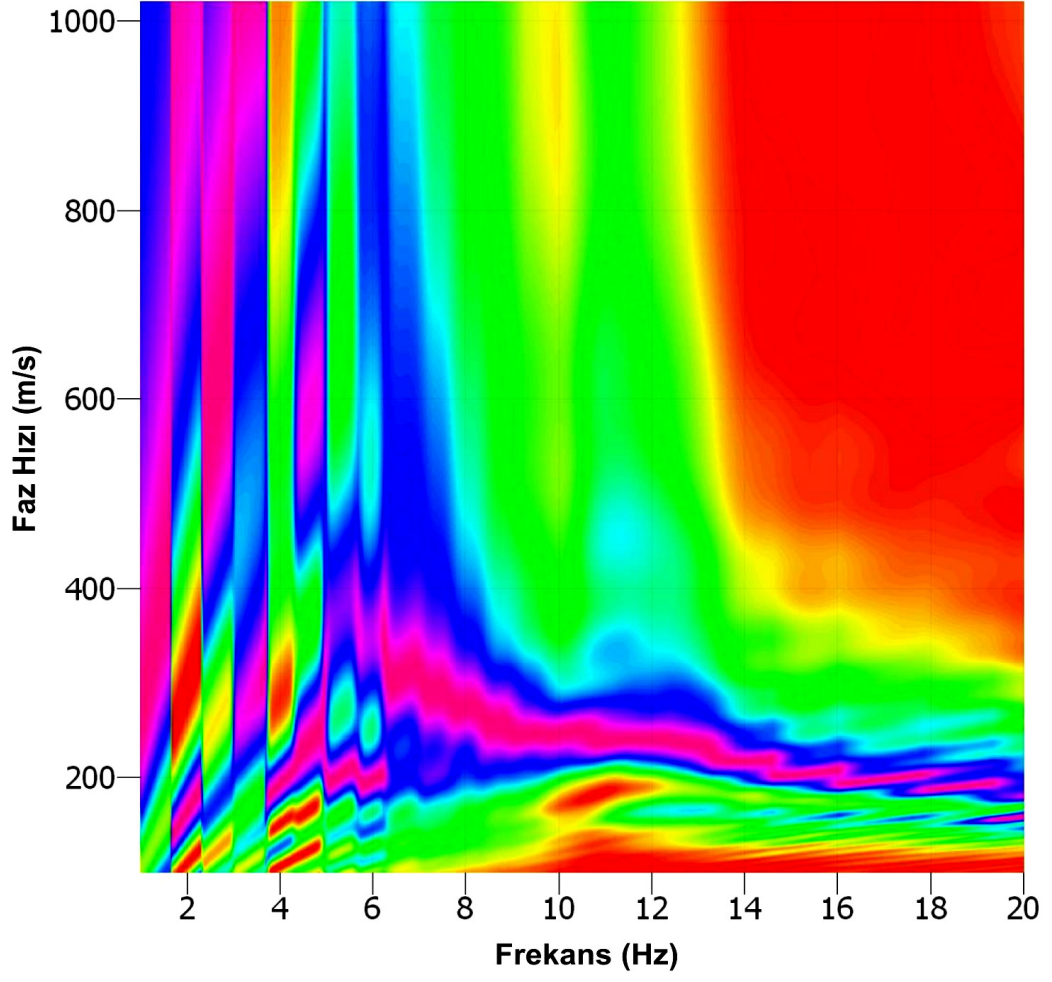
Şekil 6.4 : ZDGY analizi sonucunda elde edilen FHD (renkli hız paneli).

MASW Analizinde 0-117 m aralığındaki alıcı hattı kullanılmıştır. Kullanılan atış kaydına ait sinyaller Şekil 6.5'te verilmektedir. MASW ile elde edilen FHD sonucu ise Şekil 6.6'da verilmektedir.

MASW ile hesaplanan FHD incelendiğinde ZDGY sonuçlarına benzer şekilde faz hızlarının yaklaşık 6-20 Hz frekans bandında başarılı bir şekilde elde edildiği, 6 Hz'ten daha alçak frekans değerlerinde ise FHD'nin hesaplanamadığı görülmektedir. MASW ile elde edilen sonuçlarda ZDGY analizine benzer şekilde 1. yüksek moda ait faz hızları elde edilmiş, temel moda ait faz hızları ise çözülememiştir. Sonuç olarak gerçek atış kayıtları üzerinde gerçekleştirilen karşılaştırmalı ZDGY ve MASW analizlerinden benzer faz hızı değerlerinin elde edildiği, hesaplanan faz hızlarının aynı sahada önceden gerçekleştirilen çalışmadan elde edilen MASW sonuçları ile de uyumlu olduğu görülmüştür. Bununla beraber, alçak frekansta (yaklaşık 6-10 Hz) ZDGY'nin faz hızı çözünürlüğü MASW'ye göre çok daha yüksektir.



Şekil 6.5 : MASW analizi için kullanılan atış kayıtları.



Şekil 6.6 : MASW Analizi ile elde edilen hız enerji çizimi (renkli panel).

SONUÇLAR

Bu çalışmada Langston (2007a, 2007b ve 2007c) tarafından önerilen Dalga Gradiyometri Yöntemi kullanılarak Yüzey Dalgası FHD eğrilerinin elde edilmesi amaçlanmıştır. Frekans Ortamı Dalga Gradiyometri Yöntemi (FDGY) ve Zaman Ortamı Dalga Gradiyometri Yöntemi (ZDGY) öncelikle basit sentetik sismogramlar üzerine uygulanmıştır. Frekans ortamı yaklaşımının ortamda birden fazla mod bulunması durumunda modlara ait faz hızlarını çözemeyeceğinden yola çıkılarak sentetik sismogramlar üzerine ZDGY uygulanarak önemli analiz parametreleri test edilmiş ve yöntemin sınırları belirlenmeye çalışılmıştır. Bunun yanında aynı veriler üzerinde gerçekleştirilen karşılaştırmalı ZDGY ve MASW Analizleri ile yöntemin MASW karşısındaki avantaj ve dezavantajları incelenmiş ve ZDGY'nin alçak frekans bandında MASW'ye oranla daha başarılı sonuçlar verdiği gözlenmiştir.

DGY'nin sınırlarının saptanması ve yöntemin önemli parametrelerinin analiz edilmesi amacıyla basit sentetik sismogramlar üretilmiş ve tüm analizler bu sentetik sismogramlar üzerinde gerçekleştirilmiştir. DGY'de yerdeğiştirmeye ait uzaysal türevin en düşük hata ile hesaplanması gerektiğinden, sonlu farklara dayalı farklı sayısal türev alma algoritmaları test edilmiştir. Bu amaçla üretilen basit sentetik sismogramlar dört farklı sayısal türev alma algoritması kullanılarak FDGY ile analiz edilmiş ve elde edilen FHD sonuçları incelendiğinde bu sayısal türev alma algoritmalarından BNK'nın en az hataya sahip yaklaşım olduğu görülmüştür. Sinüzoidal bir dalganın uzaysal türevi alınırken uzaysal örnekleme aralığından kaynaklanacak hata değeri önem kazanmaktadır. Bu çalışmada, Langston (2007a)'da uzaysal örnekleme aralığı ve %10 hata ile çözülebilecek en küçük dalga boyu arasında verilen ilişkiye benzer bir ilişki BNK için tanımlanmıştır. Sonuç olarak uzaysal türevin hesaplanmasında BNK'nın MFF'ye göre daha az hataya sahip FHD sonuçları verdiği ve uzaysal türevin MFF yerine BNK ile hesaplanması durumunda uzaysal örnekleme aralığının yatay dalga boyunun %21'i olmasının yeterli olduğu saptanmıştır.

Bir diğ er analiz aşamasında, uygun alıcı aralığının belirlenmesi amacıyla 4m ve 2 m alıcı aralığ ı için üretilen basit sentetik sismogramlar FDGY ve ZDGY ile analiz edilmiştir. Her iki analiz yöntemin sonuçları incelendiğ inde; 4m alıcı aralığ ı için hesaplanan FHD eğrilerinin yaklaşık 8 Hz frekansında teorik eğriden ayrıldığı ve teorik eğriye göre daha yüksek hızlar kestirdiğ i gözlenmiştir. Yüksek frekans bandında gözlenen bu durum, alıcı aralığının 4m olmasından kaynaklanan yetersiz uzaysal çözünürlük ile açıklanmaktadır. 2m alıcı aralığ ı için hesaplanan FHD eğrilerinin ise tüm frekans bandında teorik eğri ile  akıştığ ı g r lm ştir. Bu durumda, 2m alıcı aralığının ilgilenilen frekans bandı olan 2-20 Hz aralığında FHD eğrilerinin hesaplanması için yeterli olduğu sonucuna varılmıştır. Analiz esnasında aynı zamanda alıcı hattı boyunca farklı ilk alıcı uzaklıkları için elde edilen FHD sonuçlarının değişip değişmeyeceğ i incelenmiş ve farklı ilk alıcı uzaklıklarındaki sinyaller kullanılarak hesaplanan sonuç FHD eğrilerinin bu veri seti için birebir  rt şt ğ i g r lm ştir.

ZDGY'nin farklı SGO'lar için vereceğ i sonuçları görmek ve yöntemin gürültü ile ilişkili sınırlarını belirlemek amacıyla üretilen basit sentetik sismogramlar üzerine farklı içerikli Beyaz Gürültüler eklenmiş ve elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Aynı sentetik sismogramlar üzerine sırasıyla İlişkisiz Beyaz Gürültü, Aynı Beyaz Gürültü ve Yüksek İlişkili Beyaz Gürültüler eklenmiştir. Sismogramın tüm kanallarına ilişkisiz (rastgele) gürültü eklenmesi durumunda yöntemin SGO oranının en az 10 olması durumunda kabul edilebilir hata oranları ile  alışabildiğ i, daha düşük SGO oranlarında ise ZDGY analizi ile elde edilen faz hızlarının özellikle alçak frekans bandında teorik eğriden saptığ ı gözlenmiştir. Sismogramın tüm kanallarına aynı ve yüksek ilişkili (benzer) gürültülerin eklenmesi durumunda ZDGY ile FHD analizinin sırasıyla 2 ve 4 gibi düşük SGO'larda düşük standart sapmalar ile  alışabildiğ i gözlenmiştir.

Son olarak gürültülü bir sinyalde ZDGY analizi gerçekleştirilirken, elde edilen FHD'nin analizin ger ekleştirildiğ i alıcı uzaklığ ına bağımlı olup olmadığı değerlendirilmiş ve sentetik sismogramlara rastgele beyaz gürültü eklenmesi durumunda, alıcı uzaklığ ına bağımlı sonuçların hesaplandığı gözlenmiştir.

Bu durumda yüksek SGO değerleri için dahi farklı alıcı uzaklıklarında hesaplanan FHD sonuçları büyük farklılıklar göstermiştir. Sentetiklere aynı ya da yüksek ilişkili beyaz gürültülerin eklenmesi durumunda ise düşük SGO değerlerine kadar farklı alıcı uzaklıklarından elde edilen FHD sonuçlarının çok fazla değişmediği, bu durumun ancak %2-4 gibi düşük SGO değerlerinde bozulmaya başladığı görülmüştür.

FHD hesaplanmasında ZDGY'nin sınırlarının belirlenmesi ve yöntemin MASW ile karşılaştırmasının yapılması amacıyla tek modlu ve iki modlu basit sentetik sismogramlar mod toplama tekniği ile üretilmiş ve analizler bu sismogramlar üzerinde gerçekleştirilmiştir. Tek modlu sismogramlar üzerinde gerçekleştirilen analizler sonucunda ortamda tek bir modun seyahat etmesi durumunda ZDGY ile FHD'nin nerdeyse ilgilenilen tüm frekans bandında başarılı bir şekilde elde edildiği görülmüştür. Buna karşılık tek modlu basit sentetiğin MASW ile analiz edilmesi sonucunda elde edilen FHD incelendiğinde, MASW'nin alçak frekans çözünürlüğünün ZDGY'ye göre oldukça zayıf olduğu görülmekte ve çözülebilir en küçük dalga sayısı (k_{min}) sınırının altında hesaplanan FHD'nin güvenilirliği ortadan kalkmaktadır. ZDGY ile hesaplanan faz hızları ise alçak frekans bandında da başarılı bir şekilde elde edilebilmektedir. Buna karşın, ZDGY ile alçak frekans bandında da doğru faz hızları yüksek çözünürlükle elde edilebilmektedir.

Diğer bir analiz aşamasında, FHD analizinde ZDGY'nin dalga alanında çoklu modlar olması durumunda bu modların hızlarını saptayabilme gücünü test etmek amacıyla oluşturulan iki modlu sentetik sismogramlar analiz edilmiştir. İlk alıcı uzaklığının ZDGY ile elde edilen sonuç dispersiyon eğrileri ve mod ayrımlılığı üzerindeki etkisini incelemek için farklı uzaklık aralığındaki beşli alıcı gruplarına ait sismogramlar ZDGY ile incelenmiş, buna karşılık MASW Yöntemi'nin serim uzunluğuna bağlı alçak frekans çözünürlüğünü test etmek amacıyla yine farklı serim uzunlukları için hesaplanan sismogramlar MASW ile değerlendirilmiştir.

MASW ile 100-250m aralığındaki alıcı hattından elde edilen FHD incelendiğinde, 3 Hz'ten alçak frekanslarda mod ayrımlılığının yok olduğu ve hesaplanan temel moda ait FHD'nin standart sapmasının oldukça yüksek olduğu gözlenmiştir.

ZDGY ile 242-250 m aralığındaki beş alıcıdan elde edilen, temel moda ait FHD'nin alçak frekans çözünürlüğünün oldukça yüksek olduğu, ancak yüksek frekans bandında (5-20 Hz) mod ayrırlılığının iyi gelişmediği gözlenmiştir. 6-10 Hz aralığında ZDGY ile hesaplanan FHD'de gerçekleşen saçılmanın nedeni bu frekans aralığında iki moda ait grup hızlarının birbirine çok yaklaşması ve modların zamanda ayrırlılığının ortadan kalkmasıdır. Sonuç olarak 242-250 m aralığındaki alıcılardan elde edilen FHD sonuçlarından ZDGY'nin mod ayrırlılığının bu mesafede iyi olmadığı, ancak neredeyse tüm frekans bandında temel moda ait faz hızlarının çözülebildiği görülmüştür.

MASW analizi için kullanılan alıcı hattı uzunluğunun 100-500 m ve 100-750 m'ye uzatılması ile yöntemin alçak frekanstaki çözünürlüğü artmaktadır ancak MASW ile en iyi FHD sonuçları en uzun alıcı hattı olan 100-1000m hattının analizin edilmesi ile elde edilmiş ve artan açılımla birlikte alçak frekans çözünürlüğünün yaklaşık 1.9 Hz'e kadar sağlandığı görülmüştür. ZDGY'de ilk alıcı uzaklığının arttırılmasıyla mod ayrırlılığının da arttığı ve her iki moda ait faz hızlarının hesaplanabildiği görülmüştür. ZDGY ile en iyi mod ayrırlılığının 992-1000 m alıcı aralığında elde edildiği ve bu uzak mesafede her iki moda ait FHD'nin, modların grup hızlarının birbirine çok yaklaştığı 8.22-8.76 Hz aralığı haricinde tüm frekans bandında sağlandığı gözlenmiştir.

ZDGY'nin farklı modları ayırma gücü, analiz edilen sinyali süzmek için kullanılan Gauss Filtresi ile de ilişkili olduğundan yakın mesafelerde gerçekleşen mod girişiminin kullanılan filtrenin başarısını nasıl etkilediği incelenmiştir. Alıcı mesafesinin mod ayrırlılığına etkisini görmek amacıyla iki modlu sentetik için 242-250 m ve 992-1000m alıcı aralıklarında, modların grup hızlarının birbirine çok yakın seyrettiği 6 Hz frekansında süzülen sinyaller ZDGY ile analiz edilmiştir. 6 Hz frekansında yaklaşık 250 m gibi yakın bir mesafede mod girişi gerçekleşmektedir. Bu nedenle kullanılan Gauss filtresi iki modu ayıramamakta ve hesaplanan FHD, her iki modun faz hızlarını içermekte ancak iki modun faz hızını da tam olarak temsil etmemektedir. 1000m uzaklıkta ise artan mesafe ile birlikte, modların grup hızları birbirine çok yakın olmasına rağmen mod varışlarının zamanda yeterince ayrımlandığı görülmüş ve bu mesafede ZDGY ile her iki moda ait FHD doğru bir şekilde hesaplanabilmiştir.

DS ve SF yöntemleri kullanılarak üretilen gerçekçi sentetik sismogramlar üzerinde gerçekleştirilen MASW ve ZDGY analizleri sonucunda, ZDGY ile hesaplanan FHD'nin alçak frekans çözünürlüğünün MASW'ye göre çok daha yüksek olduğu ancak yüzey dalgası modlarına ait grup hızlarının yakın seyrettiği yüksek frekanslarda mod girişi sonucunda ZDGY'nin modların faz hızlarını ayırma konusunda zorlandığı ya da yalnızca temel moda ait faz hızlarını çözebildiği görülmüştür.

Son olarak, seçilen bir sahada toplanan atış kayıtları ZDGY ve MASW ile analiz edilerek elde edilen sonuçlar birbiriyle ve aynı sahada daha önce gerçekleştirilmiş olan bir çalışmanın sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Gerçek atış kayıtları üzerinde gerçekleştirilen ZDGY ve MASW analizlerinde 6-20 Hz aralığında birbiriyle uyumlu FHD sonuçları elde edilmiştir. 6 Hz'ün altında FHD'nin elde edilememesi, kullanılan kaynağın alçak frekans bandında sinyal üretememesi ve atış kaydında 4.5 Hz'lik alıcıların kullanılması ile ilişkilidir. Alçak frekansta (6-10 Hz) ZDGY'nin faz hızı çözünürlüğü MASW'ye göre daha yüksektir. Her iki yöntemle hesaplanan FHD'ler aynı sahada daha önce gerçekleştirilen çalışmada hesaplanan 1. yüksek moda ait FHD ile de uyumludur. Dalga alanında yüzey dalgasının temel moduna ait enerjilerin ürememesi ya da 1. yüksek mod enerjisinin baskın olması nedeniyle kullanılan iki yöntemle de temel moda ait faz hızları elde edilememiştir. Sonuç olarak, gerçek atış verisi üzerinde gerçekleştirilen karşılaştırmalı analizlerde ZDGY'nin alçak frekansta MASW'ye göre daha yüksek çözünürlüklü FHD sağladığı görülmüştür.

Sentetik ve gerçek veri setleri üzerinde gerçekleştirilen uygulamalardan elde edilen sonuçlara dayanarak, dalga alanına ait uzaysal gradyanın analiz edilmesinin tek modlu yüzey dalgası yayını için dispersiyon analizinde alternatif ve pratik yeni bir yöntem olarak kullanılabileceği görülmüştür. Bununla beraber, çok modlu dalga yayını içerebilecek daha gerçekçi uygulamalar için DGY, alçak frekans bandındaki yüksek çözünürlük gücü ile, yüzey dalgası dispersiyon analizinde MASW'yi tamamlayıcı bir yöntem olarak kullanılabilir.

KAYNAKLAR

- Acarel D.**, 2003: Mühendislik Sismolojisiinde Yüzey Dalgası Yöntemleri, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Aki K.**, 1957: Space and time spectra of stationary stochastic waves, with special reference to microtremors, *Bull. Earthquake Res. Inst. Tokyo Univ.*, **35**, 415-456.
- Al-Husseini, M.I., Glover, J. B., and Barley, B. J.**, 1981: Dispersion patterns of ground roll ineastern Saudi Arabia, *Geophysics*, **46**, 121-137.
- Bhattacharya, S. N.**, 1983: Higher order accuracy in multiple filter technique, *Bull. Seism. Soc. Am.*, **73**, 1395-1406.
- Birtill, J. W., and Whiteway F. E.**, 1965: The application of phased arrays to analysis of seismic body waves, *Philos. Trans. R. Soc. London, Ser. A*, **258**, 421-493.
- Bodin, P., Gomberg J., Singh S. K., and Santoyo M.**, 1997: Dynamic deformations of shallow sediments in the Valley of Mexico, part I: Three-dimensional strains and rotations recorded on a seismic array, *Bull. Seism. Soc. Am.*, **87**, 528-539.
- Bozdağ, E., and Kocaoğlu, A.H.**, 2005: Estimation of site amplifications from shear-wave velocity profiles in Yesilyurt and Avcılar, İstanbul, by frequency-wavenumber analysis of microtremors, *J. Seismol.*, **9**, 87-98.
- Burden, L. R., and Faires, J. D.**, 1989: *Numerical Analysis*, 4th ed., PWS-KENT, Boston, 0-53491-585-X.
- Capon, J.**, 1969: "High-resolution frequency-wavenumber spectrum analysis". *Proc. IEEE*, **57**, 1408-1418.
- Clayton, C. R. I.**, 1995: The Standard Penetration Test (STP) - Methods and Use: R143 (Report), Construction Industry Research & Information Association (CIRIA), London, 9780860174196.
- Dobrin, M. B., and Savit, C. H.**, 1988: *Introduction to Geophysical Prospecting*, 4th ed., McGraw-Hill Book Co., New York, 0070171963.
- Dziewonski, A., Bloch, S., and Landisman, M.**, 1969: A technique for analysis of transient seismic signals, *Bull. Seism. Soc. Am.*, **59**, 427444.
- Dziewonski, A., Mills, J., and Bloch, S.**, 1972: Residual dispersion measurement-a new method of surface-wave analysis, *Bull. Seism. Soc. Am.*, **62**, 129-139.
- Ergin, M., Özalaybey, S., Aktar, M., and Yalçın, M. N.**, 2004: Site amplification at Avcılar, İstanbul, *Tectonophys*, **391**, 335-346.

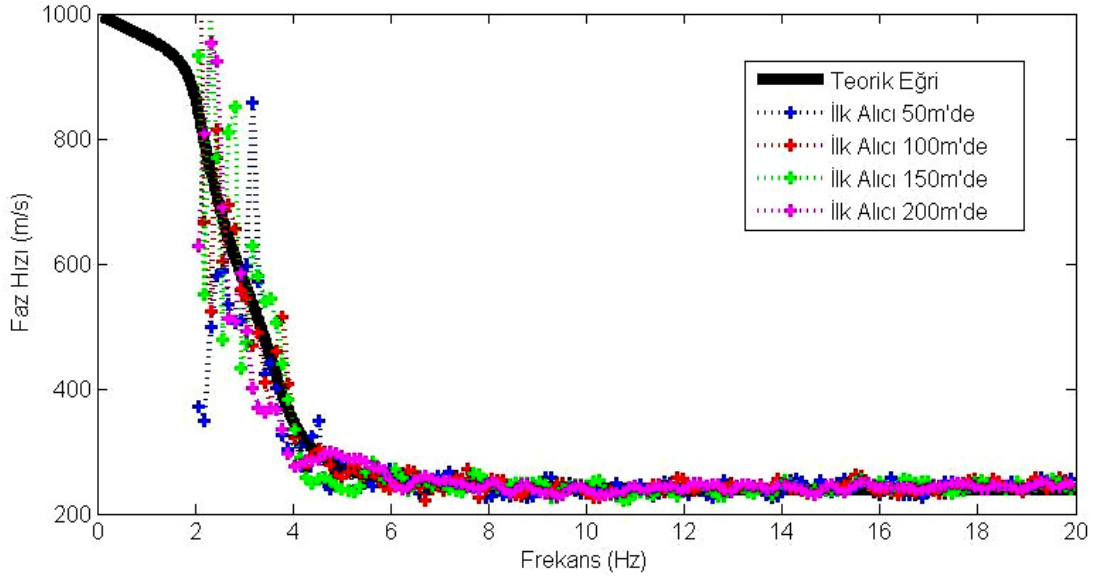
- Field, E.H. & the SCEC Phase III Working Group**, 2000: Accounting for site effects in probabilistic seismic hazard analyses of southern California: overview of the SCEC phase III report, *Bull. Seism. Soc. Am.*, **90(6B)**, 1–31.
- Frankel, A.**, 1993: Three-dimensional simulations of ground motions in the San Bernardino Valley, California, for hypothetical earthquakes in the San Andreas Fault, *Bull. Seism. Soc. Am.*, **83**, 1020–1041.
- Gabriels, P., Snieder, R., and Nolet, G.**, 1987: In situ measurements of shear-wave velocity in sediments with higher-mode Rayleigh waves, *Geophysical Prospecting*, **35**, 187–196.
- Herrmann, R. B.**, 1973: Some aspects of band-pass filtering of surface waves: *Bull. Seism. Soc. Am.*, **63**, 663–671.
- Herrmann, B., and C. J. Ammon**, 2004: Computer Programs in Seismology, Surface Waves, Receiver Functions, and Crustal Structure, Version 3.30.
- Joyner, W.B.**, 2000: Strong motion from surface waves in deep sedimentary basins, *Bull. Seism. Soc. Am.*, **90(6B)**, 95–112.
- Knopoff, L., Muller S., and Pilant W. L.**, 1966: Structure of the crust and upper mantle in the Alps from the phase velocity of Rayleigh waves, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, **56**, 1009–1044.
- Langston, C. A., and Hammer, J. K.**, 2001: The vertical component P-wave receiver function, *Bull. Seism. Soc. Am.*, **91**, 1805–1819.
- Langston, C. A.**, 2007a: Spatial gradient analysis for linear seismic arrays, *Bull. Seism. Soc. Am.*, **97**, 265–280.
- Langston, C. A.**, 2007c: Wave gradiometry in the time domain, *Bull. Seism. Soc. Am.*, **97**, 926–933.
- Langston, C. A.**, 2007b: Wave gradiometry in two dimensions, *Bull. Seism. Soc. Am.*, **97**, 401–416.
- Larsen, S. and C.A. Schultz**, 1995: ELAS3D: 2D/3D elastic finite-difference wave propagation code, *Lawrence Livermore National Laboratory Technical Report No. UCRL-MA-121792*, 19 pp.
- Liang, C., and Langston C. A.**, 2009: Wave gradiometry for USArray: Rayleigh waves, *J. Geophys. Res.*, **114**, B02308.
- Louie, J. N.**, 2001: Faster, Better: Shear-Wave Velocity to 100 Meters Depth from Refraction Microtremor Arrays, *Bull. Seism. Soc. Am.*, **91**, 347–364.
- Lunne, T., Robertson, P.K., and Powell, J. J. M.**, 1997: *Cone Penetration Testing in Geotechnical Practice*, 1st ed., Taylor & Francis, London, 978-041923750.
- McMechan, G. A., and Yedlin, M. J.**, 1981: Analysis of dispersive waves by wave field Transformation, *Geophysics*, **46**, 869–874.

- Nazarian, S., Stokoe II, K.H., Briggs, R.C., and Rogers, R.,** 1987: Determination of pavement layer thicknesses and moduli by SASW method, *Transportation Research Record*, **1196**, 133-150.
- Okada, H.,** 2003: The microseismic survey method: society of exploration geophysicists of Japan, Translated by Koya Suto, *SEG Geophys. Monogr. Series*, 12.
- Özalaybey ve diğ.,** 2008: Kocaeli İli İçin Zemin Sınıflaması ve Sismik Tehlike Değerlendirme Projesi Sonuç Raporu.
- Özel, O., Cranswick, E., Meremonte, M., Erdik, M., and Safak, E.,** 2002: Site effects in Avcılar, west of Istanbul, Turkey from strong and weak motion data, *Bull. Seism. Soc. Am.*, **92**(1), 499–508.
- Park, C.B., Xia, J., and Miller, R. D.,** 1998: Imaging dispersion curves of surface waves on multi-channel record; *SEG Expanded Abstracts*, 1377-1380.
- Park, C.B., Miller, R.D., and Xia, J.,** 1999: Multichannel analysis of surface waves (MASW), *Geophysics*, **64**, 800-808.
- Park, C.B., Miller, R.D., Ryden, N., Xia, J., and Ivanov, J.,** 2005: Combined use of active and passive surface waves: *Journal of Engineering and Environmental Geophysics (JEEG)*, **10**, (3), 323-334.
- Rost, S., and Thomas T.,** 2002: Array seismology; methods and applications, *Rev. Geophys.*, **40**(3), 1008.
- Satoh, T., Kawase, H., Iwata, T., Higashi, S., Sato, T., Irikura, K., and Huang, H.,** 2001b: S-wave velocity structure of the Taichung basin, Taiwan, estimated from array and single station records of microtremors, *Bull. Seism. Soc. Am.*, **91**(5), 1267–1282.
- Stephenson, W. J., Louie J. N., Pullammanappallil S., Williams, R. A., and Odum, J., K.,** 2005: Blind shear-wave velocity comparison of ReMİ and MASW results with boreholes to 200m in Santa Clara Valley: implications for earthquake ground-motion assessment, *Bull. Seism. Soc. Am.*, **95**, 2506-2516.
- Stokoe, II, K.H., Wright, G.W., James, A.B. and Jose, M.R.,** 1994: Characterization of geotechnical sites by SASW method, in *Geophysical Characterization of Sites*, ISSMFE Technical Committee #10, Woods, R.D. (ed.), Oxford Publishers, New Delhi.
- Url-1** <<http://www.geopsy.org>>, alındığı tarih 14.02.2011.
- Url-2** <<http://www.masw.com>>, alındığı tarih 17.02.2011.
- Url-3** <<http://www.geometrics.com>>, alındığı tarih 20.04.2011.
- Wills, C.J., Petersen, M., Bryant, W.A., Reichle, M., Saucedo, G.J., Tan, S., Taylor, G., and Treiman, J.,** 2000: A site-conditions map for California based on geology and shear-wave velocity, *Bull. Seism. Soc. Am.*, **90**(6B), 187–208.
- Yao, H., Van der Hilst R. D., and De Hoop M. V.,** 2006: Surface-wave array tomography in SE Tibet from ambient seismic noise and two-station analysis – I. Phase velocity maps, *Geophys. J. Int.*, **166**, 732–744.

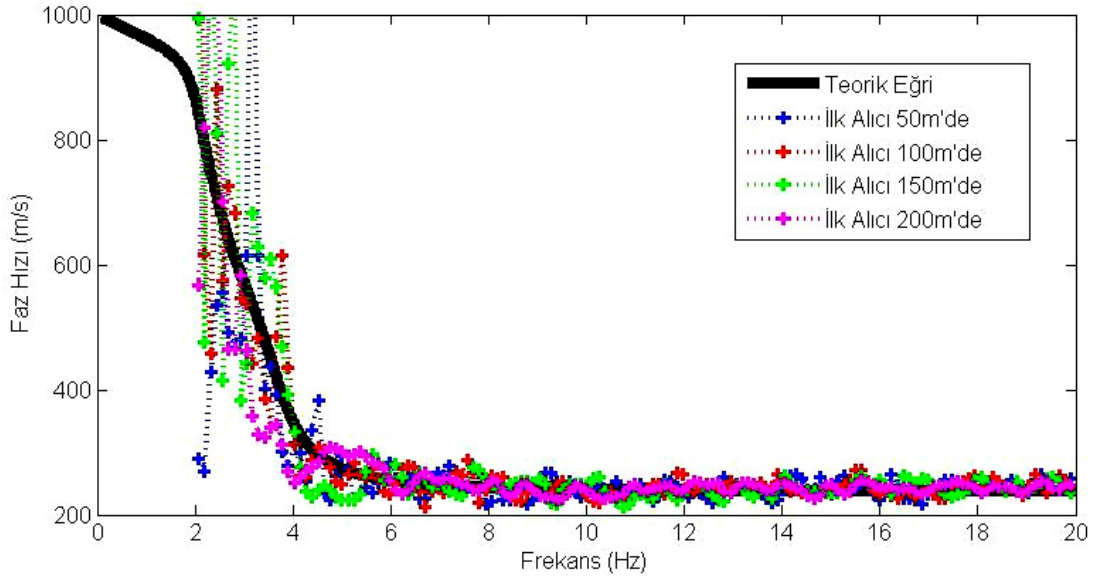
Zor, E., Özalaybey, S., Karaaslan, A., Tapırdamaz, M.C., Özalaybey, S. Ç., Tarancıoğlu, A., Erkan, B., 2010: Shear-wave velocity structure of the İzmit Bay area (Turkey) estimated from active-passive array surface wave and single-station microtremor methods, *Geophys. J. Int.*, **182**, 1603–1618.

EKLER

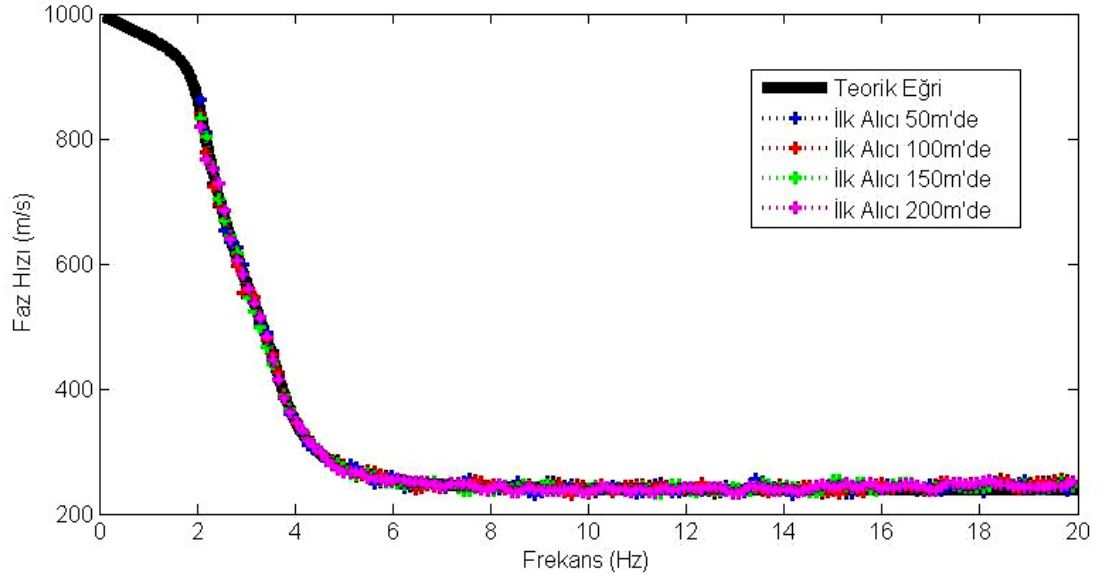
EK A : Farklı Gürültü İçeriği İçin Elde Edilen FHD Eğrileri, Ortalama Eğriler ve Standart Sapmaları



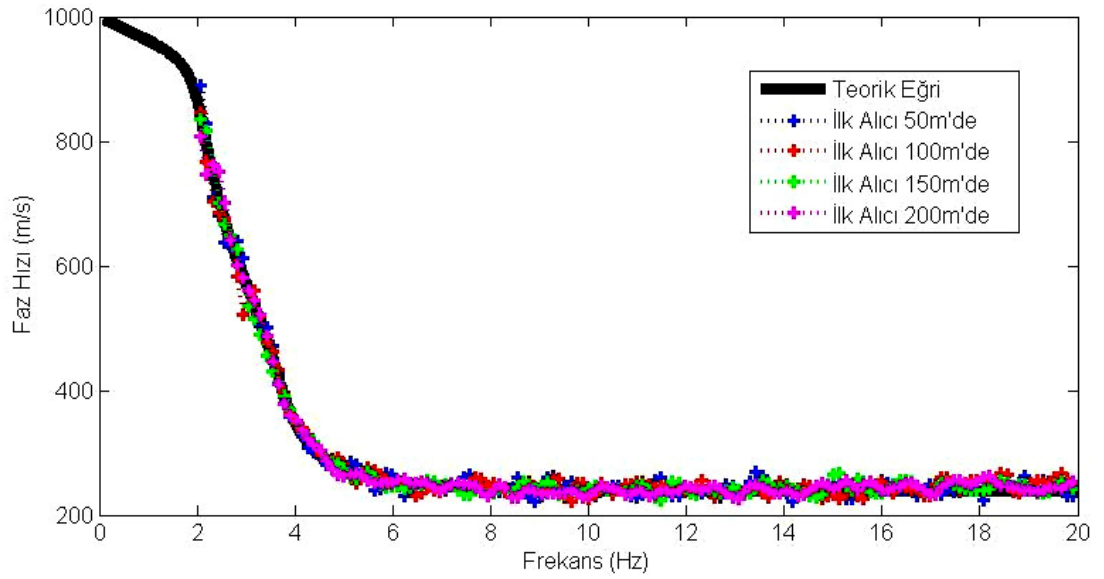
Şekil A.1 : %10 oranında ilişkisiz beyaz gürültü için farklı ilk alıcı uzaklıklarından hesaplanan FHD eğrileri (renkli eğriler) ve Teorik Dispersiyon Eğrisi (siyah).



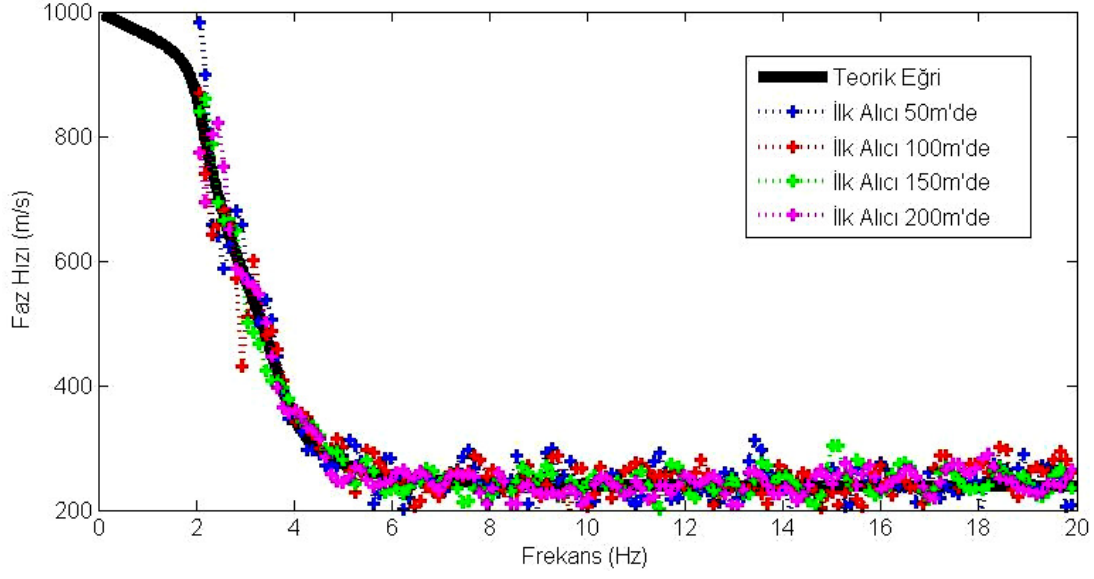
Şekil A.2 : %15 oranında ilişkisiz beyaz gürültü için farklı ilk alıcı uzaklıklarından hesaplanan FHD eğrileri (renkli eğriler) ve Teorik Dispersiyon Eğrisi (siyah).



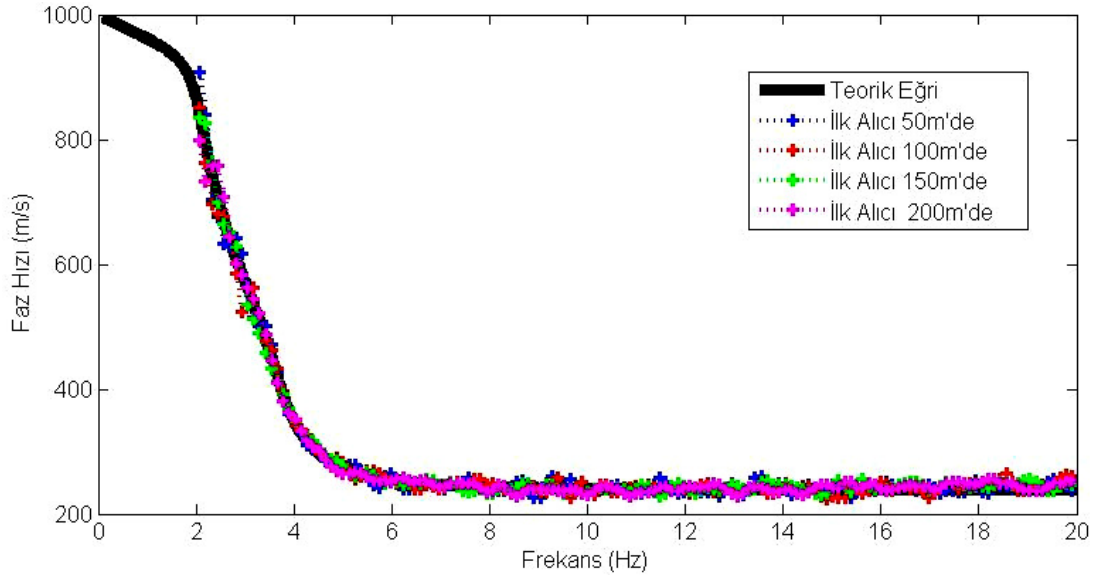
Şekil A.3 : %10 oranında aynı gürültü için farklı ilk alıcı uzaklıklarından hesaplanan FHD eğrileri (renkli eğriler) ve Teorik Dispersiyon Eğrisi (siyah).



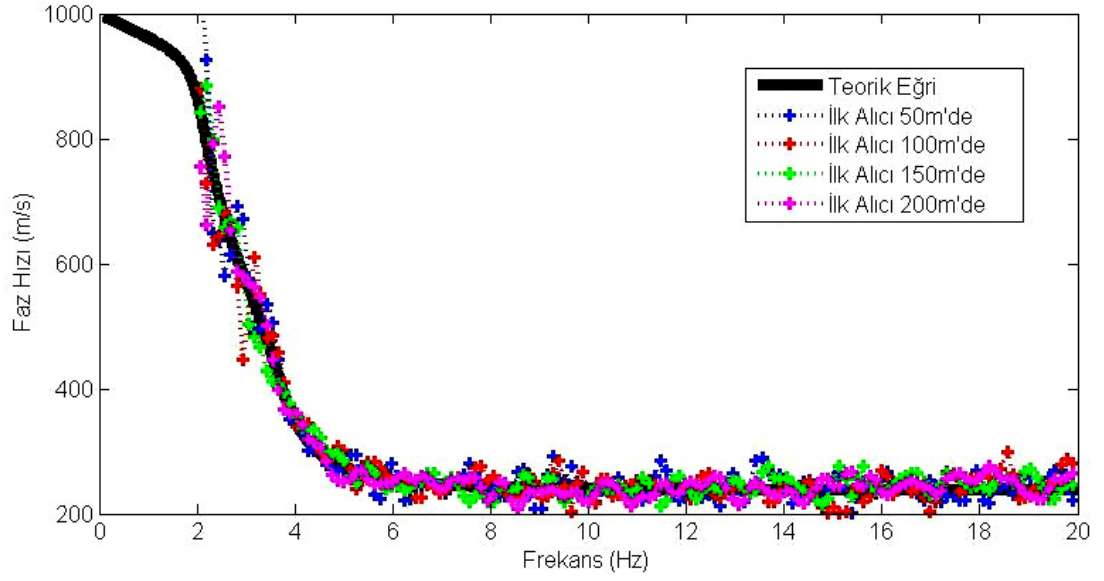
Şekil A.4 : %20 oranında aynı gürültü için farklı ilk alıcı uzaklıklarından hesaplanan FHD eğrileri (renkli eğriler) ve Teorik Dispersiyon Eğrisi (siyah).



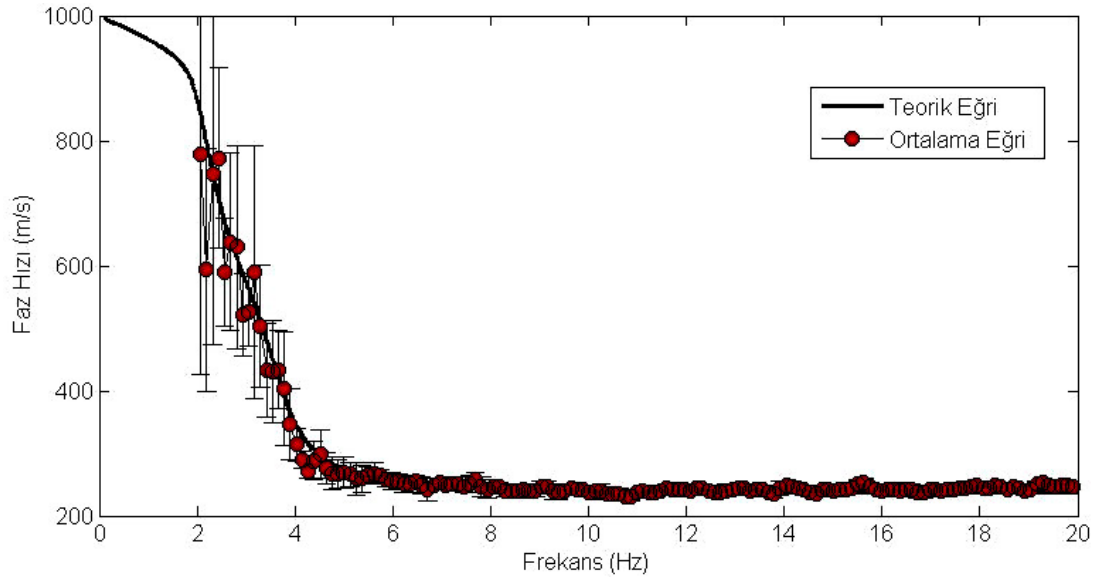
Şekil A.5 : %50 oranında aynı gürültü için farklı ilk alıcı uzaklıklarından hesaplanan FHD eğrileri (renkli eğriler) ve Teorik Dispersiyon Eğrisi (siyah).



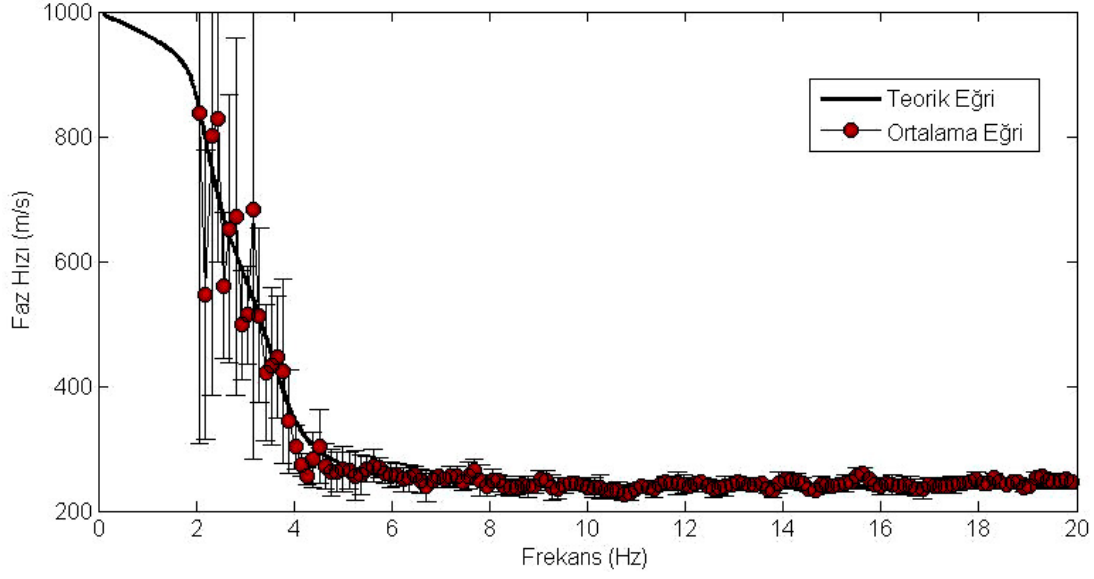
Şekil A.6 : %10 oranında yüksek ilişkili gürültü için farklı ilk alıcı uzaklıklarından hesaplanan FHD eğrileri (renkli eğriler) ve Teorik Dispersiyon Eğrisi (siyah).



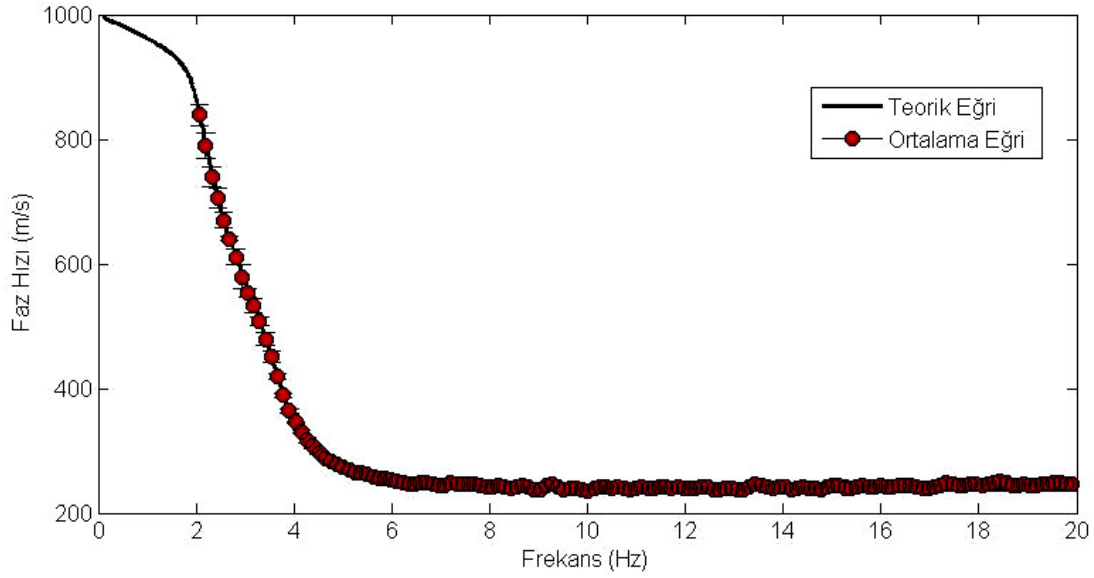
Şekil A.7 : %25 oranında yüksek ilişkili gürültü için farklı ilk alıcı uzaklıklarından hesaplanan FHD eğrileri (renkli eğriler) ve Teorik Dispersiyon Eğrisi (siyah).



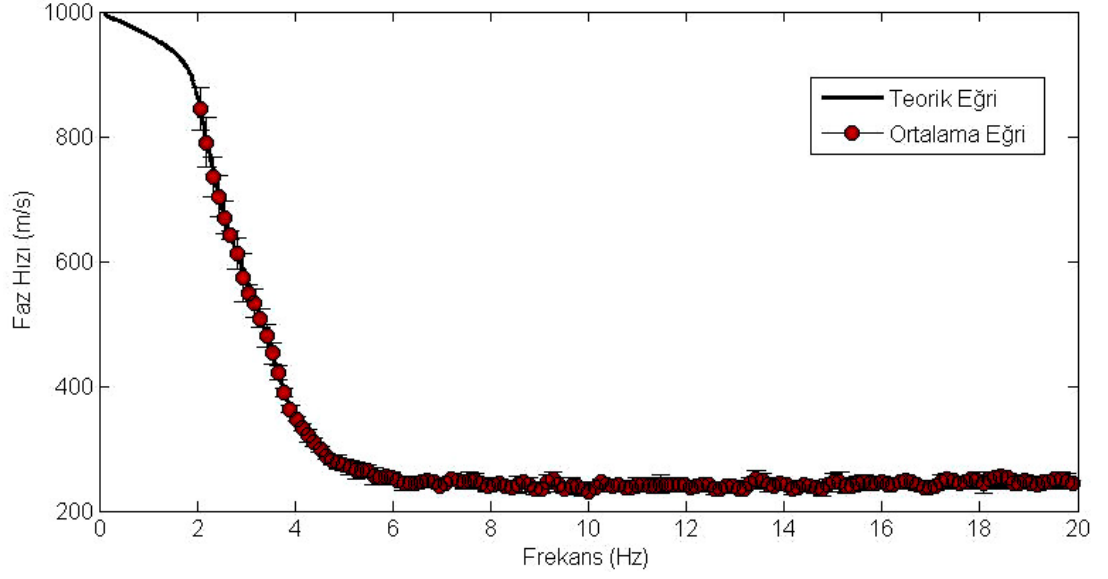
Şekil A.8 : %10 oranında ilişkisiz gürültü için hesaplanan Ortalama eğri (kırmızı daireler), Standart Sapması (siyah dikey çubuklar) ve Teorik Dispersiyon Eğrisi (siyah kalın eğri).



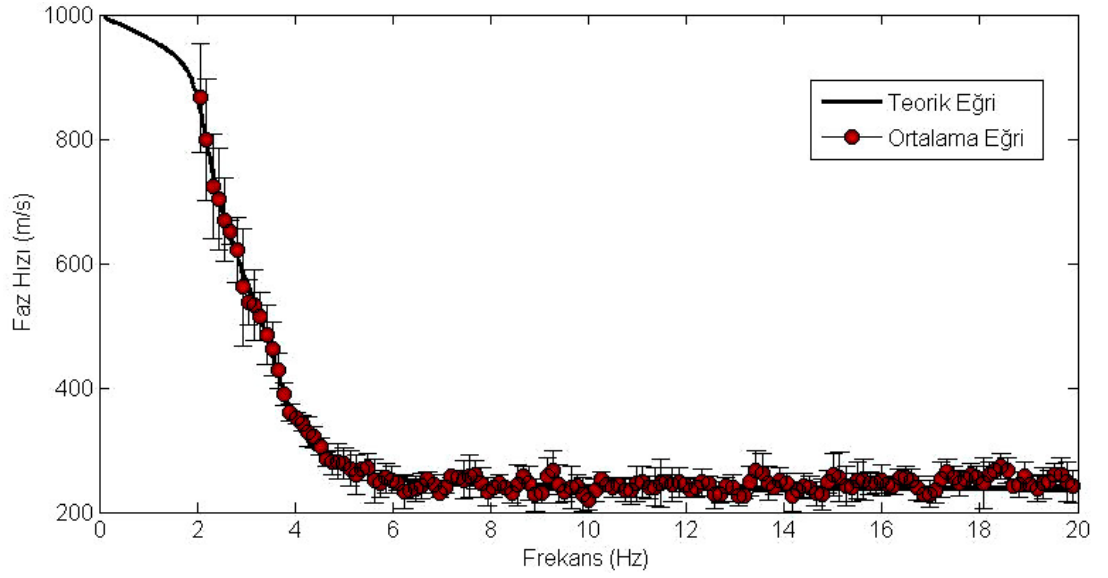
Şekil A.9 : %15 oranında ilişkisiz gürültü için hesaplanan Ortalama eğri (kırmızı daireler), Standart Sapması (siyah dikey çubuklar) ve Teorik Dispersiyon Eğrisi (siyah kalın eğri).



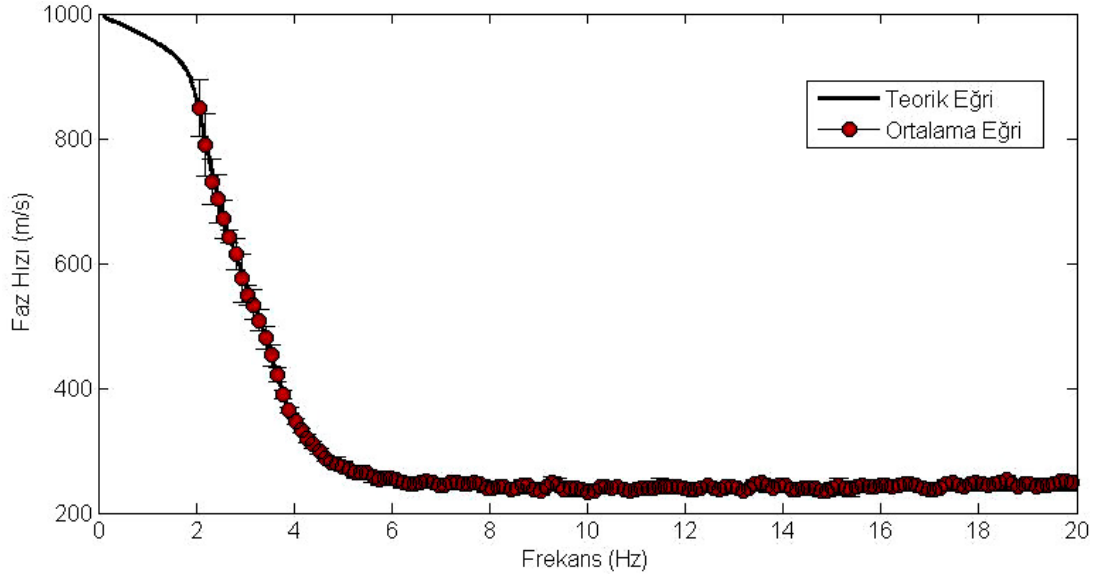
Şekil A.10 : %10 oranında aynı beyaz gürültü için hesaplanan Ortalama eğri (kırmızı daireler), Standart Sapması (siyah dikey çubuklar) ve Teorik Dispersiyon Eğrisi (siyah kalın eğri).



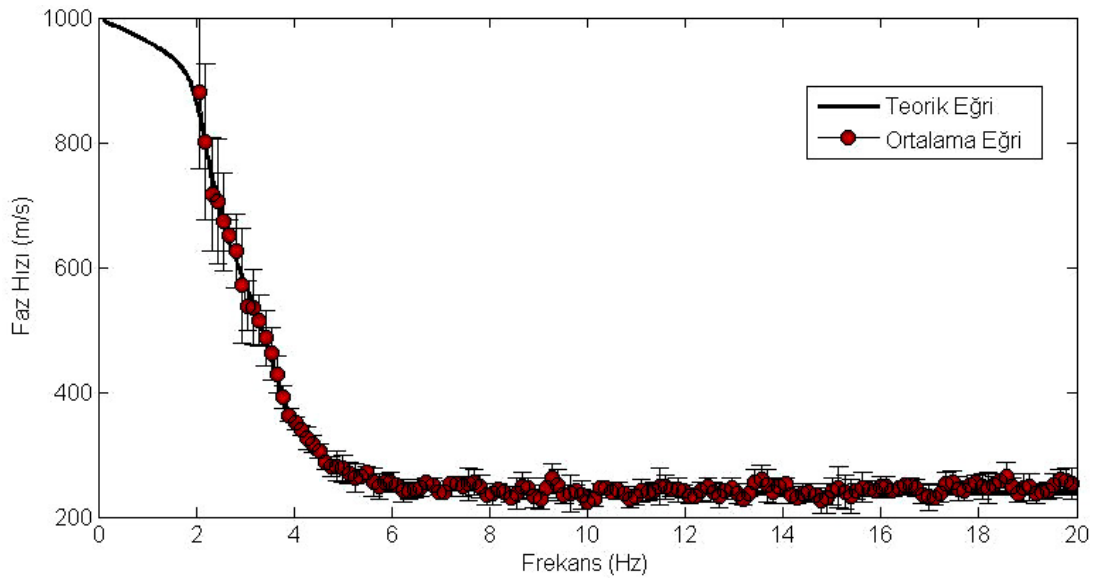
Şekil A.11 : %20 oranında aynı beyaz gürültü için hesaplanan Ortalama eğri (kırmızı daireler), Standart Sapması (siyah dikey çubuklar) ve Teorik Dispersiyon Eğrisi (siyah kalın eğri).



Şekil A.12 : %50 oranında aynı beyaz gürültü için hesaplanan Ortalama eğri (kırmızı daireler), Standart Sapması (siyah dikey çubuklar) ve Teorik Dispersiyon Eğrisi (siyah kalın eğri).



Şekil A.13 : %10 oranında yüksek ilişkili gürültü için hesaplanan Ortalama eğri (kırmızı daireler), Standart Sapması (siyah dikey çubuklar) ve Teorik Dispersiyon Eğrisi (siyah kalın eğri).



Şekil A.14 : %25 oranında yüksek ilişkili gürültü için hesaplanan Ortalama eğri (kırmızı daireler), Standart Sapması (siyah dikey çubuklar) ve Teorik Dispersiyon Eğrisi (siyah kalın eğri).

ÖZGEÇMİŞ

1984 yılında İzmit/Kocaeli’de doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Kocaeli’de tamamladı. 2002 yılında Kocaeli Anadolu Lisesi’nden mezun olduktan sonra, 2003 yılında Kocaeli Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü’nü kazandı. 2007 yılının Haziran ayında Kocaeli Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü’nden Bölüm ve Mühendislik Fakültesi 1.’si olarak mezun oldu. Eylül 2008 döneminde İTÜ Jeofizik Mühendisliği Bölümü’nde yüksek öğrenimine başladı. Halen TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi Yer ve Deniz Bilimleri Enstitüsü’nde Araştırmacı olarak çalışmaktadır.

Yayın Listesi:

Zor E., Özalaybey S., Karaaslan A., Tapırdamaz M. C., Özalaybey S. Ç., Tarancıoğlu A., and Erkan B., 2010: Shear wave velocity structure of the İzmit Bay area (Turkey) estimated from active–passive array surface wave and single-station microtremor methods, *Geophysical Journal International*, 182, 1603-1618.