KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

AKDENİZ BÖLGESİ'NDE SİSMİK KIRILMA VE YÜZEY DALGASI METODLARI İLE ZEMİN KOŞULLARININ ARAŞTIRILMASI

SENA İBLİKCİ

KOCAELİ 2019

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

AKDENİZ BÖLGESİ'NDE SİSMİK KIRILMA VE YÜZEY DALGASI METODLARI İLE ZEMİN KOŞULLARININ ARAŞTIRILMASI

SENA İBLİKCİ

Prof. Dr. Cengiz KURTULUŞ
Danışman, Kocaeli Üniv. .....

Doç. Dr. İbrahim SERTÇELİK
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv. .....

Dr.Öğr.Üyesi Ayhan KESKİNSEZER
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv. .....

Tezin Savunulduğu Tarih: 04.07.2019

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasında, Akdeniz Bölgesi'nde yer alan AFAD'a ait kuvvetli yer hareketi istasyonlarında sismik kırılma ve yüzey dalgası metodlarını uygulayarak Akdeniz Bölgesi'nin zemin koşullarını ortaya koymak ve dolayısı ile olası depremlerde oluşabilecek risk tahmini yapmak ve yapılaşmada kullanılacak zemin parametrelerini ortaya çıkarmaktadır.

Lisans, yüksek lisans eğitimim boyunca ve tez çalışmamda bana her zaman yol gösteren, güvenen ve yanımda olan danışmanım değerli hocam Prof. Dr. Cengiz KURTULUŞ'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Kocaeli Üniversitesi yüksek lisans eğitimim boyunca beni destekleyen, yardımcı olan Prof. Dr. Fadime SERTÇELİK, Doç. Dr. Tekin YEKEN, Dr. Öğr. Üyesi Metin AŞÇI hocalarıma teşekkür ederim.

Tez çalışmamın temelini oluşturan projeyi destekleyen Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD)'a teşekkür ederim.

Hayatım boyunca yanımda olan, bana her zaman güvenen, beni yalnız bırakmayan ve desteklerini esirgemeyen biricik ailem, Cevdet İBLİKCİ, Fadime İBLİKCİ ve Koray İBLİKCİ'ye şükranlarımı sunarım.

Mayıs – 2019 Sena İBLİKCİ

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR i
İÇİNDEKİLER ii
ŞEKİLLER DİZİNİ iv
TABLOLAR DİZİNİ vi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ vii
ÖZET ix
ABSTRACT x
GİRİŞ 1
1. GENEL BİLGİLER 3
1.1. Sismik Dalgalar 3
1.1.1. Cisim dalgaları 3
1.1.1.1. P – dalgaları 3
1.1.1.2. S – dalgaları 4
1.1.2. Yüzey dalgaları 5
1.1.2.1. Love – dalgaları 5
1.1.2.2. Rayleigh – dalgaları 6
1.1.3. Rayleigh dalgası ile S - dalgası ilişkisi 6
1.1.4. Yüzey dalgalarında dispersiyon 8
1.1.5. Faz ve grup hızı 9
1.1.6. Yüzey dalgalarında yayınım özellikleri 11
1.2. Yüzey Dalgası Yöntemleri 13
1.2.1. Yüzey dalgalarının spektral analiz yöntemi (SASW) 16
1.2.2. Yüzey dalgalarının çok kanallı analizi yöntemi (MASW) 17
1.2.2.1. MASW yönteminde veri toplama ve parametreleri 19
1.2.2.2. Alıcı, alıcı aralığı (Δx) ve ilk alıcı uzaklığı / kaynak ofseti X_0 21
1.2.2.3. Zaman örnekleme aralığı (ΔT) ve kayıt süresi (T) 23
1.2.2.4. MASW yönteminde veri işlem 24
1.2.2.5. MASW yönteminde ters çözüm 27
1.2.3. ReMi yöntemi 31
1.2.4. Mikrotremor yöntemi 33
1.2.4.1. Işın parametresi - kesme zamanı (p,τ) dönüşümü 34
2. ARAZİ UYGULAMASI 36
2.1. Bölgenin Jeoloji ve Tektonik Yapısı 36
2.2. Veri Toplama ve Analizi 37
2.2.1. Çok kanallı yüzey dalgaları analizi (MASW) çalışması 38
2.2.2. Mikrotitreşim (ReMi) çalışması 40
2.2.3. Mikrotremor çalışması 42
3. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 47
3.1. Araştırma Alanı İçin Saha Sınıflandırması 47
3.2. Akdeniz Bölgesi'nin Alan Amplifikasyon Özellikleri 53
3.3. Tartışma Sonuç ve Öneriler 53

KAYNAKLAR 55
EKLER 61
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER 125
ÖZGEÇMİŞ 126

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. P-dalgası yayınımı 4
Şekil 1.2. S-dalgası yayınımı 5
Şekil 1.3. Love dalgası yayınımı 6
Şekil 1.4. Rayleigh dalgası yayınımı 6
Şekil 1.5. Poisson oranının bir fonksiyonu olarak Rayleigh dalga hızının kayma dalga hızına oranı 7
Şekil 1.6. Yüzey dalgalarında normal dispersiyon davranışı 9
Şekil 1.7. Yüzey dalgalarında ters dispersiyon davranışı 9
Şekil 1.8. Yüzey dalgalarında grup hızı ve faz hızı 9
Şekil 1.9. Değişik frekanslı iki dalga tarafından oluşturulan basit bir dalga grubu 10
Şekil 1.10. İki tabakalı yarı sonsuz ortam modeli (ρ = yoğunluk, μ = rijidite) 12
Şekil 1.11. Yoğunluk (ρ), kalınlık (h), sıkışma dalga hızı (Vs), kayma dalga hızı (VP) parametreleri ile tabakalı bir yer modeli 14
Şekil 1.12. Uygulama sonucu elde edilen frekans hız ilişkisi 15
Şekil 1.13. Aktif kaynaklı ve pasif kaynaklı yüzey dalgaları yönteminden elde edilen dispersiyon eğrisi 15
Şekil 1.14. SASW testi şematik gösterimi 16
Şekil 1.15. MASW yönteminin arazi aşaması 18
Şekil 1.16. Kaynak alıcı şeklinin tanımı (dC: iki kaynak arasındaki mesafe; X1:ofset uzaklığı; dx: alıcılar arasındaki mesafe; XT: açılan alıcıların toplam uzunluğu) 18
Şekil 1.17. Aktif kaynak ile alınan kayıt analizi 19
Şekil 1.18. Kaynak-alıcı parametreleri ve yer modelinin gösterimi 20
Şekil 1.19. Kaynak ve alıcı çeşitleri 22
Şekil 1.20. F-k dönüşümü ile dispersiyon eğrisinin elde edilmesi 25
Şekil 1.21. Eğimli yığma dönüşümü ile frekans-faz hız eğrisinin elde edilmesi 25
Şekil 1.22. Faz kayma tekniği ile dispersiyon eğrisinin elde edilmesi 26
Şekil 1.23. Çevresel gürültü içeren MASW verisi ve etkileri 26
Şekil 1.24. S/G oranını iyileştirmek için band geçişli süzgeçlemeve gauss penceresi kullanılarak pencereleme işlemlerinin uygulanması 27
Şekil 1.25. Kaba bir yaklaşımla ters çözüm işlemi 28
Şekil 1.26. Dispersiyon eğrisinin modelleme aşamaları 28
Şekil 1.27. Hızın derinlikle arttığı bir yer modeli dispersiyon ve MASW atış verisi modellemesi 29
Şekil 1.28. Farklı yer modelleri için elde edilen MASW veri modellemesi 29
Şekil 1.29. Yumuşak (softness) ara tabaka olma durumunda dispersiyon eğri modellemesi 30
Şekil 1.30. Sert ara (stiffness) tabaka olma durumunda dispersiyon eğri modellemesi 31
Şekil 1.31. ReMi yönteminde veri toplanırken kullanılan doğrusal ve alansal dizilimler 32

Şekil 1.32. Örnek bir ReMi kaydı 33
Şekil 1.33. a) x-t ortamındaki veri ve b) p −τ dönüşümü uygulandıktan sonra elde edilen görüntü 35
Şekil 2.1. Çalışma alanının yeri üçgenler ölçüm istasyonların belirtmektedir 36
Şekil 2.2. Akdeniz Bölgesi'nin jeolojik haritası 37
Şekil 2.3. 48 kanallı doğrusal alıcı ile MASW veri toplama şeması 38
Şekil 2.4. Ölçü alınan alan ve kullanılan bilgisayar 39
Şekil 2.5. a) Kırmızı çizgi ile gösterilen, 0117 no'lu istasyonda toplanmış olan, ilk varış zamanlarının seçilmesi ile oluşturulmuş sismik kırılma kayıtları, b) Orta nokta vuruşunun hareket zaman eğrileri, c) P dalgası hız-derinlik modeli 39
Şekil 2.6. a) 0117 kodlu istasyondaki kırılma ve yansıyan dalgalardan ayrılmış atış kaydı, b) yüzey dalgalarının MASW dağılım spektrumu. MASW, S dalgası derinliği profili (mavi) ve modellenmiş dağılım eğrisi (siyah), c) Vs derinliği profili ve modellenmiş dağılım eğrisi 40
Şekil 2.7. a) 0117 kodlu istasyondaki ReMi verileri, b) sismik kayıtta mevcut yüzey dalgalarının düz dalga bileşenlerinin ayrılmasıyla hesaplanan dağılım spektrumu, c) S dalgası hız-derinlik profili (mavi) ve modellenmiş dağılım eğrisi (siyah). Dikey eksen S dalgası hızını ve yatay eksen dağılım eğrisinin frekansını gösterir 41
Şekil 2.8. GÜRALP CMG 6TD üç bileşen geniş band hız ölçer ve ölçü düzeneği 42
Şekil 2.9. İstasyon noktasının 3 bileşen mikrotremor kaydı 42
Şekil 2.10. Çalışmada alınan mikrotremor verilerinin tıraşlanmış ve filtrelenmiş gösterimi 43
Şekil 2.11. Mikrotremor verisinin tıraşlanmış, filtrelenmiş ve 25 saniyelik pencerelenmiş hali 44
Şekil 2.12. a) Filtrelenmiş zaman sinyal dizisi, b) 3 bileşenli mikrotremorün genlik spektrumları, tepe noktası ve c) H/V amplitude spektrumlarını verir. Kesik çizgiler, standart genlik sapmalarını gösterir ve iki dikey gri alan, en yüksek frekans standart sapma alanlarını gösterir 44
Şekil 3.1. S-dalgası, VS30, Akdeniz bölgesindeki dağılım 50
Şekil 3.2. Akdeniz Bölgesi'nin Nehrp sınıflandırması 51
Şekil 3.3. Akdeniz Bölgesi'nin Eurocode-8 sınıflandırması 51
Şekil 3.4. Akdeniz Bölgesi'nin TBDY sınıflandırması 52
Şekil 3.5. Akdeniz Bölgesi'nin Rodrigez ve Marez sınıflandırması 52
Şekil 3.6. Akdeniz Bölgesi'nin zemin büyütmesi 53

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 1.1. Farklı materyal türü ve hız aralıkları için kayıt parametrelerinin seçimi 24
Tablo 1.2. MASW ve ReMi karşılaştırma tablosu 33
Tablo 2.1. Eurocode 8 (EC8)'de tanımlanan zemin grupları 45
Tablo 2.2. NEHRP'te tanımlanan zemin grupları 45
Tablo 2.3. 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinde tanımlanan zemin grupları 46
Tablo 2.4. Di Alessandro ve diğ göre zemin grupları 46
Tablo 2.5. Rodrigez -Marek ve diğ göre zemin grupları 46
Tablo 3.1. İstasyonlara göre ölçüm sonuçları 48

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

ΔT	:	Zaman örnekleme aralığı
ϕ	:	Faz kayması
λ	:	Dalga boyu
υ	:	Poisson oranı
μ	:	Sıkışmazlık modülü
τ	:	Kesme zamanı
ρ	:	Yoğunluk
A(xw)	:	Genlik spektrumu
c	:	Faz hızı
C	:	Uzamsal özilişki fonksiyonu
dx	:	Alıcılar arasındaki mesafe
E	:	Young modülü
f	:	Frekans
f_0	:	Hakim frekans
h	:	Tabaka kalınlığı
k	:	Dalga sayısı vektörü
km^2	:	Kilometre kare
(k,w)	:	Dalga sayısı
p	:	Işın parametresi
(p, τ)	:	Işın parametresi-kesme zamanı
P(x,t)	:	Zaman ortamındaki dalga alanı
r	:	Yarıçap
t	:	Zaman
u	:	Grup hızı
U(x,t)	:	Dalga alanının fourier dönüşümü
V_P	:	P-dalga hızı
V_R	:	Rayleigh dalgası
V_S	:	S-dalga hızı
Vs_{30}	:	Makaslama (kayma) dalgası hızı
w	:	Açısal frekans
x	:	Uzaklık
X_0	:	İlk alıcı uzaklığı
X_T	:	Alıcıların toplam uzunluğu
(x,t)	:	Uzaklık-zaman

Kısaltmalar

AFAD	:	Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı
HVRS	:	Yatay/Düşey Spektral Oran
MASW	:	Multichannel Analysis of Surface Waves (Yüzey Dalgalarının Çok Kanallı Analizi)
ReMi	:	Refraction-Microtremor (Kırılma Mikrotremoru)

SDS	:	S-Dalgası Derinli Sondajı
S/G	:	Sinyal/Gürültü
SH	:	S dalgası yatay bileşeni
sn	:	Saniye
SV	:	S dalgası düşey bileşeni
TBDY	:	Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği

AKDENİZ BÖLGESİ'NDE SİSMİK KIRILMA VE YÜZEY DALGASI METODLARI İLE ZEMİN KOŞULLARININ ARAŞTIRILMASI

ÖZET

Türkiye'de Akdeniz Bölgesi'ndeki AFAD (Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı)'nın 65 güçlü hareket istasyonunda, alan karakterizasyonunu tahmin etmek için Yüzey Dalgalarının Çok Kanallı Analizi (MASW), Kırılma Mikrotremoru (ReMi) ve Mikrotemor ölçümleri yapılmıştır. Bölgenin etkilerini araştırmak ve alan riskini değerlendirmek için güvenilir alan tepkisi bilgileri gerekmektedir. Akdeniz Bölgesi'nin zemin koşulları, AFAD'ın bu bölgedeki güçlü hareket istasyonlarının MASW, ReMi ve Mikrotremor çalışmalarından belirlenmiştir. Farklı amplifikasyon seviyelerinde dominant frekans değerlerini belirlemek için HVSR tekniği uygulanmıştır. Akdeniz Bölgesi Vs_{30}'a göre NEHRP Hükümleri', Eurocode-8 ve TBDY-2018 ve Rodrigez-Marez (2001)'e göre sınıflandırılmıştır. NEHRP Hükümleri'ne göre, 1 istasyon A sınıfı, 7 istasyon B sınıfı, 38 istasyon C sınıfı ve 19 istasyon D sınıfıdır. Eurocode-8'e göre 6 istasyon A sınıfı, 39 istasyon B sınıfı ve 20 istasyon D sınıfıdır. NEHRP sistemindeki zemin sınıfları TBDY-2018'e karşılık gelir. Rodrigez-Marez, (2001)'e göre 8 istasyon A sınıfı, 17 istasyon B sınıfı, 8 istasyon C-1 sınıfı, 13 istasyon C-2 sınıfı, 5 istasyon C-3 sınıfı, 11 istasyon D-1 sınıfı, 1 istasyon D-2 sınıfı, 1 istasyon D-3 sınıfı, 1 istasyon E ve 1 istasyon belirsizdir. Bölgenin baskın periyod aralığı, 0,007s ile 1,47s arasında değişmekte ve baskın büyütme değerleri, 0,79 ile 8,5 arasında değişmektedir.

Anahtar Kelimeler: Akdeniz Bölgesi, MASW, Mikrotremor, ReMi.

INVESTIGATION SITE CHARACTERIZATION IN MEDITERRANEAN REGION BY USING REFRACATION AND SURFACE WAVE METHODS

ABSTRACT

Multichannel Analysis of Surface Waves (MASW), Refraction Microtremor (ReMi) and Microtremor measurements were performed to predict site characterization at 65 strong motion stations of AFAD (Disaster and Emergency Management Presidency) in Mediterranean region are specified from MASW, ReMi and Microtremor studies of AFAD's strong motion stations in this area. H technique was conducted to determine dominant frequency values at different amplification levels. The Mediterranean region was classified according to Vs_{30} based NEHRP Provisions, Eurocode-8 and TBDY-2018 and Rodrigez-Marez (2001). According to the NEHRP Provisions, 1 station is classified as class A, 7 stations as class B, 38 stations as class C and 19 stations to be class D. According to Eurocode-8, 6 stations correspond to class A, 39 stations class B and 20 stations class D. The soil classes in the NEHRP system correspond to that of TBDY-2018. According to Rodrigez-Marez (2001), 8 stations are classified as class A, 17 stations class B, 8 stations class C-1, 13 stations class C-2, 5 stations class C-3, 11 stations class D-1, 1 stations class D-2, 1 stations class D-3, 1 station class E and 1 station is undistinguished. The predominant period of the region ranges from 0.007s to 1.47s and the dominant magnification values vary between 0.79 and 8.5.

Keywords: Mediterranean Region, MASW, Microtremor, ReMi.

GİRİŞ

Akdeniz Bölgesi, Türkiye'nin güneyinde sismik olarak aktif bir bölgede yer almaktadır. Yüzölçümü yaklaşık 120.000 km^2 olan Türkiye'nin, toplam alanının yaklaşık %15'ini oluşturur. Bölgenin tektonik faaliyeti Ölü Deniz, Doğu Anadolu ve Kıbrıs faylarının etkisi altında karmaşık bir tektonik davranış göstermektedir (Beyen ve diğ., 2003). Geçen yüzyılda (MÖ 37-2015), bu bölgedeki en büyük yıkıcı deprem, yerel saha koşullarının yer sarsıntısı üzerinde büyük bir etkisi olduğunu göstermiştir. Hatay'da 1822 ve 1872 depremlerinde meydana gelen tsunamilerin 20 bin kişinin ölümüne yol açtığı bildirilmiştir (Tarı ve diğ., 2013). Türkiye'deki çeşitli bölgelerin mikrotremor incelemesi, deprem izleme, yüzey dalga araştırması ve sondaj verileri ile ilgili çeşitli saha etki çalışmaları yayılmıştır (Ateş ve Bayülke N., 1982, 1984; Ambraseys ve diğ., 1993). Aydan ve Hasgür, 1997; Durukal ve diğ., 1998; Çelebi ve diğ., 2001; Erdik ve Durukal, 2001; Zare ve Bard, 2002; Özalaybey ve diğ., 2002; Rathje ve diğ., 2003, Ergin ve diğ., 2004, Kalafat ve diğ., 2007, Erdoğan, 2008, Sandıkkaya, 2008, Sandıkkaya ve diğ., 2009, Kalkan ve Gülkan, 2004, Ulusay ve diğ., 2004, Yılmaz ve diğ., 2008). Zare ve Bard (2002), Türkiye'nin güçlü hareket alanı durumunu tahmin etmek için (S/G) spektral oranlarını kullanmıştır. Rathje ve diğ. (2003) ve Gülkan ve diğ. (2007), Türkiye'nin kuvvetli hareket alanlarının alan sınıflandırmasını belirlemek için jeofizik ve jeoteknik çalışmalar yapmışlardır. Over ve diğ., (2011), Antakya için mikrotremor verilerini analiz etti ve Antakya ili için 0.2 ila 0,8 sn arasında değişen baskın dönemlere ve bölgeyi kapsayan sedimentlerin kayma dalga hızlarına dayanarak önerilen ilk mikro bölgeleme haritasını önermiştir. Korkmaz (2006), Antakya'da zemin koşulları ile deprem etkisi arasındaki ilişkiyi incelemiştir. Horoz (2008), bölgenin Adana ile Antakya-Kahramanmaraş arasındaki sismikliğini ve risk analizi ile araştırmıştır. Çeken ve Polat (2014) erken uyarı ve hasar öncesi tahmin sistemlerinin bir parçası olarak, 55 tek eksenli kuvvet dengesi ivmeölçerden oluşan MATNet ile yerel saha etkilerini araştırmaya çalışmış ve Hatay-K.Maras sahalarının yakınında oluşabilecek patlamaları kaydederek analiz etmeye çalışmışlardır. Özgür ve arkadaşları, (2017), Akdeniz bölgesindeki 41 bölgede sığ S dalga boyu hız profilleri üzerinde mikrotremor dizi araştırması gerçekleştirmiştir.

Bu çalışmada, Akdeniz bölgesindeki 65 kuvvetli hareketli istasyonda S-dalgası hızının sığ zeminlerde dağılımını araştırmak için Sismik kırılma, Çok Kanallı Yüzey Dalgalarının Analizi (MASW), kırılma mikrotremoru (ReMi) ve mikrotremor çalışmaları yapılmıştır.

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Sismik Dalgalar

Yer içerisinde meydana gelen deprem veya bir patlatma esnasında büyük miktarlarda enerji açığa çıkar. Ortaya çıkan enerji kayaçların deformasyonu ve faylanma için ve de ortamın özelliklerine göre yer içinde elastik dalgalar olarak yayılım gösterirler. Bu dalgalar sismik dalgalar olarak da isimlendirilmektedir. Deprem oluşumunda faylanma ve kırıma sebebiyle kaynaktan uzaklaşarak bütün yönlere farklı şekillerde yayılır. Deprem sırasında iki tür dalga türü açığa çıkar. Bu dalgalar;

- Cisim dalgaları
- Yüzey dalgaları

1.1.1. Cisim dalgaları

Cisim dalgaları, kaynaktan bütün yönlere doğru yayılarak, yer içerisinde seyahat eder.

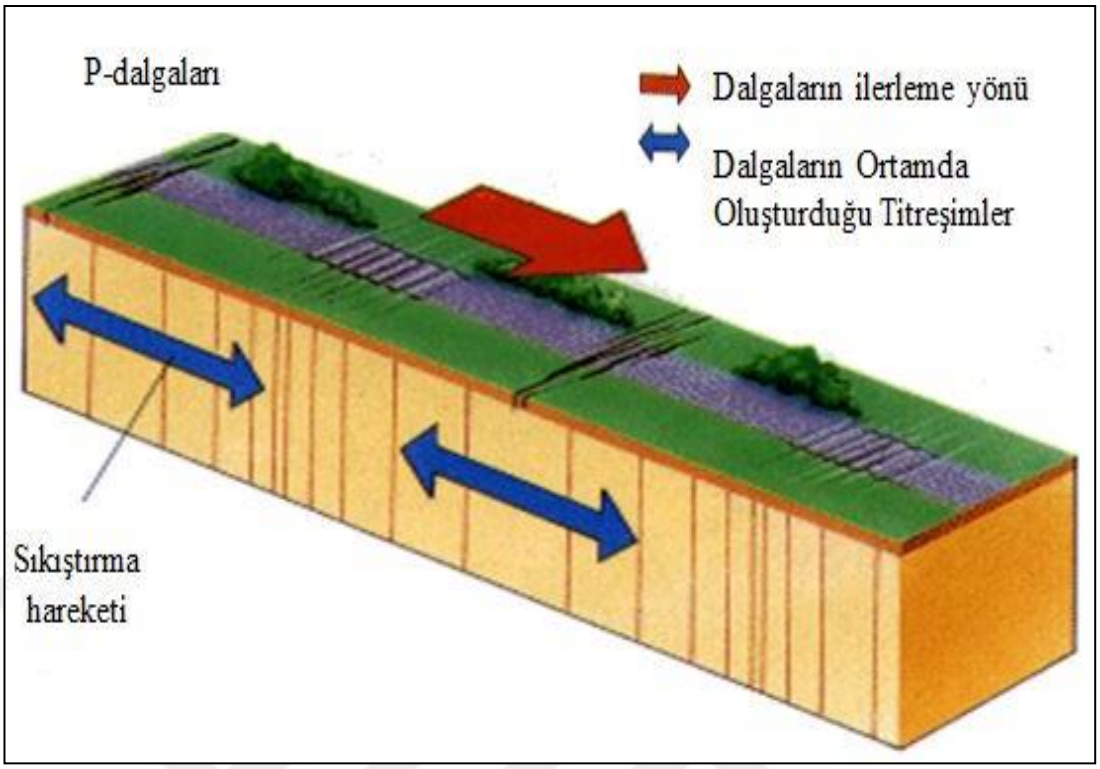
1.1.1.1. P – dalgaları

Bu dalgalara birincil (primer) , boyuna (longitudinal) veya sıkışma (compressional) dalgaları denilebilir. P dalgalarının, titreşim hareketi yayılma doğrultusu ile aynıdır. P dalgalarının tanecik, hareketleri dalgaların ilerleyiş yönünde hareket eder ve yaptıkları bir çeşit itme-çekme hareketinden dolayı, geçtikleri ortamın hacimsel değişimine neden olur. Katı, sıvı ve gaz ortamlarında kolayca yayılabilir.

Yer içerisinde sismograflar tarafından ilk algılanan en hızlı yayılan sismik dalgalardır. P-dalgasının periyodu sn'den az olmasına rağmen (1 sn), periyotlu dalgalar uzak mesafeli yerlere seyahat ederler. P-dalgasının hızı;

$$V_P=\sqrt{\frac{\lambda+2\mu}{\rho}}=\sqrt{\frac{E(1-\sigma)}{\rho(1+\sigma).(1-2\sigma)}} \qquad (1.1)$$

Burada E, σ, λ ve μ elastik sabitleri ve ρ ise yoğunluğu göstermektedir.



Şekil 1.1. P-dalgası yayınımı [30]

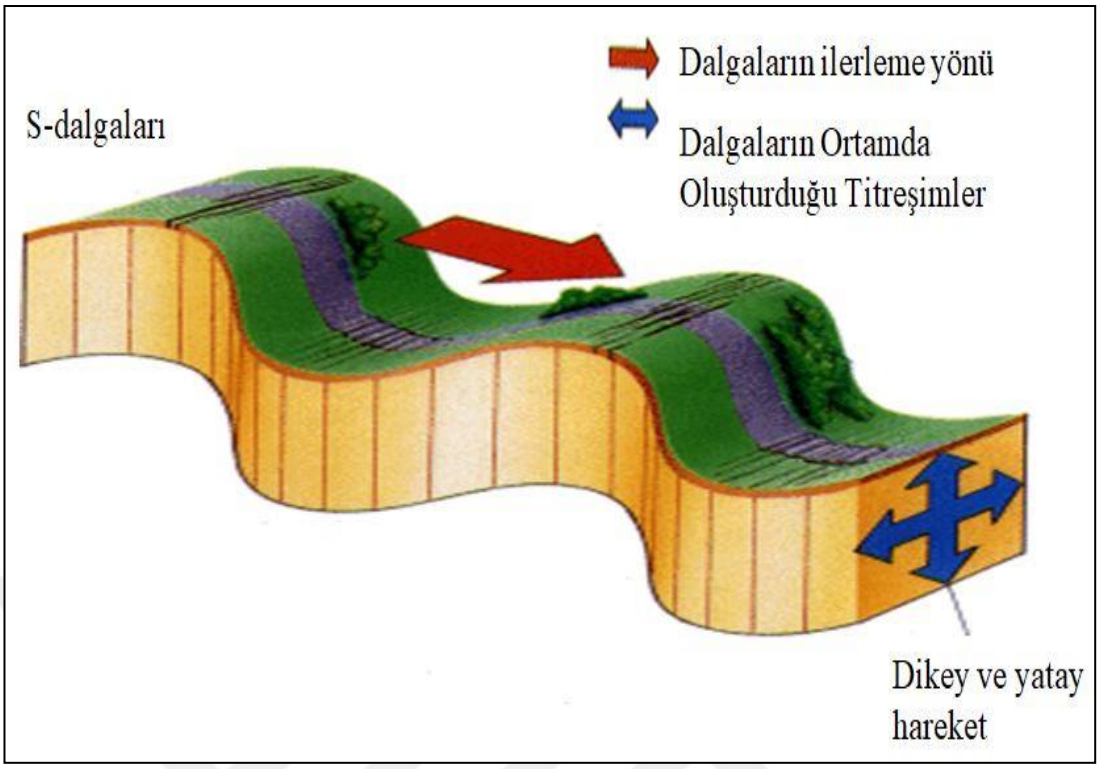
1.1.1.2. S – dalgaları

Bu dalgalara ikincil (seconder), enine veya kesme (shear) dalgalar denilebilir. Yayılma doğrultusuna dik olarak titreşim hareketlerini tamamlayan dalgalardır. S-dalgaları yayılırken tanecikler, yayılma doğrultusuna sağdan-sola, aşağı-yukarı veya dik olarak titreşim hareketi özelliği gösterirler. Şekil değişimine sebep olan S dalgaları, sadece şekil değişimine direnci olan ortamlardan geçtikleri için ve sıvı ile gazların şekil değişimine karşı direnci olmadığı için, S dalgaları bu ortamlardan geçemezler.

Bu dalgalar ortagonal dalgalardır yani yatay (SH) ve düşey (SV) bileşenleri vardır. SH dalgalarının tanecik hareketi yatay ve SV dalgalarının tanecik hareketi ise düşey düzlemde olur. S dalgaları kayıt aletlerinde ikincil olarak görülürler bu durumda S dalgaları P dalgalarından sonra kayıt edilir. S dalgasının hızı;

$$V_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}} = \sqrt{\frac{E}{2\rho(1+\sigma)}} \qquad (1.2)$$

Sıvılarda $\mu = 0$ olduğu için S dalgaları yayılamazlar.



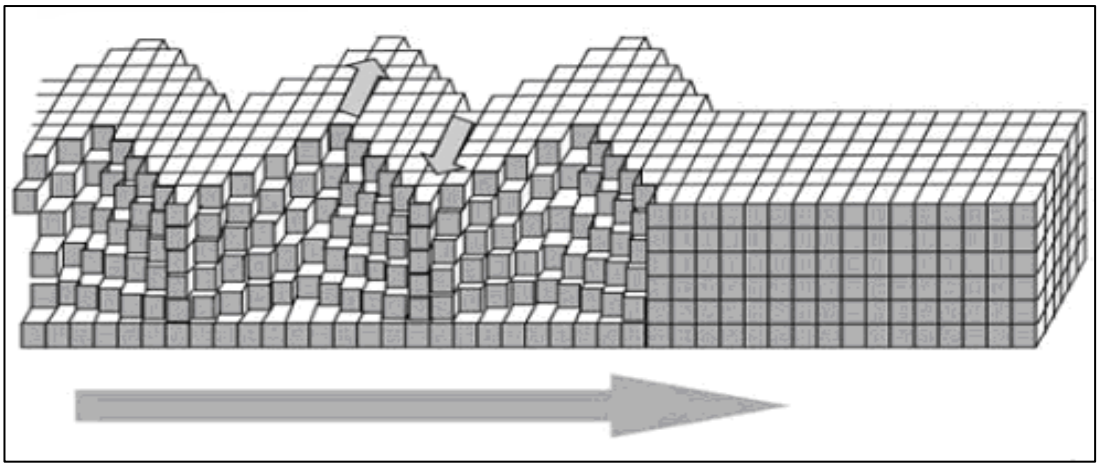
Şekil 1.2. S-dalgası yayınımı [30]

1.1.2. Yüzey dalgaları

Bu dalgalar cisim dalgalarına göre daha yavaş yayılmasına rağmen genlikleri daha büyüktür. Sismik dalgaların ikinci türü olan bu dalgalar, yavaş ilerleme özelliğine sahip olmalarına rağmen cisim dalgalarına kıyasla daha fazla sebep olurlar. Yüzey dalgaları daha fazla yer hareketi oluşturdukları ve daha yavaş hareket etmelerinden dolayı etkisi uzun süreli olur. Düşük frekansa ve büyük genliklere sahip oldukları için olayı birçok depremde yüzey dalgaları yapılara zarar verirler. Love ve Rayleigh dalgaları olarak ikiye ayrılır.

1.1.2.1. Love – dalgaları

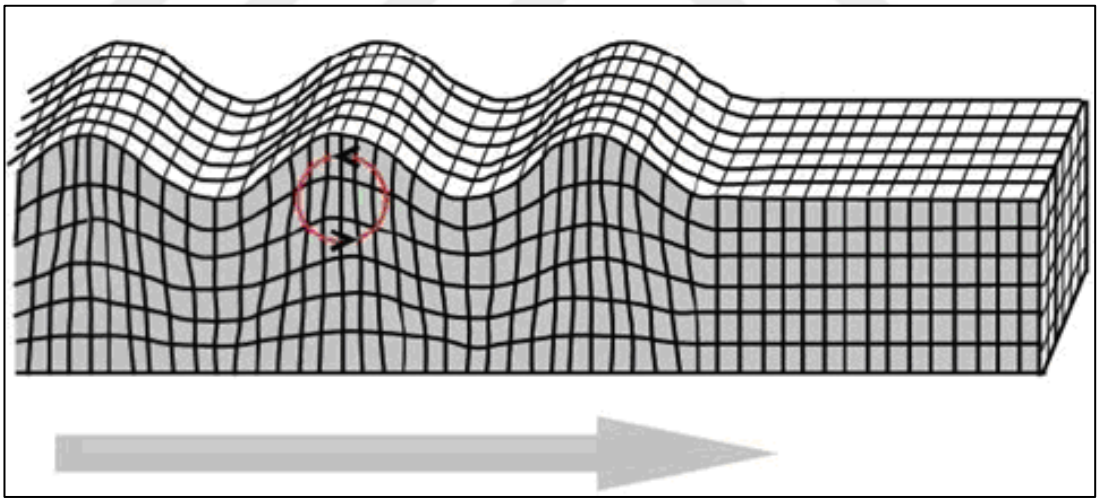
Love dalgaları, hızlı olduğu için sismogramlarda Rayleigh dalgalarından önce görülmektedir. Bu iki dalga arasındaki hız farkı az olduğu için sismogramlar tarafından gözlenememektedir. Love dalgaları ortamındaki tanecikler yayılma doğrultusuna dik düzlemde titreşir (Şekil 1.3).



Şekil 1.3. Love dalgası yayınımı (Bolt, 1976)

1.1.2.2. Rayleigh – dalgaları

Rayleigh dalgaları, su birikintisine (göl, deniz) benzerlik gösteren dalgalar gibi yer küre boyunca ilerlemektedir. Yaptıkları yuvarlanma hareketi sebebi ile bulundukları ortam içerisinde tanecikler, yayılma doğrultusu boyunca ters elips hareketi çizer (Şekil 1.4).



Şekil 1.4. Rayleigh dalgası yayınımı (Bolt, 1976)

1.1.3. Rayleigh dalgası ile S - dalgası ilişkisi

Rayleigh dalgaları boyuna (P) ve enine (SV) hareketin yapmış olduğu bileşimin sonucu oluşan dalgalardır. Bu dalgalar ana ekseni dalga geçişi sırasında, düşey olan bir elipstir. S dalgaları ise bir yerden geçme sırasında, geçtikleri ortamdaki tanecikleri yayılma doğrultusuna dik olarak titreştirirler. S dalgasının, yayılma doğrultusundan geçen düşey düzlem içerisindeki bileşenine SV, yayılma

doğrultusuna dik yatay düzlem içindeki bileşenine SH denir. Rayleigh dalgalarının hızı (V_R) yüzeye yakın bölgelerdeki elastik özellikleri ile örtüşmelidir. Ortamın Poisson oranının σ = 0,25 olması durumunda,

$$V_R=0{,}92V_S \tag{1.3}$$

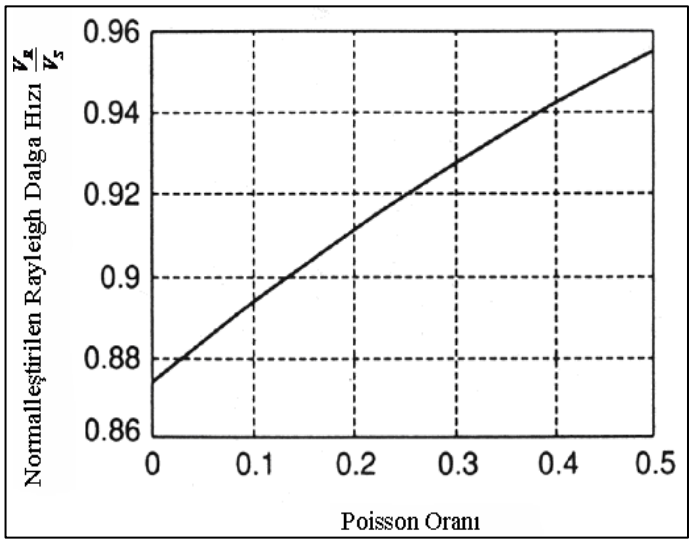
ile tanımlanır.

Uniform yarı-uzay da, yüzey dalga genlikleri enerji kaynağından $1/\sqrt{r}$ (r=yarıçap) oranında azalır. Cisim dalgaları yüzeyde geometrik yayılmadan dolayı $1/r^2$ oranında eksilir. Uniform yarı-uzay da kayma dalga hızı V_S ve Rayleigh dalga hızı V_r arasındaki ilişki sadece Poisson oranının bir fonksiyonudur. Yaklaşık bu ilişki (Yiğiter, 2008);

$$V_r=\frac{0{,}86+1{,}14\upsilon}{1+\upsilon}V_s \tag{1.4}$$

ile tanımlanır.

Poisson oranının bir fonksiyonu olarak V_r'nin V_S'e oranı Şekil 1.5'de gösterilmiştir. Bu oran Poisson oranının 0-0,5 olması durumunda, 0,88 ile 0,96 arasında değişmektedir.



Şekil 1.5. Poisson oranının bir fonksiyonu olarak Rayleigh dalga hızının kayma dalga hızına oranı (Bedford ve Drumheller, 1994)

Sıkışma dalga hızı (V_P) ve yüzey dalga hızı arasındaki ilişki cisim dalgaları için elastik bir yapı kullanılarak ifade edilebilir.

$$\frac{V_P}{V_S} = \sqrt{\frac{2(1+\upsilon)}{1-2\upsilon}} \tag{1.5}$$

Yukardaki eşitliğin oluşması durumunda (Yiğiter, 2008);

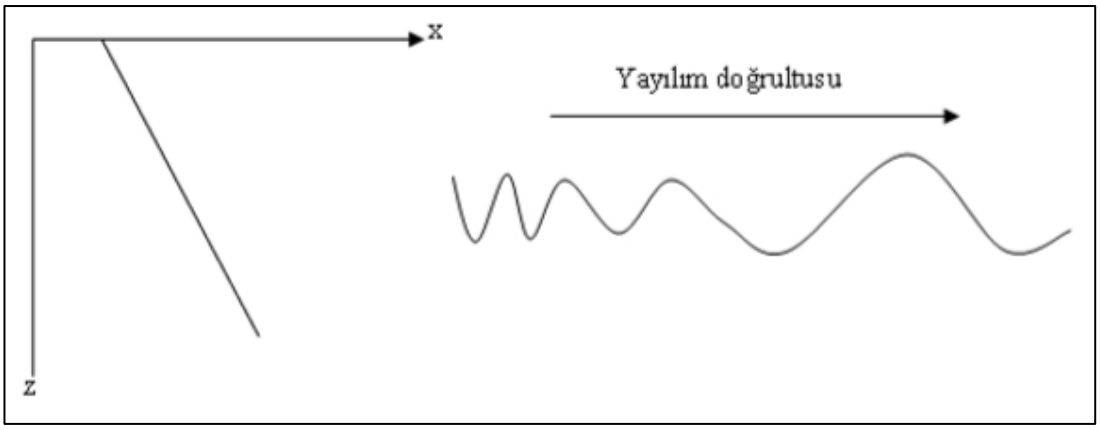
$$\frac{V_R}{V_P} = \left(\frac{1+\upsilon}{0,86+1,14\upsilon}\right) \chi \sqrt{\frac{1-2\upsilon}{2(1+\upsilon)}} \tag{1.6}$$

şeklinde tanımlanır.

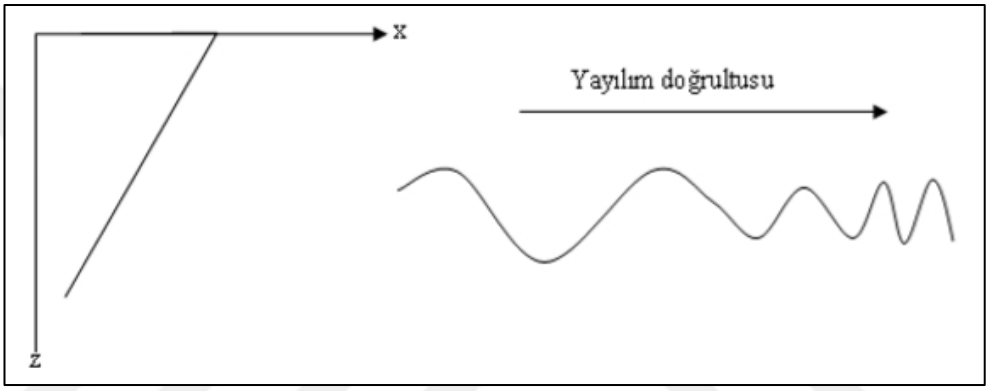
S dalgası hız ve elastik parametreler bilgisi ile malzemenin özellikleri hakkında bilgi edinilebilir. Bu da zemin etüdü hakkında bilgi sağladığı için önemlidir. S dalgası hız yapısının bilgileri ile zeminin dinamik parametreleri, zemin hakim titreşim periyodu, zemin büyütmesi tespiti yapılabilir. Rayleigh dalgasının dispersiyon eğrilerine ters çözüm uygulanarak, S dalgası hızına ulaşılır. Uniform, elastik yarı-uzay ortamlar için yüzey dalga hızları dispersif olmadığı için frekansdan bağımsızdır ve farklılıklar oluşturabilir.

1.1.4. Yüzey dalgalarında dispersiyon

Rayleigh ve Love dalgaları, serbest yüzey ile serbest yüzey altındaki tabaka sınırları boyunca yayılır. Bundan dolayı bu dalgaların özellikleri manto ve yer kabuğunun üst kısımları tarafından belirlenir. Love dalgalarının meydana gelmesi için serbest yüzey altında bir adet tabaka olmalıdır. Rayleigh ve Love dalgaları yayılırken bütün dalga grubu bir istasyona aynı zamanda gelmez ve uzun dalgalar yüksek hızla seyahat ederek istasyona önce varır. Bunları kısa ve daha kısa dalgalar takip eder ve bu olay 'dispersiyon' olarak adlandırılır. Yüzey dalgaları, hareket sırasında yerin derinliklerine iner. 60 saniye periyotlu Rayleigh dalgaları 200 km derinlerde seçilebilir. 20 saniyelik periyot, derinliği yaklaşık 70 km etkiler. Derinlik sürekli olarak arttığı kabul edilirse uzun dalgaların daha hızla hareket ettiği görülür. Bu normal dispersiyon olarak bilinir (Şekil 1.6). Eğer kısa dalgalar önce varırsa o zaman ters dispersiyondan bahsedilir (Şekil 1.7).



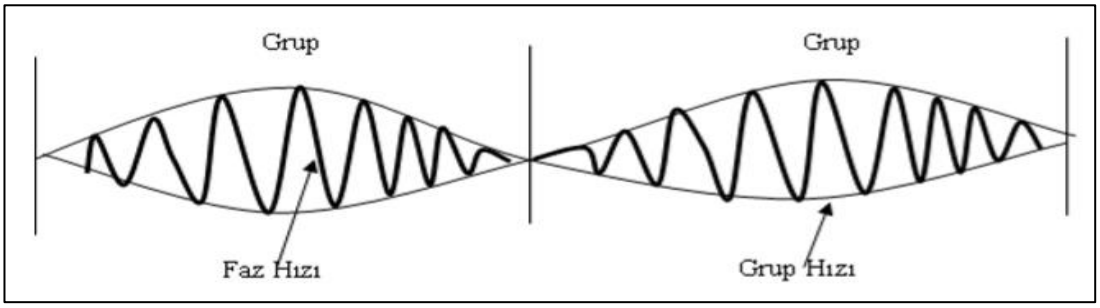
Şekil 1.6. Yüzey dalgalarında normal dispersiyon davranışı (Kurtuluş, 2002)



Şekil 1.7. Yüzey dalgalarında ters dispersiyon davranışı (Kurtuluş, 2002)

1.1.5. Faz ve grup hızı

Dalga katarı üzerindeki herhangi bir noktanın hızına faz hızı, dalga zarfının hızına ise grup hızı denir (Şekil 1.8).



Şekil 1.8. Yüzey dalgalarında grup hızı ve faz hızı (Kurtuluş, 2002)

Faz hızının belirlenmesinde en basit analiz yöntemi, aralarında Δx mesafesi bulunan iki jeofon kaydının çapraz ilişkisinin hesaplanmasına dayanır (Guo ve Liu, 1999). Eğer f(t) ve g(t) iki jeofon tarafından kayıt edilen sismik kayıtları belirtirse, ilk adımda iki jeofon kaydının Fourier dönüşümü alınır:

$$F(w)=\frac{1}{2\pi}\int_{-\infty}^{\infty} f(t)e^{-i\omega t}dt \quad (1.7)$$

$$G(w)=\frac{1}{2\pi}\int_{-\infty}^{\infty} f(t)\,e^{-i\omega t}\,dt \quad (1.8)$$

İki jeofon kaydının frekans ortamındaki çapraz ilişki $CC_{fg}(w)$ ile gösterilirse;

(CC, zaman ortamı çapraz ilişki, frekans ortamında çapraz ilişki spektrumu (crosscorrelation spectrum), benzer şekilde, zaman ortamında öz ilişki, frekans ortamında güç spektrumu veya öz spektral yoğunluk fonksiyonu, auto spectral density function adını alır.

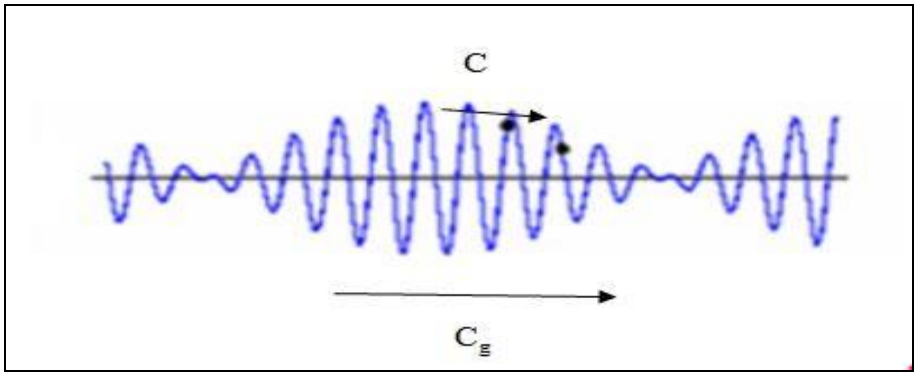
$$cc_{fg}(w)=F(w)\overline{G}(w)= A_f(w)A_g(w)e^{i\Delta\emptyset(w)} \quad (1.9)$$

Burada Af(w) ve Ag(w) F(w) ve G(w)'nın genlik değerleridir. $\overline{G}$ ise G(w)'nın karmaşık eşleniğini gösterir. Çapraz ilişki $CC_{fg}(w)$'nın fazı $\Delta\emptyset(w)$, her iki spektrum fazı arasındaki farktır. $\Delta\emptyset(w)$ fazı çapraz ilişki $CC_{fg}(w)$ spektrumundan şu şekilde hesaplanır:

$$cc_{fg}(w)=F(w)\overline{G}(w)= A_f(w)A_g(w)e^{i\Delta\emptyset(w)} \quad (1.10)$$

$\Delta\emptyset(w)$ fazı kullanılarak, Faz hızı, $c(w)$için;

$$c(w) = \frac{w\Delta x}{\Delta\emptyset(w)} \quad (1.11)$$



Şekil 1.9. Değişik frekanslı iki dalga tarafından oluşturulan basit bir dalga grubu

Şekil 1.9'daki dalga grubunun tümü C_g hızıyla hareket eder. Yüksek frekans taşıyıcılarının hızı ya C_g'den küçük, C_g'ye eşit veya C_g'den büyük olur. Bu durumlardan herhangi bir tanesi oluşumun ortaya çıkması, elastik sistemdeki dispersiyonun durumuna bağlı olacaktır. Bahsedilen durumlardaki özellikler aşağıdaki gibidir;

- $C>C_g$: Dalga grubun arkasında oluşur, grubun ön tarafına doğru hareket eder ve orada kaybolur.

- $C=C_g$: Grup içerisindeki dalgalarla grup arasında bir hareket oluşmaz ve grup dalga şeklini kaybetmeden hareket eder.

- $C<C_g$: Dalgalar grubun ön tarafında oluşup, grubun arkasına doğru hareket eder ve orada kaybolur.

C_g hızı "Grup hızı" olarak isimlendirilir. Tüm dalga grubunun yayılma hızıdır. Faz hızı ile Grup hızı birbirine eşit değildir. Farklı frekanslarda, farklı dalga boylarında ve farklı hızlardaki dalgalar bir grup oluşturmak üzere bir araya gelebilirler. Buna dispersiyon adı verilir. Grup hızı aşağıdaki bağıntı ile bulunabilir (Kurtuluş, 2002).

$$U = \frac{dw}{dk} \tag{1.12}$$

1.1.6. Yüzey dalgalarında yayınım özellikleri

Düzlem dalgalarının şekildeki gibi izotrop ve homojen olmak üzere iki tabakalı yarı sonsuz ortam için yüzey dalgalarının yayınımı, dik koordinat sisteminde x ekseni yatay doğrultuda yayınım yönünü, düşey eksen z aşağı doğru pozitif olarak derinliği göstermek üzere w frekansına bağlı olarak (Şekil 3.23).

$$U=Aexp(i(kx-\omega t)) \tag{1.13}$$

bağıntısı ile verilir. Bu bağıntı aşağıda verilen koşullar ile bulunur.

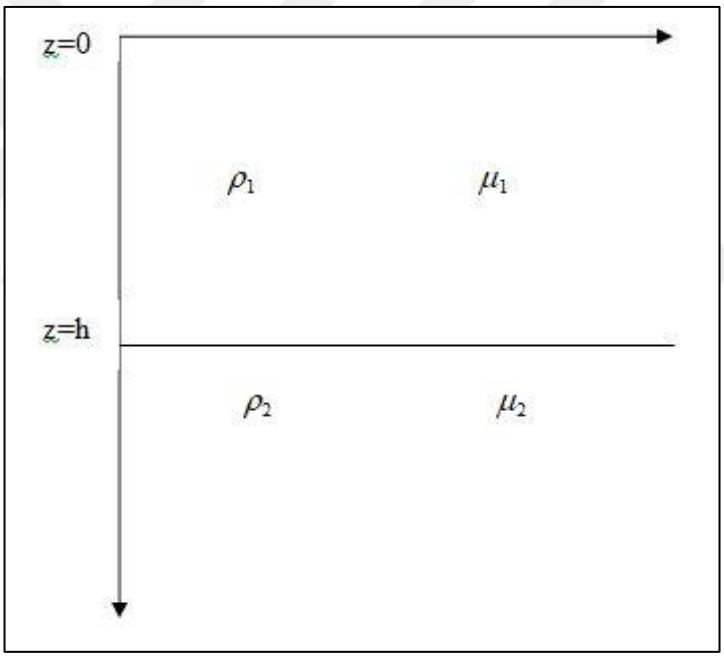
1) Ara yüzeyde gerilmeler süreklidir.

2) Ara yüzeyde (z=H) yer değiştirmeler süreklidir.

3) Serbest yüzeyde (yeryüzü, z=0) kesme gerilmeleri sıfırdır. (Osmanşahin, 1989).

Seçilen bir w frekansı ve k dalga sayısı için;

U = Aexp(i(kx −ωt)) denkleminin direk çözümü yoktur. Bununla birlikte, verilen bir w dalga sayısı) kn (ω gibi özel bir değer alıyorsa çözüm bulunabilir. Verilen bir w için birden çok k değeri için yukarıda verilen denklemin çözümü olabilir. Burada, (ω) n k bir özdeğer, buna karşılık gelen çözüm ise özfonksiyon olarak adlandırılmaktadır (Aki ve Richards, 2002). Dolayısıyla verilen bir w frekansı için yüzey dalgaları $k_0(\omega), k_1(\omega), k_2(\omega), \ldots$ gibi farklı dalga sayıları belirlemiş olmaktadır. Diğer bir deyişle, faz hızları ($c_n = {}^{\omega}/_{k_n}$) verilen bir frekans için durağandır.



Şekil 1.10. İki tabakalı yarı sonsuz ortam modeli (ρ = yoğunluk, μ = rijidite) (Osmanşahin, 1989)

Rayleigh ve Love dalgaları için dalga denklemleri yukarıda belirtilmiş olan sınır koşulları ile bulunmalıdır. Rayleigh dalgaları tabakalı ortamlarda ve homojen yarı sonsuz bir ortamda, Love dalgaları tabakalı ortamlarda oluşabilirler. Bütün bu koşullar göz önüne alınarak her iki yüzey dalgası için yayınım özelliklerini belirleyen periyot denklemleri oluşturulabilir.

1.2. Yüzey Dalgası Yöntemleri

Yeraltını tanımlamak için yer kabuğu, üst manto ve yüzey dalgalarının kullanımını, araştırmak üzere sismolojistler tarafından bulunmuştur (Ewing ve diğ., 1957; Dorman ve Ewing, 1962, Knopoff 1972; Kovach 1978; Keilis-Borok ve diğ., 1989). Yeraltını tanımlamak için yıkıcı ve zorlayıcı olmayan bir yöntemdir ve zaman ve maliyetten açısından tercih edilebilir. Bu yüzden, yüzey dalgası metotları (SWM), hızlı şekilde gelişen bir yöntem olmuştur. SWM, yeraltının kayma dalga hız (V_s) profillerini elde etmek için tabakalı ortamda Rayleigh dalgasının doğal dispersiflik özelliğinden yararlanmaktadır.

Aktif ve pasif kaynak yöntemler olmak üzere ikiye ayrılır. Burada ki amaç ölçüm yapılan alanda değerlendirmeler sonucu elde edilmiş olan dispersiyon eğrisi göz önüne alınarak ortamdaki bir boyutlu tabaka kalınlıklarını ve S dalga hızını belirlemektir. Birbirinden farklı olarak bu yöntemler üç adımda incelenir.

1) Arazi çalışması, arazide uygulanan mekanik algılayıcılar ve kayıtçılar sayesinde ölçüm alınarak sismik dalgalar ortaya çıkarılır,

2) Sinyal oluşumu ve dispersiyon eğrisinin yapısı elde edilir,

3) Yeraltının bir seri V_s profilini elde etmek için dispersiyon verisine ters çözüm uygulanır.

Mevcut üç tane yüzey dalgası ölçüm yöntemlerinden, iki tanesi aktif kaynaklı yöntem olmak üzere; Yüzey Dalgalarının Spektral Analizi (Spectral Analysis of Surface Waves-SASW) (Nazarian ve Stokoe, 1984; Stokoe ve diğ., 1994; Gucunski ve Woods 1991; Tokimatsu, 1992a) Yüzey Dalgalarının Çok Kanallı Analizi (MultiChannel Analysis of Surface Waves-MASW) (Park ve diğ., 1999), bir tanesi pasif kaynaklı yöntem olmak üzere; Kırılma-Mikrotremor (Refraction-Microtremor-ReMi), uygulanır. Kırılma-Mikrotremor yöntemine seçenek olarak Frekans-Dalga sayısı (f-k) yöntemi ve Uzaysal Özilişki Yöntemi (SPAC) (Capon, 1969) ile veri toplama ve veri işleme teknikleri oluşturulmuştur.

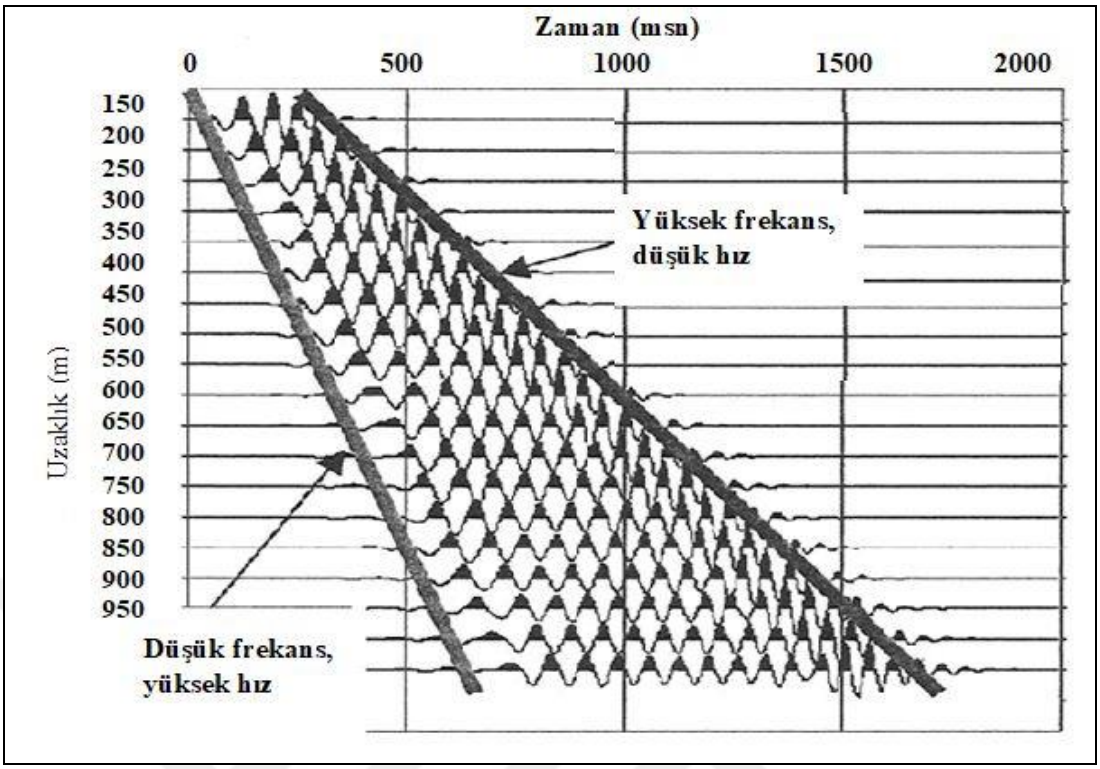
Yerleşim alanlarında aktif kaynaklı yöntemler ile uygulama yapılırken birtakım sorunlar oluşabilmektedir. Bu sebeplerden dolayı aktif kaynaklı yerleşim alanları şehir merkezinden uzak ve sessiz yerler tercih edilir. Bu yöntemde doğrusal dizilimler kullanılmaktadır. Pasif kaynaklı yönteme kıyasla aktif kaynaklı yöntemde inceleme derinliği daha az olmaktadır. İnceleme derinliği dizilim boyutlarına bağlıdır ve bu sebeple derinliği arttırmak için dizilimin uzunluğunu arttırmak gerekmektedir. Kaynak enerjisini de bu sebepten dolayı arttırılması gerekir. Bunu uygulamak yüksek maliyet gerektirdiği için birçok yönden dezavantajdır.

Yüksek modlar elde edilmek isteniyorsa, aktif kaynaklı bir yöntem kullanılmalıdır. Aktif kaynak uygulanmadığı durumlarda, pasif kaynak tercih edilebilir. Aktif yöntemde yüksek frekans aralıklarında yüksek kalitede Rayleigh dalga dispersiyon eğrileri elde edilebilir (Şekil 1.13).

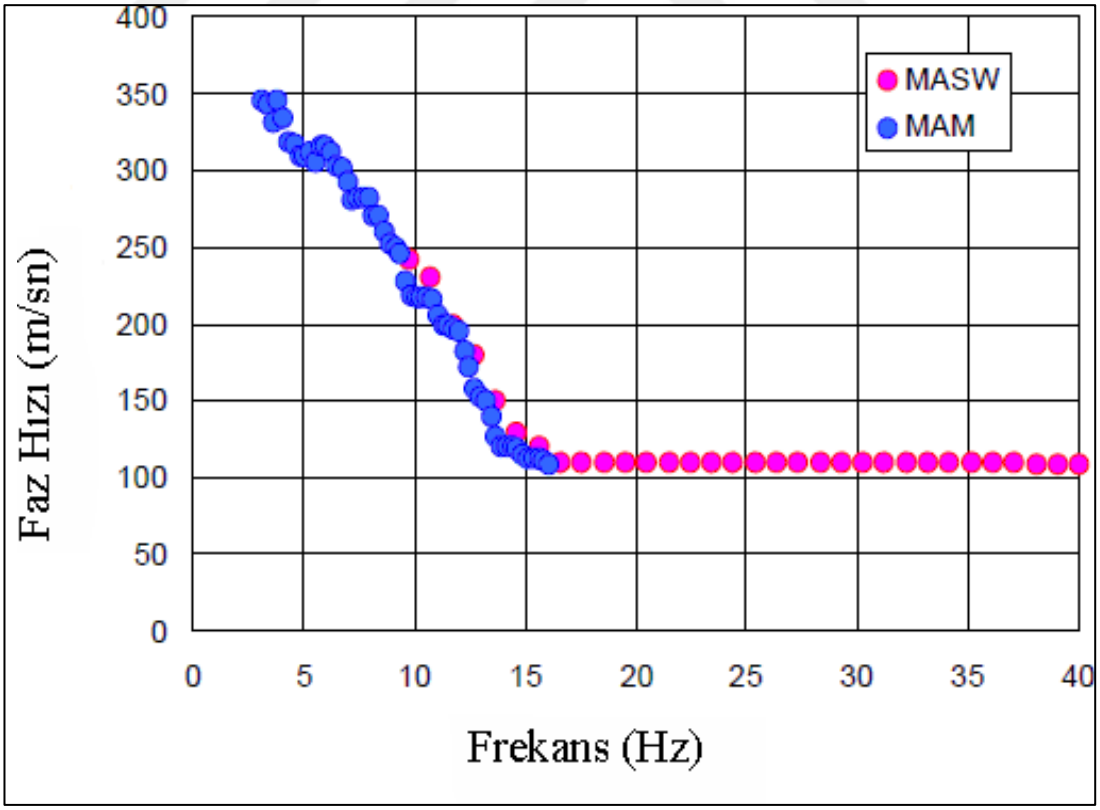
Pasif kaynaklı yöntemlerin aktif kaynaklı yöntemlere göre avantajları vardır. Pasif kaynaklı yüzey dalgası analizlerinde, sismik enerji genellikle uzun dalga boyları ve düşük frekans ile yayındığı için aktif kaynaklı yöntemlere göre, daha derin yer yapılarının incelenmesini sağlar. Bu yöntemde yüksek modları belirleyebilmek için büyük dizilimlerin tercih edilmesi gerekmektedir. (Şekil 1.12).

Serbest Arayüzey			
ν_{s1}	ν_{p1}	ρ_1	h_1
ν_{s2}	ν_{p2}	ρ_2	h_2
. . .			
ν_{si}	ν_{pi}	ρ_i	h_i
. . .			
ν_{sn}	ν_{pn}	ρ_n	Sonsuz

Şekil 1.11. Yoğunluk (ρ), kalınlık (h), sıkışma dalga hızı (V_s), kayma dalga hızı (V_P) parametreleri ile tabakalı bir yer modeli (Xia, ve diğ. , 1999)



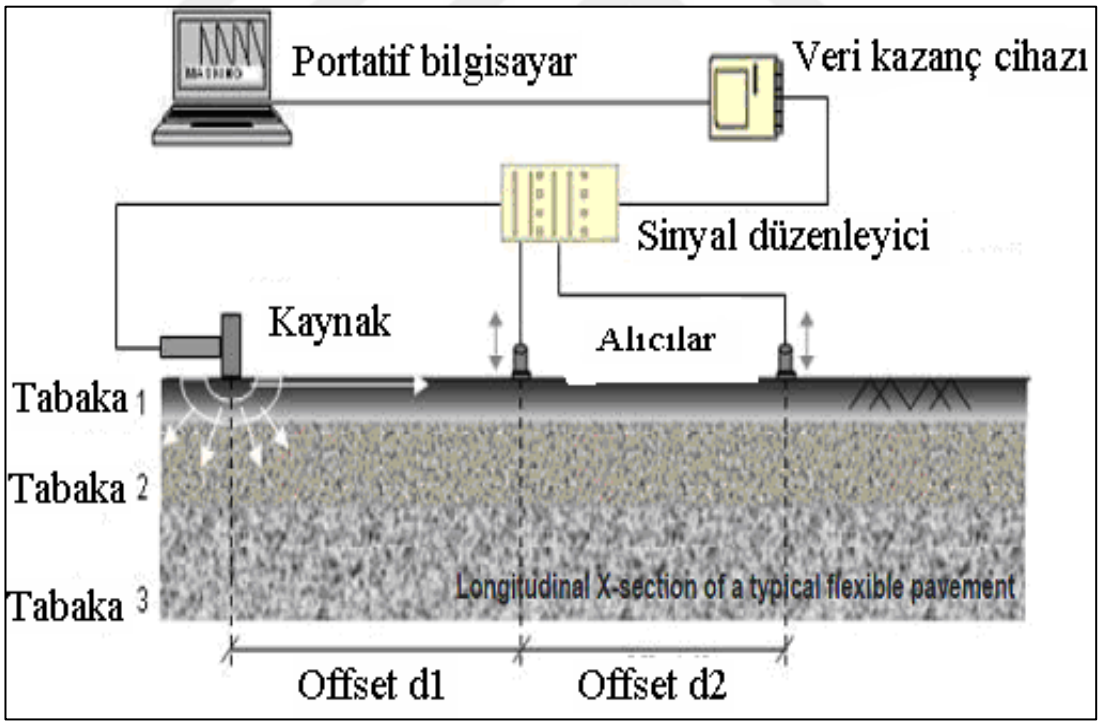
Şekil 1.12. Uygulama sonucu elde edilen frekans hız ilişkisi (Sageep, 2003)



Şekil 1.13. Aktif kaynaklı ve pasif kaynaklı yüzey dalgaları yönteminden elde edilen dispersiyon eğrisi (Sageep, 2003)

1.2.1. Yüzey dalgalarının spektral analiz yöntemi (SASW)

Yüzey dalgalarının spektral analiz yöntemi (SASW), ilk olarak 1970'lerin sonlarında Austinde Texas Üniversitesi'nde uygulanmıştır. (Nazarian ve Stokoe, 1984). Birçok mühendislik projelerinde tercih edilmiştir Capon, J., 1969. High Resolution Frequency-Wavenumber Spectrum Analysis, Proc. IEEE, 57, 1408-1418. ff (Sanchez-Solinero ve diğ., 1987; Gucunski ve Woods, 1991; Stokoe ve diğ., 1994). Dispersiyon eğrisinin ters çözüm yöntemi ilk olarak Dorman ve Ewing (1962), tarafından bulunmuştur. Bu yöntem, tabakalı sistemlerin, zemin ve asfalt gibi kalınlık ve elastik parametrelerini belirlemek için kullanılır. Yüzeyden uygulandığı için zemini yıkıcı ve bozucu bir özelliği yoktur. Yöntemin temeli, Rayleigh dalgasının dispersiyonuna dayanır. Kaynak olarak, balyoz veya ağırlık düşürme tekniği tercih edilir. Yüzey dalgalarının yayınımları, aynı doğrultu üzerinde, biri kaynağa yakın, diğeri kaynağa daha uzak olmak üzere yerleştirilmiş iki jeofon ile görüntülenir (Şekil 1.14).



Şekil 1.14. SASW testi şematik gösterimi (Goel ve Das, 2002)

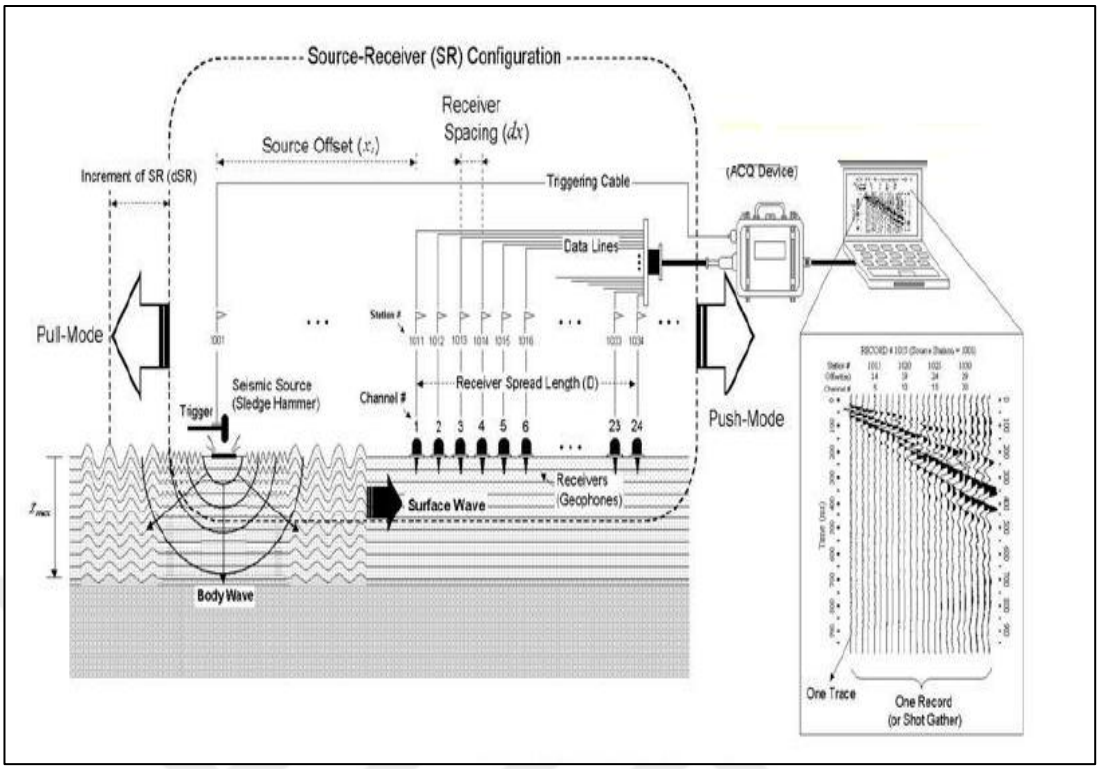
Bu yöntem, aktif kaynaklı yöntem olduğu için çoğunlukla yapay kaynak kullanılır. Biri kaynağa yakın diğeri kaynaktan uzak olacak şekilde iki jeofon yerleştirilerek dizilimler oluşturulur. Arazide veri toplandıktan sonra, alıcı çiftlerindeki kayıtlar her

bir alıcı çiftinde kaydedilen verilerin Fourier transformu alınarak dispersiyon eğrisi elde edilir. Her bir jeofonda kaydedilen sinyallerin güç spektrumları hesaplanılarak faz farkı alınır ve buradan da faz hızı hesaplanmış olur. Elde edilen faz hızları ile Rayleigh dalgasına ait faz hızı dispersiyon eğrisi oluşturulur. Her bir jeofon için kaydedilen sinyallerin faz spektrumlarının farklı alınması sonucu başlangıç fazı bilgisine ulaşılabilir. Elde edilmiş olan faz hızı dispersiyon eğrilerine ters çözüm uygulanılarak S dalgası hız yapısı görüntüsü oluşturulur.

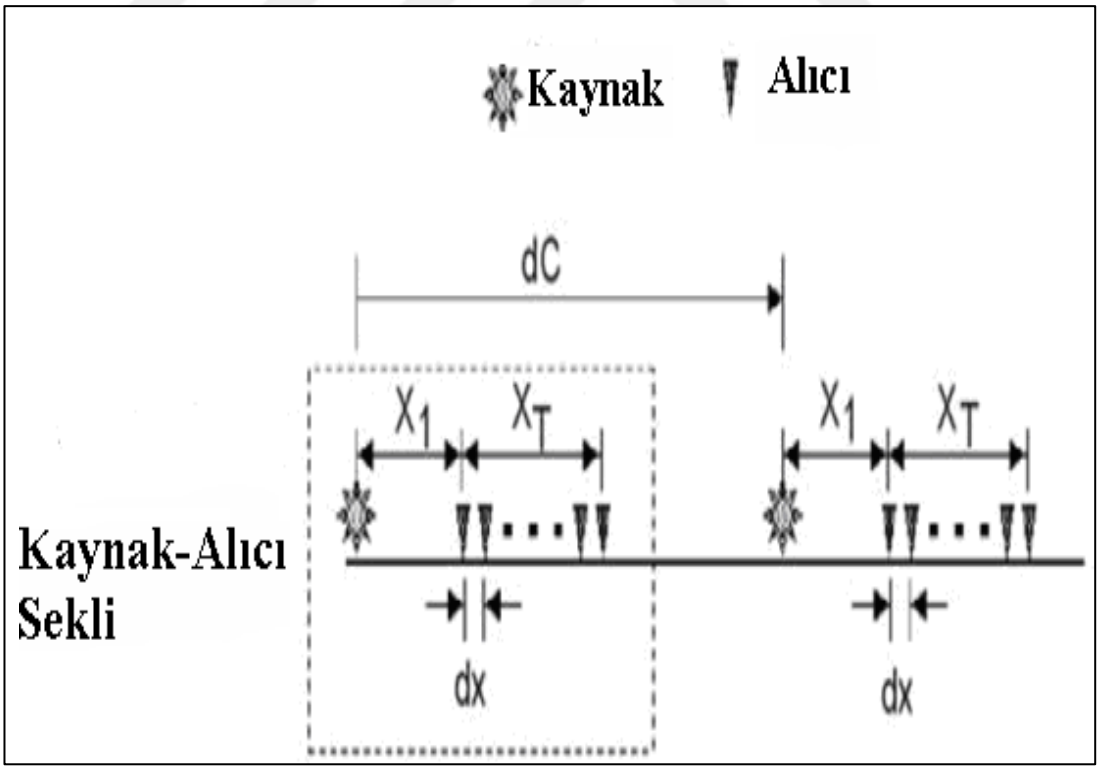
Bu dalgaların spektral analizinde yüzey dalgalarının temel modu kullanılır. Yöntem yüzey dalgalarının yüksek modlarına karşı duyarlı değildir. Yüzey dalgalarından yüksek mod elde etmek için, kullanılan kaynağın özelliğine ve derinliğine bağlı olarak belirlenmektedir. Örneğin, sığ bir kaynak ile meydana gelen uzun periyotlu dalgalar, baskın olarak temel moddan oluşmaktadır (Aki ve Richards, 2002). Sinyal/gürültü oranı artıkça, yüksek frekansların çözünürlüğü düşecektir. Spektral analiz yöntemindeki eksikliklerin giderilmesi, yüksek modların belirlenmesi ve ters çözüm sonuçlarının (Park ve diğ., 1998 a, b) bulunması açısından kolaylık sağladığı için yüzey dalgalarının çok kanallı analiz yöntemi (MASW) kullanılmıştır.

1.2.2. Yüzey dalgalarının çok kanallı analizi yöntemi (MASW)

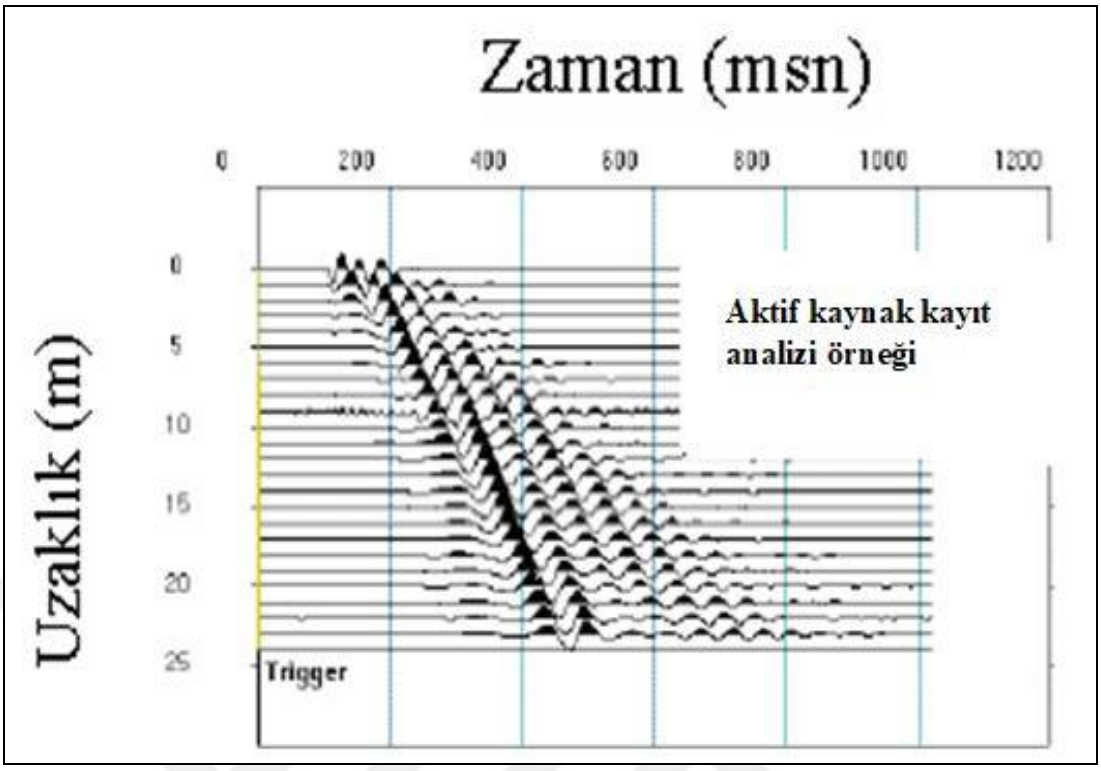
Yüzey dalgalarının spektral analizinde oluşan eksiklikleri kaldırmak için geliştirilen bir yöntemdir. Yüzey dalgalarının çok kanalı analizi (MASW) aktif kaynaklar (balyoz, ağırlık düşürme vb.) gibi çalışmalarda kullanılmaktadır (Şekil 1.15). Yerleşim alanlarından uzak bölgeler tercih edilir (Şekil 1.17). Bu durumda düşük maliyetli olması açısından ve çevreye uyumu bakımından tercih edilen bir yöntemdir. Aktif kaynak uygulamalarında sahada doğrusal hat boyunca belirli uzaklıklarla dizilmiş olan jeofonlara balyoz vurulması ile elde edilen sismik dalgalar kayıtçılar ile kaydedilir. Yapılan bu işleme veri toplama aşaması da denilebilir. Sahada elde edilen yüzey dalgası kayıtları daha sonra veri işlem aşamasına alınır. İlk aşamada yardımcı program ile değişik frekanslara denk gelen faz hızları bulunur ve bu işlem sonucu dispersiyon eğrisi elde edilmiş olur. Tekrardan yardımcı program ile dispersiyon eğrisinin frekans aralıkları belirlenir. Ters çözüm işlemi uygulanarak derinliğe bağlı olan S dalgası hızları hesaplanır.



Şekil 1.15. MASW yönteminin arazi aşaması (Karslı, 2018)



Şekil 1.16. Kaynak alıcı şeklinin tanımı (Anonim, 2007) (dC: iki kaynak arasındaki mesafe; X1:ofset uzaklığı; dx: alıcılar arasındaki mesafe; XT: açılan alıcıların toplam uzunluğu)



Şekil 1.17. Aktif kaynak ile alınan kayıt analizi (Sageep, 2003)

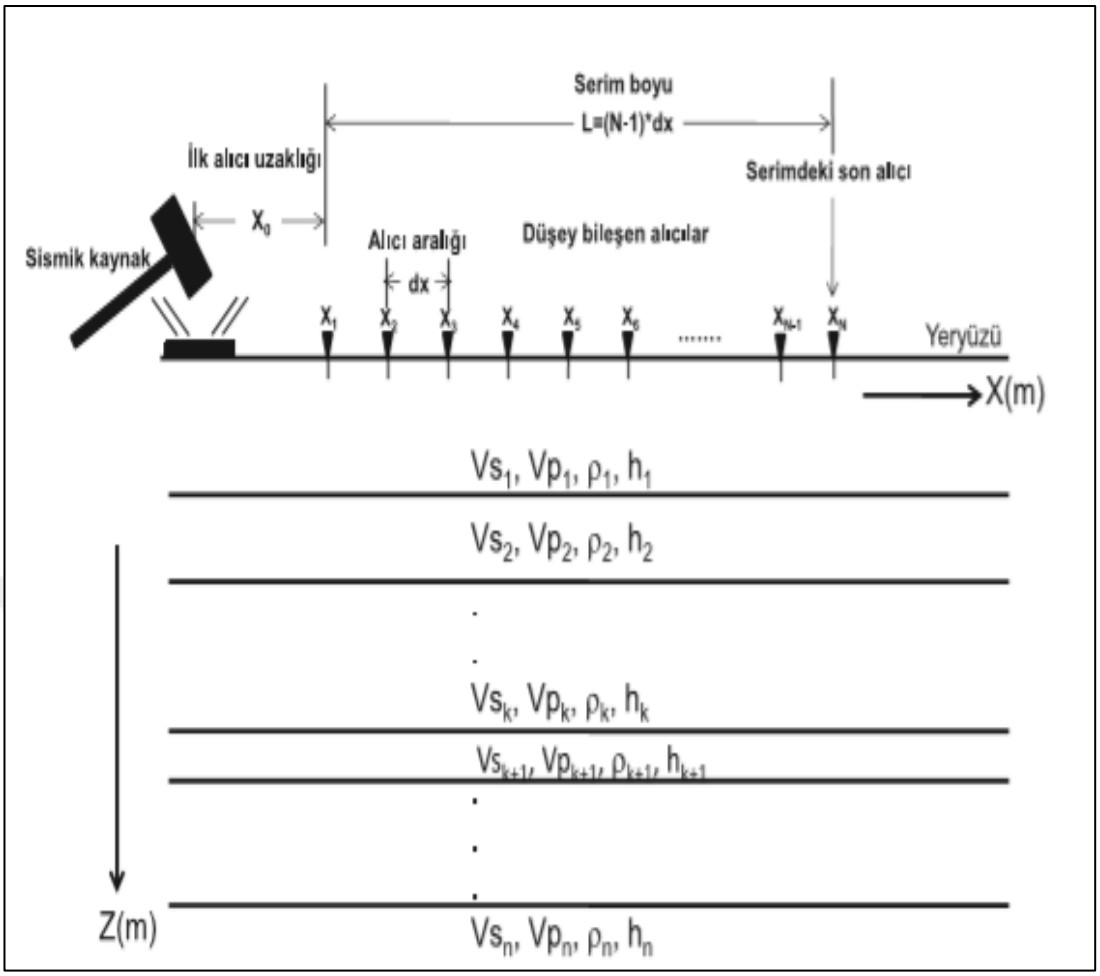
MASW yöntemi ile yüzey dalgalarının yüksek modları ayrıntılı şekilde incelenebilir. Yüksek modların tespit edilmesi, ters çözüm işlemleri için önemli ölçüde katkı sağlar (Xia ve diğ., 2005).

1.2.2.1. MASW yönteminde veri toplama ve parametreleri

MASW yönteminde yüzey dalgaları dikkate alındığı için kaynak-alıcı (kaynak gücü, alıcı sayısı, alıcı frekansı, alıcı aralıkları) ve kayıt parametrelerinde (kayıt süresi, zaman örneklemesi) değişiklikler söz konusudur.

Bu yöntemde aktif kaynaklı ağırlık düşürme, balyoz, patlayıcı, vibro gibi çeşitli kaynak türleri kullanılmaktadır. İstenilen en geniş frekans aralığında kayıt üretmektir. Fakat patlayıcı, balyoz gibi kaynaklar ile yüksek frekans sinyalleri, vibro, ağırlık düşürme gibi kaynaklar ile düşük frekansları karakterize eder.

MASW yöntemindeki en etkili parametreler, alıcı aralığı, ilk alıcı uzaklığı, zaman örnekleme aralığı ve kayıt süresidir. Dispersiyon eğrisinin çözünürlüğünü için önemlidir. Kaynak-alıcı parametreleri Şekil 1.18'de gösterilmiştir.



Şekil 1.18. Kaynak-alıcı parametreleri ve yer modelinin gösterimi (Karslı, 2018)

MASW veri toplamada önemli olan kaliteli veriler toplamaktır ve buna bağlı olarak güzel dispersiyon eğrisi elde edilir. Dispersiyon eğrisinin karakterini tabaka parametreleri (V_S, V_P, ρ, h) çözünürlüğünü kaynak-alıcı parametreleri (X_0, L, dx, N) belirler. S-dalga hızı (V_s) ve kalınlık (h) içerisindeki her değişim dispersiyon eğrisine etki eder. Ancak aynı durum P-dalga hızı (V_P) ve yoğunluk (ρ)'nun değişimleri için söz konusu değildir. Bunun dışında dispersiyon eğrilerinin ayrımı ve çözünürlüğün elde edilmesi için,

- Eğrinin düzgünlüğü
- Eğrinin sürekliliği
- Modlar dayanabilirliği
- Faz hızı eğrisinin frekansla değişimi

- Düşük ve yüksek frekanslardaki kararsızlıklar/bozulmalar

- Dalga sayısı katlanması

gibi sorunların en aza indirgenmesi için önemler alınmalıdır.

Dalga boyu ile inceleme derinliği ve yüzey dalgalarının dispersif özelliklerini yüksek kalitede elde edebilmek için aşağıdaki temel kabuller uygulanmaktadır (Xia ve diğ, 1999).

- Yüzey dalgalarının oluşabilmesi ve dispersif özelliklerinin kaydedilebilmesi için, maksimum dalga boyunun yarısı kadar mesafeye ihtiyaç vardır ($X_0 \approx \lambda_{max}/2$). Bu sebeple yakın ofsetin seçimi önemlidir.

- Homojen bir ortamda maksimum nüfuz derinliği en uzun dalga boyunun yarısı kadar olduğudur ($Z_{max} \approx \lambda_{max}/2; \lambda_{max} = V_{max}/f_{min}$).

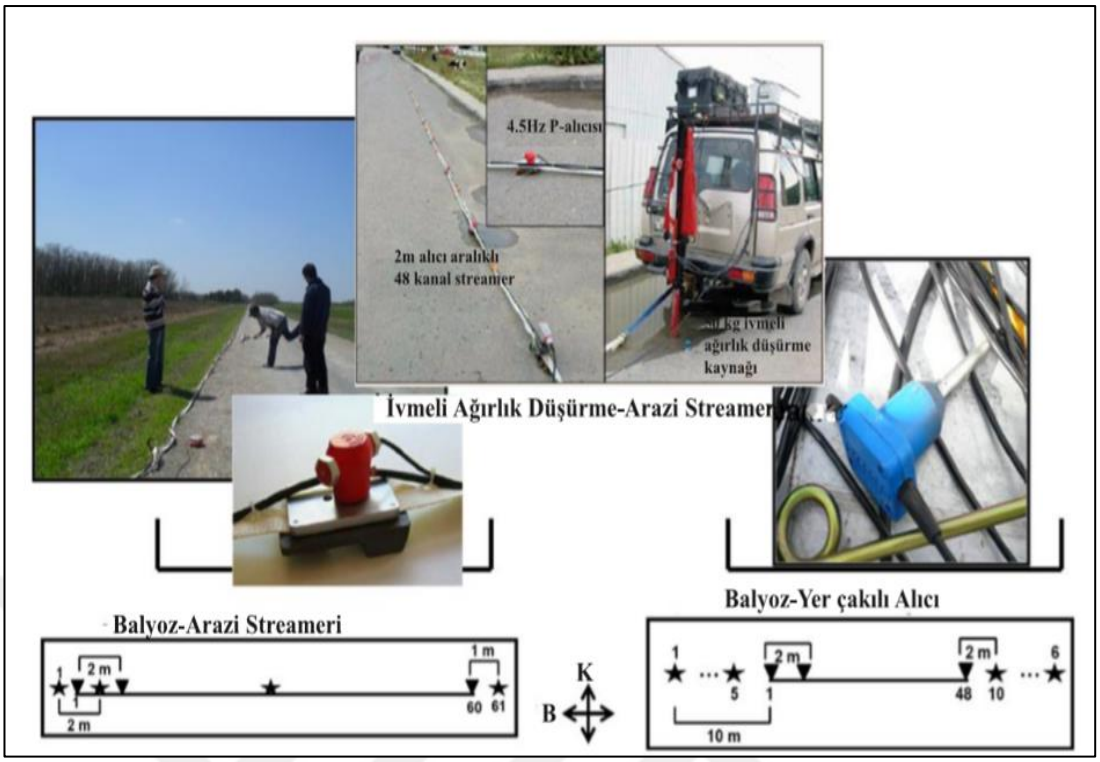
- Uzak alıcılarda hakim yüksek frekans bileşenlerini kaydetmek için, kaynaktan en uzaktaki alıcı mesafesi (profil boyu, $P=X_0+L$) inceleme derinliğinin iki katı seçilir ($P \approx 2^{\chi} Z_{max}; P \approx \lambda_{max}$).

- Uzaysal katlanmadan kaçınmak için, alıcı aralığı en kısa dalga boyunun yarısından daha büyük olmamalıdır ($dx \leq \lambda_{min}/2$).

- Dispersiyon eğrisinin ayrımlılığı alıcı serim boyu ile kontrol edilir. Daha uzun alıcı serimi daha yüksek ayrımlı dispersiyon görüntüsü sağlar.

1.2.2.2. Alıcı, alıcı aralığı (Δx) ve ilk alıcı uzaklığı / kaynak ofseti X_0

Aktif kaynaklı MASW yönteminde düşük frekans ve yüzey dalgasının dispersiyonunu kısa zamanda kaliteli kaydedebilmek için genellikle düşük frekanslı alıcılar tercih edilir. Uygulamada doğal frekansı 4,5 Hz'lik alıcılar kullanılmakta ve frekans bandı 2-70 Hz arasında değerlendirilmektedir. Düşük frekanslı alıcılar kullanılarak band yüksek çözünürlükte kayıt edilmektedir. Saha uygulamalarında genellikler ucu çivili olan alıcılar tercih edilmekte ve deniz sismiğinde olduğu gibi arazi streamerleri kullanılmaktadır. Streamer tipi alıcılar asfalt, yol ve benzeri yüzeylerde çalışmak için faydalı olabilir (Şekil 1.19).



Şekil 1.19. Kaynak ve alıcı çeşitleri (Karslı, 2018)

Alıcı aralığı dispersiyon eğrisinin elde edilmesinde sonucu en fazla etkileyen parametredir. Genel bir kabul olarak en küçük dalga boyundan daha büyük olmamalıdır ($\Delta x \leq \lambda_{min}$). Alıcı, serim boyunu artırılması veya azaltılması ile doğrudan ilişkilidir. Ancak uzaysal katlanma (veya dalga sayısı katlanması) sorunu yaşanmaması için yeterli uzunluk tercih edilmelidir. Bir (t,x) sinyalinin (f,k) dönüşümünde (f: frekans, k: dalga sayısı) genlik spektrumu A(f,k)=A(f,-k) olacak şekilde simetriktir. Zamansal Nyquist teoreminde ($F_{Nyq}=0,5/\Delta t$) olduğu gibi, maksimum dalga sayısı uzaklık örnekleme aralığına (Δx) bağlı olarak tanımlanır, $k_{Nyq}=\pi/\Delta x$. Böylece, $k>k_{Nyq}$ olan tüm enerji $k-2k_{Nyq}$ ortamına katlanacaktır. Katlanma yüksek dalga sayılarında gerçekleşir ve katlanmış spektrum yanlışlıkla yüksek mod enerjisi olarak değerlendirilebilir. Bu nedenle genellikle pozitif ve negatif dalgasayısı bölgeleri birleştirilerek katlanmış görüntü giderilmiş olur. Bu durumda minimum aranabilir dalga boyu, $\lambda_{min}=\Delta x$ olur. Dolayısıyla, en kısa dalgaboyları en üstteki tabaka hızları ve kalınlıkları hakkında mümkün olan bilgiyi sağlayacaktır.

Kaynak ile ilk alıcı uzaklığının (X_0) seçimi önemlidir. En uygun X_0 seçimi için iki temel görüş vardır:

- Kısa X_0 yakın alan etkilerinin düşük frekanslarla birleşerek onları bozmasına,

- Uzun X_0 soğurmadan dolayı özellikle yüksek frekanslarda Sinyal/Gürültü (S/G) oranının azalmasına neden olur.

Bu iki olay zemin koşullarına ve çalışma şartlarına doğrudan bağlıdır ve genelde en iyi X_0 kestirilemeyebilir. Genellikle bu aralık yüzey dalgalarının oluşabilmesi için önemlidir. Teorik olarak X_0'nın hedef derinlik kadar (yaklaşık olarak maksimum dalga boyunun yarısına eşit, $Z_{max} \cong \lambda_{max}/2$ olması ($X_0 \cong Z_{max}$) idealdir (Park vd. 1999), ancak bu maksimum dalga boyunun önceden tespit edilememesi ve derinlik arttıkça X_0'ın artması yüksek frekanslarda S/G oranın azalmasına sebep olduğu için uygulamada pratik değildir. X_0 mesafesi serim uzunluğunun %20'si (L/5) veya alıcı aralığının en azından 4 katı (4Δx) seçilmesi (Dikmen ve diğ., 2010) yararlıdır.

1.2.2.3. Zaman örnekleme aralığı (ΔT) ve kayıt süresi (T)

MASW yönteminde uzaklığa göre örnekleme aralığı ve kayıt süresi parametreleri diğer parametrelere göre daha az etkiye sahiptir. Zaman örneklemesi, Nyquist örnekleme teoremine uygun şekilde kaydedilecek en yüksek frekansa bağlı olarak seçilir. Kayıt süresi bütün alıcıların tam olarak kaydedilebilecek yeterlilikte olması gerekir. Verilerde yüzey dalgalarının olmadığı kısımlar veri işlem aşamasında veriden çıkarılır. Bu iki parametrenin seçimi için;

- Zaman örnekleme aralığı, Δt=1ms,

- Toplam kayıt uzunluğu T=1s (en yaygın kullanım),

- Düşük hızlar durumunda (Vs<100 m/s), daha uzun T (mesela, ≥2 saniye) önerilir.

- Uzun bir alıcı açılımı (L>100m) kullanılırsa, kayıt uzunluğu (T=2 s) önerilir.

- Herhangi bir durumda, aşırı uzun kayıt uzunluğu (T>5s) aktif bir ölçüm için uygun değildir. Çünkü çevresel gürültünün kaydedilme riskini artırır.

- Genellikle, 24-kanallı veri toplama uygundur. Eğer 48 kanal kullanışlı ise, artan L mesafesine göre kısa Δx önerilir. Veya her ikisinin birleştirilmesi de önerilir.

- Kanal sayısı fazla olduğunda dx mesafesinin kısalması sığ derinliklerde ayrımlılığı artırma imkânı gibi fazlalıktan dolayı veri analizi sırasında S/G oranı artırılmış olacaktır.

- Artan L'nin etkisi artan Z_{max} demektir.

- Farklı durumlardaki en uygun kayıt parametreleri için Tablo 1'de gösterilmiştir.

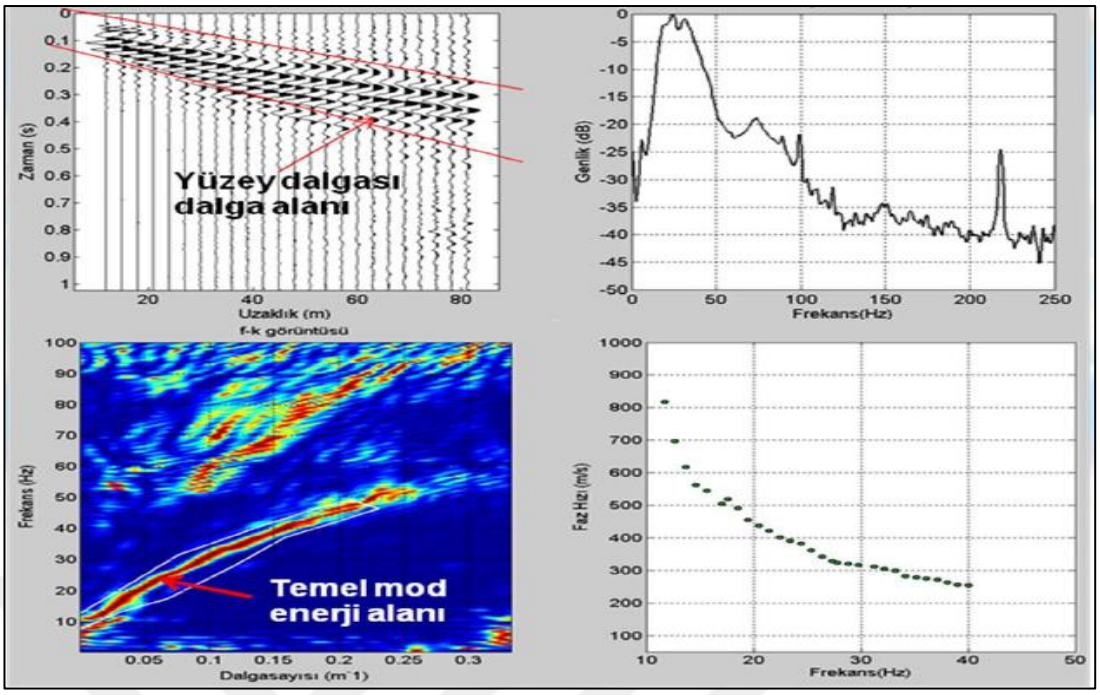
Tablo 1.1. Farklı materyal türü ve hız aralıkları için kayıt parametrelerinin seçimi (Karslı, 2018)

Materyal Türüχ V_s (m/s)	X_0 (m)	d_X (m)	X_M (m)	Optimum Alıcı Frekansı (Hz)	Optimum Kaynak Ağırlığı + (kg)	Kayıt Zamanı (s)	Örnekleme Aralığı (ms)
Çok yumuşak (V_s<100)	1-5	0,25-0,5	≤20	4,5	≥5,0	≥2,0	1,0
Yumuşak (100< V_s<300)	5-10	0,5-1,0	≤30	4,5	≥5,0	1,0	1,0
Sıkı (200< V_s<500)	10-20	1,0-2,0	≤50	4,5-10,0	≥5,0	0,5	0,5
Çok sıkı (500< V_s)	20-40	2,0-5,0	≤100	4,5-40,0	≥5,0	0,5	0,5

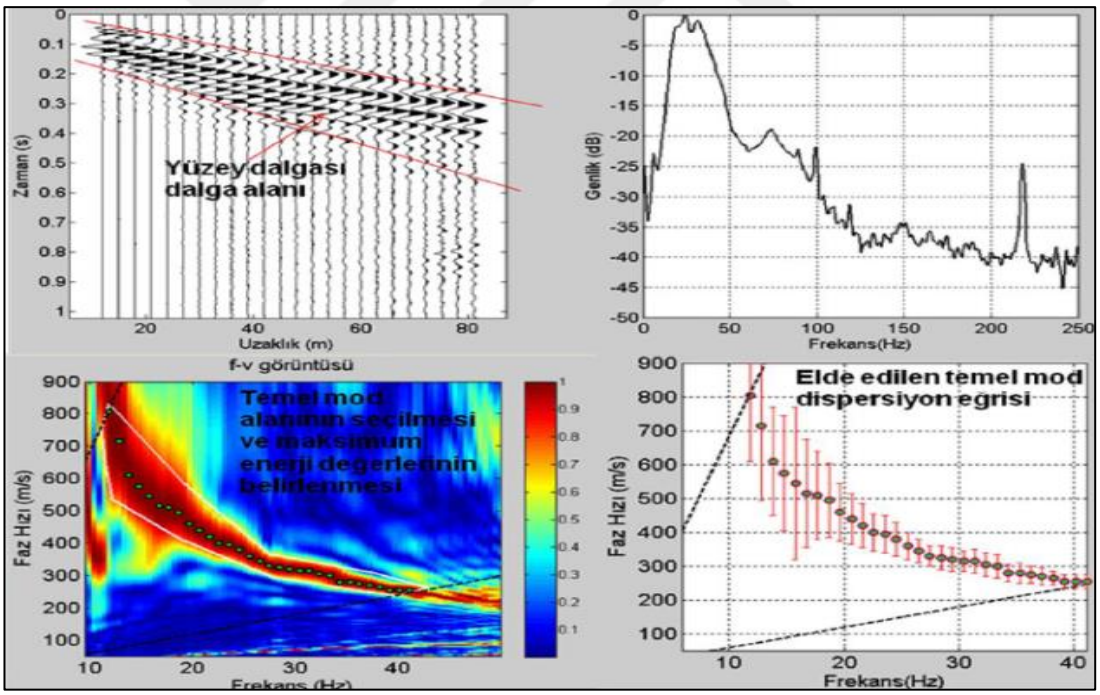
1.2.2.4. MASW yönteminde veri işlem

MASW verilerinden dispersiyon eğrisi elde etmek için üç yöntem kullanılmaktadır. Bunlar Frekans-Dalga sayısı (f-k), Frekans-Yavaşlılık (f-p) ve Faz Kayma yöntemidir. Yöntemlerin matematiksel teorileri birçok literatürde bulunmakta, 2B'lu Fourier dönüşümü sayesinde (x,t) ortamı verisi (f-k) ortamına aktarılır. Maksimum genliklere karşılık gelen frekans ve dalga sayısı değerleri işaretlenir. V=f/k ilişkisi ile yüzey dalgasına karşılık gelen faz hızı değerleri hesaplanır. Frekansa karşı çizdirilerek dispersiyon eğrisi elde edilmiş olur (Şekil 1.20). Yüzey dalgalarının ana enerji alanı (x,t) verisinin yuvarlatılmış ortalama spektrumundan görüntülenebilir.

Şekil 1.20'deki veri, temeli eğimli yığma veya kısaca (tau,p) dönüşümü sayesinde tau üzerinden frekans-yavaşlılık (f,p) ortamına aktarılır. Bu işlem (x,t) verisinin doğrudan frekans-faz hızı ortamına dönüşümünü sağlar (Şekil 1.21). Doğrudan hız ortamına geçiş sağlandığı için (f-k) dönüşümüne göre daha hızlı ve güvenilirdir. Bununla birlikte hız ayrımlılığı için dikkatli olunmalıdır.



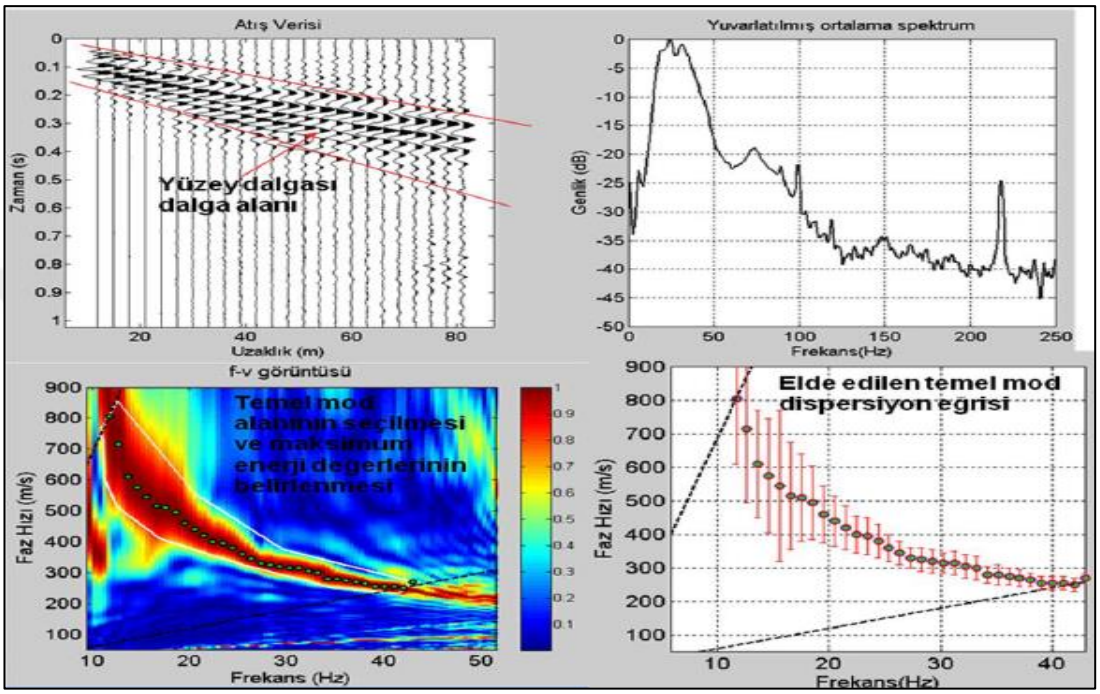
Şekil 1.20. F-k dönüşümü ile dispersiyon eğrisinin elde edilmesi (Karslı, 2018)



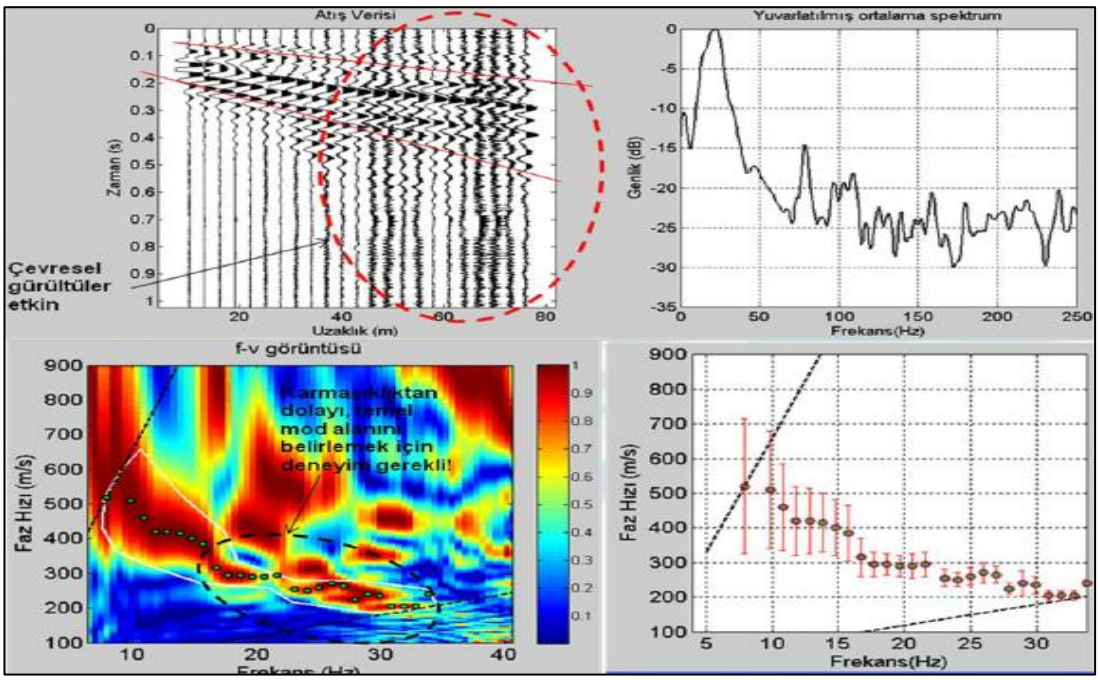
Şekil 1.21. Eğimli yığma dönüşümü ile frekans-faz hız eğrisinin elde edilmesi (Karslı, 2018)

Alıcı aralıklarının eşit olmadığı durumlarda (f-k) ve (f-p) yöntemleri tercih edilmez. Bu gibi durumlarda yayılan düzlem dalganın bir dizilimdeki alıcılara belirli bir faz kayması ile ulaşma ilkesine göre geliştirilmiş olan faz kayma tekniği kullanılarak dispersiyon eğrisi elde edilebilir (Şekil 1.22).

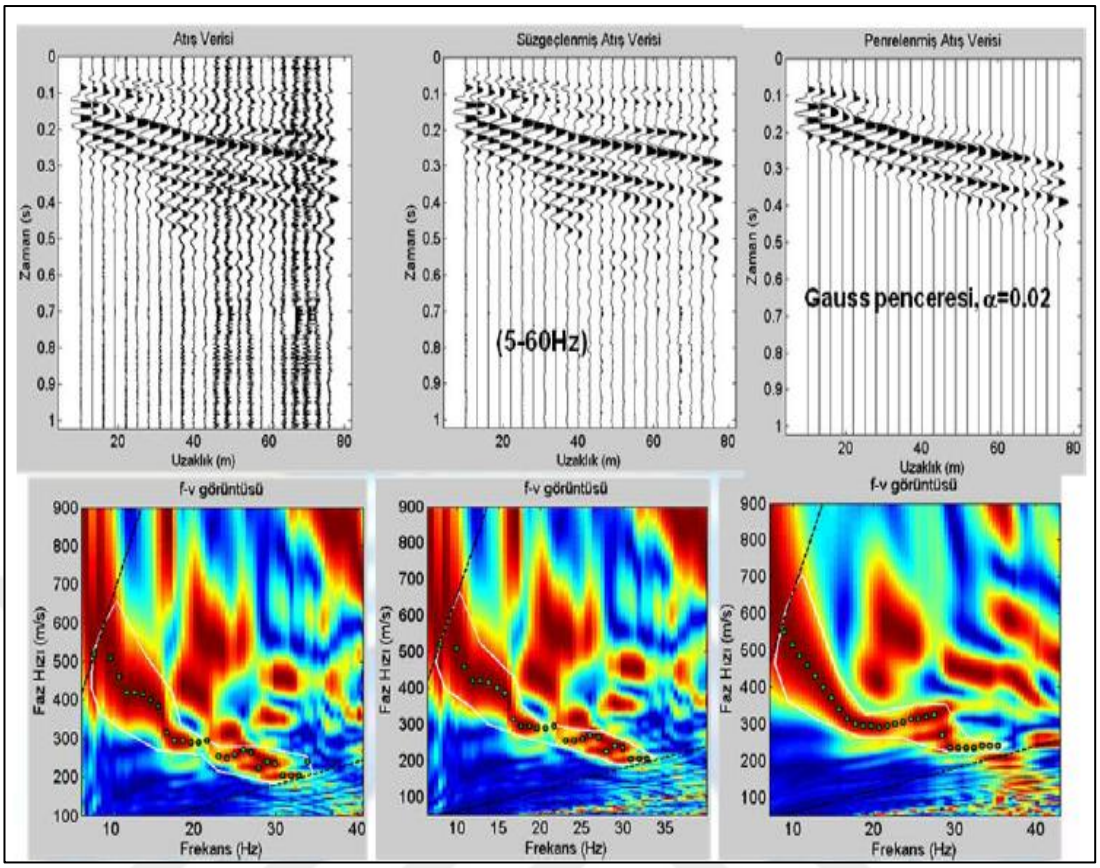
MASW verilerinde çevresel gürültülerde görülebilir. Çevresel gürültüler genellikle verinin gerçek değerlerini örter ve enerji odaklanması engelleyerek, saçılmalara neden olabilir (Şekil 1.23). Bu durumlarda gürültüyü pencereleme veya süzgeçleme gibi işlemler uygulanarak veri iyileştirilebilir. Bu işlemler temel mod enerji alanının odaklanmasını ve dispersiyon eğrisinin kararlılığını artırabilir (Şekil 1.24).



Şekil 1.22. Faz kayma tekniği ile dispersiyon eğrisinin elde edilmesi (Karslı, 2018)



Şekil 1.23. Çevresel gürültü içeren MASW verisi ve etkileri (Karslı, 2018)



Şekil 1.24. S/G oranını iyileştirmek için band geçişli süzgeçlemeve gauss penceresi kullanılarak pencereleme işlemlerinin uygulanması (Karslı, 2018)

1.2.2.5. MASW Yönteminde Ters Çözüm

MASW yönteminin son ve yorum aşamasıdır. Burada elde edilmiş olan dispersiyon eğrisine en uygun yer modeli çizdirilir. Ters çözüm için birçok sayısal teknikler geliştirilmiştir ve geliştirilmeye devam etmektedir. Ters çözüm işlemi, dispersiyon eğrisini (frekans-faz hızı değerleri) derinlik-kayma dalgası (V_S) hızı elde edilmesini içermektedir (Şekil 1.25). Kaba bir yaklaşımla kayma dalga hızı V_S ile yüzey dalgası faz hızı V_R arasında,

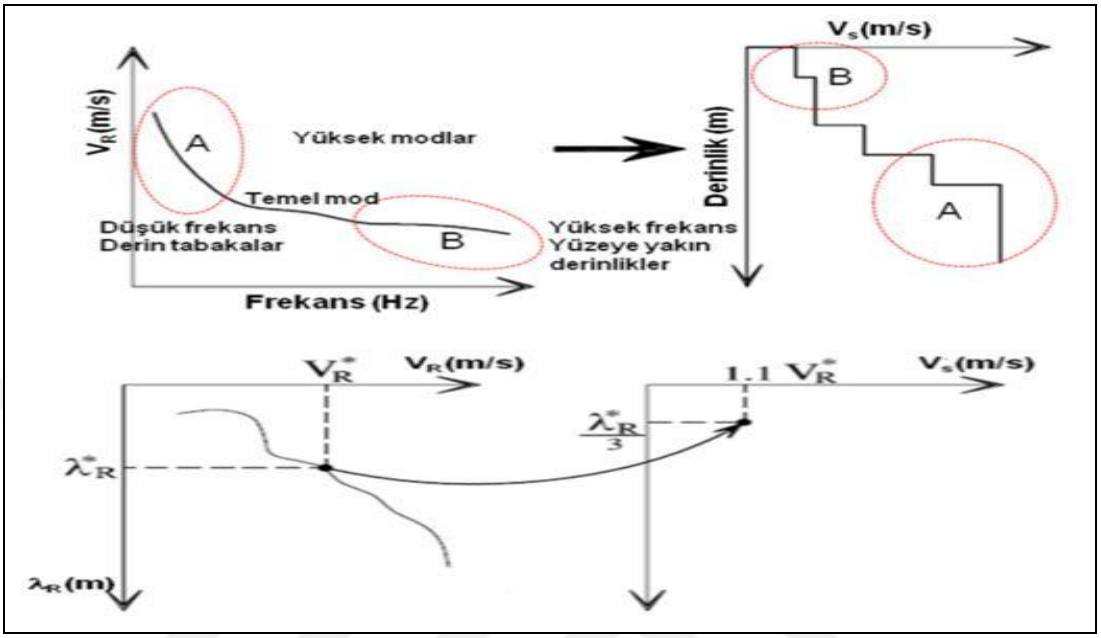
$V_S \cong 1{,}1^{\chi} V_R$(Poisson oranı, σ =0,2 için geçerlidir)

ilişkisi ile hesaplanabilir. Karakteristik dispersiyon denkleminin yaklaşık çözümü (Kurtuluş 2002),

$$V_R / V_s = (0{,}87+1{,}12\sigma)/(1+\sigma) \qquad (1.14)$$

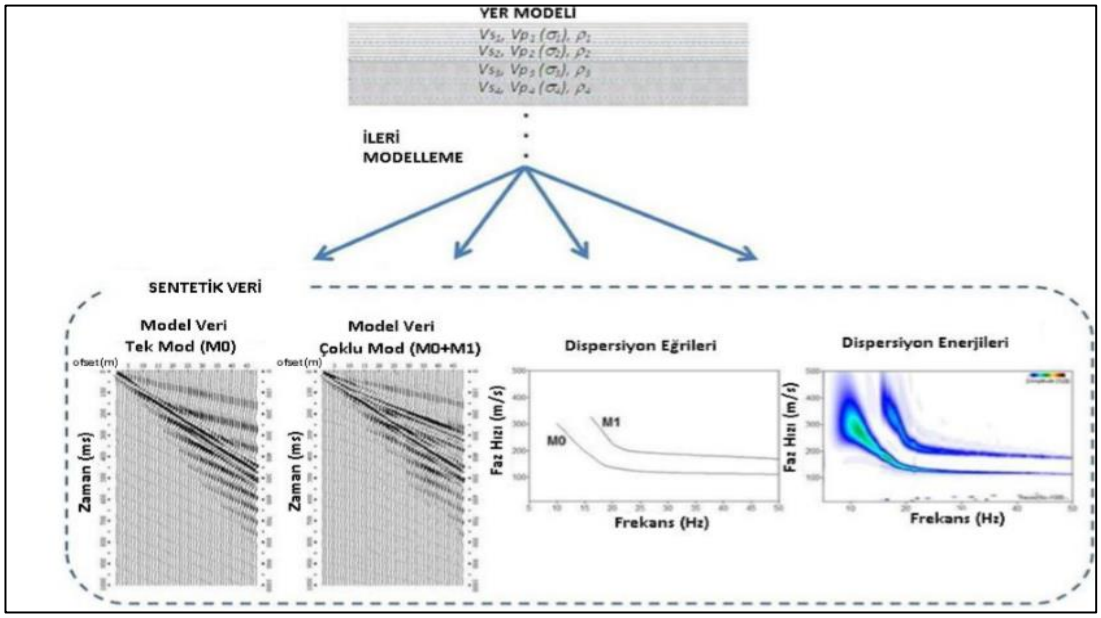
ile verilir.

Bu denklemde σ =0,2 yazılır.V_R / V_s=0,91 elde edilir. Poisson değeri arttıkça V_s hızı azalır. Bir profil boyunca elde edilen S-dalgası hız yapısı serimin orta noktasına atanı ve buna S-dalgası derinlik sondajı (SDS)'da denilebilir (Karslı, 2018).



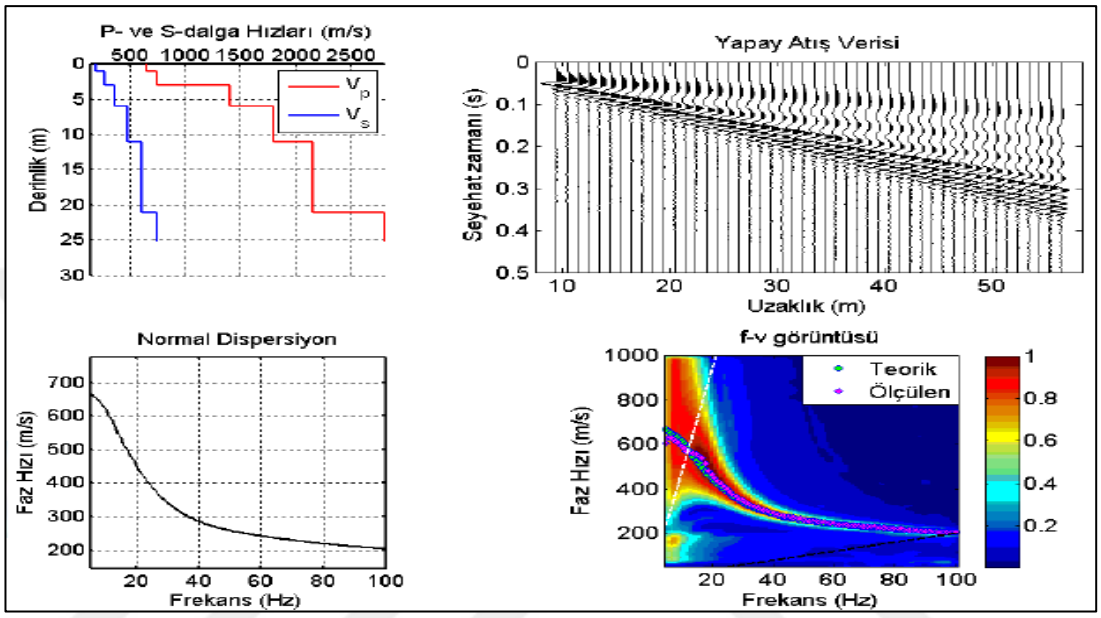
Şekil 1.25. Kaba bir yaklaşımla ters çözüm işlemi (Karslı, 2018)

İleri seviyedeki ters çözüm yöntemleri için ileri modelleme kullanılmalıdır. Yani parametreleri tanımlanmış bir tabakalı ortam için dispersiyon eğrisinin hesaplanmasıdır ve ters çözümün temelini oluşturur (Xia ve diğ., 1999) (Şekil 1.26).

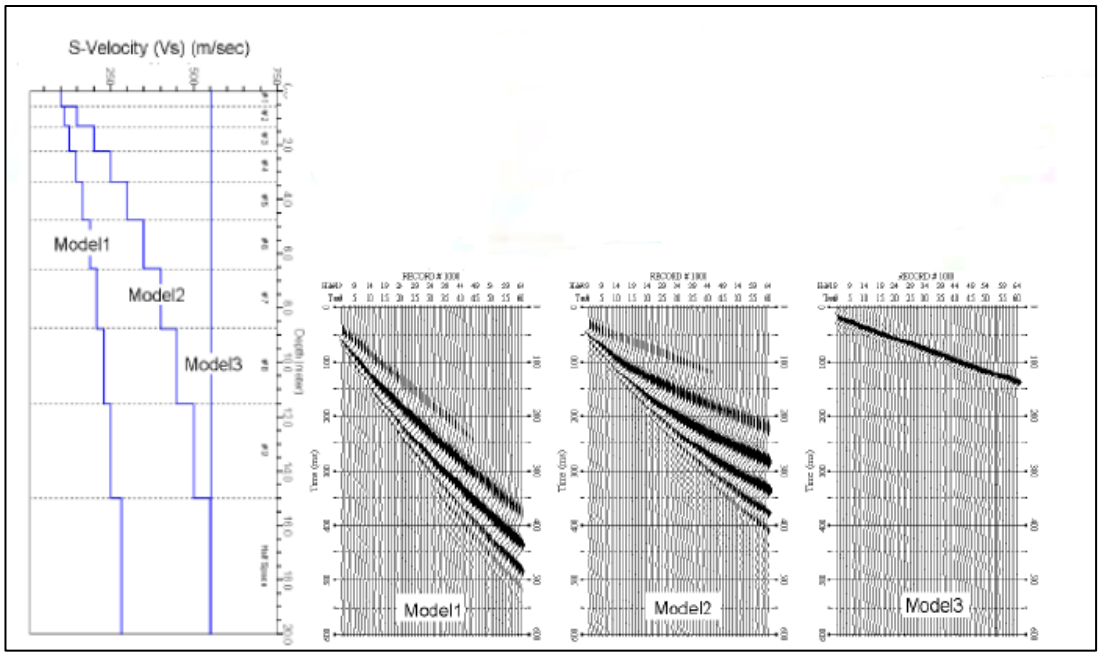


Şekil 1.26. Dispersiyon eğrisinin modelleme aşamaları (Xia ve diğ., 1999)

Şekil 1.27' de gösterilen yer modeli için elde edilen dispersiyon eğrisini, bu dispersiyon eğrisi kullanılarak hesaplanmış olan yapay atış verisi ve f-v dönüşümü ile yeniden piklenmiş olan dispersiyon eğrilerinin karşılaştırılmasını göstermektedir. Şekil 1.28 farklı yer modelleri için MASW kayıtlarının model sonuçlarını göstermektedir.

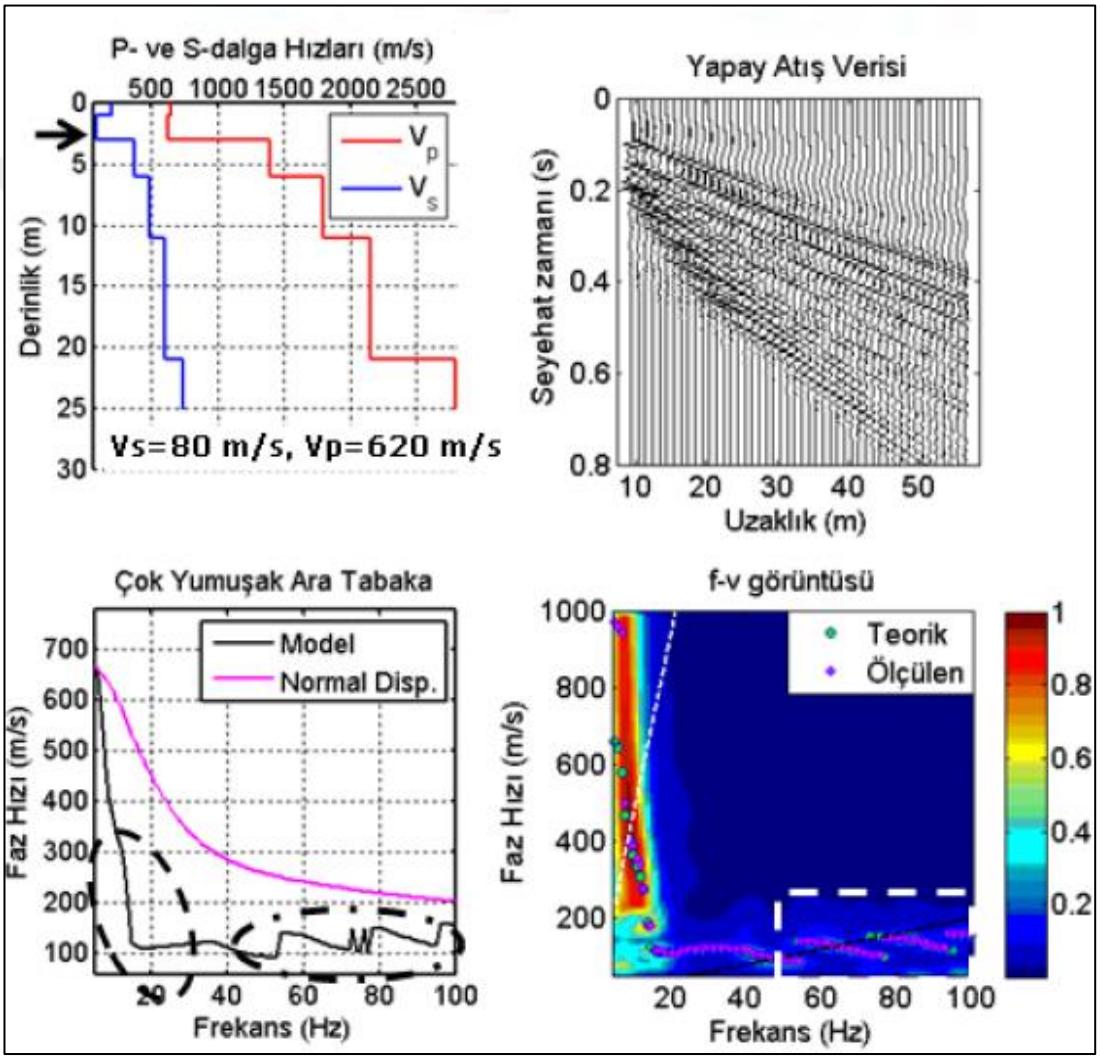


Şekil 1.27. Hızın derinlikle arttığı bir yer modeli dispersiyon ve MASW atış verisi modellemesi (Karslı, 2018)



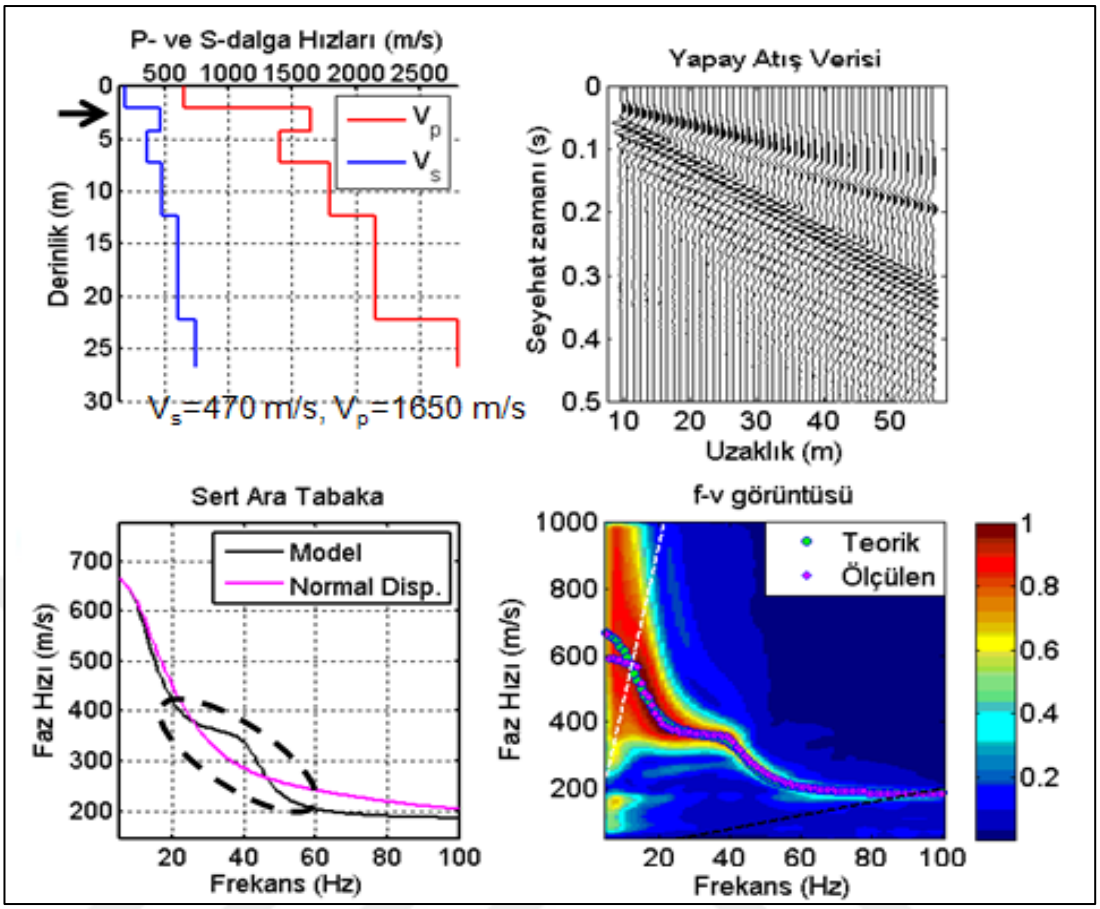
Şekil 1.28. Farklı yer modelleri için elde edilen MASW veri modellemesi (Karslı, 2018)

Yüksek hızlı tabaka arasında düşük hızlı tabakaların oluşması durumunda yumuşak ara tabaka oluşur. Dispersiyon eğrisi yüksek frekanslarda bozulmalara yol açar ve eğrinin oluşmasını zorlaştırır. Faz hızı düşük frekans bölgesinde hızlı bir şekilde azalım göstermekte olup aynı zamanda dispersiyon eğrisinin sürekliliğini engeller. Bu gibi durumlarda dispersiyon eğrisi zig-zag şeklinde gözlemlenir (Şekil 1.29). Siyah okla gösterilen ikinci tabakanın S-ve P-dalga hızları Şekil 1.27'de verilen modele göre azaltılmıştır.



Şekil 1.29. Yumuşak (softness) ara tabaka olma durumunda dispersiyon eğri modellemesi (Karslı, 2018)

Ani olarak hızın derinlikle artıp ve sonra tekrar azalım göstermesi, sert ara tabaka (stiffness) modeli olarak isimlendirilir. Kayıtları üzerinde görülen yelpaze şekli bu tür tabakalar için kullanılabilir. Dispersiyon eğrisi frekansla azalan ve artan şekilde ondülasyonlu bir davranış gösterir (Şekil 1.30).



Şekil 1.30. Sert ara (stiffness) tabaka olma durumunda dispersiyon eğri modellemesi (Karslı, 2018)

1.2.3. ReMi yöntemi

Pasif kaynaklı bir yöntem olmakla birlikte Yöntemde dalga alanı oluşturmak için herhangi bir yönteme ihtiyaç yoktur. Japonya'da ilk olarak kullanılmış, fakat 2000'li yıllardan sonra Amerika'da kullanılmaya başlanmıştır. Yöntemin veri toplama, işleme ve ters çözüm süreci Louie (2001) tarafından keşfedilmiş, Park (2004), Suzuki ve Hayasi (2003) ile geliştirilmiş ve ReMi adı konulmuştur.

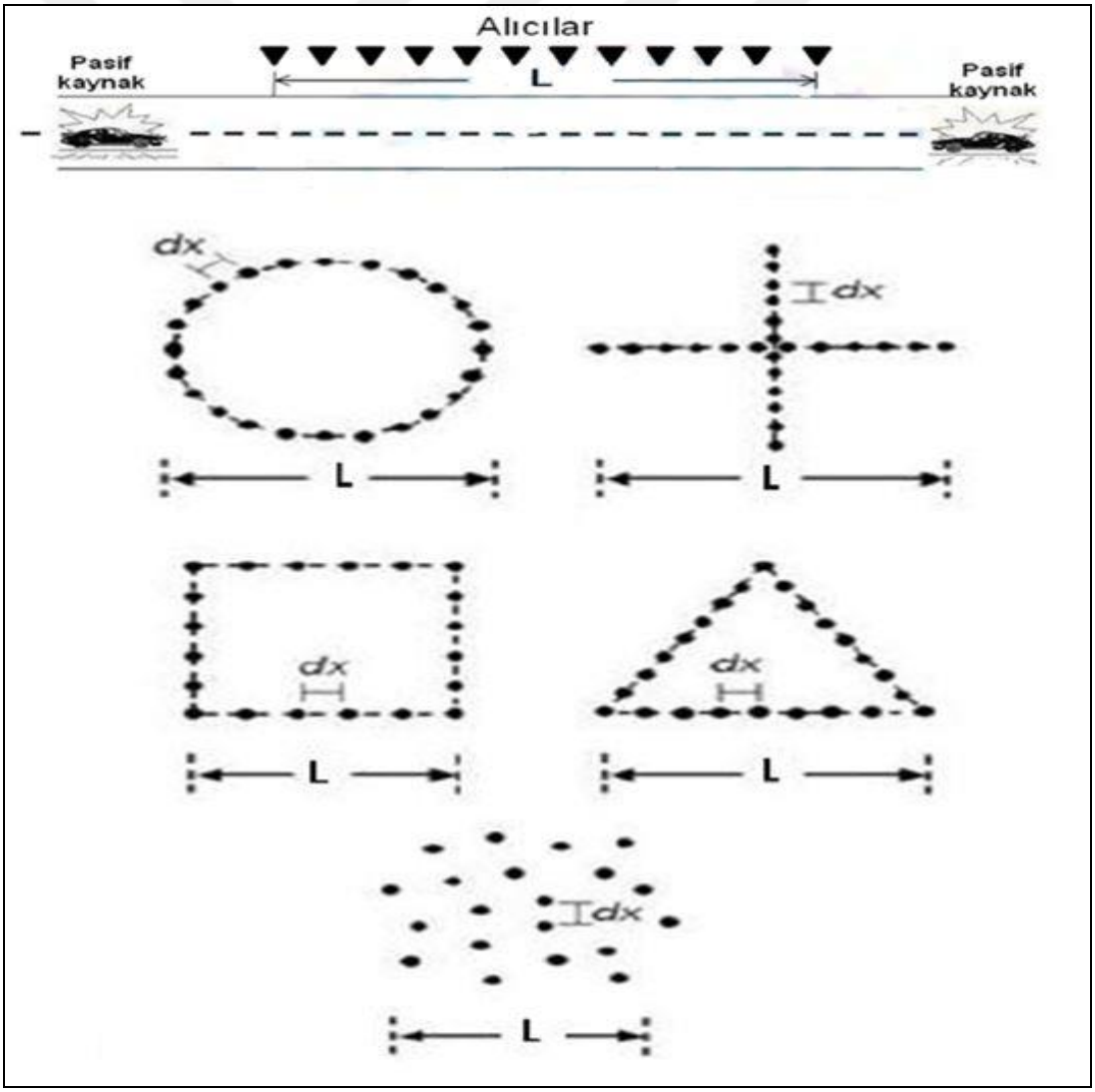
Doğal titreşimler, insan ve çevresel kaynaklı titreşimler kaynak olarak kullanılır. Titreşimlerin genlikleri 0,1-1,0 mikron ve periyotları 0,05-2 saniye arasında değişir ve bu sinyallere "mikro-tremorler" denir. Sismik kırılma düzeninde yerleştirilen alıcılarda kayıt edilirler.

MASW yöntemi yüksek frekans aralığında (10-70 Hz) ve daha sığ derinlikler (3-30 m) için kullanırken, ReMi yöntemi daha düşük frekanslar (5-15Hz) ve daha derin yapıların (30-100 m) incelenmesinde tercih edilir.

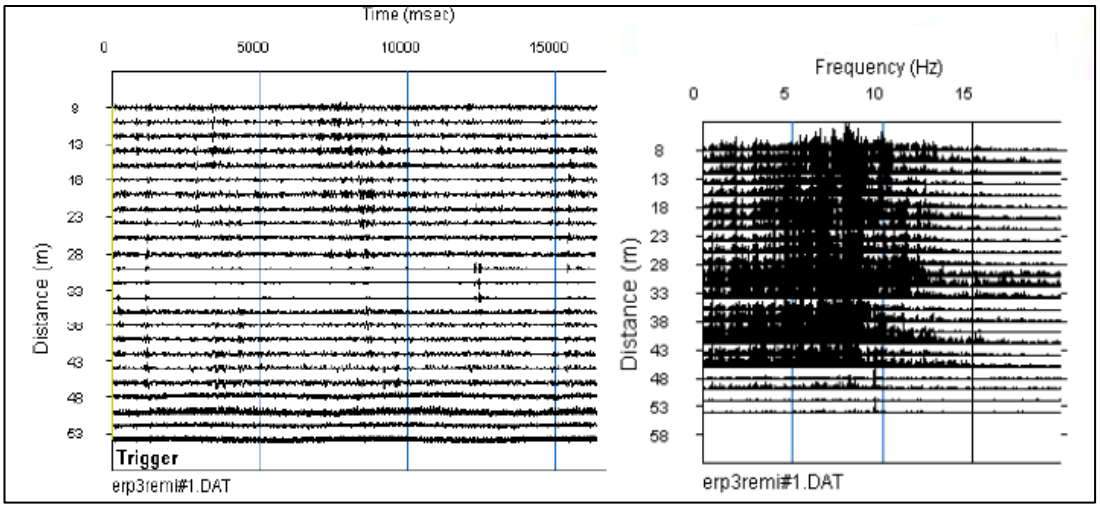
Kaydedilen sinyaller gürültü olup, N adet alıcıda uzun süreli olarak kaydedilir ve yüksek çözünürlüklü sayısal yöntemlerle işlenerek dispersiyon eğrisi oluşur. Veri toplamada bir profil boyunca dizilimler (Şekil 1.32) kullanıldığı gibi dairesel, üçgen, L tipi gibi farklı alansal dizilimlerde (Şekil 1.32) kullanılmaktadır.

Yöntemde dispersiyon eğrisinin ters çözümü MASW yöntemi ile benzerdir. Aynı serim için en az 10 yığmalı kayıt alınmalıdır. Bu 10 yığmalı kayıt dispersiyon eğrisinin elde edilmesinde birlikte değerlendirilir. Örnek bir ReMi kaydı ve FX spektrumu Şekil 1.32'de gösterilmiştir.

Derin incelemeler için daha uzun dalga boyları oluşması gerekir. Bu sebeple yüzeyde daha geniş alanda deformasyona ihtiyaç vardır.



Şekil 1.31. ReMi yönteminde veri toplanırken kullanılan doğrusal ve alansal dizilimler (Karslı, 2015-2016)



Şekil 1.32. Örnek bir ReMi kaydı (Karslı, 2015-2016)

Tablo 1.2. MASW ve ReMi karşılaştırma tablosu (Karslı, 2015-2016)

	ReMi	MASW
Kaynak	Pasif (Trafik, çevresel gürültüler)	Aktif (Balyoz, Ağırlık düşürme ve diğ.)
Alıcı Sayısı	≥12	≥12
Alıcı Doğal Frekansları	1-10 Hz	4,5 Hz ≥
Alıcı Tipi	Düşey Bileşen	Düşey Bileşen
Kayıt Süresi	10-60 saniye	1-4 saniye
Örnekleme Aralığı	2,0 milisaniye	0,5-1,0 milisaniye
Kullanışlı Frekans Aralığı	2-20 Hz	10-70 Hz
İnceleme Derinliği (H)	Genellikle maksimum 100m	Maksimum 30m
Serim Boyu (İlk alıcı – son alıcı arası mesafe = L)	İnceleme derinliğine göre değişir (H=L/2)	İnceleme derinliğine göre değişir (H=L/2)
Bir serimdeki kayıt ve/veya yığma sayısı	Kısa serimler için 4-5 adet Uzun serimler için 8-10 adet	Çevresel gürültü ve kaynak gücüne bağlı olarak 3-10 yığma
Dalga Yayılımı	Farklı doğrultularda	Yaklaşık alıcı dizilimi doğrultusunda
Kaynak konumlama	Belirsiz	Kontrol edilebilir
Kaynak fonksiyonu	Belirsiz	Ölçülebilir – Tahmin edilebilir

1.2.4. Mikrotremor yöntemi

Yüzey dalgalarından olan dispersif Rayleigh dalgaları oluşan mikrotremorlerden faz hızı dispersiyon bilgisinin elde edilmesinde kullanılan bir diğer yöntem, dizilim işlemedir. Alıcılar arasında kalan ortamın hız yapısını ve geliş açısı hakkında bilgi verir. Dalga sayısı vektörü, uzay-zaman ortamında kaydedilen sinyalin hızını ve yayınım doğrultusunu gösteren bir büyüklüktür. Güç spektrumunun aldığı en büyük

hız bulunursa o frekansa karşılık gelen faz hızı bulunmuş olur. Mikrotremorlerin kullanıldığı analizlerde, hem doğrusal hem de dairesel dizilimler ile kullanılmaktadır.

Yöntemde doğrusal dizilimler, frekans dalga sayısı dönüşümüne karşılık gelir. Fourier dönüşümü ile zaman-uzay ortamındaki dalga alanı, frekans dalga sayısı ortamına aktarılır. Pasif kaynaklı bir yöntem olduğu için dalga sayısının çözünürlüğü önemlidir. Güç spektrumunun en büyük değeri aldığı frekans dalga sayısı çifti bulunur. Her doğrultudan yayınım göstermeleri olası dalga alanlarının genliklerinin eşit olması ihtimalini göz önünde bulundurur. Genlikleri farklı olan dalga alanları için benzer saçılmalar olmasına karşın, gözlemlenen faz hızları, gerçek dispersiyon eğrileri ile daha uyumludur (Bozdağ, 2002). Yapılan çalışmalar sonucunda dizilimin yarıçapı ve alıcı sayısı arttırıldığında elde edilen sonuçlar, gerçek dispersiyon eğrisinin yaklaşık olarak bulunabileceğini göstermiştir. Yani gerçek dispersiyon eğrileri elde edilmesi için dizilim boyutları önem taşımaktadır. Yüzey dalgalarının yüksek modlarının oluşmasında kullanılan kaynağın özellikleri ve derinlikleri önemlidir. Mikrotremor kaynak olarak kullanıldığında çok fazla yüksek mod elde edilmemektedir. Çünkü mikrotremorlerin, Rayleigh dalgasının temel modundan oluştuğu düşünülmektedir ve temel mod faz hızına kıyasla Rayleigh dalgalarının yüksek modları daha hızlıdır. Yüksek mod, dispersiyon eğrilerinin elde edilmesinde önemli bir etken olduğu için, S dalga hız yapısı bulunurken yapılan ters çözüm işlemlerine katkı sağlar (Xia ve diğ., 2005).

1.2.4.1. Işın parametresi - kesme zamanı (p,τ) dönüşümü

Buradaki amaç, uzay-zaman ortamındaki veriden yansımaları, kırılmaları, kırınımları ve yüzey dalgalarını ayırabilmektir. Zaman-uzaklık (x,t) ve ışın parametresi-kesme zamanı (p,τ) arasındaki ilişki,

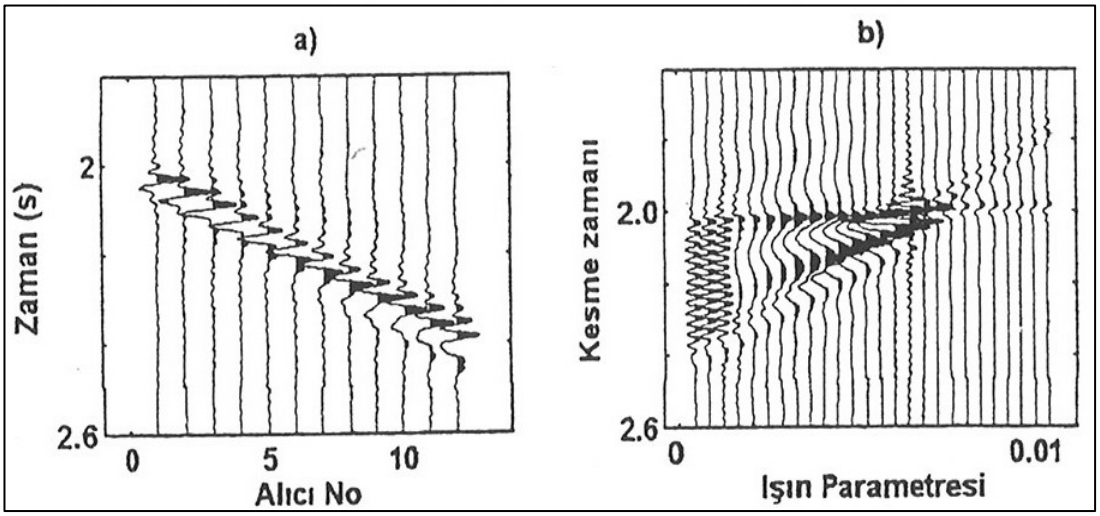
$$t= \tau + px \tag{1.14}$$

bağıntısı ile tanımlanır.

τ, kesme zamanı, p ise ışın parametresi ya da yatay yavaşlık olarak ifade edilir. Denklem seyahat zamanı eğrisindeki herhangi bir noktaya çizilen, zaman eksenini kestiği nokta τ ve eğimi p olan, bir doğruya karşılık gelir. Zaman-uzaklık eğrisinin türevini alınarak ışın parametresi elde edilebilir.

Sismik gürültü verisine uygulanan ilk veri işlem p − τ dönüşümüdür. Bu dönüşümün sismik yöntemlerdeki uygulamalarından birini, kırılma verisinden hız analizi ile McMechan ve Yeldin (1981), vermişlerdir. Sonra farklı bir uygulama ile Louie (2001), pasif kaynaklı çalışmalarda da göstermiştir. Bir dalga alanı dönüşümü olan p − τ dönüşümü, doğrusal dizilimler ile kullanılan frekans dalga sayısı dönüşümüne denk gelen frekans ortamı ışın biçimlendirme yöntemine teorik olarak eşdeğerdir.

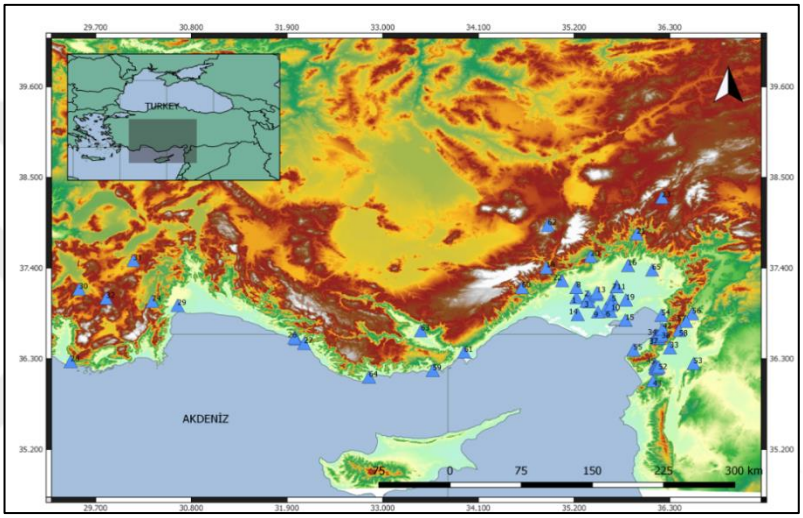
Sismik kırılma çalışmalarındaki gibi, bu dönüşüm ile yapılan analizler de bir boyutlu dizilim gerektirir. Dizilim geometrisi doğrusaldır ve pasif kaynakla çalışılır. Dalga alanının yayınım doğrultusunun belirsizliğinden kaynaklanan sorunlar için pasif kaynakla çalışırken mikrotremor kaynağının konumuna dikkat edilmelidir. Dizilim uzunluğu ve alıcı sayısı artırılarak düşük frekanstaki çözünürlükler arttırılabilir. Alıcı aralıkları seçilirken dalga sayısı katlanması dikkate alınmalıdır. Bu sorunun giderilmesi, alıcılar arsındaki mesafenin en küçük dalga boyunun yarısından az olmasına bağlıdır (McMechan ve 45 Ottolini, 1980). Alıcılar arasındaki mesafeyi sabit tutarak, sayılarını arttırması güç spektrumu zarfını daraltacak ve dispersiyonun daha da belirgin hale gelmesini sağlayacaktır.



Şekil 1.33. a) x-t ortamındaki veri ve b) p −τ dönüşümü uygulandıktan sonra elde edilen görüntü (Acarel, 2003)

2. ARAZİ UYGULAMASI

Bu çalışmada, Akdeniz bölgesindeki 65 kuvvetli hareketli istasyonda S-dalgası hızının sığ zeminlerde dağılımını araştırmak için Sismik kırılma, Çok Kanallı Yüzey Dalgalarının Analizi (MASW), kırılma mikrotremoru (ReMi) ve mikrotremor çalışmaları yapılmıştır (Şekil 2.1).

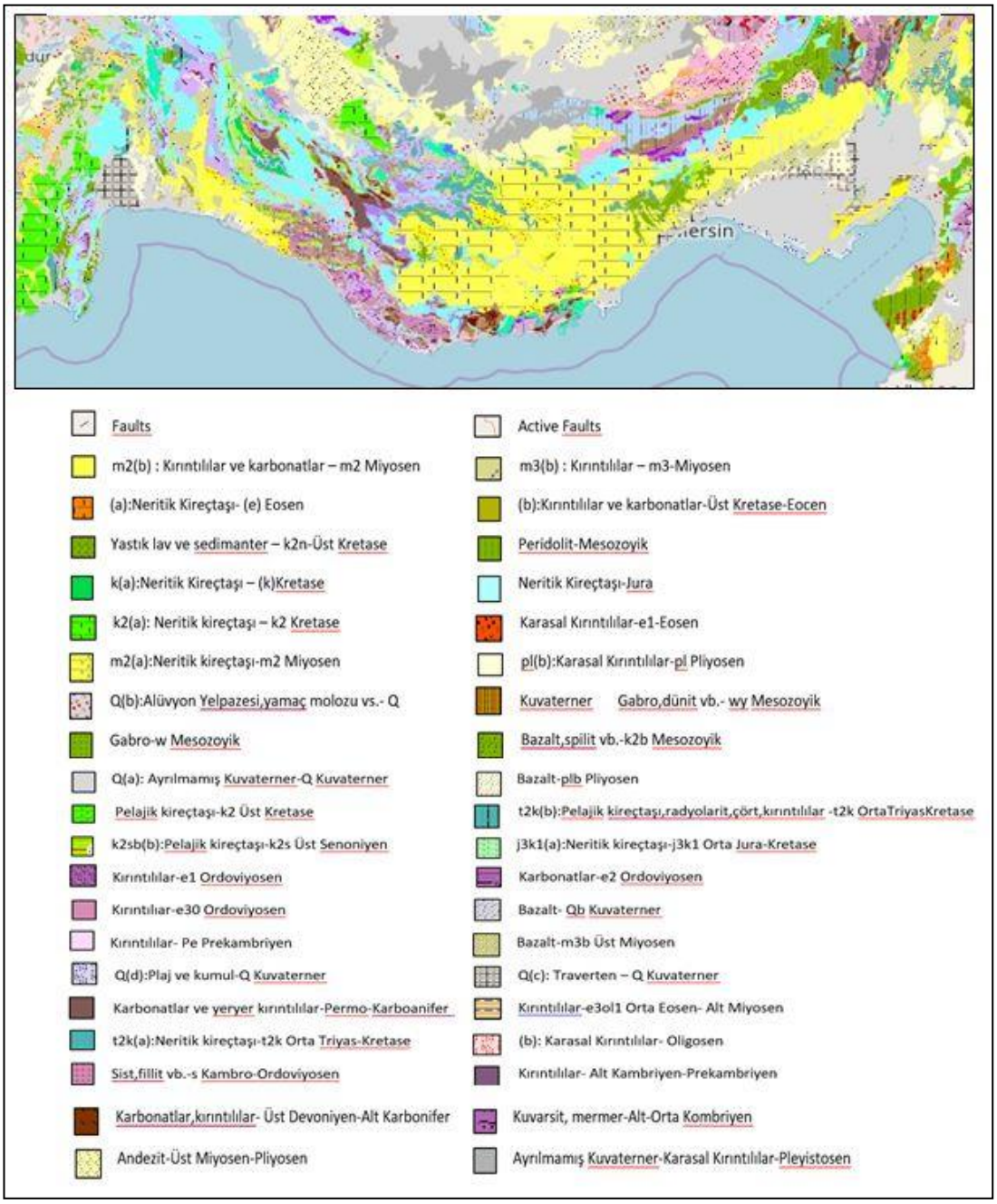


Şekil 2.1. Çalışma alanının yeri üçgenler ölçüm istasyonların belirtmektedir

2.1. Bölgenin Jeoloji ve Tektonik Yapısı

Miyosen yaşlı Netritik kalkerler genellikle Hatay bölgesinde bulunur. Bölgenin doğusunda miyosen yaşlı karbonat ve plastikler oluşur. Ordovisyen yaşlı karbonatlar, Jura Neritic kalkerleri, düşük-orta Kambriyen kuvarsları ve Kuaterner kalkerleri orta kıyı bölgelerindedir. Doğu Toros Dağları'nın güney ucundaki Amanos Dağları ve Kızıldağ ofiyolit masifi de bölgenin jeolojisinde önemli bir yere sahiptir (Şekil 2.2). Pleistosen ayrışmamış klastik genellikle Adana ve Hatay bölgelerinde bulunur. Akdeniz bölgesindeki dağların çoğu batı ve orta Torosları oluşturur. Amanos Dağları ve Samandağ, bölgenin doğusunda bulunan önemli dağlar arasındadır. Akdeniz bölgesi ve çevresindeki sismisite, Avrasya'ya göre kuzeye doğru hareket eden Afrika ve Arap levhalarının bir sonucu olarak oluşmuştur. Afrika plakası Avrasya ile ilgili olarak yılda yaklaşık 10 mm kuzeye doğru hareket etmektedir (Irmak ve Özer, 1999).

Bölgedeki derin yapılar, genellikle E-W yönelimli yamaç-yer değiştirmeli normal faylar, kuzey-güney-yönelimli grev kayma faylanması ve çalışma alanının batısında yine bu tektonik sonucu geliştiren graben-horst blok sistemlerinden oluşmaktadır.



Şekil 2.2. Akdeniz Bölgesi'nin jeolojik haritası [31]

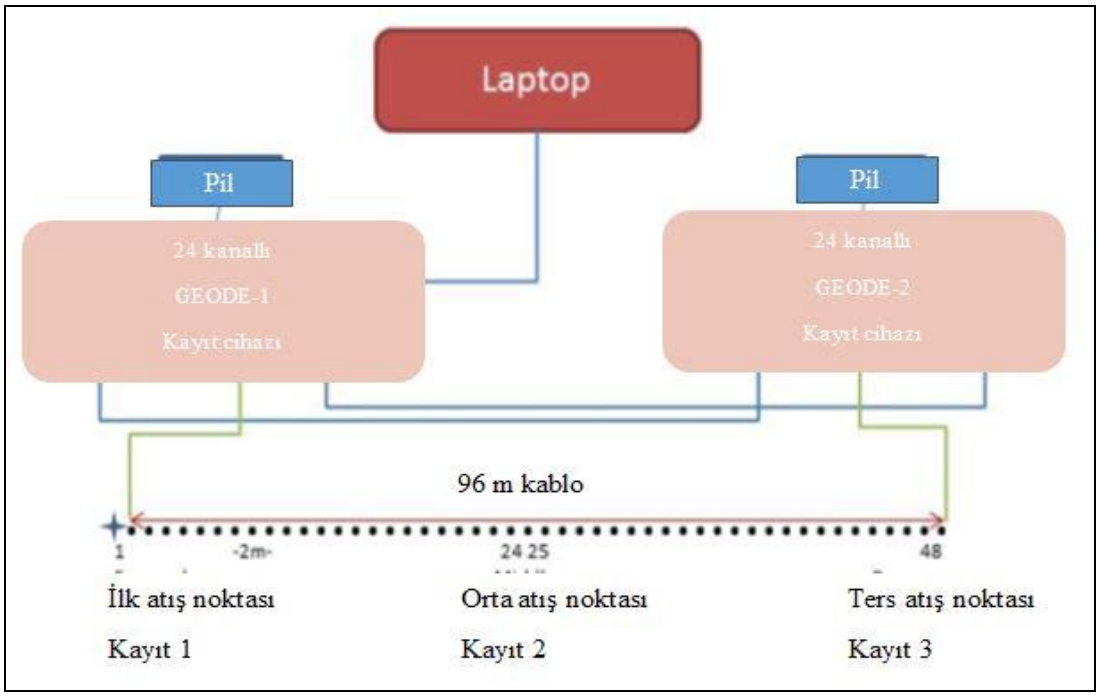
2.2. Veri Toplama ve Analizi

Türkiye'nin Güneyindeki Akdeniz Bölgesi'nde bulunan AFAD'ın 65 kuvvetli hareket istasyonunda sismik kırılma, MASW, ReMi ve mikrotremor verileri toplandı.

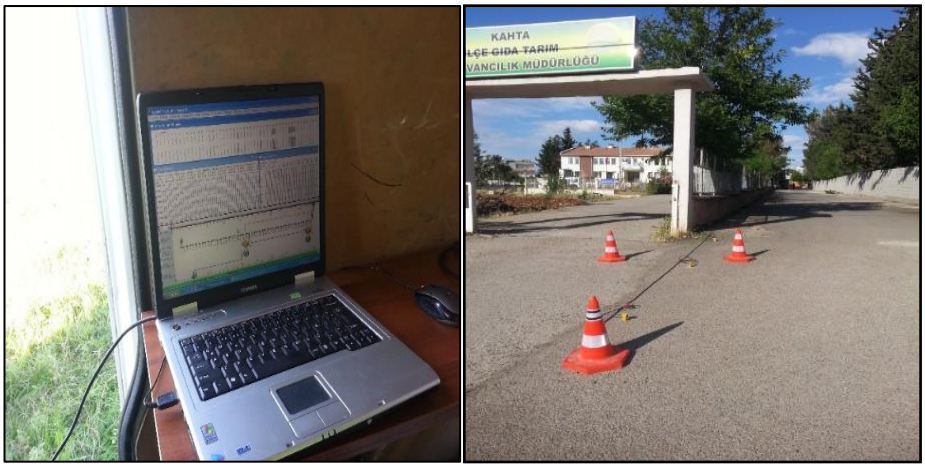
2.2.1. Çok kanallı yüzey dalgaları analizi (MASW) çalışması

Çalışmada Geode (2x24) model sismik ölçü cihazı, bilgisayar, akü, patlatma ve tetikleme (trigger) kablosu, 4,5 Hz'lik 48 tane jeofon, jeofon kablosu, Electronic Seismic Source cihazı ve GPS kullanılmıştır.

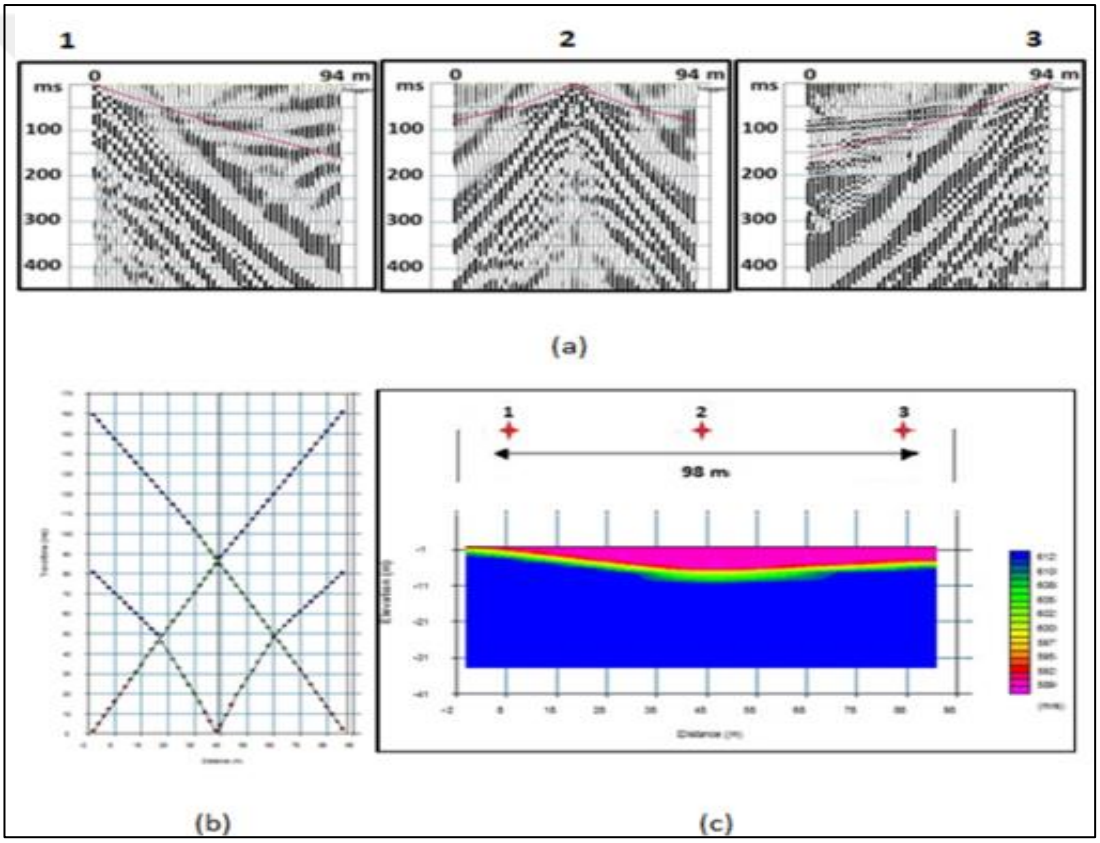
Sismik kırılma verileri 2 saniye boyunca 50 kg ağırlığındaki bir damlalı enerji kaynağı kullanılarak 1 saniye örnekleme oranıyla, 48 tane 4,5 Hz P dalgalı jeofonlar, 2m jeofon aralıklarına sabitlenerek kaydedilmiştir (Şekil 2.3). Her iki taraftaki atış kayıtları, en üstteki 30 m'nin V_{S30} profillerini tahmin etmek için yüzey dalgalarının (MASW) analizinde kullanılmıştır. Atış kayıtları, kırılan ve yansıyan dalgalardan, önce ve sonra susturularak izole edilmiştir. Düşük ve yüksek frekanslı gürültüyü gidermek için 2-4, 36-48 Hz bant geçiren filtreler kullanılmıştır (Şekil 2.6a). Daha sonra, verileri ofset zamanından, frekans alanına karşı faz hızına dönüştürmek için düzlem dalga ayrıştırma işlemi uygulanmıştır (Park ve diğerleri, 1999; Xia ve diğerleri, 1999). Bu etki alanından, temel yüzey dalgalarının dağılım eğrisi çıkarılmıştır. Dağılım eğrisini ters çevirerek derinliğin bir fonksiyonu olarak S-dalga hızı belirlenmiştir. Temel mod için, faz hızının frekansa göre değişimini temsil eden dağılım eğrisi gösterildiği gibi belirlenmiştir.



Şekil 2.3. 48 kanallı doğrusal alıcı ile MASW veri toplama şeması

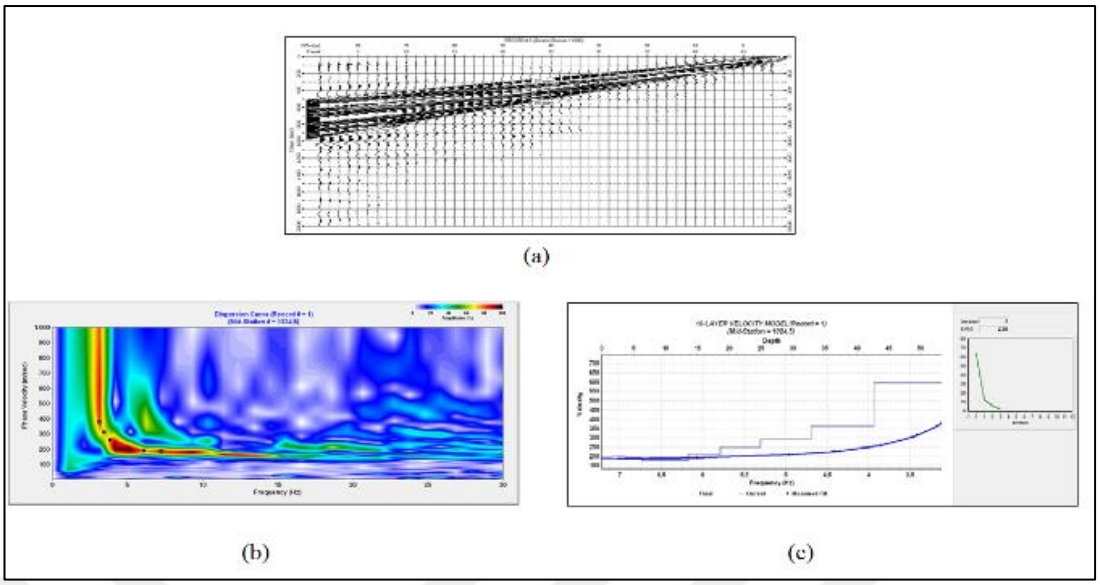


Şekil 2.4. Ölçü alınan alan ve kullanılan bilgisayar



Şekil 2.5. a) Kırmızı çizgi ile gösterilen, 0117 no'lu istasyonda toplanmış olan, ilk varış zamanlarının seçilmesi ile oluşturulmuş sismik kırılma kayıtları, b) Orta nokta vuruşunun hareket zaman eğrileri, c) P dalgası hız-derinlik modeli

Bu dağılım eğrisi, sabit bölgenin S-dalga hız-derinlik profilini ve inversiyon yöntemiyle S-dalga hız-derinlik profilini, belirlemek için kullanıldı (Şekil 2.6b). Frekans ve faz hızının değişimini gösteren dağılım eğrisi. Temel mod için Şekil 2.6c'de gösterilmiştir.



Şekil 2.6. a) 0117 kodlu istasyondaki kırılma ve yansıyan dalgalardan ayrılmış atış kaydı, b) yüzey dalgalarının MASW dağılım spektrumu. MASW, S dalgası derinliği profili (mavi) ve modellenmiş dağılım eğrisi (siyah), c) Vs derinliği profili ve modellenmiş dağılım eğrisi

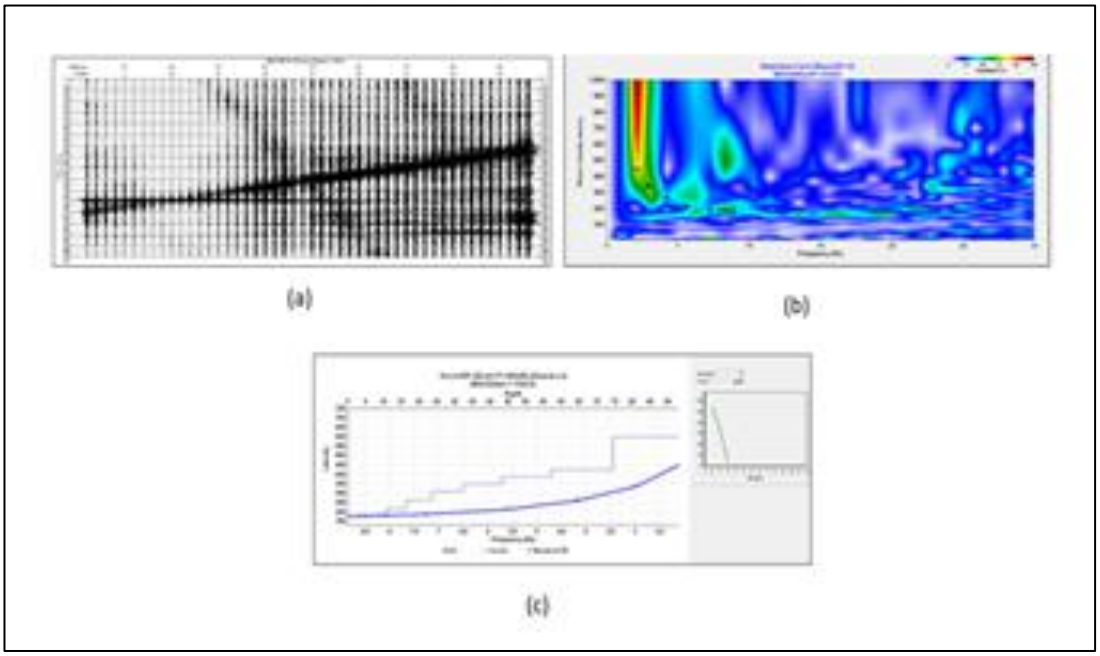
ReMi verileri sismik kaynak ile aynı alan deseninde 2 sn örnekleme hızı ile, genellikle rüzgar ve trafikten gelen ortam gürültüsü kullanılarak 32 saniye olarak kaydedilmiştir. Her ReMi kurulumunda 24-25 kayıt yığılmıştır. Rayleigh dalgaları, her iki yönde de gürültü kayıtlarının iki boyutlu yavaşlık frekansları (p-f) dönüşümlerini kullanarak diğer dalgalardan ayrılır. Rayleigh dalga dispersiyonu, yavaşlık frekansı spektral görüntüsünde enerjinin minimum hız zarfı boyunca seçilir. Bu Rayleigh dalga dağılım eğrileri, kayma dalga hızı derinlik profilini belirlemek için hız-derinlik modeli kullanılarak modellenmiştir. Zaman-mesafe verileri, Şekil 6a'da gösterilmektedir. Temel yüzey dalgaları modunun dağılma eğrisi bu alandan alınmıştır. Derinlik fonksiyonu olarak S-dalga hızı, dağılım eğrisini ters çevirerek belirlendi (Şekil 2.7b) .Bu dağılım eğrisi, inversion yöntemi ile sabit bölgenin S-dalga hız-derinlik profilini, belirlemek için kullanıldı.

2.2.2. Mikrotitreşim (ReMi) çalışması

ReMi çalışmasında Geode (2x24) alet tipi kullanılmıştır. Jeofon aralığı 2 m, Jeofon frekansı 4,5 Hz, kanal sayısı 48, toplam ölçüm sayısı 3, kayıt süresi 32 s'dir. Yapılan çalışma sonucunda: Şekil 2.7a'da görülen Rayleigh-türü yüzey dalgaları, önce ynsıyan ve kırılan dalgalardan gürültü olarak nitelenen genliklerin sıfırlanarak giderilmesinden ('muting') sonra 2-4, 36-48-Hz bant-geçişli süzgeçlemeye

(‘filtering’) tabi tutulmuş, düşük ve yüksek frekanslı gürültülerden arındırılmıştır. Alınan kayıtların değerlendirilmesinde SurfSeis5 (2015) programı kullanılmıştır.

Şekil 2.7 b’de düşey eksen Rayleigh türü yüzey dalgalarının faz hızını temsil etmektedir. Rayleigh dalgalarının her bir frekans bileşeninin farklı faz hızlarla yayıldığı, diğer bir deyişle bu dalgaların zemin içinde dispersif karaktere sahip olduğu izlenmektedir. Rayleigh dalgalarının enerjisinin en büyük payı, her olay için olmamakla birlikte çoğu kez temel mod (‘fundamental mode’) türüne aittir. Bu mod için, faz hızının frekansa göre değişimini temsil eden bir faz hız eğrisi (dispersiyon eğrisi) şekilde görüldüğü gibi tespit edilmiştir. Bu dispersiyon eğrisi, ters çözüm (‘inversion’) yöntemiyle istasyon mevkiindeki zemine ait S-dalga hız-derinlik profilinin belirlenmesinde kullanılmıştır. Bu dispersiyon eğrisinden, S-dalga hızının tayini için güvenilebilir en büyük derinlik, (1/2) λ (tespit edilen maksimum faz hızı / bu hıza has minimum frekans) formülünden tayin edilebilir. Yine bu dispersiyon eğrisinden, hesaplanan S-dalga hızına göre güvenilebilir en ince tabaka kalınlığı, (1/2) λ (tespit edilen minimum faz hızı / bu hıza has maksimum frekans) formülünden tayin edilebilir.



Şekil 2.7. a) 0117 kodlu istasyondaki ReMi verileri, b) sismik kayıtta mevcut yüzey dalgalarının düz dalga bileşenlerinin ayrılmasıyla hesaplanan dağılım spektrumu, c) S dalgası hız-derinlik profili (mavi) ve modellenmiş dağılım eğrisi (siyah). Dikey eksen S dalgası hızını ve yatay eksen dağılım eğrisinin frekansını gösterir

2.2.3. Mikrotremor çalışması

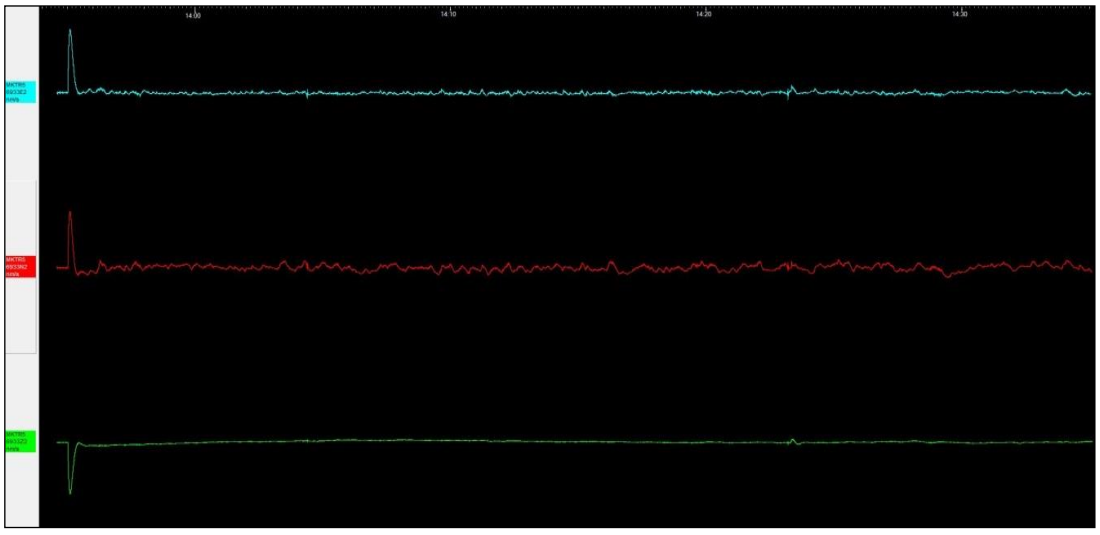
Çalışmada; sismometre, pil-batarya, GPS, pusula kayıtçı (Dizüstü bilgisayar) kullanılmıştır. Örnekleme aralığı 100 Hz alınmıştır ve kayıt uzunluğu 40 dk'dır.

Yöntemi spektral genlik oranları, pencere sayısı 42, pencere genişliği 25 saniye, süzgeç türü ve kesme frekansı Butterworth Bandpass (1-20 Hz) bilgileri kullanılmıştır.



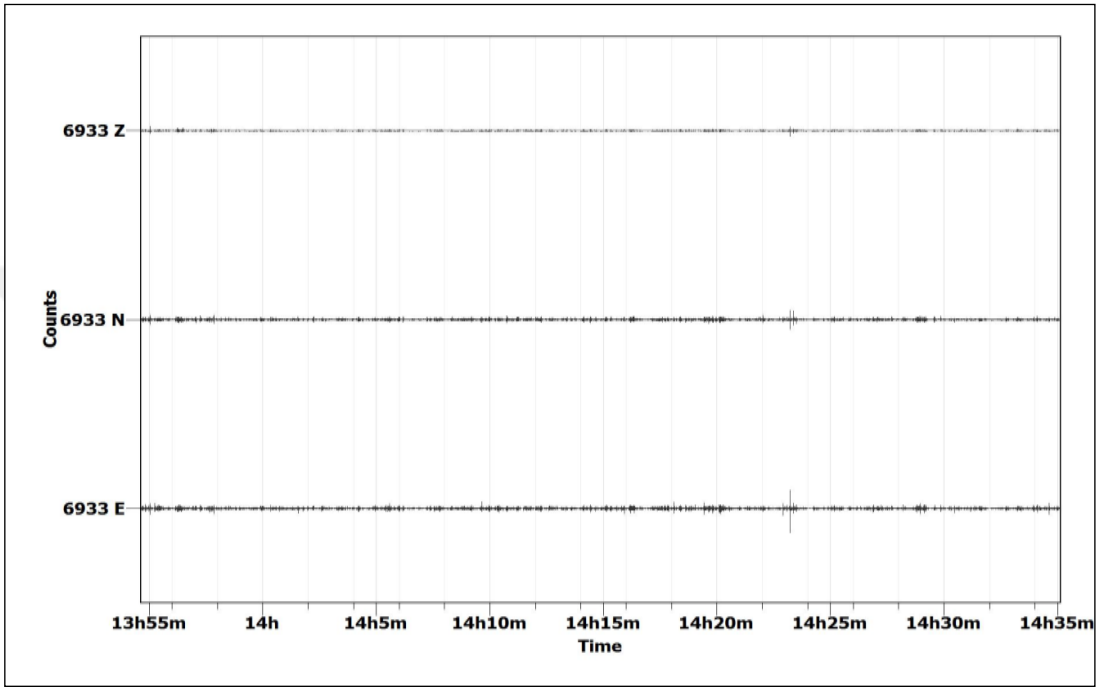
Şekil 2.8. GÜRALP CMG 6TD üç bileşen geniş band hız ölçer ve ölçü düzeneği

Şekilde sismometre sensörünün yer hareketine hassasiyeti 0,033-50 Hz arasında geniş bir frekans bandında değişmektedir. Kayıtlarda güç kaynağı olarak 12 V pil kullanılmıştır.



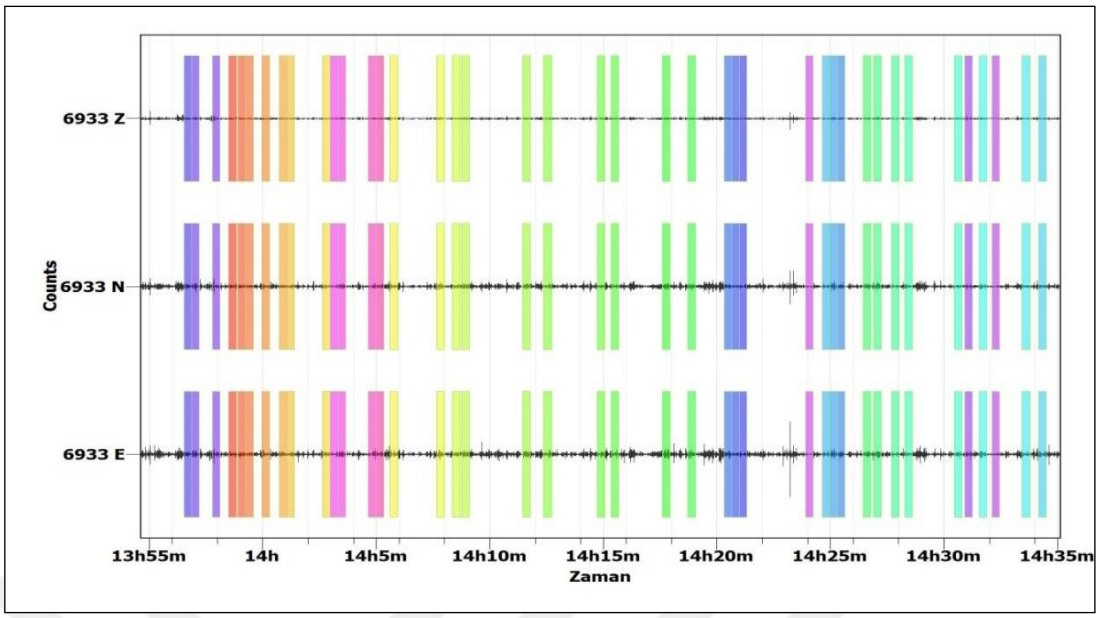
Şekil 2.9. İstasyon noktasının 3 bileşen mikrotremor kaydı

Mikrotremor verileri, GCF (Guralp Compressed File) formatında 40 dakika süre ile alınmıştır. Kayıt edilen üç bileşen gürültü verisi SCREAM adlı yazılımla görüntülenip düzenlenmiştir. Alınan kayıtların değerlendirilmesi; Geopsy (SESAME Avrupa Projesi, 2004) yazılımı kullanılarak tek istasyon yöntemine (H/V) göre yapılmıştır.



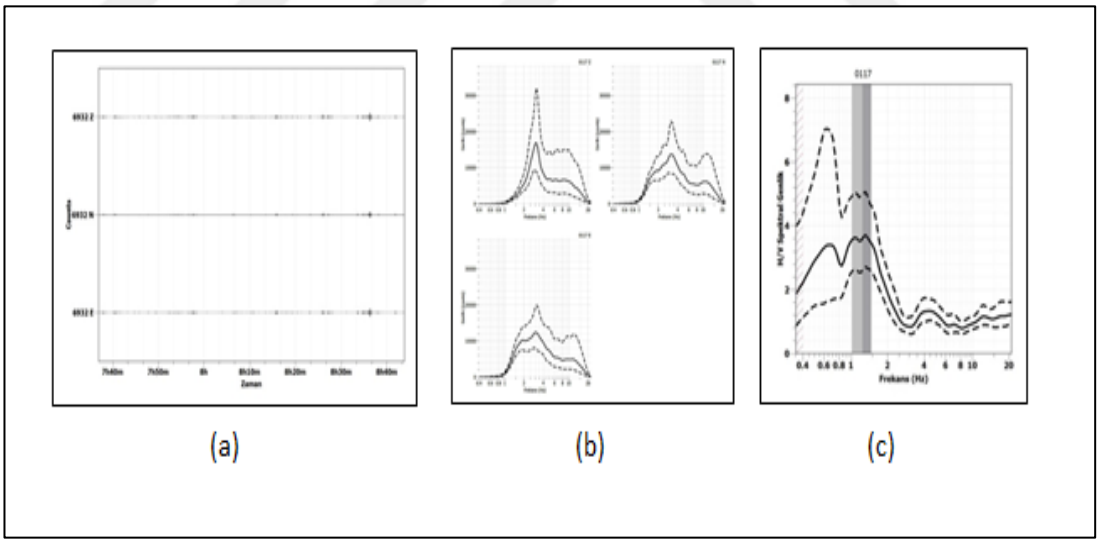
Şekil 2.10. Çalışmada alınan mikrotremor verilerinin tıraşlanmış ve filtrelenmiş gösterimi

Ham verinin (Şekil 2.10) kenarlarında %5 yuvarlatılmış Kosinüs penceresi uygulanarak zaman dizisinin her iki ucunda oluşan ani değişimler sonucu spektrumlarda görülebilecek yan salınımların genlikleri düşürülmüş ve veri 1-20 Hz arasında band geçişli Butterworth süzgeç ile süzülmüştür. Böylece sinyallerden çok düşük ve yüksek frekanslardaki gürültüler atılmış, geriye mikrotremorlar oluşturan frekans içeriği kalmıştır. Mikrotremor verilerinin değerlendirilmesinde; Pencere sayısı, tüm kayıt içerisindeki belirgin devirlerin sayısının 200'den büyük olması, f_0 (hakim frekans) değerinin 0,5 Hz 'den büyük veya küçük olma durumu, H/V eğrisinin standart sapma değerlerinin (σ) belli değerlerden küçük olması gibi kriterler göz önüne alınmıştır.



Şekil 2.11. Mikrotremor verisinin tıraşlanmış, filtrelenmiş ve 25 saniyelik pencerelenmiş hali

Sinyallerin gürültü içermeyen, temiz kısımları seçilmiş olup, pencere boyu hakim frekansın onda birinden küçük olacak şekilde belirlenmiştir.



Şekil 2.12. a) Filtrelenmiş zaman sinyal dizisi, b) 3 bileşenli mikrotremorün genlik spektrumları, tepe noktası ve c) H/V amplitude spektrumlarını verir. Kesik çizgiler, standart genlik sapmalarını gösterir ve iki dikey gri alan, en yüksek frekans standart sapma alanlarını gösterir

Alınan veriler değerlendirildikten sonra zemin tabloları yardımıyla zemin sınıfları belirlenmiştir.

Tablo 2.1. Eurocode 8 (EC8)'de tanımlanan zemin grupları (CEN-2003)

Zemin sınıfı	Stratigrafik tanımlama	Parametreler		
		Vs_{30} (m/s)	N_{SPT} 30cm	C_u (kPa)
A	Kaya veya yüzeyde en fazla 5m derinliğe kadar zayıf malzeme içeren kaya benzeri jeolojik birimler.	>800	-	-
B	Kalınlıkları en az bir kaç on metreyi bulan ve mekanik özelliklerinin derinlikle çok az değişim gösterdiği yoğunluklu olarak kum, çakıl veya çok sıkı kil türü jeolojik birimler.	360-800	>50	>250
C	Kalınlığı birkaç on metreden yüzlerce metreyi bulan yoğun veya orta yoğunlukta kum, çakıl veya sıkı kil içeren derin jeolojik birimler.	180-360	15-50	70-250
D	Gevşek-orta iri taneli jeolojik birimler (içerisinde kısmen yumuşak ince taneli birimler olabilir), ya da hâkim olarak yumuşaktan orta sıkılığa kadar olan ince taneli jeolojik birimler.	<180	<15	<70
E	Vs değeri 800m/s'den büyük sert bir birim üzerinde yer alan ve Vs değeri C veya D sınıfında olan, kalınlıkları 5m'den 20m'ye kadar uzanan alüvyon birimler.			
S_1	Kalınlığı en az 10m olan yüksek plastisiteli (PI>40) ve yüksek su içeriği bulunan yumuşak kil/silt'li jeolojik birimler.	<100 (belirleyici)	-	10-20
S_2	Sıvılaşabilir veya A-E ve S1 sınıfına girmeyen diğer jeolojik birimler.			

Tablo 2.2. NEHRP'te tanımlanan zemin grupları (BSSC, 2003)

Zemin sınıfı	Stratigrafik tanımlama	Parametreler		
		Vs_{30} (m/s)	N_{SPT} 30cm	C_u (kPa)
A	Sert Kaya	>1500	-	-
B	Kaya	760-1500		
C	Çok yoğun zemin ya da yumuşak kaya	360-760	>50	>100
D	Sert zemin	180-360	15-50	50-100
E	Zemin veya kalınlığı 3m'den fazla, PI>20, w>40% ve S_u<25kPa olan yumuşak kil birimleri	<180	<15	<50
F	Ayrıntılı değerlendirme gerektiren zeminler 1. Sıvılaşabilir zeminler, hızlı ve yüksek duyarlılıklı killer, zayıf çimentolu zemin birimleri, 2. Turba ve/veya kalınlığı 3m'den büyük yüksek organik içeren kil birimleri 3. Kalınlığı 8m'den büyük ve PI>75 olan çok yüksek plastisiteli kil birimleri Kalınlığı 36 m'den büyük, Su>50kPa olan çok kalın, yumuşak/orta-yumuşak sıkı kil birimleri			

Tablo 2.3. 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nde tanımlanan zemin grupları

Yerel Zemin Sınıfı	Zemin Cinsi	Üst 30 metrede ortalama		
		Vs_{30} [m/s]	$(N_{60})_{30}$ [darbe /30 cm]	$(C_u)_{30}$ [kPa]
ZA	Sağlam, sert kayalar	>1500	–	–
ZB	Az ayrışmış, orta sağlam kayalar	760 –1500	–	–
ZC	Çok sıkı kum, çakıl ve sert kil tabakaları veya ayrışmış, çok çatlaklı zayıf kayalar	360–760	>50	>250
ZD	Orta sıkı – sıkı kum, çakıl veya çok katı kil tabakaları	180–360	15–50	70–250
ZE	Gevşek kum, çakıl veya yumuşak – katı kil tabakaları veya PI > 20 ve w > %40 koşullarını sağlayan toplamda 3 metreden daha kalın yumuşak kil tabakası C_u < 25 kPa içeren profiller	<180	<15	<70
ZF	Sahaya özel araştırma ve değerlendirme gerektiren zeminler: 1. Deprem etkisi altında çökme ve potansiyel göçme riskine sahip zeminler (sıvılaşabilir zeminler, yüksek derecede hassas killer, göçebilir zayıf çimentolu zeminler vb), 2. Toplam kalınlığı 3 metreden fazla turba ve/veya organik içeriği yüksek killer, 3. Toplam kalınlığı 8 metreden fazla olan yüksek plastisiteli (PI> 50) killer, 4. Çok kalın (> 35 m) yumuşak veya orta katı killer.			

Tablo 2.4. Di Alessandro ve diğ. (2012) göre zemin grupları

Sınıf	Kriterler	Açıklama
CL-I	Tg < 0,2 s	Ana Kaya
CL-II	0,2 s ≤ Tg < 0,4 s	Sert Zemin
CL-III	0,4 s ≤ Tg < 0,6 s	Orta-Sert Zemin
CL-IV	0,6 s ≤ Tg	Gevşek Zemin
CL-V	Belirgin olmayan Tg (Genliği <2 olan düz bir eğriye sahip H/V)	Ana Kaya'ya eşdeğer bir zemin
CL-VI	Tg > 0,2 s üzerinde geniş-çoklu pikler	Yumuşak Zemin
CL-VII	Belirgin olmayan Tg (geniş period aralığında çoklu pikler)	Sınıflanamayan zemin

Tablo 2.5. Rodrigez -Marek ve diğ. (2001) göre zemin grupları

Zemin	Zemin Tanımı	Baskın Periyot	Hakin Frekans (Fo)	Yorum
A	Sert kaya	< 0,1 s	Fo > 10 Hz	Sert, sağlam, bozulmuş kaya Vs > 1500 m/s
B	Kaya	< 0,2 s	Fo > 5,0 Hz	Aşınmamış kaya, <6m zemin derinliği (Vs > 760 m/s)
C-1	Aşınmış/yumuşak rock	< 0,4 s	Fo > 2,5 Hz	Aşınmış zon, >6m vs <30m zemin derinliği (360 <Vs <700 m/s)
C-2	Sığ sıkı zemin	< 0,5 s	Fo > 2,0 Hz	Zemin derinliği (h): 6 < h < 30m
C-3	Orta derinlik sıkı zemin	< 0,8 s	Fo > 1,3 Hz	Zemin derinliği (h): 30 < h < 60m
D-1	Derin sıkı holosen yaşlı zemin Kum ve kil olabilir	< 1,4 s	Fo > 0,7 Hz	Zemin derinliği (h): 60 < h < 200m
D-2	Derin sıkı pleistosene yaşlı zemin Kum ve kil olabilir	< 1,4 s	Fo > 0,7 Hz	Zemin derinliği (h): 60 < h < 200m
D-3	Çok derin sıkı zemin	< 2,0 s	Fo > 0,5 Hz	Zemin derinliği (h): h > 200m
E-1	Orta derin yumuşak kil	< 0,7 s	Fo > 1,4 Hz	Yumuşak kil seviyesinin derinliği (h): 3 < h < 12 m
E-2	Derin yumuşak kil seviyesi	< 1,4 s	Fo > 0,7 Hz	Yumuşak kil seviyesinin derinliği h >12 m
F	Özel, örneğin olası sıvılaşabilir kum veya turba (bataklık)	= 1,0 s	Fo = 1,0 Hz	Sığ su seviyesi tablası (zw)'na sahip, holosen yaşlı gevşek kum (zw < 6m) veya organik hırba (bataklık)

3. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

3.1. Araştırma Alanı İçin Saha Sınıflandırması

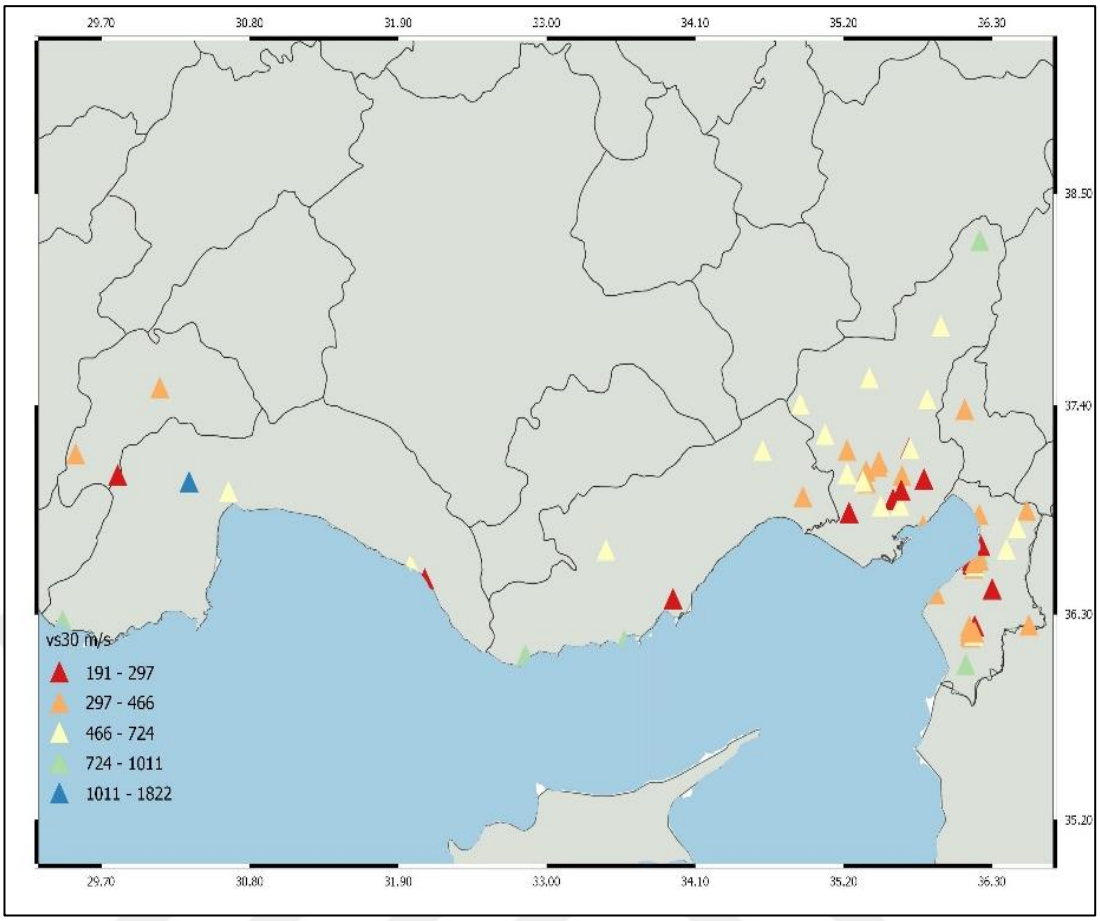
MASW, ReMi ve mikrotremor yöntemleri, 65 istasyonda yapıldı ve en üstteki 30 m için V_{S30} hız profilleri belirlendi. V_{S30} değerleri 191 ila 1822 m/s arasında değişmektedir. Düşük hızlar genellikle düz alanlarda belirlenir (Şekil 3.1 ve Tablo 3.1).

Tablo 3.1. İstasyonlara göre ölçüm sonuçları

No	İstasyon Kodu	İstasyon Adı	Koordinat x	Koordinat y	V_{s30} (m/s)	H/V	Baskın Periyot (sn)	NEHRP	Eurocode-8	TBDY (2018)	Rodrigez-Marez ve diğ., 2001
1	101	MERKEZ	37.044	35.226	478	3.7	1.47	C	B	ZC	D-3
2	102	MERKEZ	37.05792	35.36698	417	3.05	0.21	C	B	ZC	C-1
3	103	MERKEZ	36.995811	35.3706	423	1.01	0.20	C	B	ZC	C-1
4	106	CEYHAN	36.908	35.567	210	3.15	0.55	D	C	ZD	C-3
5	107	CEYHAN	37.033	35.633	405	3.1	0.67	C	B	ZC	C-3
6	108	CEYHAN	36.876	35.617	654	2.00	0.14	C	B	ZC	C-1
7	109	CEYHAN	37.178	35.689	253	2.7	1.17	D	C	ZD	D-2
8	111	SEYHAN	37.166	35.226	461	0.79	0.43	C	B	ZC	C-2
9	112	YÜREĞİR	36.871580	35.476279	490	1.6	0.57	C	B	ZC	C-3
10	113	YÜREĞİR	36.955522	35.627320	267	3.11	0.50	D	C	ZD	C-3
11	114	YÜREĞİR	37.175843	35.69286	483	1.05	0.66	C	B	ZC	C-3
12	115	YÜREĞİR	37.081210	35.454380	322	2.1	1.01	D	C	ZD	D-2
13	116	YÜREĞİR	37.104862	35.462624	466	0.8	0.55	B	C	ZB	C-3
14	117	YÜREĞİR	36.838383	35.241111	215	3.6	0.80	D	C	ZD	D-2
15	120	YÜREĞİR	36.77006	35.79005	439	3.1	0.16	C	B	ZC	C-1
16	122	KOZAN	37.4339	35.82021	501	3.1	0.13	C	B	ZC	C-1
17	123	YÜREĞİR	37.00338	35.34376	519	6.7	0.2	C	B	ZC	C-1
18	124	POZANTI	37.4087	34.87911	583	5.8	0.16	C	B	ZC	C-1
19	125	CEYHAN	37.01519	35.79577	216	1.94	1.03	D	C	ZD	D-2
20	126	ALADAĞ	37.54551	35.39186	521	2.4	0.22	C	B	ZC	C-1
21	127	FEKE	37.81619	35.92038	583	3.3	0.16	C	B	ZC	B
22	128	KARAİSALI	37.25029	35.06279	494	2.3	0.8	C	B	ZC	D-1
23	129	TUFANBEYLİ	38.25915	36.21013	965	2.1	0.1	B	A	ZB	B
24	707	KORKUTELİ	37.0007	30.35028	1822	3.8	1.47	A	A	ZA	C-2
25	713	ALANYA	36.54286	32.00434	540	2.4	0.47	C	B	ZC	C-2
26	714	ALANYA	36.55547	31.98667	607	1.4	0.47	C	B	ZC	C-2
27	715	MAHMUTLAR	36.48778	32.09627	285	4.8	0.8	D	C	ZD	D-2
28	716	KALKAN	36.2685	29.4128	813	<2	0.5-0.1	B	A	ZB	
29	717	KEPEZ	36.9495	30.6419	724	1.7	0.19	C	B	ZC	C-1
30	1506	GÖLHİSAR	37.14721	29.50946	337	1.6	0.58	D	C	ZD	C-3
31	1507	KOZLUCA	37.4942	30.1336	359	0.8	1.1	D	C	ZD	C-3
32	1508	SÖĞÜT	37.0363	29.8214	206	1.4	0.23	D	C	ZD	D-1
33	3111	KIRIKHAN TOPBOĞAZI	36.00	36.30164	191	1.6	1.06	D	C	ZD	D-2
34	3112	İSKENDERUN	36.58801	36.14766	233	6.6	0.2	D	C	ZD	C-2
35	3113	İSKENDERUN	36.57752	36.15496	221	0.8	0.67	D	C	ZD	C-3
36	3114	İSKENDERUN	36.56704	36.15135	215	3.2	1.35	D	C	ZD	C-3
37	3115	İSKENDERUN	36.54634	36.16459	414	2.5	1.1	C	B	ZC	D-2

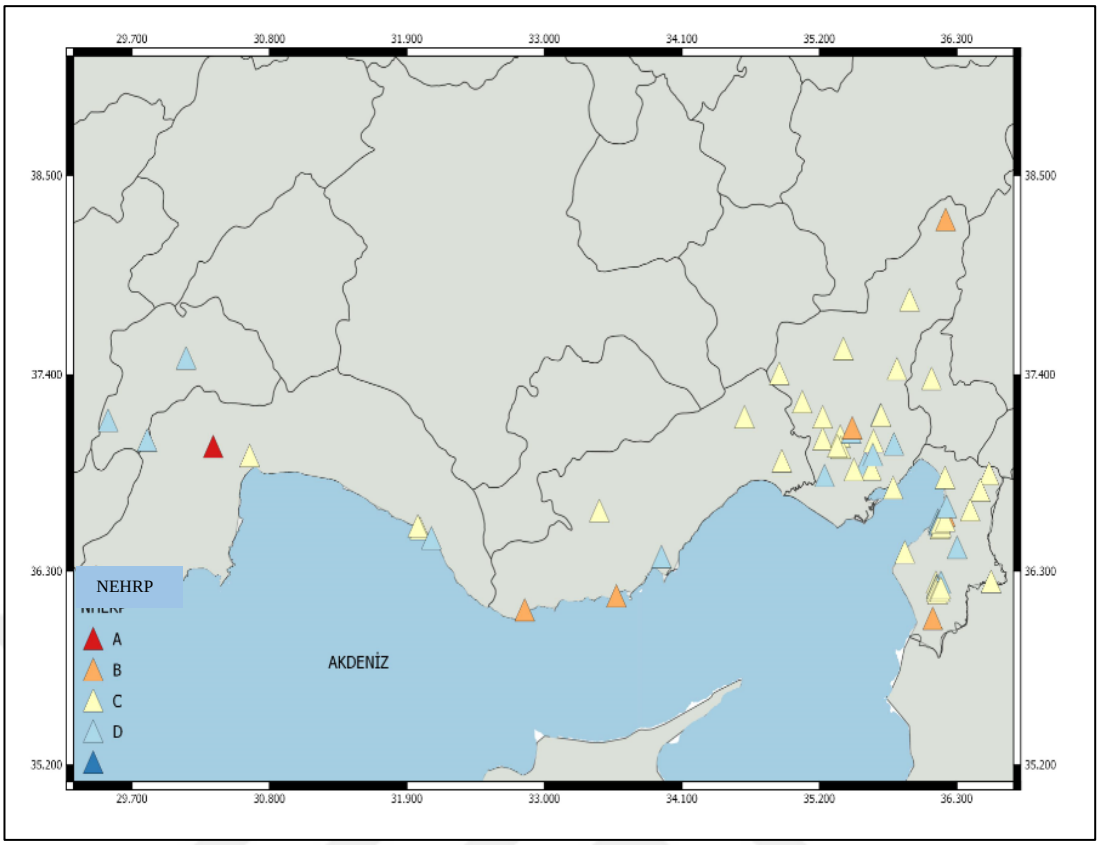
Tablo 3.1. (Devam) İstasyonlara göre ölçüm sonuçları

38	3116	İSKENDERUN	36.61618	36.20661	870	1.6	0.23	B	B	ZB	C-1
39	3117	İSKENDERUN	36.55712	36.17471	597	2.2	0.24	C	B	ZC	C-1
40	3119	İSKENDERUN	36.57527	36.16811	374	3.2	0.2	C	B	ZC	C-1
41	3120	İSKENDERUN	36.58924	36.20568	455	3.1	0.26	C	B	ZC	C-1
42	3121	İSKENDERUN	36.66408	36.21825	271	8.5	0.43	D	C	ZD	C-3
43	3122	YAYLADAĞ	36.0343	36.107	1011	2.1	0.19	B	A	ZB	B
44	3124	ANTAKYA	36.2387	36.1722	283	4.1	0.81	D	C	ZD	D-1
45	3125	ANTAKYA	36.23808	36.13264	448	5.2	1.06	C	B	ZC	D-1
46	3126	ANTAKYA	36.2202	36.1375	350	2.06	0.16	D	C	ZD	C-3
47	3127	ANTAKYA	36.21	36.1353	404	3. 6	0.12	C	B	ZC	B
48	3128	ANTAKYA	36.2056	36.1471	329	2.4	0.3	D	C	ZD	D-1
49	3129	ANTAKYA	36.19117	36.1343	447	2.06	0.07	C	B	ZC	C-1
50	3130	ANTAKYA	36.1792	36.145	447	3.2	0.07	C	B	ZC	B
51	3131	ANTAKYA	36.19121	36.16328	567	4.3	0.59	C	B	ZC	C-3
52	3132	ANTAKYA	36.20673	36.17159	377	2.49	0.29	C	B	ZC	C-1
53	3133	ANTAKYA	36.2432	36.5736	377	4.6	1.19	C	B	ZC	D-2
54	3134	DÖRTYOL	36.82763	36.20485	374	1.8	1.04	C	B	ZC	D-2
55	3135	ULUÇINAR	36.40886	35.8831	460	2.9	0.1	C	B	ZC	C-2
56	3143	HASSA AKBEZ	36.84891	36.55714	444	2.2	1.42	C	B	ZC	D-2
57	3144	HASSA HACILAR	36.75746	36.48601	485	2.2	1.1	C	B	ZC	D-2
58	3145	KIRIKHAN BALARMUDU	36.64537	36.40642	533	1.68	0.47	C	B	ZC	C-2
59	3302	AKKUYU	36.1613	33.57584	1007	2.2	0.41	B	A	ZB	C-2
60	3303	ÇAMLIYAYLA	37.1659	34.60043	612	2.09	0.25	C	B	ZC	C-1
61	3304	SİLİFKE	36.38226	33.93664	297	2.2	1.47	D	C	ZD	E-2
62	3305	TARSUZ	39.92142	34.89897	362	3.7	0.24	C	B	ZC	C-1
63	3306	MUT	36.64169	33.43956	490	4.7	0.1	C	B	ZC	B
64	3307	ANAMUR	36.08189	32.84224	855	1.2	0.1	B	A	ZB	B
65	8004	KADİRLİ	37.37992	36.09757	426	2.2	0.13	C	B	ZC	B

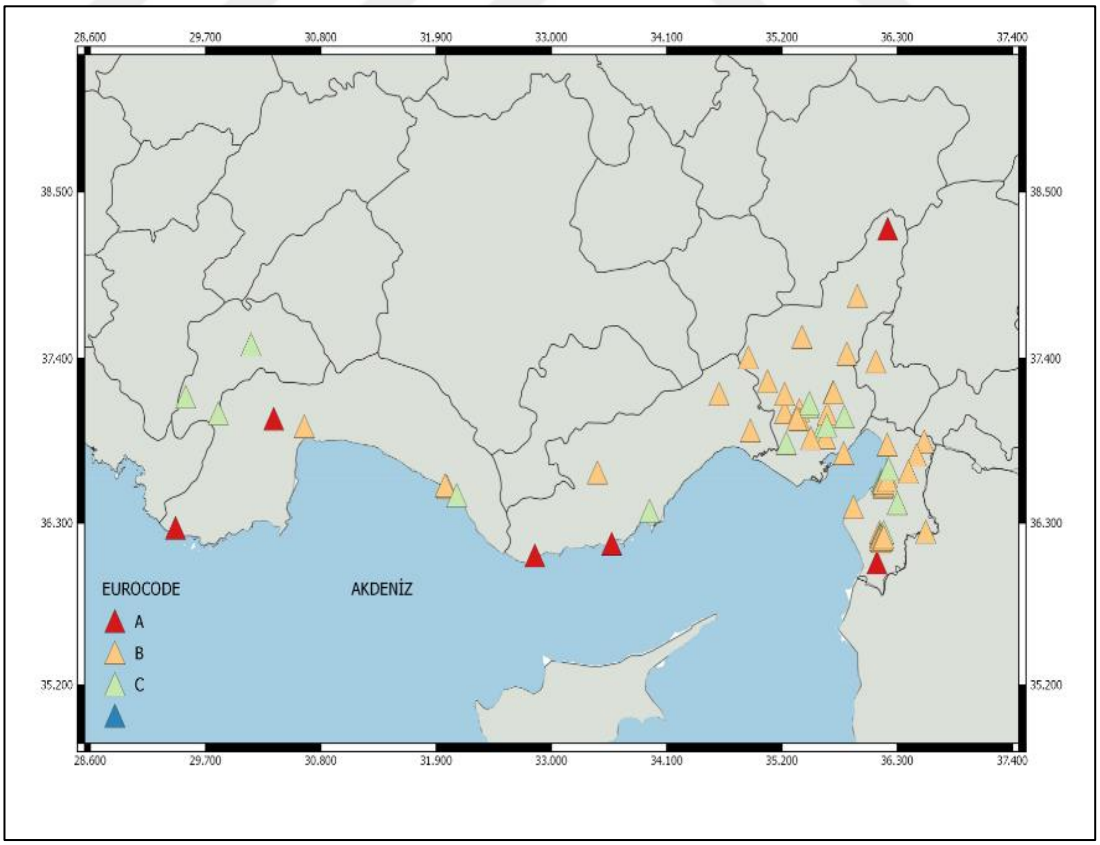


Şekil 3.1. S-dalgası, $V_{S_{30}}$, Akdeniz bölgesindeki dağılım

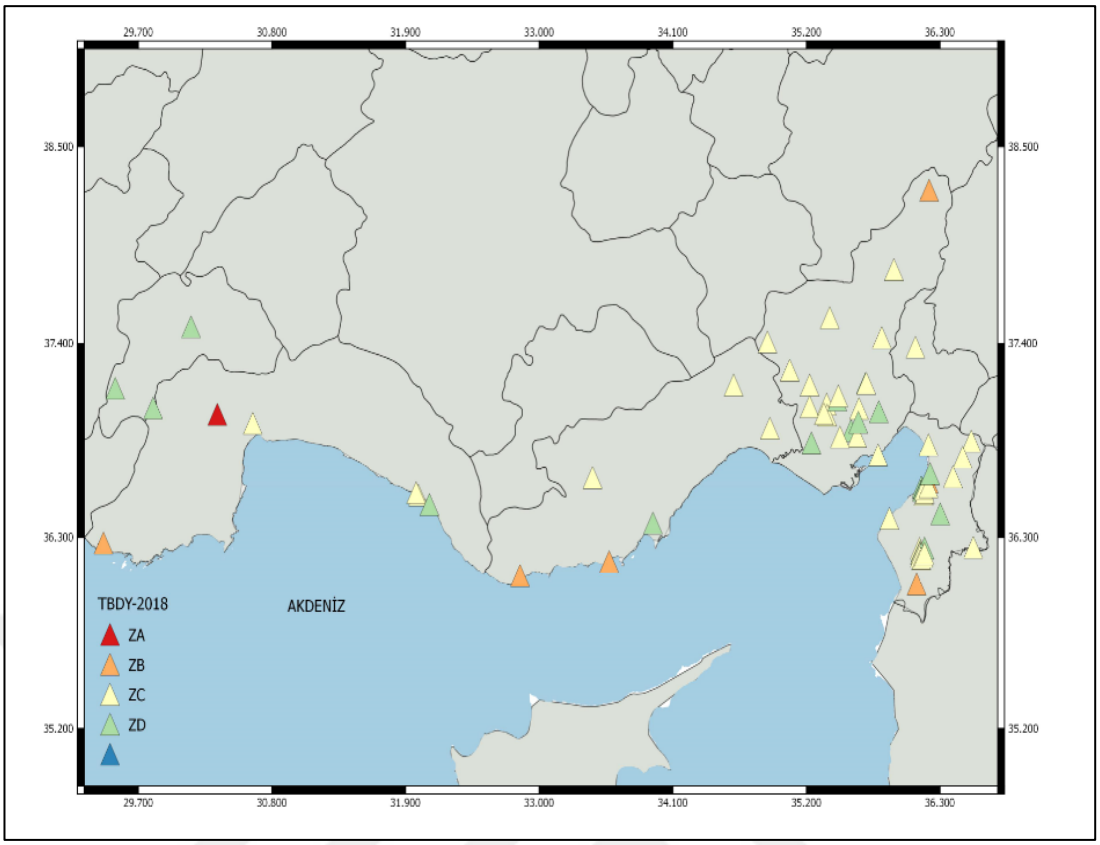
Bu alanlar NEHRP Hükümleri (BSSC, 2003), Eurocode-8 (CEN. 2003), TBDY (Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, 2018) ve Rodrigez ve Marez (2001), (Tablo 8) uyarınca sınıflandırılmıştır. NEHRP Hükümleri, saha koşullarının tanınması için A, B, C, D, E ve F gibi altı saha sınıfı önerilmektedir. 1 istasyon A, 7 istasyon B, 38 istasyon C ve 19 istasyon ise D sınıfıdır. Eurocode-8'e göre, 6 istasyon A sınıfı, 39 istasyon B ve 20 istasyon D sınıfıdır. Bu NEHRP hükümleri ile benzerdir. NEHRP'deki C, B ve A sınıfları Eurocode-8 sistemindeki B, A ve C sınıflarına karşılık gelir. Çünkü NEHRP sistemindeki C sınıfının sınır değerleri Eurocode-8'deki B sınıfının sınır değerleri ile çakışır B sınıfının sınır değerleri, A sınıfının sınır değerlerine kadar gelir ve D sınıfının sınır değerleri, C sınıfının sınır değerleriyle eşleşir. NEHRP sistemindeki zemin sınıfları, TBDY-2018 Tablo 8'e karşılık gelir. Rodrigez-Marez, (2001) zemin sınıflarına göre, 8 istasyon A, 17 istasyon B, 8 istasyon C-1, 13 istasyon C-2, 5 istasyon C-3,11 istasyon D-1, 1 istasyon D-2, 1 istasyon D-3, 1 istasyon E ve 1 istasyon belirsizdir (Şekil 3.2, 3.3, 3.4, 3.5).



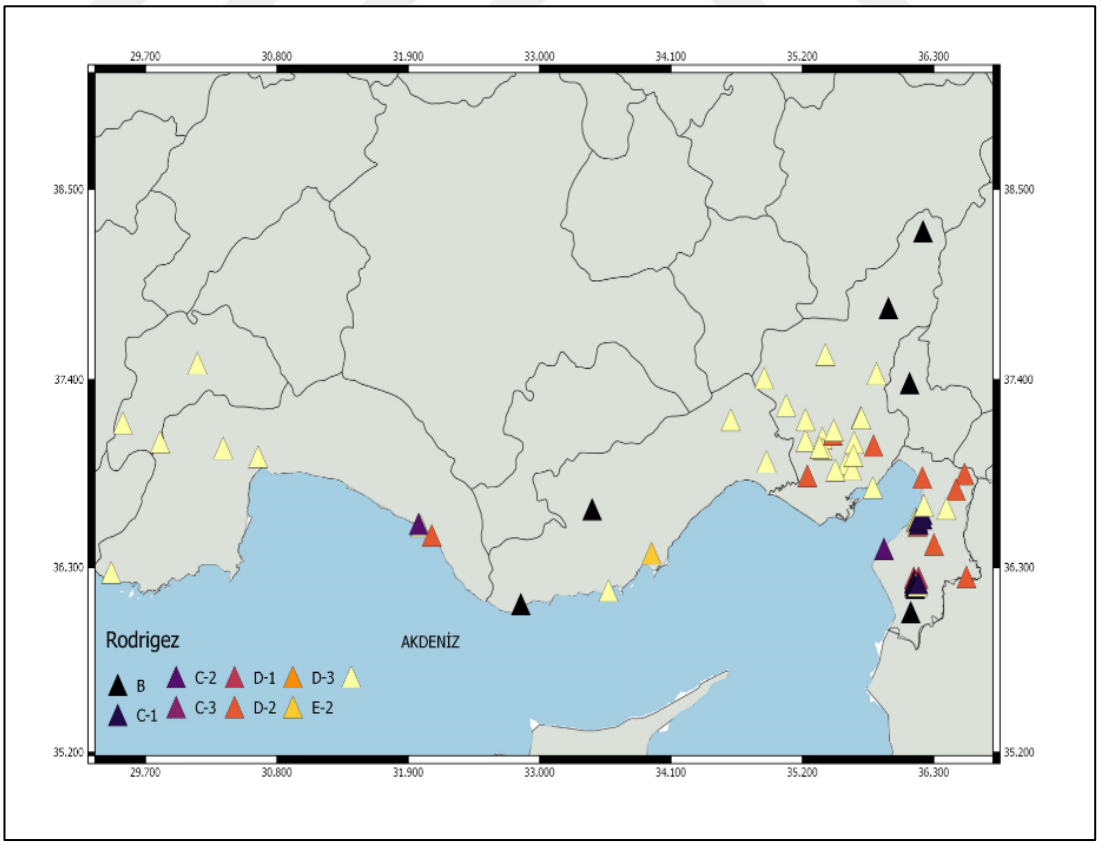
Şekil 3.2. Akdeniz Bölgesi'nin Nehrp sınıflandırması



Şekil 3.3. Akdeniz Bölgesi'nin Eurocode-8 sınıflandırması



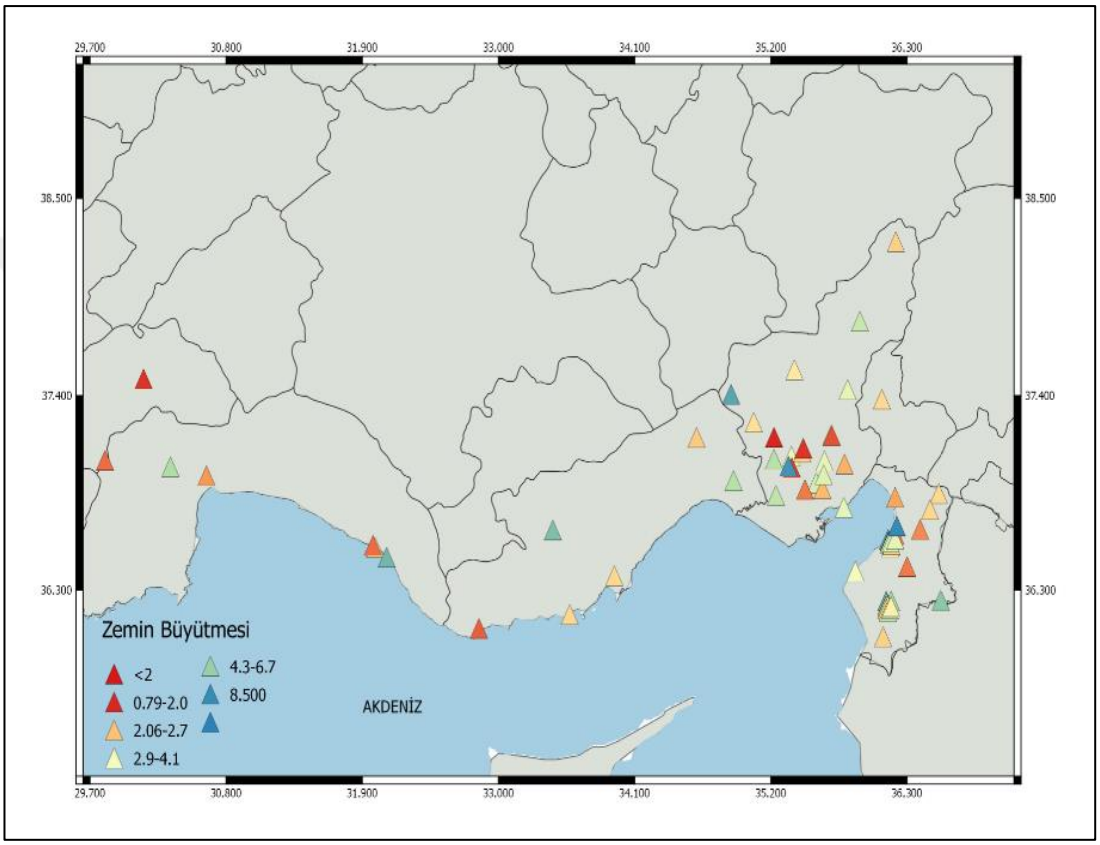
Şekil 3.4. Akdeniz Bölgesi'nin TBDY sınıflandırması



Şekil 3.5. Akdeniz Bölgesi'nin Rodrigez ve Marez sınıflandırması

3.2. Akdeniz Bölgesi'nin Alan Amplifikasyon Özellikleri

Amplifikasyon oranları (H/V) ve baskın süreleri 65 istasyon ile belirlendi. Geopsy 2004 yazılımı ile zemin büyütmesi ve dominant dönemler yorumlanmıştır. H/V oranları 0,79-8,5 arasında belirlenmiştir. Küçük büyütme değerleri (0,79-2,3) genellikle dağlarda bulunan istasyonlarda ve daha yüksek değerler ise düz alanlarda (2,3-8,5) bulunur (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. Akdeniz Bölgesi'nin zemin büyütmesi

3.3. Tartışma Sonuç ve Öneriler

V_{S30} değerleri, 191 – 1822 m/s aralığında olup, Özgür ve diğ., (2017) tarafından bu bölgenin Hatay ilinde belirlenen hızlara benzemektedir. Düşük hızlar genellikle düz alanlarda belirlenmektedir. En düşük V_{S30} değeri 0117 kodlu Topboğazı istasyonunda ve en yüksek değer 707 kodlu Korkuteli istasyonunda belirlenmiştir. Akdeniz bölgesi NEHRP Hükümleri (BSSC, 2003), Eurocode-8 (CEN. 2003), TBDY (Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, 2018) ve Rodrigez-Marez (2001)'e göre sınıflandırılmıştır. NEHRP sınıflandırma sistemine göre 38 istasyonun zemin sınıfı C, 19 istasyonun D olması, zayıf zemin tiplerini gösterir. Bu sistemde yalnızca 1

istasyon, A sınıfı olarak, güçlü zemini, 7 istasyon ise orta derecede sert zemini belirtir. NEHRP sistemindeki zemin sınıfları TBDY-2018'e karşılık gelir. Eurocode-8'e göre, 6 istasyon A sınıfı, 39 istasyon B ve 20 istasyon D'ye karşılık gelir ve bunlar NEHRP hükümlerine benzerdir. Rodrigez-Marez (2001)'e göre zemin sınıflaması; 8 istasyon A, 17 istasyon B, 8 istasyon C-1, 13 istasyon C-2, 5 istasyon C-3,11 istasyon D-1, 1 istasyon D-2, 1 istasyon D-3, 1 istasyon E ve 1 istasyon belirsizdir. Zemin büyütme değerleri 0,7 ile 8,5 saniye arasında belirlenmiştir. En düşük zemin büyütme değeri 111 kodlu Seyhan istasyonunda ve en yüksek 3121 kodlu İskenderun istasyonunda gözlenmiştir. Yüksek zemin büyütme değerleri genellikle düz alanlarda elde edilmiştir. Bu değerler Özgür vd. (2017). Maksimum ve minimum baskın değerler, 3129 ve 3130 kodlu istasyonlarda 0,07 saniye ve 101, 707 ve 3304 kodlu istasyonlarda 1,47 saniye olarak belirlenmiştir. Baskın dönem değerleri genellikle, $V_{S_{30}}$ hızları azaldıkça artar.

Bu çalışmada belirlenen sonuçlar, Akdeniz bölgesinin arazi özelliklerinin temelini oluşturmuştur. Ancak; Bölgenin ayrıntılı alan özelliklerini tanımlamak için daha fazla çalışmaya ihtiyaç vardır.

KAYNAKLAR

[1] Acarel D., 2003. Mühendislik Sismolojisinde Yüzey Dalgası Yöntemleri, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 81s.

[2] Aki K. and Richards, P.G., 2002. Quantitative Seismology, University Science Boks, Sousalito, California,685s.

[3] Ambraseys N., Durukal E. and Free M., 1993. Re-evaluation of strong-motion data in Tukey, ESEE Research Report, No. 93/2; Imperial College of Science, Technology and Medicine, Civil Engineering Department, London SW7 2.

[4] Anonim, 2007. Mutlichannel Analysis of Surface Waves Method. Federal Highway Program, 5pp.,

[5] Aydan O., and Hasgür Z., (1997). The characteristics of acceleration waves of Turkish earthquakes, Proceedings of the 4th National Conference on Earthquake Engineering, Ankara, Turkish National Committee of eartqhauke Engineering, pp. 30– 37, (in Turkish).

[6] Ateş R.C. and Bayülke N., 1982. The 19 August 1976 Denizli, Turkey, earthquake: evaluation of the strong motion accelerograph record. Bulletin of Seismological Society of America, Vol. 72, pp.1635–1649.

[7] Beyen K, Erdik M, Mazmanoğlu C, Ekmekçioğlu Z., 2003. Antakya'nın Geçmişten Günümüze Sismik Aktivitesi ve Yapılması Gerekenlerin Bir Uluslararası Konferansın Işığında Değerlendirilmesi, Türkiye Mühendislik Haberleri, Sayı 423 - 2003/1.

[8] Bedford A., Drumheller D.S., 1994. Introduction to Elastic Wave Propagation, J Wiley and Sons Ltd, Chichester, England.

[9] Bolt B.A., 1976. Nuclear Explosions and Earthquakes, W.H. Freeman and Company.

[10] Bozdağ E., 2002. Yeşilyurt ve Avcılar'da Deprem Yer Tepkisinin Çok Kanallı Mikrotremor Kayıtlarının Analizi ile Belirlenmesi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 100s.

[11] Building Seismic Safety Council (2003). NEHRP Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings and Other Structures and Accompanying Commentary and Maps, FEMA 450, Chapter 3, pp. 17–49.

[12] Capon J., 1969. High Resolution Frequency-Wavenumber Spectrum Analysis, Proc. IEEE, **57**, 1408-1418.

[13] Çeken U. And Polat O., 2014. Investigation of the Local Soil Effects at the New Strong Motion Array (MATNet) in Hatay-K.Maras Region, Turkey, 15-19 December 2014 AGU Fall Meeting, San Francisco-USA, Nr:T13C-4660, p:232.

[14] Çelebi M., Akkar S., Gülerce U., Şanlı A., Bundock H. and Salkın A., 2001. Main Shock and aftershock records of the 1999 İzmit and Düzce, Turkey earthquakes, USGS/OFDA Project [USGS Project No.: 1-7460-63170], USGS Open-File Report 01-163.

[15] Di Alessandro C., Bonilla L. F., Boore D. M., Rovelli A., & Scotti O. (2012). Predominant period site classification for response spectra prediction equations in Italy. Bulletin of the Seismological Society of America, 102(2), 680-695.

[16] Dikmen Ü., Arısoy M.Ö., Akkaya İ., 2010. Offset and linear spread geometry in the MASW method, Journal of Geophysics and Engineering, 7, 211-222.

[17] Dorman J., Ewing M., 1962. Numerical Inversion of Seismic Surface Waves Dispersion Data and Crust-Mantle Structure in the Newyork-Pennsylvania Area, J Geopysical Research, **67**, 5227-5241.

[18] Durukal E., Alpay Y., Biro T., Mert A. and Erdik M.,1998. Analysis of strong motion data of the 1995 Dinar, Turkey Earthquake, Second Japan-Turkey Workshop: Earthquake Disaster Prevention Research in Turkey, 23-25 February 1998, Technical University of İstanbul.

[19] Erdik M. and Durukal E., 2001. 1999 Kocaeli and Düzce, Turkey earthquakes: strong ground motion, XV ICSMGE TC4 'Lessons learned from recent strong earthquakes', 25 August 2001, İstanbul, Turkey.

[20] Erdoğan Ö., 2008. "Main Seismological Features of Recently Compiled Turkish Strong Motion Database" M. Sc. Thesis, Middle East Technical University, Ankara.

[21] Ergin M., Aktar M. and Eyidoğan H., 2004. Present-day seismicity and seismotectonics of the Cilician Basin: Eastern Mediterranean region of Turkey, Bulletin of Seismic Society of America, Vol. 94, 930-939.

[22] Eurocode-8, 2003. Seismic Design of Buildings.

[23] European Committee for Standardization CEN (2004). Eurocode 8: "Design of Structures for Earthquake Resistance – Part I: General Rules, seismic actions and rules for buildings", (EN-1998-1). Brussels, May 2004.

[24] Ewing W.M., Jardetzky W.S., Press F., 1957. Elastic Waves in Layered Media, McGraw Hill Book Co Inc., Newyork.

[25] Geopsy,(2004). SESAME Avrupa Birliği Projesi.

[26] Goel A., Das A., 2002. A Brief Review on Different Surface Wave Methods and Their Applicability for Non-Destructive Evaluation of Pavement, Indıa, 350p.

[27] Gucunski N. And Woods R.D. 1991. Inversion of Rayleigh Wave Dispersion Curve for SASW Test. Proceedings of the 5 th Conference on Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Karlsuhe, pp. 127-138.

[28] Gülkan P., Çeken U., Çolakoğlu Z., Uğraş T., Kuru T., Apak A., Anderson J.G., Sucuoğlu H., Çelebi M., Akkar D.S., Yazgan U. and Denizlioğlu A.Z., 2007. 23 Enhancement of the National Strong Motion Network in Turkey, Seismological Research Letters, Vol. 78, pp.429-438.

[29] Horoz S.Ş., 2008. Adana-Antakya-Kahramanmaraş arasındaki bölgenin depremselliğinin "b" parametresi ile incelenmesi ve risk analizi. Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı, Sivas.

[30] http://biltek.tubitak.gov.tr/sandık/deprem, Ziyaret tarihi: 10.01.2008

[31] http://yerbilimleri.mta.gov.tr

[32] Irmak T.S., Özer M.F., 1999. "23 Şubat 1995 Kıbrıs depremi kaynak mekanizması", Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Deprem Araştırma Dairesi, Deprem Araştırma Bülteni, 80, 109-134.

[33] Kalafat D., Güneş Y., Kara M., Deniz P., Kekovalı K., Kuleli H. S., Gülen L., Yılmazer M. and Özel N. M., 2007. A revised and extended earthquake catalogue for Turkey since 1900 (Mw ≥ 4.0), Bosphorus University, İstanbul.

[34] Kalkan, E., and Gülkan, P., 2004. Site-dependent spectra derived from ground motion records in Turkey, Earthquake Spectra, Vol. 20, pp.1111-1138.

[35] Karslı H., (2018), Jeofizik-Jeoteknik İşbirliği Sürecinde Çok Kanallı Yüzey Dalgası Analiz (ÇKYDA), Jeofizik Bülteni, Jeofizik Mühendisleri Odası, Ankara.

[36] Karslı H., (2015-2016), ÇOK KANALLI YÜZEY DALGASI YÖNTEMLERİ: MASW ve ReMİ (Veri Toplama-İşleme-Yorum) ders notu, Trabzon.

[37] Keilis-Borok, V.I., 1989. Seismic Surface Waves in a Laterally İnhohomogeneous Earth, Kluwer Academic Publishers, 1989, 289pp.

[38] Knopoff L., 1972. Observation and Inversion of Surface Wave Problems, Bulletin of the Seismological Society of America, 54, 431-438.

[39] Korkmaz H., 2006. Antakya'da Zemin Özellikleri Ve Deprem Etkisi Arasındaki İlişki, *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 4 (2), 49-66.

[40] Kovach R.L., 1978. Seismic Surface Waves and Crustal and Upper Mnatle Structure, Rev. Geophysics and Space Phys. **16**, 1-14.

[41] Kurtuluş C., Sismik Arama, Kocaeli Üniversitesi Yayınları, Kocaeli, 2002.

[42] Louie J. N., 2001. Faster, Better: Shear-Wave Velocity to 100 Meters Depth from Refraction Microtremor arrays, Bull. Seism. Soc. Am., 91, No:2.

[43] McMechan G.A., and Yeldin M.J., 1981. Analysis of Dispersive Waves by Wavefield, Bull. Seism. Soc. Am., 70, 775-789.

[44] McMechan G.A. and Ottolini R., 1980. Direct Observation of a p- Curve in a Slant Stacked Wave Field, Bull. Seism. Soc. Am., 70,775-789.

[45] Nazarian S., and Stokoe II K.H., 1984. In situ Shear Wave Velocities from Spectral Analysis of Surface Waves: Proceedings of the World Conference on Earthquake Engineering, 8, SanFrancisco, Calif., July 21-28.

[46] NEHRP, 2003. Regulations for New Buildings and other Structures.

[47] Yiğiter N., Isparta Çünür bölgesinde yüzey dalgası yöntemi ile zemin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 2008, 179799.

[48] Osmanşahin İ., 1989. Yüzey Dalgası Ortam Tepki Fonksiyonlarından Yararlanarak Anadolu ve Civarında Kabuk ve Üst-Manto Yapısının Belirlenmesi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,Doktora Tezi, 113s, İstanbul.

[49] Over S., Büyüksaraç A., Bektaş O. and Filazi A., 2011. Assessment of potential seismic hazard and site effect in Antakya (Hatay Province), SE Turkey. Environmental Earth Sciences, **62**, 313-326.

[50] Özalaybey S., Ergin M., Aktar M., Tapırdamaz C., Biçmen F. and Yörük A., 2002. The 1999 Izmit earthquake sequence in Turkey: seismological and tectonic aspects, Bulletin of Seismic Society of America, Vol. 92, pp.376-386.

[51] Özgür T.Ö., Yamanakab H, Alkan M.A., Çeken U., Öztürk T., Sezen A., 2017. Microtremor Array Measurements for Shallow S-Wave Profiles at Strong-Motion Stations in Hatay and Kahramanmaras Provinces, Southern Turkey, Bulletin of the Seismological Society of America, V. 107, No.1.

[52] Park C.B., Miller R.D., ve Xia J., 1998a. Ground Roll as a Toolto İmage NearSurface Aromaly. Soc. Exp., Geophysics, p., 874-877.

[53] Park C.B., Miller R.D., and Xia J., 1998b. İmaging Dispersiyon Curves of Surface Waves on Multi-channel Record, 1377-1380.

[54] Park C.B., Miller R.D., And Xia J., 1999, Multichannel analysis of surface waves (MASW): Geophysics, **64**, 800-808.

[55] Park C.B., Miller R.D., Xia J., and Ivanov J., 2004, Imaging dispersion curves of passive surface waves: SEG Expanded Abstracts: Soc. Explor. Geophys., (NSG 1.6), Proceedings in CD ROM.

[56] Rathje E. M., Stokoe II K. H. And Rosenblad B. L., 2003. Strong-motion station Characterization and site effects during the 1999 earthquakes in Turkey, Earthquake Spectra, Vol. 19, pp.653-676.

[57] Rodriguez-Marek A., Jonathan D. B., Norman A. A. (2001). An empirical geotechnical seismic site response procedure. Earthquake Spectra 17.1, 65-87.

[58] Sageep 2003. Data Acqusition and Analysis of Active and Passive Surface Wave Method, Oyo Corparation, Short Course.

[59] Sanchez-Salinero I., 1987. Analytical Investigation of Seismic Methods Used for Engineering Applications, PhD Dissertation, University of Texas at Austin.

[60] Sandıkkaya M. A., 2008. Site classification of national strong-motion recording sites, M.Sc. Thesis, Civil Engineering Department, Middle East Technical University, Ankara.

[61] Sandıkkaya M.A., Yılmaz M. T., Bakır S. B., Yılmaz Ö., 2009. Site classification of Turkish national strong-motion stations, submitted to Journal of Seismology for review.

[62] Seisimager 1.10, (2011). 2D Manual Seismic Software.

[63] SurfSeis 5, (2015). MASW Software – Kansas State University Geological Survey.

[64] Suzuki H., and Hayashi K. (2003). "Shallow S-wave velocity sounding using the microtremors array measurements and the surface wave method." Proceedings of the Symposium on the Application of Geophysics to Engineering and Environmental Problems (SAGEEP), Environmental and Engineering Geophysical Society, Denver, CD-ROM, 13711376.

[65] Stokoe, K.H, Wright, S.G., Bay, J., Roesset, J.M., 1994. Characterization of Geotecnical Sites by SASW Method, in Geopgsical Characterization of Sites, by R.D. Woods (ed), Oxford and IBH Publ., pp15-25.

[66] Tarı U, Tüysüz O, Genç Ş.C., İmren C, Lom N, Tekeşin Ö, Üsküplü S, Erel L, Altıok S, Beyhan M, 2013. The geology and morphology of the Antakya Graben between the Amik Triple Junction and the Cyprus Arc, Volume 26, Issue 1-2dx.doi.org/10.1080/09853111.2013.858962.

[67] TBDY, 2018. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği.

[68] Tokimatsu K., Tamura S. and Kojima H., 1992. Effects of Multiple Mode on Rayleigh Wave Disperison Characteristics. Journal of Geotechnical Engineering, American Society of Civil Engineering 118, 1529-1543.

[69] Ulusay R., Tuncay E., Sönmez H. and Gökçeoğlu C., 2004. An attenuation Relationship based on Turkish strong motion data and iso-acceleration map of Turkey, Engineering Geology, Vol. 74, pp. 265-291.

[70] Yılmaz Ö., Savaşkan E., Bakır B. S., Yılmaz M. T., Eser M., Akkar S., Tüzel B., İravul Y., Özmen Ö. T., Denizlioğlu A. Z., Alkan A., and Gürbüz M., 2008. "Shallow Seismic and Geotechnical Site Surveys at theTurkish National Grid for Strong- Motion Seismograph Stations" 14th World Conference on Earthquake Engineering, Beijing.

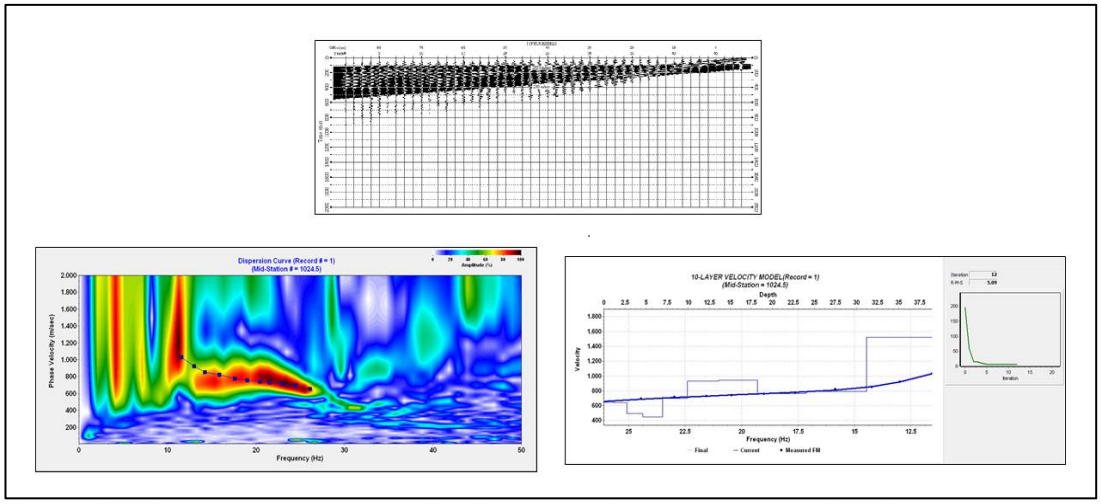
[71] Zare M., Bard P-Y., 2002. Strong motion data set of Turkey: Data processing and site classification Soil Dynamics and Earthquake Engineering 22(8):703-718.

[72] Xia J., Miller R. D., and Park C.B., 1999, Estimation of near-surface velocity by inversion of Rayleigh wave, Geophysics, **64**, 691-700.

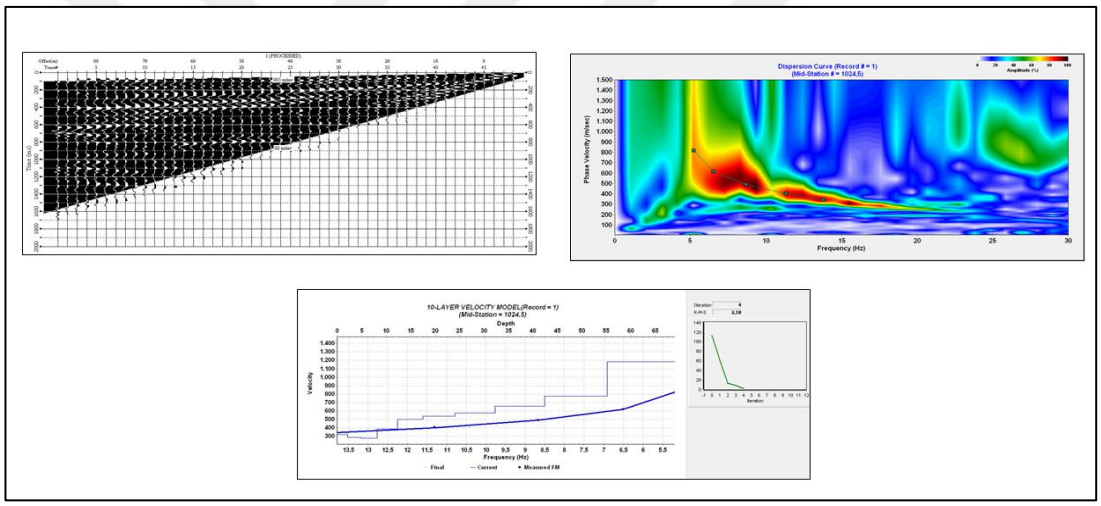
[73] Xia J., Xu Y., Chen C., Kaufman R. D., Luo Y., 2005. Simple Eguations Guide High-Frequency Surface Wave İnvestigation Techniques, (2006), **26,** 395-403.

EKLER

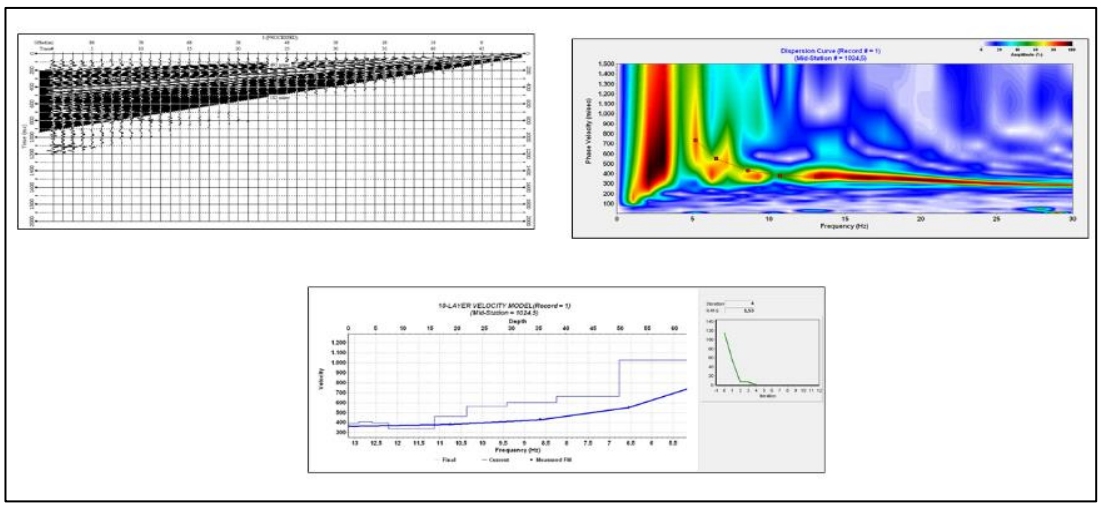
EK-A



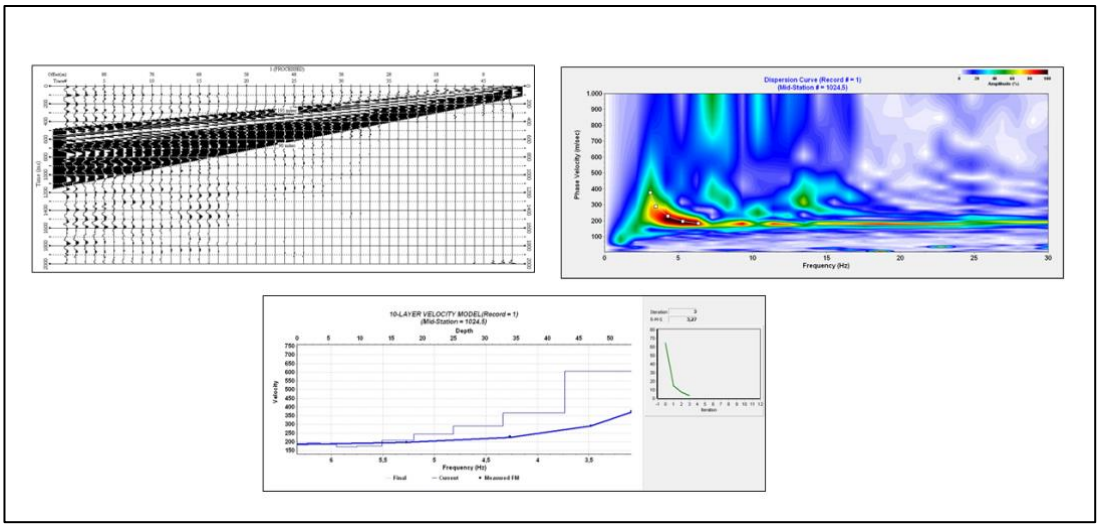
A.1. 0101 kodlu MASW sonuçları



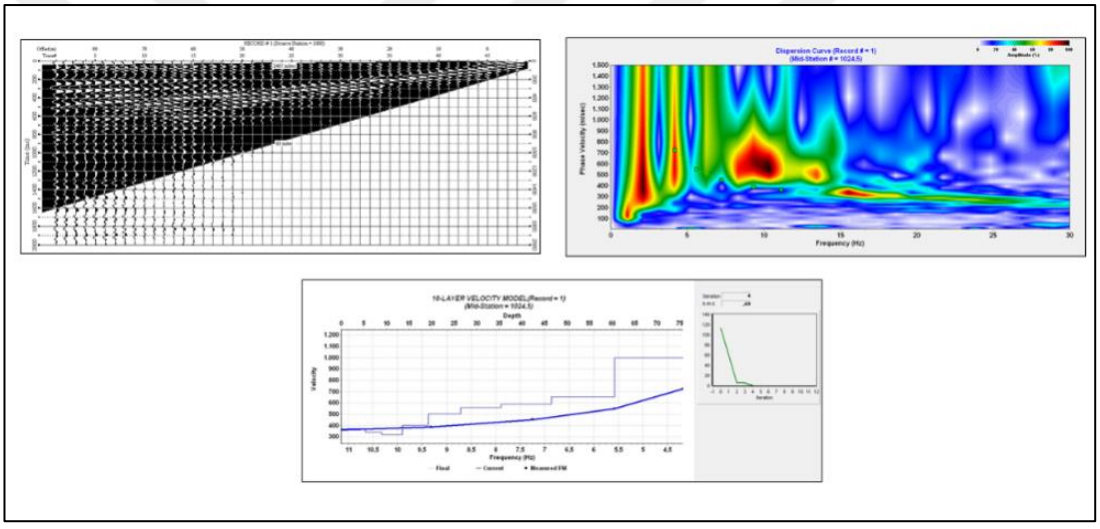
A.2. 0102 kodlu MASW sonuçları



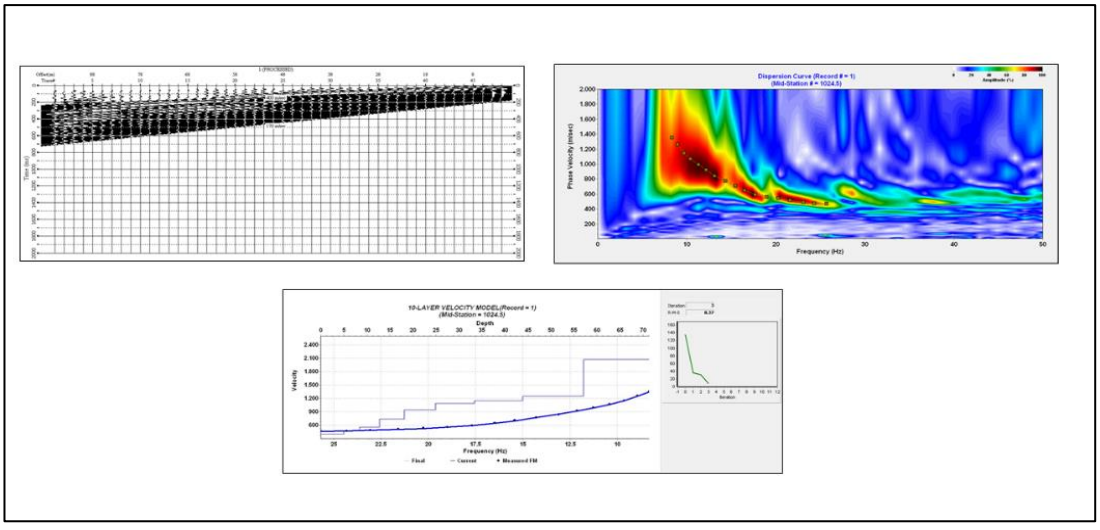
A.3. 0103 kodlu MASW sonuçları



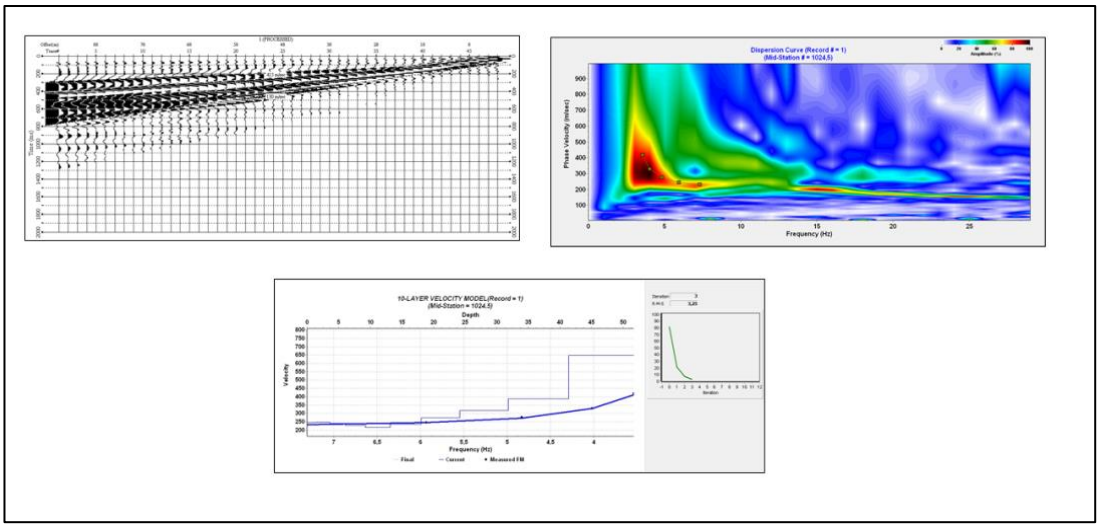
A.4. 0106 kodlu MASW sonuçları



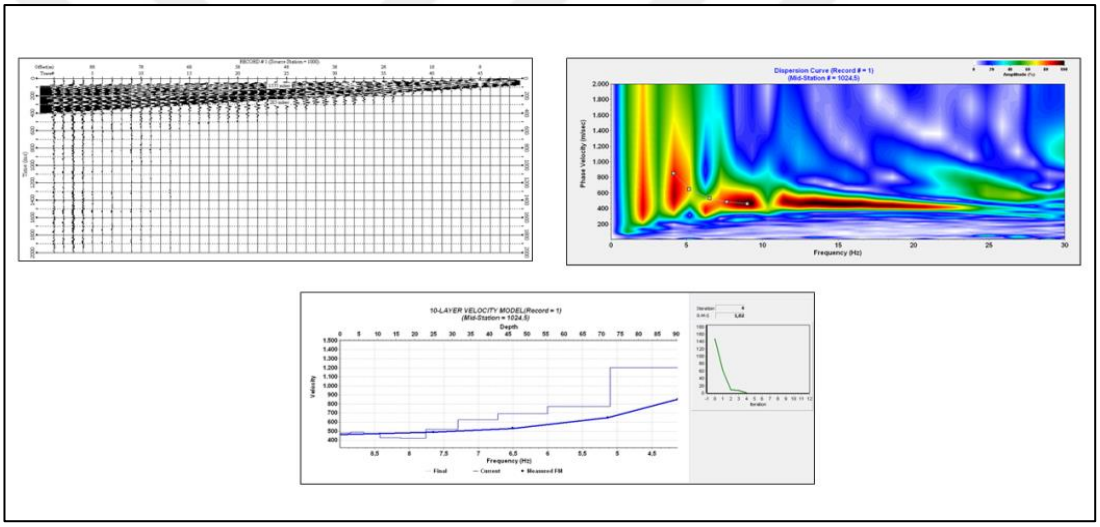
A.5. 0107 kodlu MASW sonuçları



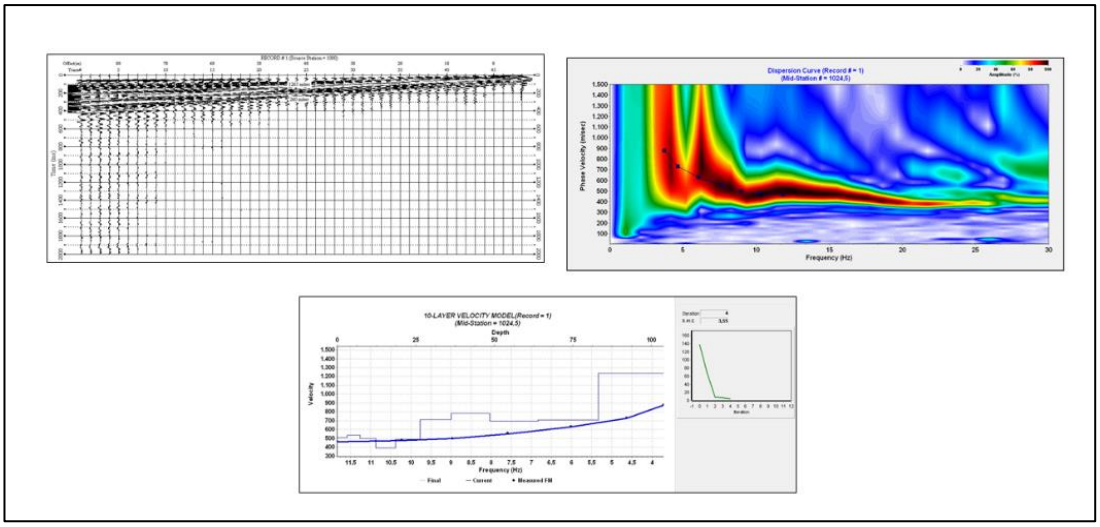
A.6. 0108 kodlu MASW sonuçları



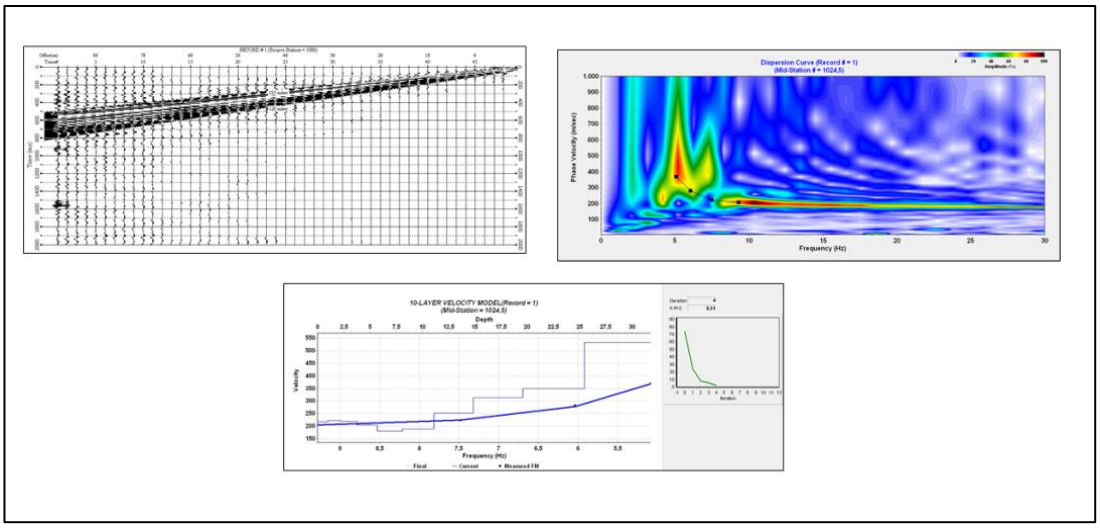
A.7. 0109 kodlu MASW sonuçları



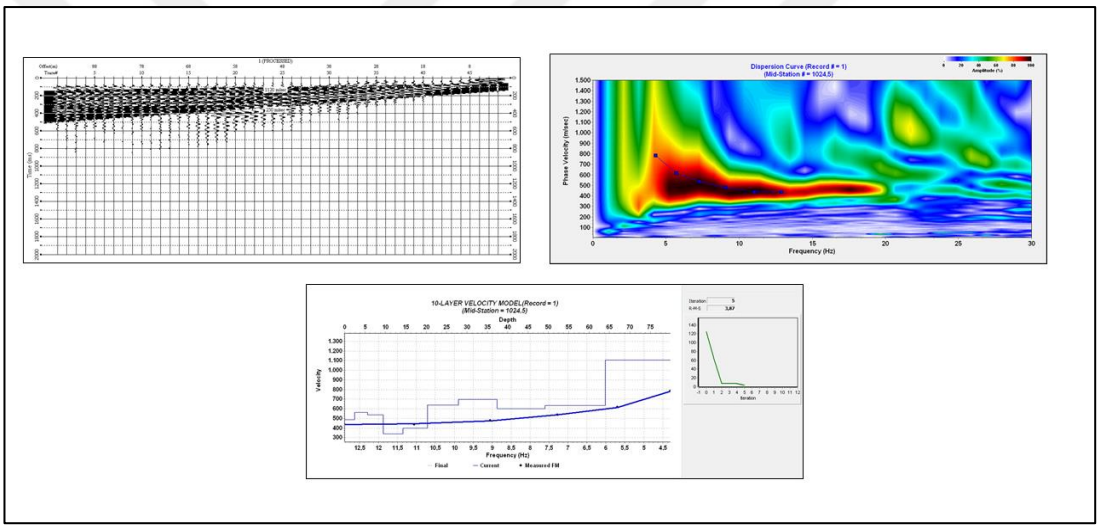
A.8. 0111 kodlu MASW sonuçları



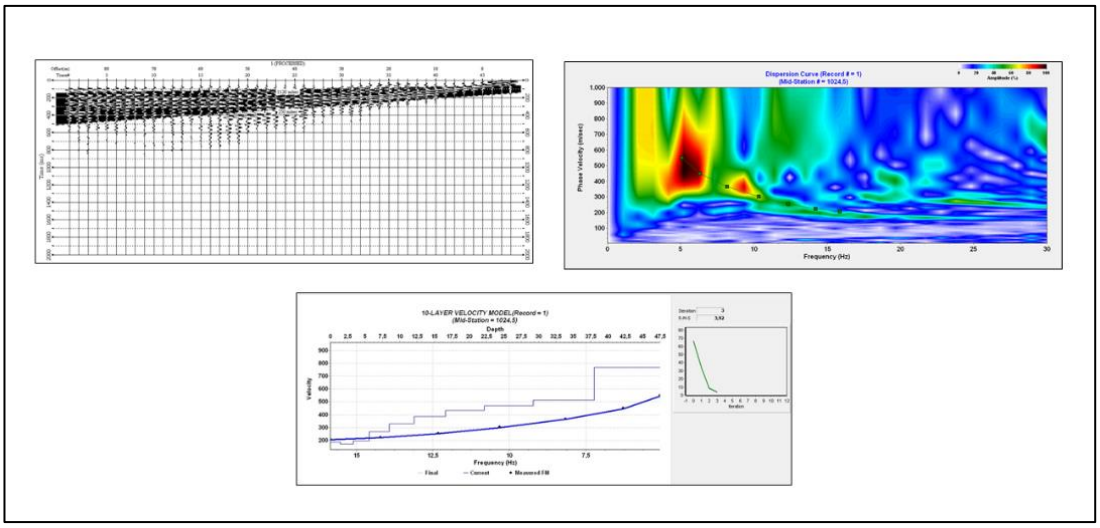
A.9. 0112 kodlu MASW sonuçları



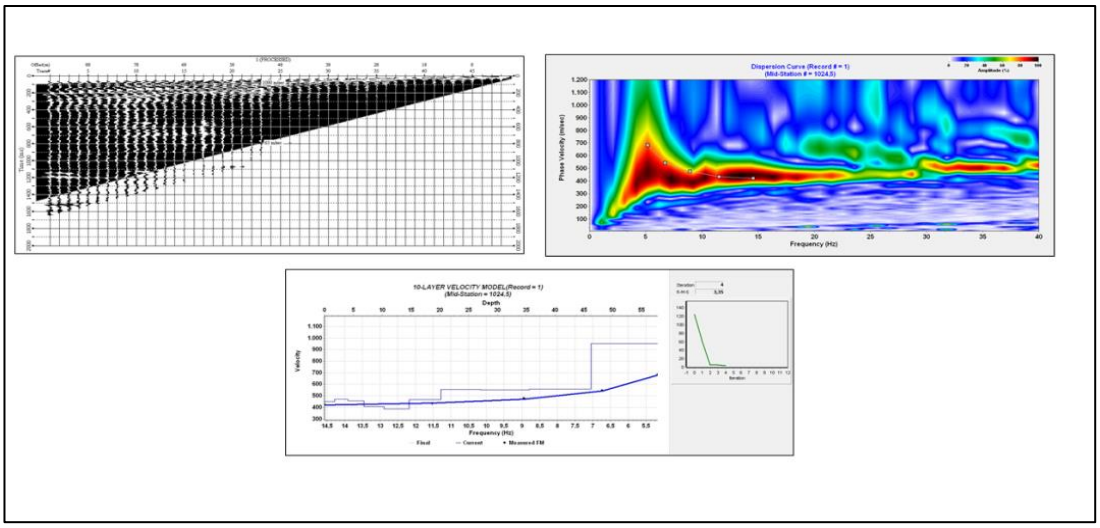
A.10. 0113 kodlu MASW sonuçları



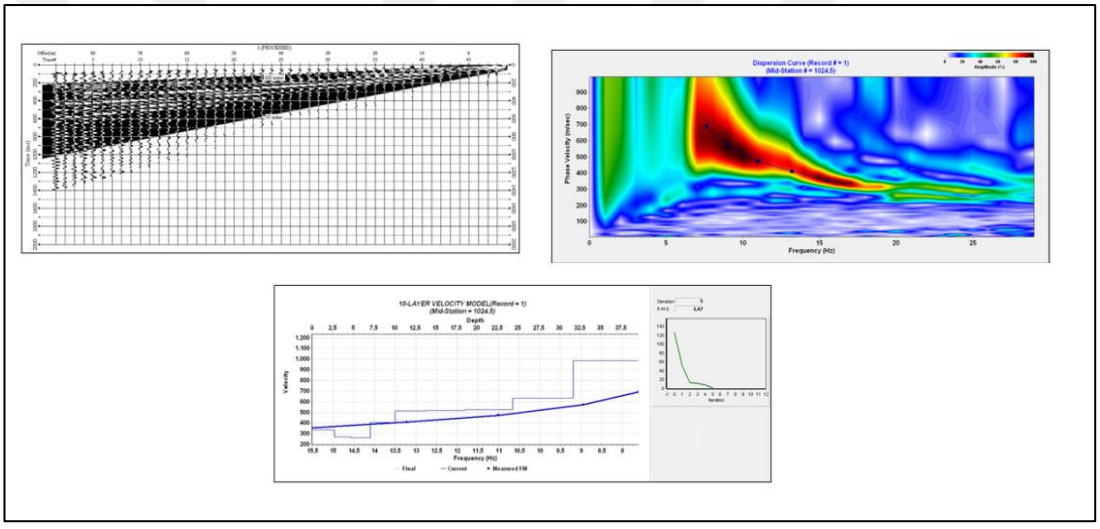
A.11. 0114 kodlu MASW sonuçları



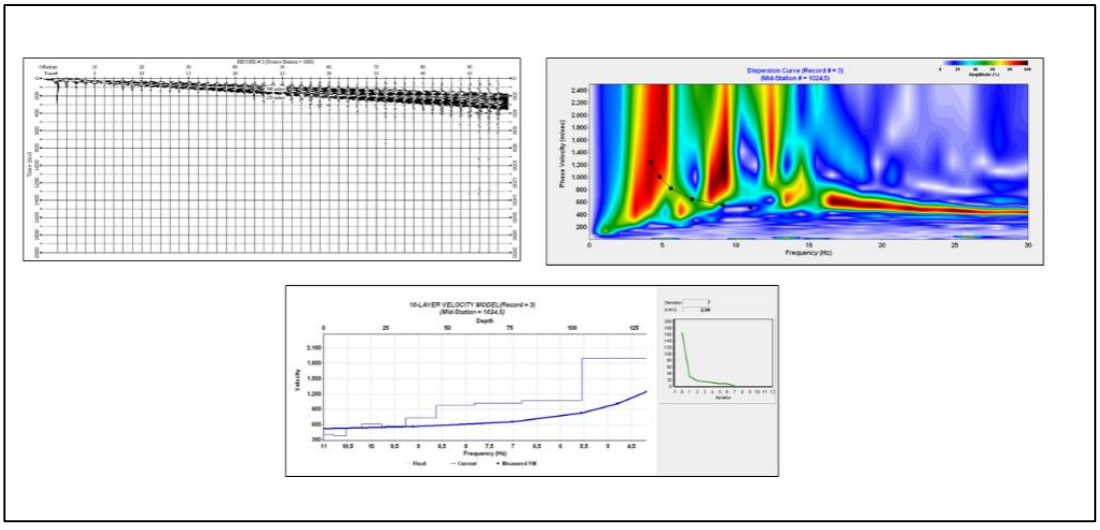
A.12. 0115 kodlu MASW sonuçları



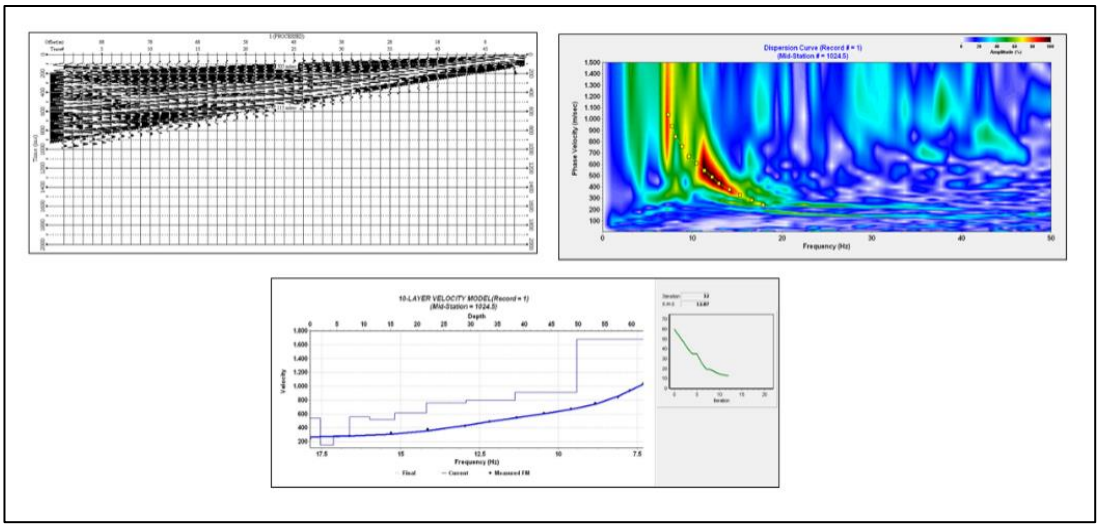
A.13. 0116 kodlu MASW sonuçları



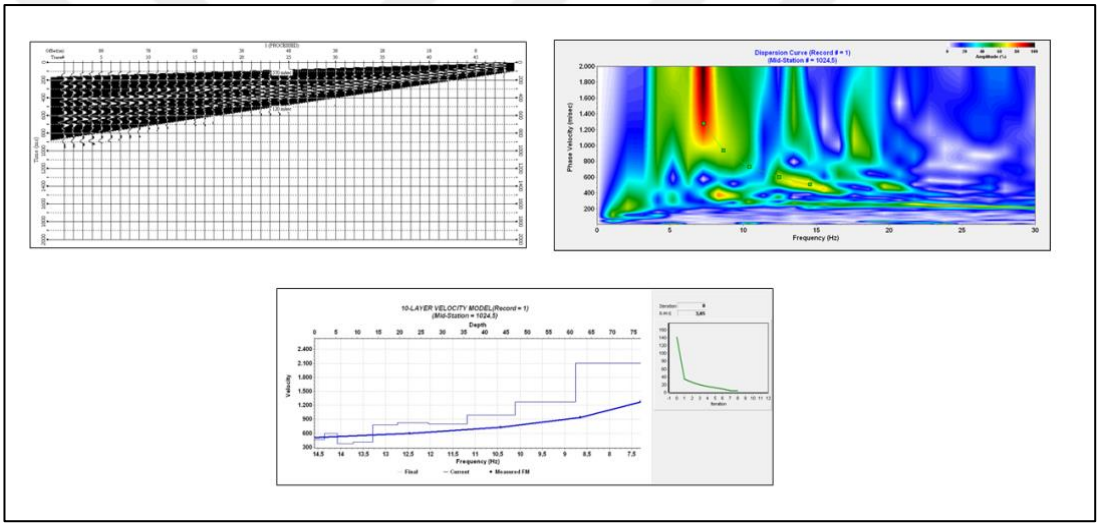
A.14. 0120 kodlu MASW sonuçları



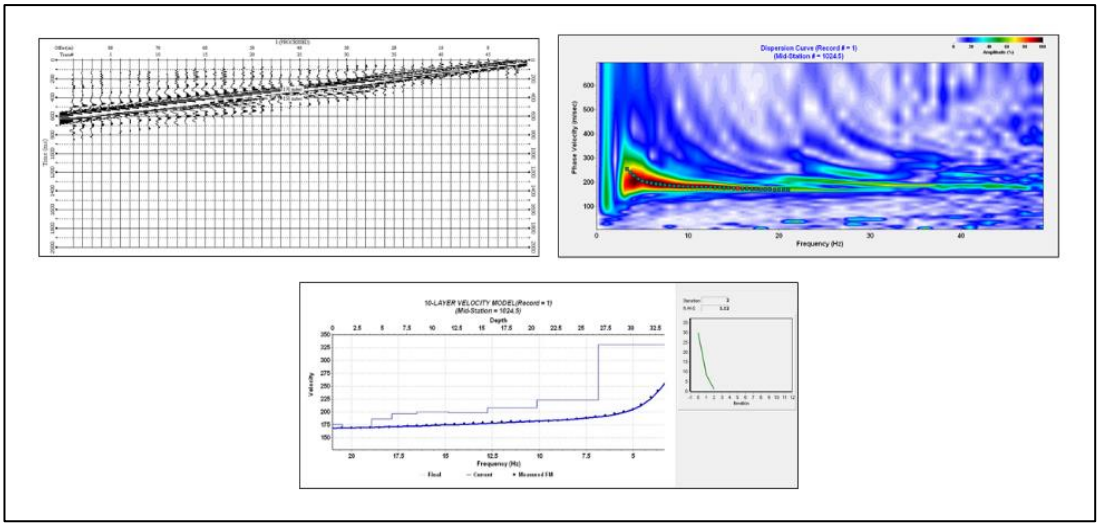
A.15. 0122 kodlu MASW sonuçları.



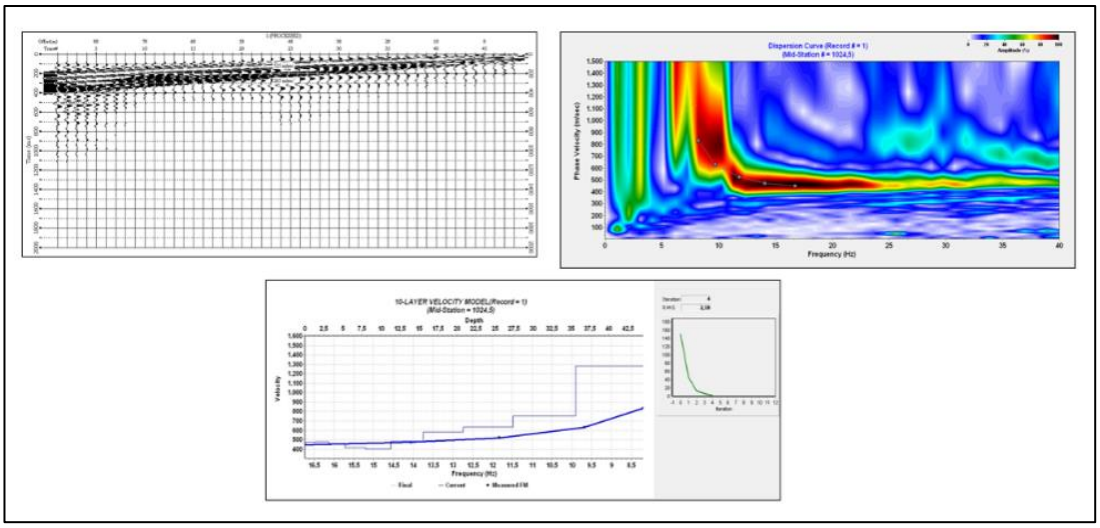
A.16. 0123 kodlu MASW sonuçları



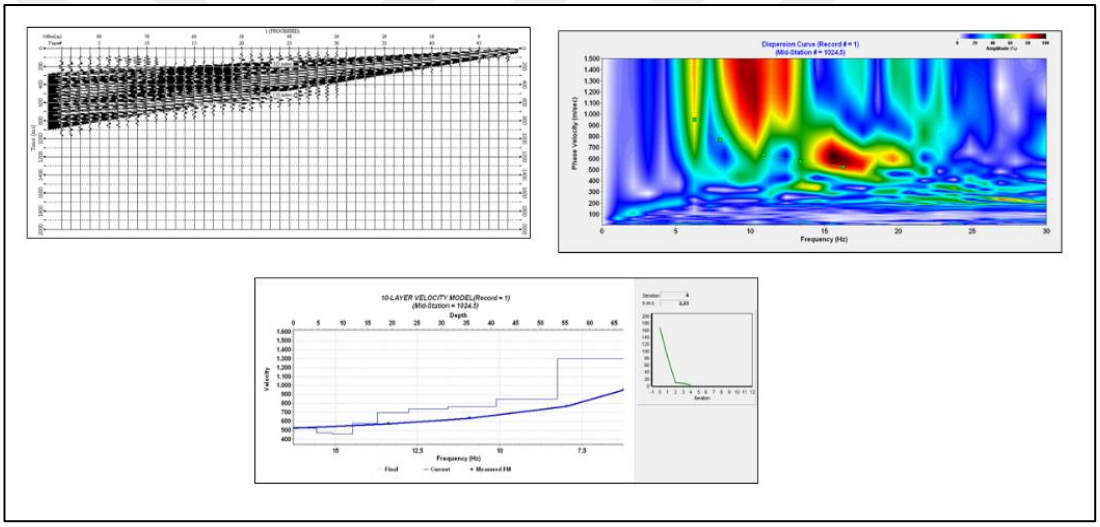
A.17. 0124 kodlu MASW sonuçları



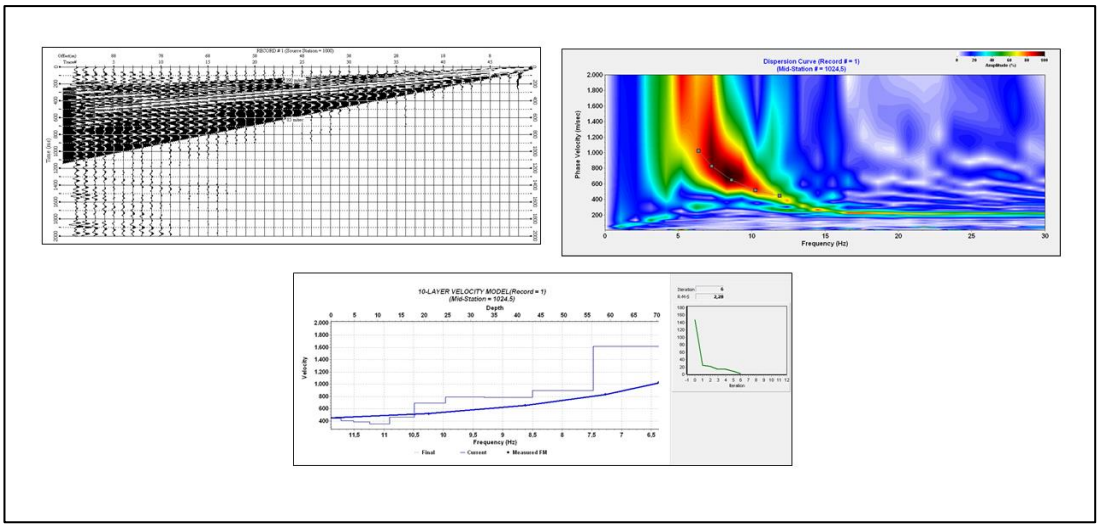
A.18. 0125 kodlu MASW sonuçları



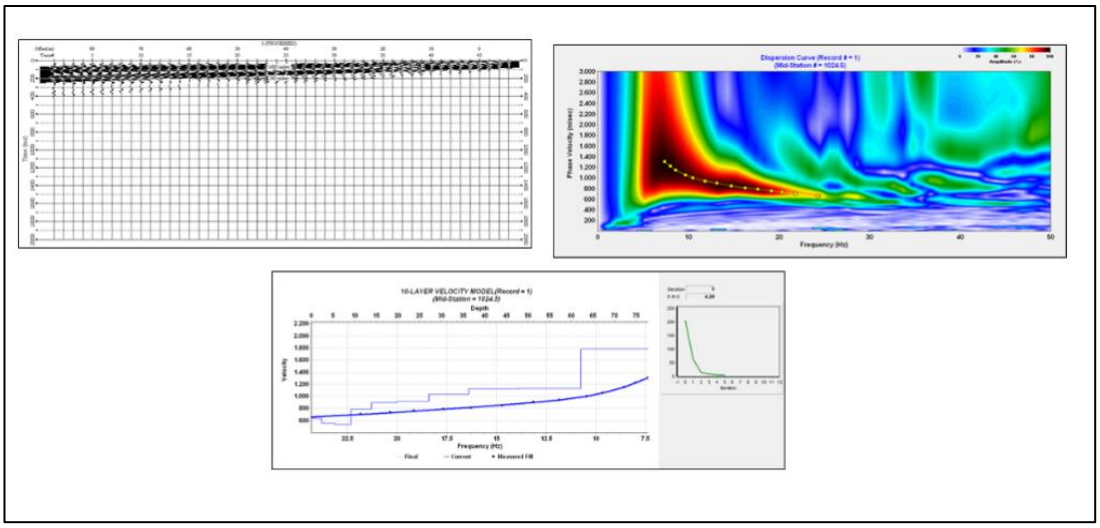
A.19. 0126 kodlu MASW sonuçları



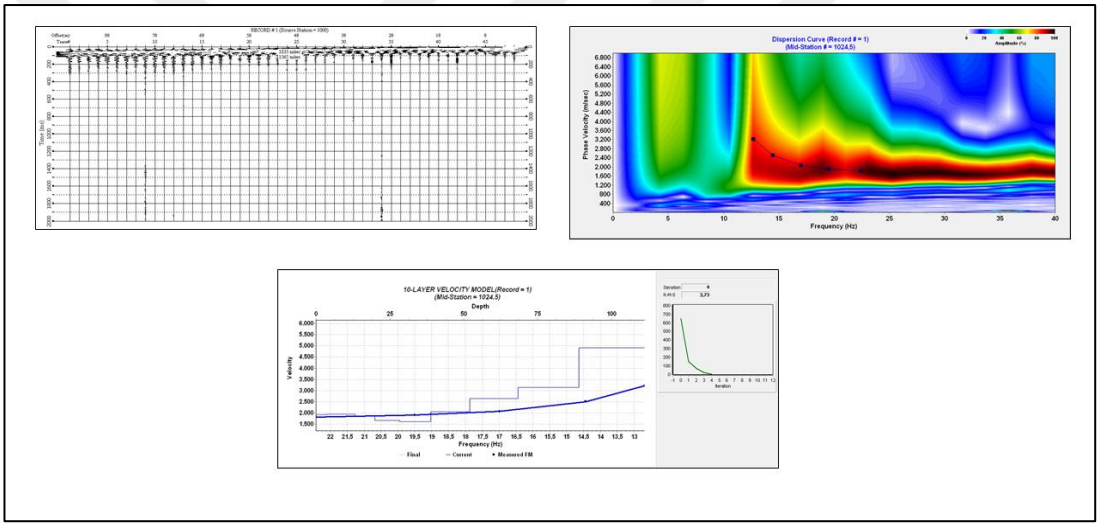
A.20. 0127 kodlu MASW sonuçları



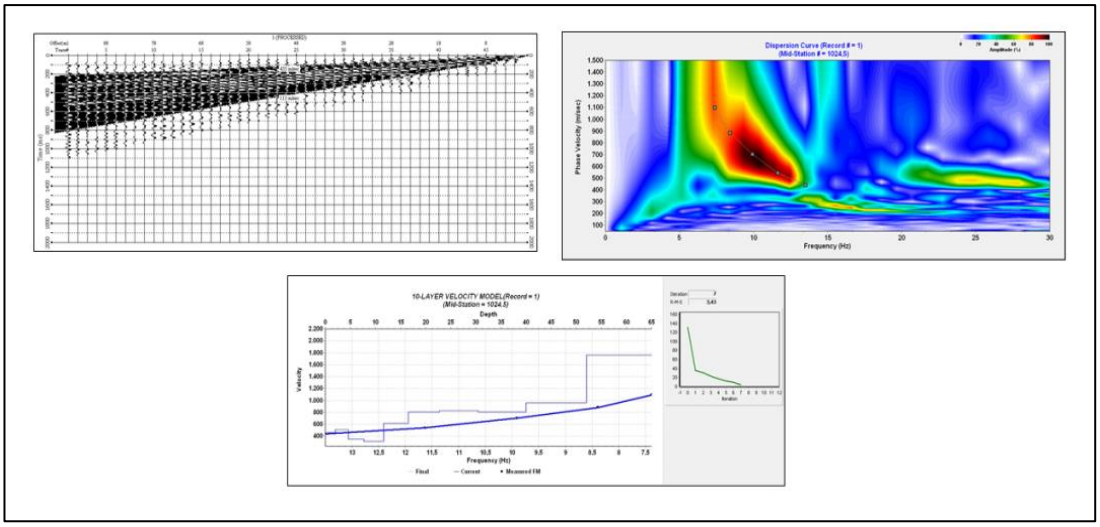
A.21. 0128 kodlu MASW sonuçları



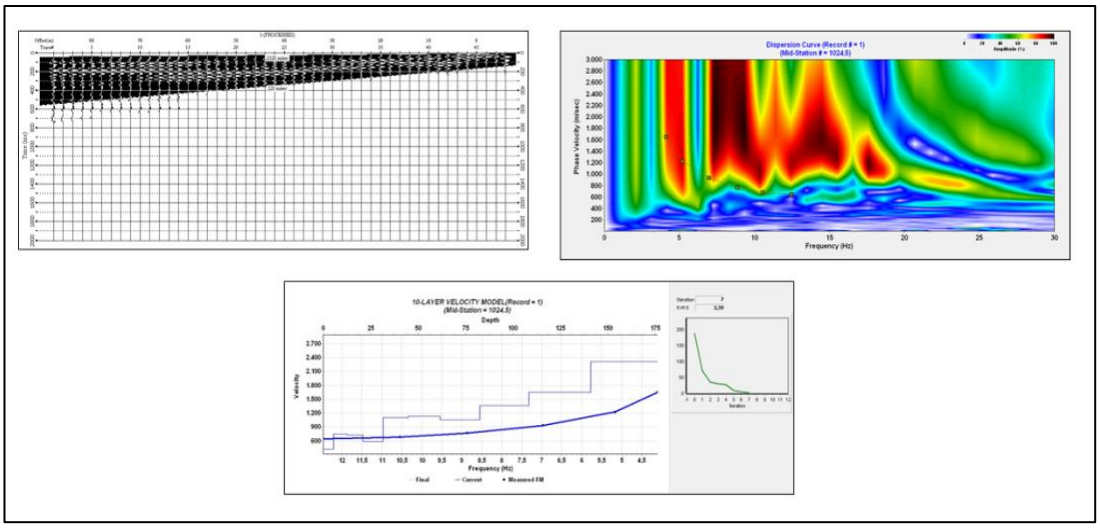
A.22. 0129 kodlu MASW sonuçları



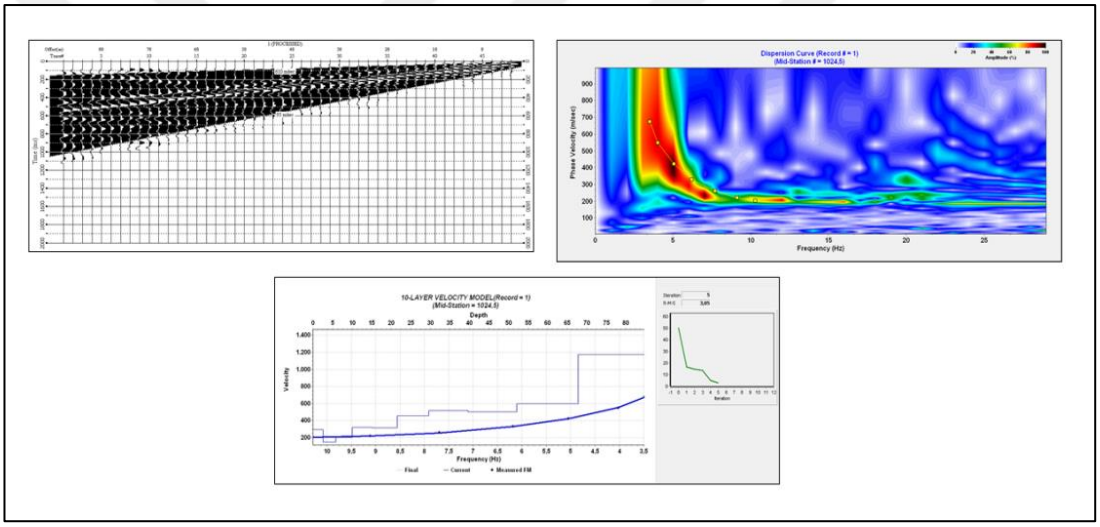
A.23. 0707 kodlu MASW sonuçları



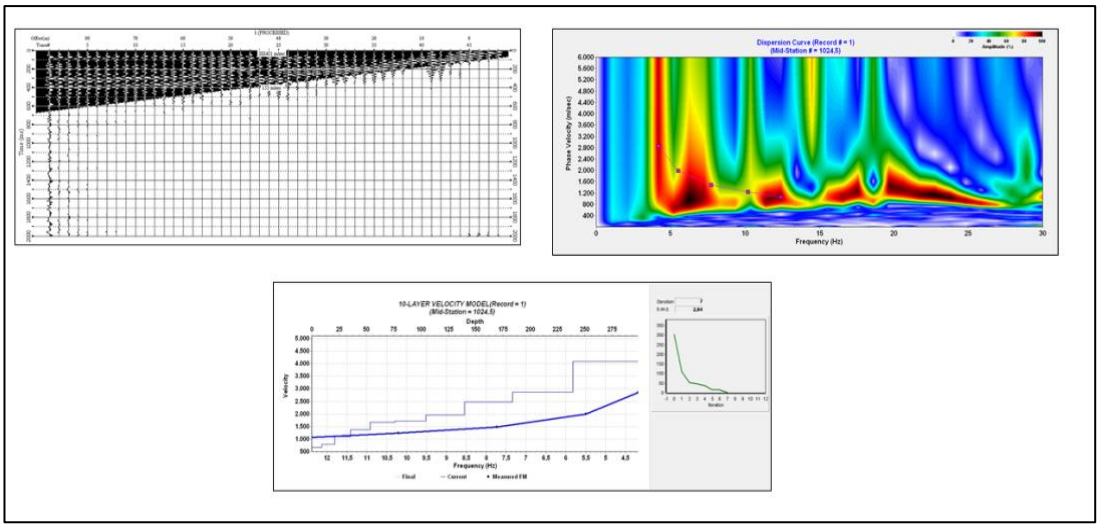
A.24. 0713 kodlu MASW sonuçları



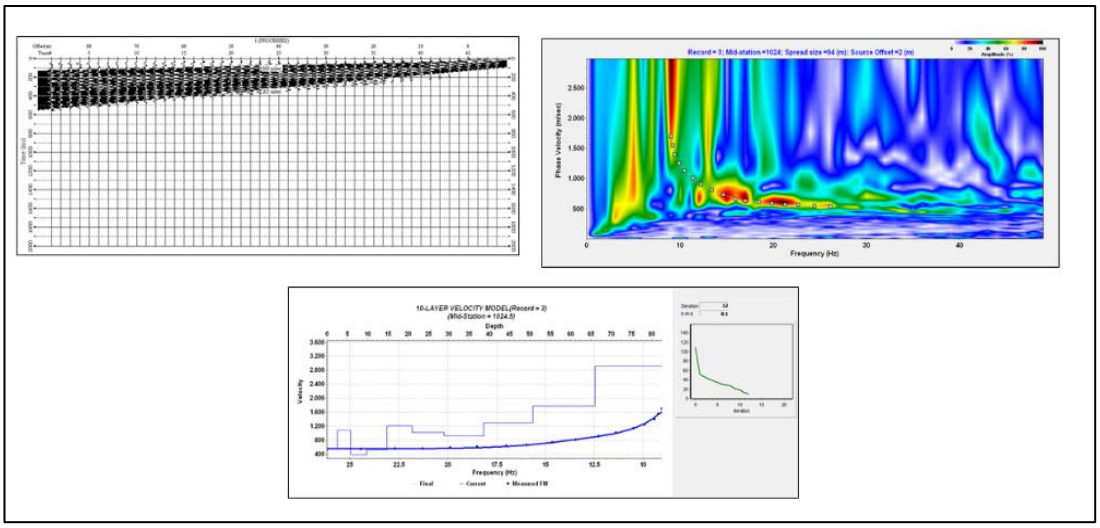
A.25. 0714 kodlu MASW sonuçları



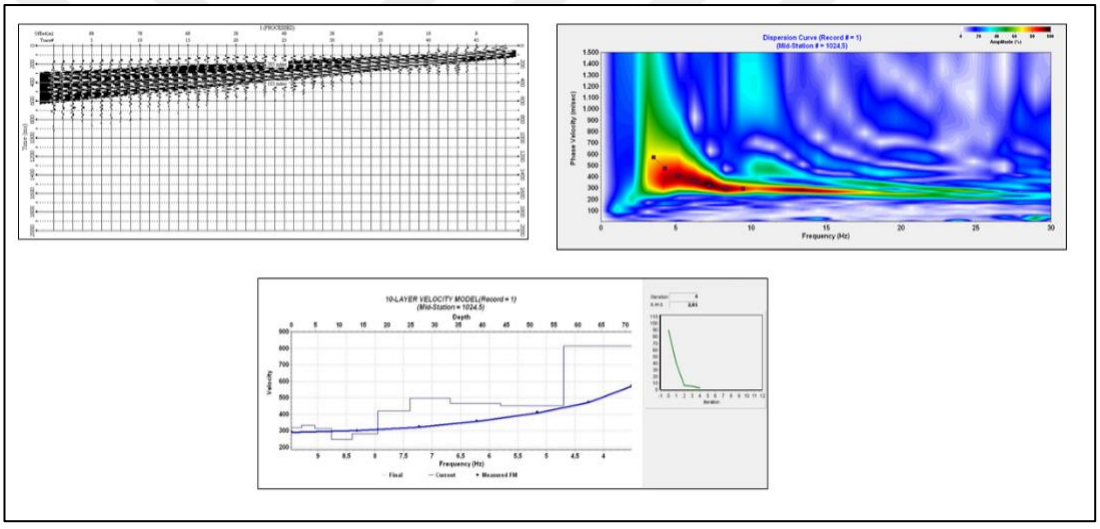
A.26. 0715 kodlu MASW sonuçları



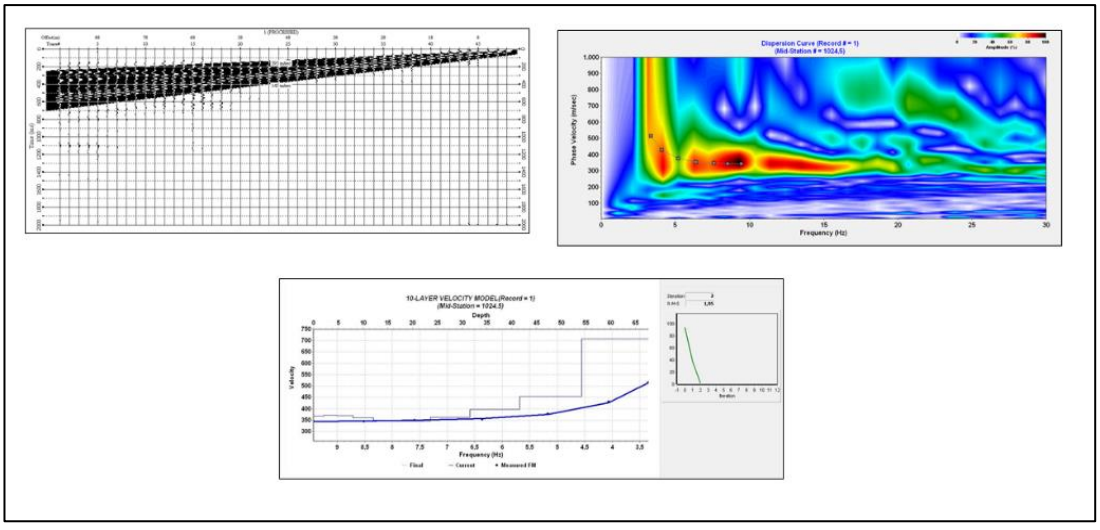
A.27. 0716 kodlu MASW sonuçları



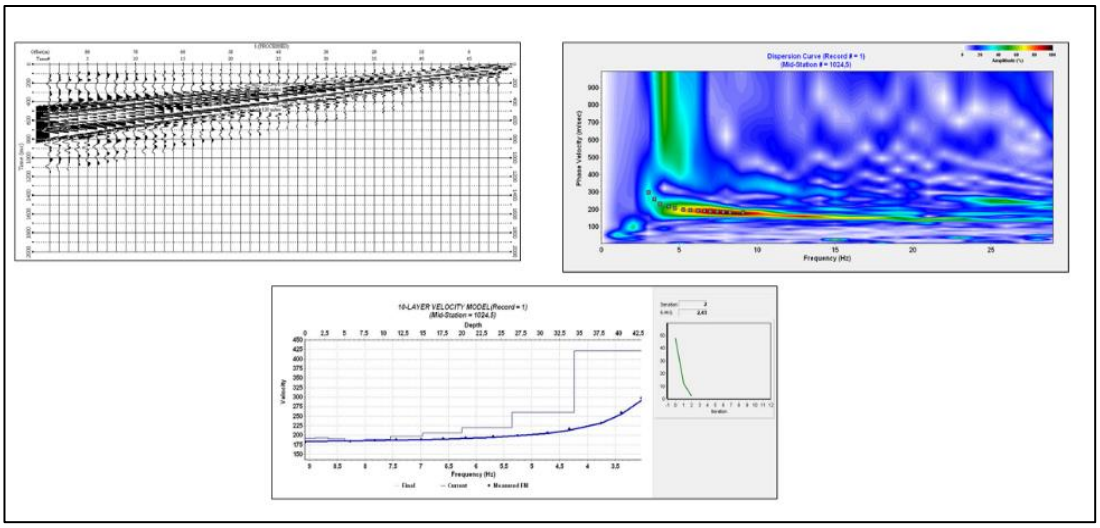
A.28. 0717 kodlu MASW sonuçları



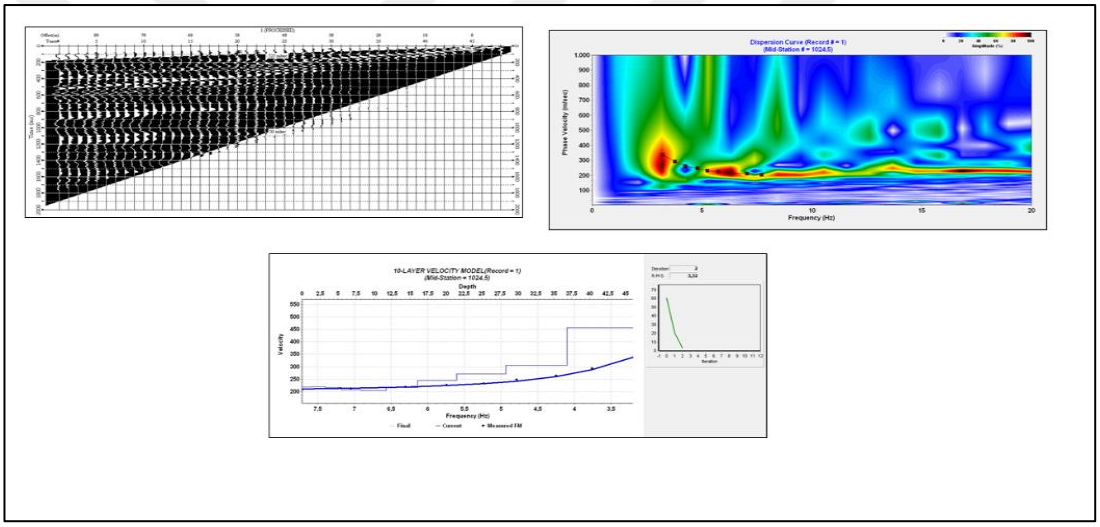
A.29. 1506 kodlu MASW sonuçları



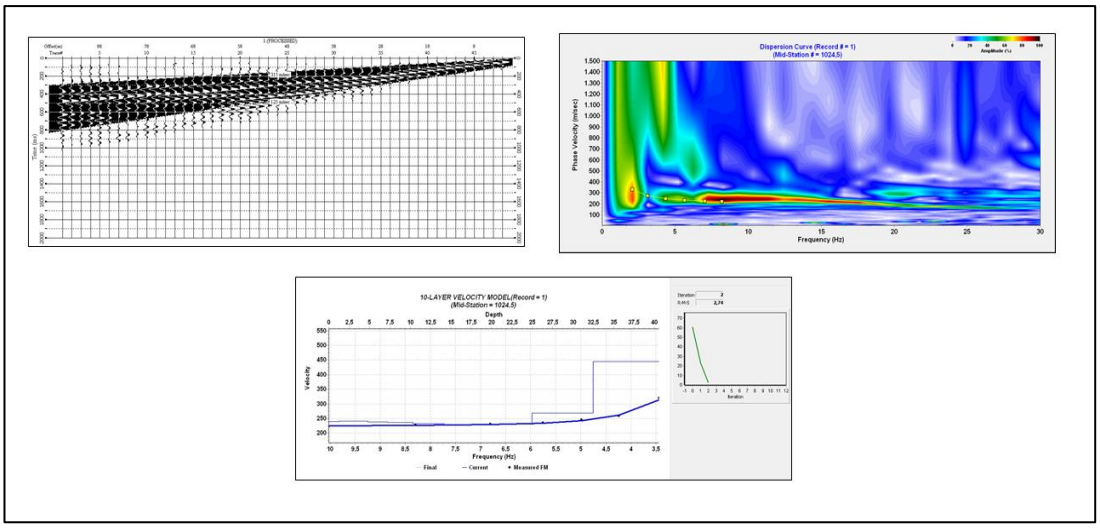
A.30. 1507 kodlu MASW sonuçları



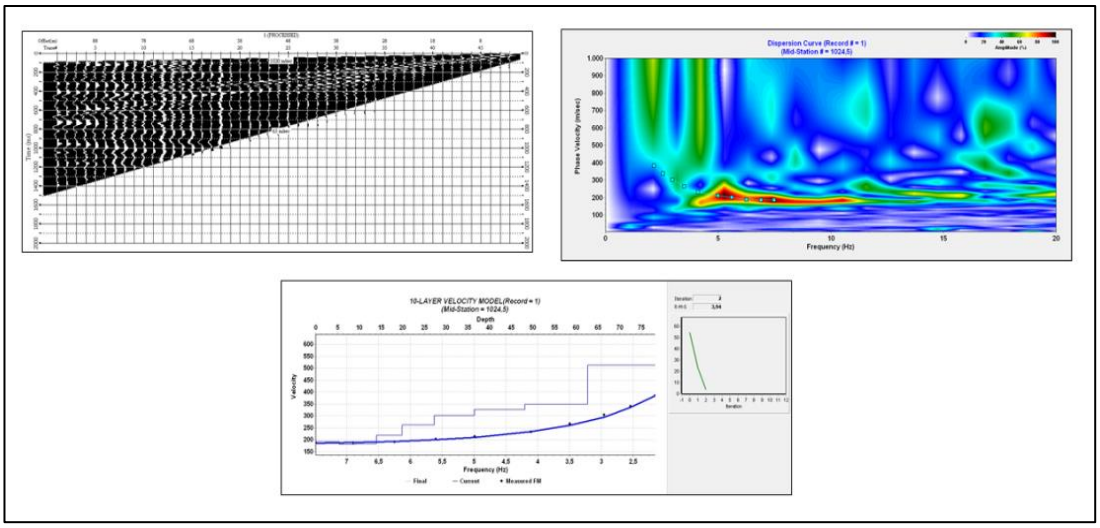
A.31. 1508 kodlu MASW sonuçları



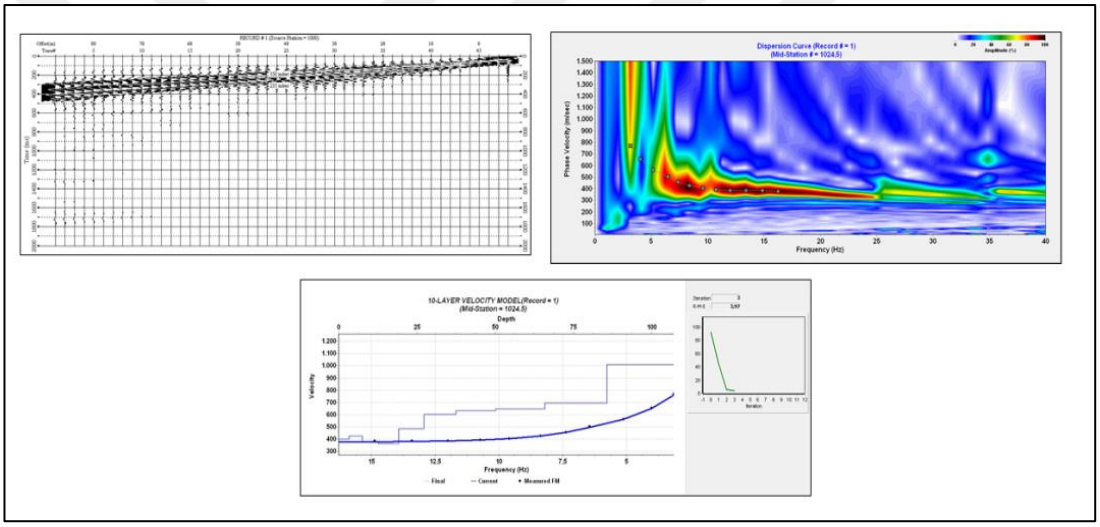
A.32. 3112 kodlu MASW sonuçları



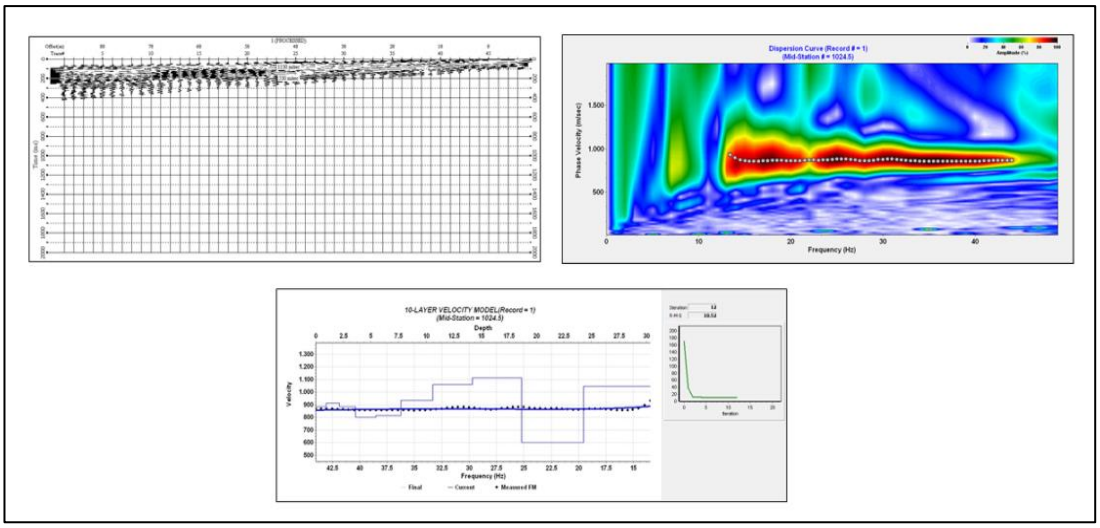
A.33. 3113 kodlu MASW sonuçları



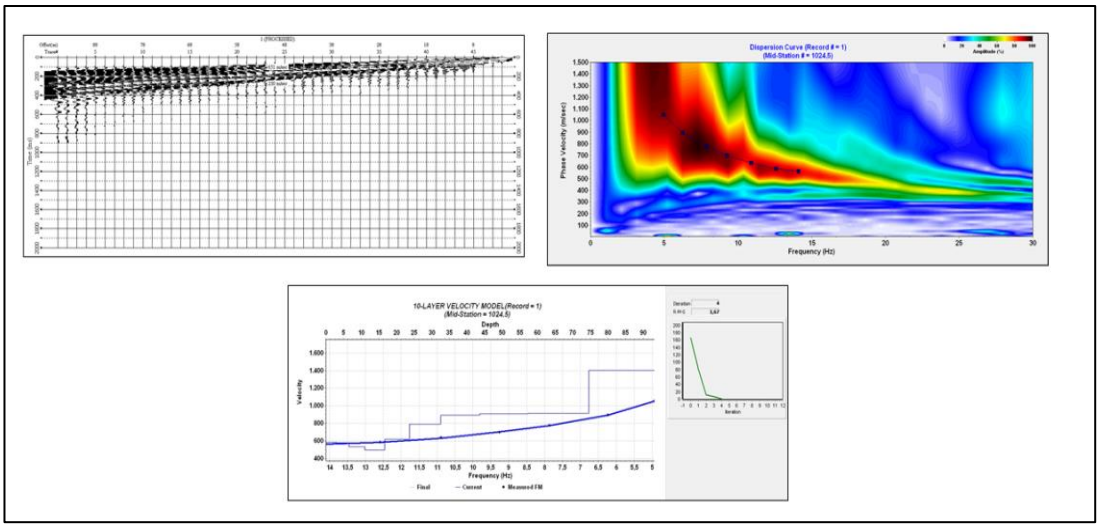
A.34. 3114 kodlu MASW sonuçları



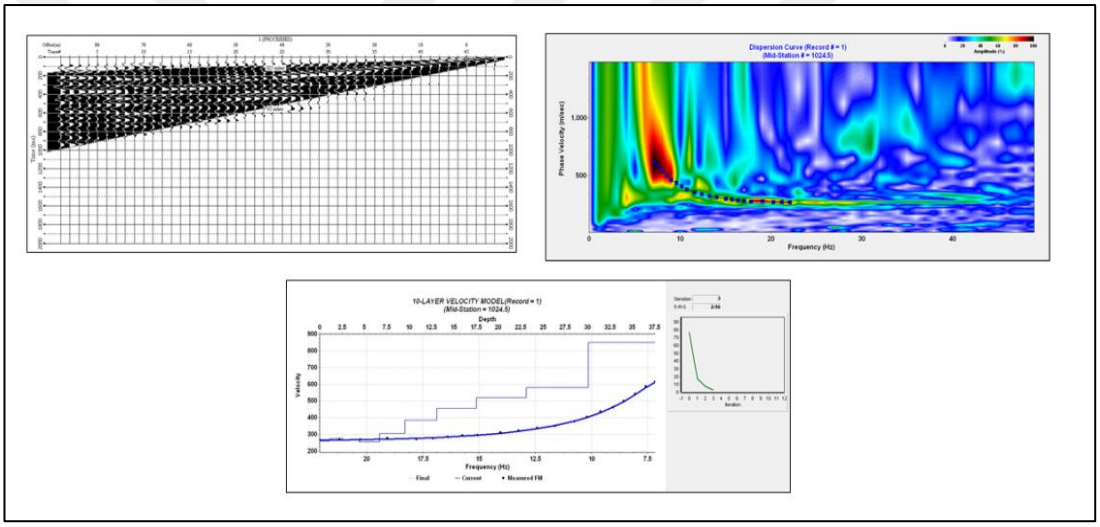
A.35. 3115 kodlu MASW sonuçları



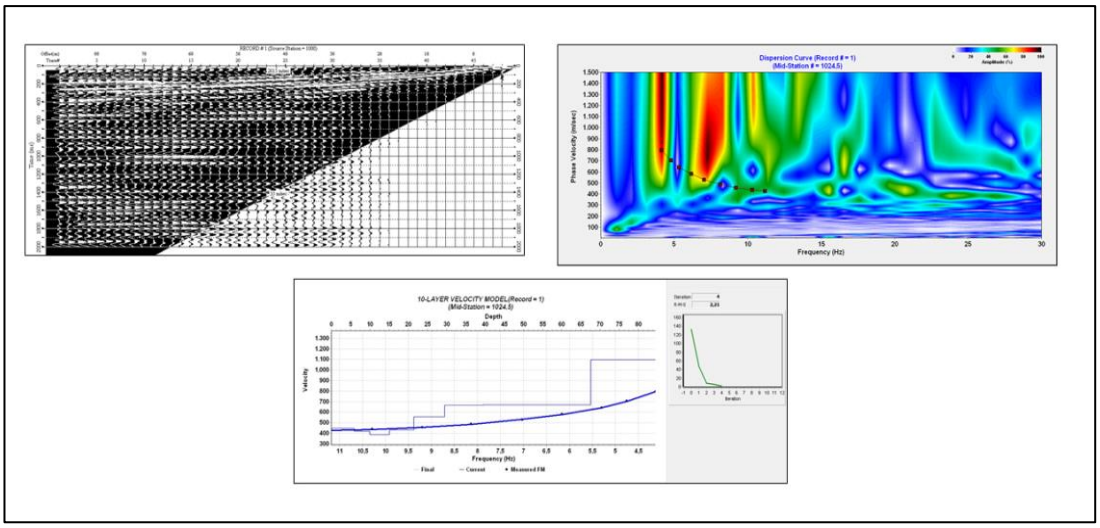
A.36. 3116 kodlu MASW sonuçları



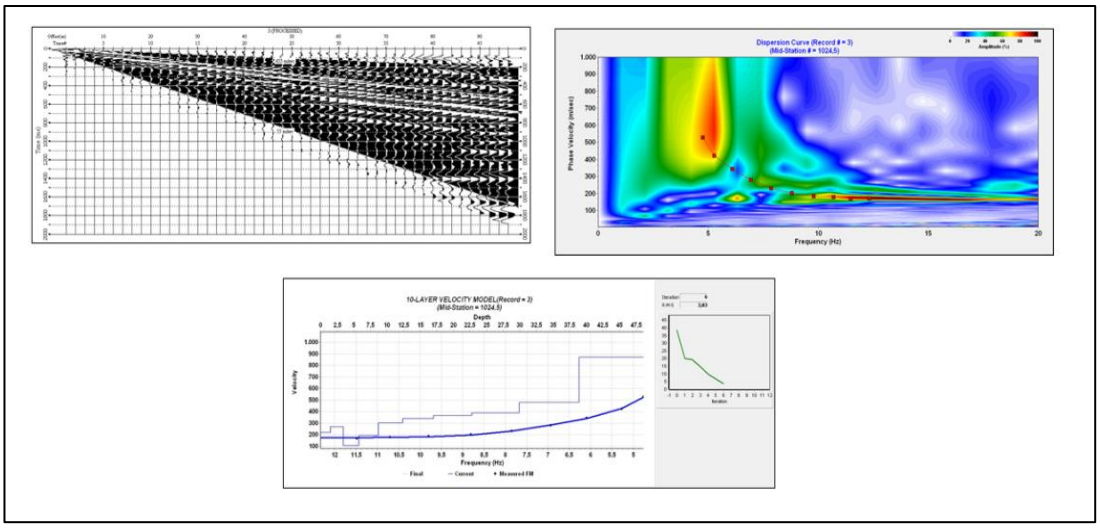
A.37. 3117 kodlu MASW sonuçları



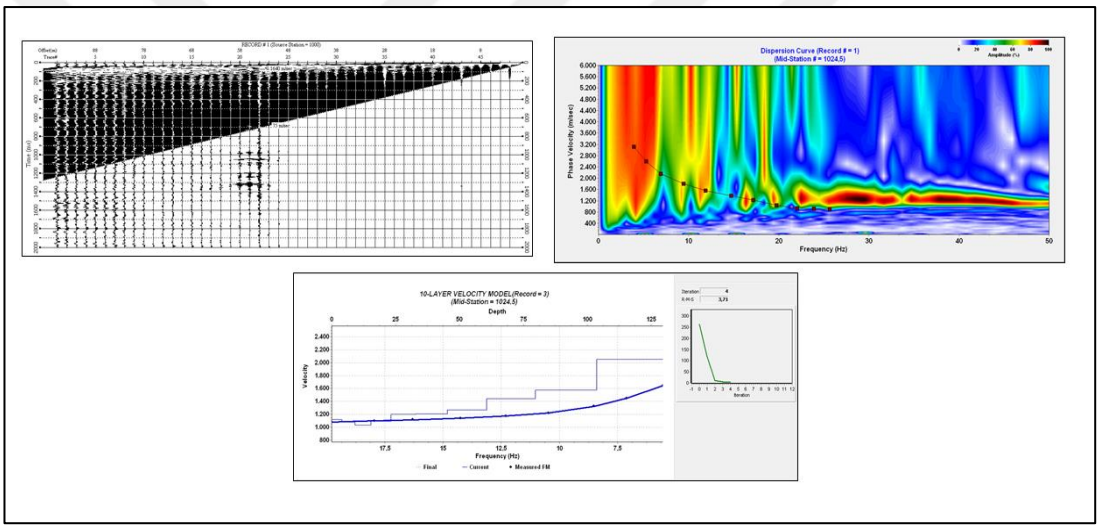
A.38. 3119 kodlu MASW sonuçları



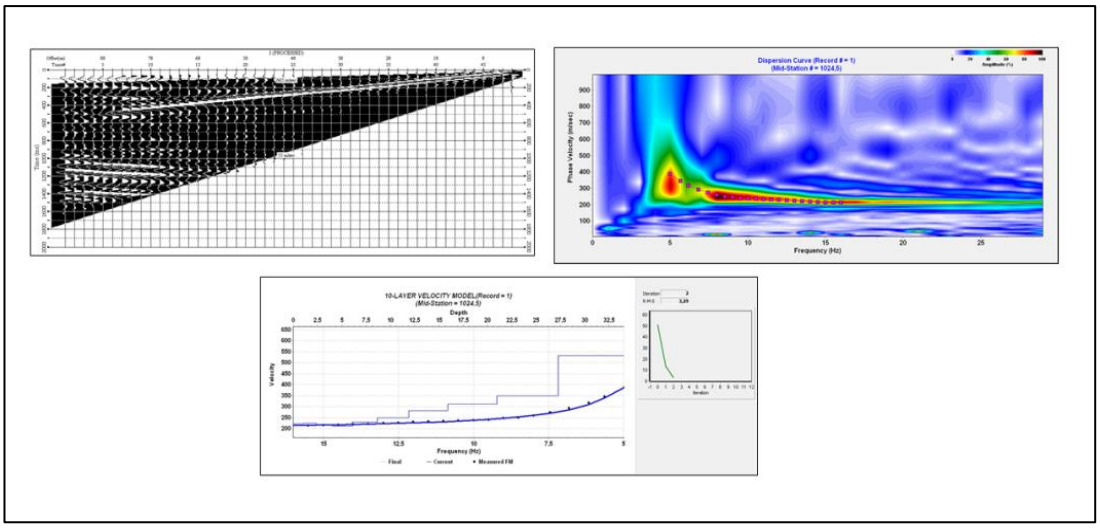
A.39. 3120 kodlu MASW sonuçları



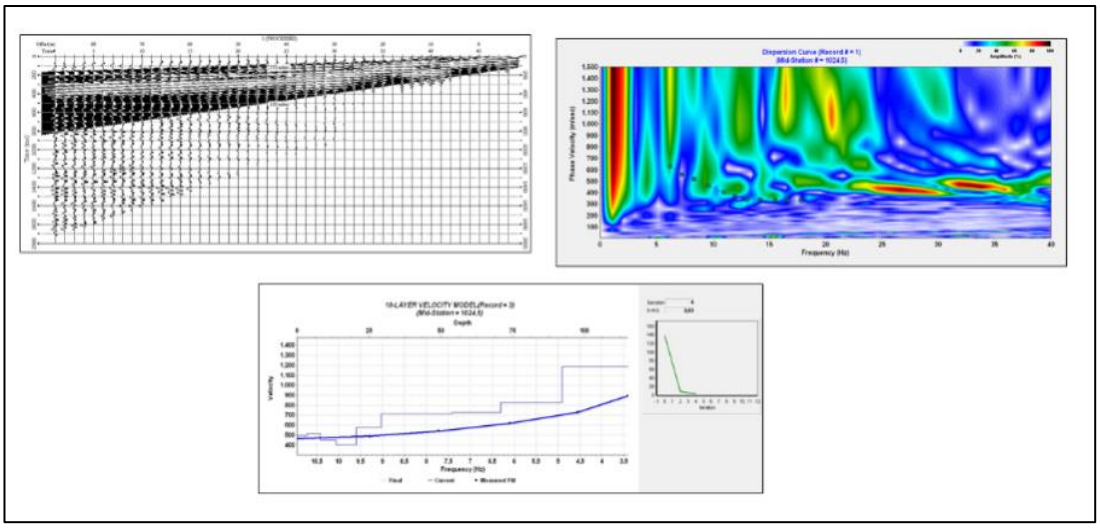
A.40. 3121 kodlu MASW sonuçları



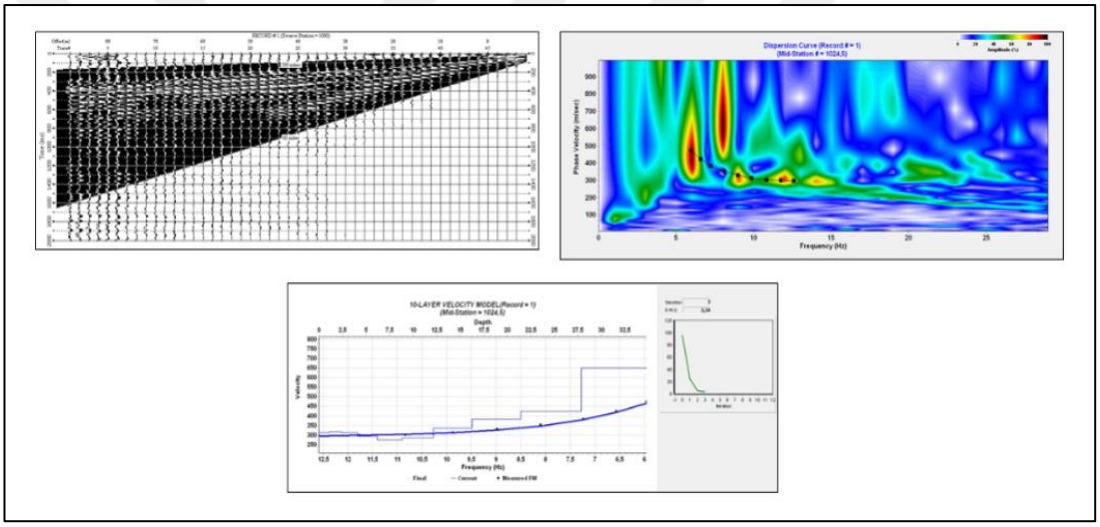
A.41. 3122 kodlu MASW sonuçları



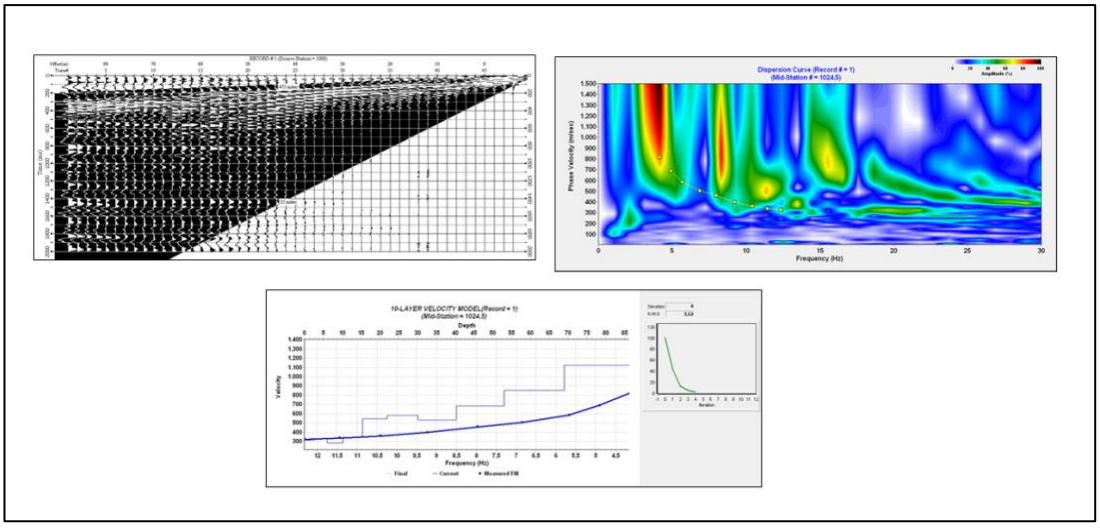
A.42. 3124 kodlu MASW sonuçları



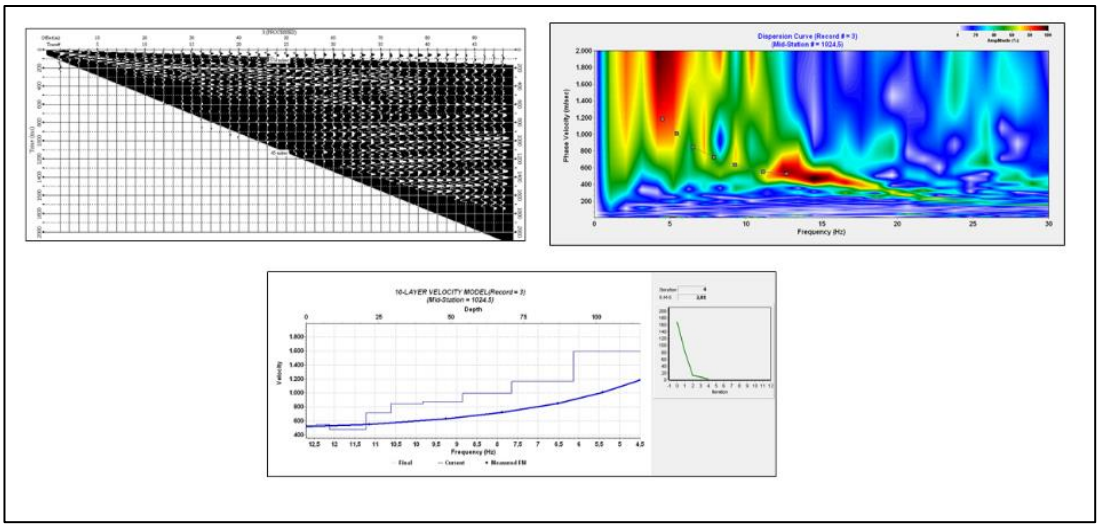
A.43. 3125 kodlu MASW sonuçları



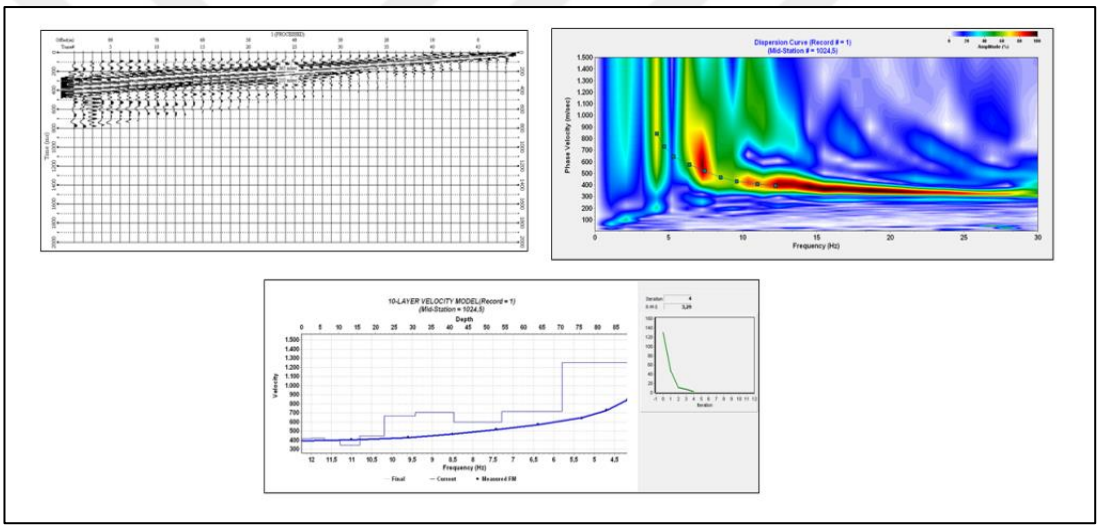
A.44. 3126 kodlu MASW sonuçları



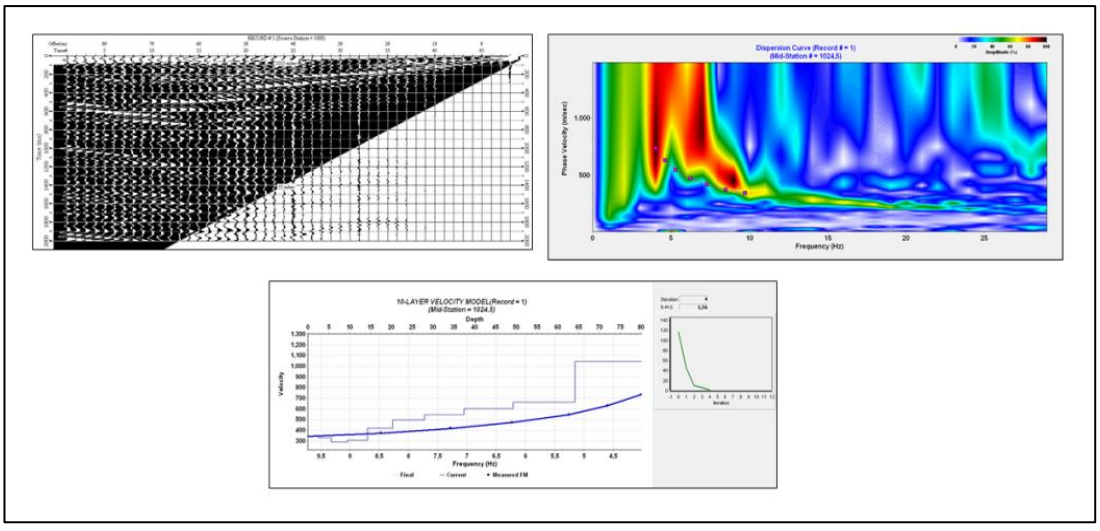
A.45. 3127 kodlu MASW sonuçları



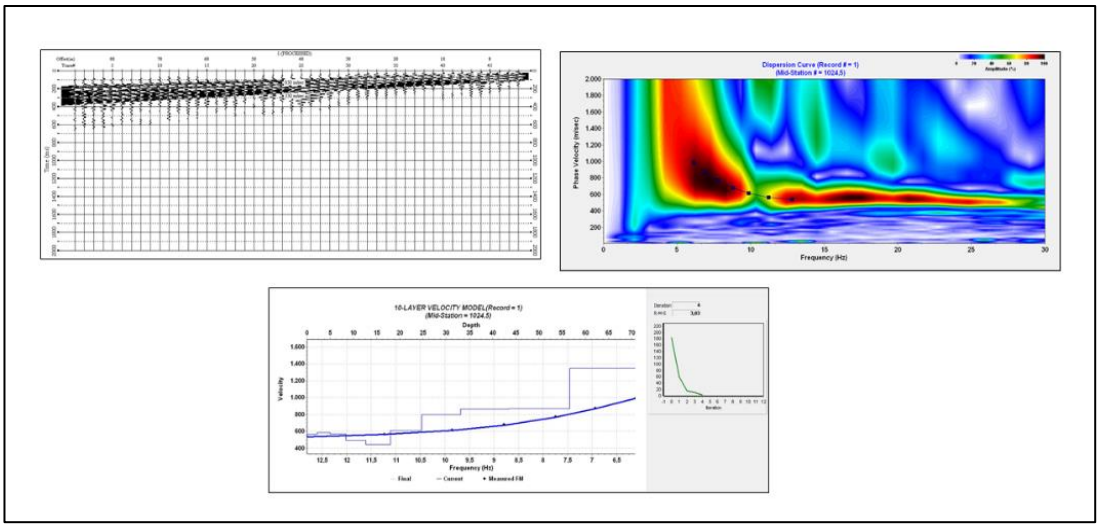
A.46. 3128 kodlu MASW sonuçları



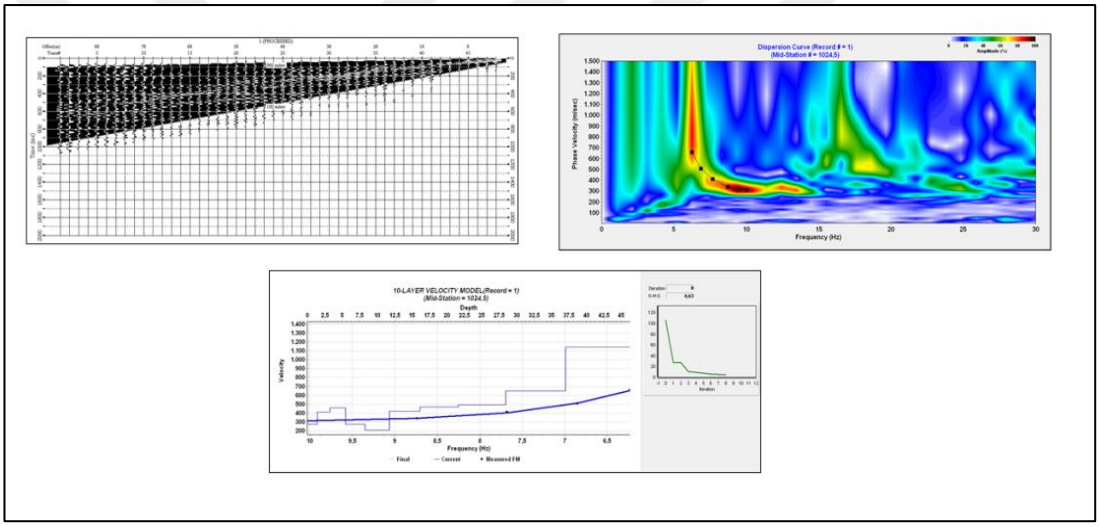
A.47. 3129 kodlu MASW sonuçları



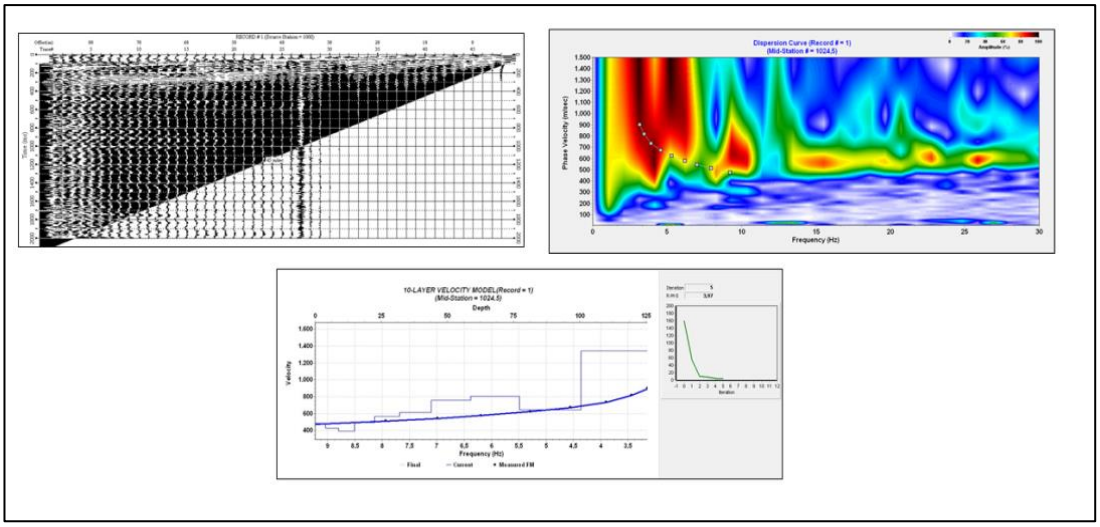
A.48. 3130 kodlu MASW sonuçları



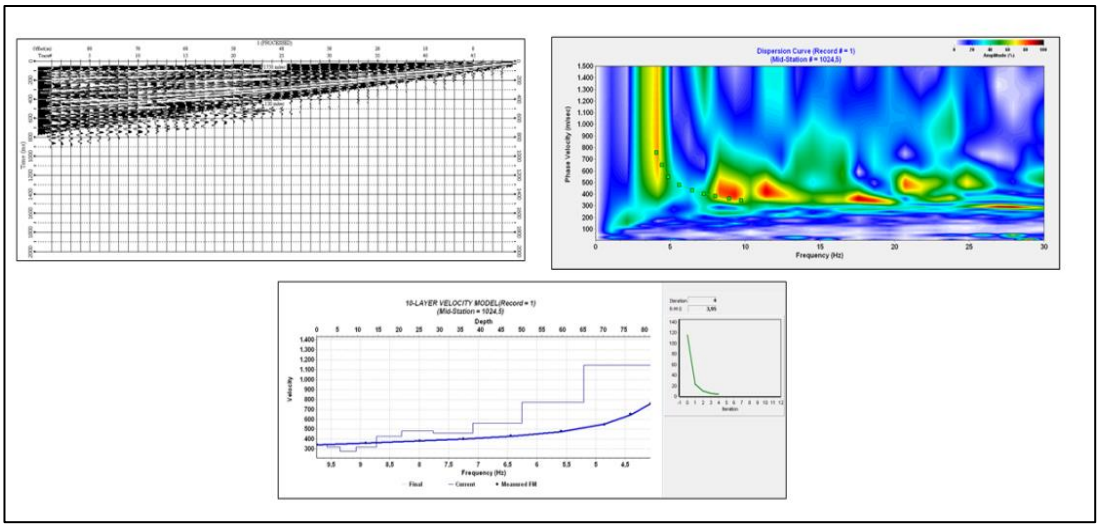
A.49. 3131 kodlu MASW sonuçları



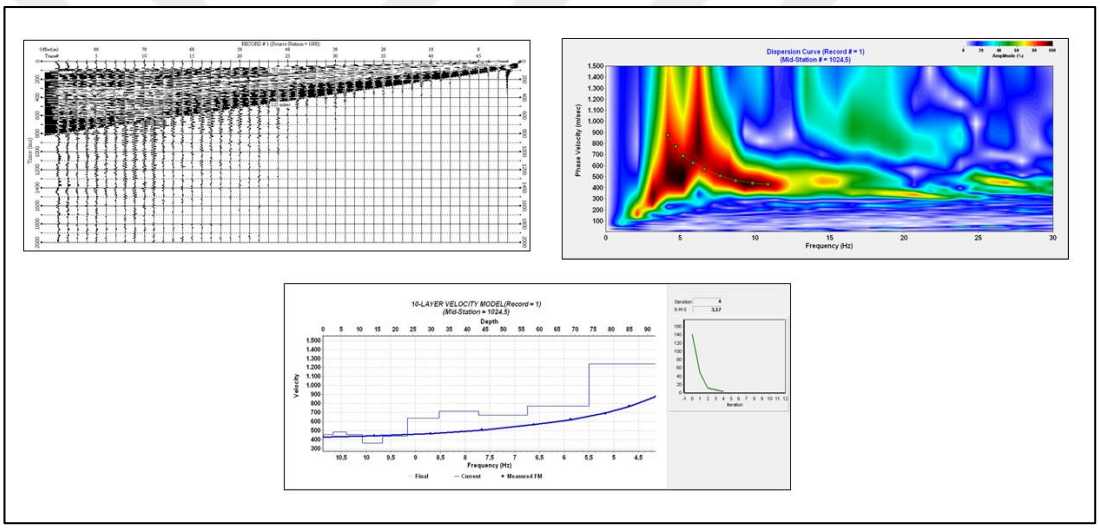
A.50. 3132 kodlu MASW sonuçları



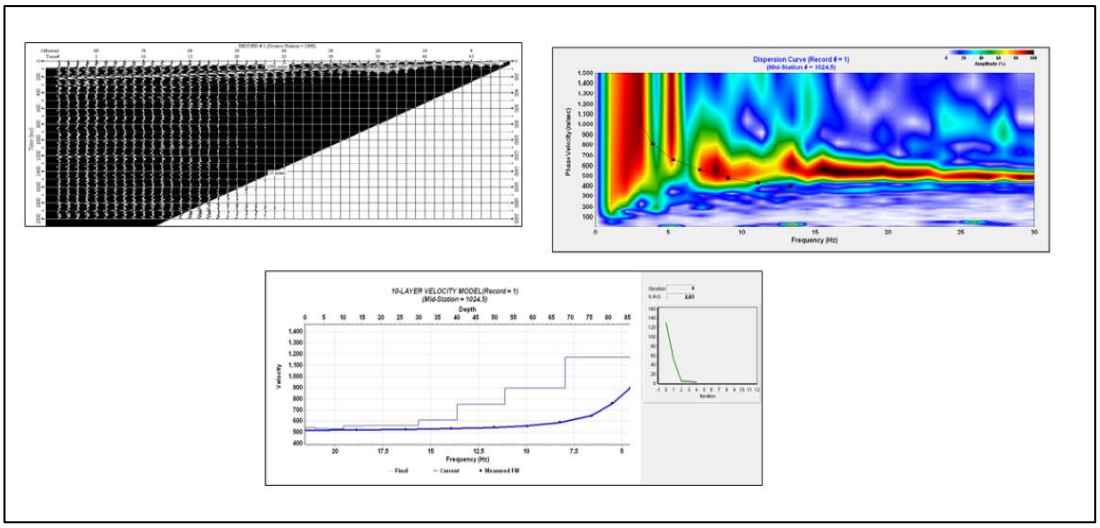
A.51. 3133 kodlu MASW sonuçları



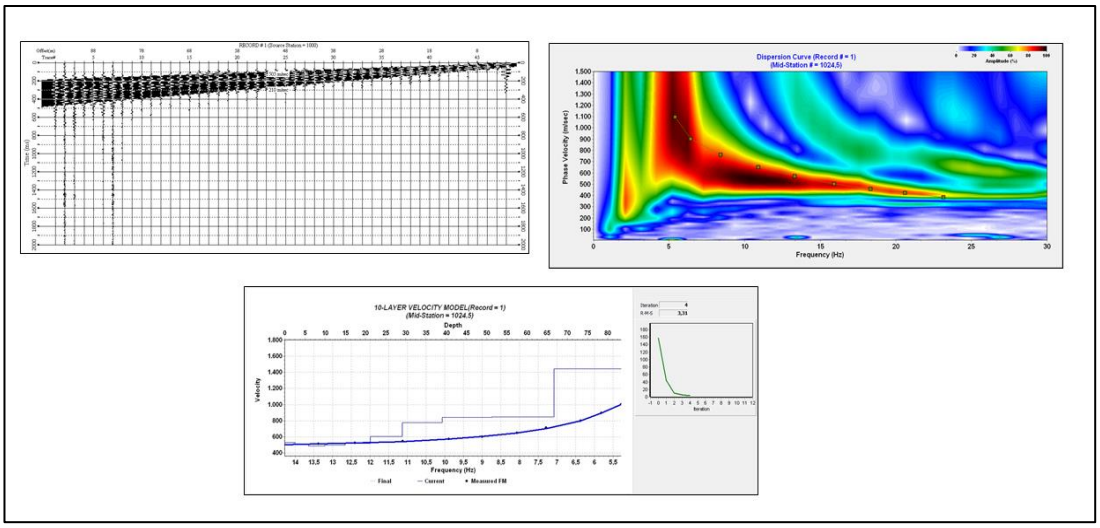
A.52. 3134 kodlu MASW sonuçları



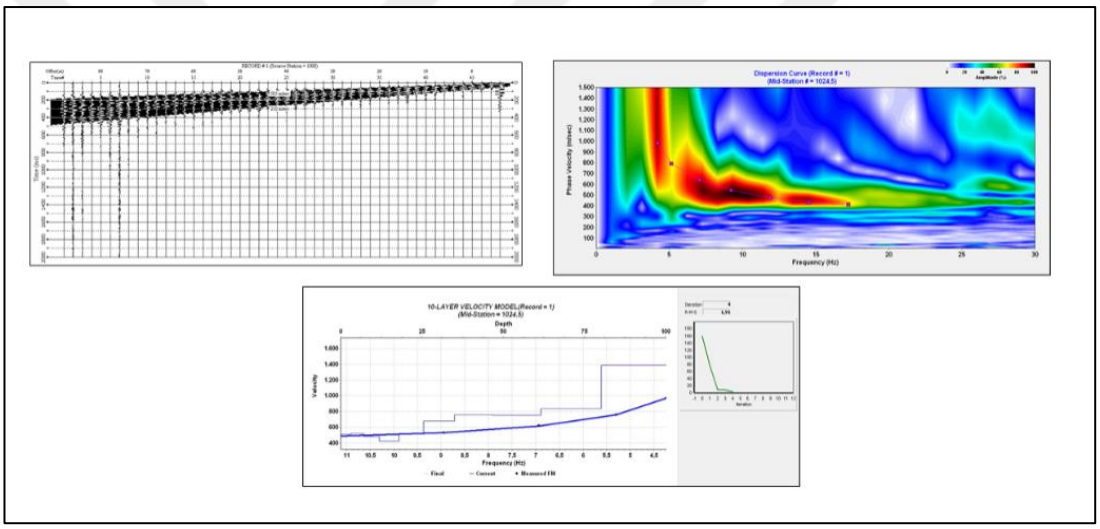
A.53. 3135 kodlu MASW sonuçları



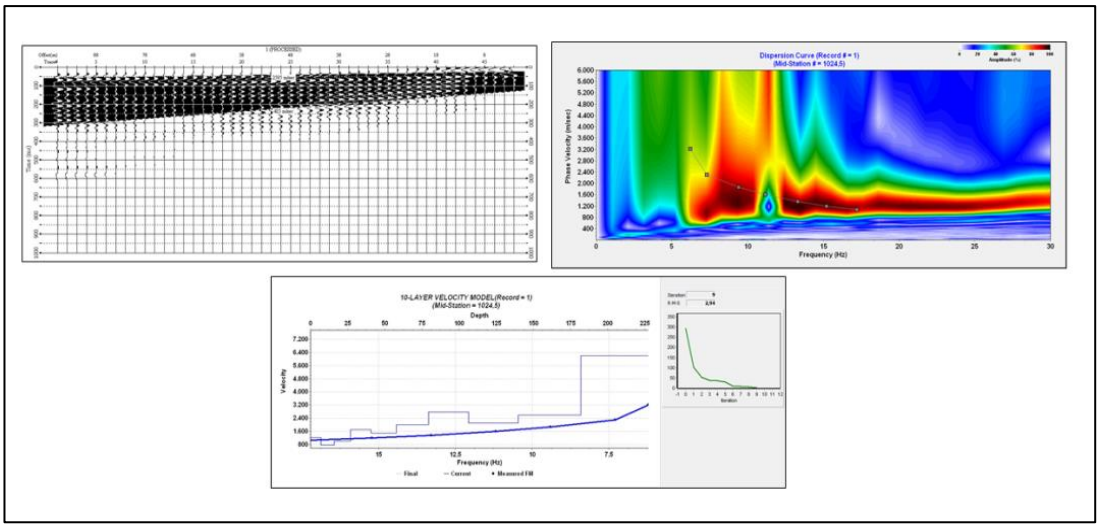
A.54. 3143 kodlu MASW sonuçları



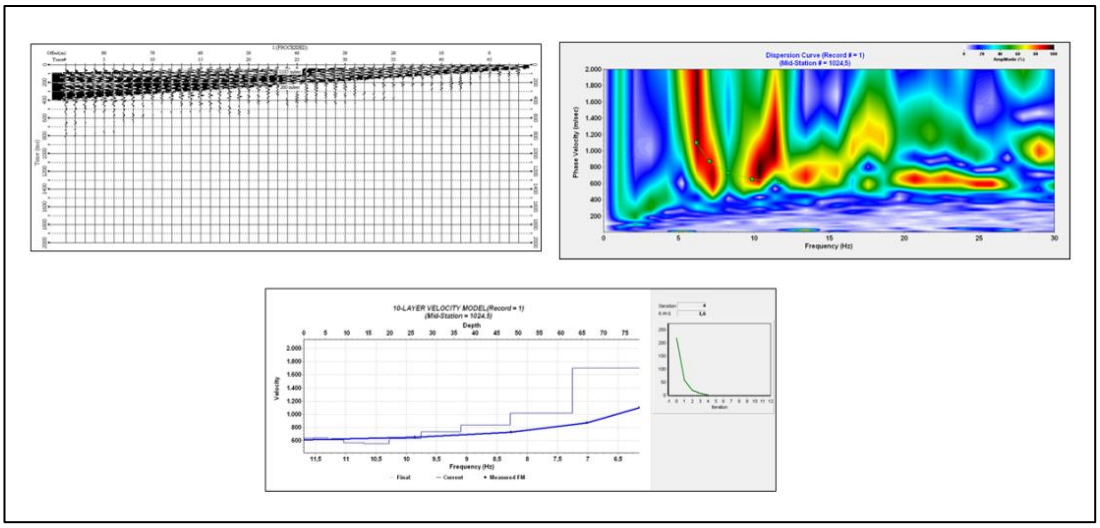
A.55. 3144 kodlu MASW sonuçları



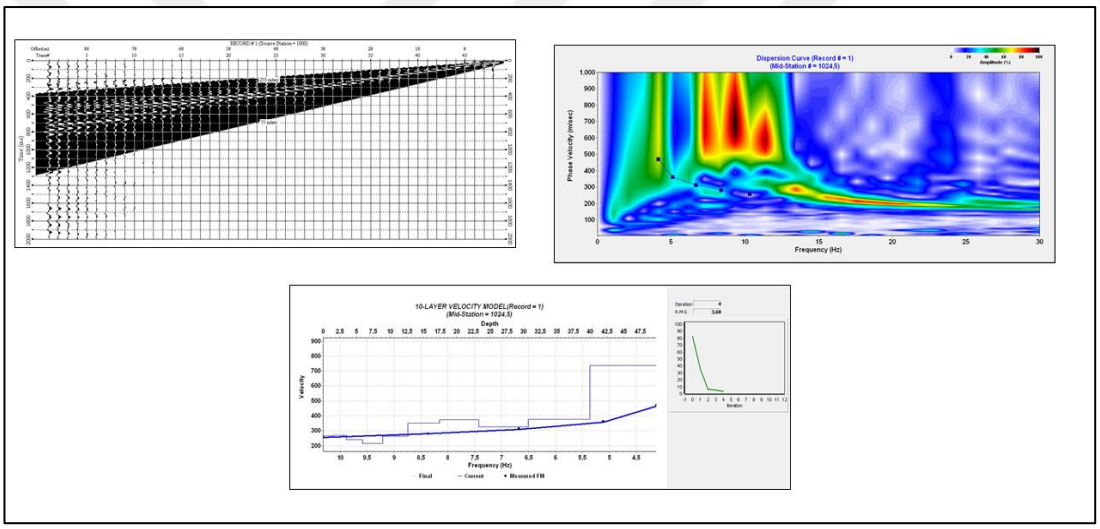
A.56. 3145 kodlu MASW sonuçları



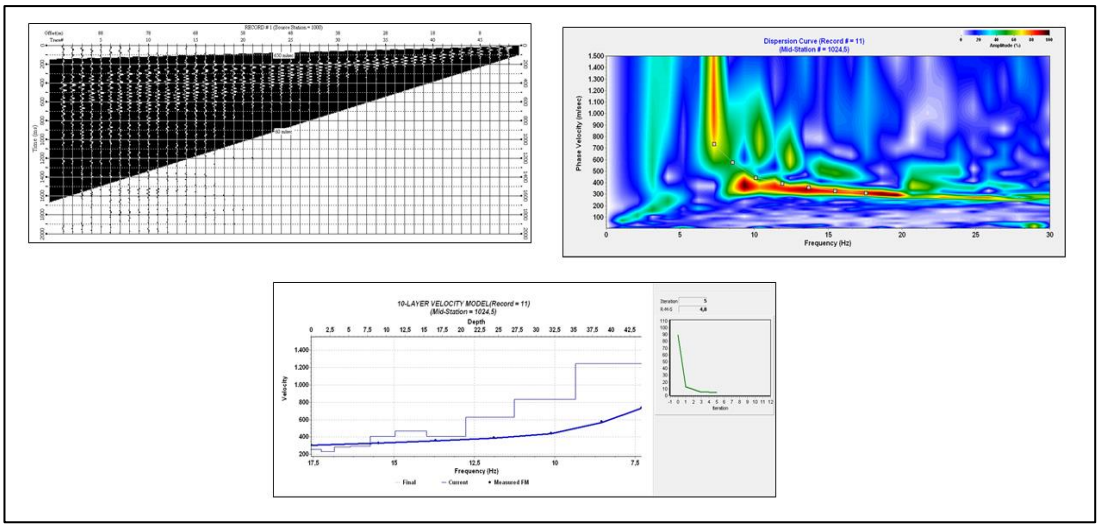
A.57. 3302 kodlu MASW sonuçları



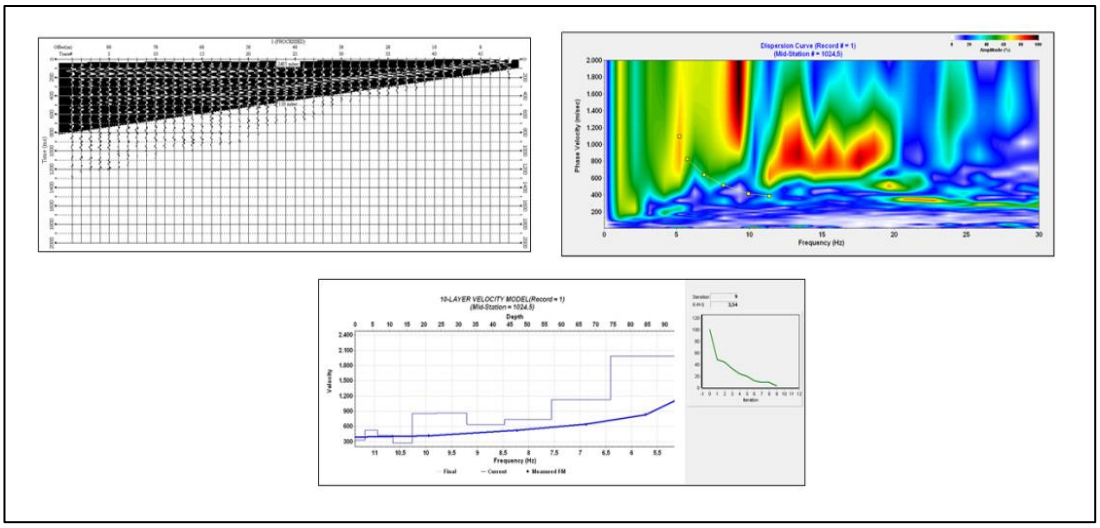
A.58. 3303 kodlu MASW sonuçları



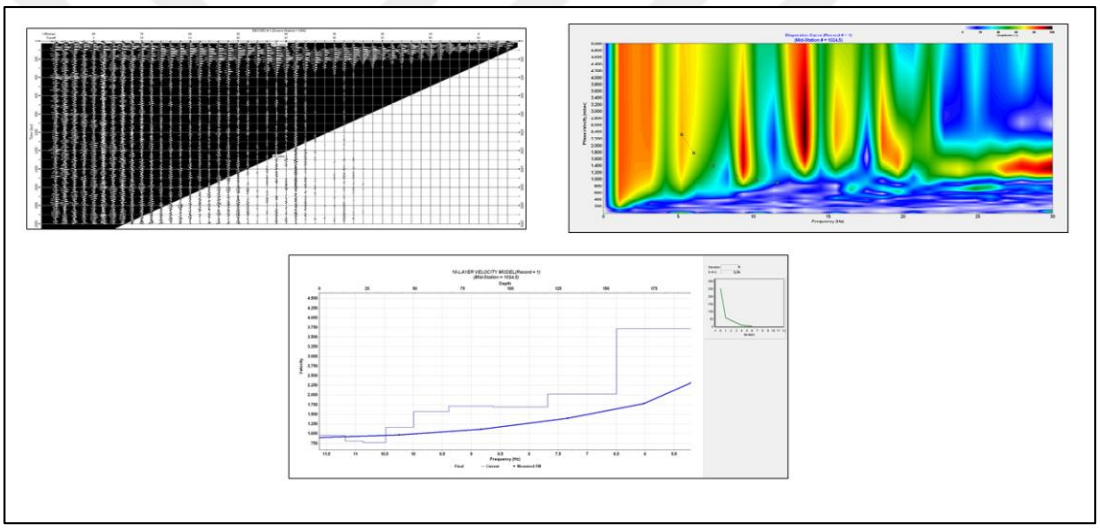
A.59. 3304 kodlu MASW sonuçları



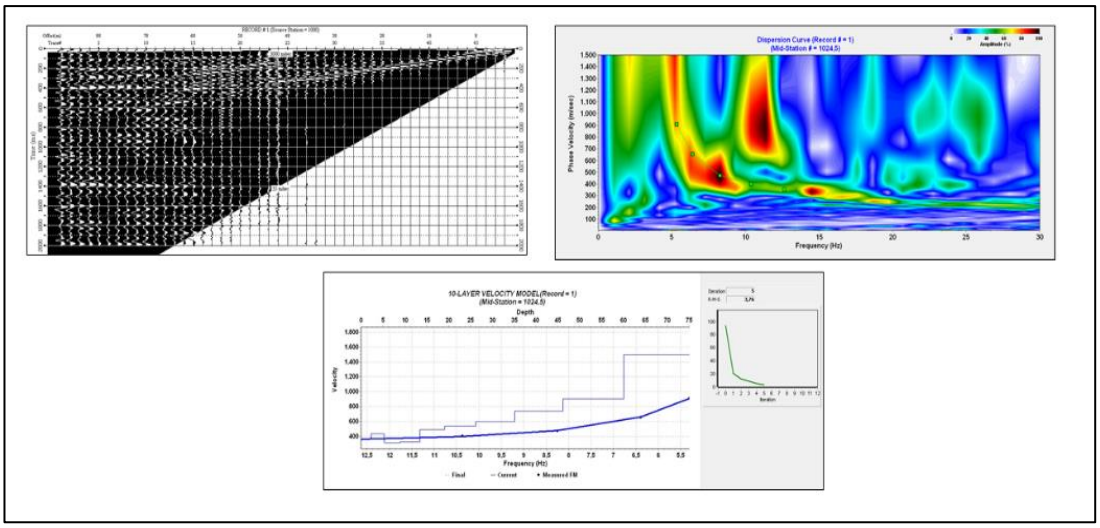
A.60. 3305 kodlu MASW sonuçları



A.61. 3306 kodlu MASW sonuçları

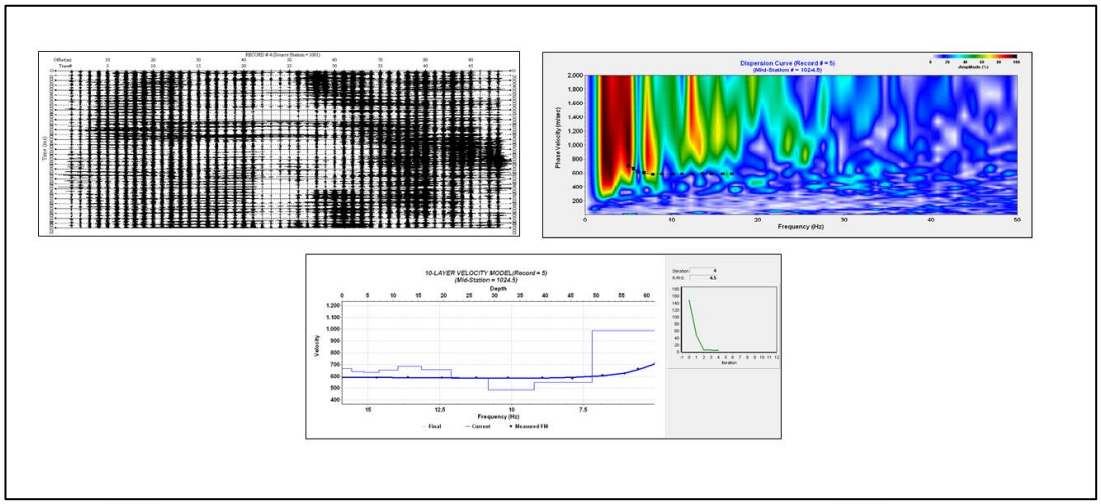


A.62. 3307 kodlu MASW sonuçları

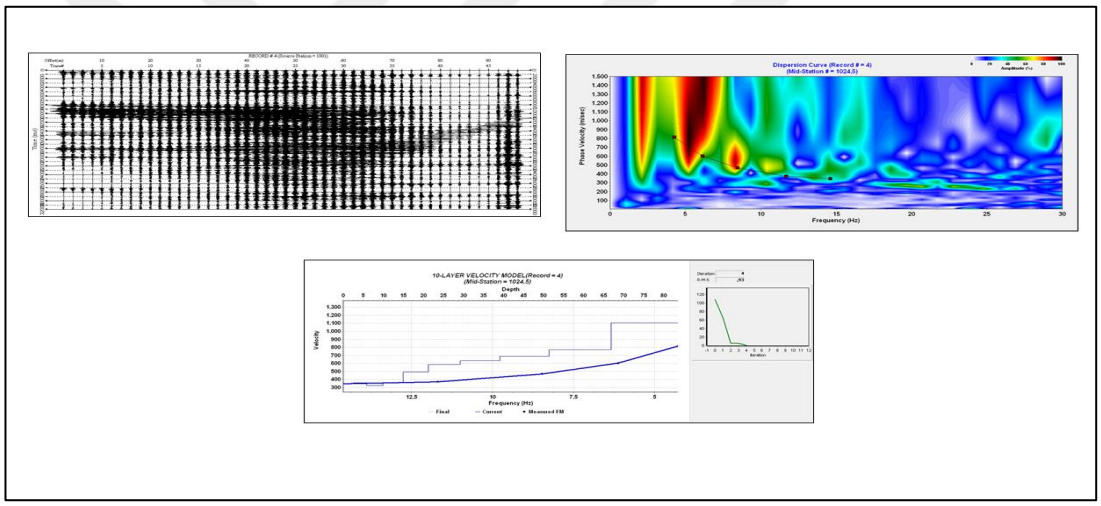


A.63. 8004 kodlu MASW sonuçları

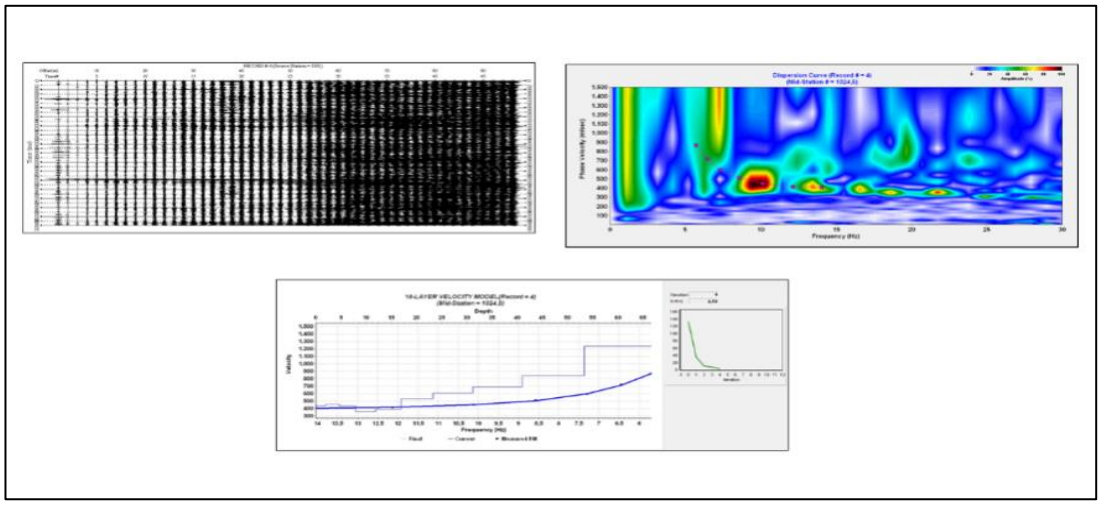
EK-B



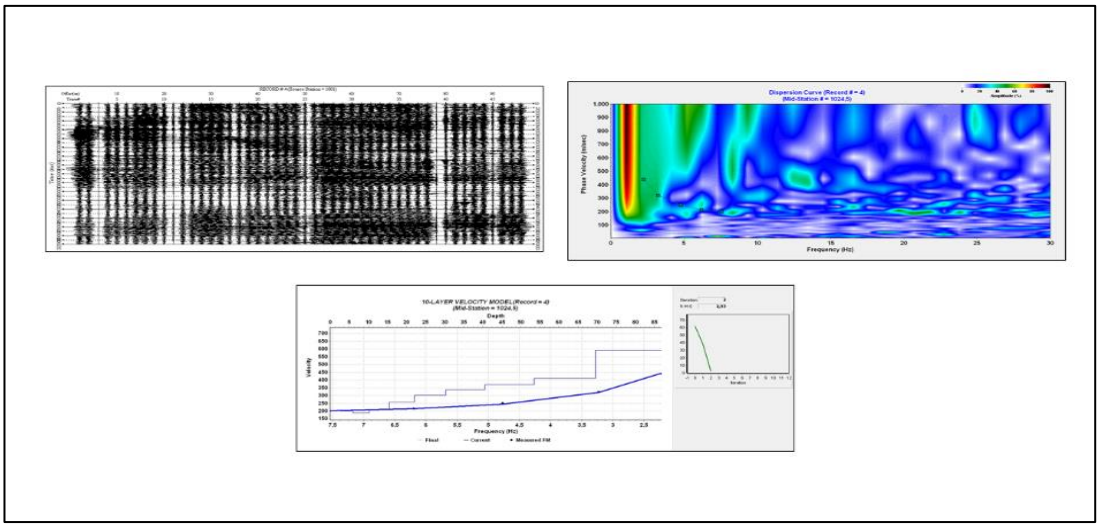
B.1. 0101 kodlu ReMi sonuçları



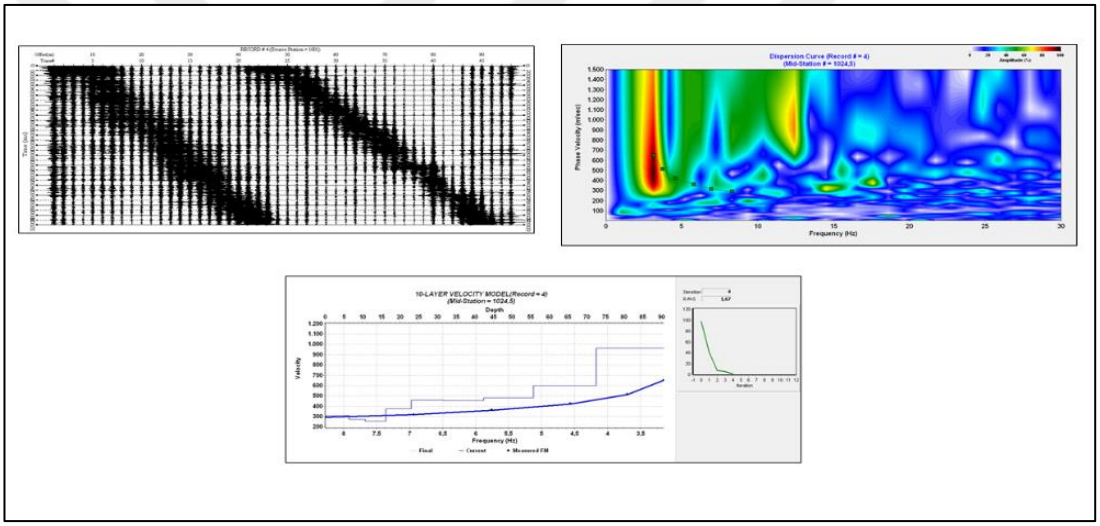
B.2. 0102 kodlu ReMi sonuçları



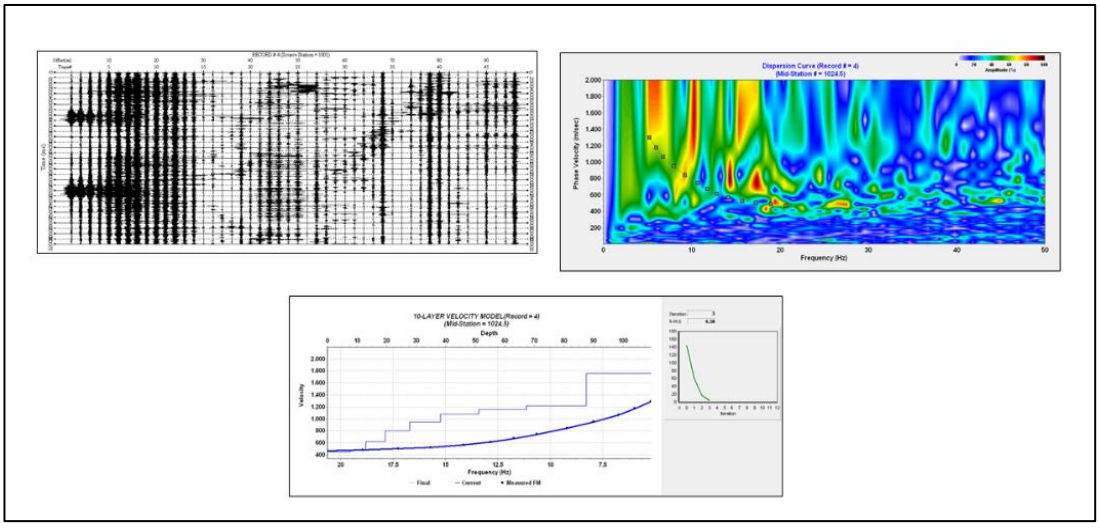
B.3. 0103 kodlu ReMi sonuçları



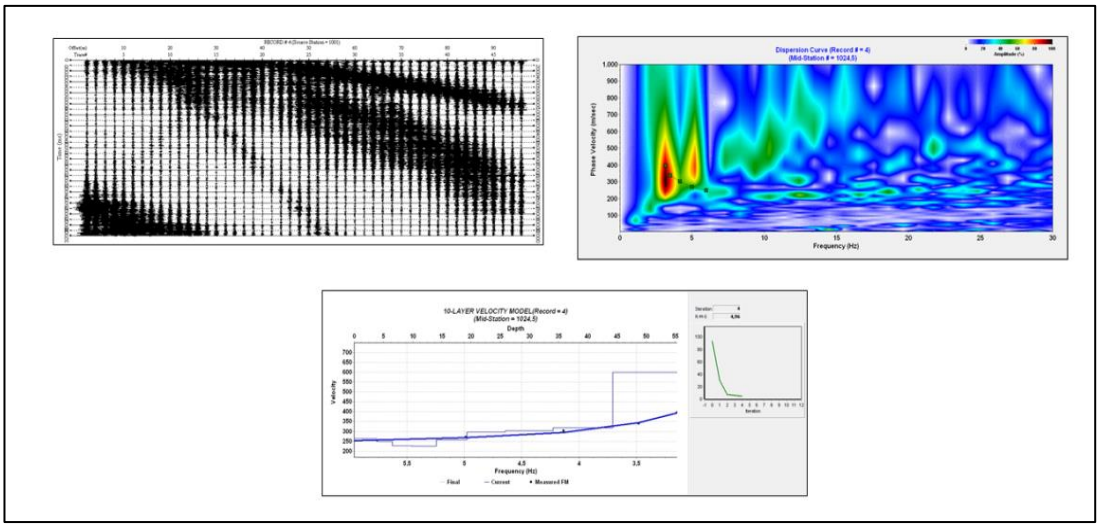
B.4. 0106 kodlu ReMi sonuçları



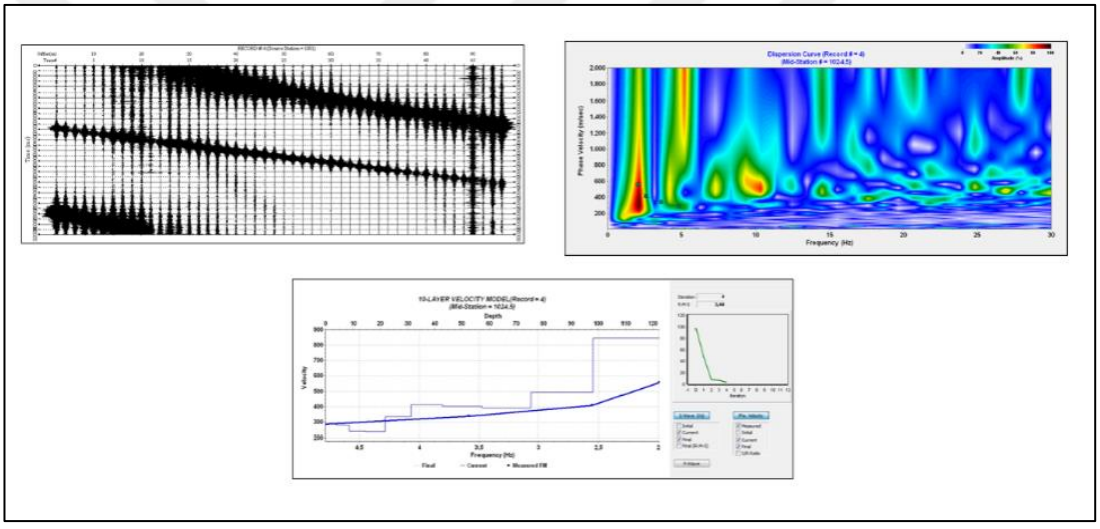
B.5. 0107 kodlu ReMi sonuçları



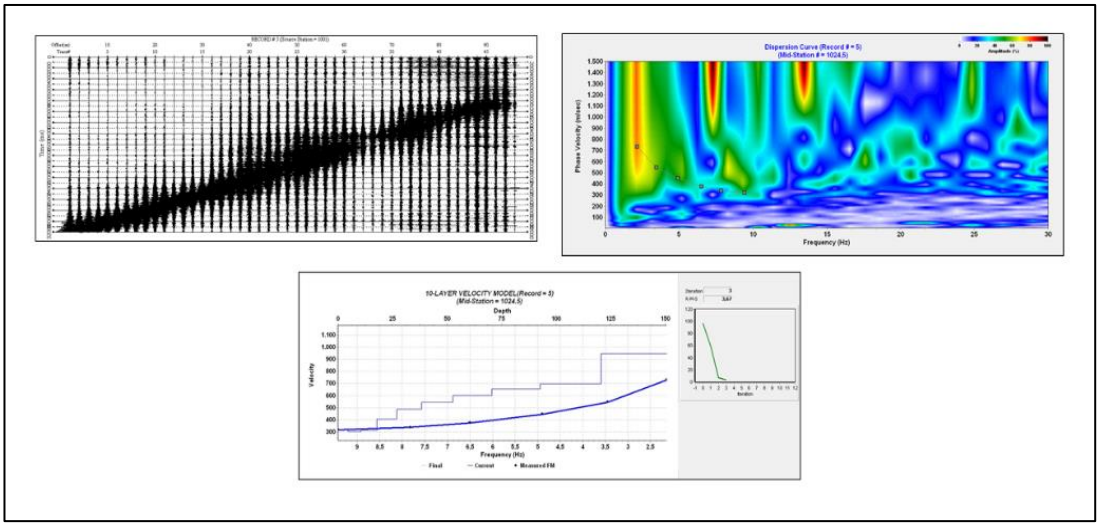
B.6. 0108 kodlu ReMi sonuçları



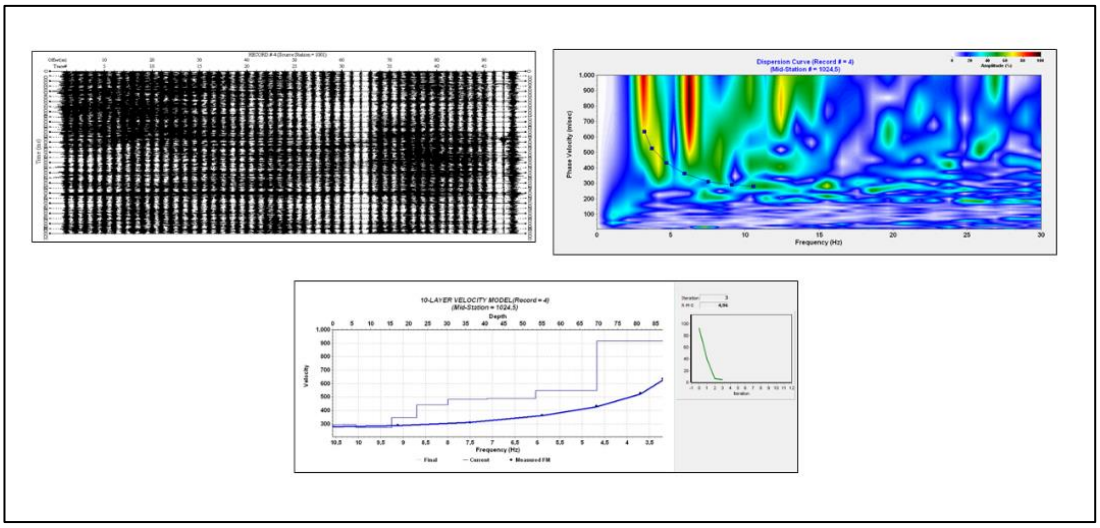
B.7. 0109 kodlu ReMi sonuçları



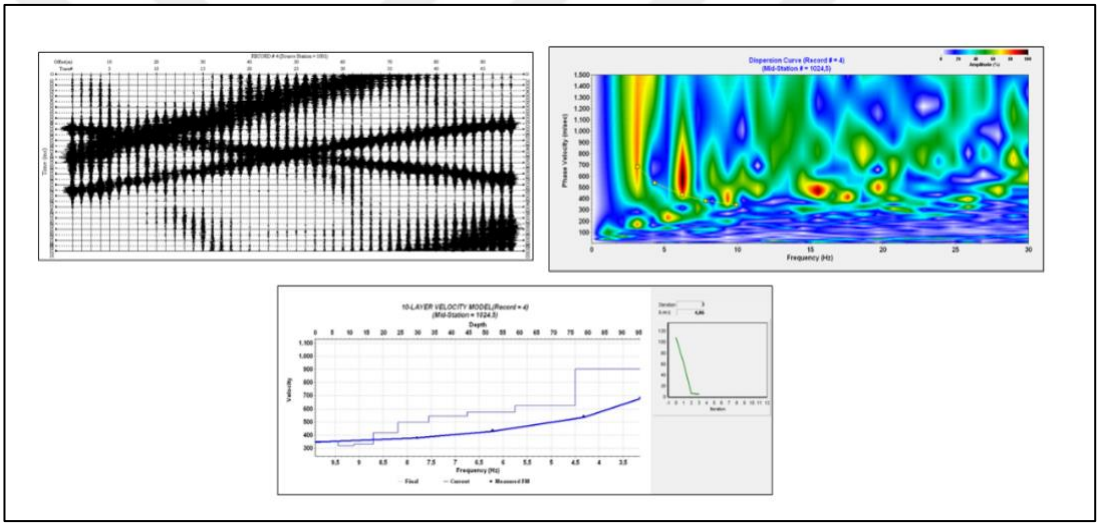
B.8. 0111 kodlu ReMi sonuçları



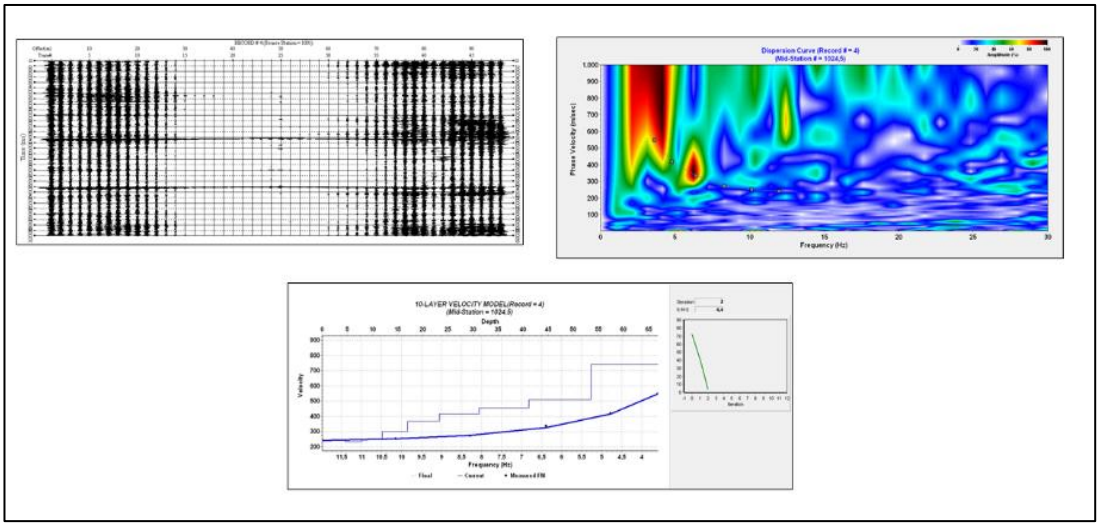
B.9. 0112 kodlu ReMi sonuçları



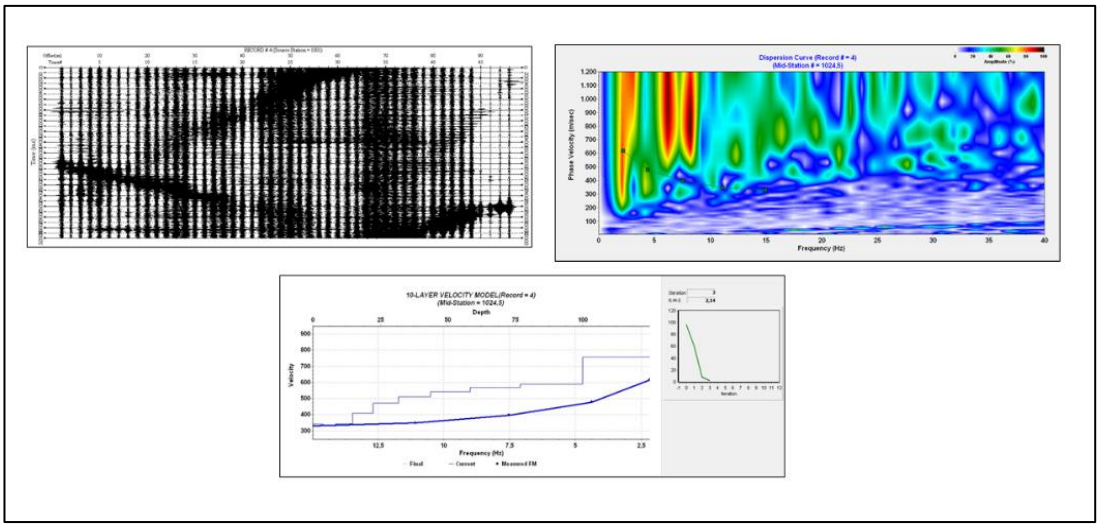
B.10. 0113 kodlu ReMi sonuçları



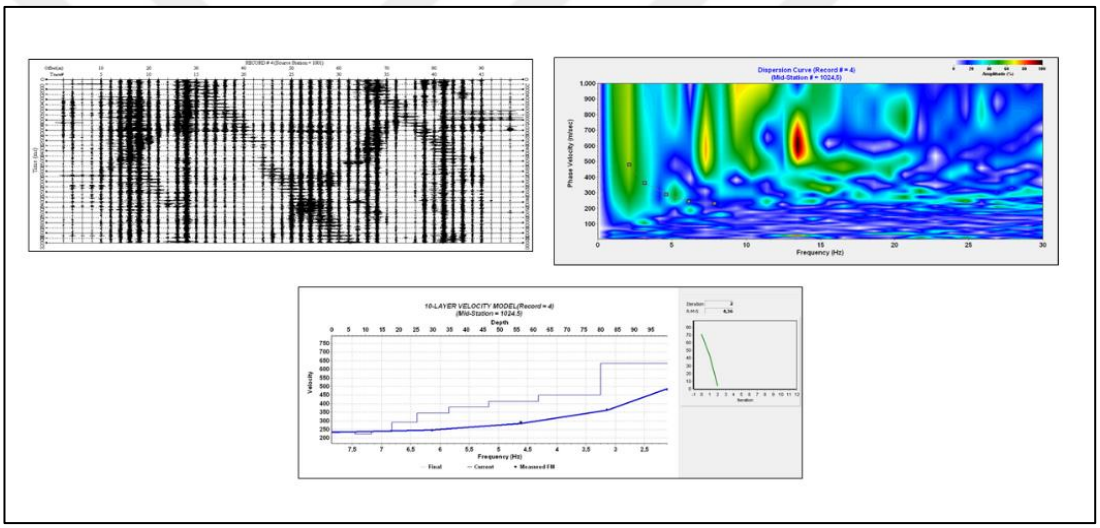
B.11. 0114 kodlu ReMi sonuçları



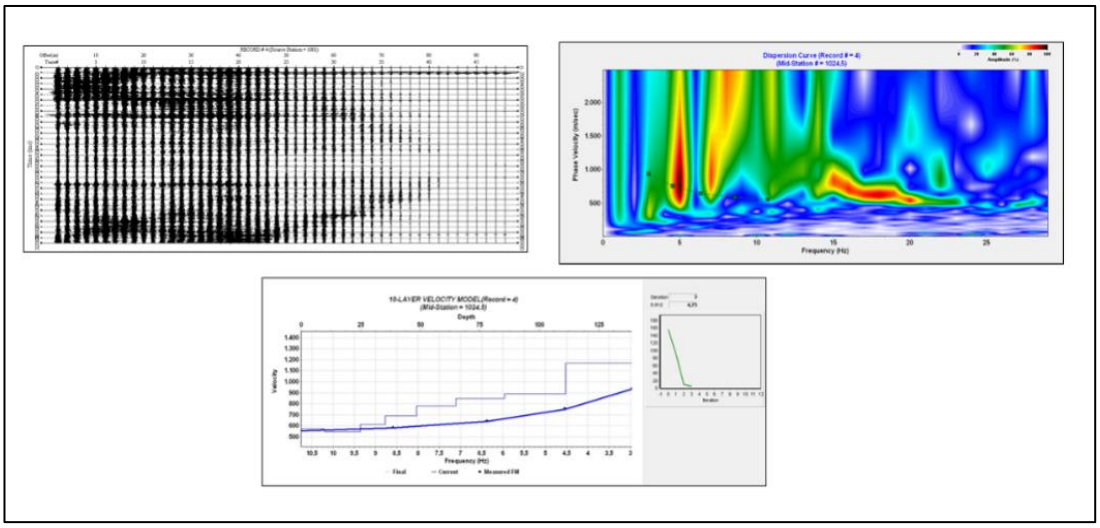
B.12. 0115 kodlu ReMi sonuçları



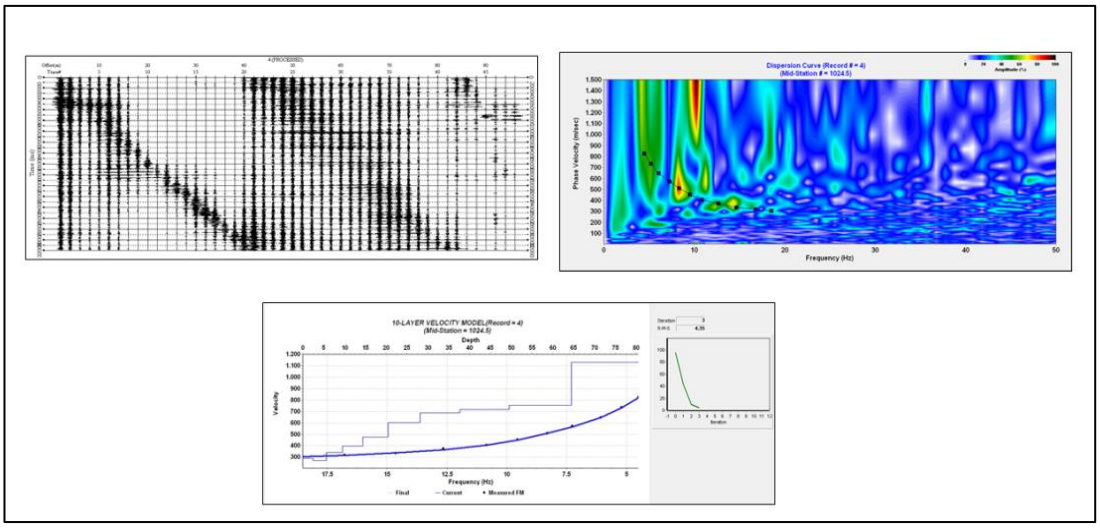
B.13. 0116 kodlu ReMi sonuçları



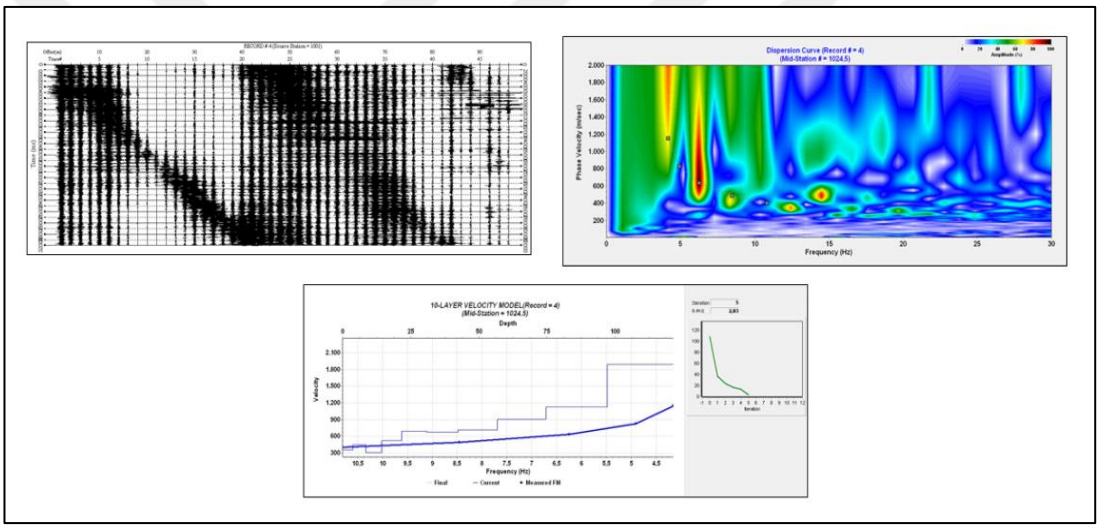
B.14. 0120 kodlu ReMi sonuçları



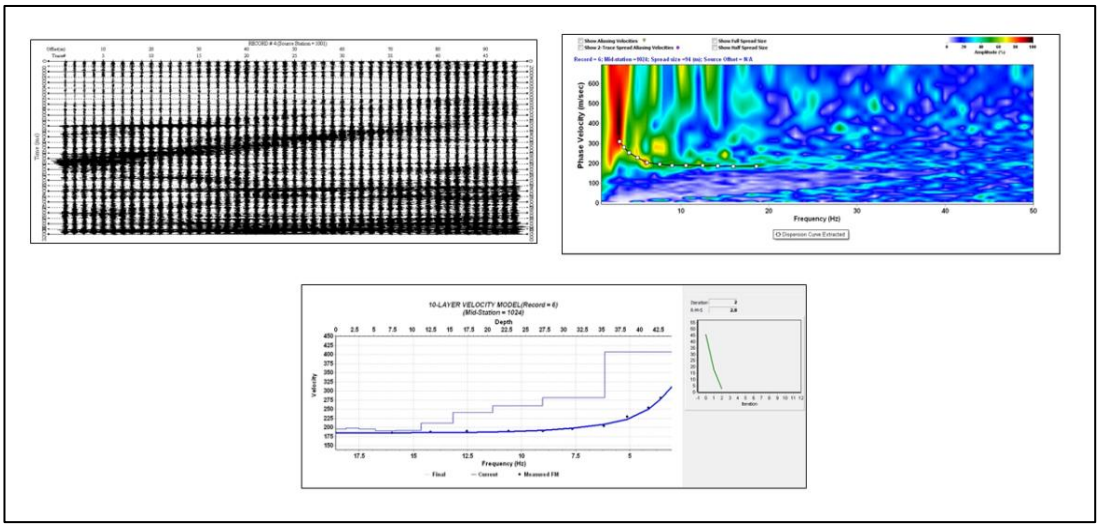
B.15. 0122 kodlu ReMi sonuçları



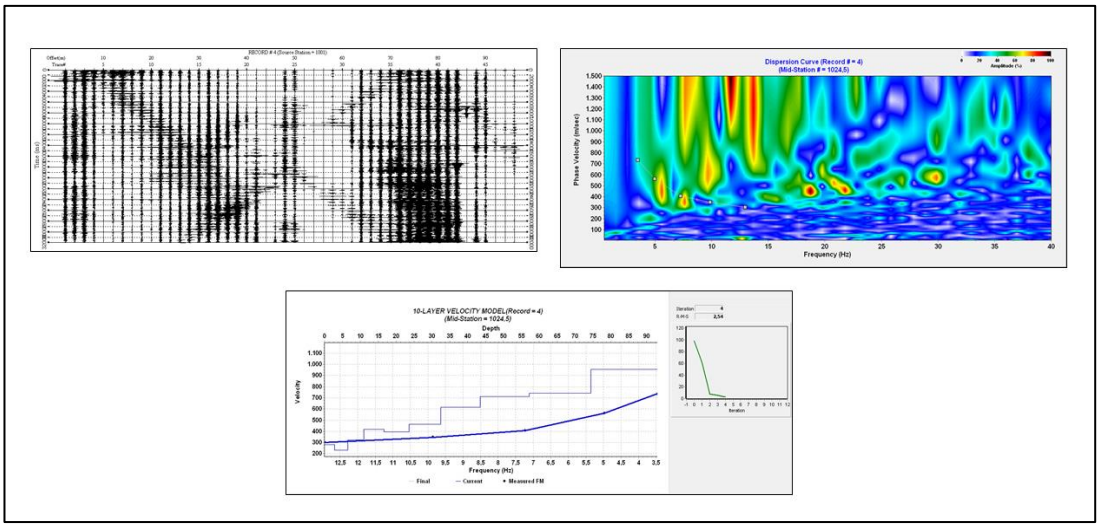
B.16. 0123 kodlu ReMi sonuçları



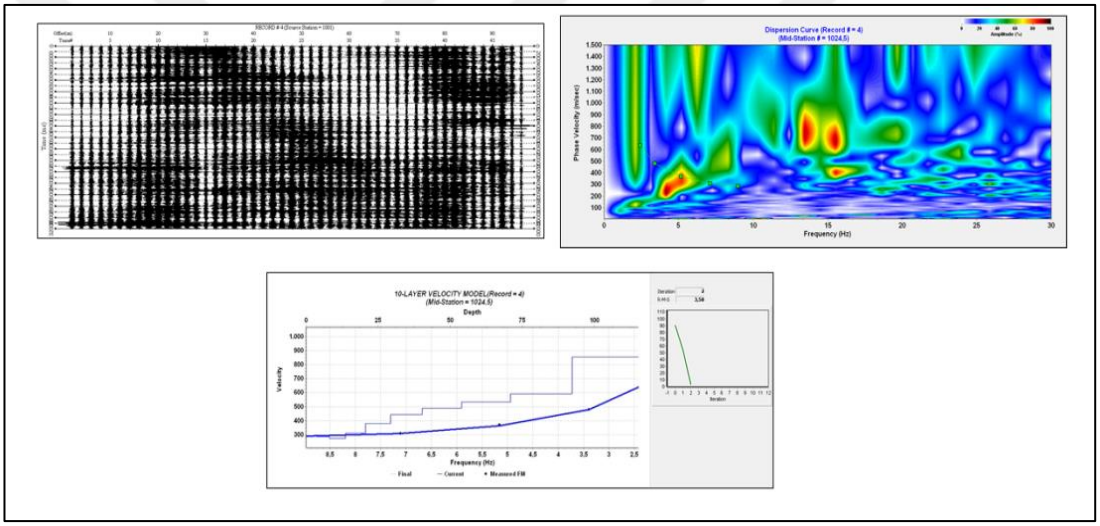
B.17. 0124 kodlu ReMi sonuçları



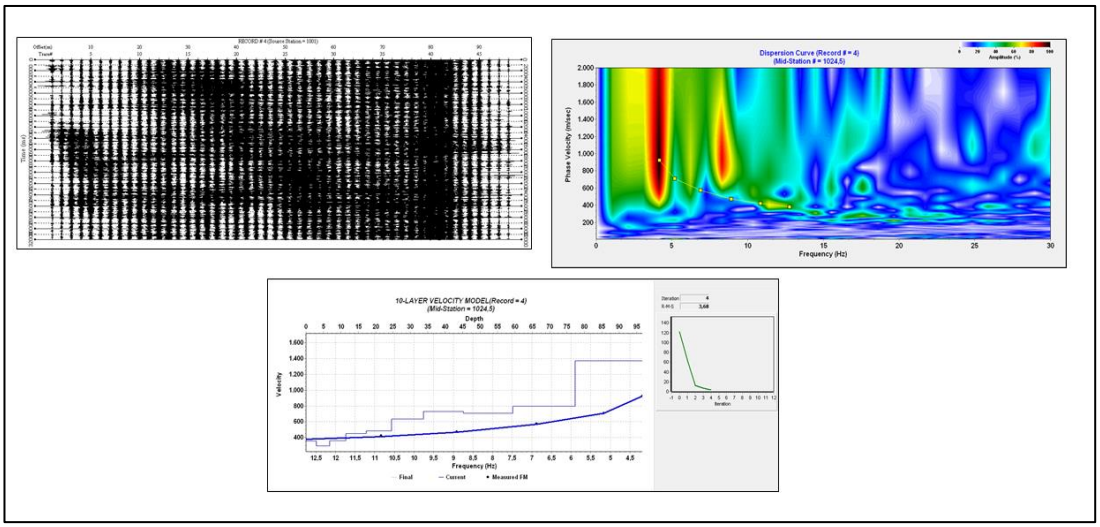
B.18. 0125 kodlu ReMi sonuçları



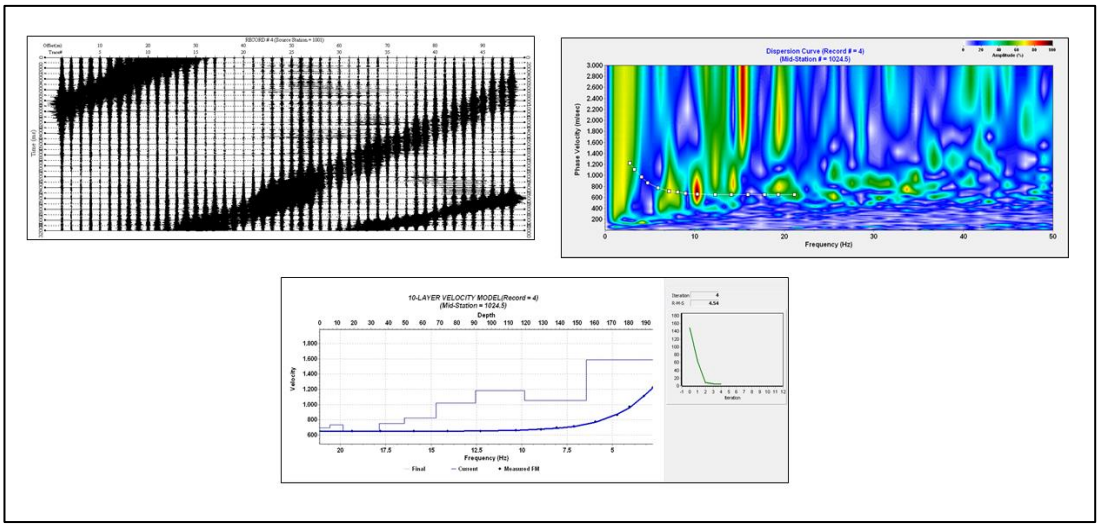
B.19. 0126 kodlu ReMi sonuçları



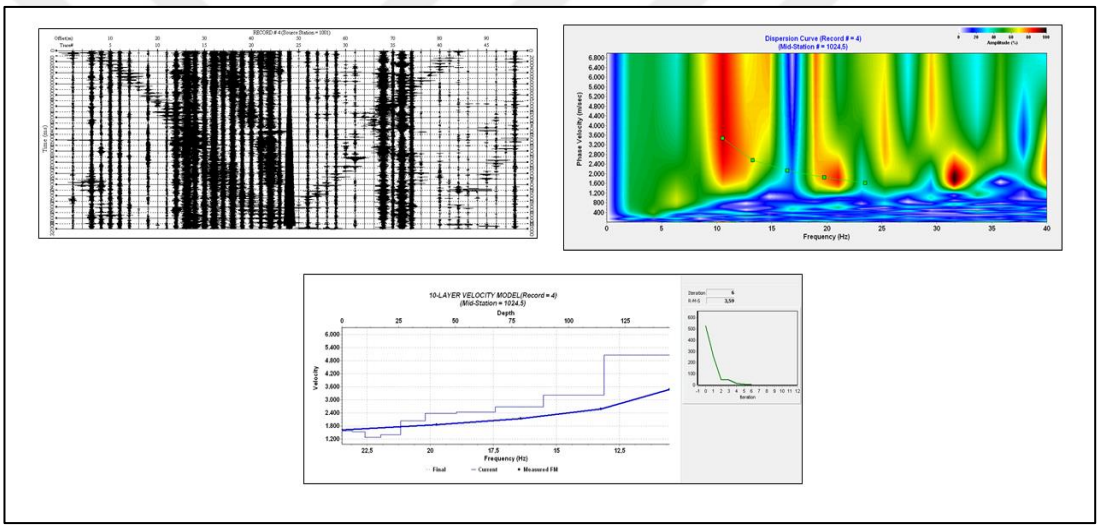
B.20. 0127 kodlu ReMi sonuçları



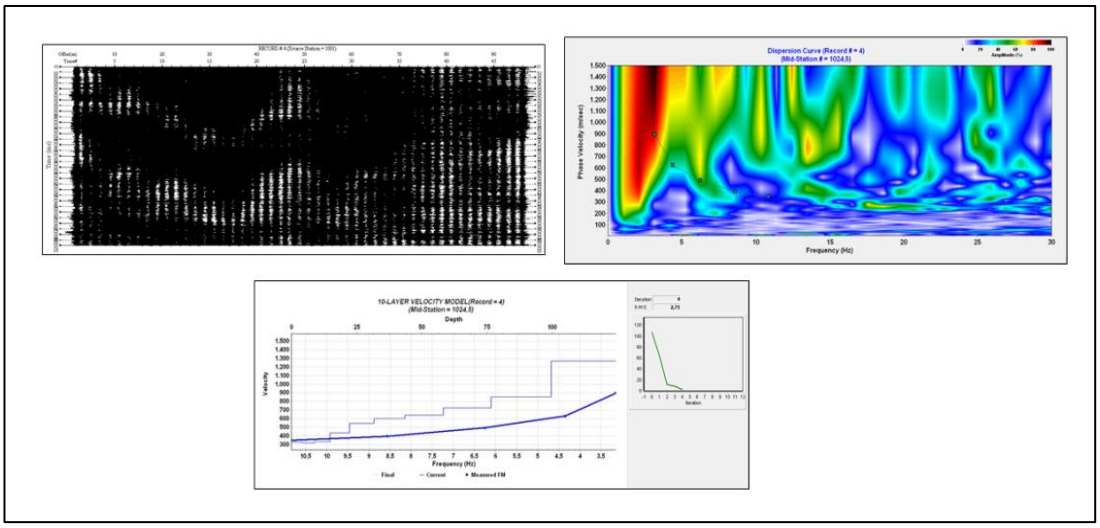
B.21. 0128 kodlu ReMi sonuçları



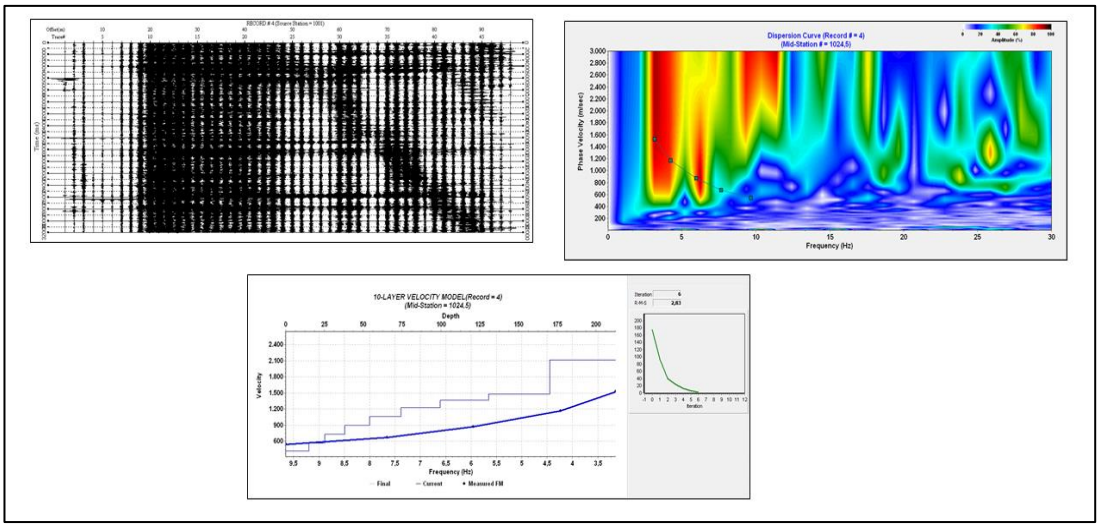
B.22. 0129 kodlu ReMi sonuçları



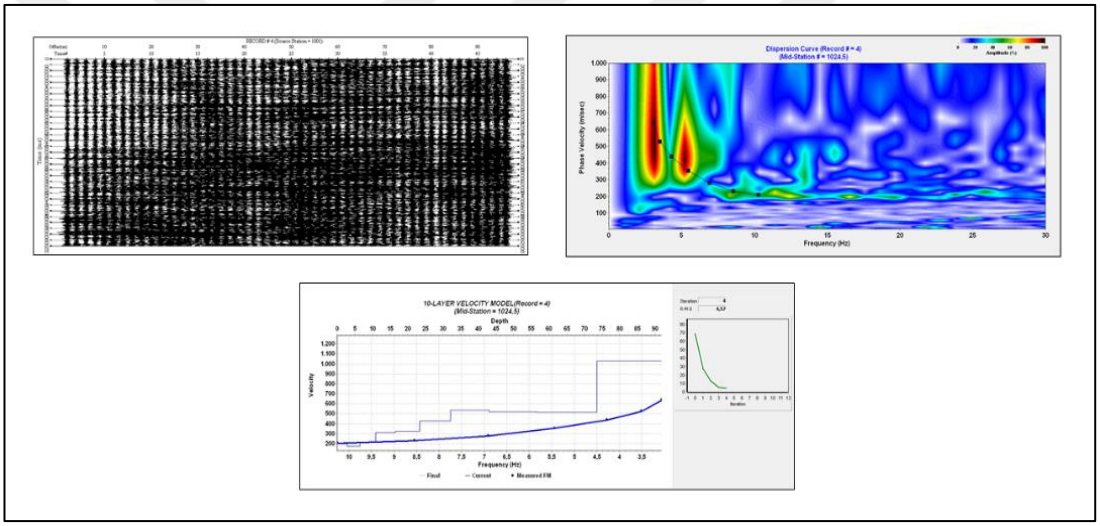
B.23. 0707 kodlu ReMi sonuçları



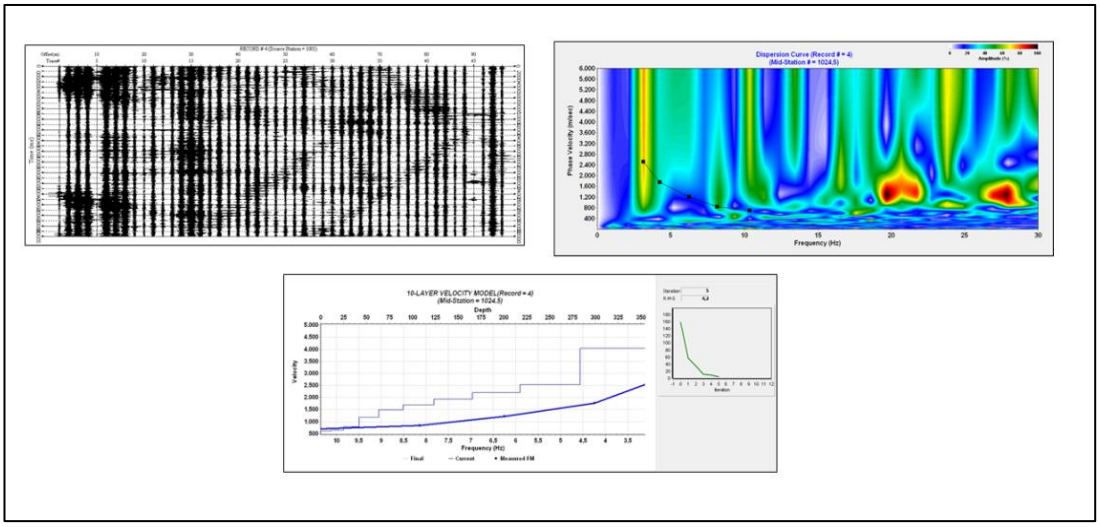
B.24. 0713 kodlu ReMi sonuçları



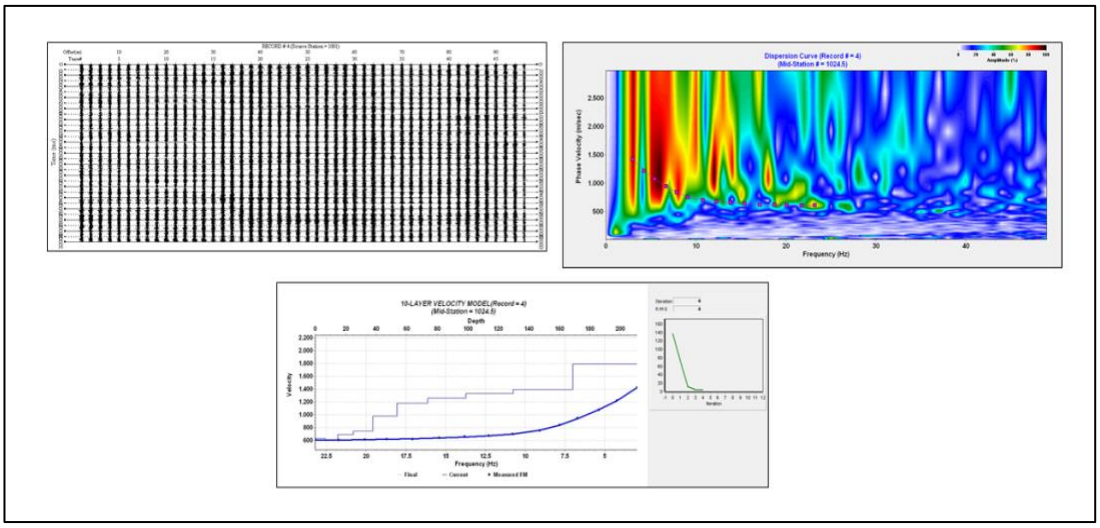
B.25. 0714 kodlu ReMi sonuçları



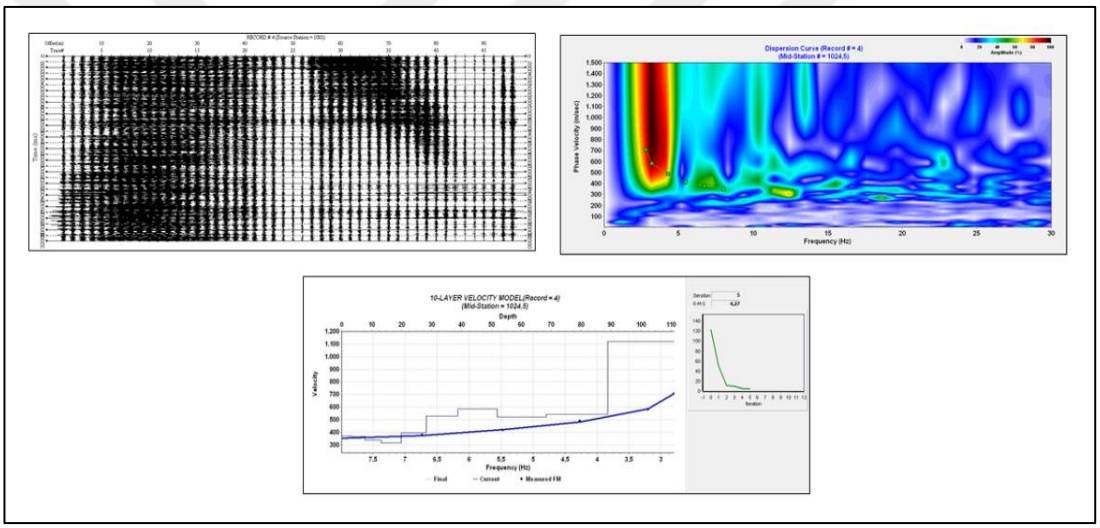
B.26. 0715 kodlu ReMi sonuçları



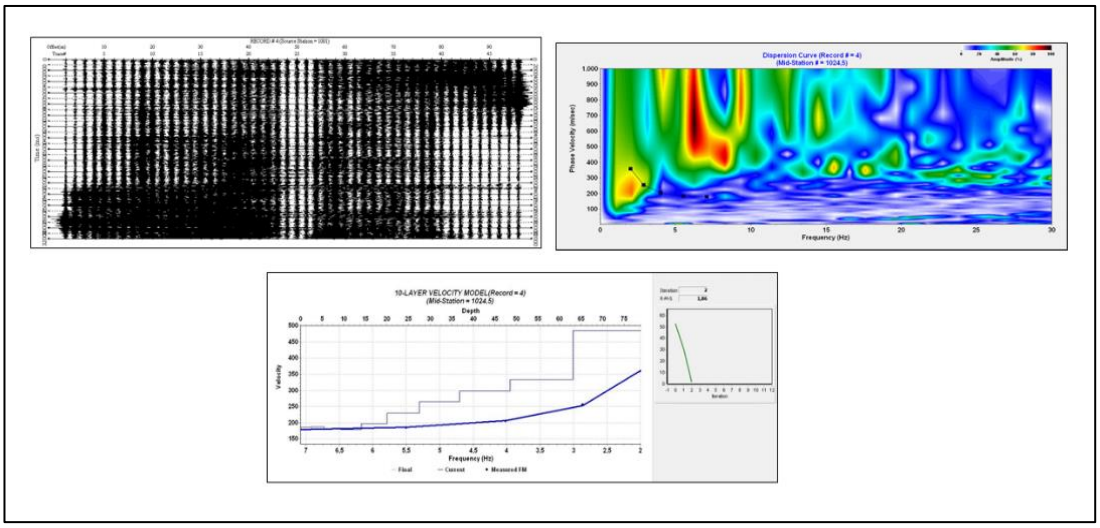
B.27. 0716 kodlu ReMi sonuçları



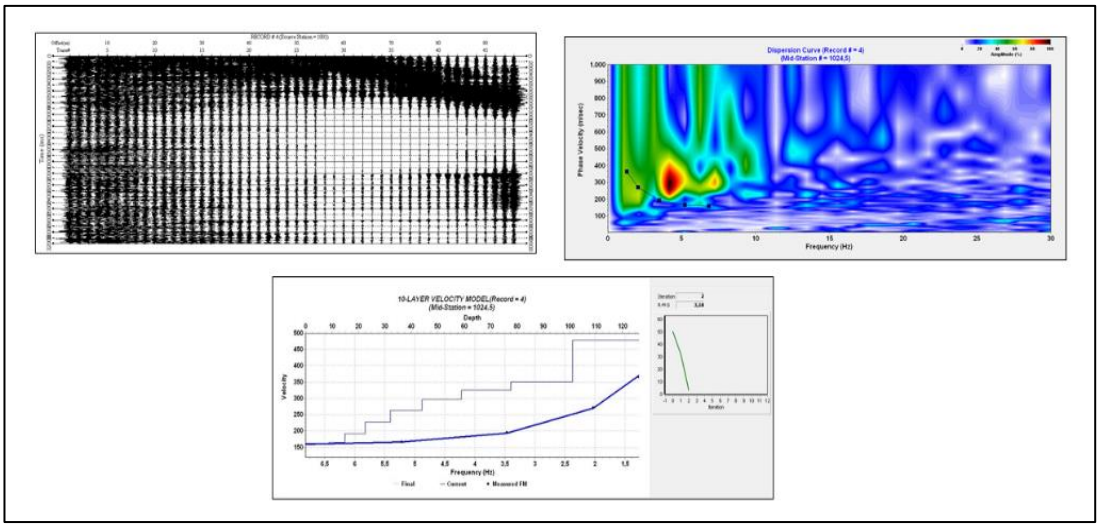
B.28. 0717 kodlu ReMi sonuçları



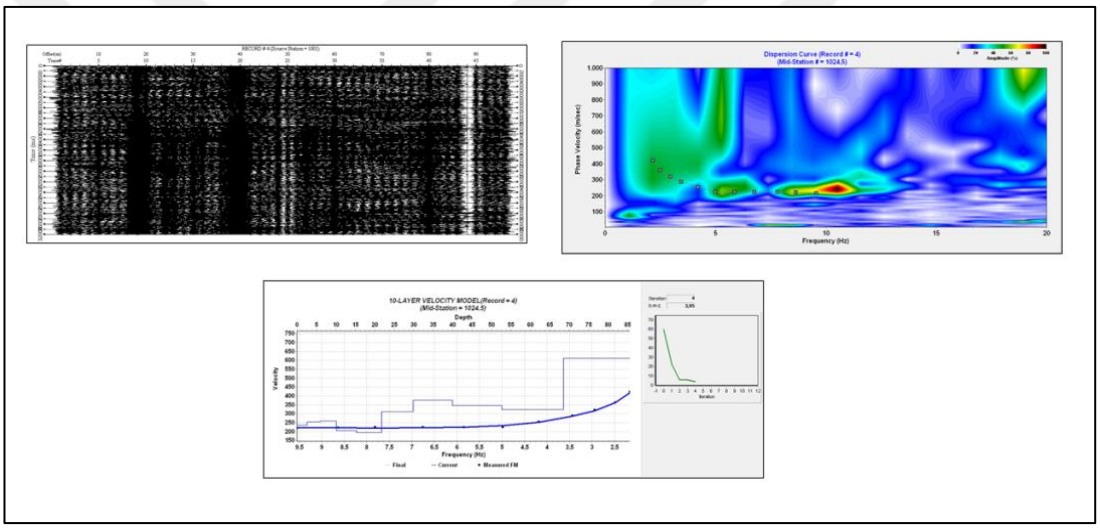
B.29. 1516 kodlu ReMi sonuçları



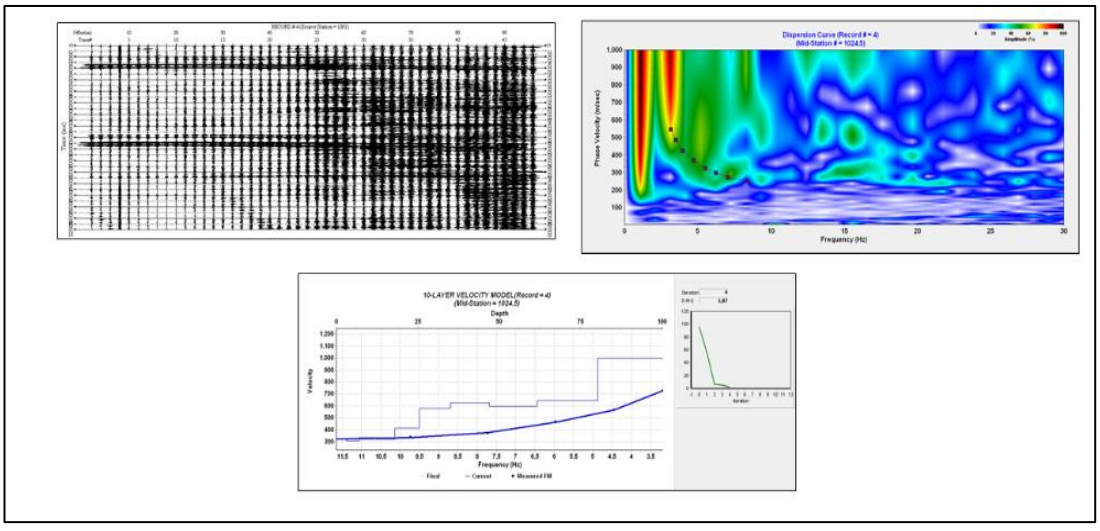
B.30. 1517 kodlu ReMi sonuçları



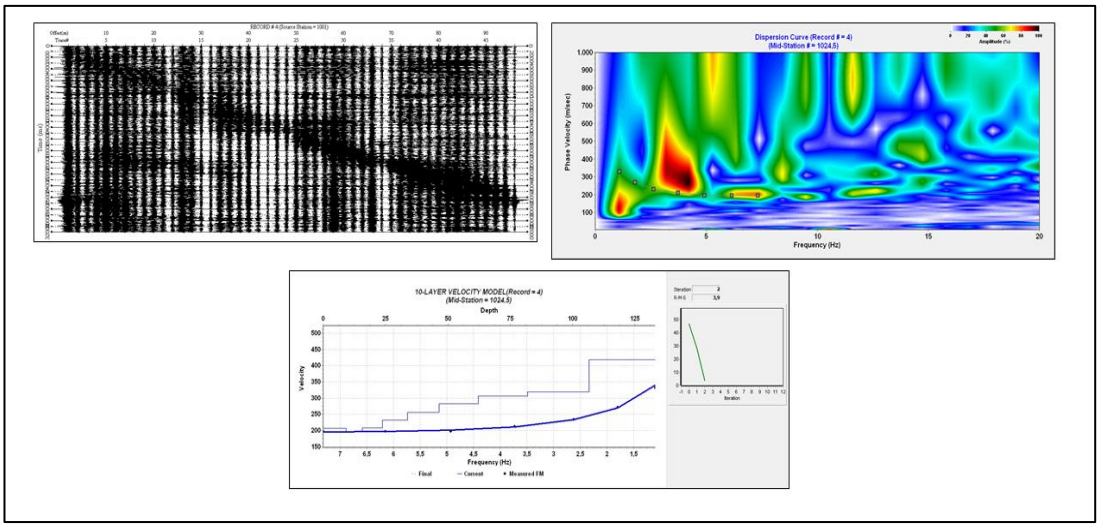
B.31. 1508 kodlu ReMi sonuçları



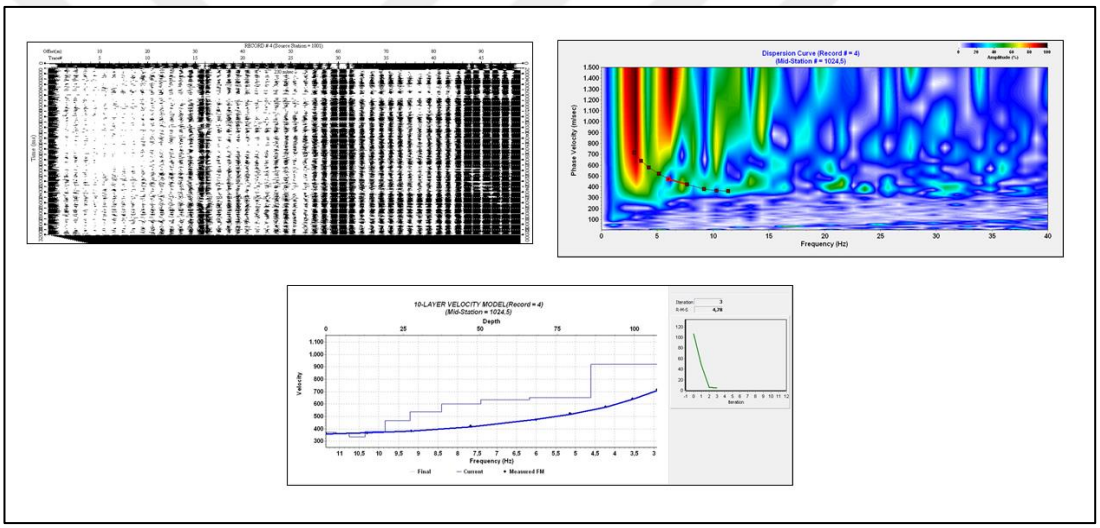
B.32. 3112 kodlu ReMi sonuçları



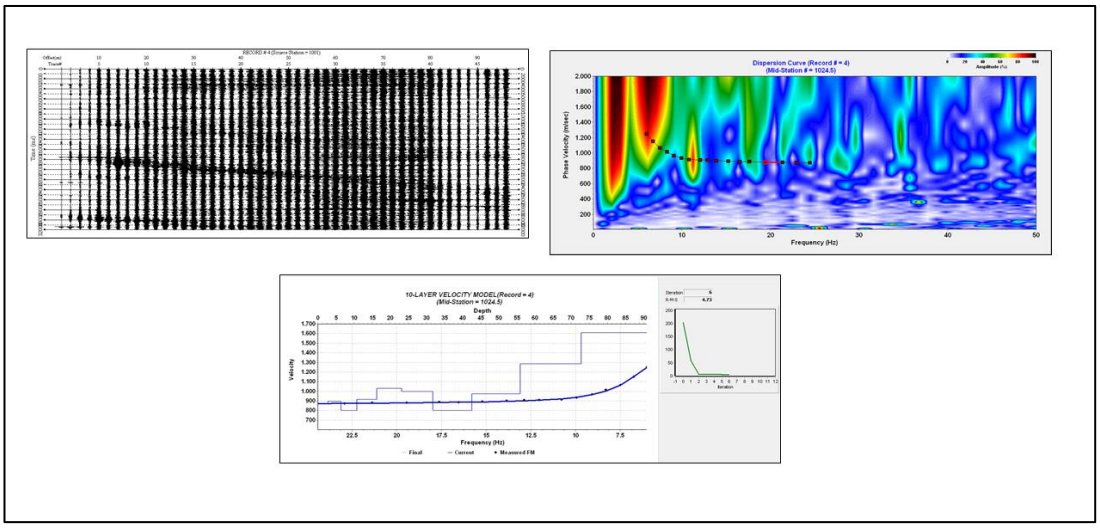
B.33. 3113 kodlu ReMi sonuçları



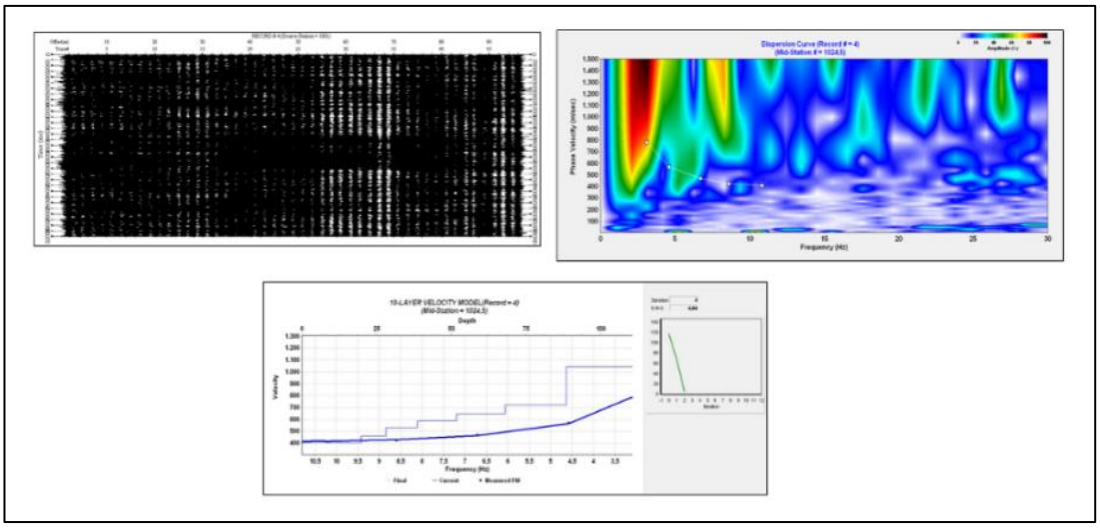
B.34. 3114 kodlu ReMi sonuçları



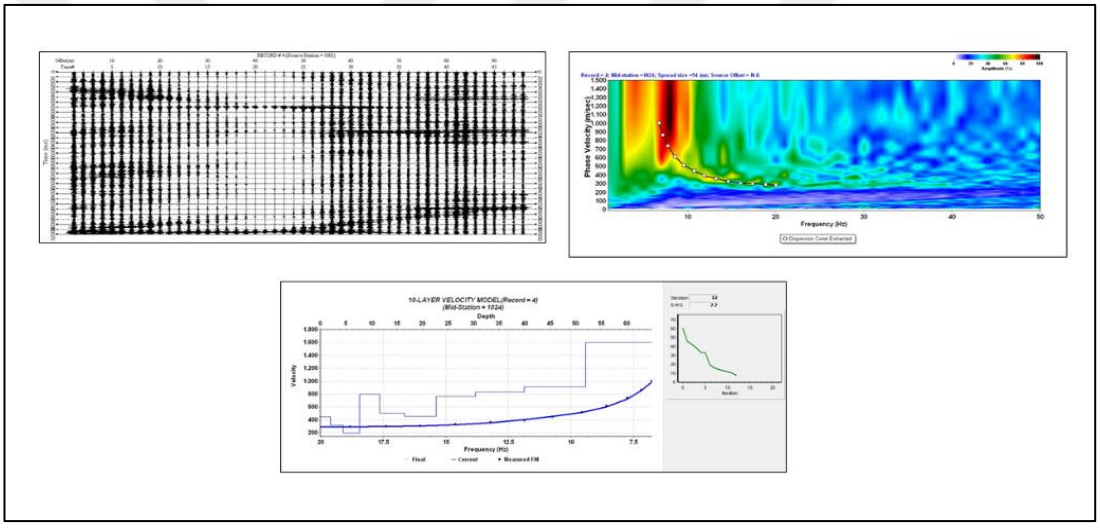
B.35. 3115 kodlu ReMi sonuçları



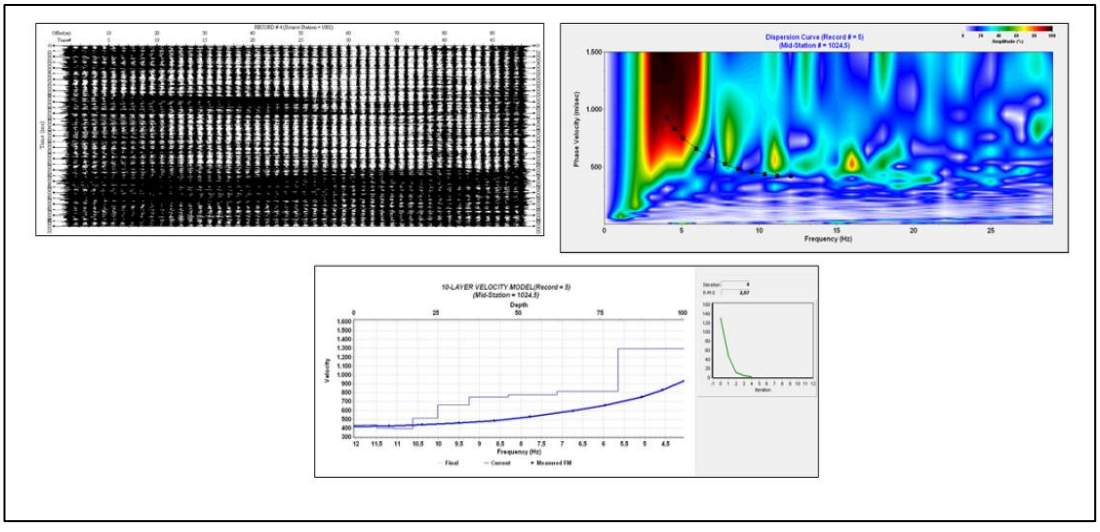
B.36. 3116 kodlu ReMi sonuçları



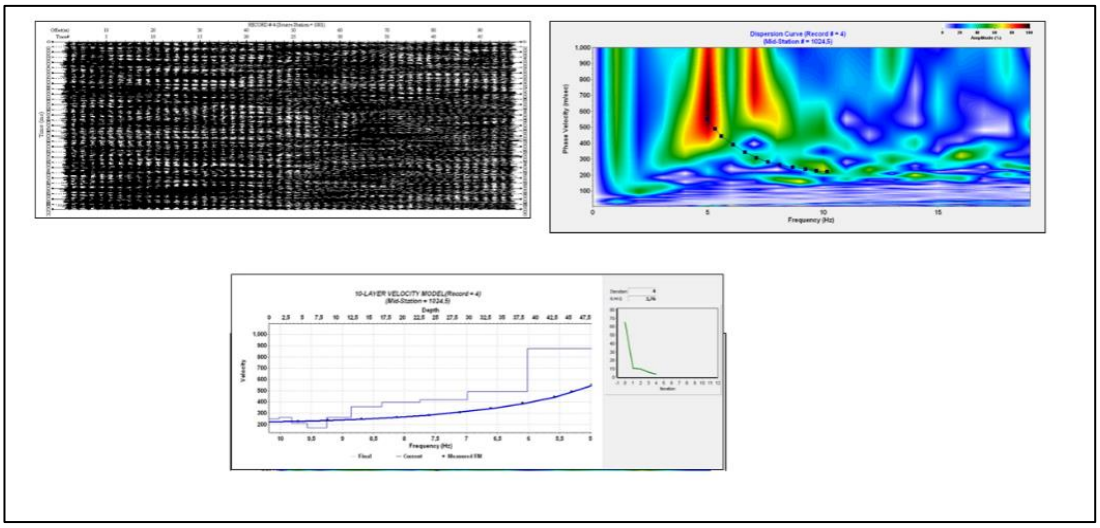
B.37. 3117 kodlu ReMi sonuçları



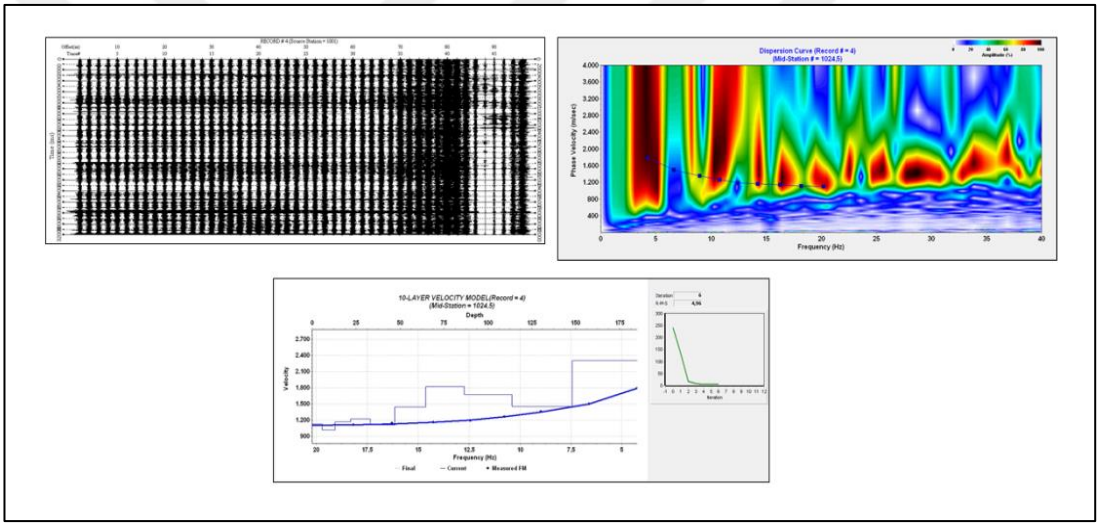
B.38. 3119 kodlu ReMi sonuçları



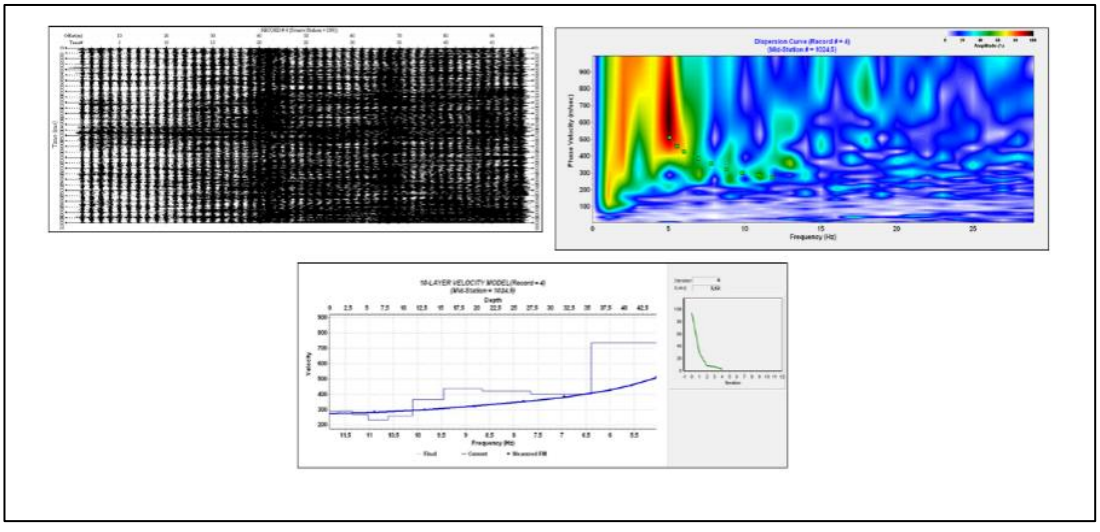
B.39. 3120 kodlu ReMi sonuçları



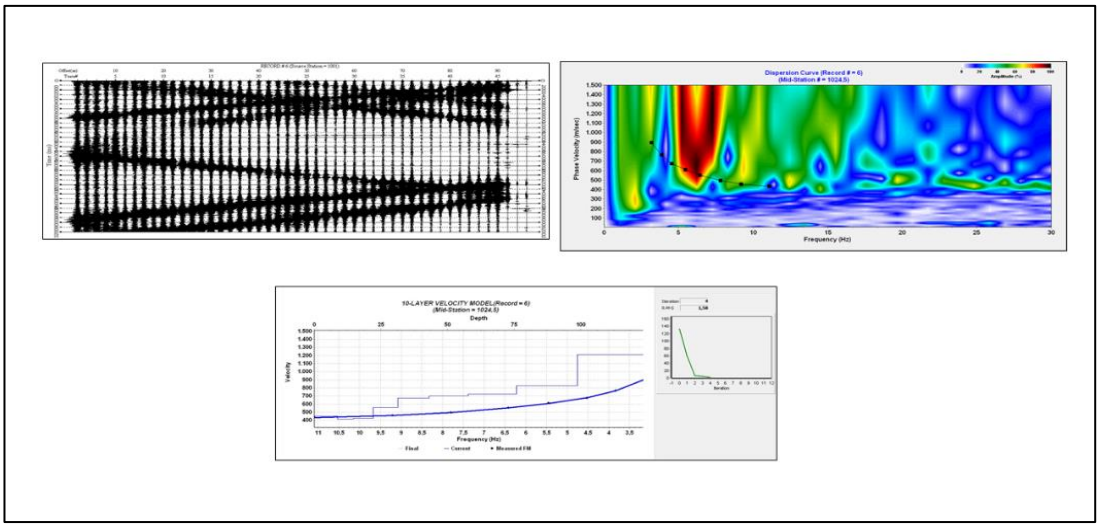
B.40. 3121 kodlu ReMi sonuçları



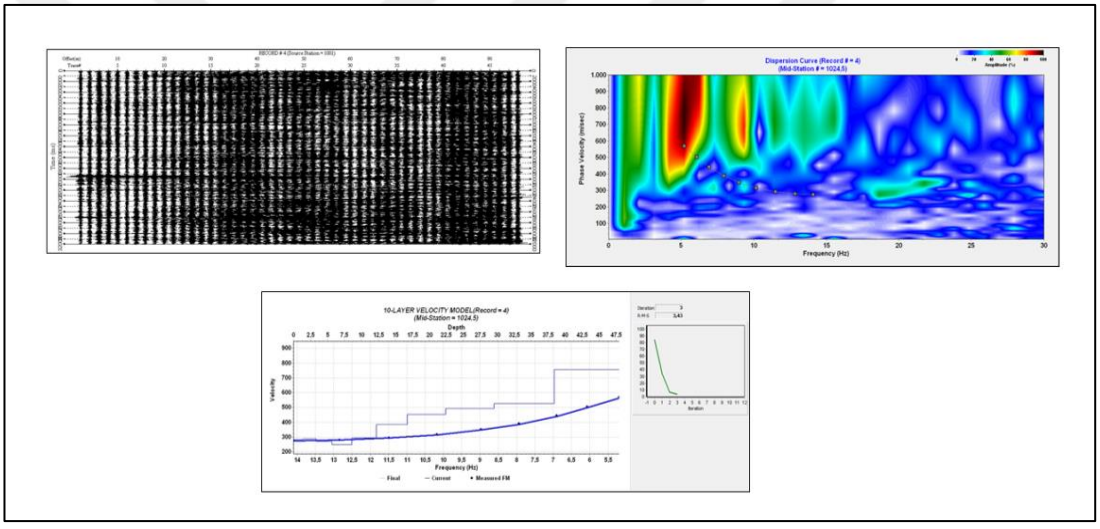
B.41. 3122 kodlu ReMi sonuçları



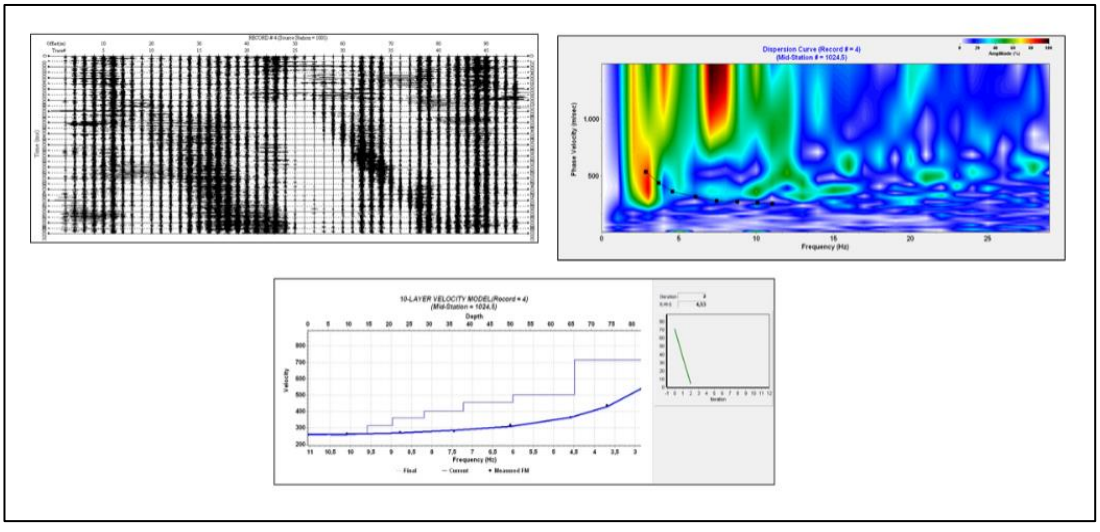
B.42. 3124 kodlu ReMi sonuçları



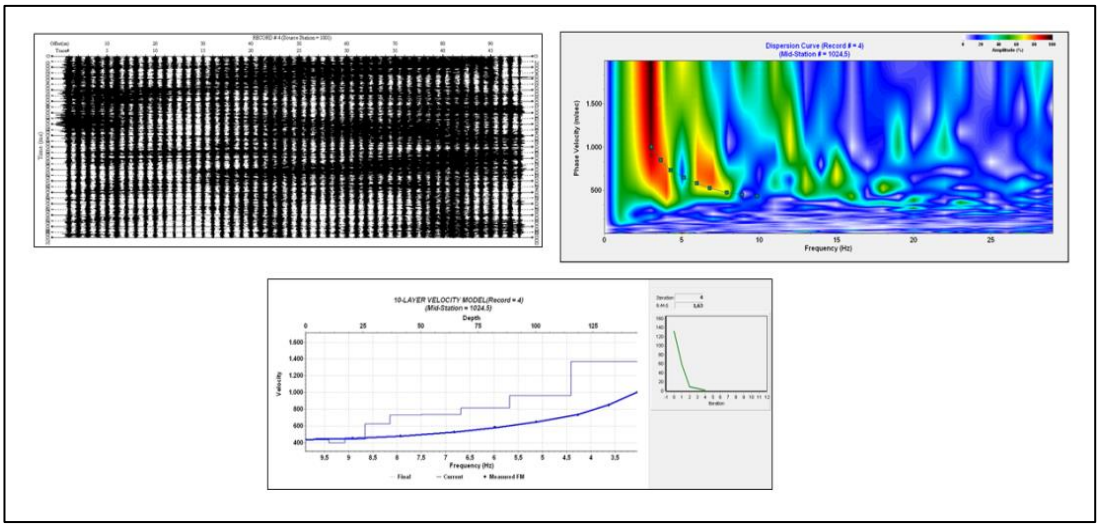
B.43. 3125 kodlu ReMi sonuçları



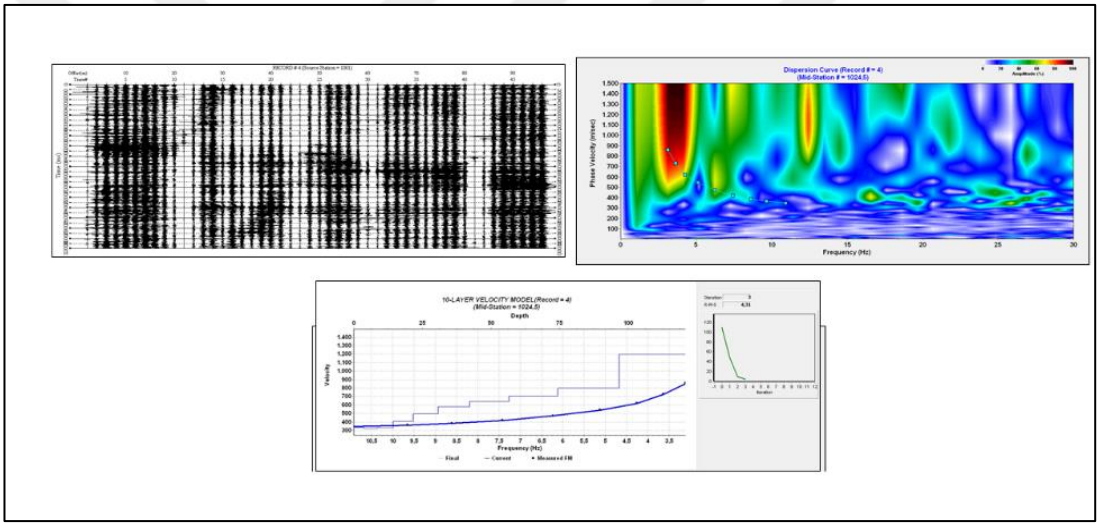
B.44. 3126 kodlu ReMi sonuçları



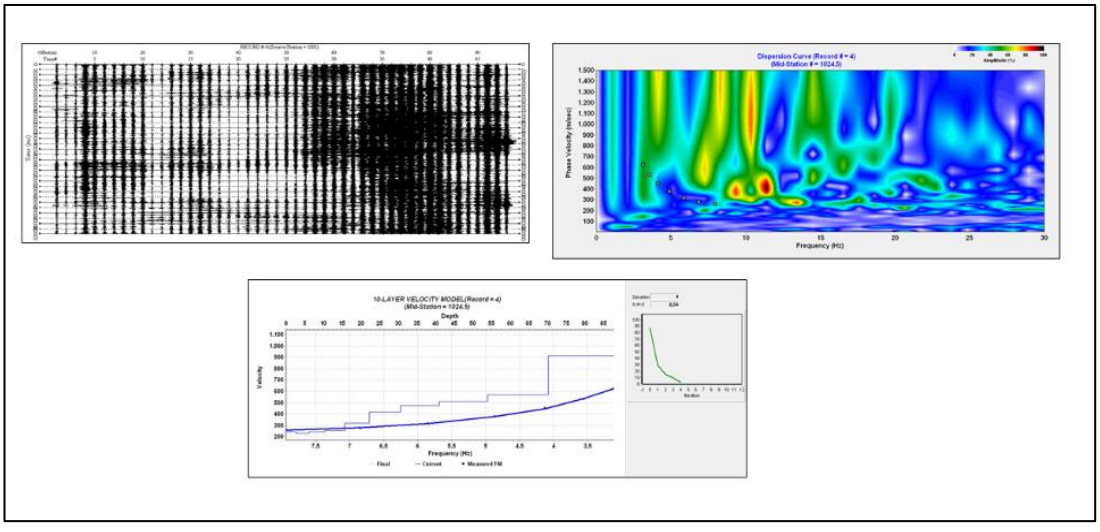
B.45. 3127 kodlu ReMi sonuçları



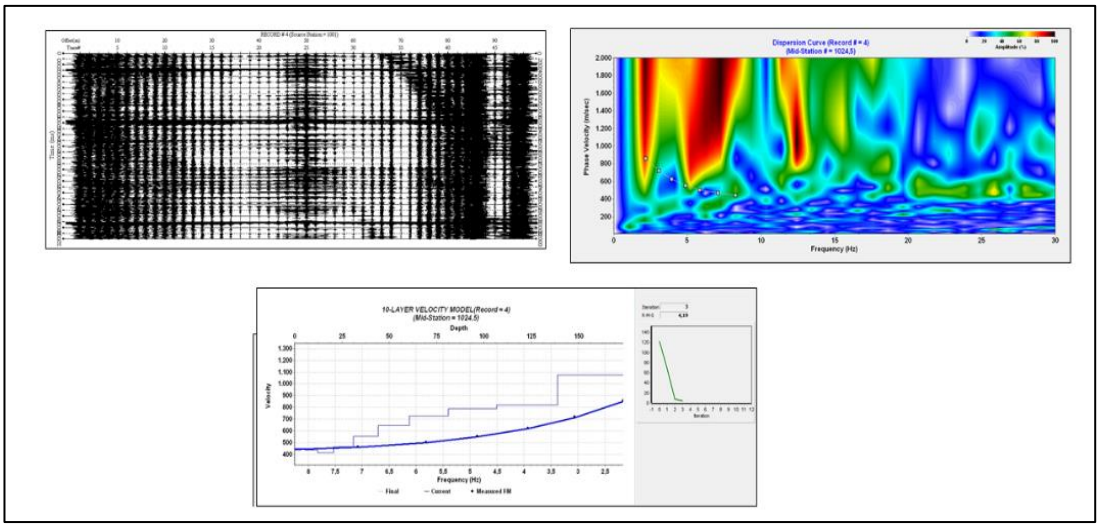
B.46. 3128 kodlu ReMi sonuçları



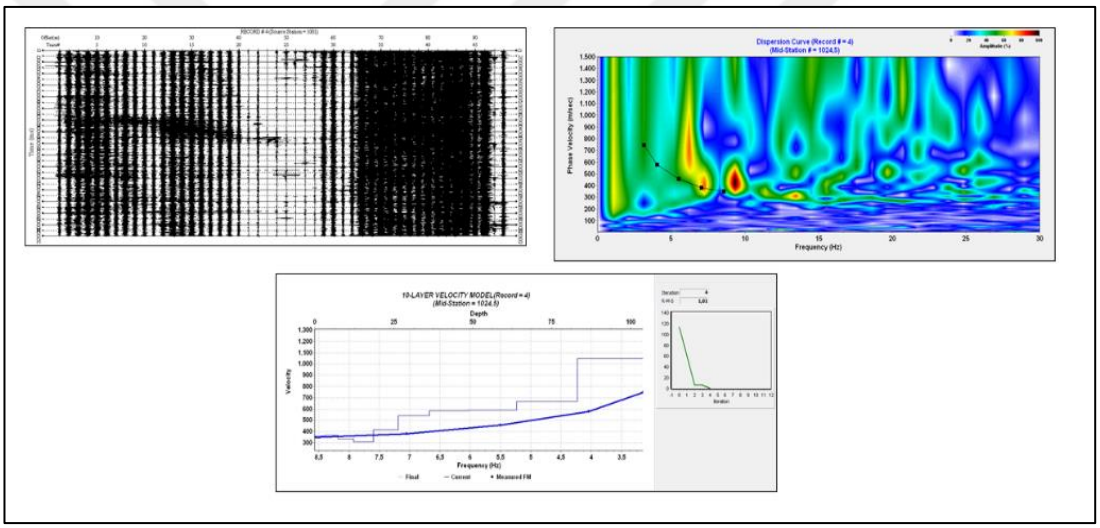
B.47. 3129 kodlu ReMi sonuçları



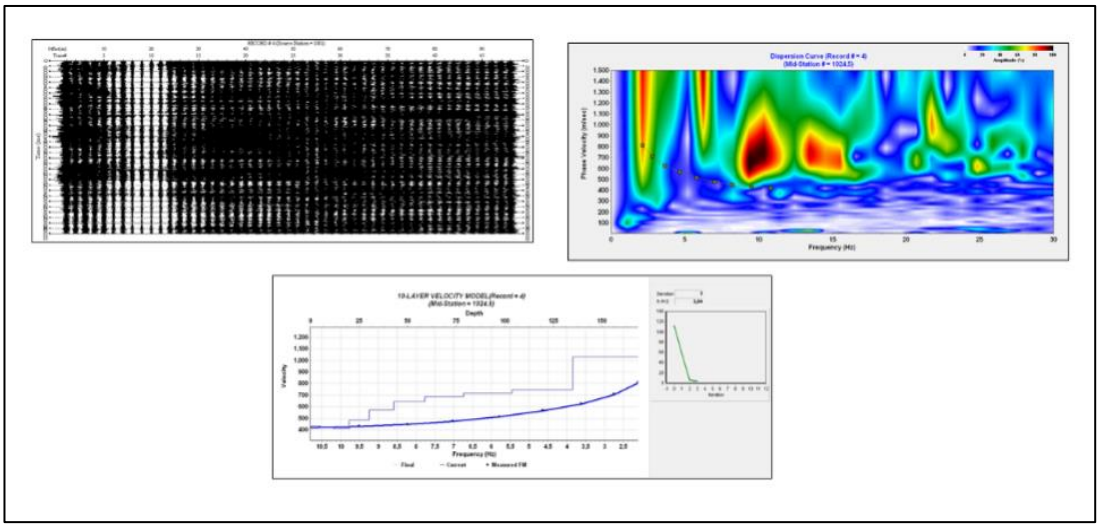
B.48. 3130 kodlu ReMi sonuçları



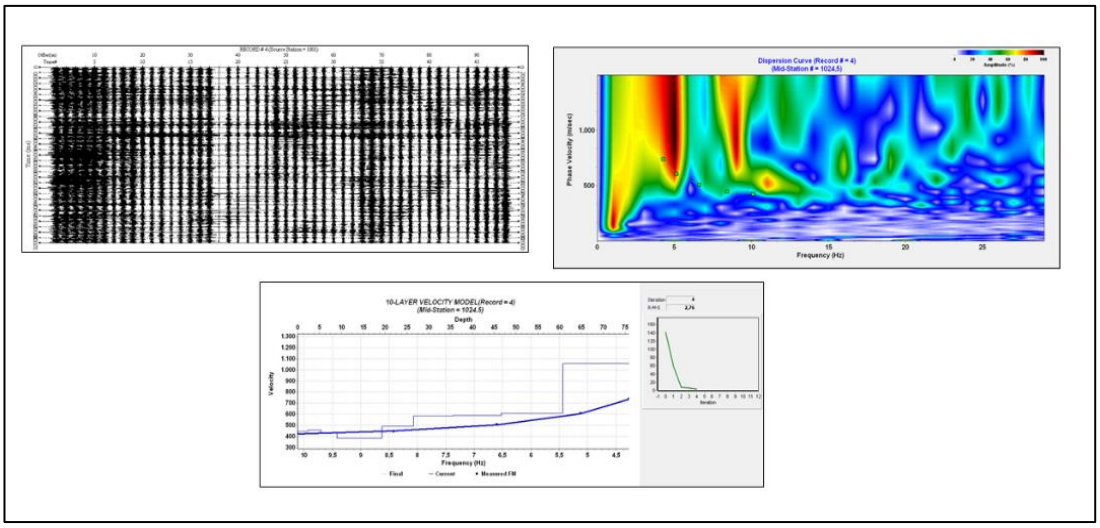
B.49. 3131 kodlu ReMi sonuçları



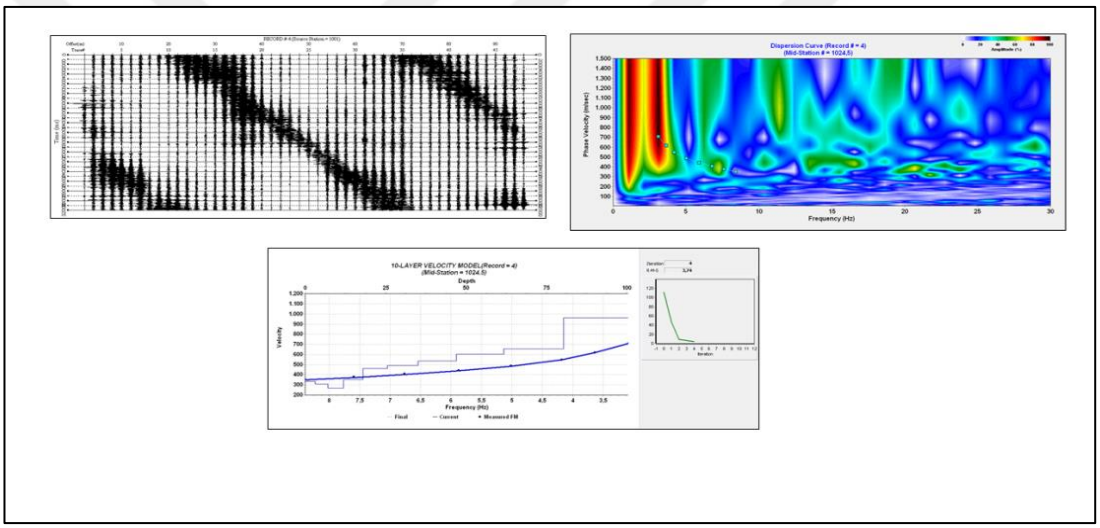
B.50. 3132 kodlu ReMi sonuçları



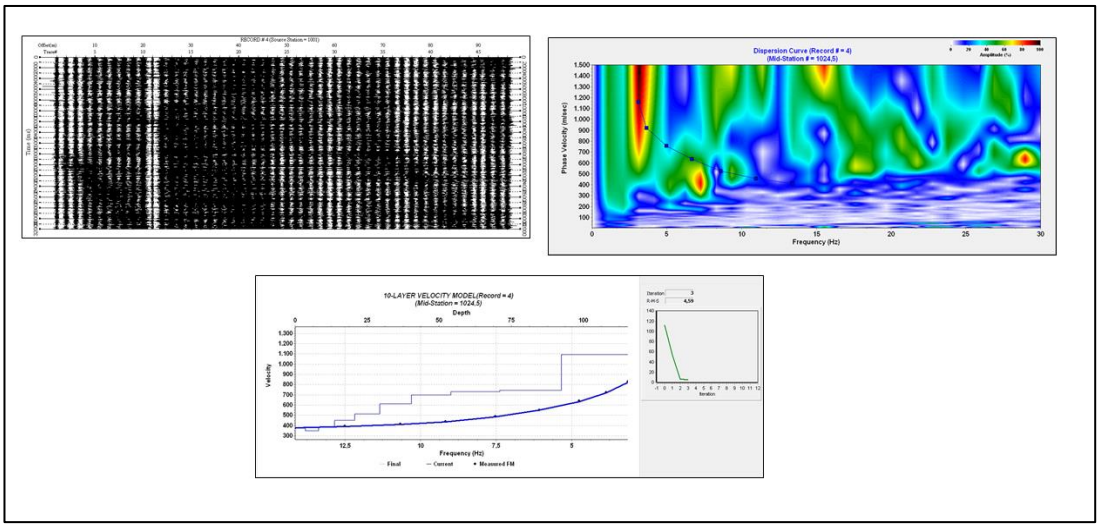
B.51. 3133 kodlu ReMi sonuçları



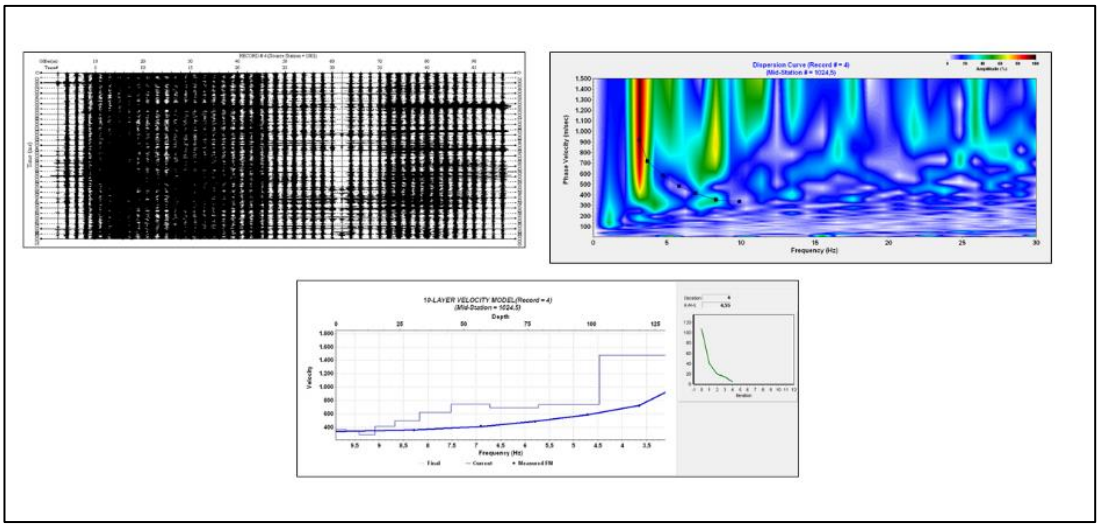
B.52. 3134 kodlu ReMi sonuçları



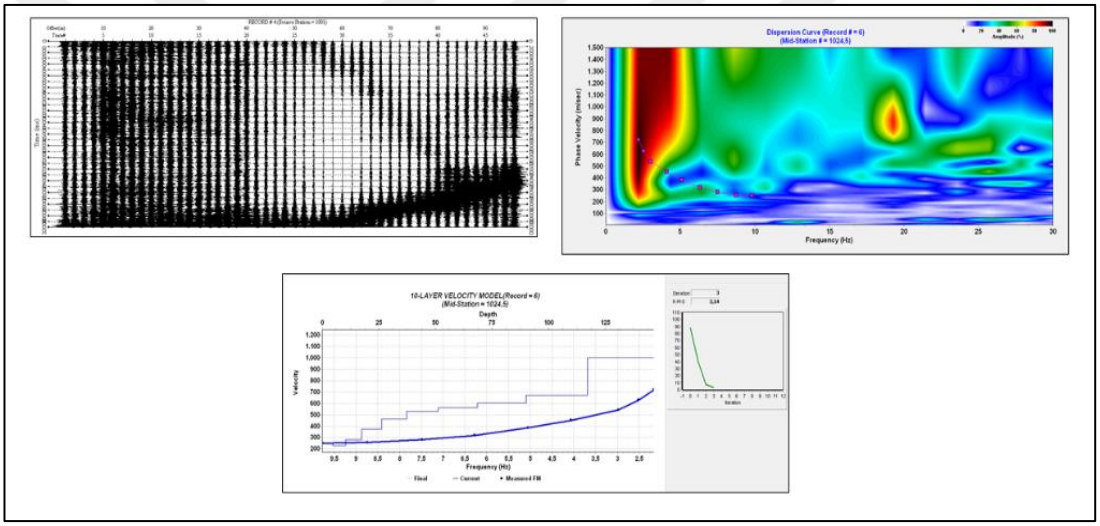
B.53. 3135 kodlu ReMi sonuçları



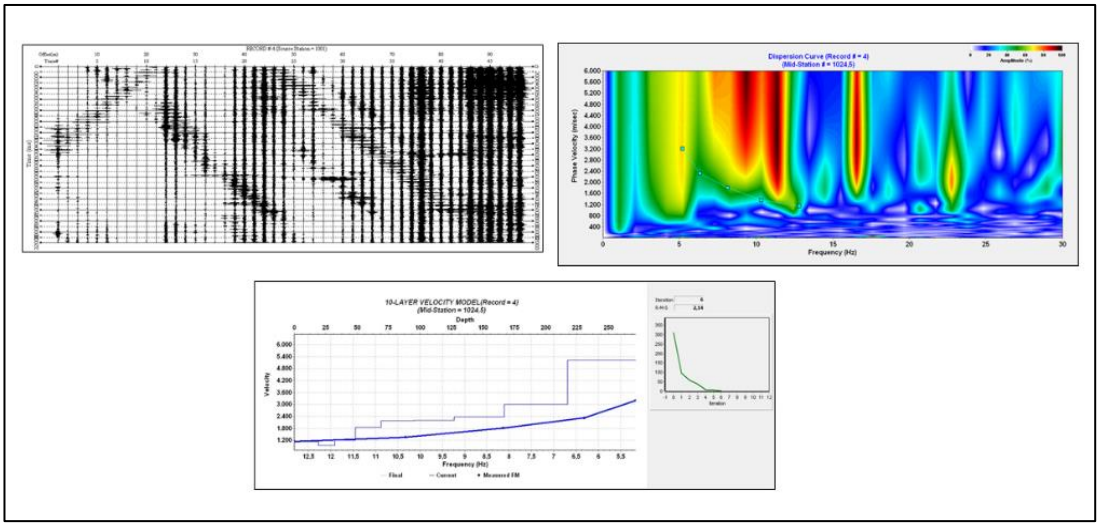
B.54. 3143 kodlu ReMi sonuçları



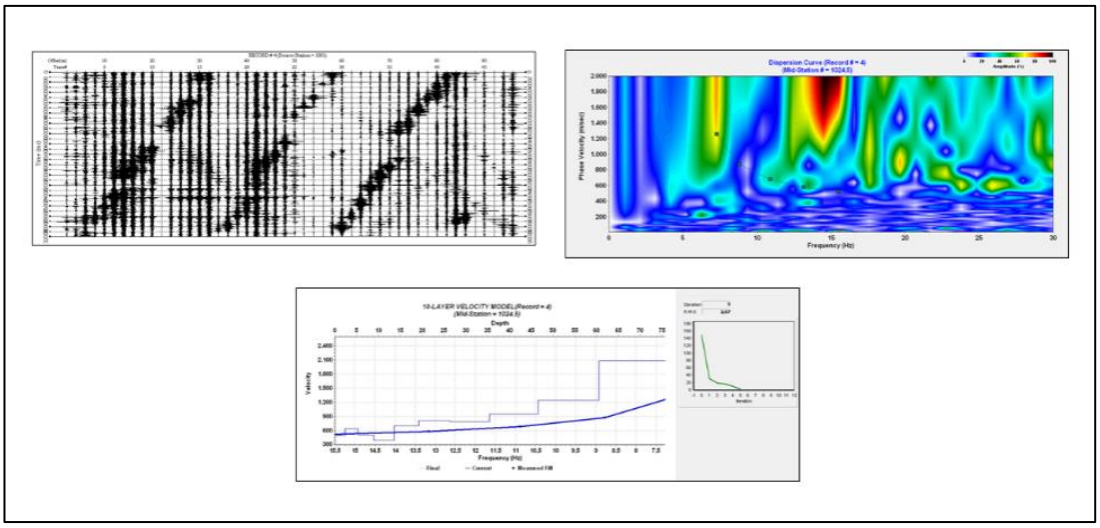
B.55. 3144 kodlu ReMi sonuçları



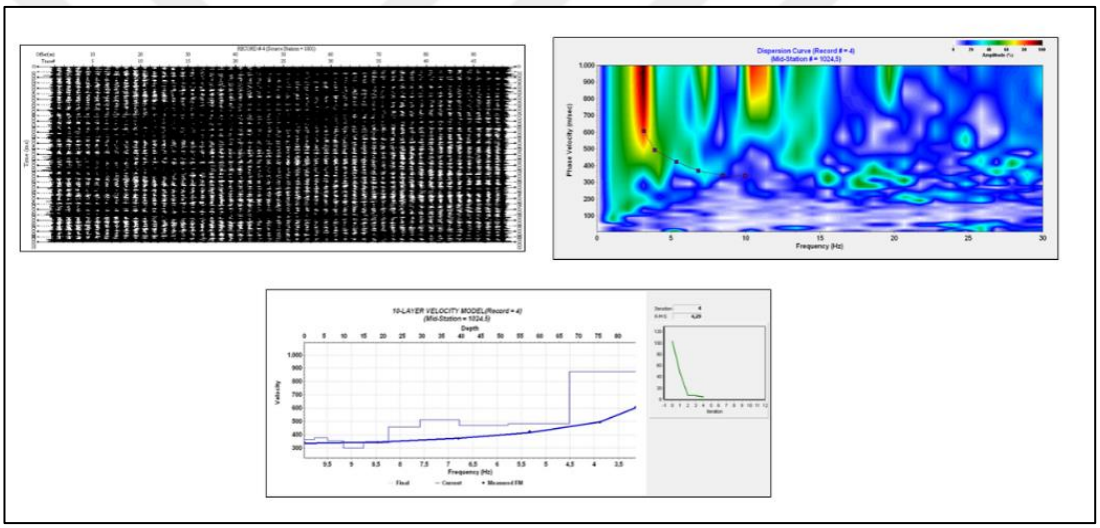
B.56. 3145 kodlu ReMi sonuçları



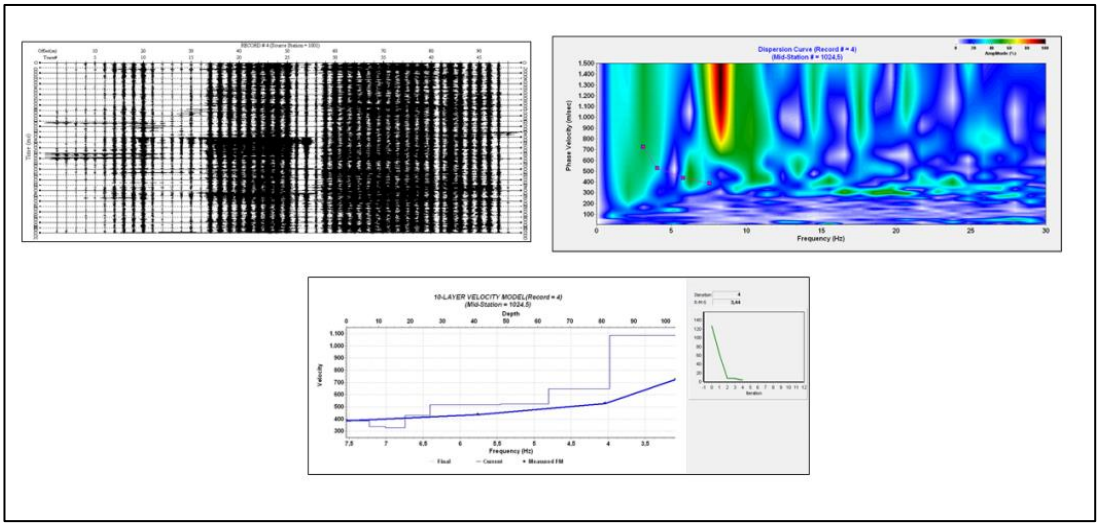
B.57. 3302 kodlu ReMi sonuçları



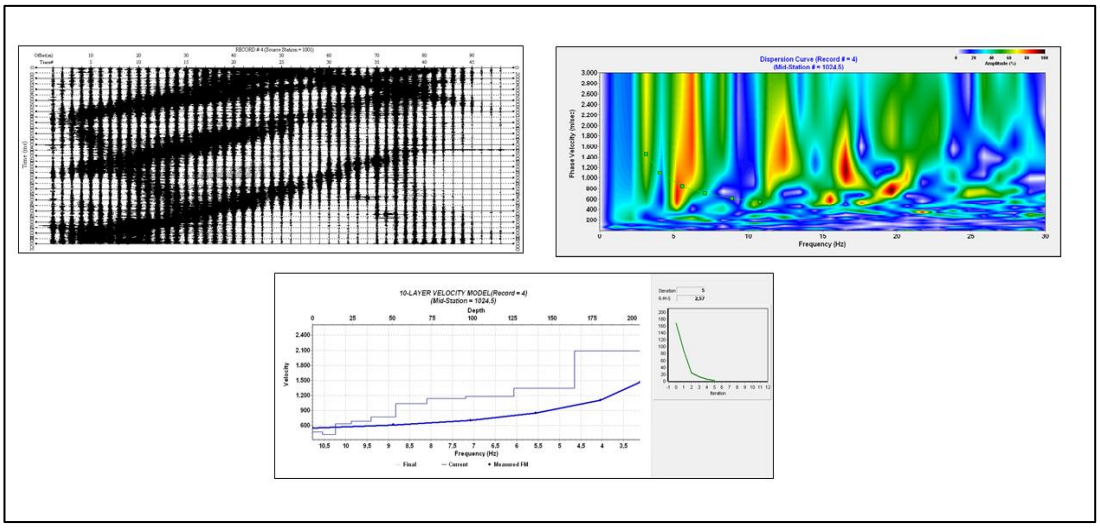
B.58. 3303 kodlu ReMi sonuçları



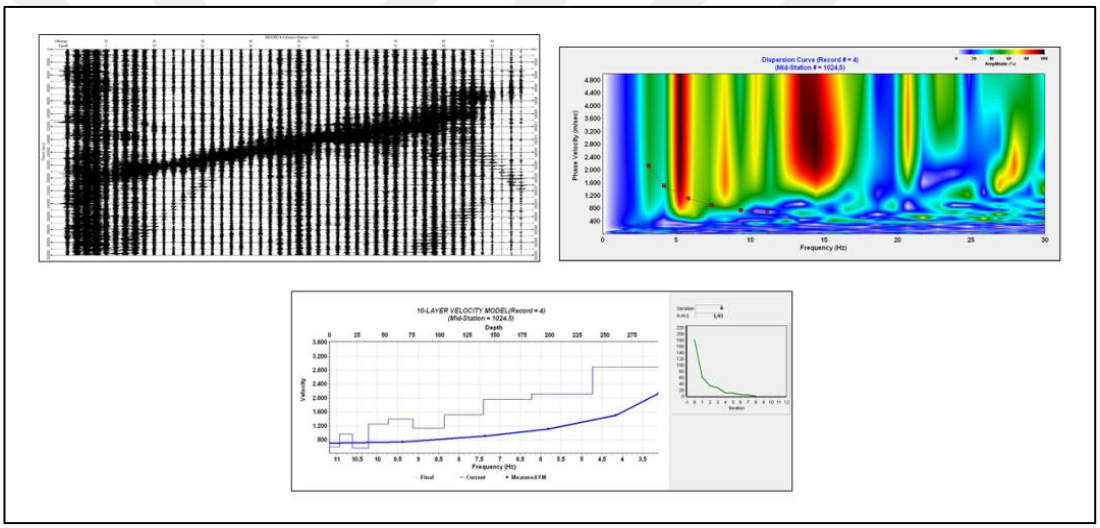
B.59. 3304 kodlu ReMi sonuçları



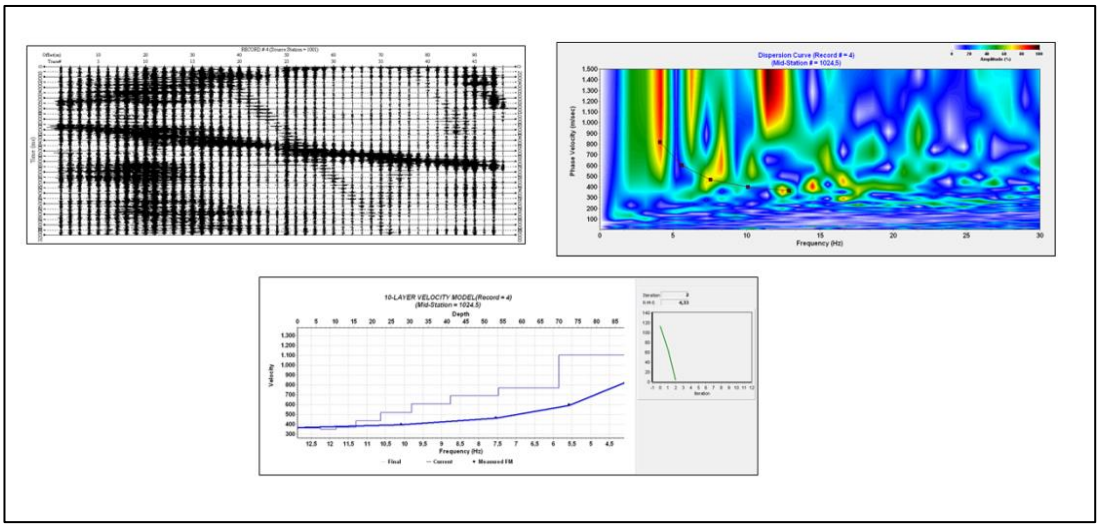
B.60. 3305 kodlu ReMi sonuçları



B.61. 3306 kodlu ReMi sonuçları

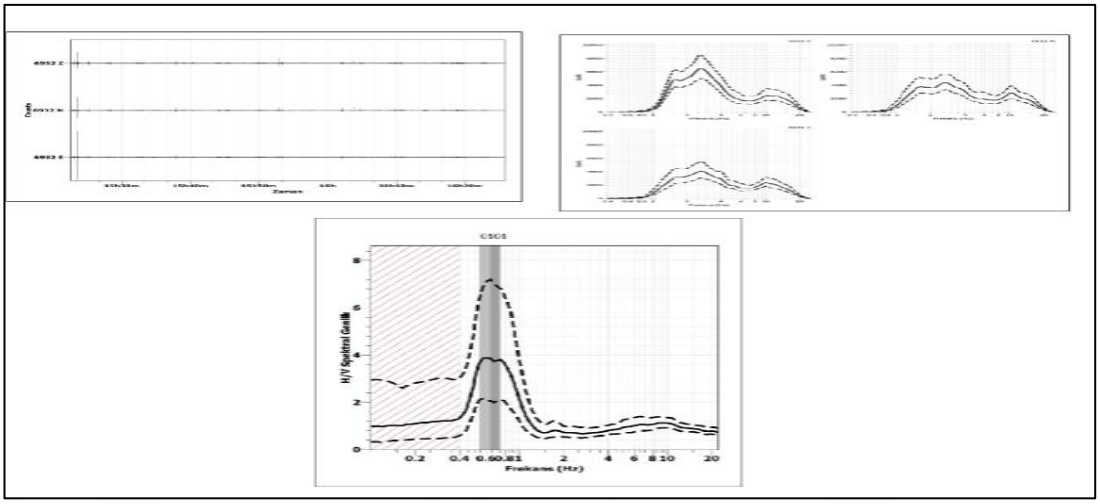


B.62. 3307 kodlu ReMi sonuçları

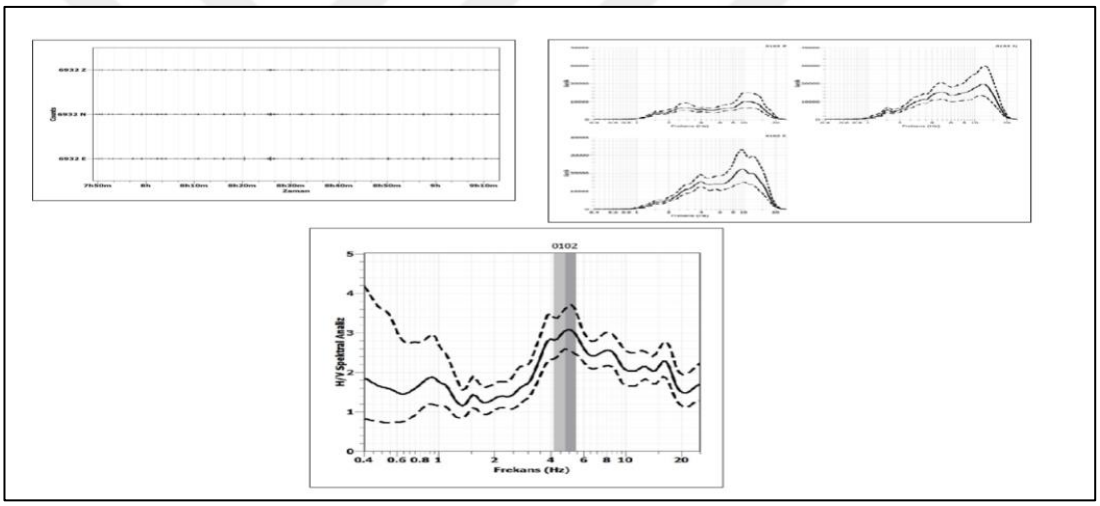


B.63. 8004 kodlu ReMi sonuçları

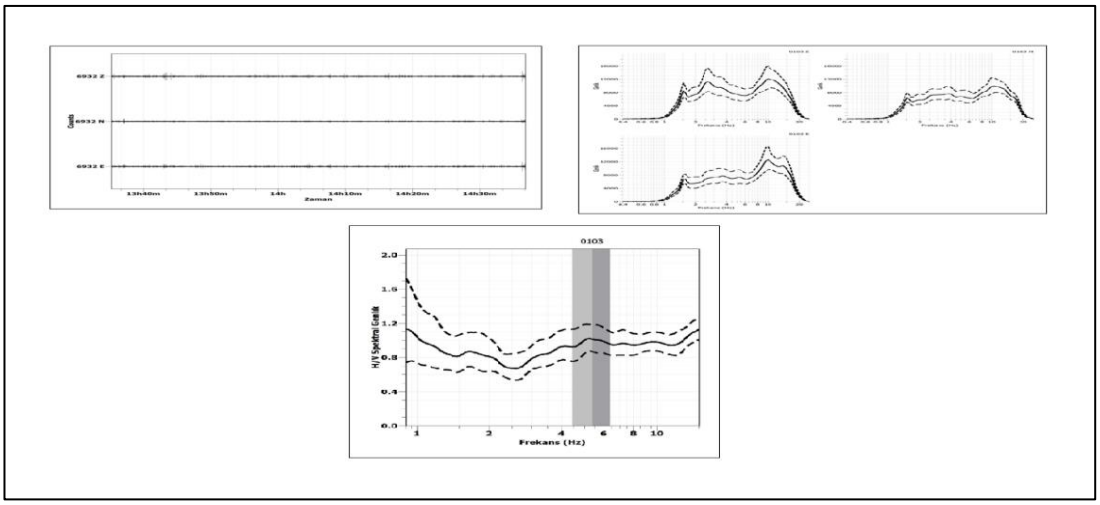
EK-C



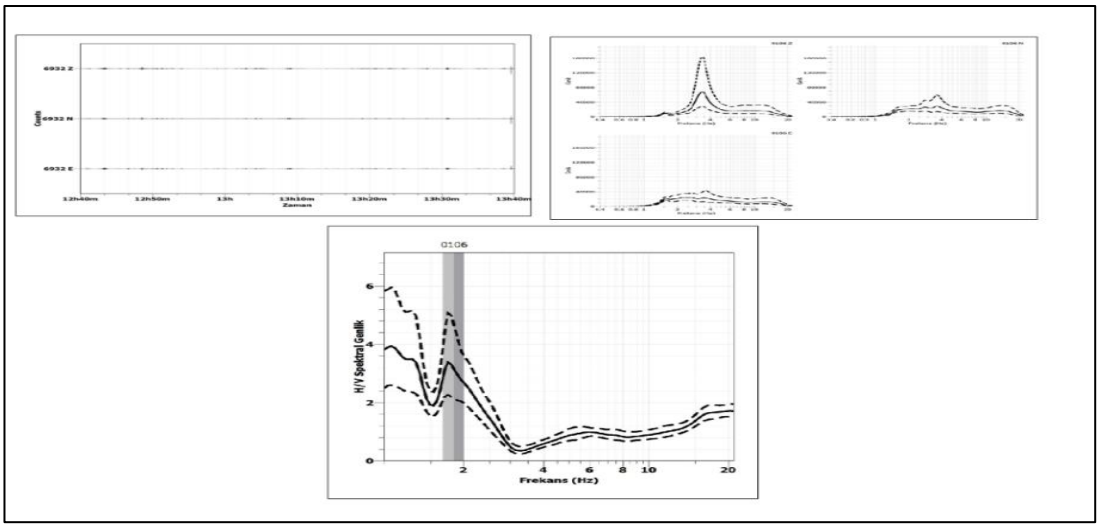
C.1. 0101 kodlu Mikrotremor sonuçları



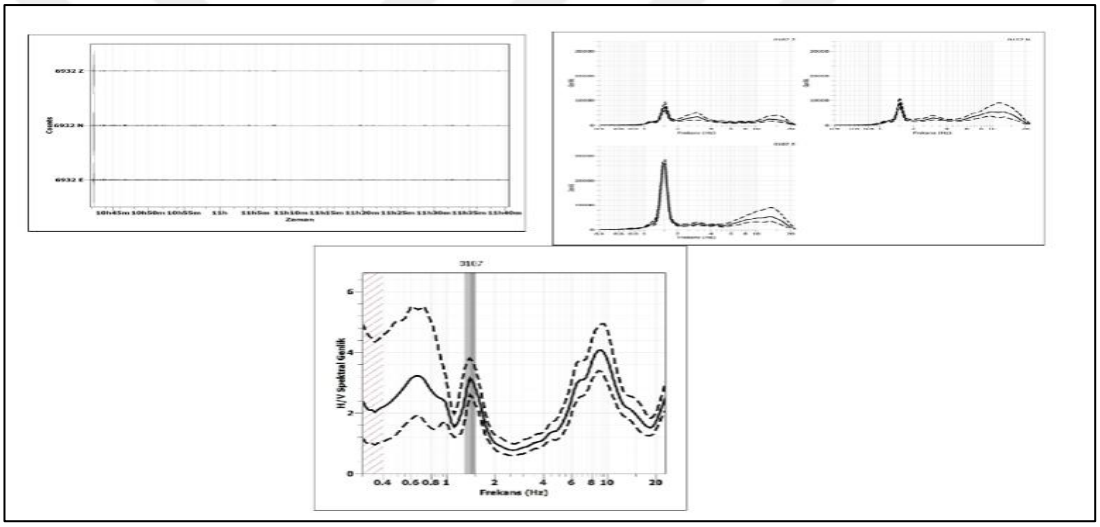
C.2. 0102 kodlu Mikrotremor sonuçları



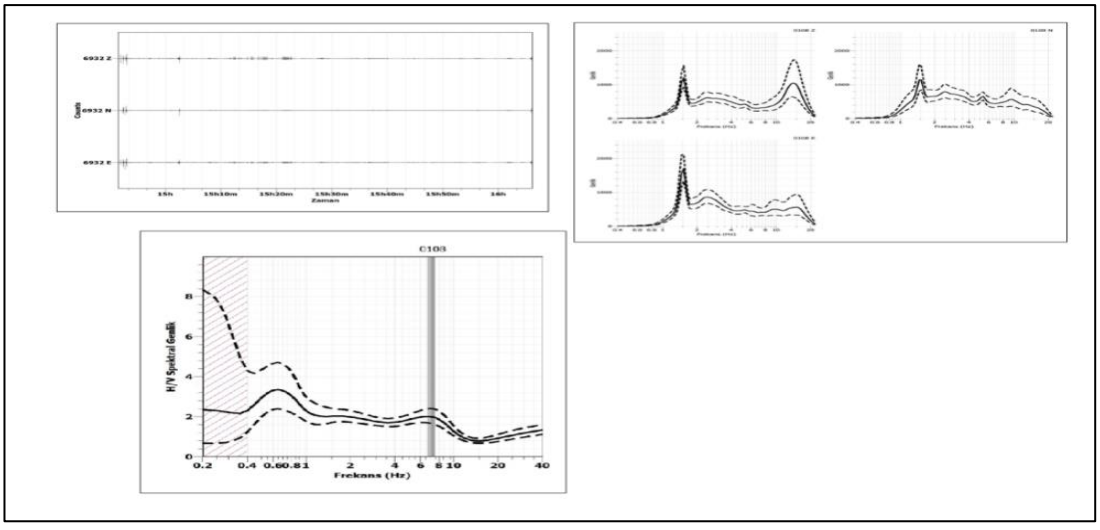
C.3. 0103 kodlu Mikrotremor sonuçları



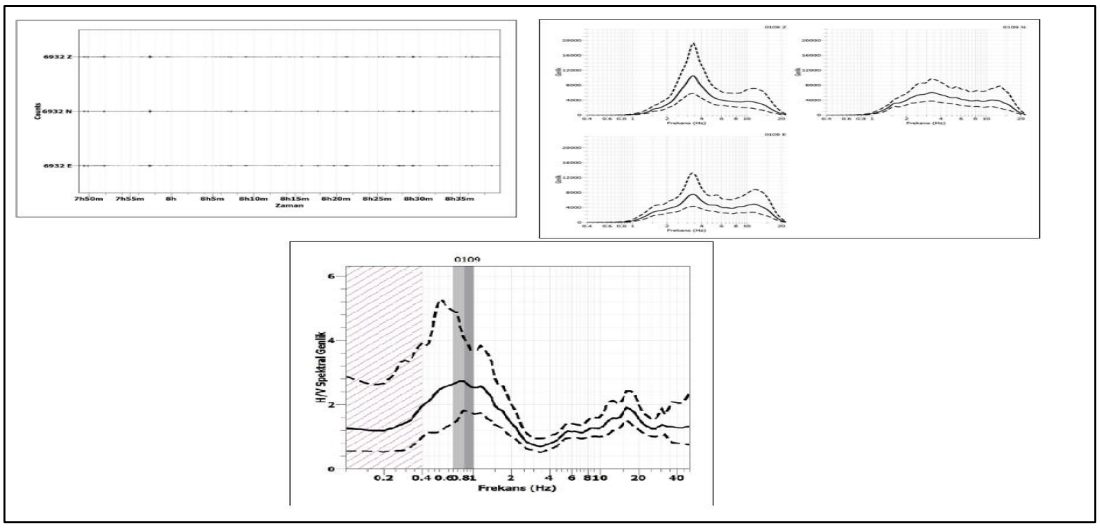
C.4. 0106 kodlu Mikrotremor sonuçları



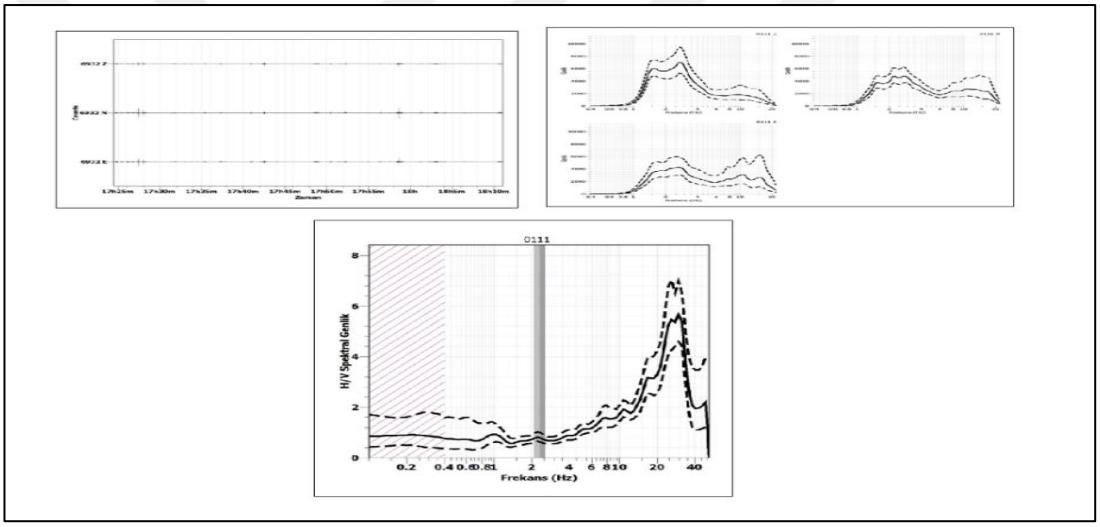
C.5. 0107 kodlu Mikrotremor sonuçları



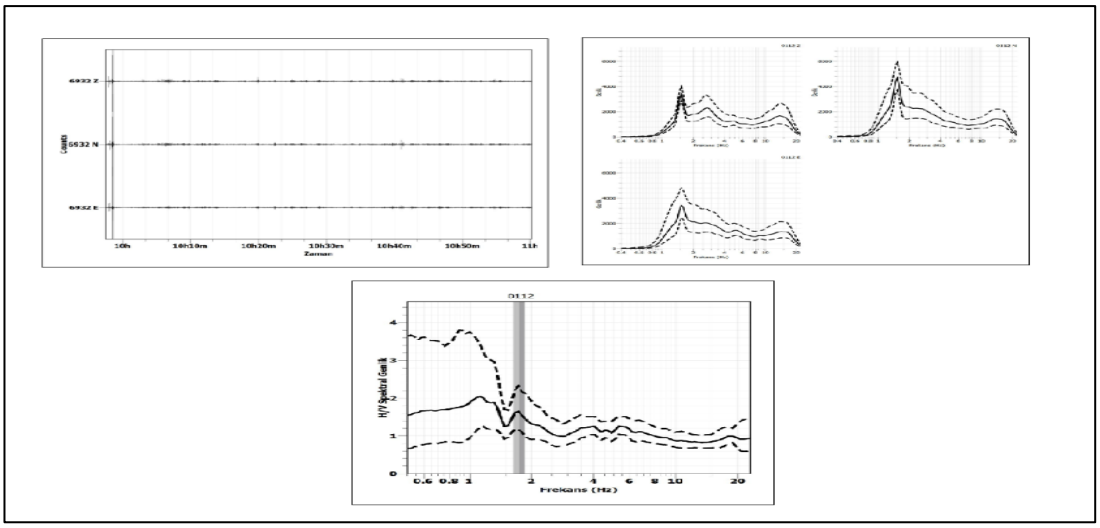
C.6. 0108 kodlu Mikrotremor sonuçları



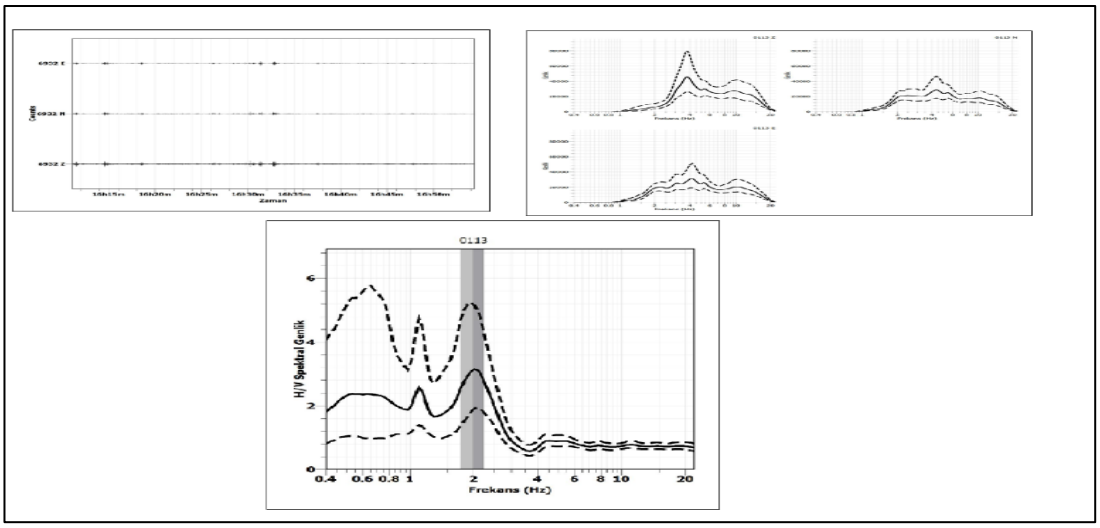
C.7. 0109 kodlu Mikrotremor sonuçları



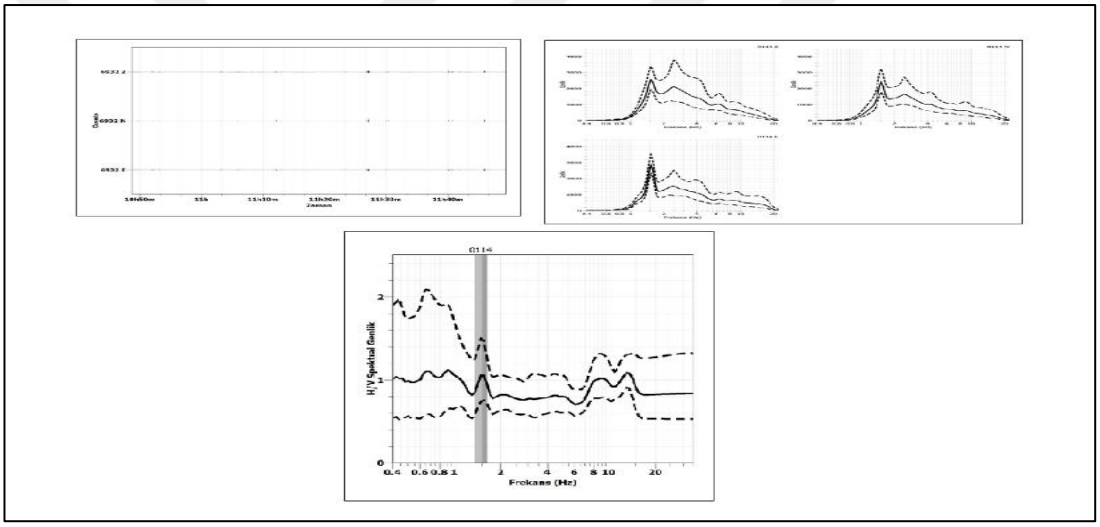
C.8. 0111 kodlu Mikrotremor sonuçları



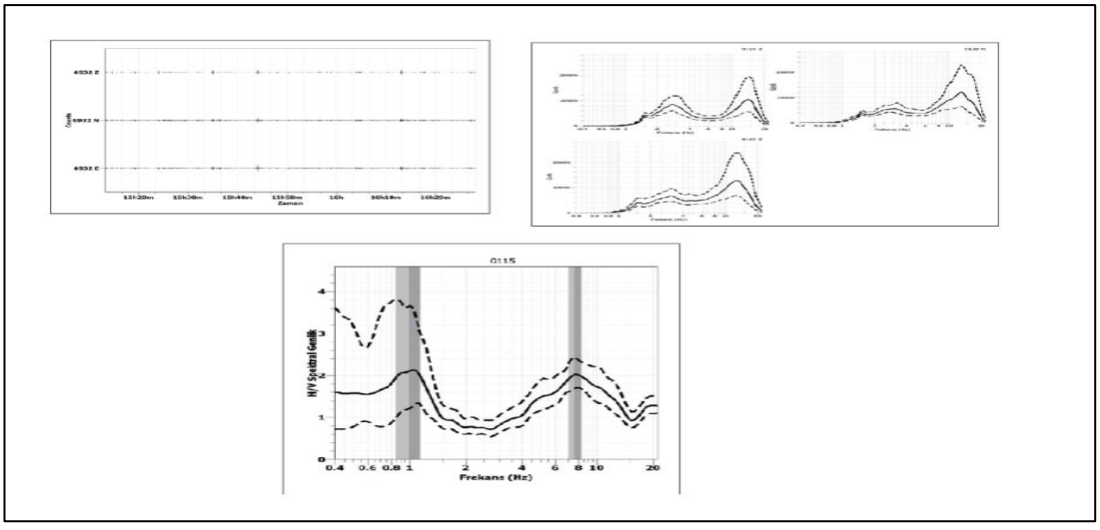
C.9. 0112 kodlu Mikrotremor sonuçları



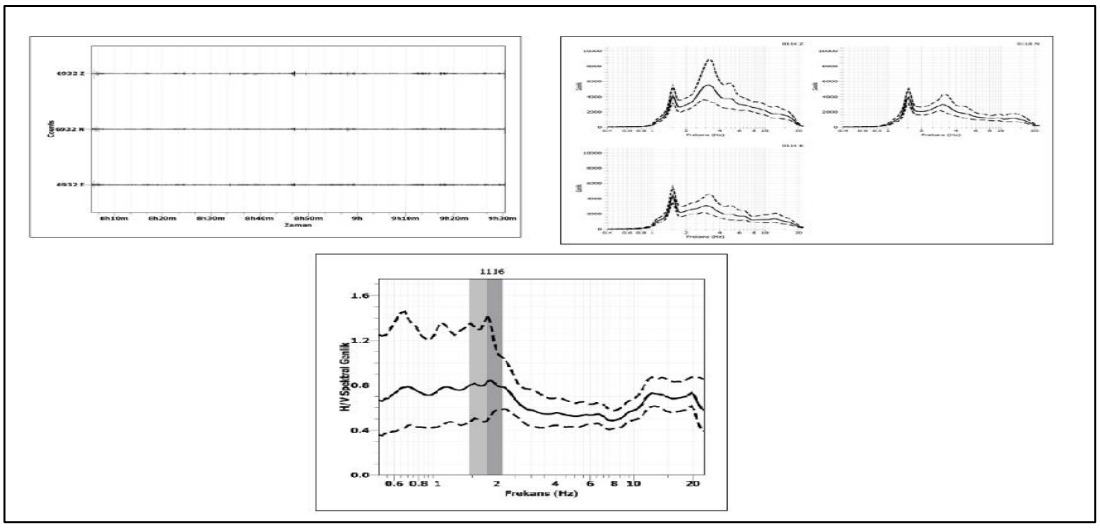
C.10. 0113 kodlu Mikrotremor sonuçları



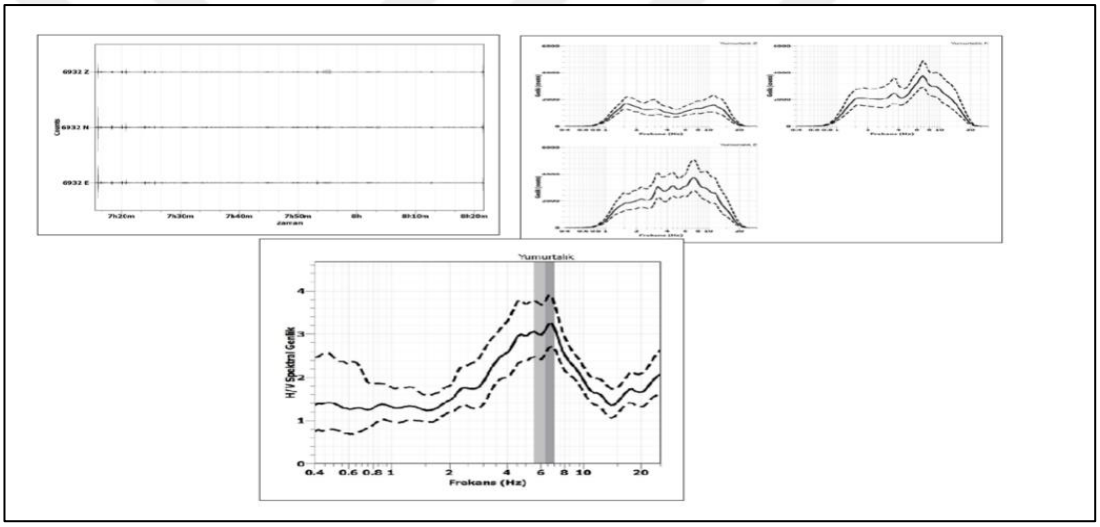
C.11. 0114 kodlu Mikrotremor sonuçları



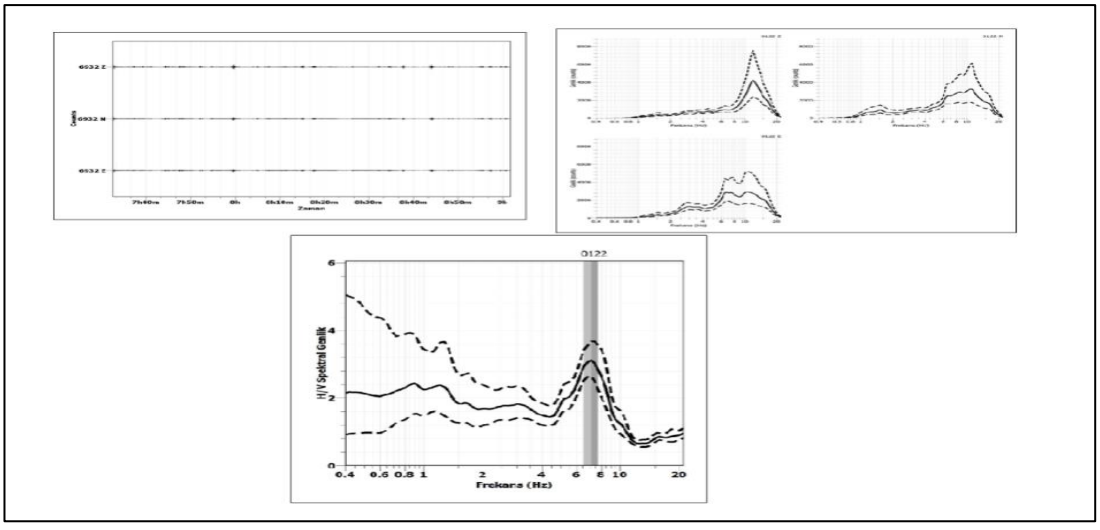
C.12. 0115 kodlu Mikrotremor sonuçları



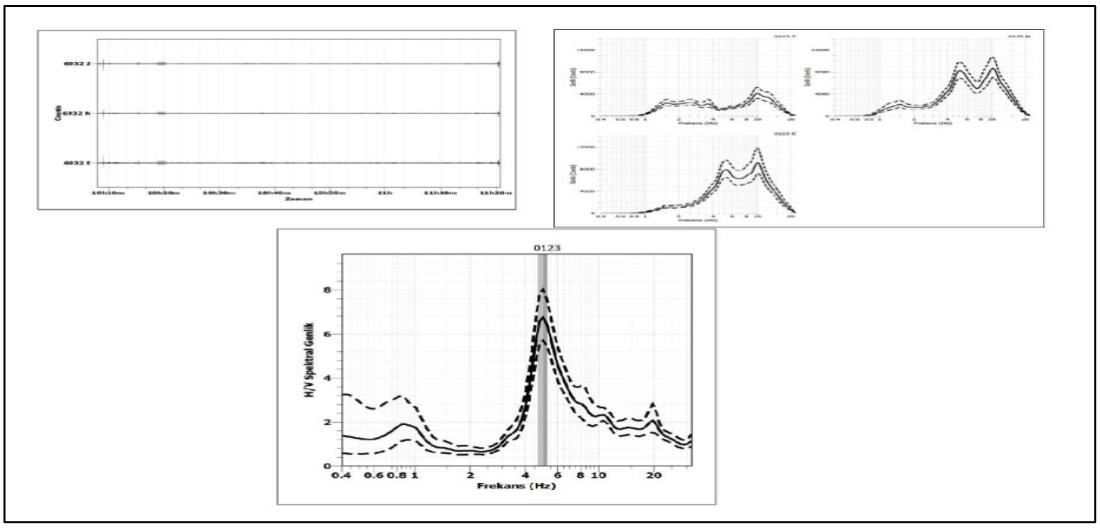
C.13. 0116 kodlu Mikrotremor sonuçları



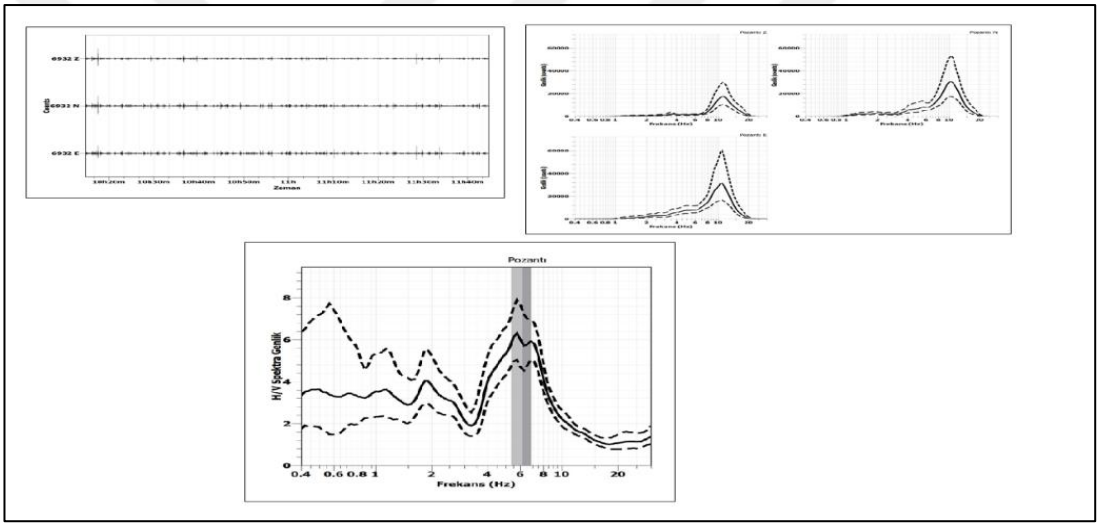
C.14. 0120 kodlu Mikrotremor sonuçları



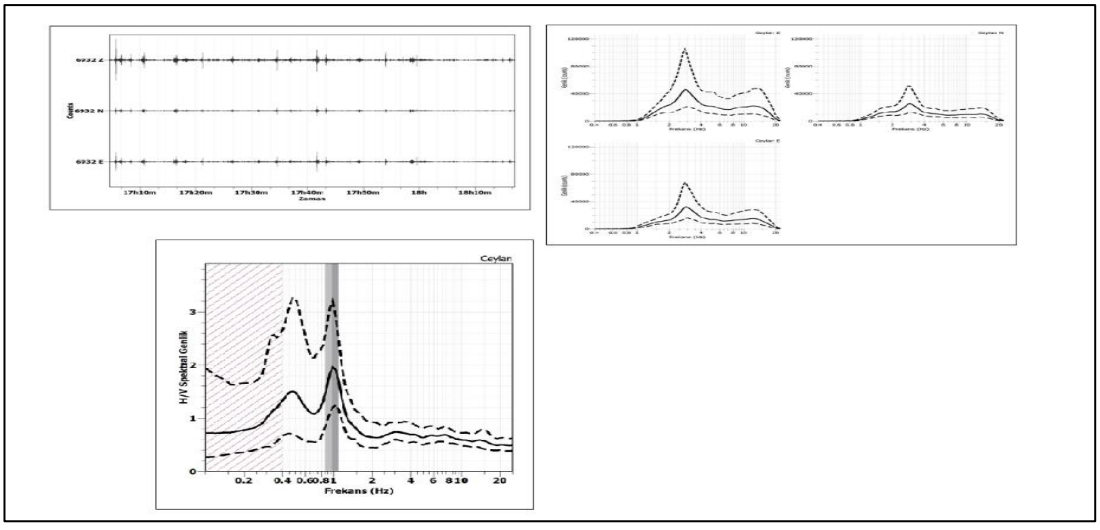
C.15. 0122 kodlu Mikrotremor sonuçları



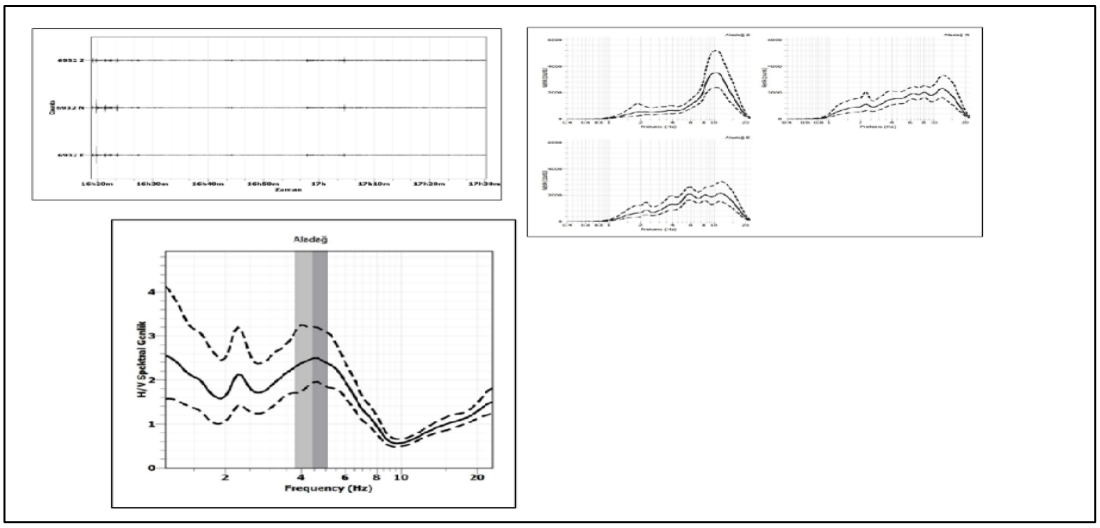
C.16. 0123 kodlu Mikrotremor sonuçları



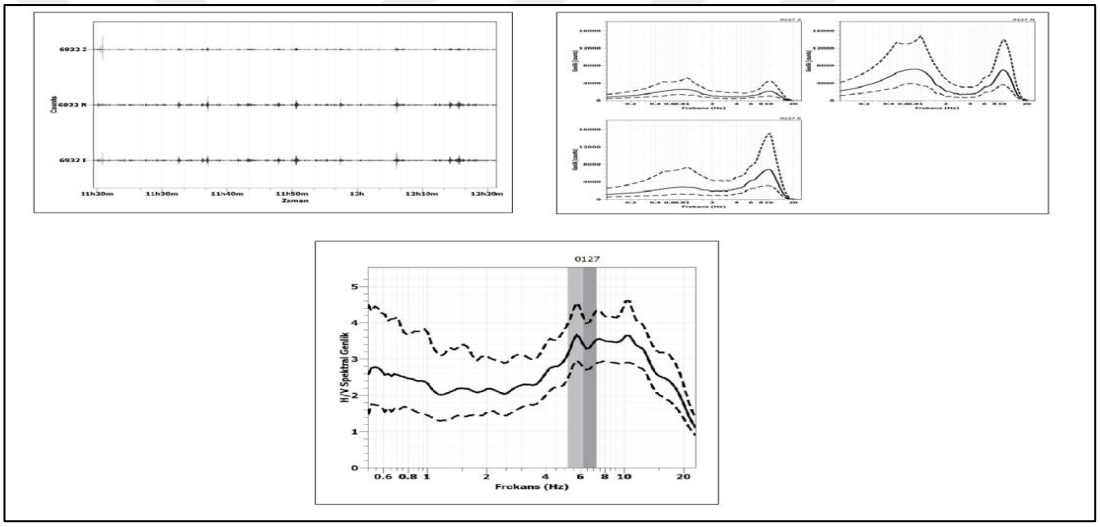
C.17. 0124 kodlu Mikrotremor sonuçları



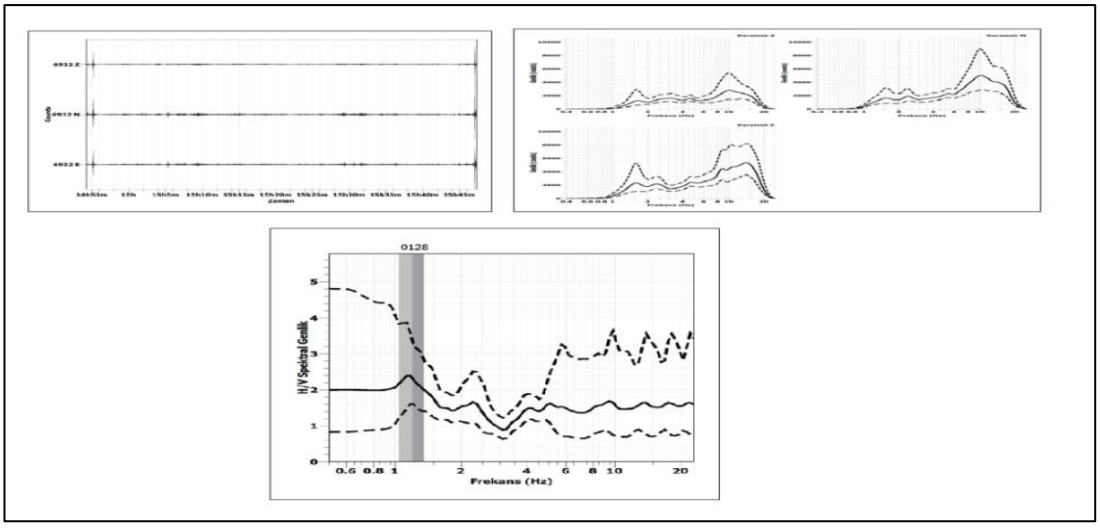
C.18. 0125 kodlu Mikrotremor sonuçları



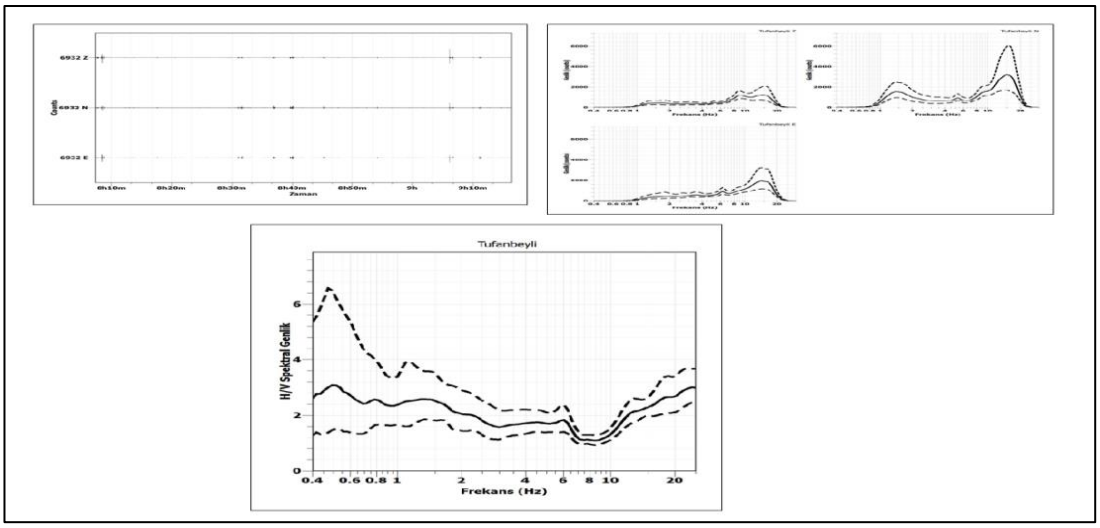
C.19. 0126 kodlu Mikrotremor sonuçları



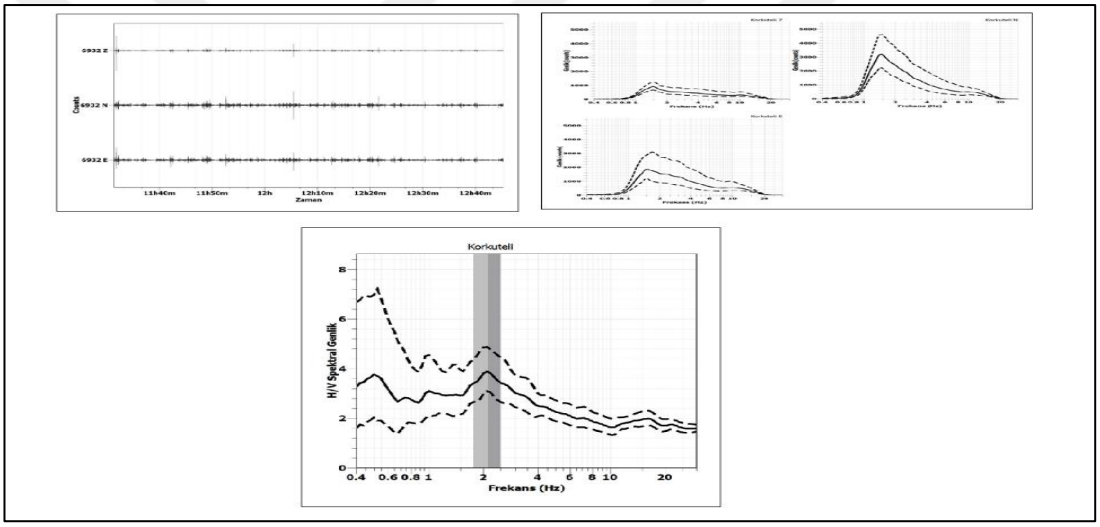
C.20. 0127 kodlu Mikrotremor sonuçları



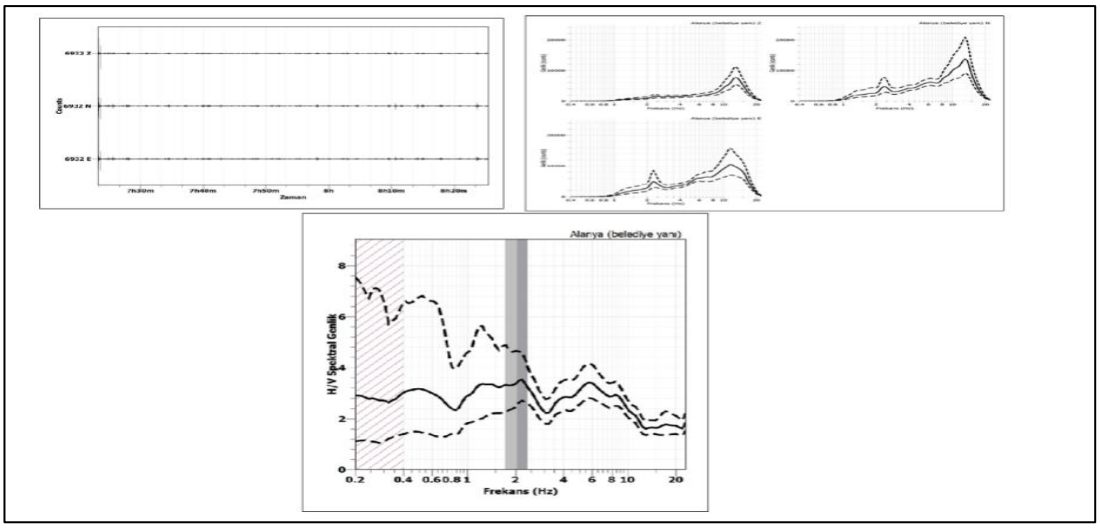
C.21. 0128 kodlu Mikrotremor sonuçları



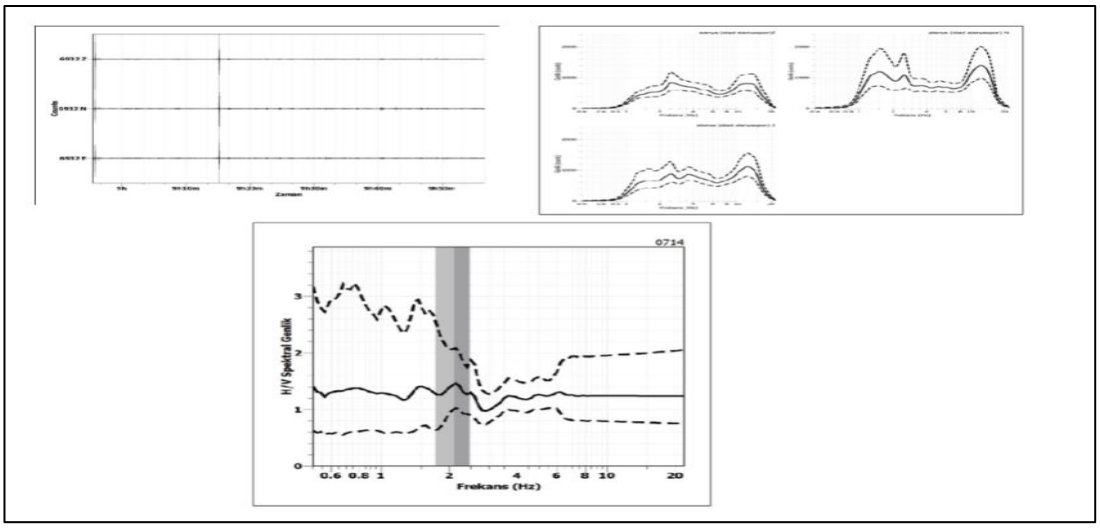
C.22. 0129 kodlu Mikrotremor sonuçları



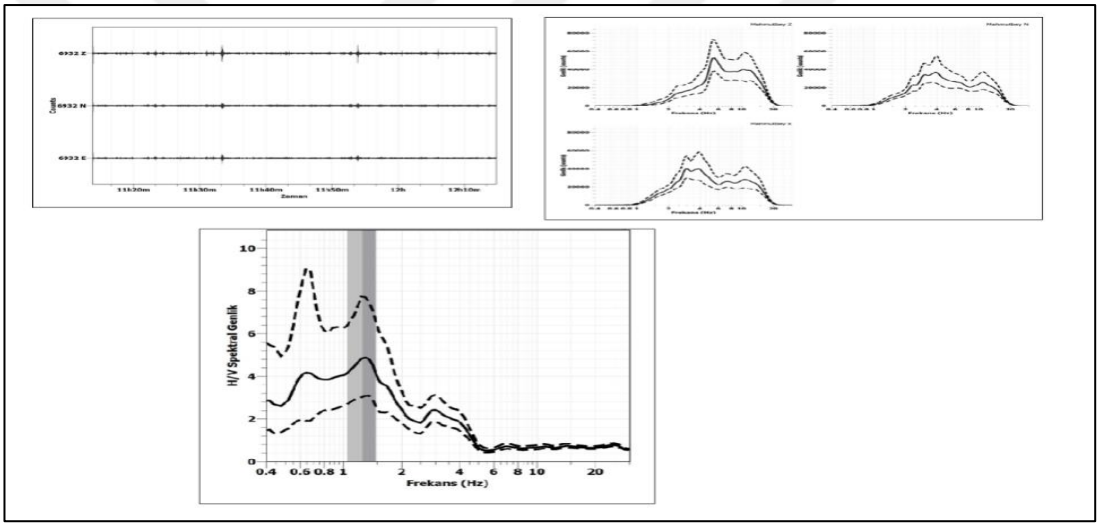
C.23. 0707 kodlu Mikrotremor sonuçları



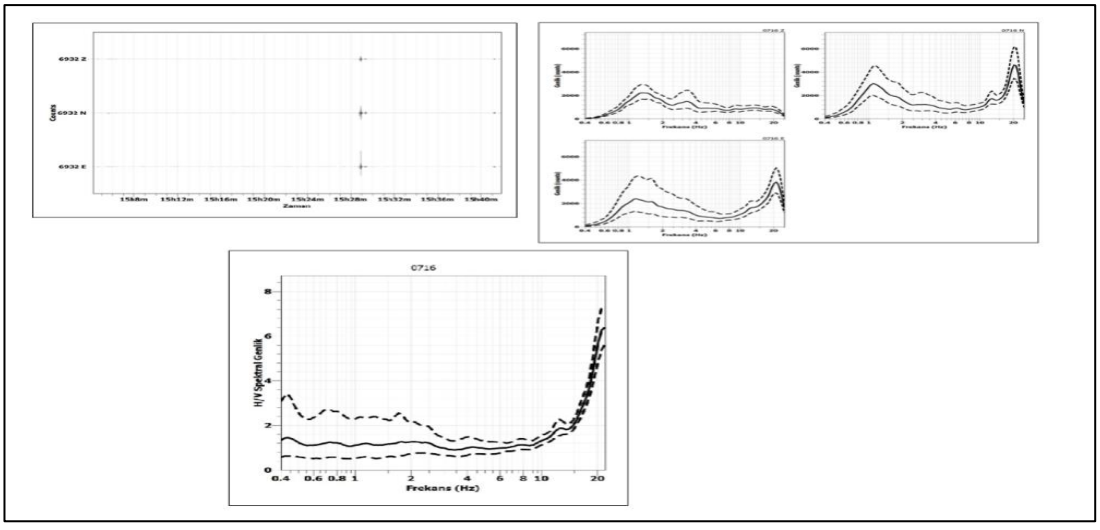
C.24. 0713 kodlu Mikrotremor sonuçları



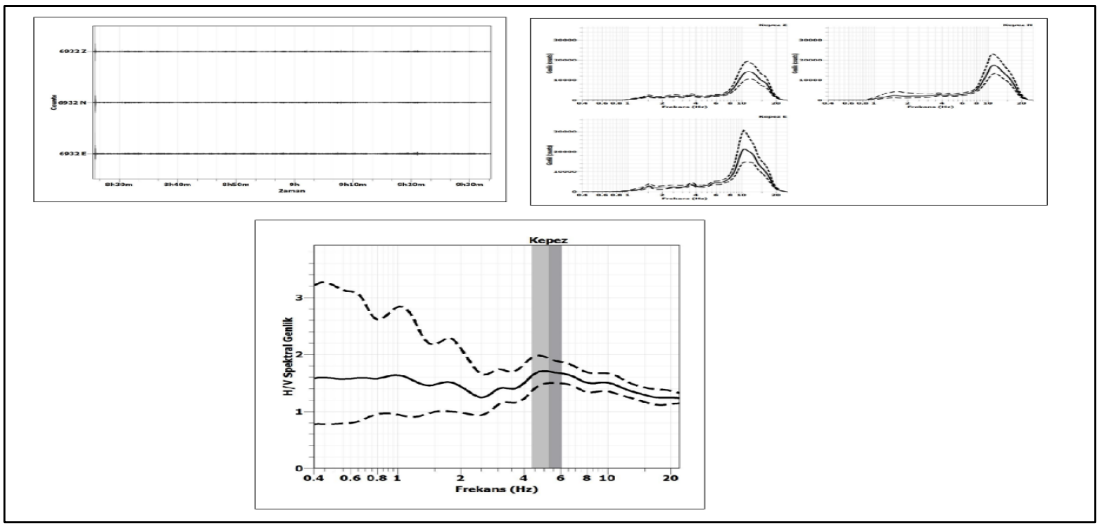
C.25. 0714 kodlu Mikrotremor sonuçları



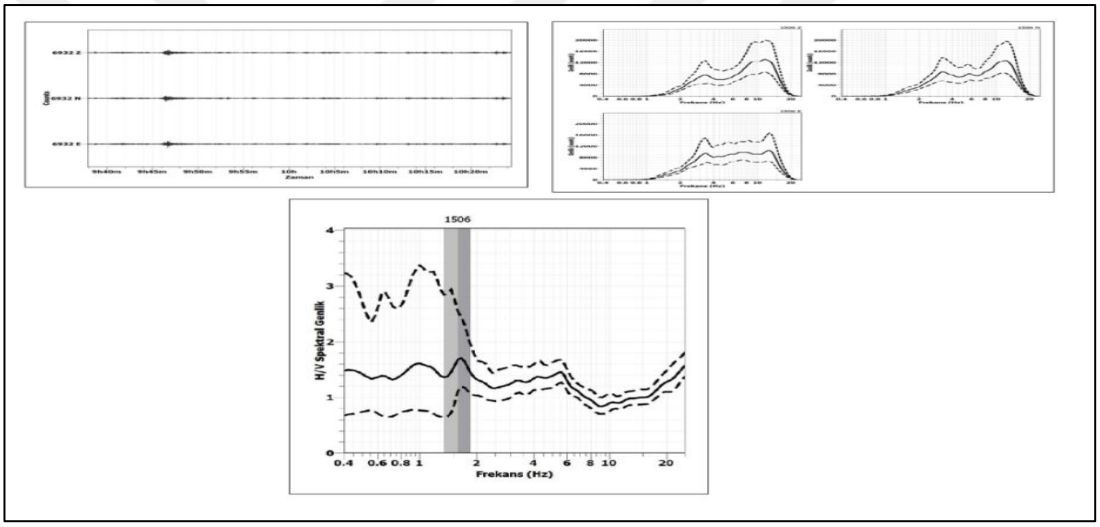
C.26. 0715 kodlu Mikrotremor sonuçları



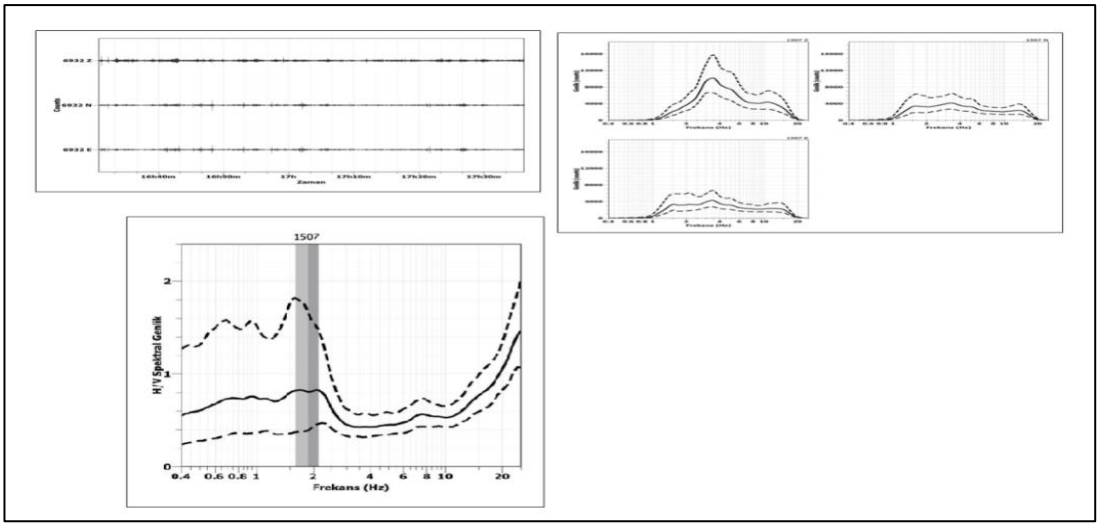
C.27. 0716 kodlu Mikrotremor sonuçları



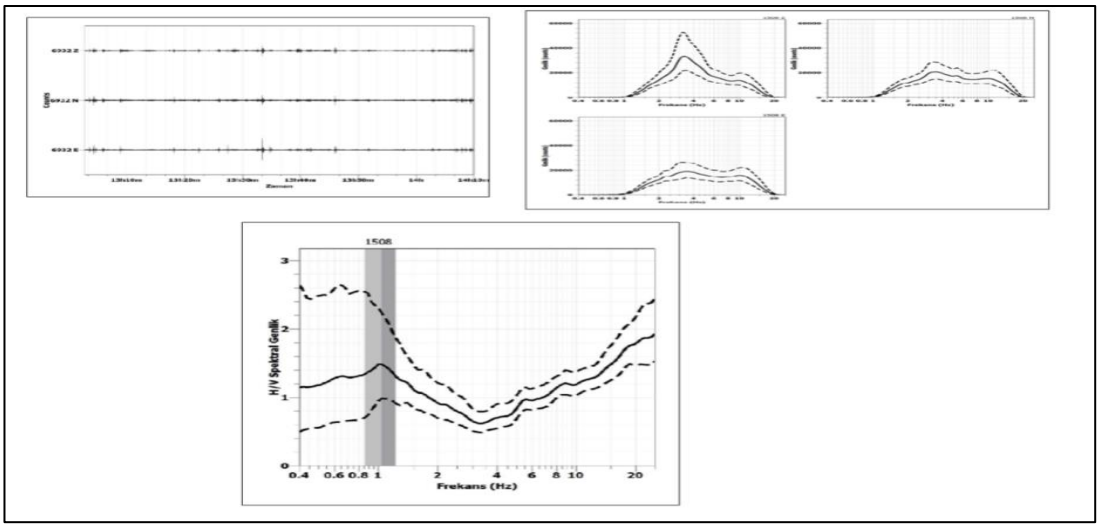
C.28. 0717 kodlu Mikrotremor sonuçları



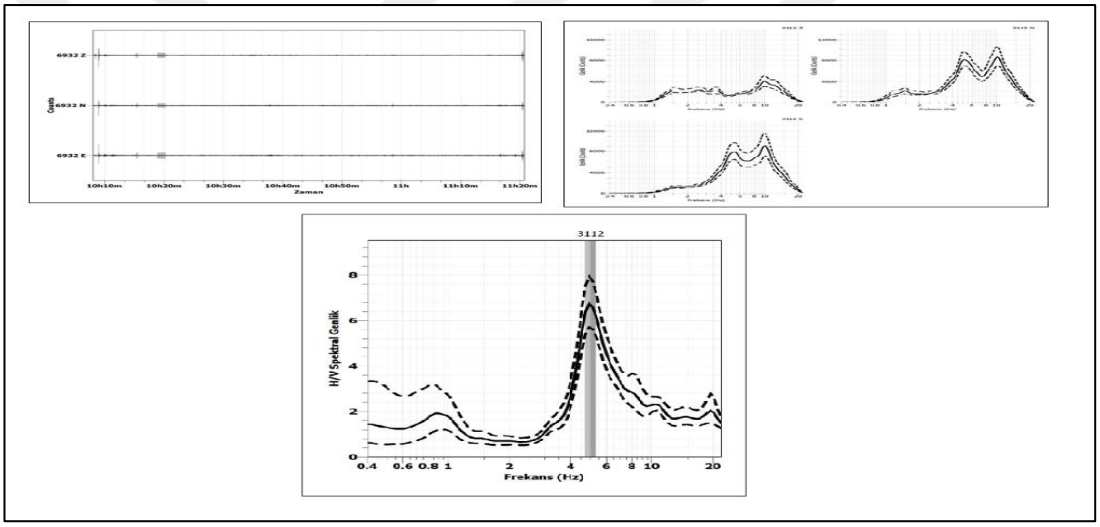
C.29. 1506 kodlu Mikrotremor sonuçları



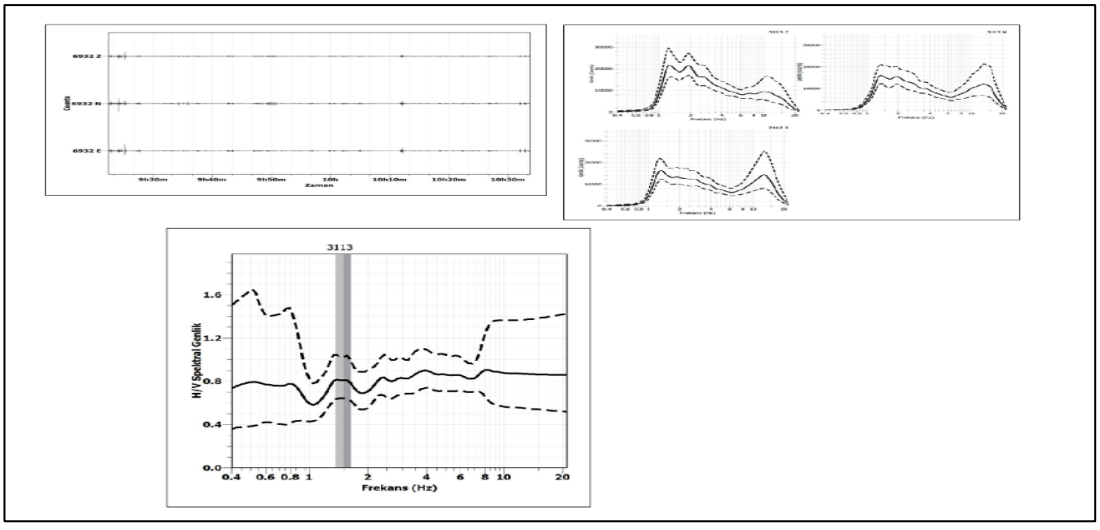
C.30. 1507 kodlu Mikrotremor sonuçları



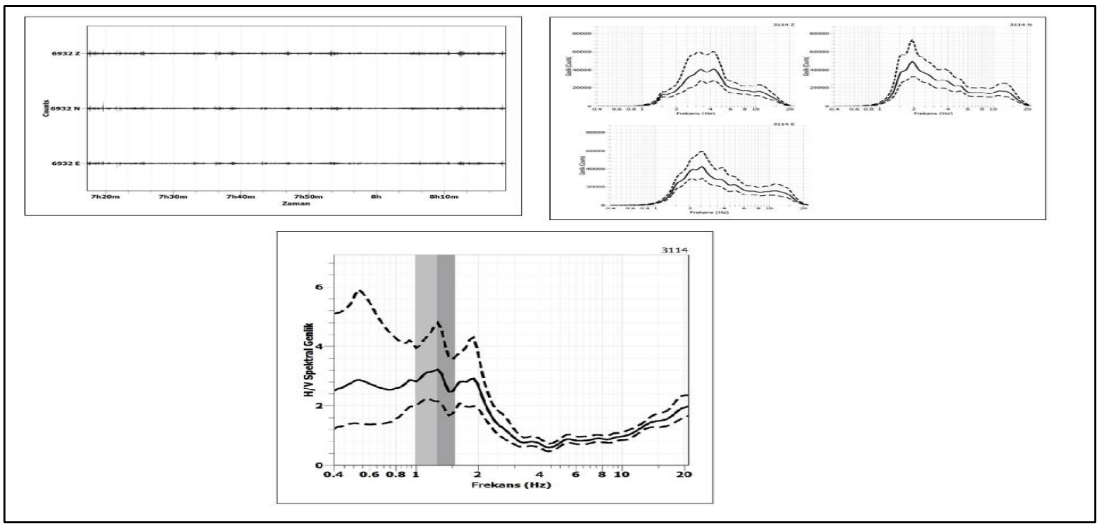
C.31. 1508 kodlu Mikrotremor sonuçları



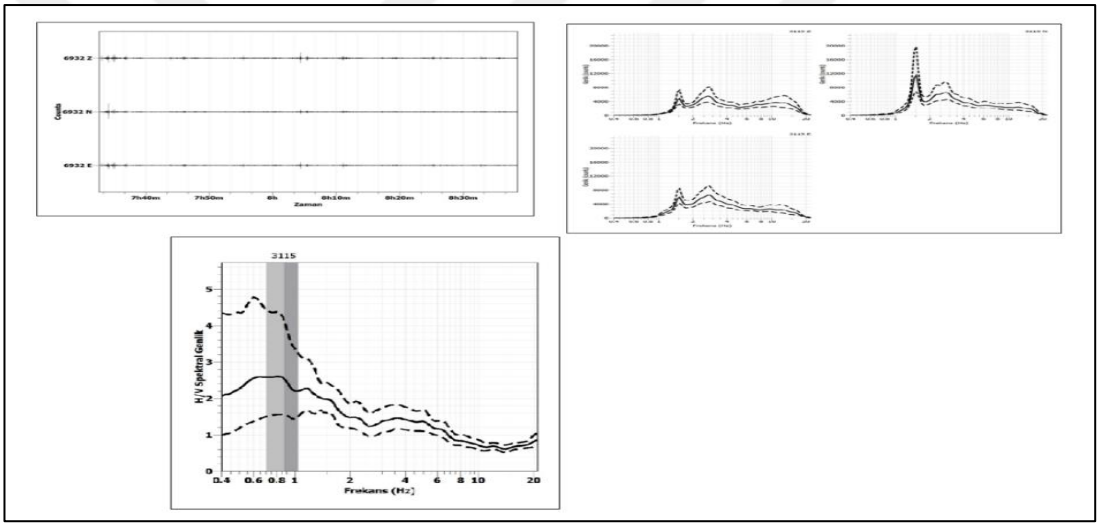
C.32. 3112 kodlu Mikrotremor sonuçları



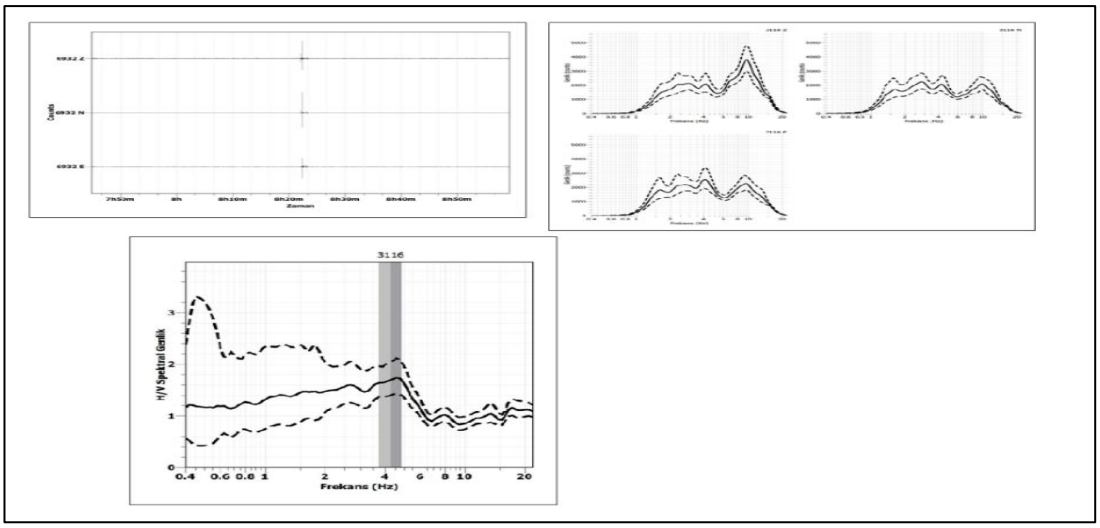
C.33. 3113 kodlu Mikrotremor sonuçları



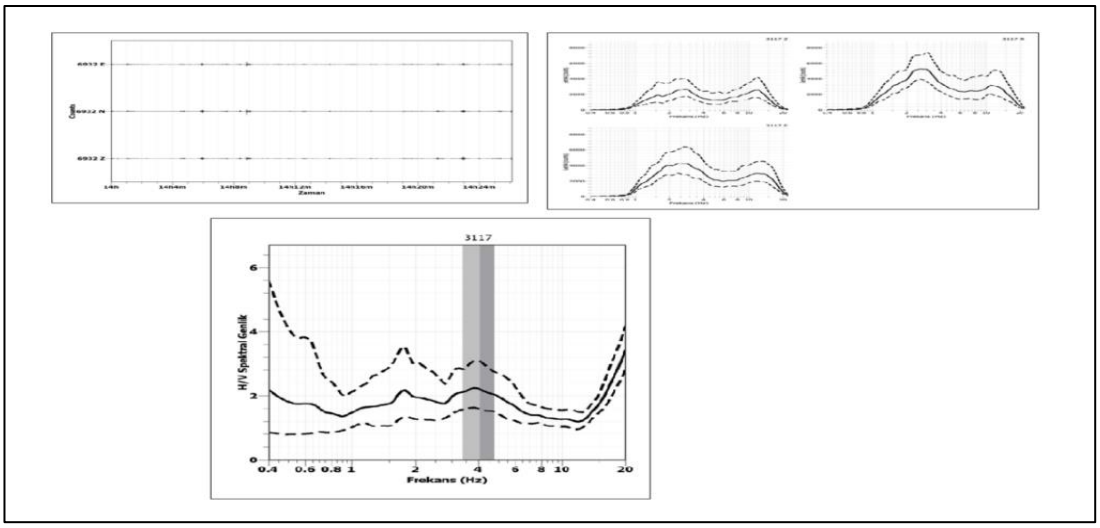
C.34. 3114 kodlu Mikrotremor sonuçları



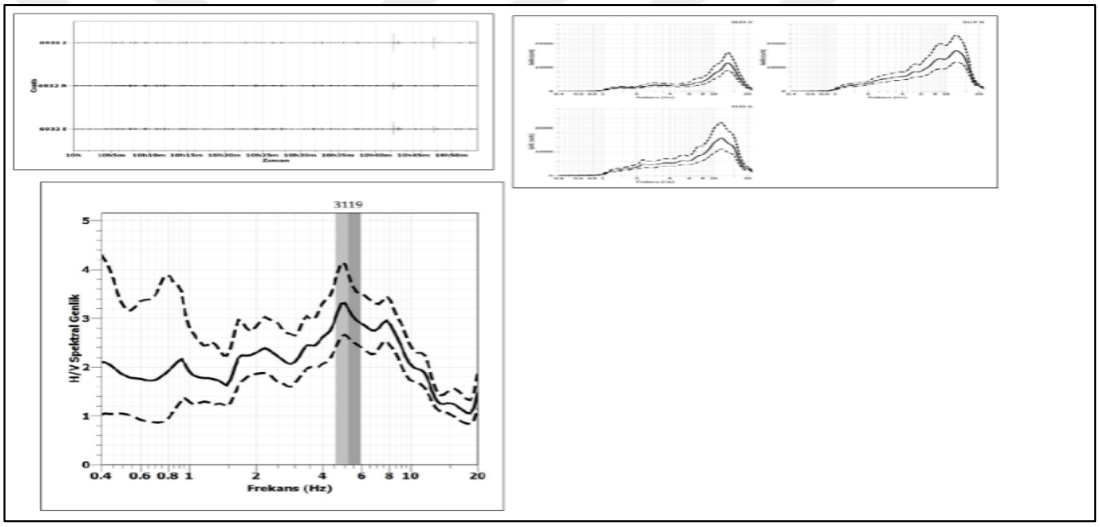
C.35. 3115 kodlu Mikrotremor sonuçları



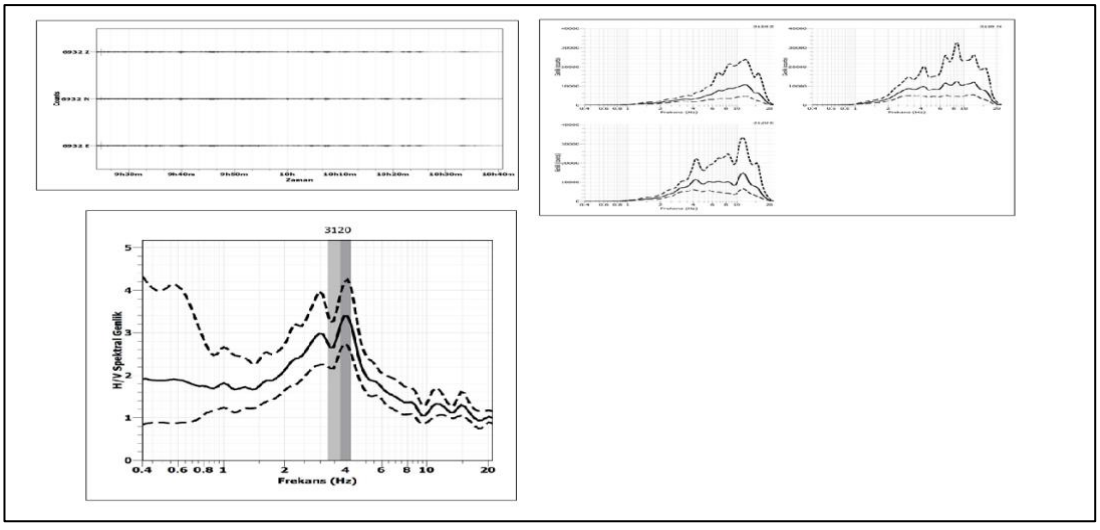
C.36. 3116 kodlu Mikrotremor sonuçları



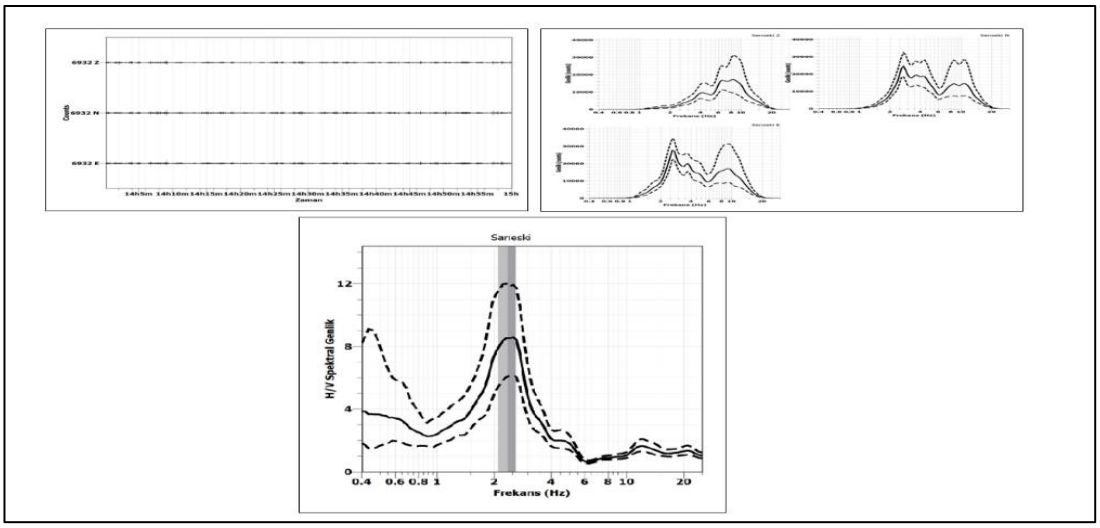
C.37. 3117 kodlu Mikrotremor sonuçları



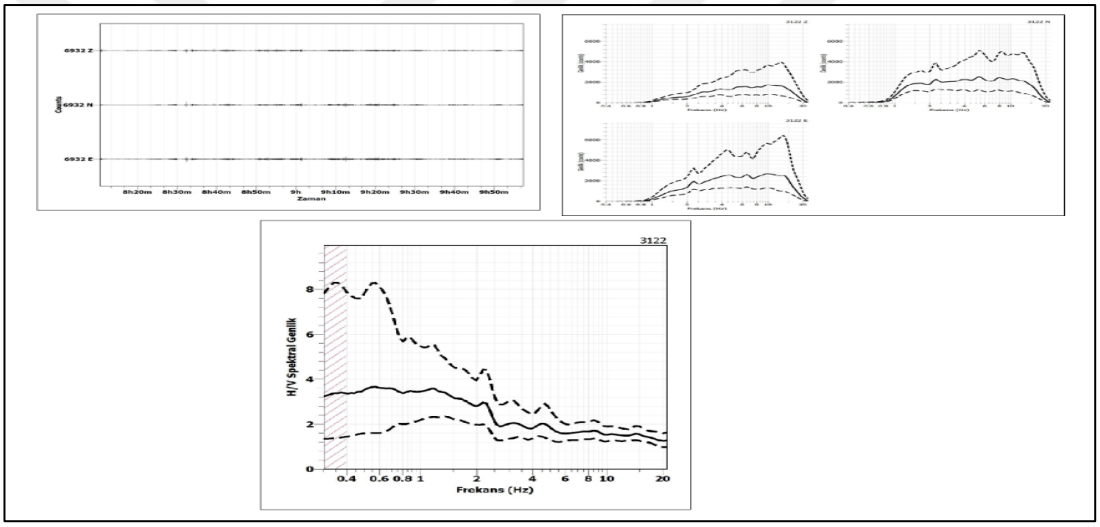
C.38. 3119 kodlu Mikrotremor sonuçları



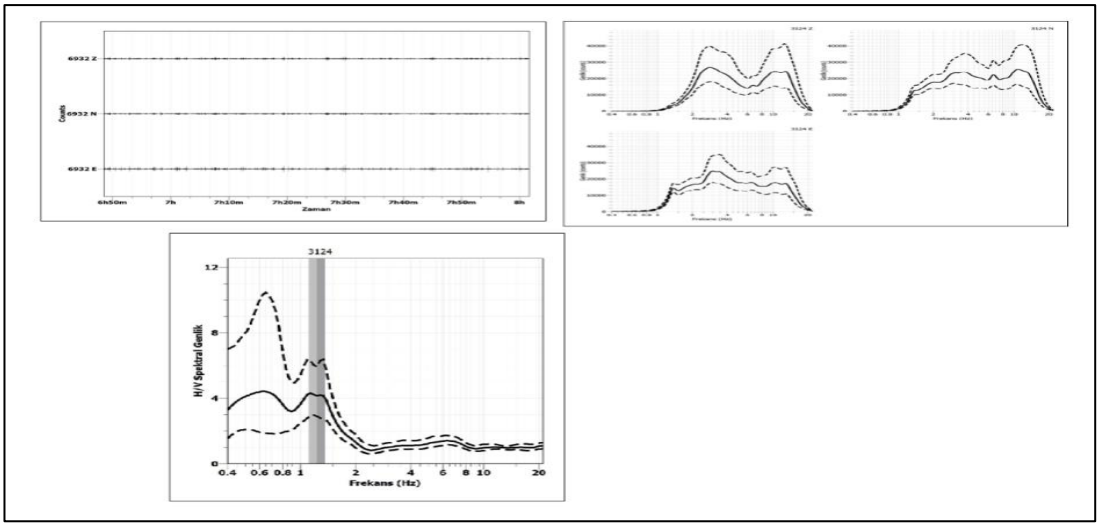
C.39. 3120 kodlu Mikrotremor sonuçları



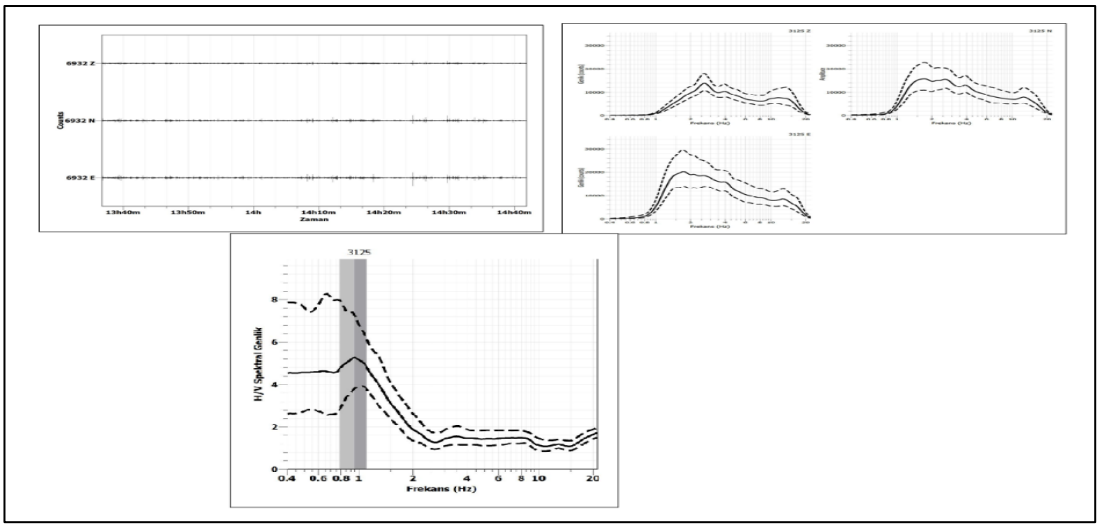
C.40. 3121 kodlu Mikrotremor sonuçları



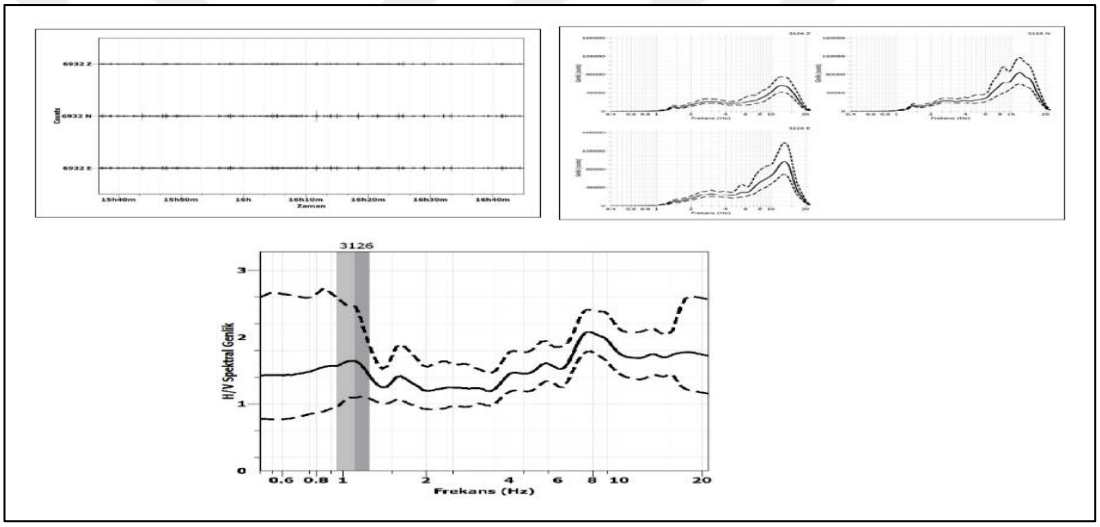
C.41. 3122 kodlu Mikrotremor sonuçları



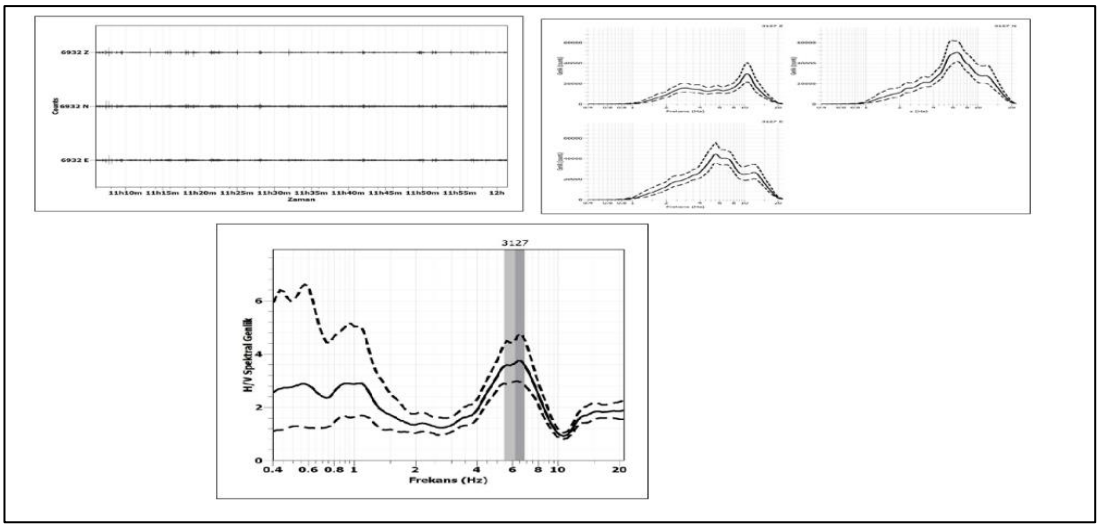
C.42. 3124 kodlu Mikrotremor sonuçları



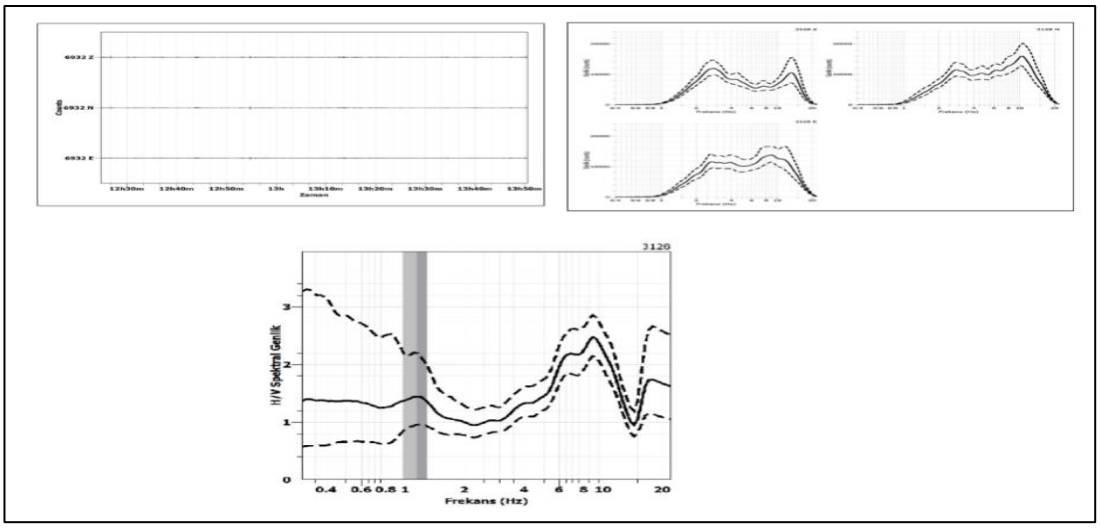
C.43. 3125 kodlu Mikrotremor sonuçları



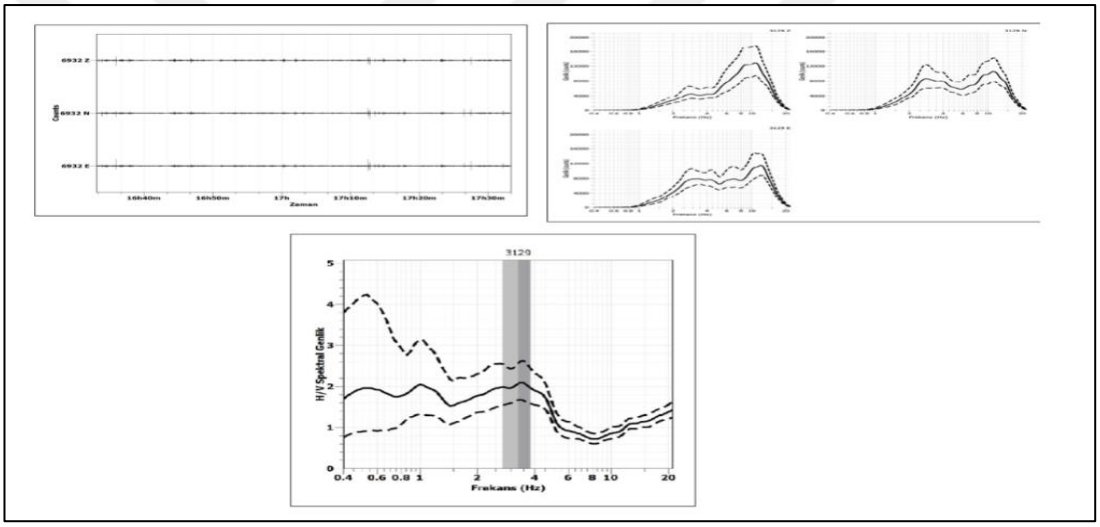
C.44. 3126 kodlu Mikrotremor sonuçları



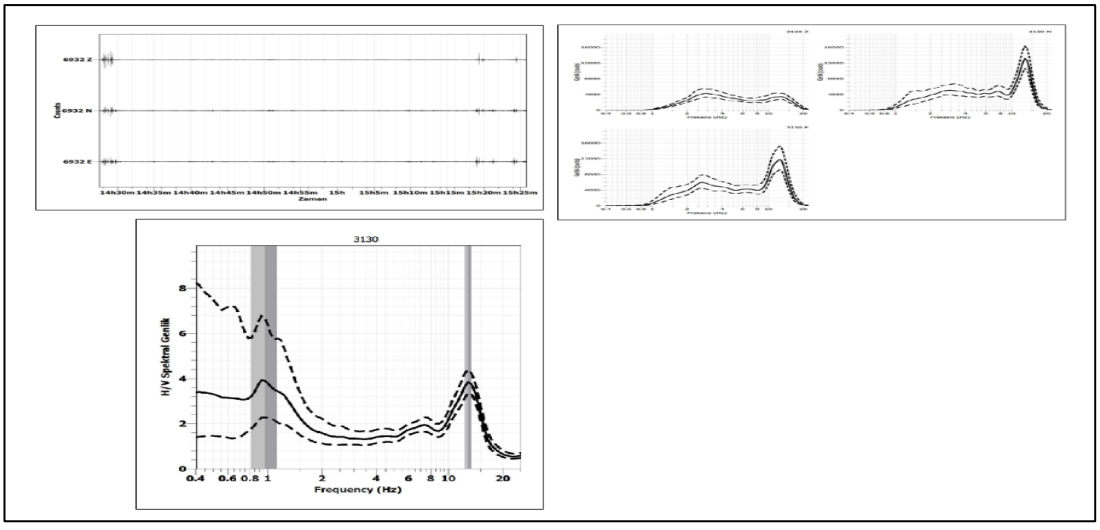
C.45. 3127 kodlu Mikrotremor sonuçları



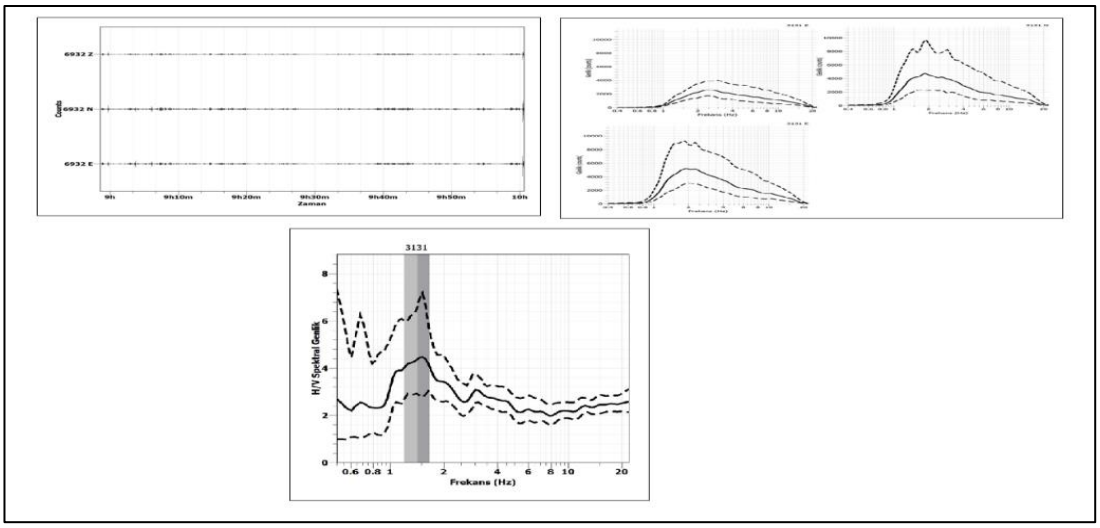
C.46. 3128 kodlu Mikrotremor sonuçları



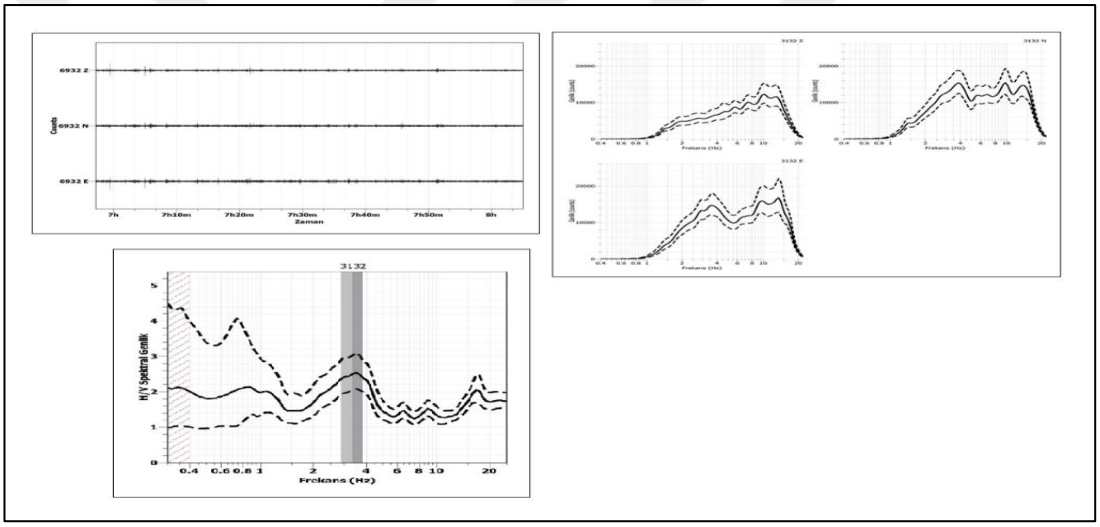
C.47. 3129 kodlu Mikrotremor sonuçları



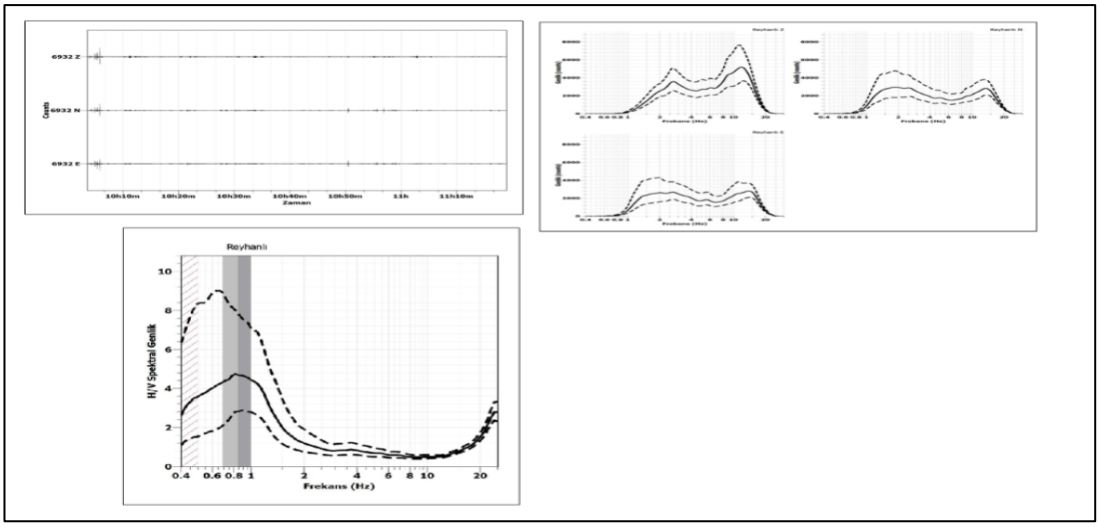
C.48. 3130 kodlu Mikrotremor sonuçları



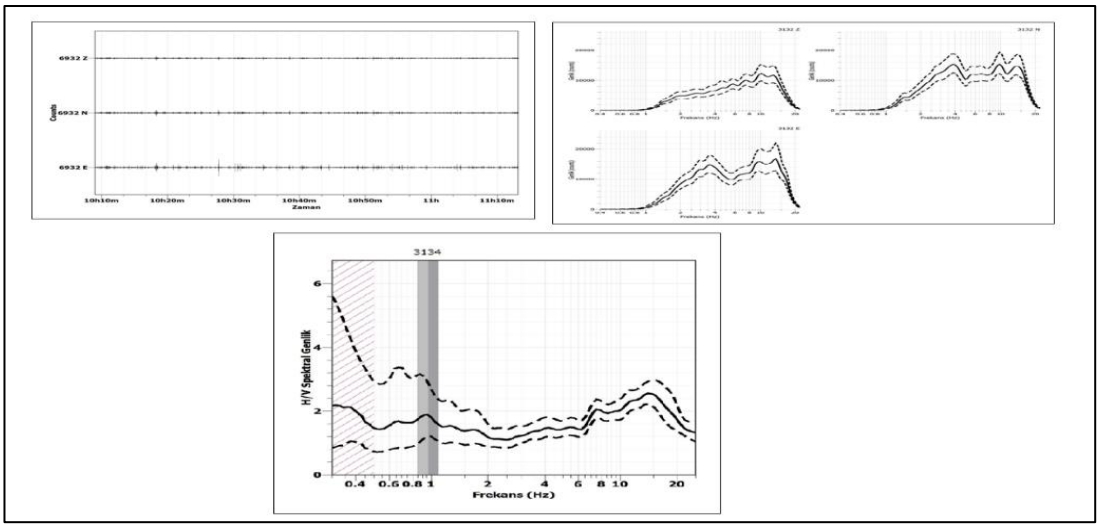
C.49. 3131 kodlu Mikrotremor sonuçları



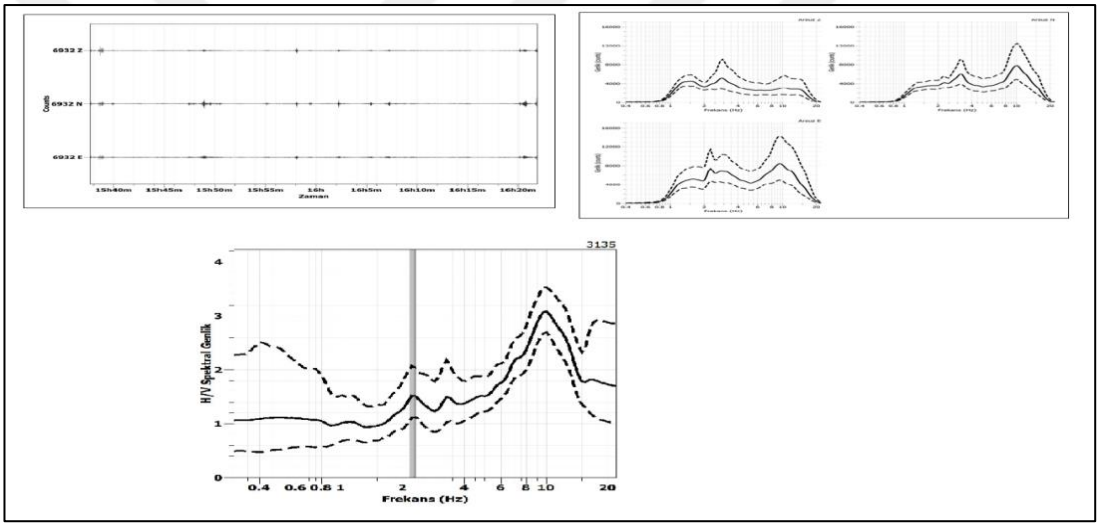
C.50. 3132 kodlu Mikrotremor sonuçları



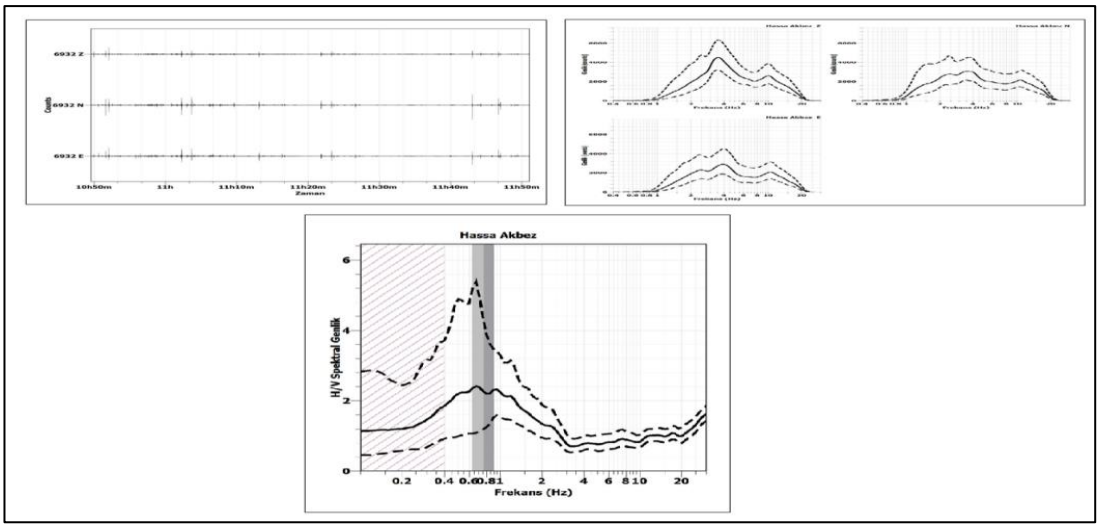
C.51. 3133 kodlu Mikrotremor sonuçları



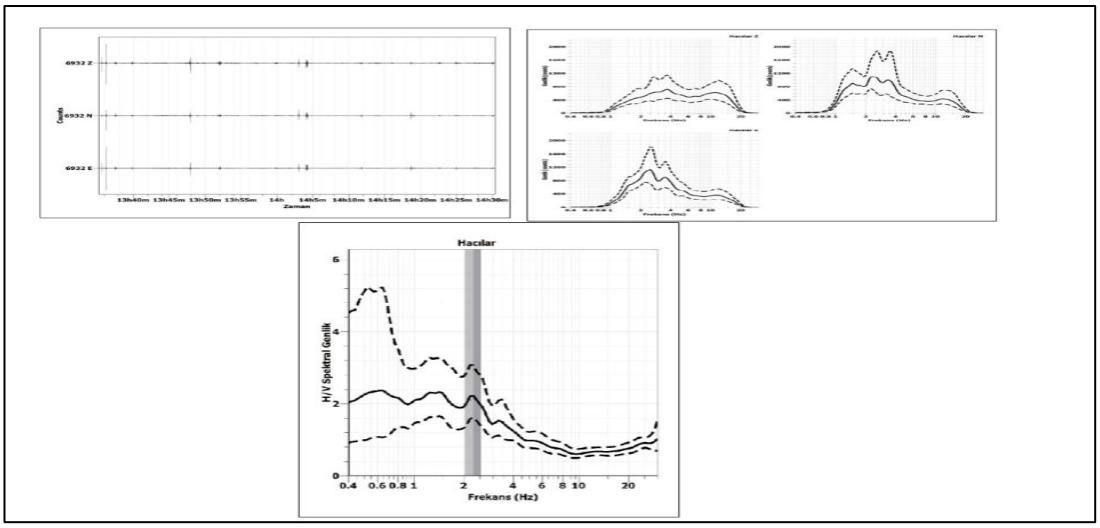
C.52. 3134 kodlu Mikrotremor sonuçları



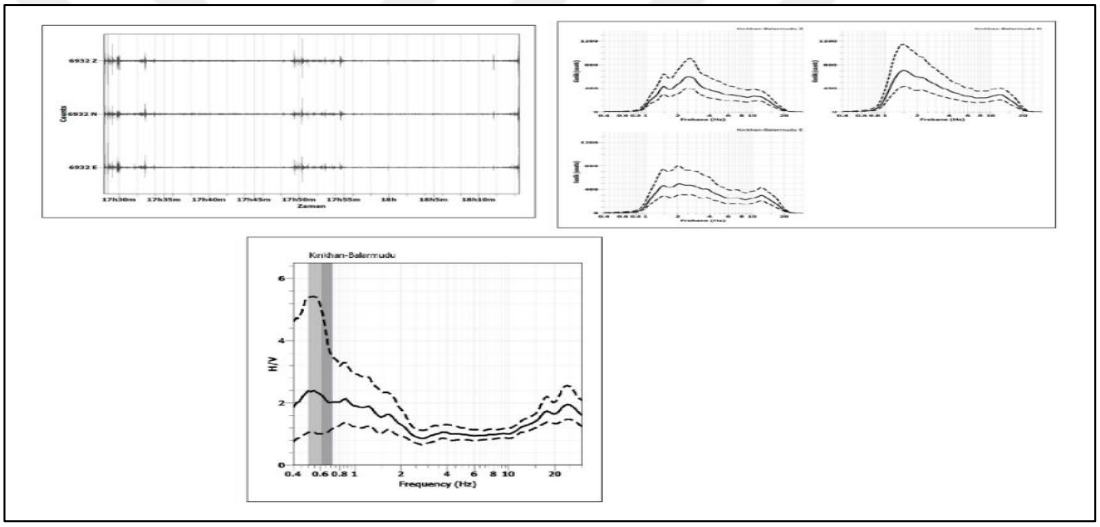
C.53. 3135 kodlu Mikrotremor sonuçları



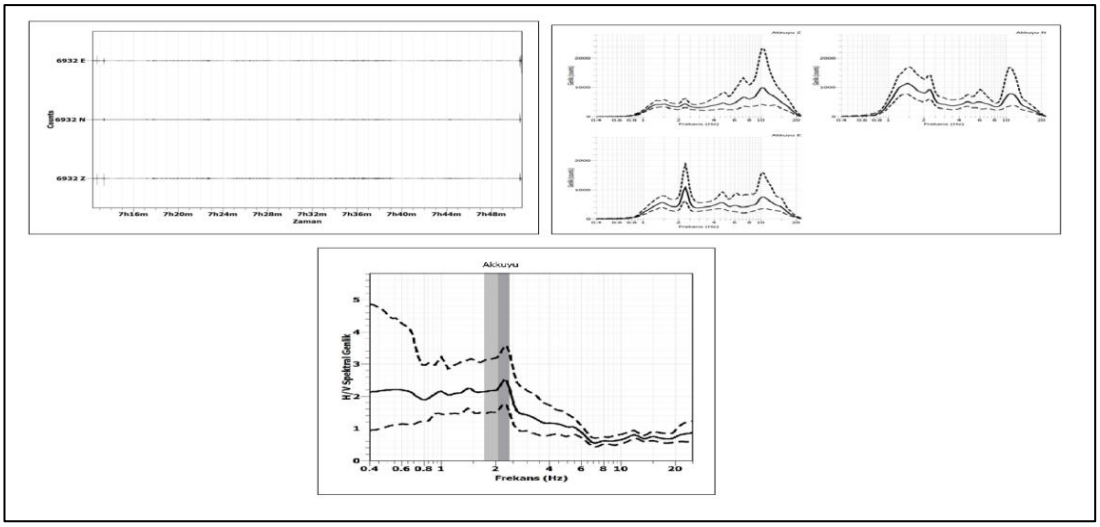
C.54. 3143 kodlu Mikrotremor sonuçları



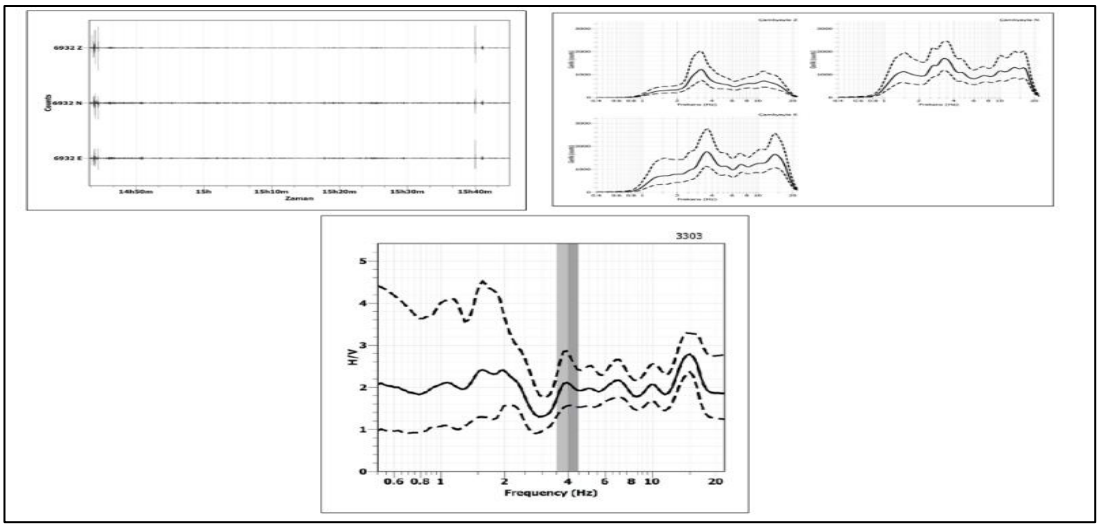
C.55. 3144 kodlu Mikrotremor sonuçları



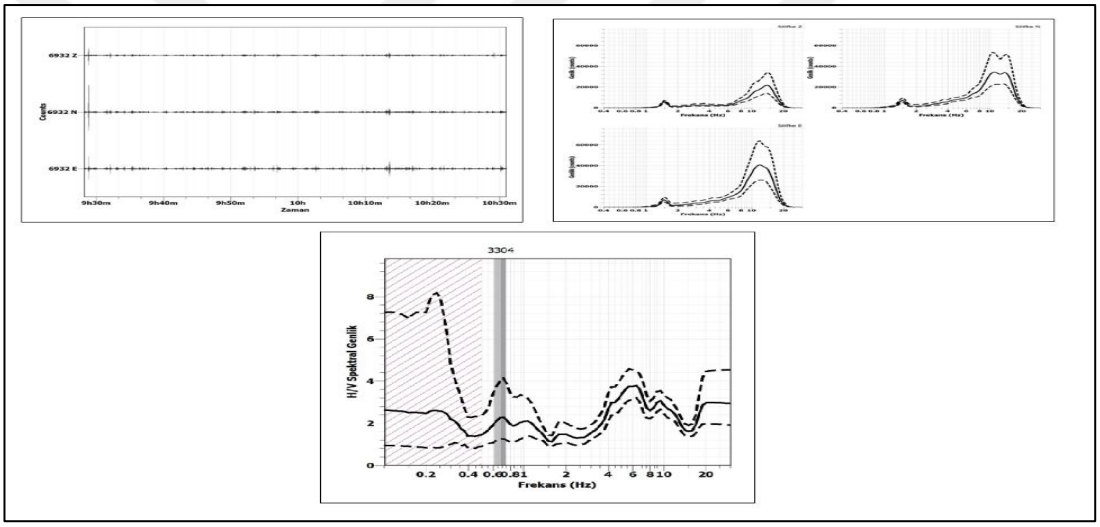
C.56. 3145 kodlu Mikrotremor sonuçları



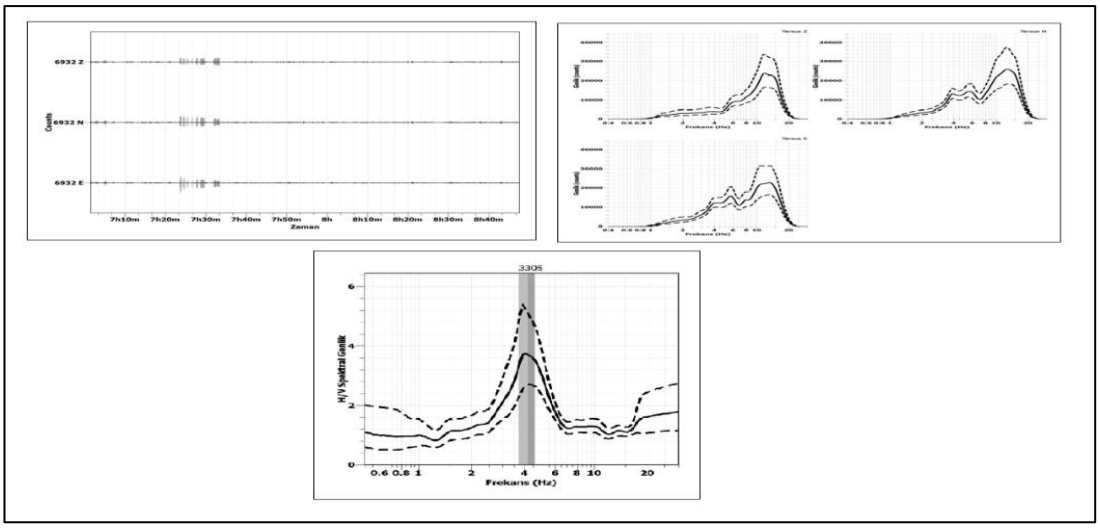
C.57. 3302 kodlu Mikrotremor sonuçları



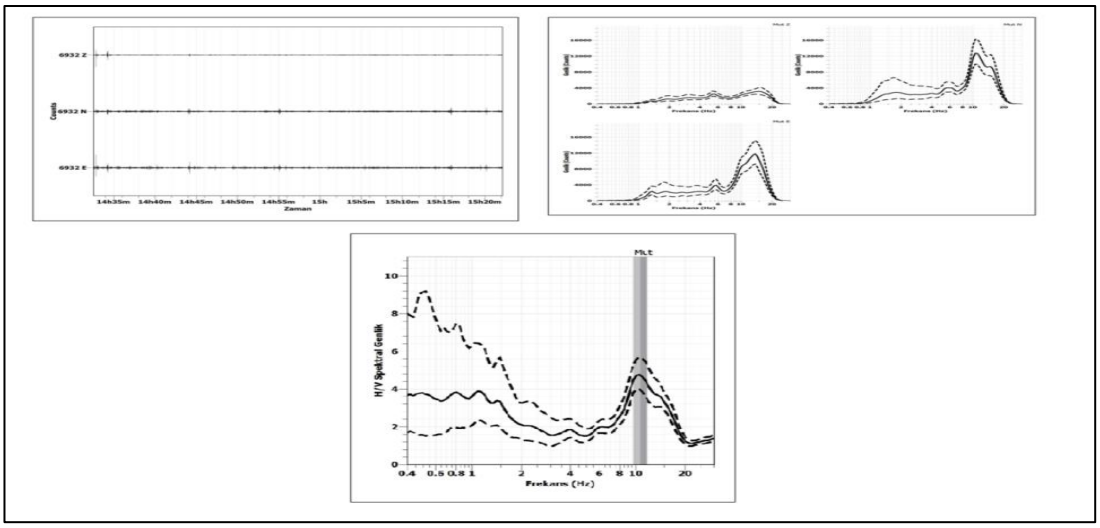
C.58. 3303 kodlu Mikrotremor sonuçları



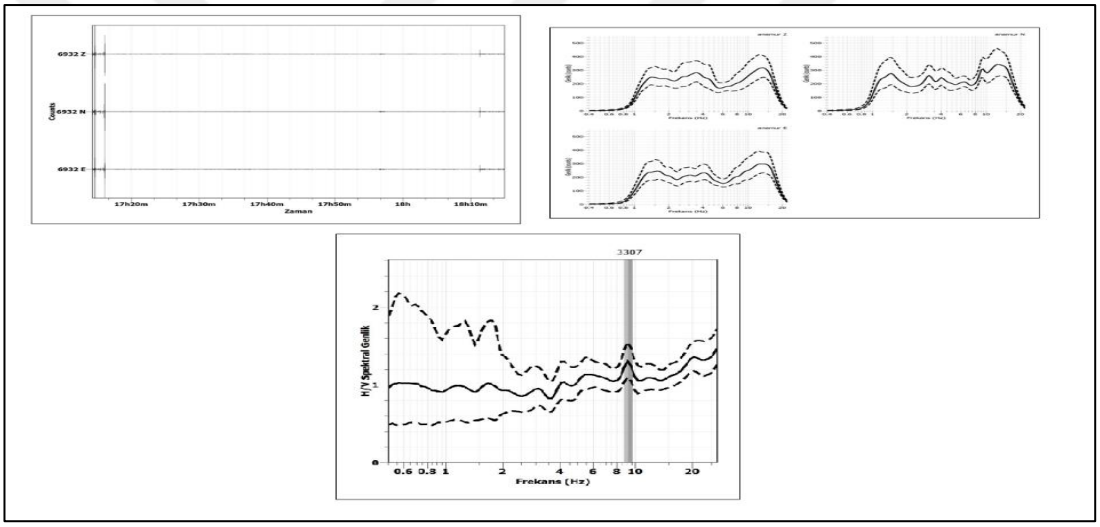
C.59. 3304 kodlu Mikrotremor sonuçları



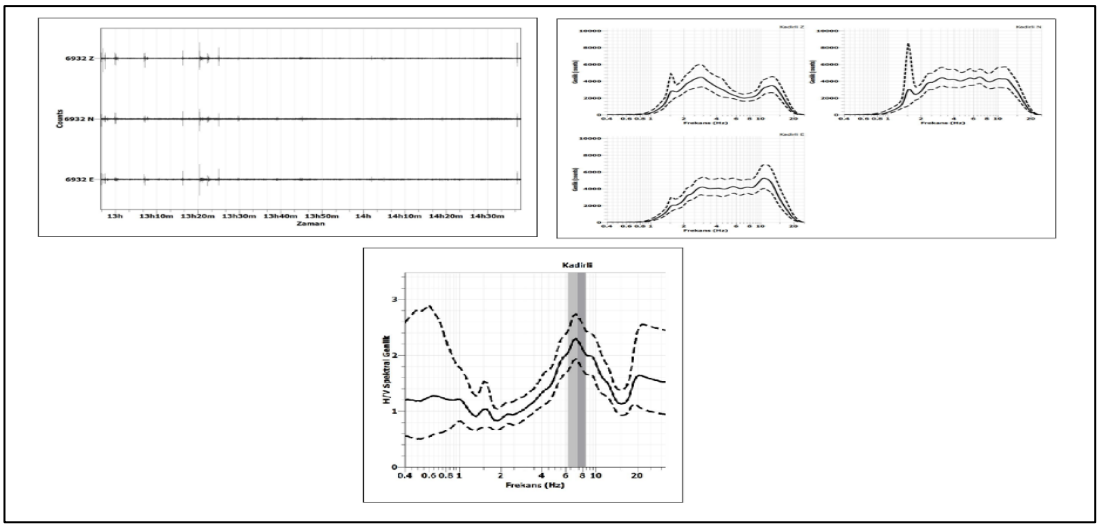
C.60. 3305 kodlu Mikrotremor sonuçları



C.61. 3306 kodlu Mikrotremor sonuçları



C.62. 3307 kodlu Mikrotremor sonuçları



C.63. 8004 kodlu Mikrotremor sonuçları

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

[1] Kurtuluş, C., Sertçelik F., Livaoğlu H., Setçelik İ., **İblikçi S**.,Investigation of Site Characterization in Akdeniz Region by Using Seismic Refraction and Surface Wave methods. Socienty of Engineering & Technology, Computer, Basic & Applied Sciences ECBA Phuket Thaliand December 05-06, 2018.

ÖZGEÇMİŞ

Sena İBLİKCİ, 1993 yılında Yozgat'ta doğdu. İlk ve orta öğrenimini Çorlu Cumhuriyet İlköğretim Okulunda, lise öğrenimini Erzurum Nene Hatun Lisesinde tamamladı. Lisans eğitimini 2012 yılında Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeofizik Mühendisliği Bölümünden 2016 yılında mezun oldu. 2016 yılında Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalında Prof. Dr. Cengiz KURTULUŞ danışmanlığında, yüksek lisans eğitimine başladı.