

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MARMARA BÖLGESİ GENİŞ BANT MİKRO-DEPREM
KAYITLARINDAN (TÜRDEP) KAYNAK
PARAMETRELERİNİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Jeof. Müh. Züner PABUÇCU**

Anabilim Dalı : JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ

Programı : JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ

OCAK 2008

**MARMARA BÖLGESİ GENİŞ BANT MİKRO-DEPREM
KAYITLARINDAN (TÜRDEP) KAYNAK
PARAMETRELERİNİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Jeof. Müh. Züner PABUÇCU
505031407**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 19 Aralık 2007
Tezin Savunulduğu Tarih : 30 Ocak 2008**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Haluk EYİDOĞAN
Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Aysun GÜNEY (İ.T.Ü.)
Prof.Dr. Okan TÜYSÜZ (İ.T.Ü.)**

OCAK 2008

ÖNSÖZ

Bu çalışmada, TÜBİTAK, MAM, Yer ve Deniz Bilimleri Enstitüsü'nün yöneticiliğini yaptığı TÜRDEP (Türkiye'nin Deprem Riski Yüksek Jeo-Stratejik 'ancak tektonik rejimleri farklı' Bölgelerinde Deprem Davranışının Çok Disiplinli Yaklaşımlarla Araştırılması Projesi) kapsamında Marmara Bölgesi'ne yerleştirilmiş ve İTÜ Jeofizik Mühendisliği Bölümü'ne gerçek zamanlı (online) aktarılan 3B sayısal 8 deprem istasyonu tarafından kaydedilen depremlerin kaynak parametrelerinin bulunmasına çalışılmıştır.

Tez konusunu bana öneren ve çalışmanın her aşamasında yardımlarını ve desteğini esirgemeyen danışman hocam Prof. Dr. Haluk EYİDOĞAN'a en içten dileklerle teşekkür ederim.

Çalışmalarım sırasında her vesile ile bilgi ve önerilerini aktaran hocam Doç. Dr. Argun KOCAOĞLU'na çok teşekkür ederim. Tez çalışmam boyunca bana yardımcı ve destek olan Jeof. Müh. Veli GEÇGEL'e teşekkür ederim.

TÜRDEP projesi kapsamında Marmara Bölgesi'ne yerleştirilen 8 istasyona ait kayıtları kullanmama izin veren, bu konuda çalışmamı sağlayan TÜBİTAK, MAM, Yer ve Deniz Bilimleri Enstitüsü Müdürü Doç. Dr. Sedat İnan'a, Müdür Yardımcısı Doç. Dr. Semih Ergintav'a ve tüm enstitü çalışanlarına teşekkürü bir borç bilirim.

Tüm öğrenim hayatım boyunca beni destekleyen aileme çok teşekkür ederim.

OCAK, 2008

ZÜMER PABUÇCU

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	v
TABLO LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
SEMBOL LİSTESİ	ix
ÖZET	x
SUMMARY	xi
1. GİRİŞ	1
2. MARMARA BÖLGESİNİN GÜNCEL TEKTONİĞİ VE DEPREMSELLİĞİ	4
3. TÜRDEP PROJESİNİN TANITIMI	7
4. DEPREM KAYNAK PARAMETRELERİ	10
4.1. Kinematik Kaynak Parametreleri	10
4.2. Dinamik Kaynak Parametreleri	10
4.3. Kuramsal Kaynak Modelleri	11
4.3.1. Haskell Kaynak Modeli	11
4.3.2. Aki Kaynak Modeli	13
4.3.3. Brune Kaynak Modeli	14
4.4. Kaynak Parametrelerinin Hesaplanması	15
4.4.1. Sismik Moment	16
4.4.2. Kaynak Yarıçapı	17
4.4.3. Gerilme Düşümü	18
4.4.4. Sismik Dalga Enerjisi	18
5. VERİ TOPLAMA VE İŞLEME	19
5.1. İncelenen Depremlerin Seçimi ve Kayıt Özellikleri	23
5.2. İncelenen Depremlerin Spektrumları ve Uygulanan Veri-İşlem Teknikleri	26
5.3. Depremlerin Kaynak Parametreleri Arasındaki İlişkiler	38
5.3.1. Magnitüd-Sismik Moment İlişkisi	38
5.3.2. Köşe Frekansı-Sismik Moment İlişkisi	39
5.3.3. Magnitüd-Gerilme Düşümü İlişkisi	41
5.3.4. Magnitüd-Kaynak Yarıçapı İlişkisi	43
5.3.5. Magnitüd-Köşe Frekansı İlişkisi	44
5.3.6. Magnitüd-Sismik Enerji İlişkisi	46

6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	47
KAYNAKLAR	51
EKLER	53
Ek.A. Çalışmada Kullanılan Depremlere Ait Yerdeğiştirme Spektrumları	53
ÖZGEÇMİŞ	94

KISALTMALAR

TÜRDEP	: Türkiye'nin Deprem Riski Yüksek Jeo-Stratejik 'ancak tektonik rejimleri farklı' Bölgelerinde Deprem Davranışının Çok Disiplinli Yaklaşımlarla Araştırılması Projesi
TÜBİTAK	: Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu
MAM	: Marmara Araştırma Merkezi
KRDAE	: Kandilli Rasathanesi Deprem Araştırma Enstitüsü
YDBE	: Yer ve Deniz Bilimleri Enstitüsü
ALT	: Altınşehir deprem istasyonu
BUY	: Büyükada deprem istasyonu
CAN	: Çan deprem istasyonu
KLC	: Kılıç deprem istasyonu
KMR	: Kemer deprem istasyonu
NEV	: Nevruz deprem istasyonu
TRY	: Troy deprem istasyonu
CMH	: Cumhuriyet deprem istasyonu
SAC	: Seismic Analysis Code
İTÜ	: İstanbul Teknik Üniversitesi
MS	: Milattan Sonra
KG	: Kuzey-Güney
DB	: Doğu-Batı
FFT	: Hızlı Fourier Dönüşümü
PQL	: PASSCAL Quick Look
KAF	: Kuzey Anadolu Fayı

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 5.1 İTÜ proje ekibinin izlediği ve verilerini değerlendirdiği deprem istasyonlarının bilgileri.....	20
Tablo 5.2 Çalışmada kullanılan depremlerin yer, oluş zamanı ve büyüklük bilgileri.....	25
Tablo 5.3 P dalgası yerdeğiştirme spektrumlarından elde edilen deprem kaynak parametreleri.....	33
Tablo 5.4 S dalgası yerdeğiştirme spektrumlarından elde edilen deprem kaynak parametreleri.....	36

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1 : Marmara Bölgesinin Depremsellik Haritası (KRDAE).....	4
Şekil 2.2 : Marmara Bölgesi'nde meydana gelen tarihsel depremler (Atakan ve diğ., 2002).....	5
Şekil 2.3 : Armijo ve diğ. (2002)'ne göre Marmara denizi ve çevresinin topografik, batimetrik ve aktif fay özellikleri.....	6
Şekil 3.1 : TÜRDEP'in deprem riski yüksek araştırma alanları (TÜBİTAK, MAM, YDBE).....	7
Şekil 3.2 : Çalışmada kullanılan deprem istasyonları.....	9
Şekil 4.1 : P(x,y) noktasındaki istasyon ile kaynak arasındaki geometri (Kasahara, 1981).....	12
Şekil 4.2 : Yayınım etkileri giderilmiş P ve S dalgalarının, Brune kaynak modeline göre hesaplanmış kuramsal spektrumları.....	16
Şekil 5.1 : Marmara Bölgesine yerleştirilmiş Güralp marka 8 istasyon.....	19
Şekil 5.2 : Güralp – 3ESPCD ve T3L52 Model Sismometreler.....	21
Şekil 5.3 : Geniş Bantlı Sismometrenin Kurulduğu İstasyonun Şematik Görünümü.....	21
Şekil 5.4 : BUY deprem istasyonu.....	22
Şekil 5.5 : CMH deprem istasyonu.....	22
Şekil 5.6 : KMR deprem istasyonu.....	22
Şekil 5.7 : ALT deprem istasyonu.....	22
Şekil 5.8 : NEV deprem istasyonu.....	22
Şekil 5.9 : Çalışmada kullanılan depremlerin lokasyonları.....	24
Şekil 5.10 : Arazi kaydından, yerdeğiştirme spektrumu elde edilene kadar uygulanan veri-işlem teknikleri.....	27
Şekil 5.11 : 20.10.2006, M=5.0, Kuş Gölü deprem dalgalarının PQL ekranında görüntüsü.....	28
Şekil 5.12 : 20 Ekim 2006 M=5.0 Kuş Gölü depremi P dalgası hız ve yerdeğiştirme kaydı.....	29
Şekil 5.13 : 20 Ekim 2006 M=5.0 Kuş Gölü depremi S dalgası hız ve yerdeğiştirme kaydı.....	29
Şekil 5.14 : Veri-işlem aşamalarından sonra SAC programında hızlı fourier dönüşümü (FFT) uygulanarak elde edilmiş yerdeğiştirme spektrumu...	30
Şekil 5.15 : 20.10.2006 18:15, M=5.0, P Dalgası Yerdeğiştirme Spektrumu..	32
Şekil 5.16 : 20.10.2006 18:15, M=5.0, P Dalgası Yerdeğiştirme Spektrumu...	32
Şekil 5.17 : 20.10.2006, 18:15, M _d =5.0 depremi, P dalgası yerdeğiştirme spektrumlarında; Önce soğurulma etkisi giderilip, daha sonra ortalaması alınan yerdeğiştirme spektrumu (mavi); Önce ortalaması alınmış, daha sonra soğurulma etkisi giderilmiş yerdeğiştirme spektrumu (kırmızı).....	35

Şekil 5.18 : P dalgası yerdeğiştirme spektrumlarından hesaplanan sismik moment ve süre magnitüd ilişkisi.....	38
Şekil 5.19 : S dalgası yerdeğiştirme spektrumlarından hesaplanan sismik moment ve süre magnitüd ilişkisi.....	39
Şekil 5.20 : P dalgası yerdeğiştirme spektrumlarından hesaplanan köşe frekansı ve sismik moment ilişkisi.....	40
Şekil 5.21 : S dalgası yerdeğiştirme spektrumlarından hesaplanan köşe frekansı ve sismik moment ilişkisi.....	41
Şekil 5.22 : Süre magnitüd ve P dalgası spektrumlarından elde edilmiş gerilme düşümü ilişkisi.....	42
Şekil 5.23 : Süre magnitüd ve P dalgası spektrumlarından elde edilmiş gerilme düşümü ilişkisi.....	42
Şekil 5.24 : Süre magnitüd ve P dalgası spektrumlarından elde edilmiş kaynak yarıçapı ilişkisi.....	43
Şekil 5.25 : Süre magnitüd ve S dalgası spektrumlarından elde edilmiş kaynak yarıçapı ilişkisi.....	44
Şekil 5.26 : Süre magnitüd ve P dalgası spektrumlarından okunan köşe frekansı ilişkisi.....	45
Şekil 5.27 : Süre magnitüd ve S dalgası spektrumlarından okunan köşe frekansı ilişkisi.....	45
Şekil 5.28 : Süre magnitüd ve S dalgası spektrumlarından hesaplanan sismik enerji ilişkisi.....	46

SEMBOL LİSTESİ

f_0	: Köşe Frekansı
Ω_0	: Düşük Frekans Seviyesi
M_0	: Sismik Moment
E_s	: Sismik Enerji
$\Delta\sigma$	: Gerilme Düşümü
r	: Kaynak Yarıçapı
ω	: Açısal Frekans
μ	: Katılık Sabiti
k	: Serbest Yüzey Düzeltmesi
α	: P Dalga Hızı
β	: S Dalga Hızı
ε	: Gerilme Düşümü Kesiri
γ	: Spektral Eğim
M_d	: Süre Magnitüd
M_L	: Lokal Magnitüd
Q_0	: Kalite Faktörü
ρ	: Yoğunluk
τ	: Zaman Sabiti
σ	: Etkin Gerilme

MARMARA BÖLGESİ GENİŞ BANT MİKRO-DEPREM KAYITLARINDAN (TÜRDEP) KAYNAK PARAMETRELERİNİN İNCELENMESİ

ÖZET

Bu çalışmada, TÜBİTAK, Marmara Araştırma Merkezi, Yer ve Deniz Bilimleri Enstitüsü'nün yönettiği TÜRDEP Projesi (Türkiye'nin Deprem Riski Yüksek Jeo-Stratejik 'ancak tektonik rejimleri farklı' Bölgelerinde Deprem Davranışının Çok Disiplinli Yaklaşımlarla Araştırılması Projesi) kapsamında Marmara Bölgesi'nde kurulan 8 adet 3D geniş band sismografa ait sayısal kayıtlar kullanılarak, Ekim 2006- Şubat 2007 tarihleri arasında yerleri bulunan 510 adet depremden seçilen 41 deprem için spektral ortamda kaynak parametreleri hesaplanmıştır. Kaynak parametrelerinin hesaplanması için literatürde tartışılan spektral modellerden Brune Kaynak Modeli bu çalışmada esas alınmıştır.

Kaynak parametrelerinin belirlenmesi için seçilen hız kayıtlarının önce yatay bileşenleri geri azimut kullanılarak, radyal (SV) ve transvers (SH) bileşenleri elde edilmiştir. Daha sonra depremin P ve S dalgası varış zamanlarından 1 sn öncesinden başlayarak 4-5 saniyelik paketler halinde pencereleme işlemi yapılmıştır. Bu veri üzerinden trend etkisi giderildikten sonra, %5 işleçli kosinüs çanı törpüsü uygulanmıştır. Sonraki aşamada soğurulma ve cihaz etkisi giderilerek yerdeğiştirme kaydı elde edilmiştir. Yerdeğiştirme verilerine Hızlı Fourier Dönüşümü uygulanarak yerdeğiştirme genlik spektrumları bulunmuştur. Bu spektrumlar üzerinden yüksek frekans azalımı, köşe frekansı ve düşük frekans seviyesi değerleri saptanarak kaynak parametreleri sismik moment (M_0), gerilme düşümü ($\Delta\sigma$), kaynak yarıçapı (r) ve sismik enerji (E_s) hesaplanmıştır. P ve S dalgaları kaynak spektrumlarından hesaplanan kaynak parametreleri arasında bağıntılar bulunmuş, daha önceki yayınlarda önerilen bağıntılarla karşılaştırmalar yaparak tartışılmıştır.

ANALYSIS OF SOURCE PARAMETERS FROM BROAD-BAND MICRO-EARTHQUAKE RECORDS (TURDEP) IN MARMARA REGION

SUMMARY

In this study, the seismic records of digital 3-D broad-band seismographs, deployed in Marmara Region, are examined in the project TURDEP (Multi-Disciplinary Earthquake Researches in High Regions of Turkey Representing Different Tectonic Regimes) directed by TUBITAK, Marmara Research Center, Earth and Marine Science Institute. The spectral source parameters are calculated using the records of 41 earthquakes which are sorted from 510 earthquakes that occurred in and around the Marmara Region between the time period of October 2006-February 2007.

The radial (SV) and transverse (SH) components are obtained by rotating to back azimuth using the two horizontal components of the recorded velocity records. The P and SH waves are windowed with 4 or 5 second intervals which are cut from 1 second earlier from first arrival time. Afterwards, the DC trends on the waveforms are removed from the windowed phases and filtered with %5 tapered cosine window. In the next step, the instrument and attenuation effects are corrected and displacement amplitude records are derived. Following that, the displacement amplitude spectrums are calculated by using Fast Fourier Transform to the derived P and SH displacement records. The corner frequency, high frequency decay rate, and the low frequency level values are determined from the amplitude spectrums. Seismic moment (M_0), stress drop ($\Delta\sigma$), source radius (r) and seismic wave energy (E_s) values are calculated using the estimated spectral parameters.

The equations obtained between the source parameters are calculated and discussed with the equations given in the past studies.

1. GİRİŞ

Sismolojinin önemli konularından biri, deprem kaynağından yayılan sismik dalgaların incelenerek, kaynağa yönelik fiziksel bazı parametrelerin ve deprem kaynağının zaman ve uzaydaki davranış şeklinin belirlenmesidir. Sismolojinin bir diğer önemli konusu da, deprem kaynağından çıkıp istasyona gelen sismik dalganın ilerlediği yolun ve kaynak etkisinin birbirinden ayrılmasıdır. Bu iki konu birbirine bağlı olarak ortaya çıkar.

Deprem kaynağı ile ilgili bilgi elde etmek için deprem kayıtlarının spektrumlarını incelemek konvansiyonel bir yöntemdir. Spektrumlar incelendiğinde köşe frekansı, spektral düzey ve $f_{\max}$ gibi parametrelerin depremin özelliğine göre değiştiği gözlenmiştir (Kasahara, 1957; Haskell 1964; Aki 1967; Brune 1970, 1971). Deprem kaynağını spektral ortamda ilk inceleyen bilimadamları Haskell (1964) ve Aki (1967)'dir. Aki, deprem kaynak spektrumunu fay düzlemi üzerindeki dislokasyonun (kayma) özilişkisi cinsinden Haskell Kaynak Modeli'ne dayanarak açıklamıştır. Brune (1970, 1971), S dalgası yerdeğiştirme spektrumlarından, kaynağın dinamik parametreleri olan kaynak yarıçapı, sismik moment ve gerilme düşümünün hesaplanacağı bir bağıntı elde etmiştir. Bu bağıntıya göre, düşük frekans seviyesi, köşe frekansı ve bir depreme ait cisim dalgası yerdeğiştirme spektrumlarından elde edilen spektral parametreler ile kaynağa ait parametreler hesaplanabilir. Brune (1970, 1971), faylanma boyunu ve fayın yırtılma hızının cisim dalgalarının spektrumlarından yararlanarak bulunabileceğini de ortaya çıkarmıştır.

Hanks ve Wyss (1972), Brune'nin Kaynak Modeli'ni gerçek verilere uygulamışlar ve arazi verileriyle karşılaştırarak uygun sonuçlar elde etmişlerdir. Hanks ve Thatcher (1972), kaynak parametrelerin bulunmasında, birbirinden bağımsız spektral parametrelerin etkili olduğunu göstermişlerdir.

Polat (1995), Bursa ve çevresindeki küçük depremlerin ivme kayıtlarından ivme ve yerdeğiştirme spektrumlarını hesaplamış, f_0 ve f_{max} parametrelerini incelemiş ve f_{max} parametresinin kaynak ile ilgili olduğu sonucuna varmıştır. SH bileşen spektrumlarında çeşitli Q_s değerleri için etkileri incelemiştir. Polat (1995), yerdeğiştirme verilerine gerek kalmadan ivme spektrumlarından köşe frekansının okunabileceği ve kaynak parametrelerinin hesaplanabileceğini gőstermiřtir.

Kaypak (1995), 13 Mart 1995 Erzincan depremi artsarsıntılarının kaynak parametrelerini incelemiştir. Kaynak parametrelerinin hesaplanmasında Brune (1970, 1971)'nin dairesel kaynak modelini esas almış ve sismogramlar üzerinde çeşitli spektral analizler yaparak yerdeğiştirme spektrumlarını elde etmiştir. Bu spektrumlar üzerinden köşe frekansı (f_0) ve düşük frekans seviyesi (Ω_0) değerlerini okumuş ve dinamik kaynak parametrelerinden sismik moment, kaynak yarıçapı ve gerilme düşümü değerlerini hesaplamış ve bunlar arasındaki ilişkileri incelemiştir.

Biçmen (1992), Marmara Bölgesi yerel depremlerinin kaynak parametrelerini spektral analiz yöntemlerinin yararlanarak, Brune kaynak modelini esas alarak incelemiştir. Yerdeğiştirme kayıtları üzerinden okuduğu spektral parametreler yardımı ile sismik moment, enerji, gerilme düşümü, sismik etkinlik, kaynak yarıçapı parametrelerini hesaplamış ve bu parametreler arasındaki ilişkileri incelemiştir.

Yalçınkaya ve Alptekin (2003), 1 Ekim 1995 Dinar depreminin artçı şoklarından seçilen büyüklükleri $2.5 \leq M_L \leq 4.1$ olan 53 depremin yerdeğiştirme spektrumlarından hesaplanan kaynak parametrelerini hesaplamıştır.

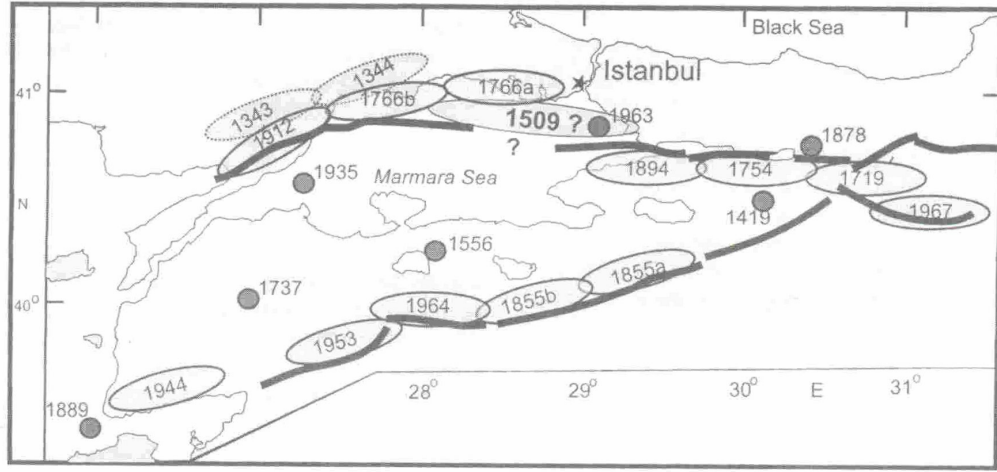
Archuleta ve diğ. (1982), 1980 Mammoth Lakes, California depremleri arasından seçilen büyüklükleri $3.9 \leq M_L \leq 5.1$ arasında değişen 150 depremin, lokasyonlarını bulmuş, mekanizma czmlerini yapmış ve spektral ortamda kaynak parametrelerini hesaplamıştır.

Bu alışmada TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi, Yer ve Deniz Bilimleri Enstitüsü'nün ‘‘Türkiye'nin Deprem Riski Yüksek Jeo-Stratejik ‘ancak tektonik rejimleri farklı’ Bölgelerinde Deprem Davranışının ok Disiplinli Yaklaşımlarla Araştırılması Projesi (TÜRDEP)’’ kapsamında Marmara Bölgesi'nde kurulan Güralp marka 8 sismometreye ait sayısal kayıtlar kullanılmış ve Ekim 2006-şubat 2007 tarihleri arasında meydana gelen 510 deprem arasından seçilmiş, $2.8 \leq M \leq 5.0$

magnitüdü 41 depremin kaynak parametreleri incelenmiştir. Çalışmada verilen büyüklükler süreye bağlı hesaplanmış büyüklüklerdir.

İnceleme alanı 39.371^0 - 40.856^0 Kuzey enlemleri ve 26.001^0 – 30.361^0 Doğu boylamları arasında kalan bölgedir.

büyük depremler rapor edilmiştir. 1509, 1719, 1766 Mayıs, 1766 Ağustos, 1894 ve 1912 yıllarındaki depremler kuzey Marmara'yı en çok etkileyen büyük depremler olarak kayda geçmiştir (Şekil 2.2). Günümüzde Kuzey Marmara'da depremsellik dağılımına baktığımızda depremlerin belirgin biçimde DB istikametinde sıralandığı görülmektedir. Bu sıralanma özellikle 17 Ağustos 1999 ve 12 Kasım 1999 depremlerinden sonra yapılan çok sayıdaki jeolojik ve jeofizik çalışmalarda bulunan ve KAF'ın İzmit Körfezi'nden itibaren batıya uzanan ve "Kuzey Marmara Fayı" adı verilen fayla ilişkili olduğu görülmüştür (Şekil 2.3).



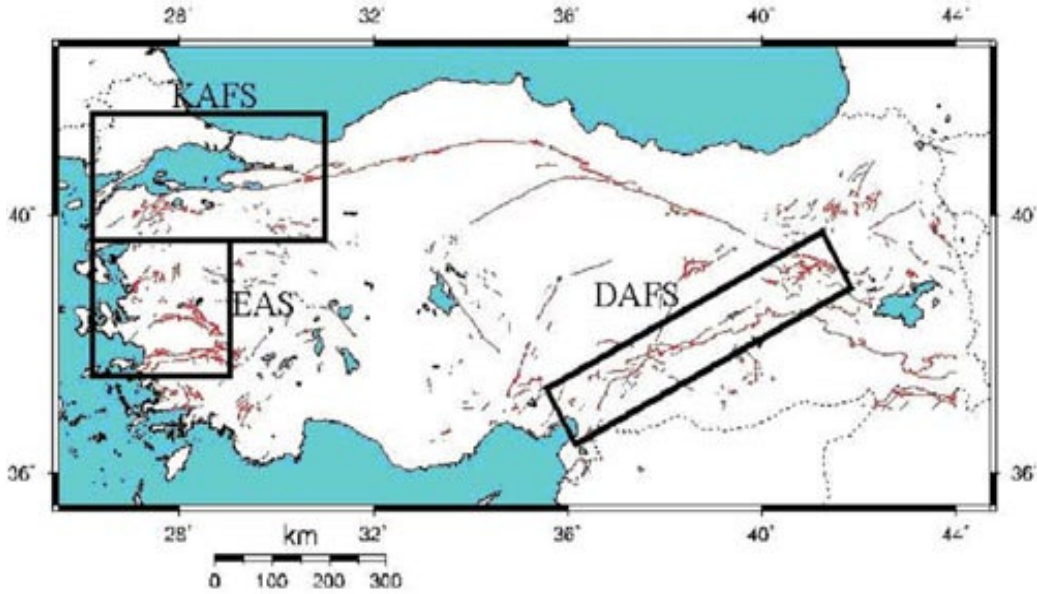
Şekil 2.2: Marmara Bölgesi'nde meydana gelen tarihsel depremler (Atakan ve diğ. (2002).

Şekil 2.3'te, 1912, 1963, 1953, 1957 ve 1967 depremlerinin oluşturan faylar turuncu renkte, 1999 depremlerini oluşturan faylar ise kırmızı renkte gösterilmiştir. Armijo ve diğ. (2002)'e göre, 1912 depremi fayı 28 derece boylamına kadar erişmektedir. Marmara Denizi içerisindeki koyu mavi renkli bölgeler kuzey Marmara çukurlarını gösterir.

3. TÜRDEP PROJESİNİN TANITIMI

Çalışmamızda TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi'nin "Türkiye'nin Deprem Riski Yüksek Jeo-Stratejik 'ancak tektonik rejimleri farklı' Bölgelerinde Deprem Davranışının Çok Disiplinli Yaklaşımlarla Araştırılması Projesi" (TÜRDEP) kapsamında Marmara Bölgesi'nde kurulan 8 istasyona ait sayısal partikül hızı kayıtları kullanılmıştır.

TÜRDEP, TÜBİTAK, Marmara Araştırma Merkezi (MAM), Yer ve Deniz Bilimleri Enstitüsü yürütücülüğünde 01.12.2005 tarihinde başlamış ve 31.12.2009 tarihinde bitmesi planlanan bir projedir. Bu proje kapsamında 14 üniversite ile işbirliği yapılmaktadır. Şekil 3.1'de TÜRDEP'in deprem riski yüksek üç ana bölge gösterilmiştir. Bu bölgeler şekilde dikdörtgen içine alınmıştır.



Şekil 3.1: TÜRDEP'in deprem riski yüksek araştırma alanları (TÜBİTAK, MAM, YDBE).

Bu projenin amacı, Marmara'da deprem araştırmaları konusunda yapılan sürekli gözlem çalışmalarının deniz tabanını da kapsayacak şekilde genişletilerek

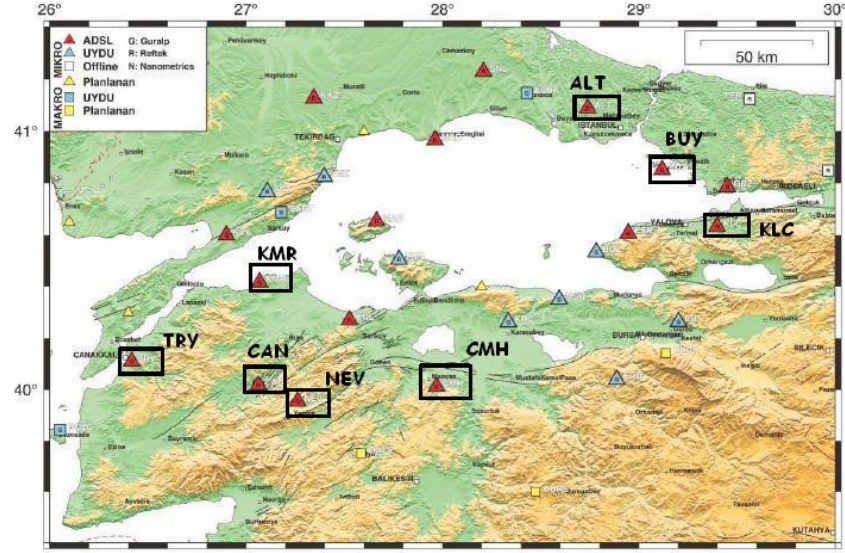
yoğunlaştırılması ve kritik bölgelerde yeni tekniklerin uygulanması yanı sıra, Marmara bölgesinde kazanılan deneyimin uygulayıcı kuruluş olan Bayındırlık Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü ve üniversitelerle işbirliği içinde ülke çapında deprem riski yüksek diğer alanlara aktarılmasıdır. Bu amaçla Türkiye’de var olan deprem araştırma geliştirme kapasitesini faaliyete geçirecek ve geliştirecek şekilde tasarlanan bu projede çok parametrelili gözlem ağı, Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFS) ve Ege Açılma Sistemi (EAS) üzerinde kurulacak ve entegre bir sistem içinde farklı tektonik rejimleri temsil eden bölgelerdeki deprem aktiviteleri gözlem altına alınacaktır. Bu üç bölgede oluşturulacak gözlem ağı üzerinde kesintisiz ve uzun dönem (yıllar boyunca) yapılacak gözlemlerin yorumlanması ve modellenmesi ile gerçekleştirilecek zaman bağımlı risk analizleri, büyük yatırımların planlaması ve beklenen olası deprem (veya depremler) öncesi yapılması gereken önlem alma ve planlama ile afet koordinasyonunun sağlanması gibi hayati önemi olan çalışmalara olanak sağlayacaktır.

Oluşturulan ölçüm ağı ve veri toplama süreçleri aşağıdaki parametreleri kapsamaktadır:

- 1- Karada Yüksek Duyarlı Sismolojik Gözlemler (makro ve mikro sismoloji) ve Denizde Deniz Tabanı Sismometreleri (DTS) ile Yüksek Duyarlı Sismolojik Gözlemler (mikro sismoloji)
- 2- Jeokimyasal (Radon gazı ve kaynak suyu) Gözlemler
- 3- Depreme yol açan kabuk deformasyonlarının GPS, InSAR, mikrogravite, tilt ve strain ölçerlerle izlenmesi
- 4- Yer büyütme etkisini ölçmeye dayalı, yapay kaynaklı sismolojik ölçümler
- 5- Tüm verilerin, veri kontrolü sonrası, CBS veri tabanına aktarılması - anlık izlenmesi- ve veri bazlı kabuk deformasyon modellemesinin sürekli yapılması
- 6- Ölçüm tekniklerinin ve amaç odaklı yeni ölçüm sensörlerinin geliştirilmesi ve ticari uygulamalara altlık oluşturulması

Bu çalışmada, Marmara Bölgesi’ne yerleştirilmiş Güralp marka 8 sismometreden TÜBİTAK, MAM, YDBE’deki bilgisayarlara ve İTÜ Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı’na ADSL hattı üzerinden gerçek zamanda (online) olarak kaydedilen deprem verileri kullanılmıştır. Şekil 3.2’de İTÜ’ye verisi aktarılan, Marmara Bölgesine yerleştirilmiş cihazlar gösterilmiştir.

Çalışmada kullanılan sismometreler siyah kutular içinde gösterilmiştir. Bunlar ALT (Altınşehir), BUY (Büyükada), KLC (Kılıç), KMR (Kemer), CAN (Çan), NEV (Nevruz), CMH (Cumhuriyet) ve TRY (Troy) istasyonlarıdır.



Şekil 3.2: Çalışmada kullanılan deprem istasyonları.

4. DEPREM KAYNAK PARAMETRELERİ

Deprem kaynağının fiziksel özelliklerini açıklamak amacıyla kuramsal ve gözlemsel bir çok çalışma yapılmaktadır. Kuramsal çalışmalar, Reid (1910)'in sığ bir depremin oluşturduğu faylanmaya verdiği tanım ile başlamıştır.

Kuramsal kaynak çalışmaları, kinematik yaklaşık ve dinamik yaklaşım olmak üzere iki bölüm altında toplanır. Kinematik çalışmalarda, fay üzerindeki kaymanın zamana göre tanımlanması gerekmektedir. Dinamik yaklaşımda ise, önce fay düzlemi üzerindeki gerilme tanımlanır.

Depremi birçok yönüyle tanımlayan kaynak değişirgenlerini Duda (1978) şöyle tanımlamıştır:

4.1 Kinematik Kaynak Parametreleri

Fay uzunluğu: Deprem anında oluşan faylanmanın yatay yöndeki en büyük uzanımıdır.

Fay genişliği: Deprem anında oluşan faylanmanın eğimi yönünde en büyük uzanımıdır.

Faylanmanın doğrultusu: Faylanmanın yatay yöndeki uzanımının kuzey ile yaptığı açıdır.

Deprem Hacmi: Deprem anındaki yamulma değişiminin kritik değeri aştığı faylanma düzlemi çevresindeki alandır.

4.2 Dinamik Kaynak Parametreleri

Deprem enerjisi: Deprem sırasında diğer tür enerjilere dönüşen potansiyel enerjidir.

Sismik yeterlilik: Sismik enerjinin deprem enerjisine oranıdır ve 1'den küçüktür.

Faylanma süresi: Fay düzlemi boyunca faylanma oluşumunun toplam süresidir.

Yükselme zamanı: Fay düzlemi üzerindeki bir noktada faylanmanın oluşma süresidir.

Yırtılma hızı: Fay düzlemi üzerinde belirli bir doğrultuda yayılan yırtılma cephesinin yayılma hızıdır.

Sismik Moment: Faylanma hareketine eşdeğerlikte bir nokta kaynağın momentidir.

Gerilme Düşümü: Aktif fay bölgesinde başlangıçtaki gerilme (σ_0) ile deprem sonrasında arta kalan gerilme (σ_1) arasındaki farktır.

Sismik Enerji: Deprem odağından sismik dalgalar biçiminde yayılan enerjidir.

Sismik dalga enerjisi, sadece kaynağın fiziksel özelliklerine bağlıdır.

4.3 Kuramsal Kaynak Modelleri

Deprem kaynağını modellemeye yönelik birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmaların en çok bilinenleri Haskell (1964), Aki (1967) ve Brune (1970) kaynak modelleridir. Bu modeller arasında, en çok kullanılan kaynak modeli, Brune'nin dairesel kaynak modelidir.

4.3.1 Haskell Kaynak Modeli

Haskell (1964), L boyunda ve W eninde bir fay düzlemi üzerinde, U_0 değerinde bir yerdeğiştirmenin V_r hızı ile ilerlediği sonlu kırılma biçiminde oluşan bir kaynak modeli önermiştir. Bu modele göre, üzerindeki yerdeğiştirmenin kaynak-zaman fonksiyonu;

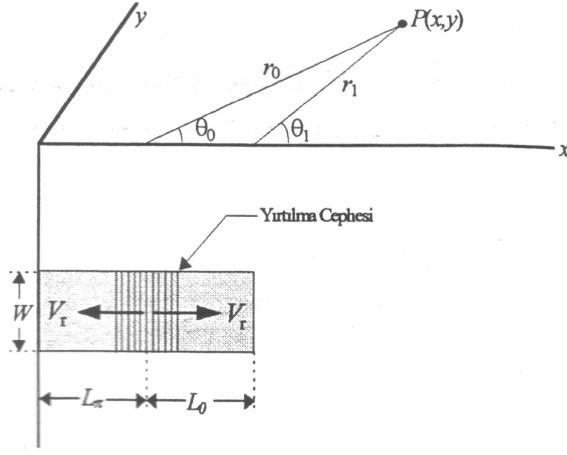
$$u(t) = 0, \quad t < 0 \quad (4.1a)$$

$$u(t) = \left[1 - e^{(-t/\tau)} \right], \quad t > 0 \quad (4.1b)$$

olan ve iki yönlü faylanma mekanizması içeren deprem kaynağından r uzaklıktaki uzak-alan noktasında oluşan yerdeğiştirmenin genlik spektrumu, ortam homojen, yön bağımsız, V_r hızı sabit ve yerdeğiştirme W üzerinde anlık olmak koşuluyla,

$$|H_c| = \frac{R_c(\theta, \phi, r) \cdot \mu \cdot A \cdot U_0}{4 \cdot \pi \cdot c^3 \cdot \rho \cdot h \cdot r} \cdot \frac{F(\omega, \tau_0, \tau_\pi)}{(1 + \omega^2 \tau^2)^{1/2}} \quad (4.2)$$

bağıntısı ile verilir. Şekil 4.1'de P(x,y) noktasındaki istasyon ile kaynak arasındaki geometri verilmiştir (Kasahara, 1981).



Şekil 4.1: P(x,y) noktasındaki istasyon ile kaynak arasındaki geometri (Kasahara, 1981).

Burada;

$R_c(\theta, \phi, r)$: c hızıyla yayılan P ve S dalgalarının yayılım örüntüsü (Brune, 1970,1971)

μ : Katılık sabiti (rijidite) (dyne/cm²)

$A=W(L_0+ L_\pi)$: Fay alanı

ω : Açısal frekans

U_0 : Fayın üzerindeki bir noktadaki yerdeğiştirmenin en büyük değeri

τ : U_0 'a erişmek için geçen süre (yükselme (rise) zamanı)

c : Sismik dalga hızı (P veya S)

τ_0 ve τ_π : Birbirine ters yönde ilerleyen L_0 ve L_π boyundaki faylanma için geçen süre'dir (s).

Ayrıca;

$$\tau_0 = \frac{L_0}{c} \left(\frac{c}{V_r} - \cos \theta \right) \quad (4.3a)$$

$$\tau_\pi = \frac{L_\pi}{c} \left(\frac{c}{V_r} + \cos \theta \right) \quad (4.3b)$$

şeklinde tanımlanmıştır. V_r , Faylanma (rupture) hızıdır. θ açısı sismik ışınla fay düzlemi arasında kalan açıdır. (4.2) bağıntısındaki $F(\omega, \tau_0, \tau_\pi)$ fonksiyonu ise Savage (1972)'e göre,

$$F(\omega, \tau_0, \tau_\pi) = \left\{ \begin{aligned} & [L_0 f(\tau_0)]^2 + [L_\pi f(\tau_\pi)]^2 \\ & + 2\pi L_0 L_\pi f(\tau_0) f(\tau_\pi) \cos \left[\frac{\omega(\tau_0 - \tau_\pi)}{2} \right] \end{aligned} \right\}^{1/2} / (L_0 + L_\pi) \quad (4.4)$$

'dir. Burada;

$$f(\tau_i) = \frac{\sin(\omega \tau_i / 2)}{\omega \tau_i / 2}, \quad i=0, \pi \quad (4.5)$$

olarak verilmiştir. $|H_C|$ ile verilen kaynak spektrumunun, ω_1^c , ω_2 , ω_3 frekansları ile verilen ve $L=L_0+L_\pi$ olmak üzere,

$$\omega_1^c = \frac{2c}{L} \cdot \frac{[c^2/V_r^2 + \cos^2 \theta]^{1/2}}{c^2/V_r^2 - \cos^2 \theta} \quad (4.6a)$$

$$\omega_2 = \frac{4.6V_r}{W} \quad (4.6b)$$

$$\omega_3 = (\omega_1 \cdot \omega_2)^{1/2}, \text{dir.} \quad (4.6c)$$

Görüldüğü gibi Haskell kaynak fonksiyonu üç köşe frekansı ile karakterize edilmektedir.

4.3.2 Aki Kaynak Modeli

Aki (1967), Haskell (1964)'in önerdiği yarı deterministik ve istatistik deprem kaynak modeline dayanarak kaynak spektrumları üzerinde çalışmıştır. $|A(w)|$ olarak isimlendirdiği kaynak genlik spektrumu fay üzerindeki yerdeğiştirme fonksiyonunun özilişkisi cinsinden açıklamıştır.

Zaman ve mekan özelliklerini birarada tutan özilişki fonksiyonu sonsuz sayıda zaman ve mekan fonksiyonunu biraraya getirerek, kaynak fonksiyonuna istatistik bir kimlik kazandırmıştır.

Aki (1967)'ye dayanarak, soğurulmasız bir ortam için kaynak fonksiyonunun uzak-alan yerdeğiştirme spektrumu, ω^{-2} modeli için;

$$|A(\omega)| = \frac{R_c(\theta, \phi, r)}{4\pi.c^3.\rho.r} \cdot \left[1 + \left(\frac{\omega}{\omega_1} \right)^2 \right]^{-1/2} \cdot \left[1 + \left(\frac{\omega}{\omega_2} \right)^2 \right]^{-1/2} \quad (4.7)$$

ω^{-3} modeli için ise;

$$|A(\omega)| = \frac{R_c(\theta, \phi, r)}{4\pi.c^3.\rho.r} \cdot \left[1 + \left(\frac{\omega}{\omega_1} \right)^2 \right]^{-1/2} \cdot \left[1 + \left(\frac{\omega}{\omega_2} \right)^2 \right]^{-1} \quad (4.8)$$

olarak yazılabilir. Burada ω_1 ve ω_2 köşe frekanslarıdır ve Haskell modelinde önerilen köşe frekanslarına karşılık gelmektedir.

4.3.3 Brune Kaynak Modeli

Kaynak modelleri arasında en yaygın olarak kullanılan Brune (1970, 1971) modeli, kaynağın noktasal ve yayılımın da dairesel olarak düşünüldüğü modeldir. Bu modele göre Brune'nin kaynak-zaman fonksiyonu;

$$u(t) = (\sigma / \mu) \beta \tau (1 - e^{-t/\tau}) \quad (4.9)$$

bağıntısı ile verilmektedir. Burada;

- σ : Etkin gerilme (bar)
- μ : Katılık sabiti (rijidite) (dyne/cm²)
- β : S dalga hızı (cm/s)
- τ : Zaman sabiti (s)

Buradan kaynaktaki yerdeğiştirme spektrumu,

$$\Omega(\omega) = (\sigma\beta / \mu) / \left[\omega(\omega^2 + \tau^{-2})^{1/2} \right] \quad (4.10)$$

şeklinde verilir.

S dalgası için uzak – alan yerdeğiştirme spektrumu ise karakök ortalama (RMS) alınarak,

$$\langle \Omega(\omega) \rangle = \langle R_{\theta\phi} \rangle (\sigma\beta / \mu) (r / R) F(\varepsilon) / (\omega^2 + \alpha^2)^{1/2} \quad (4.11)$$

bağıntısı ile verilmektedir.

Burada;

$\langle R_{\theta\phi} \rangle$: Yayınım örüntüsünün karekök ortalaması

r : Dairesel yerdeğiştirme yüzeyinin (fay) yarıçapı (cm)

R : Kaynak-alıcı arası uzaklık (cm)

ε : Gerilme düşümü kesiri

$\alpha = 2.21\beta / r$

ve

$$F(\varepsilon) = \left\{ (2 - 2\varepsilon) \left[1 - \cos(1.21\varepsilon\omega / \alpha) \right] + \varepsilon^2 \right\}^{1/2} \quad (4.12)$$

şeklinde verilmektedir.

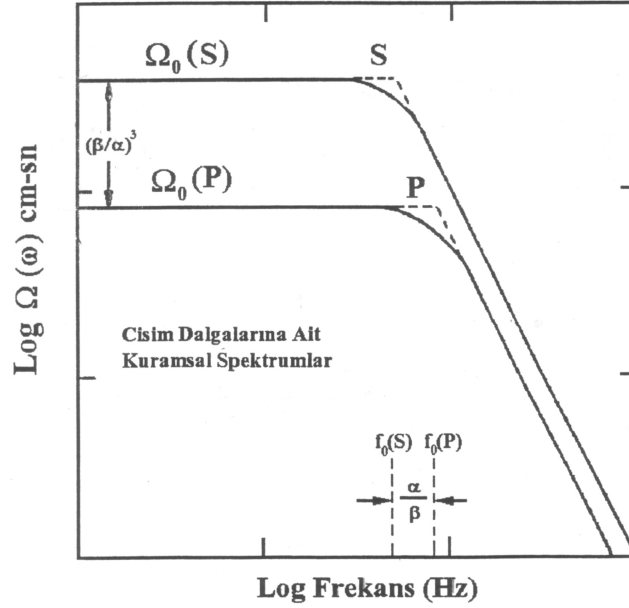
4.4 Kaynak Parametrelerinin Hesaplanması

Brune (1970-1971)'nin kaynak modeline göre, uzak-alan spektral parametreleri ile kaynak parametreleri, sismik moment (M_0), kaynak yarıçapı (r) ve gerilme düşümü ($\Delta\sigma$) arasında ilişkiler olabileceği gösterilmiştir. Brune (1970), parametreler arasında ilişkiyi kurarken S dalgalarından yararlanmış ve ilgili bağıntılarda S dalga hızını kullanmıştır. Brune'nin modeli, daha sonra P dalgası için Hanks ve Wyss (1972) tarafından geliştirilmiştir.

Brune (1970), kuramsal P dalgası spektrumu ve kaynak yarıçapı arasında bir ilişki aramadığı halde; Hanks ve Wyss (1972), kaynak parametrelerinin dalga yayılımından bulunabileceğini ve P dalgasının, S dalgasına göre daha çok tercih edildiğini göstermişlerdir.

Kaynak parametrelerini hesaplamak için gerekli olan spektral parametreler, P ve S dalgalarının yerdeğiştirme spektrumlarından okunan sabit düşük frekans seviyesi (Ω_0) ve köşe frekansı (f_0)'dır. Sabit düşük frekans seviyesi (Ω_0), sismik moment (M_0) ile; köşe frekansı (f_0) ise, kaynak yarıçapı ile ilişkilidir. Ayrıca yerdeğiştirme spektrumlarından, yüksek frekanslara doğru ($f > f_0$) genliklerdeki azalımı kontrol eden spektral eğim (γ) de hesaplanır (Hanks ve Thatcher, 1972).

Sabit düşük frekans seviyesi (Ω_0) ile yüksek frekanslardaki spektral eğimi ifade edecek iki doğru, spektrum üzerinde uygun bir şekilde oturtulur. Bu iki doğrunun kesişim noktasının yatay eksenindeki değeri köşe frekansını verir. Şekil 4.2'de Yayınım etkileri giderilmiş P ve S dalgalarının, Brune kaynak modeline göre hesaplanmış kuramsal spektrumları verilmiştir.



Şekil 4.2: Yayınım etkileri giderilmiş P ve S dalgalarının, Brune kaynak modeline göre hesaplanmış kuramsal spektrumları.

Bu bölümde, kaynak parametrelerinin spektral yöntemlerle ilgili bağıntılar verilerek, nasıl hesaplanacağı gösterilmiştir.

4.4.1 Sismik Moment

Deprem sırasında kaynağı etkileyen kuvvet sistemi içinde tanımlanmış eşdeğer kuvvet çiftinin fiziksel momenti, sismik moment olarak bilinir. Aki (1966), arazi gözlemlerine dayanarak yaptığı bir çalışma sonrası sismik moment şu şekilde vermiştir:

$$M_0 = \mu \bar{U} \cdot S \quad (4.13)$$

Burada;

μ : Katılık sabiti (dyn/cm^2)

$\bar{U}$: Fay düzlemi üzerindeki ortalama yerdeğiştirme (cm)

S : Faylanma yüzeyinin alanı (cm^2)'dır.

Bu bağıntıya göre, faylanma yüzeyi alanının, faylanma düzleminin boyu (L) ve genişliği (W)'nin çarpımına eşit olduğu bilinmekte ve faylanmanın boyutlu olduğu düşünülmektedir. Keilis ve Borok (1960)'ın spektral parametrelerden yararlanarak sismik moment için vermiş olduğu bağıntı ise;

$$M_0(V_{P,S}) = 4\pi \cdot \rho \cdot R \cdot V_{P,S}^3 \frac{\Omega_0(P,S)}{k \cdot R_{\theta\phi}(P,S)} \quad (4.14)$$

şeklindedir. Burada;

- $M_0(V_{P,S})$: Sismik moment (dyn.cm)
- ρ : Ortamın yoğunluğu (gr/cm³)
- R : Episantr-istasyon arası uzaklık (cm)
- $V_{P,S}$: P ve S dalgası için dalga hızı (cm/s)
- Ω_0 : Düşük frekans seviyesi (cm.s)
- $R_{\theta\phi}(P,S)$: Sismik dalganın yayılım örüntü katsayısı
- k : Serbest yüzey düzeltmesi

4.4.2 Kaynak Yarıçapı

Brune kaynak modelinde, kaynağın dairesel bir fay düzlemi şeklinde olduğu varsayıldığından, Brune (1971) kaynak modelinin yeniden düzenlenmesiyle, kaynak yarıçapı şu şekilde verilmiştir (Hanks ve Wyss, 1972):

$$r = \frac{2.34 \cdot V_{P,S}}{2\pi \cdot f_0} \quad (4.15)$$

Burada;

- r : Kaynak yarıçapı (cm)
- $V_{P,S}$: P ve S dalgası için dalga hızı (cm/s)
- f_0 : Köşe frekansı (Hz)

Fakat, Brune (1970) yöntemiyle mikrodepremler için hesaplanan kaynak yarıçapı (r), her zaman geçerli olmamaktadır. Bunun nedeni ise, Brune modelinin yırtılma hızınının sabit olduğunu varsaymasıdır. Oysa, mikrodepremlerin yırtılma hızının büyük depremlerin yırtılma hızı ile aynı olduğu konusu tartışmalıdır (Iio, 1992).

4.4.3 Gerilme Düşümü

Aktif fay bölgesinde başlangıçtaki gerilme (σ_0) ile deprem sonrasında arta kalan gerilme (σ_1) arasındaki fark gerilme düşümü olarak tanımlanmaktadır.

$$\Delta\sigma = \sigma_0 - \sigma_1 \quad (4.16)$$

şeklinde gösterilir. Gerilme düşümünü, bir depreme ait dalga spektrumlarından yararlanarak kaynak yarıçapı ve sismik moment cinsinden yazarsak;

$$\Delta\sigma = \frac{7}{16} \cdot \frac{M_0}{r^3} \quad (4.17)$$

bağıntısı elde edilir (Brune, 1970-1971).

4.4.4 Sismik Dalga Enerjisi

Sismik enerji, sismik dalgalar halinde deprem odağından yayılan enerjidir. Sadece kaynağın fiziksel özelliklerine bağlı bir büyüklüktür.

$$E_s = \left(\frac{128 \cdot \pi^3}{15} \right) \cdot \rho \cdot \beta \cdot R^2 \cdot \Omega_0^2 \cdot f_0^3 \quad (4.18)$$

bağıntısı (Hanks and Thatcher, 1972) veya

$$E_s = \frac{0.454(\Delta\sigma)^2 r^3}{\mu} \quad (4.19)$$

bağıntısı (Hanks and Thatcher, 1972) ile hesaplayabiliriz. Burada;

E_s : Sismik dalga enerjisi (S dalgası) (dyn.cm)

ρ : Ortamın yoğunluğu (gr/cm³)

β : Sismik S dalgası hızı (cm/sn)

R : Episantr-istasyon arası uzaklık (cm)

Ω_0 : Düşük frekans seviyesi (cm.sn)

f_0 : Köşe frekansı (Hz)'dir.

$\Delta\sigma$: Gerilme düşümü (dyn)

r : Kaynak yarıçapı (cm)

μ : Katılık sabiti (dyn/cm²)

5. VERİ TOPLAMA VE İŞLEME

Bu çalışmada TÜRDEP Projesi kapsamında Marmara Bölgesi'nde kurulan ve İTÜ Jeofizik Mühendisliği Bölümü'ne gerçek zamanda aktarılan 8 istasyona ait sayısal hız kayıtları kullanılmıştır. Veriler, Marmara Bölgesi'nde kurulmuş olan ALT, BUY, CAN, CMH, KLC, KMR, NEV ve TRY istasyonlarına aittir (Tablo 5.1). Bu istasyonlardaki cihazlar, Güralp marka 3 bileşen hız sismometreleridir. Şekil 5.1'de çalışmada kullanılan deprem istasyonları sarı ikonlar ile gösterilmiştir.



Şekil 5.1: Marmara Bölgesine yerleştirilmiş Güralp marka 8 istasyon.

ALT, CMH, NEV, KMR, CAN, KLC ve TRY istasyonlarına yerleştirilmiş cihazlar Güralp marka 3ESPCD model, BUY istasyonuna yerleştirilmiş cihaz ise Güralp marka T3L52 model sismometrelerdir. Bu cihazlar Şekil 5.2'de gösterilmiştir. Şekil 5.4-Şekil 5.8'de BUY, CMH, KMR, ALT ve NEV istasyonlarına ait resimler gösterilmiştir. Şekil 5.3'te ise Geniş bantlı sismometrenin kurulduğu istasyonun şematik görünümü verilmiştir.

Tablo 5.1: İTÜ Proje ekibinin izlediği ve verilerini değerlendirdiği deprem istasyonlarının bilgileri.

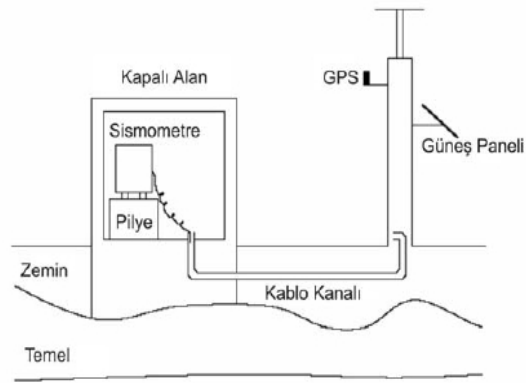
İstasyon Adı	İstasyon Kodu	Enlem (°K)	Boylam (°D)	Yükseklik (m)	Kayıtçı Tipi	Sismometre Tipi	Kurulum Tarihi
Altınşehir	ALT	41.08800	28.74000	18	Güralp	G 3ESPCD	3 Ekim 2006
Büyükkada	BUY	40.85230	29.11810	231	Güralp	G T3L52	5 Ağustos 2005
Kılıç	KLC	40.63300	29.39800	138	Güralp	G 3ESPCD	1 Eylül 2006
Cumhuriyet	CMH	40.01200	27.97000	205	Güralp	G 3ESPCD	6 Eylül 2006
Kemer	KMR	40.41800	27.06900	40	Güralp	G 3ESPCD	2 Eylül 2006
Troy	TRY	40.11000	26.41800	95	Güralp	G 3ESPCD	-
Nevruz	NEV	39.95400	27.26300	329	Güralp	G 3ESPCD	2 Ekim 2006
Çan	CAN	40.01732	27.06275	190	Güralp	G 3ESPCD	-



Şekil 5.2: Güralp – 3 ESPCD ve T3L52 Model Sismometreler

3ESPCD Model Sismometrelerin Özellikleri:

- İçerisinde sayısallaştırıcı var.
- Düşük güç tüketimi (12V DC)
- Dinamik aralığı > 140 dB
- Max çıkış voltajı - 20 V (± 10 V)
- Çıkış bant genişliği 120 sn – 50 Hz.
- Çıkış duyarlılığı 2x750 V/m/s.
- Çalışma sıcaklığı -20 /+65 0C.
- Uzaktan erişim ile kontrol edilebilir.



Şekil 5.3: Geniş Bantlı Sismometrenin Kurulduğu İstasyonun Şematik Görünümü.



Şekil 5.4: BUY Deprem İstasyonu



Şekil 5.5: CMH Deprem İstasyonu



Şekil 5.6: KMR Deprem İstasyonu



Şekil 5.7: ALT Deprem İstasyonu



Şekil 5.8: NEV Deprem İstasyonu

5.1 İncelenen Depremlerin Seçimi ve Kayıt Özellikleri

Marmara Bölgesi'nde kurulan Güralp modeli 8 sismometreye ait sayısal kayıtlar kullanılmış ve Ekim 2006-Şubat 2007 tarihleri arasında meydana gelen 510 deprem arasından seçilen, $2.8 \leq M_d \leq 5.0$ magnitüdlü 41 depremin kaynak parametreleri incelenmiştir. Bu depremlerin lokasyon bilgileri TÜBİTAK – MAM, YDBE'nden alınmıştır.

İTÜ Jeofizik Mühendisliği Bölümü'nde proje çalışmalarını gerçekleştirmek için bir laboratuvar kurulmuştur. Araziden gerçek zamanlı gelen veri, bu laboratuvardaki bilgisayarlarda Güralp Systems lisanslı Scream programıyla izlenip, kaydedilmekte ve günlük okumaları yapılmaktadır. PQL (PASSCAL Quick Look) ekranında deprem zamanı okumaları yapıp, HYPO (The Earthquake Analysis Software) programında depremlerin lokasyonları bulunmaktadır. Lokasyonları bulunan depremler daha sonra GMT (Eos, Transactions, American Geophysical Union) programında haritada çizdirilmektedir (Kişisel Görüşme, Veli Geçgel).

İncelenen depremlerin seçimi sırasında birçok faktöre dikkat edilmiştir. Depremleri seçerken sinyal gürültü oranının fazla, kesintisiz kaydedilmiş ve en az 3 istasyon tarafından kaydedilmiş olmasına dikkat edilmiştir. 20 Ekim 2006'da $M=5.0$ büyüklüğünde Kuş Gölü'nde ve 24 Ekim 2006'da $M=4.9$ büyüklüğünde Gemlik'te meydana gelen depremlerin artçı sarsıntıları veri sayısını arttırmıştır. Çalışmada analiz edilen 41 depremin harita üzerinde lokasyonları ve Şekil 5.9'da gösterilmiştir.

Çalışmada kullanılan 41 depremlerin enlem, boylam, derinlik ve büyüklükleri Tablo 5.2'de ayrıntılı olarak verilmiştir. Şekil 5.9'da depremleri kayıt eden istasyonlar sarı ikonlarla, çalışmada kullanılan depremlerin yerleri kırmızı ikonlar ile gösterilmiştir.



Şekil 5.9: Çalışmada kullanılan depremlerin lokasyonları.

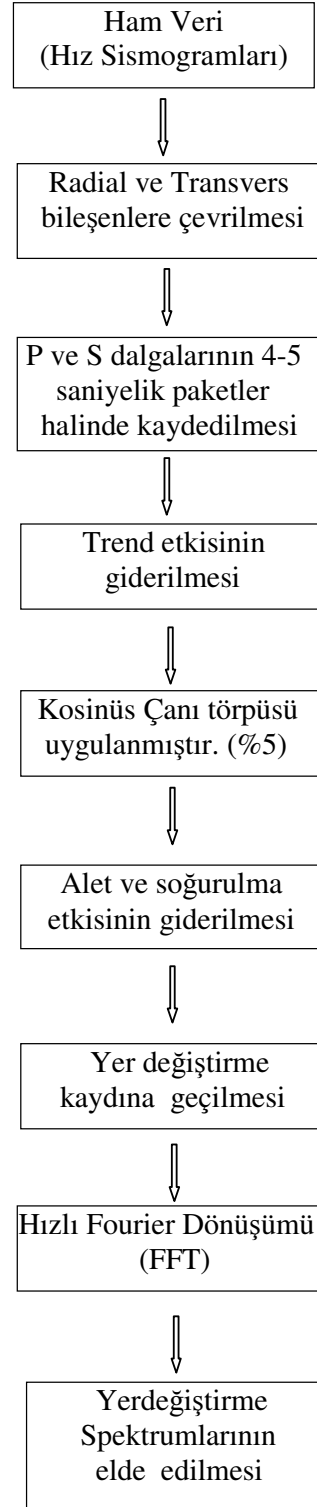
Tablo 5.2: Çalışmada kullanılan depremlerin yer, oluş zamanı ve büyüklük bilgileri

No	Deprem No	Gün-Ay-Yıl	Saat-Dak.-Sn.	Enlem(°)	Boylam(°)	Derinlik(km)	M_d
1	293-1815	20.10.2006	18:15:24	40.251	27.989	9.2	5.0
2	293-1855	20.10.2006	18:55:59	40.246	28.006	6.2	3.1
3	293-2211	20.10.2006	22:11:22	40.263	27.981	14.0	3.1
4	293-2349	20.10.2006	23:49:52	40.234	27.997	14.4	3.1
5	294-0731	21.10.2006	07:30:36	40.241	27.976	2.4	3.3
6	296-0053	23.10.2006	00:53:31	40.242	28.001	11.8	3.0
7	297-1401	24.10.2006	14:00:21	40.438	28.986	11.2	4.9
8	297-1452	24.10.2006	14:52:01	40.425	29.010	6.9	3.0
9	297-1606	24.10.2006	16:06:38	40.856	27.699	18.7	3.0
10	297-1801	24.10.2006	18:00:04	40.433	29.003	11.0	3.0
11	297-2210	24.10.2006	22:10:46	40.437	29.011	10.4	2.9
12	298-0056	25.10.2006	00:56:56	40.416	29.012	4.5	3.4
13	298-1112	25.10.2006	11:12:07	40.451	29.013	12.1	2.9
14	298-1156	25.10.2006	11:56:04	40.426	29.004	7.8	3.6
15	301-0107	28.10.2006	01:07:51	40.582	27.658	15.0	2.9
16	308-0256	04.11.2006	02:56:36	40.216	28.013	3.9	2.9
17	316-0744	12.11.2006	07:44:23	40.250	27.997	8.4	3.0
18	324-0136	20.11.2006	01:36:24	40.756	27.468	23.8	2.9
19	330-0404	26.11.2006	04:04:44	40.429	29.009	6.0	2.9
20	336-0542	02.12.2006	05:42:02	40.311	27.423	15.4	2.9
21	338-1922	04.12.2006	19:22:15	40.100	27.066	8.0	2.9
22	339-0701	05.12.2006	07:00:11	40.370	28.538	6.0	2.9
23	339-0938	05.12.2006	09:38:24	40.796	28.072	3.0	3.1
24	339-1047	05.12.2006	10:47:58	40.820	28.080	18.6	2.9
25	341-2222	07.12.2006	22:22:30	40.246	27.973	10.7	3.0
26	353-1915	19.12.2006	19:15:37	40.342	28.339	3.1	4.2
27	005-1058	05.01.2007	10:58:22	39.999	27.620	16.9	2.8
28	008-2333	08.01.2007	23:33:22	40.408	29.024	3.8	3.1
29	011-0416	11.01.2007	04:16:58	40.565	28.993	8.6	2.8
30	011-2004	11.01.2007	20:04:05	40.564	28.996	11.3	3.1
31	012-0611	12.01.2007	06:01:58	40.443	28.979	10.0	2.9
32	013-0111	13.01.2007	01:11:56	40.603	29.043	1.0	2.8
33	014-1635	14.01.2007	16:35:48	40.774	27.457	13.0	3.4
34	015-0509	15.01.2007	05:09:02	40.412	28.994	8.2	3.2
35	015-1122	15.01.2007	11:22:44	40.313	27.554	10.8	3.0
36	025-1942	25.01.2007	19:42:46	40.396	27.898	3.4	3.0
37	028-1807	28.01.2007	18:07:00	40.554	28.329	8.4	3.3
38	036-1143	05.02.2007	11:44:00	40.727	27.417	13.7	3.1
39	037-2303	06.02.2007	23:04:47	40.371	27.052	8.3	2.8
40	047-0112	16.02.2007	01:12:15	40.402	27.617	13.0	3.1
41	052-1553	21.02.2007	15:53:43	40.460	28.149	6.0	2.9

5.2 İncelenen Depremlerin Spektrumları ve Uygulanan Veri-İşlem Teknikleri

Çalışmada kullanılan deprem kayıtları TÜBİTAK-MAM, YDBE’ndeki bilgisayarlara ‘gcf’ formatında kaydedilmiştir. ‘GCF’ formatı Güralp Systems lisanslı Scream programında verinin kaydedildiği formattır. Veri işlem aşamasının ilk basamağında ‘gcf’ formatındaki bu datanın formatı, Seismic Analysis Code (SAC) programında kullanılmak amacıyla ‘SAC’ formatına çevrilmiştir. Çalışmamızda, deprem kayıtlarına uygulanan veri-işlem teknikleri, Seismic Analysis Code (SAC) ve MATLAB programları kullanılarak yapılmıştır.

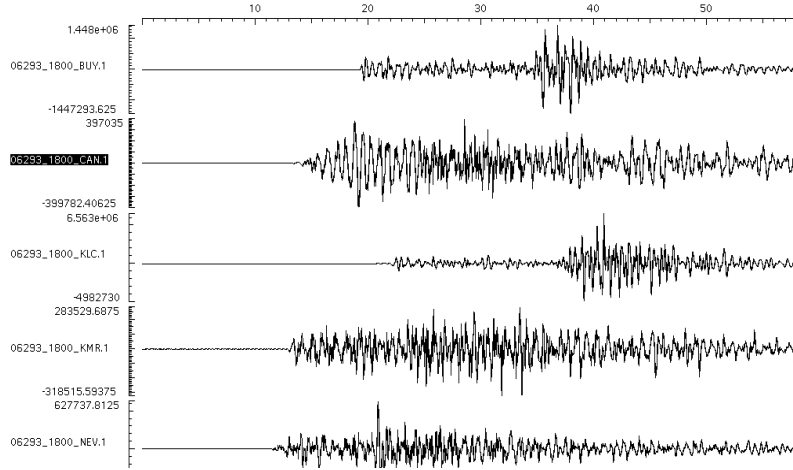
Bir depremin arazi kaydından, yerdeğiştirme spektrumu elde edilene kadar uygulanan veri-işlem teknikleri Şekil 5.10’da gösterilmiştir.



Şekil 5.10: Arazi kaydından, yerdeğiştirme spektrumu elde edilene kadar uygulanan veri-işlem teknikleri.

30'ar dakikalık veri paketleri halindeki SAC formatındaki bu data içindeki depremlerin, oluş zamanlarını bulmak için PQL programında tek tek gözden geçirilmiştir. Okumalar yapılırken düşey bileşen üzerinden P dalgası varış zamanı, yatay 1. bileşen (KG) üzerinden S dalgası varış zamanı ve yatay 2. bileşen (DB) üzerinden koda okuması yapılmıştır. Şekil 5.11'de 20.10.2006, $M_d=5.0$ Kuş Gölü depremini kaydeden istasyonların PQL ekran görüntüsü verilmiştir.

Çalışmada kullanılan depremlerin lokasyonları, TÜBİTAK, Marmara Araştırma Merkezi, Yer ve Deniz Bilimleri Enstitüsü'nden hazır alınmıştır. Bunun sebebi TÜBİTAK, MAM, YDBE'nün yer bulma işlemi yaparken, bu çalışmada kullanılan Güralp cihazlar dışında, bölgedeki Reftek ve Nanometre cihazların kayıtlarını da kullanmasıdır.

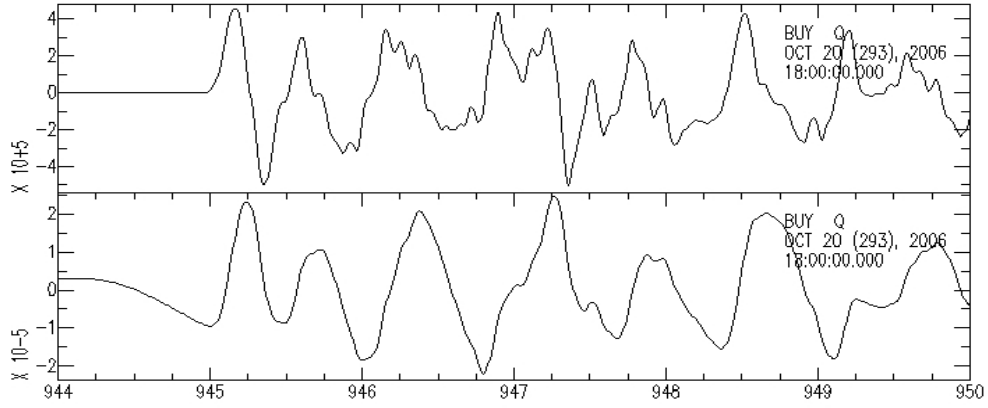


Şekil 5.11: 20.10.2006, $M_d=5.0$ Kuş Gölü deprem dalgalarının PQL ekranında görüntüsü.

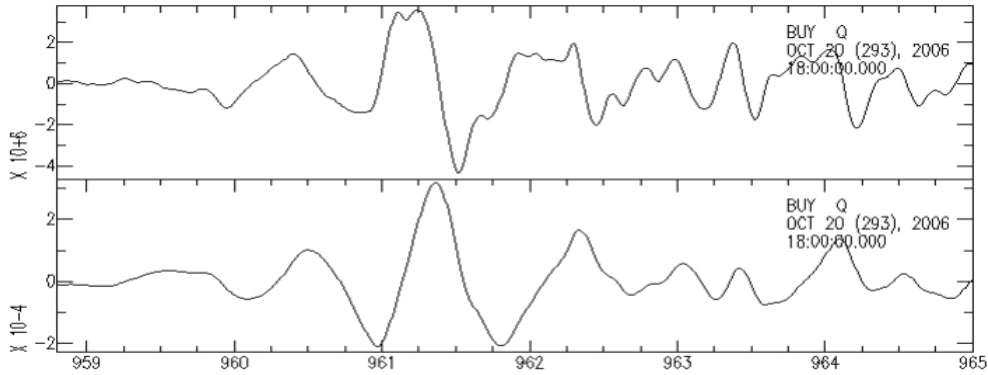
Öncelikle çalışmada kullanılan 41 adet depreme ait verinin, yatay KG ve DB bileşenleri geri azimut kullanılarak, radyal (SV) ve transvers (SH) bileşenlerine çevrilip, bunlara uygun dosya adı verilerek kaydedilmiştir. Bu işlemi yapmak için SAC programında her istasyon için, istasyon koordinatlarını içeren birer makro yazılmıştır.

Düşey bileşende P dalgası ve yatayda KG bileşen üzerinde S zamanları okumaları yapıldıktan sonra, ayrı ayrı P ve S dalgaları için pencereleme işlemi yapılmıştır. P ve S dalgaları varış zamanlarının 1 saniye öncesinden kesilerek 4-5 saniyelik paketler halinde kaydedilmiştir.

Depremleri kaydeden tüm istasyonlara ait deprem dalgaları, 4-5 saniyelik paketler halinde kaydedildikten sonra data üzerindeki trend etkisi giderilmiştir. Şekil 5.12 ve Şekil 5.13'te, 20.10.2006 Kuş Gölü depremi, P ve S dalgalarına ait hız ve yerdeğiştirme kayıtları verilmiştir.



Şekil 5.12: 20 Ekim 2006 $M_d=5.0$ Kuş Gölü depremi P dalgası hız ve yerdeğiştirme kaydı.

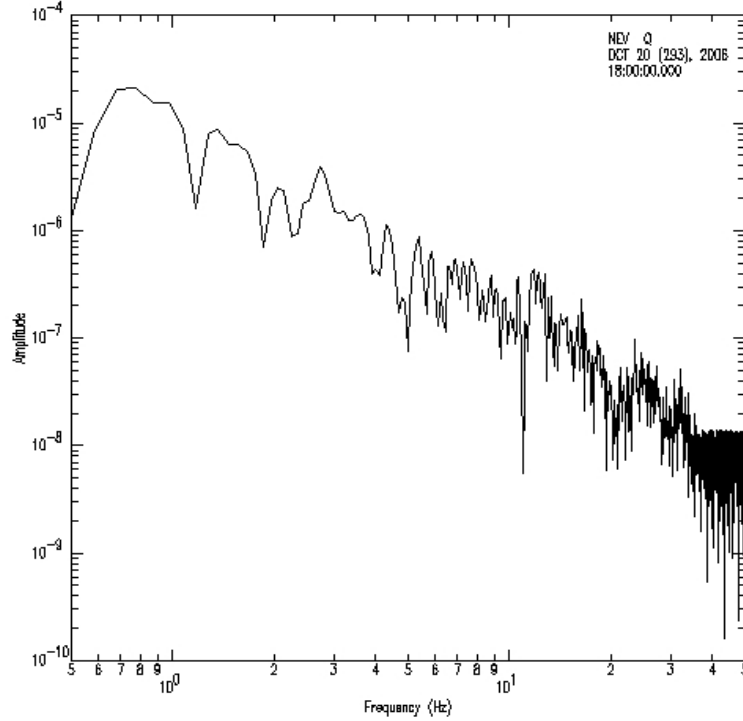


Şekil 5.13: 20 Ekim 2006 $M_d=5.0$ Kuş Gölü depremi S dalgası hız ve yerdeğiştirme kaydı.

Bir zaman verisinin Fourier dönüşümü alındığında, zamanda meydana gelen ani kesilme, frekans ortamında salınımlara neden olur. Buna Gibbs Olayı denir. Data üzerinden trend etkisi giderildikten sonra frekans ortamındaki Gibbs olayını önlemek için yerdeğiştirme verilerine Fourier dönüşümü uygulanmadan önce %5 işlepli kosinüs penceresi ile çarpılarak, iki ucunda bir törpüleme işlemi uygulanmıştır.

Törpüleme işleminden sonra, veri üzerinden cihaz etkisi giderilmiştir. Bunun için cihazların kalibrasyon bilgileri ve Pole-Zero tablolarından yararlanılmıştır. Yatay ve düşey bileşenlerden sıfırları atarak yerdeğiştirme kaydına geçilmiştir. Böylece

yerdeşiştirme verisi elde edilmiştir. Bu yerdeşiştirme verisine Hızlı Fourier Dönüşümü (FFT) uygulanmış ve yerdeşiştirme spektrumları elde edilmiştir. 20.10.2006 M=5.0 Kuş Gölü depremini kaydeden NEV istasyonuna ait yerdeşiştirme spektrumunun görüntüsü şekil 5.14'te verilmiştir.



şekil 5.14: Veri - işlem aşamalarından sonra SAC programında hızlı fourier dönüşümü (FFT) uygulanarak elde edilmiş yerdeşiştirme spektrumu.

Ham verinin, pencerelenip, trend etkisi giderilmesinden, kosinüs çanı törpüsü uygulanıp, Hızlı Fourier Dönüşümü uygulanarak yerdeşiştirme spektrumlarının elde edilmesine kadar tüm işlemler Seismic Analysis Code (SAC) programında yapılmıştır. Bu aşamadan sonra, bir depremi kaydeden istasyonlara ait yerdeşiştirme spektrumları, MATLAB programında üst üste çizdirilmiş ve daha sonra bu spektrumların ortalaması alınmıştır. Ortalaması alınan bu spektrumlar üzerinden soğurulma etkisi giderilmiştir.

Yeriçi malzemesinin anelastik davranışına soğurulma denir. Deprem kaydından soğurulma etkisini gidermek için, o dalga fazına ait bölgedeki kalite faktörü Q_0 'ın bilinmesi gerekir. Çalışmada, Marmara Bölgesi kalite faktörü Q_0 değeri S dalgası için;

$$Q_{0(S)} = (50 \pm 1.7) f^{1.09 \pm 0.05} \quad (5.1)$$

bağıntısı kullanılmıştır (Horasan ve Boztepe-Güney., 1998). P dalgası için ise;

$$Q_{0(P)} = 1.5 Q_{0(S)} \quad (5.2)$$

bağıntısı kullanılmıştır.

Buradan;

$$Q_{P,S}(R, f) = e^{-\pi f R / Q_{0(P,S)} V_{P,S}} \quad (5.3)$$

bağıntısı kullanılarak (Horasan ve Boztepe-Güney., 1998) soğurulma etkisi giderilmiştir.

Burada;

f : frekans (Hz)

R : Episantr-istasyon arası uzaklık (km)

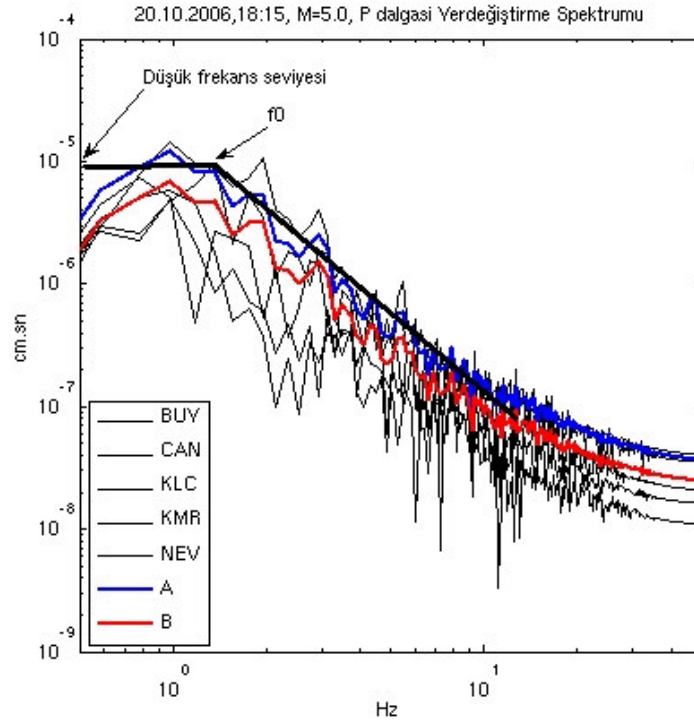
$V_{P,S}$: P veya S dalga hızı (km/sn)

$Q_{0(P,S)}$: P ve S dalgası için kalite faktörü (1/km)

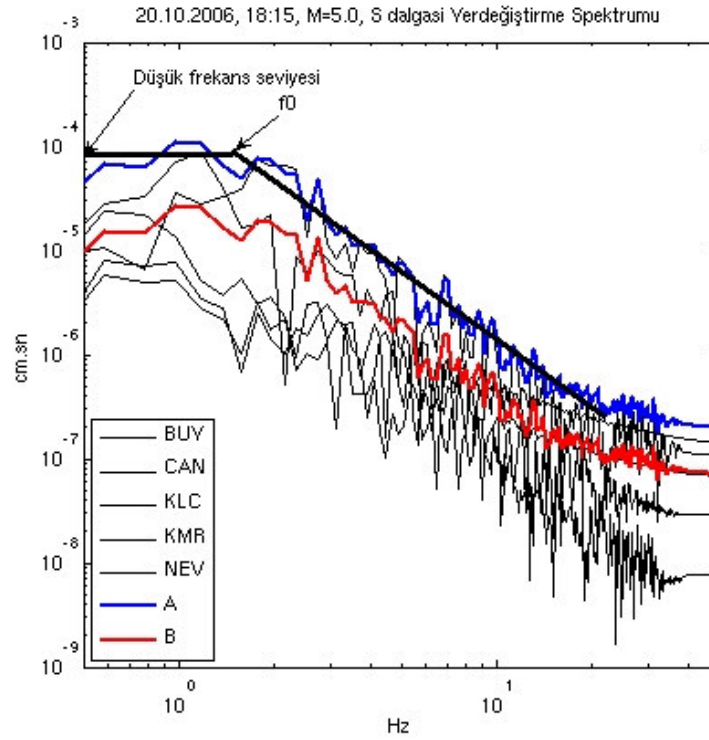
$Q_{P,S}(R, f)$: S dalgası yol ve frekans bağımlı soğurulma spektrumudur.

Alet ve soğurulma etkisi giderilmiş bu yerdeğiştirme spektrumlarından düşük frekans seviyesi ve köşe frekansları okunmuş, ve eğim hesaplanmıştır. Daha sonra ilgili bağıntılarda yerine konarak, sismik moment (4.14), gerilme düşümü (4.17), kaynak yarıçapı (4.15) ve S dalgası için sismik enerji (4.18) parametreleri hesaplanmıştır.

Şekil 5.15, Şekil 5.16 ve EK A' da verilen grafiklerde; A, ortalaması alınan spektrum üzerinden soğurulma etkisi giderilmiş yerdeğiştirme spektrumunu; B, depremi kayıt eden istasyonların yerdeğiştirme spektrumlarının ortalamasını; ALT, BUY, CAN, KLC, KMR, NEV, TRY ve CMH depremi kayıt eden istasyonların yerdeğiştirme spektrumlarını ifade eder. Şekil 5.15 ve Şekil 5.16'da, 20.10.2006, $M_d=5.0$ depremi, P ve S dalgaları yerdeğiştirme spektrumları verilmiştir.



Şekil 5.15: 20.10.2006, 18:15, M=5.0, P Dalgası Yerdeğiştirme Spektrumu



Şekil 5.16: 20.10.2006, 18:15, M=5.0, S Dalgası Yerdeğiştirme Spektrumu

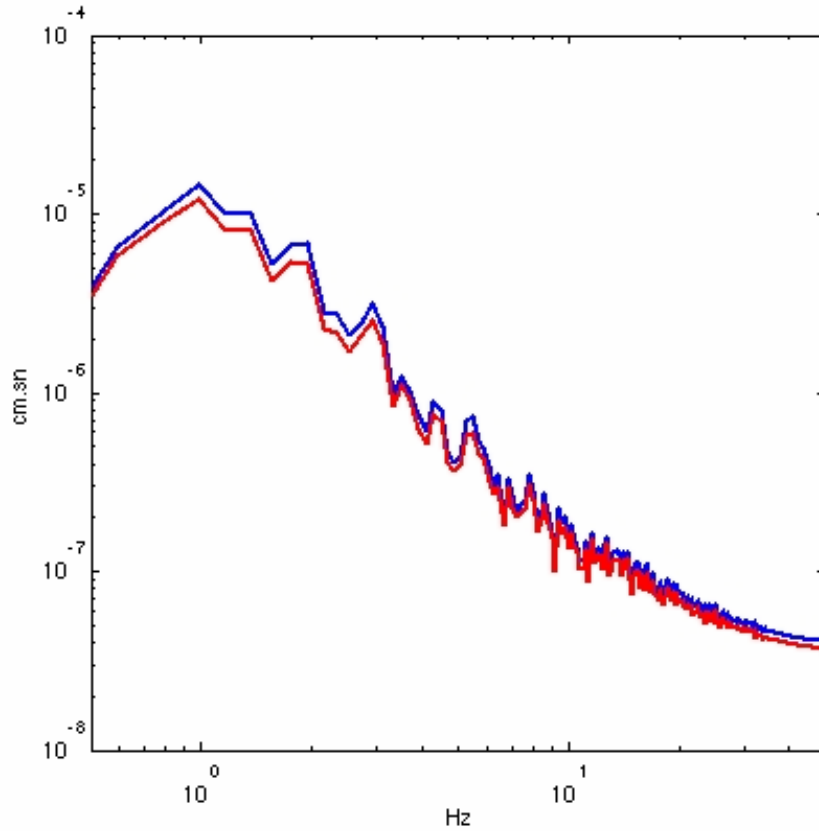
Tablo 5.3: P dalgası yerdeğiştirme spektrumlarından elde edilen deprem kaynak parametreleri.

<u>No</u>	<u>Deprem No</u>	<u>M_d</u>	<u>f₀ (Hz)</u>	<u>Ω₀ (cm.sn)</u>	<u>r (km)</u>	<u>M₀ (dyne.cm)</u>	<u>Δσ (bar)</u>
1	293-1815	5.0	1.36	9.09E-006	1.644	1.26505E+20	0.10810
2	293-1855	3.1	3.26	4.63E-009	0.686	6.47143E+16	0.00006
3	293-2211	3.1	5.46	4.29E-009	0.409	5.96107E+16	0.00005
4	293-2349	3.1	4.28	7.21E-009	0.522	1.00749E+17	0.00009
5	294-0731	3.3	2.2	1.29E-007	1.016	1.64902E+18	0.00141
6	296-0053	3.0	3.24	3.89E-009	0.690	5.5834E+16	0.00005
7	297-1401	4.9	2.78	6.91E-006	0.804	1.09354E+20	0.09344
8	297-1452	3.0	4.49	3.70E-008	0.498	5.27797E+17	0.00045
9	297-1606	3.0	3.08	2.52E-008	0.726	3.92949E+17	0.00034
10	297-1801	3.0	4.2	3.53E-009	0.532	6.37988E+16	0.00005
11	297-2210	2.9	1.85	5.65E-009	1.208	8.13635E+16	0.00007
12	298-0056	3.4	4.49	1.67E-007	0.498	2.69741E+18	0.00230
13	298-1112	2.9	4.75	1.06E-008	0.471	1.68273E+17	0.00014
14	298-1156	3.6	3.6	3.71E-007	0.621	5.96477E+18	0.00510
15	301-0107	2.9	4.62	4.09E-009	0.484	6.41924E+16	0.00005
16	308-0256	2.9	2.24	2.54E-008	0.998	3.32856E+17	0.00028
17	316-0744	3.0	3.79	9.74E-009	0.590	1.35667E+17	0.00012
18	324-0136	2.9	4.11	7.74E-009	0.544	1.12625E+17	0.00010
19	330-0404	2.9	7.76	7.49E-009	0.288	1.08305E+17	0.00009
20	336-0542	2.9	2.86	2.32E-008	0.782	2.85333E+17	0.00024
21	338-1922	2.9	6.01	1.85E-008	0.372	2.44574E+17	0.00021

Tablo 5.3: P dalgası yerdeğiştirme spektrumlarından elde edilen deprem kaynak parametreleri (devamı).

No	Deprem No	M_d	f₀ (Hz)	Ω₀ (cm.sn)	r (km)	M₀ (dyne.cm)	Δσ (bar)
22	339-0701	2.9	4.59	7.11E-009	0.487	7.40339E+16	0.00006
23	339-0938	3.1	6.45	2.37E-008	0.347	3.71855E+17	0.00032
24	339-1047	2.9	2.77	1.13E-008	0.807	1.58564E+17	0.00014
25	341-2222	3.0	2.82	2.18E-008	0.793	2.81894E+17	0.00024
26	353-1915	4.2	3.35	4.36E-006	0.667	6.32529E+19	0.05405
27	005-1058	2.8	5.08	1.04E-008	0.440	1.40023E+17	0.00012
28	008-2333	3.1	8.01	1.08E-008	0.279	1.63445E+17	0.00014
29	011-0416	2.8	7.95	9.13E-009	0.281	1.55818E+17	0.00013
30	011-2004	3.1	3.2	7.64E-008	0.699	1.57489E+18	0.00135
31	012-0611	2.9	5.95	8.62E-009	0.376	1.01078E+17	0.00009
32	013-0111	2.8	1.91	9.14E-009	1.171	1.00879E+17	0.00009
33	014-1635	3.4	3.08	1.10E-007	0.726	1.79771E+18	0.00154
34	015-0509	3.2	4.66	2.80E-008	0.480	4.73219E+17	0.00040
35	015-1122	3.0	3.77	1.33E-008	0.593	1.71941E+17	0.00015
36	025-1942	3.0	4.41	4.65E-008	0.507	6.57716E+17	0.00056
37	028-1807	3.3	3.53	1.86E-007	0.633	3.53077E+18	0.00302
38	036-1143	3.1	3.72	5.18E-008	0.601	8.20155E+17	0.00070
39	037-2303	2.8	6.38	1.43E-008	0.350	2.10122E+17	0.00018
40	047-0112	3.1	7.84	1.18E-008	0.285	1.73197E+17	0.00015
41	052-1553	2.9	3.31	9.20E-009	0.675	1.1527E+17	0.00010

Yerdeğiştirme spektrumları, MATLAB programında üst üste çizdirilmiş ve daha sonra bu spektrumların ortalaması alınmıştır. Ortalaması alınan bu spektrumlar üzerinden soğurulma etkisi giderilmiştir. Şekil 5.17’de, 20.10.2006, 18:15, $M_d=5.0$ depremini kaydeden istasyonlardan elde edilen yerdeğiştirme spektrumlarından, önce soğurulma etkisi giderilmiş, daha sonra soğurulma etkisi giderilmiş spektrumların ortalaması alınmıştır. Burada, önce ortalaması alınıp, daha sonra soğurulma etkisi giderilmiş spektrumlar (Şekil 5.15) ile Şekil 5.17’de hesaplanan spektrumlar arasında belirgin bir fark olmadığı gözlenmiştir.



Şekil 5.17: 20.10.2006, 18:15, $M_d=5.0$ depremi, P dalgası yerdeğiştirme spektrumlarında; Önce soğurulma etkisi giderilip, daha sonra ortalaması alınan yerdeğiştirme spektrumu (mavi); Önce ortalaması alınmış, daha sonra soğurulma etkisi giderilmiş yerdeğiştirme spektrumu (kırmızı).

Şekil 5.17’de, 20.10.2006, 18:15, $M_d=5.0$ depremi, P dalgası yerdeğiştirme spektrumlarında; Önce soğurulma etkisi giderilip, daha sonra ortalaması alınan yerdeğiştirme spektrumu mavi çizgi ile; önce ortalaması alınmış, daha sonra soğurulma etkisi giderilmiş yerdeğiştirme spektrumu ise kırmızı çizgi ile gösterilmiştir.

Tablo 5.4: S dalgası yerdeğiştirme spektrumlarından elde edilen deprem kaynak parametreleri.

No	Deprem No	M_d	f₀ (Hz)	Ω₀ (cm.sn)	r (km)	Δσ (bar)	M₀ (dyne.cm)	E_s (erg)
1	293-1815	5.0	1.49	8.18E-005	0.875	0.2342	2.74041E+20	3.5065E+014
2	293-1855	3.1	3.74	5.32E-008	0.349	0.0002	1.78889E+17	2.3432E+009
3	293-2211	3.1	5.66	7.06E-008	0.230	0.0002	2.36093E+17	1.4326E+010
4	293-2349	3.1	4.53	6.69E-008	0.288	0.0002	2.2504E+17	6.5895E+009
5	294-0731	3.3	3.01	9.07E-007	0.433	0.0024	2.79039E+18	3.5508E+011
6	296-0053	3.0	3.57	3.10E-008	0.365	0.0001	1.07017E+17	6.9118E+008
7	297-1401	4.9	1.83	9.38E-005	0.713	0.3051	3.57087E+20	8.5347E+014
8	297-1452	3.0	2.46	8.16E-007	0.530	0.0024	2.8014E+18	1.5688E+011
9	297-1606	3.0	2.87	2.27E-007	0.454	0.0007	8.50834E+17	1.9293E+010
10	297-1801	3.0	3.88	3.13E-007	0.336	0.0012	1.35796E+18	9.0402E+010
11	297-2210	2.9	4.57	1.02E-007	0.285	0.0003	3.52501E+17	1.5635E+010
12	298-0056	3.4	3.43	1.36E-006	0.380	0.0045	5.28658E+18	1.1874E+012
13	298-1112	2.9	4.02	2.77E-007	0.324	0.0009	1.05485E+18	7.8948E+010
14	298-1156	3.6	3.01	9.23E-006	0.433	0.0305	3.56735E+19	3.6805E+013
15	301-0107	2.9	4.26	4.84E-008	0.306	0.0002	1.82719E+17	2.8719E+009
16	308-0256	2.9	3.6	1.32E-007	0.362	0.0004	4.15634E+17	1.2875E+010
17	316-0744	3.0	2.61	1.49E-007	0.500	0.0004	4.98105E+17	6.2266E+009
18	324-0136	2.9	4.73	4.95E-008	0.276	0.0001	1.73457E+17	4.1134E+009
19	330-0404	2.9	2.17	4.09E-007	0.601	0.0012	1.42335E+18	2.7126E+010
20	336-0542	2.9	3.1	2.27E-007	0.421	0.0006	6.70447E+17	2.4292E+010

Tablo 5.4: S dalgası yerdeğiştirme spektrumlarından elde edilen deprem kaynak parametreleri (devamı).

No	Deprem No	M_d	f₀ (Hz)	Ω₀ (cm.sn)	r (km)	Δσ (bar)	M₀ (dyne.cm)	E_s (erg)
21	338-1922	2.9	8.27	7.39E-007	0.158	0.0020	2.34643E+18	4.8976E+012
22	339-0701	2.9	2.56	9.27E-008	0.509	0.0002	2.32148E+17	2.2849E+009
23	339-0938	3.1	2.43	2.68E-007	0.537	0.0009	1.00924E+18	1.6262E+010
24	339-1047	2.9	2.36	1.27E-007	0.553	0.0004	4.29593E+17	3.3419E+009
25	341-2222	3.0	3.02	1.50E-007	0.432	0.0004	4.64933E+17	9.7631E+009
26	353-1915	4.2	3.26	5.95E-006	0.400	0.0177	2.07526E+19	1.9394E+013
27	005-1058	2.8	4.68	1.37E-007	0.279	0.0004	4.47172E+17	3.0649E+010
28	008-2333	3.1	4.94	1.10E-007	0.264	0.0003	4.01197E+17	2.3187E+010
29	011-0416	2.8	3.68	8.00E-008	0.354	0.0003	3.2879E+17	5.0567E+009
30	011-2004	3.1	3.41	5.32E-007	0.382	0.0023	2.63893E+18	1.7794E+011
31	012-0611	2.9	5.52	4.52E-008	0.236	0.0001	1.27558E+17	5.4473E+009
32	013-0111	2.8	2.57	8.20E-008	0.507	0.0002	2.17718E+17	1.8077E+009
33	014-1635	3.4	2.56	1.16E-006	0.509	0.0039	4.55285E+18	3.5571E+011
34	015-0509	3.2	3.29	3.47E-007	0.396	0.0012	1.40877E+18	6.7913E+010
35	015-1122	3.0	3.38	1.11E-007	0.386	0.0003	3.45827E+17	7.5625E+009
36	025-1942	3.0	4.76	3.39E-007	0.274	0.0010	1.15383E+18	1.9642E+011
37	028-1807	3.3	2.19	2.03E-006	0.595	0.0079	9.25965E+18	6.8621E+011
38	036-1143	3.1	3.67	6.46E-007	0.355	0.0021	2.45928E+18	3.2651E+011
39	037-2303	2.8	3.34	1.66E-007	0.390	0.0005	5.89897E+17	1.6320E+010
40	047-0112	3.1	3.8	1.29E-007	0.343	0.0004	4.53596E+17	1.4440E+010
41	052-1553	2.9	2.7	1.24E-007	0.483	0.0003	3.75036E+17	4.8243E+009

5.3 Deprem Kaynak Parametreleri Arasındaki İlişkiler

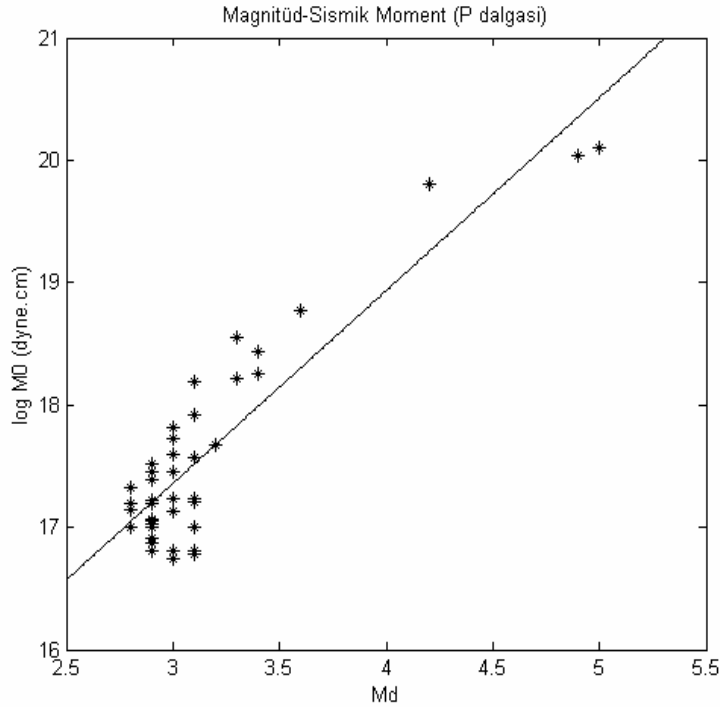
Deprem kaynak parametrelerinin kendi aralarındaki ve diğer parametreler arasındaki ilişkileri en küçük kareler yöntemi uygulanarak grafiksel olarak verilmiştir.

5.3.1 Magnitüd-Sismik Moment İlişkisi

Şekil 5.18’de süreden hesaplanan süre magnitüd ve sismik moment arasındaki ilişki gösterilmiştir. Süre magnitüd değerleri 2.8 ile 3.4 arasında kümелendiği gözlenmiştir. Depremlerin sismik momentleri 10^{16} ile 10^{18} dyne.cm arasında değişirken, $M_d=5.0$ büyüklüğündeki Kuş Gölü depremi için hesaplanan sismik moment $1.265 \cdot 10^{20}$ dyne.cm’dir. Süre magnitüd değerleri arttıkça, sismik moment değerlerinin de artması beklenir. 41 depremin P dalgası için hesaplanan sismik moment ve süre magnitüd ilişkisi için;

$$\log M_0 (\text{dyne.cm}) = (1.29 \pm 0.51)M_d + (13.68 \pm 1.6) \quad (5.4)$$

bağıntısı elde edilmiştir.

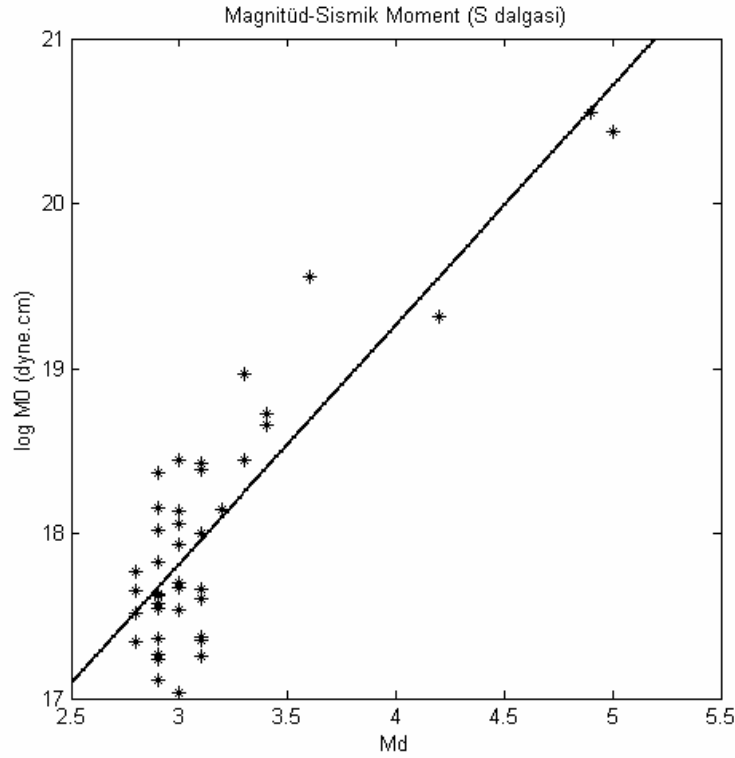


Şekil 5.18: P dalgası yerdeğiştirme spektrumlarından hesaplanan sismik moment ve süre magnitüd ilişkisi.

Şekil 5.19’da ise S dalgası yerdeğiştirme spektrumlarından hesaplanan sismik moment ve süre magnitüd ilişkisi görülmektedir. Depremlerin S dalgası için hesaplanan sismik moment ve süre magnitüd ilişkisi için;

$$\log M_0 = (1.45 \pm 0.26)M_d + (13.47 \pm 0.83) \quad (5.5)$$

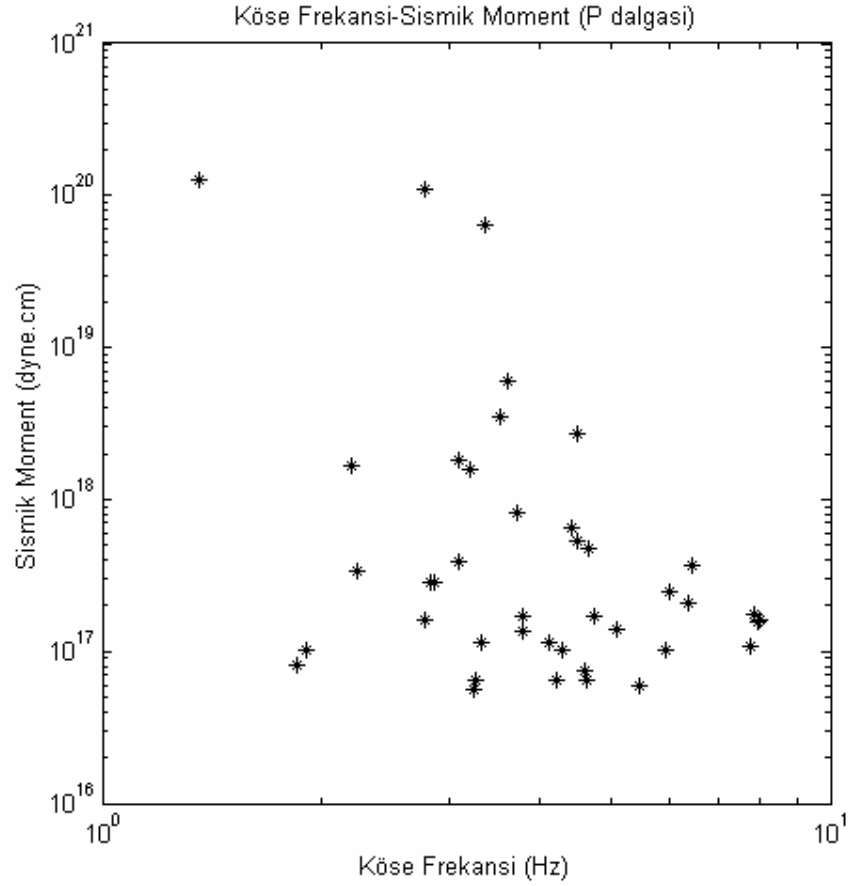
bağıntısı elde edilmiştir.



Şekil 5.19: S dalgası yerdeğiştirme spektrumlarından hesaplanan sismik moment ve süre magnitüd ilişkisi.

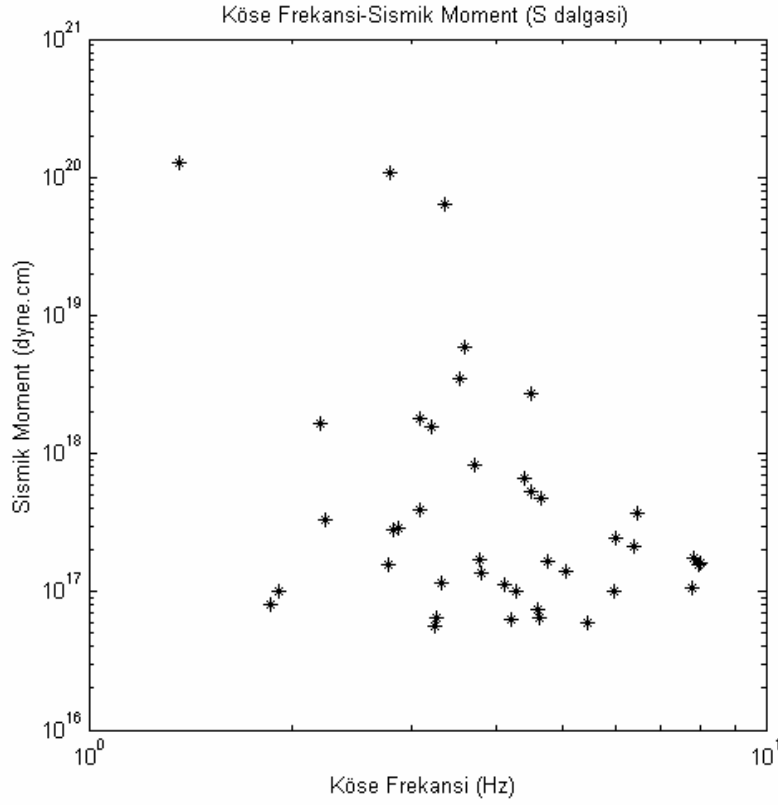
5.3.2 Köşe Frekansı-Sismik Moment İlişkisi

Sismik moment hesaplanırken köşe frekansı hesaplamalarda kullanılmadığından dolayı, köşe frekansı ile sismik moment arasında doğrudan bir ilişki yoktur. Ancak diğer parametrelerle olan değişimleri bu parametrelerin ilişkilendirilmesine neden olur. Süre magnitüd arttıkça sismik moment artar, köşe frekansı azalır. Bu durumda sismik moment ve köşe frekansı arasında bir ters ilişki söz konusudur.



Şekil 5.20: P dalgası yerdeğiştirme spektrumlarından hesaplanan köşe frekansı ve sismik moment ilişkisi.

Şekil 5.21’de ise S dalgası Yerdeğiştirme spektrumlarından elde edilen köşe frekansı-sismik moment ilişkisi gösterilmektedir. Fakat Şekil 5.20 ve Şekil 5.21’de de görüldüğü gibi P ve S dalgası spektrumlarından elde edilen köşe frekansları ve sismik moment değerleri arasında bir ilişki olduğu söylenemez.



Şekil 5.21: S dalgası yerdeğiştirme spektrumlarından hesaplanan köşe frekansı ve sismik moment ilişkisi.

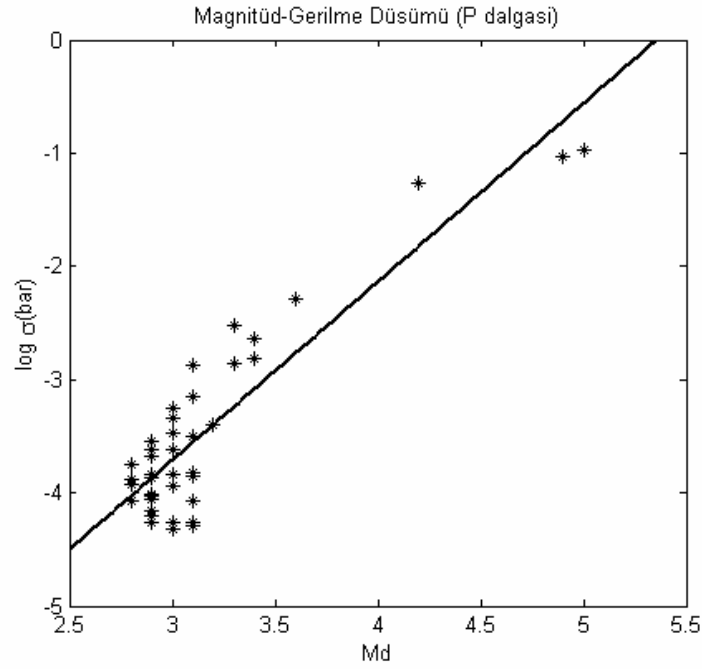
5.3.3 Magnitüd-Gerilme Düşümü İlişkisi

Bölüm 5.3.1’de, sismik momentin süre magnitüd ile ilişkisi anlatılmıştı. Buna göre, büyüklük arttıkça sismik moment değerleri de artmaktaydı. (4.17) bağıntısına göre, gerilme düşümünün sismik moment ile doğrudan ilişkisi olduğu bilinmektedir. Süre magnitüd ile P dalgası spektrumlarından hesaplanan gerilme düşümü arasındaki ilişki eşitlik (5.6)’te verilmiştir.

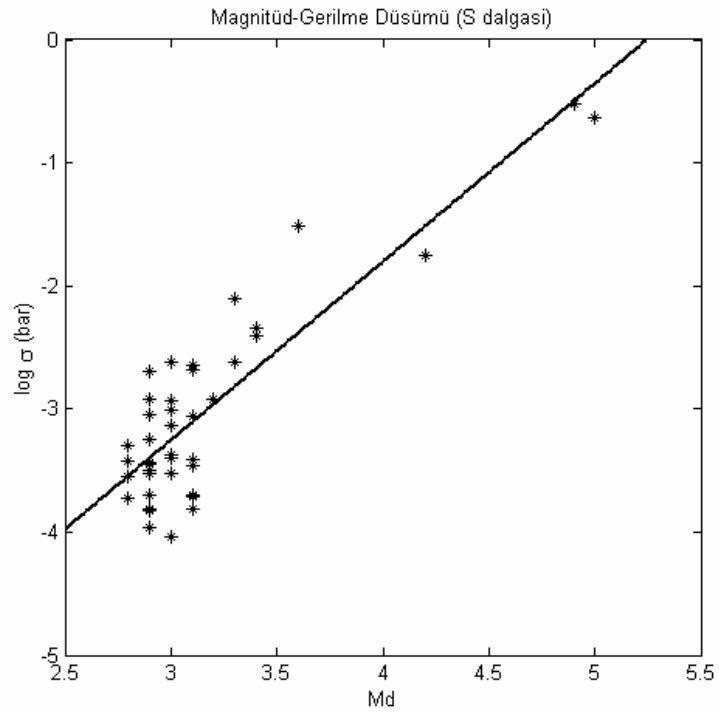
$$\log \Delta\sigma = (1.576 \pm 0.25)M_d - (8.44 \pm 0.78) \quad (5.6)$$

Şekil 5.22’de görüldüğü gibi, aynı büyüklük değerine farklı gerilme düşümü değerleri karşılık gelmiştir. S dalgası spektrumlarından hesaplanan gerilme düşümü arasındaki ilişki eşitlik (5.7)’da verilmiştir.

$$\log \Delta\sigma = (1.45 \pm 0.26)M_d - (7.596 \pm 0.83) \quad (5.7)$$



Şekil 5.22: Süre magnitüd ve P dalgası spektrumlarından elde edilmiş gerilme düşümü ilişkisi.



Şekil 5.23: Süre magnitüd ve S dalgası spektrumlarından elde edilmiş gerilme düşümü ilişkisi.

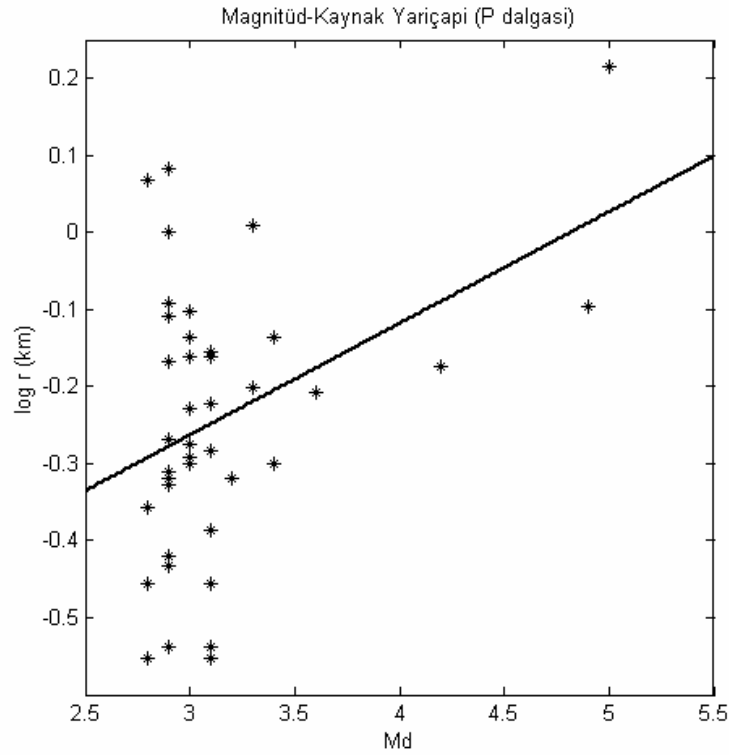
5.3.4 Magnitüd-Kaynak Yarıçapı İlişkisi

Süre magnitüd ve P ve S dalgası spektrumlarından hesaplanan Kaynak yarıçapları arasındaki ilişki Şekil 5.24 ve Şekil 5.25'te gösterilmiştir. P dalgası için süre magnitüd ve kaynak yarıçapı arasındaki ilişki için,

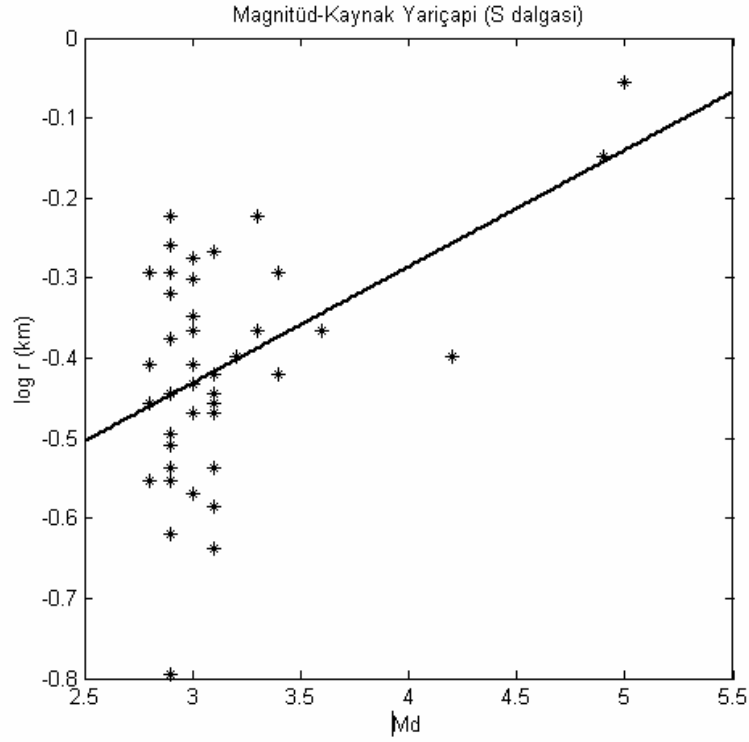
$$\log r = (0.145 \pm 0.11)M_d - (0.697 \pm 0.34) \quad (5.8)$$

bağıntısı elde edilmiştir. S dalgası için süre magnitüd ve kaynak yarıçapı arasındaki ilişki için ise eşitlik (5.9) elde edilmiştir.

$$\log r = (0.145 \pm 0.08)M_d - (0.867 \pm 0.25) \quad (5.9)$$



Şekil 5.24: Süre magnitüd ve P dalgası spektrumlarından elde edilmiş kaynak yarıçapı ilişkisi.



Şekil 5.25: Süre magnitüd ve S dalgası spektrumlarından elde edilmiş kaynak yarıçapı ilişkisi.

5.3.5 Magnitüd-Köşe Frekansı İlişkisi

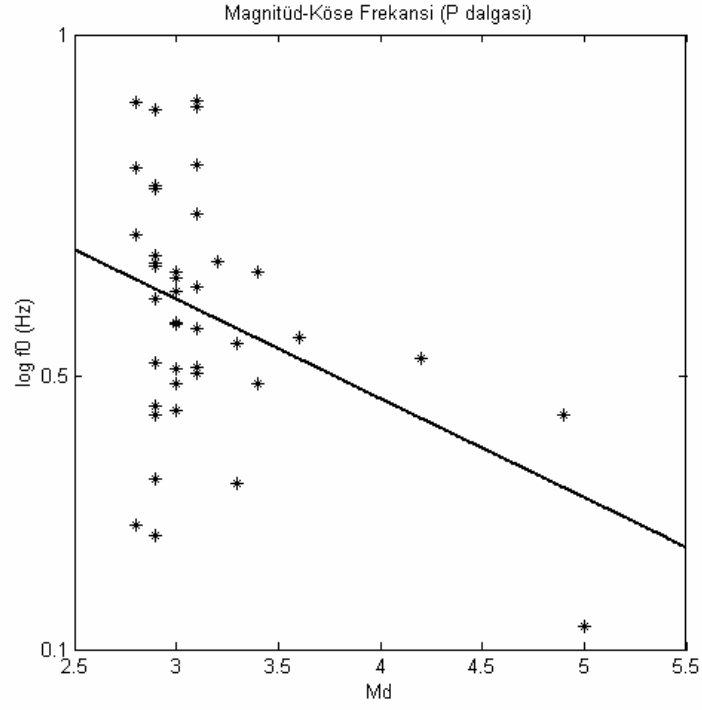
Büyüklik ve P ve S dalgası spektrumlarından okunan köşe frekansları arasındaki ilişki Şekil 5.26 ve Şekil 5.27’de görülmektedir. Büyük magnitüdlü depremlerde, köşe frekansı değerlerinin azaldığı görülmektedir, fakat küçük depremlerde bir saçılma gözlemlenmiştir. Süre magnitüd ve köşe frekansı arasında ideal bir doğrusallık olduğu söylenemez.

P dalgası spektrumlarından okunan köşe frekansı ve süre magnitüd arasındaki ilişki için;

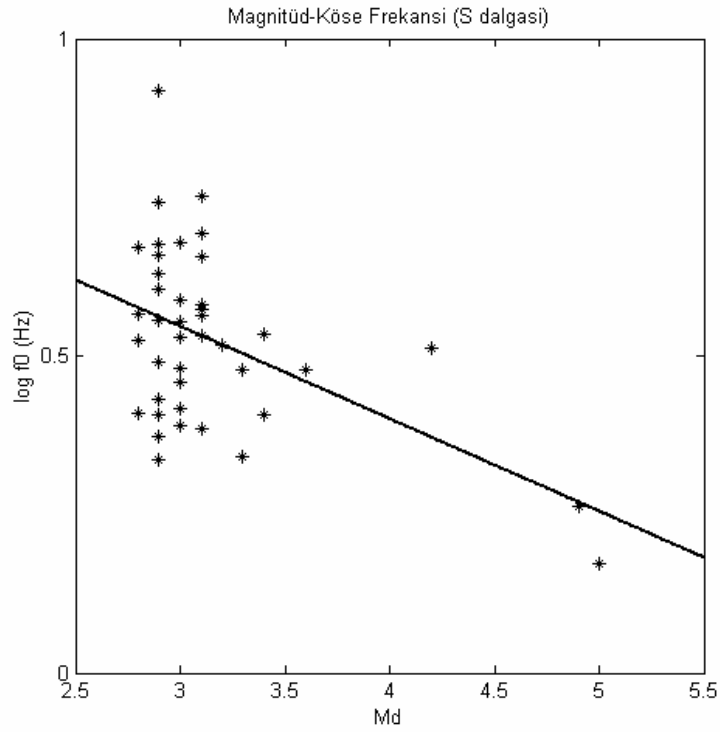
$$\log f_0 = (-0.145 \pm 0.11)M_d + (1.05 \pm 0.34) \quad (5.10)$$

bağıntısı elde edilir. S dalgası spektrumlarından okunan köşe frekansı ve süre magnitüd arasındaki ilişki için ise eşitlik (5.11) bağıntısı elde edilmiştir.

$$\log f_0 = (-0.146 \pm 0.08)M_d + (0.985 \pm 0.25) \quad (5.11)$$



Şekil 5.26: Süre magnitüd ve P dalgası spektrumlarından okunan köşe frekansı ilişkisi.



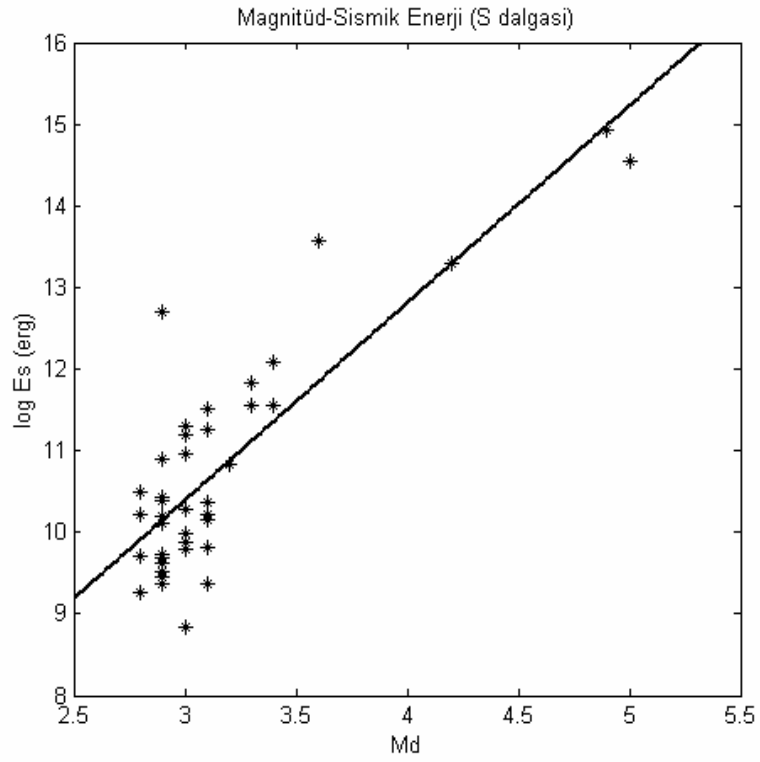
Şekil 5.27: Süre magnitüd ve S dalgası spektrumlarından okunan köşe frekansı ilişkisi.

5.3.6 Magnitüd-Sismik Enerji İlişkisi

S dalgası spektrumlarından hesaplanan sismik enerji ile süre magnitüd arasındaki ilişki için;

$$\log E_s = (2.42 \pm 0.50)M_d + (3.15 \pm 1.6) \quad (5.12)$$

bağıntısı elde edilmiştir. Büyük depremlerde enerjinin de büyük olduğu, küçük depremlerde ise enerjinin düşük olduğu gözlenmiştir. Süre magnitüd-sismik enerji arasındaki doğrusal bir ilişki olduğu Şekil 5.28’de görülmektedir.



Şekil 5.28: Süre magnitüd ve S dalgası spektrumlarından hesaplanan sismik enerji ilişkisi

6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, TÜRDEP kapsamında Marmara Bölgesine yerleştirilmiş 8 adet sayısal sismografa ait hız kayıtlarından yararlanarak, Ekim 2006-Şubat 2007 tarihleri arasında meydana gelen 510 deprem arasından seçilmiş 41 depreme ait kaynak parametreleri P ve S dalgası spektrumları incelenerek spektral yöntemlerle saptanmıştır.

Kaynak parametreleri, depremlerin hız kayıtlarından elde edilen yerdeğiştirme spektrumlarından okunan köşe frekansı ve düşük frekans seviyesi değerlerinden hesaplanmıştır. Yerdeğiştirme spektrumlarını elde etmek için çeşitli veri-işlem teknikleri kullanılmış ve Brune (1970, 1971) kaynak modeli esas alınarak deprem kaynak parametreleri hesaplanmıştır. Bu deprem parametrelerinin aralarındaki ilişkiler incelenmiştir.

Yerdeğiştirme spektrumları üzerinden okunan köşe frekansı değerleri, P dalgası için 1.36 Hz. – 8.01 Hz.; S dalgası için 1.49 Hz. – 8.27 Hz. arasında hesaplanmıştır.

Süre magnitüdü ve Sismik moment arasında P dalgası için;

$$\log M_0 = (1.29 \pm 0.51)M_d + (13.68 \pm 1.6)$$

ve S dalgası için;

$$\log M_0 = (1.449 \pm 0.26)M_d + (13.47 \pm 0.83) \text{ bağıntıları elde edilmiştir.}$$

Kaypak (1995), çalışmasında P dalgası yerdeğiştirme spektrumlarından hesaplanan sismik moment ve süre magnitüd ilişkisini, Erzincan ve çevresi $M_d \leq 3.2$ depremler için;

$$\log M_0 = (0.792 \pm 0.062)M_d + (17.905 \pm 0.111)$$

şeklinde vermiştir. Polat (1995), sismik moment ve süre magnitüd ilişkisini Bursa ve çevresi $1.7 \leq M_d \leq 3.5$ depremler için;

$$\log M_0 = 0.71M_d + 18.42 \text{ şeklinde vermiştir. Yalçınkaya ve Alptekin (2003), sismik}$$

moment ve lokal magnitüd arasındaki ilişkiyi, Dinar ve çevresi $2.5 \leq M_L \leq 4.1$ depremler için;

$\log M_0 = (1.19 \pm 0.14)M_L + (17.08 \pm 0.47)$ şeklinde vermiştir. Biçmen (1992), Marmara Bölgesi'nde $2.5 \leq M_L \leq 4.1$ depremlerin P dalgası için, sismik moment ve lokal magnitüd ilişkisini;

$\log M_0 = 1.30M_L + 14.14$ şeklinde vermiştir.

Süre magnitüd arttıkça, köşe frekansı değeri azalır. Magnitüd arttıkça, sismik momentin de büyüdüğü bilindiğinden, köşe frekansı ve sismik moment arasında bir ters ilişki olması sözkonusu olabilir. Fakat Şekil 5.19 ve Şekil 5.20'deki grafikler incelendiğinde köşe frekansı ve sismik moment arasında doğrudan bir ilişki kurulamamıştır. Polat (1995), sismik moment ile köşe frekansı arasında ters bir ilişkinin sözkonusu olduğunu ve ivme parametrelerinden elde ettiği ilişkinin, yerdeğiştirme parametrelerinden elde ettiği ilişkiye oranla daha uyumlu olduğunu belirtmektedir. Kaypak (1995), köşe frekansının arttıkça, sismik momentin azaldığını belirtmektedir. Sismik moment ve köşe frekansı arasındaki ilişkiyi;

$\log M_0 = (-2.774 \pm 0.355) \log f_0 + (22.219 \pm 0.383)$ bağıntısı ile vermiştir.

Gerilme düşümü ve sismik moment arasında doğrusal bir ilişki olduğu (4.17) bağıntısında verilmişti. Süre magnitüdün arttıkça sismik momentin arttığı bilinmektedir. Buradan, süre magnitüdün arttıkça gerilme düşümünün de artması beklenmektedir. P dalgası için;

$\log \Delta\sigma = (1.576 \pm 0.25)M_d - (8.44 \pm 0.78)$ ilişkisi bulunmuştur. S dalgası için ise;

$\log \Delta\sigma = (1.449 \pm 0.26)M_d - (7.596 \pm 0.83)$ ilişkisi elde edilmiştir. Biçmen (1992), Marmara Bölgesindeki $2.5 \leq M_L \leq 4.1$ depremlerin düşey bileşen P dalgası için, lokal magnitüd-gerilme düşümü ilişkisini;

$\log \Delta\sigma = 0.82M_L - 5.92$ şeklinde vermiştir. Kaypak (1995), süre magnitüd-gerilme düşümü arasında doğrusal bir ilişki bulmuş ve aralarındaki ilişkiyi;

$\log \Delta\sigma = (0.484 \pm 0.066)M_D + 0.852 \pm 0.117$ bağıntısı ile vermiştir.

Süre magnitüd ile kaynak yarıçapı arasında net bir ilişki olduğu bulunamamıştır. Bunun nedeni aynı kaynak yarıçapına sahip farklı büyüklükte depremlerin olabilmesidir. Ancak süre magnitüdün arttıkça kaynak yarıçapının büyüdüğü

gözlenmiştir. Buradan, P dalgası için süre magnitüd ve kaynak yarıçapı arasındaki ilişki;

$\log r = (0.145 \pm 0.11)M_d - (0.697 \pm 0.34)$ şeklinde bulunmuştur. Süre magnitüd ve kaynak yarıçapı arasındaki ilişki S dalgası için;

$\log r = (0.145 \pm 0.08)M_d - (0.867 \pm 0.25)$ şeklinde verilebilir. Polat (1995), süre magnitüd ve kaynak yarıçapı arasındaki ilişkiyi $1.7 \leq M_d \leq 3.5$ depremlerin yerdeğiştirme verisi için;

$\log r = 0.04M_d - 0.66$ şeklinde vermiştir. Kaypak (1995), süre magnitüdü ve kaynak yarıçapı arasında kesin bir ilişki bulamamıştır.

Süre magnitüd ve köşe frekansı arasında net bir ilişki bulunmasa da, genelde büyük magnitüdlü depremlerde köşe frekansı değerinin azaldığı gözlenmiştir. P dalgasından elde edilen yerdeğiştirme spektrumlarından okunan köşe frekansı ve süre magnitüdü arasındaki ilişki;

$\log f_0 = (-0.145 \pm 0.11)M_d + (1.05 \pm 0.34)$ bağıntısı elde edilmiştir. S dalgasından elde edilen yerdeğiştirme spektrumlarından okunan için köşe frekansı ve süre magnitüdü arasındaki ilişki ise;

$\log f_0 = (-0.146 \pm 0.08)M_d + (0.985 \pm 0.25)$ bağıntısı elde edilmiştir. Kaypak (1995), köşe frekansı ve süre magnitüdü arasındaki ilişkiyi;

$\log f_0 = (-0.099 \pm 0.024)M_d + (1.238 \pm 0.042)$ şeklinde vermiştir.

Süre magnitüd ve sismik enerji arasında doğrusal bir ilişki sözkonusudur. Büyük depremlerde enerji büyük, küçük depremlerde enerji de küçüktür. S dalgası spektrumlarından elde edilen sismik enerji ve süre magnitüd arasında;

$\log E_s = (2.42 \pm 0.50)M_d + (3.15 \pm 1.6)$ şeklinde bir bağıntı elde edilmiştir. Polat (1995), S dalga enerjisi ve süre magnitüdü arasındaki ilişkiyi yerdeğiştirme verileri için;

$\log E_s = 1.36M_d + 11.12$ bağıntısı ile vermiştir.

P ve S dalgaları için ayrı ayrı kaynak parametreleri hesaplanmış ve ilişki grafikleri çizilmiştir. P ve S dalgalarından hesaplanan kaynak parametrelerinin, kendi aralarındaki ve süre magnitüdü arasındaki ilişkilerin birbirine çok yakın olduğu gözlenmiştir.

Bu alışmada, Marmara Bölgesinde Ekim 2006-şubat 2007 tarihleri arasında meydana gelen 510 deprem arasından seçilen 41 deprem içinde $M_d > 3.4$ olan üç deprem bulunmaktadır. Depremlerin kaynak parametrelerinin ilişkileri incelenirken $3.4 < M_d \leq 5.0$ arasında bir sismik boşluk oluşmuştur. Değerlendirme yapılırken çalışmaya büyüklükleri daha çok $3.4 < M_d \leq 5.0$ arasında olan depremlerin eklenmesi daha sağlıklı bilgiler elde edilmesini sağlayacaktır.

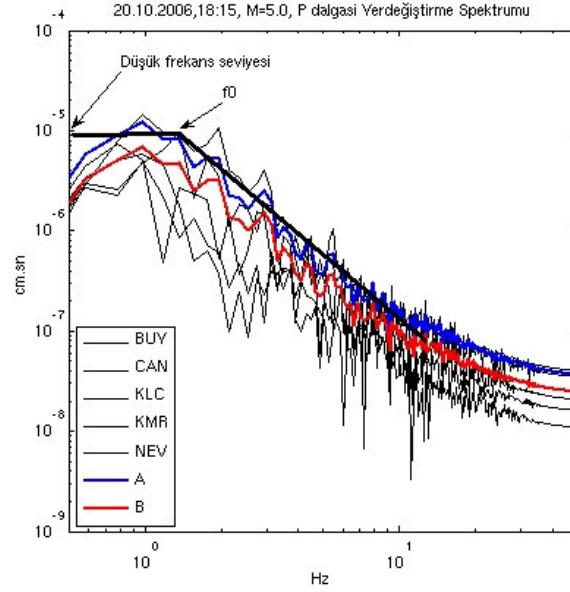
KAYNAKLAR

- Aki, K.**, 1966. Generation and Propagation of G-waves From the Niigata Earthquake of June 16, 1964. Part 2: Estimation of Earthquake Moment, Released Energy and Stress-Strain Drop From the G-Wave Spectrum, *Bull. Earthquake Res. Inst.*, Tokyo Univ., **44**, 73-88.
- Aki, K.**, 1967. Scaling Law of Seismic Spectrum, *J. Geophys. Res.*, **72**, 1217-1231.
- Ambraseys, N.**, 2002. The Seismic Activity of The Marmara Sea Region During The Last 2000 Years, *Bull. Seism. Soc. Am.* **92**, 1-18.
- Archuleta, R.J., Cranswick, E., Mueller, C. and Spudich, P.**, 1982. Source Parameters of the 1980 Mammoth Lakes, California, Earthquake Sequence, *Journal of Geophysical Research*, **87**, 4595-4607.
- Armijo, R., Meyer, B., Navarro, S., King, G. and Barka, A.**, 2002. Asymmetric Slip Partitioning in The Sea of Marmara Pull-Apart: A Clue to Propagation Processes of the North Anatolian Fault, *Terra Nova*, **14**(2), 80-86.
- Atakan, K., Ojeda, A., Meghraoui, M., Barka, A.A. Erdik, M. Ve Bodare, A.**, 2002, Seismic hazard in Istanbul following the 17 August 1999 İzmit and 12 November 1999 Düzce earthquakes, *Bull. Seism. Soc. Amer.*, **92**,1, 466-482.
- Bıçmen, F.**, 1992. Marmara Bölgesindeki Yerel Depremlerin Kaynak Parametrelerinin Belirlenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Brune, J. N.**, 1970. Tectonic Stress and The Spectra of Seismic Shear Waves from Earthquakes, *J. Geophys. Res.*, **75**, 4997-5009.
- Brune, J. N.**, 1971. Correction, *J. Geophys. Res.*, **76**, 5002.
- Duda, S. J.**, 1978. Physical Significance of the Earthquake Magnitude the Present State of Interpretation of Concept, In Aki, K. and Duda, S. J. (eds.), *Quantifications of Earthquakes, Tectonophysics*, **49**, 119-130.
- Geçgel, V.**, Kişisel Görüşme.
- Hanks, T. C. and Thatcher, W.**, 1972. A Graphical Representation of Seismic Source Parameters, *J. Geophys. Res.*, **77**, 4393-4405.
- Hanks, T. C. and Wyss, M.**, 1972. The Use Body-Wave Spectra in The Determination of Seismic Source Parameters, *Bull. Seism. Soc. Am.*, **62**, 561-589.
- Haskell, N. A.**, 1964. Total Energy and Energy Spectral Density of Elastic-Wave Radiation from Propagating Faults, *Bull. Seism. Soc. Am.*, **54**, 1811-1841.
- Horasan, G., Boztepe-Güney, A.**, 2004. S-wave Attenuation in The Sea of Marmara, Turkey, *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, **142**, 215-224.
- Iio, Y.**, 1992. Seismic Source Spectrum of Microearthquakes, *Bull. Seism. Soc. Am.*, **82**, 2391-2409.

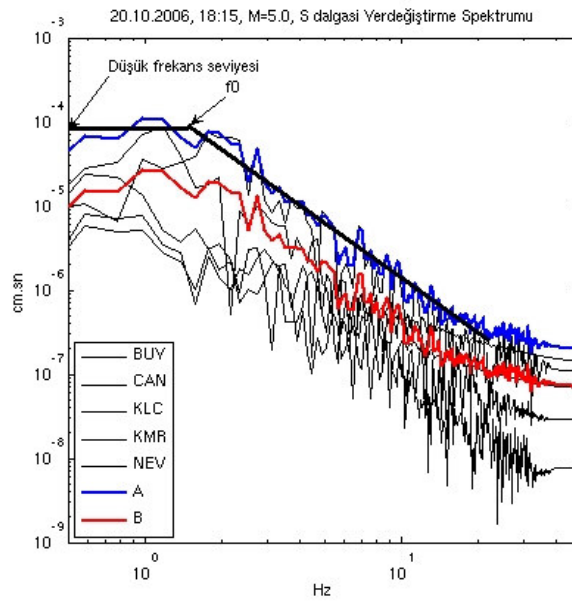
- Kasahara, K.**, 1957. The Nature of the Seismic Origins as Inferred from Seismological and Geodetic Observations, *Bull. Earthquake Res.*, Inst. Tokyo Univ., **35**, 473-530.
- Kasahara, K.**, 1981. Earthquake Mechanics, *Cambridge Univ. Pres.*, London.
- Kaypak, B.**, 1995. 13 Mart 1992 Erzincan Depremi Artsarsıntıları Kaynak Parametreleri, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Keilis-Borok, V. I.**, 1960. Investigation of The Mechanism of Earthquakes, *Sov. Res. Geophys.* (English transl.), **4**, 29.
- Ketin, İ.**, 1983. Türkiye Jeolojisine Genel Bir Bakış, *İ.T.Ü. Kütüphanesi*, **1259**, İstanbul.
- Polat, O.**, 1995. Bursa ve Çevresindeki Küçük Depremlerin İvme Kayıtlarının İncelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Reid, M.**, 1910. The Mechanism of The Earthquake: The California Earthquake of April 8, 1906, *Report of State Investigation Commision* (Carnegie Institution of Washington), **2**.
- Yalçinkaya, E. and Alptekin, Ö.**, 2003. Relationship Among Source Parameters of Aftershocks of The October 1, 1995 Dinar (Turkey) Earthquake, *Journal of the Balkan Geophysical Society*, **6**, 53-65.

EKLER

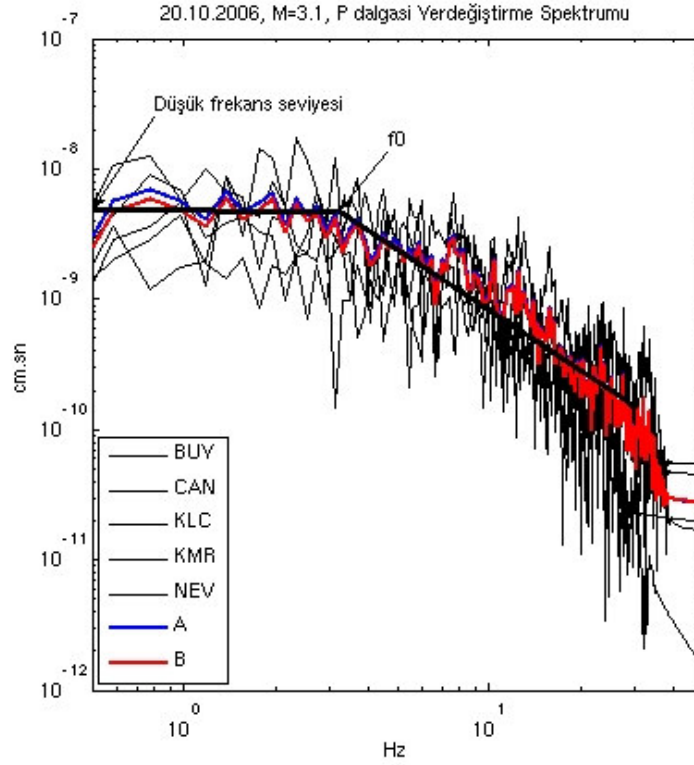
Ek A : Çalışmada kullanılan depremlere ait yerdeğiştirme spektrumları



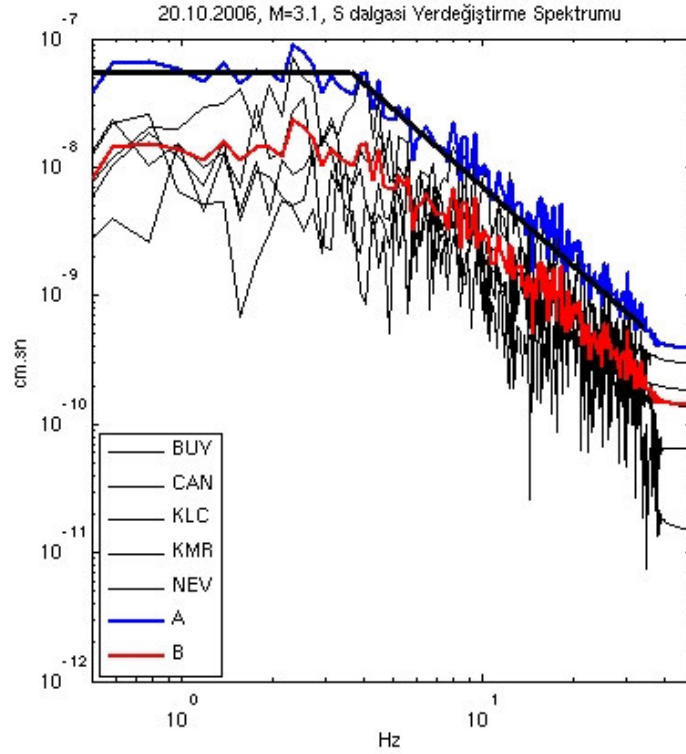
Şekil A.1 : 20.10.2006, 18:15, M=5.0 depremi P dalgası Yerdeğiştirme Spektrumu



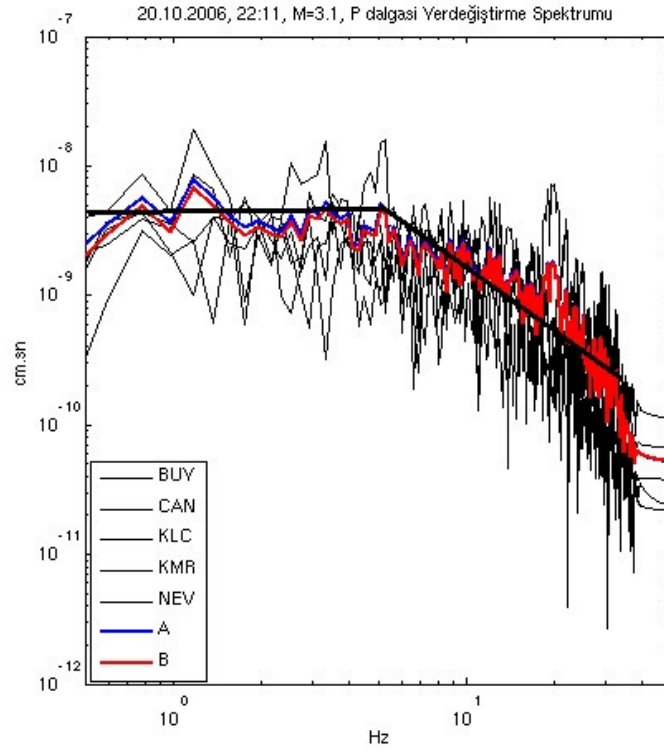
Şekil A.2 : 20.10.2006, 18:15, M=5.0 depremi S dalgası Yerdeğiştirme Spektrumu



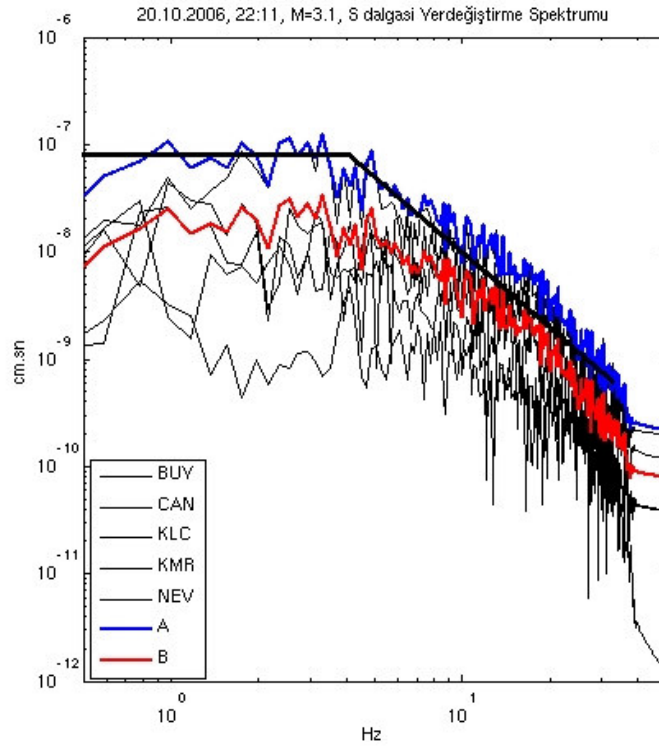
Şekil A.3 : 20.10.2006, 18:55, M=3.1 depremi P dalgası Yerdeğiştirme Spektrumu



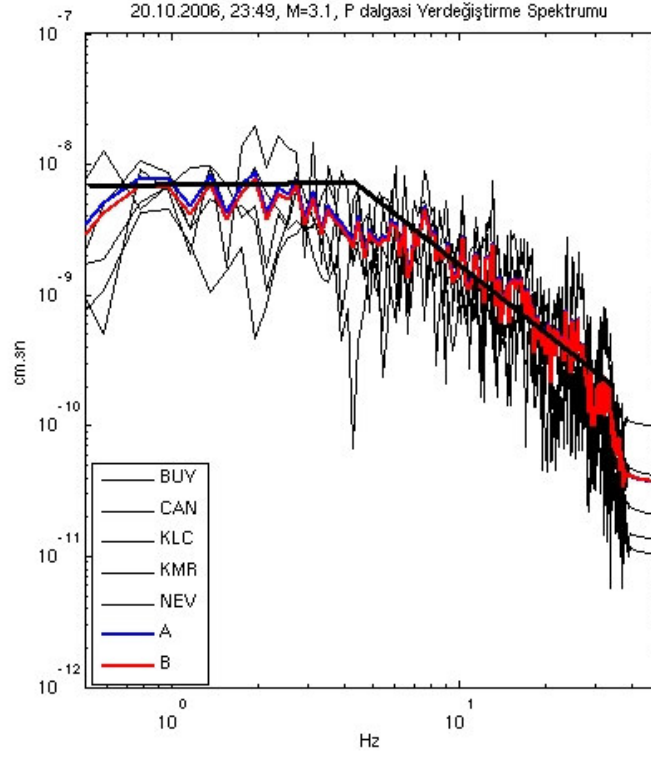
Şekil A.4 : 20.10.2006, 18:55, M=3.1 depremi S dalgası Yerdeğiştirme Spektrumu



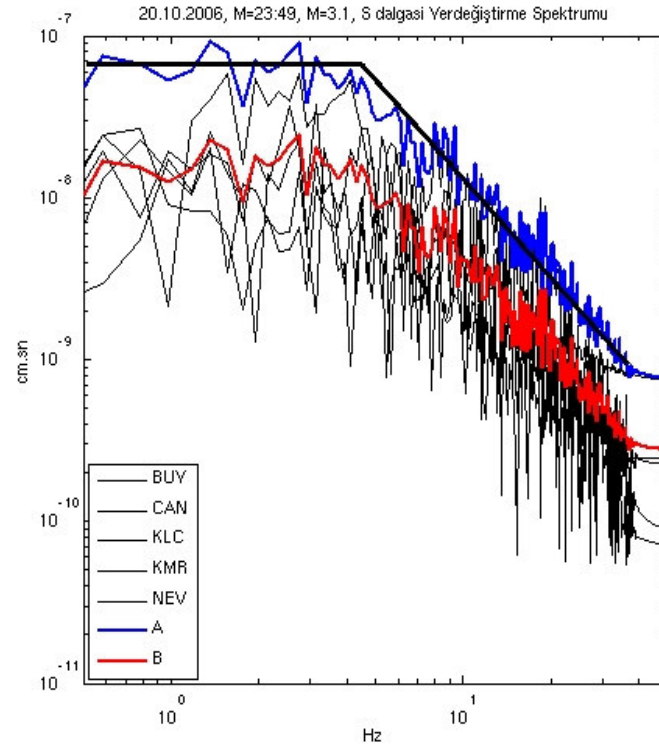
Şekil A.5 : 20.10.2006, 22:11, M=3.1 depremi P dalgası Yerdeğiştirme Spektrumu



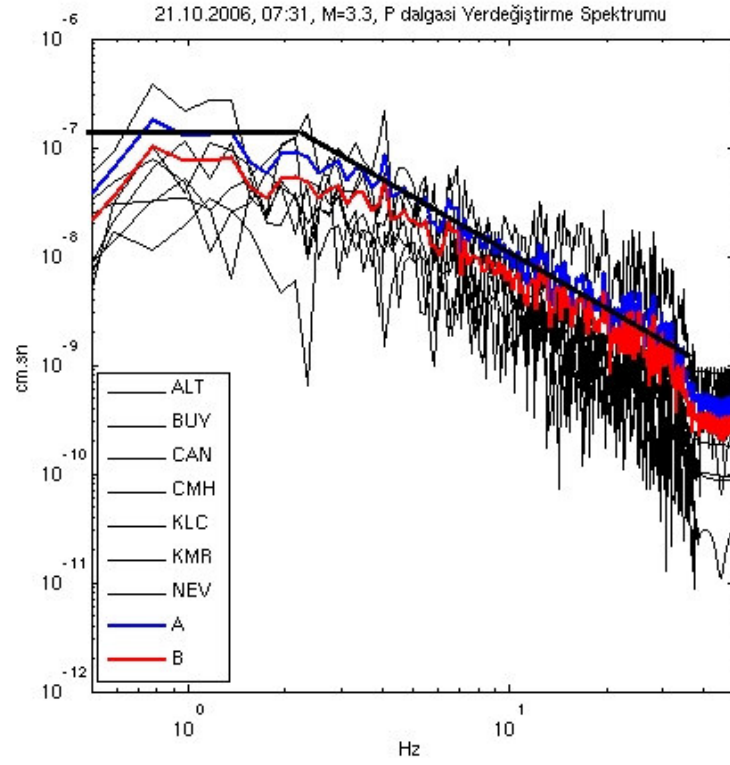
Şekil A.6 : 20.10.2006, 22:11, M=3.1 depremi S dalgası Yerdeğiştirme Spektrumu



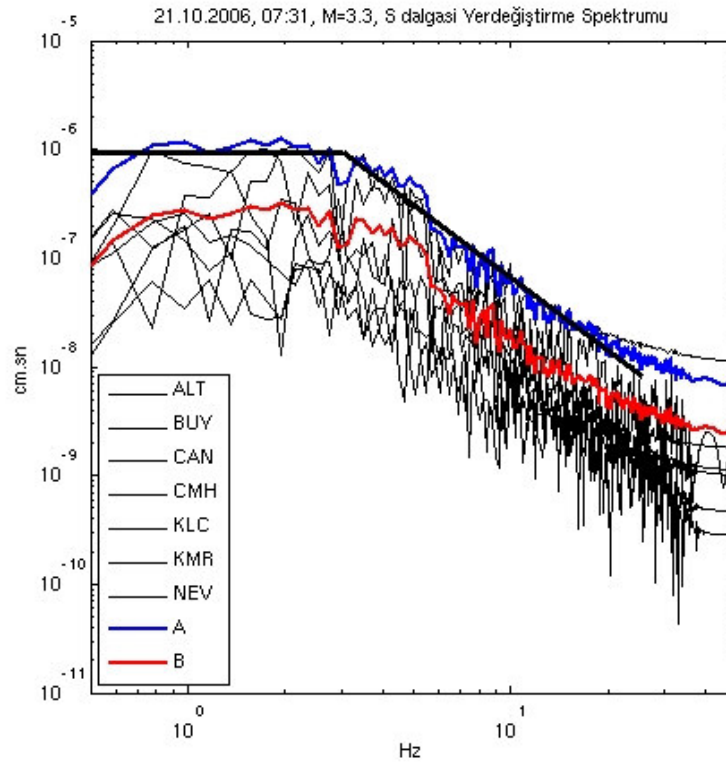
Şekil A.7 : 20.10.2006, 23:49, M=3.1 depremi P dalgası Yerdeğiştirme Spektrumu



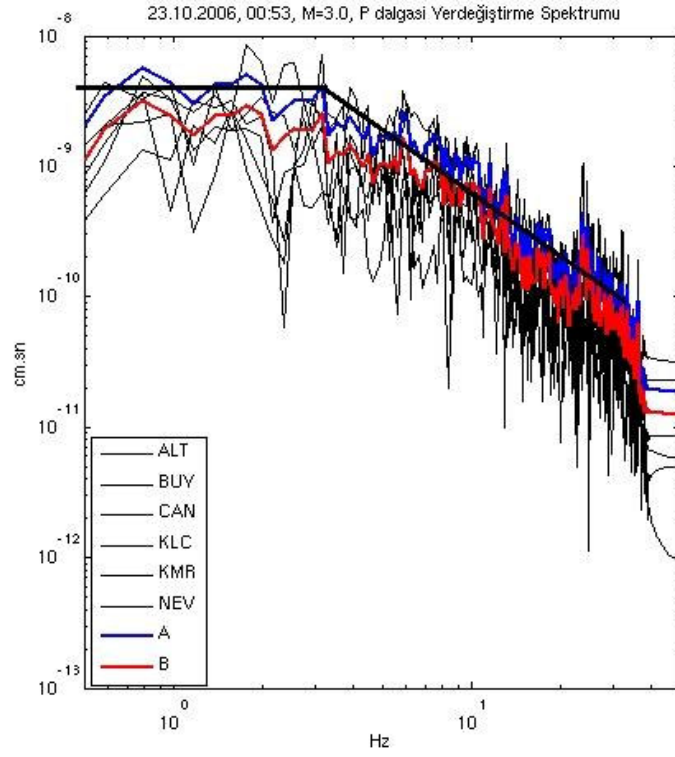
Şekil A.8 : 20.10.2006, 23:49, M=3.1 depremi S dalgası Yerdeğiştirme Spektrumu



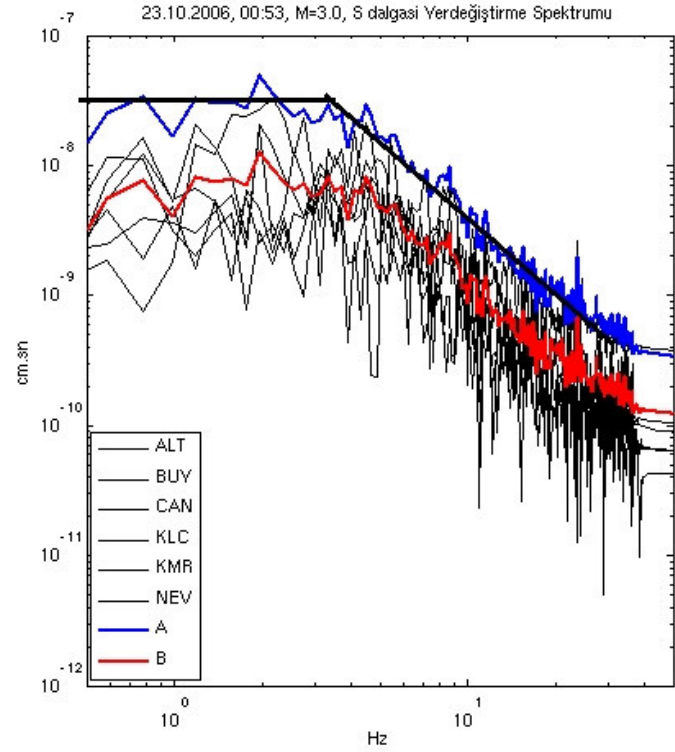
Şekil A.9 : 21.10.2006, 07:31, M=3.3 depremi P dalgası Yerdeğiştirme Spektrumu



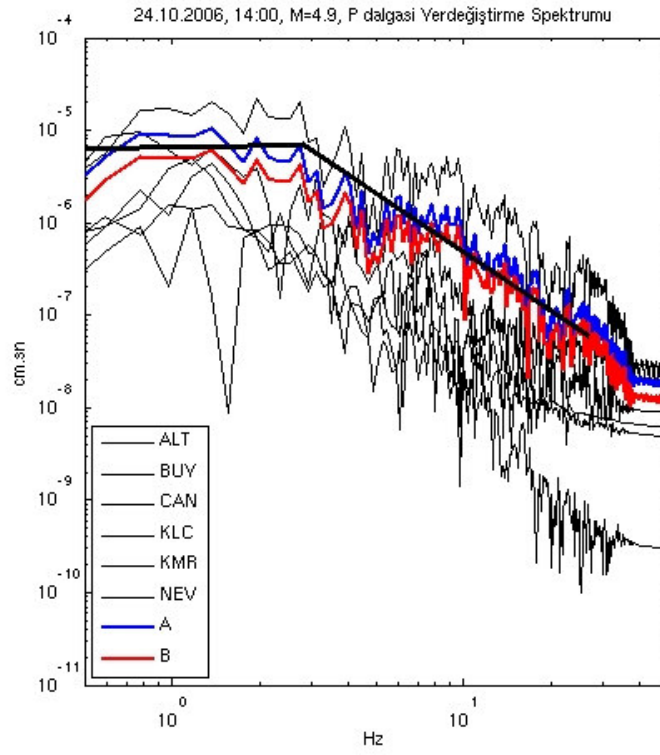
Şekil A.10 : 21.10.2006, 07:31, M=3.3 depremi S dalgası Yerdeğiştirme Spektrumu



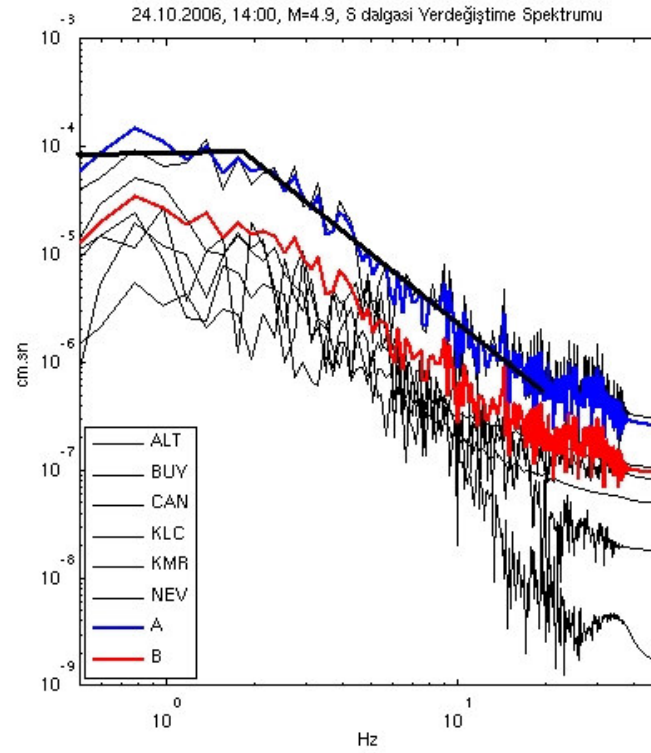
Şekil A.11 : 23.10.2006, 00:53, M=3.0 depremi P dalgası Yerdeğiştirme Spektrumu



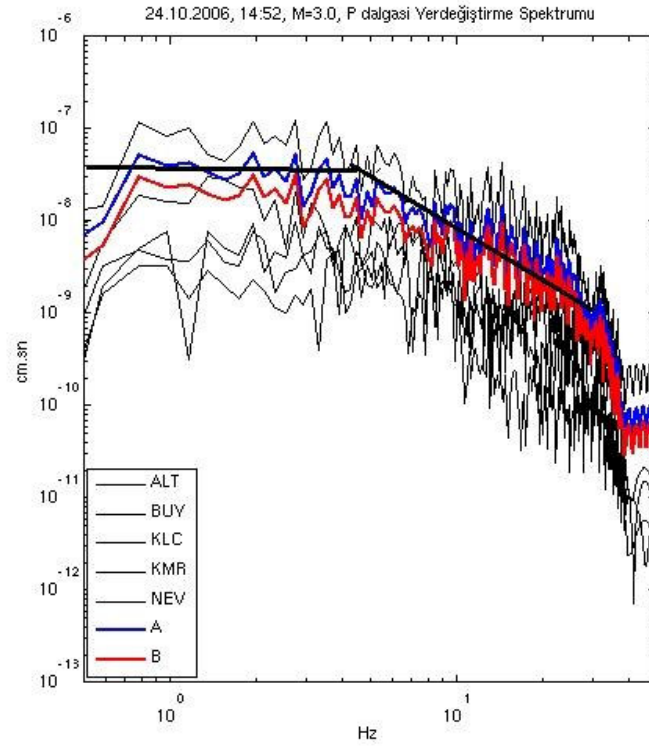
Şekil A.12 : 23.10.2006, 00:53, M=3.0 depremi S dalgası Yerdeğiştirme Spektrumu



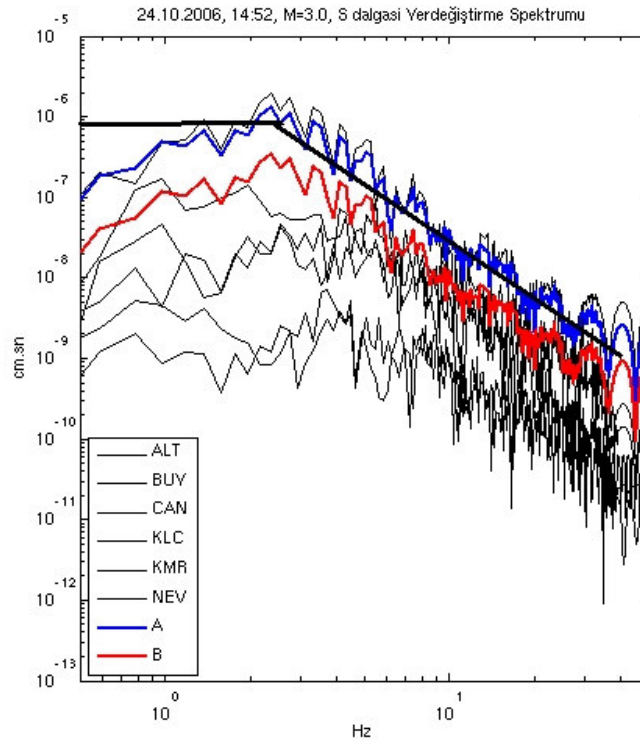
Şekil A.13 : 24.10.2006, 14:00, M=4.9 depremi P dalgası Yerdeğiştirme Spektrumu



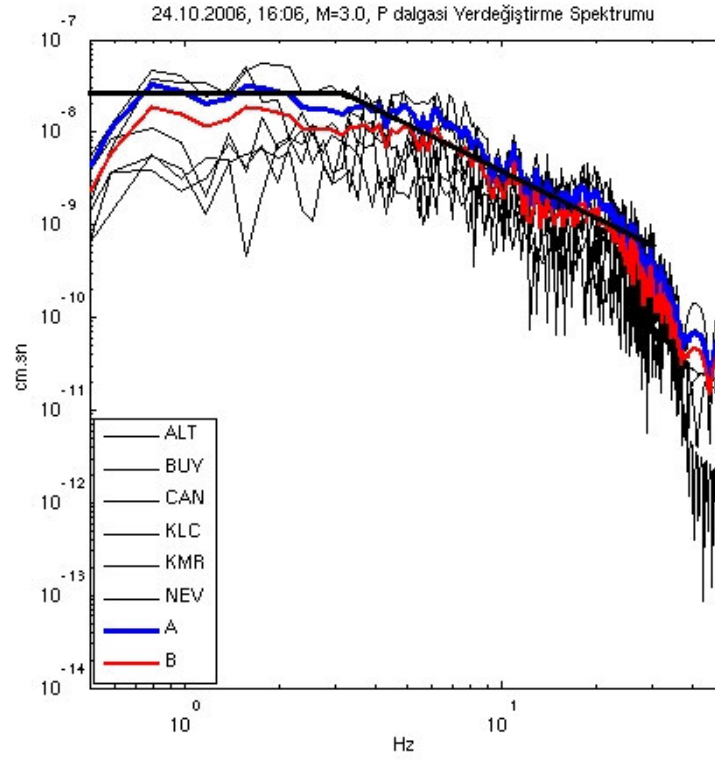
Şekil A.14 : 24.10.2006, 14:00, M=4.9 depremi S dalgası Yerdeğiştirme Spektrumu



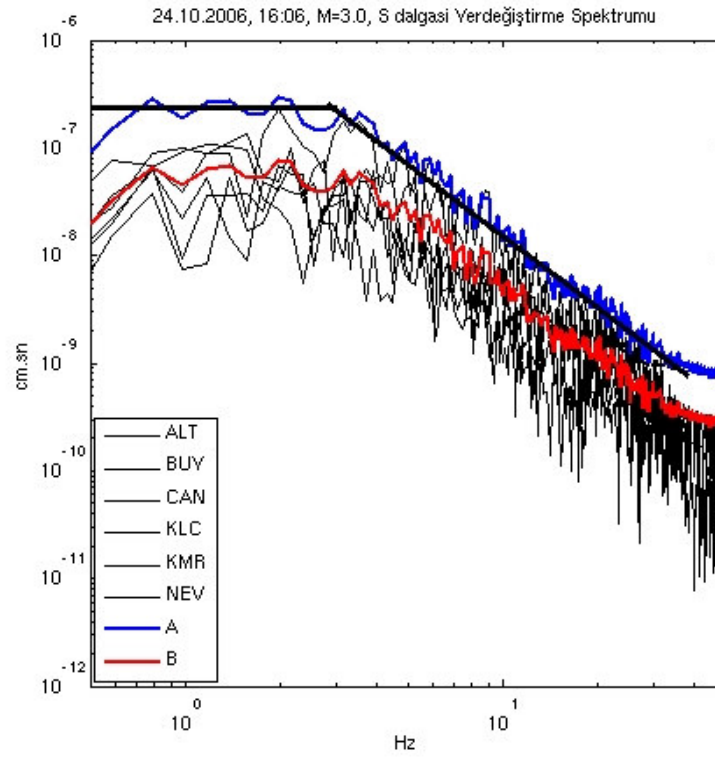
Şekil A.15 : 24.10.2006, 14:52, M=3.0 depremi P dalgası Yerdeğiştirme Spektrumu



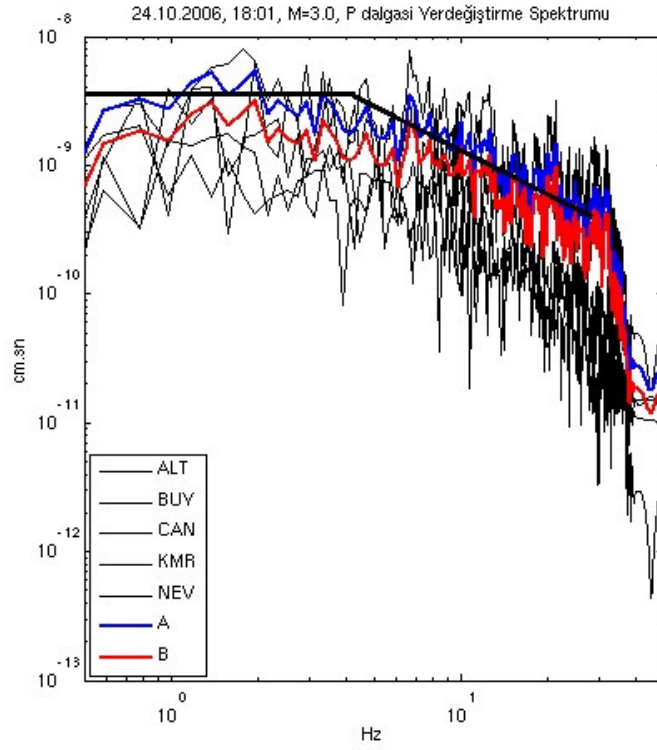
Şekil A.16 : 24.10.2006, 14:52, M=3.0 depremi S dalgası Yerdeğiştirme Spektrumu



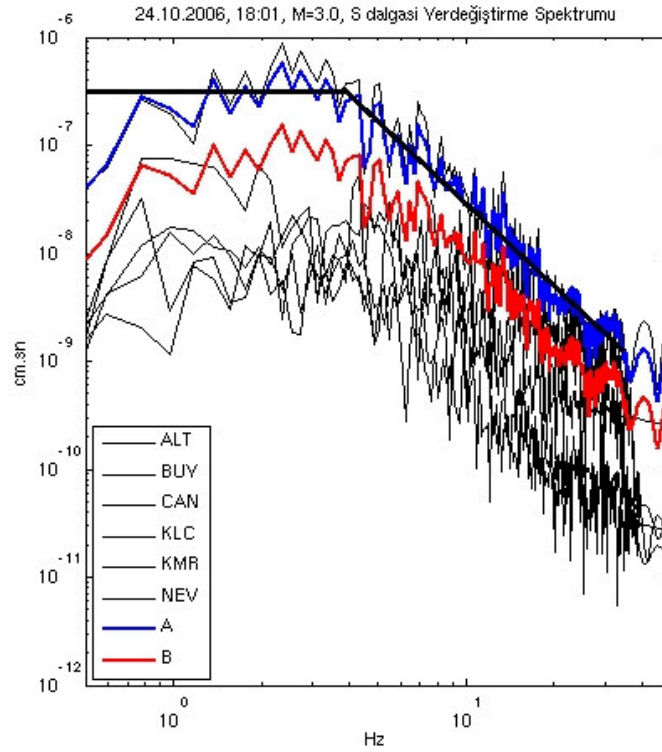
Şekil A.17 : 24.10.2006, 16:06, M=3.0 depremi P dalgası Yerdeğiştirme Spektrumu



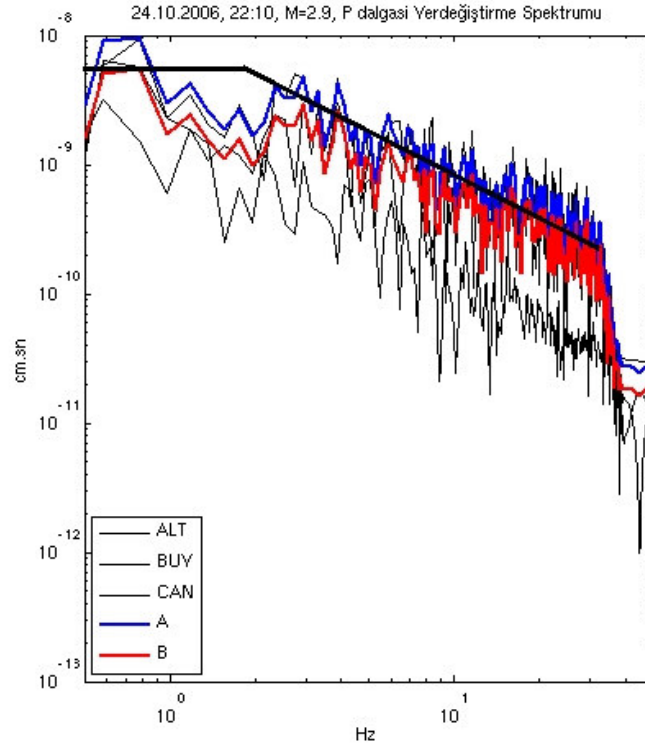
Şekil A.18 : 24.10.2006, 16:06, M=3.0 depremi S dalgası Yerdeğiştirme Spektrumu



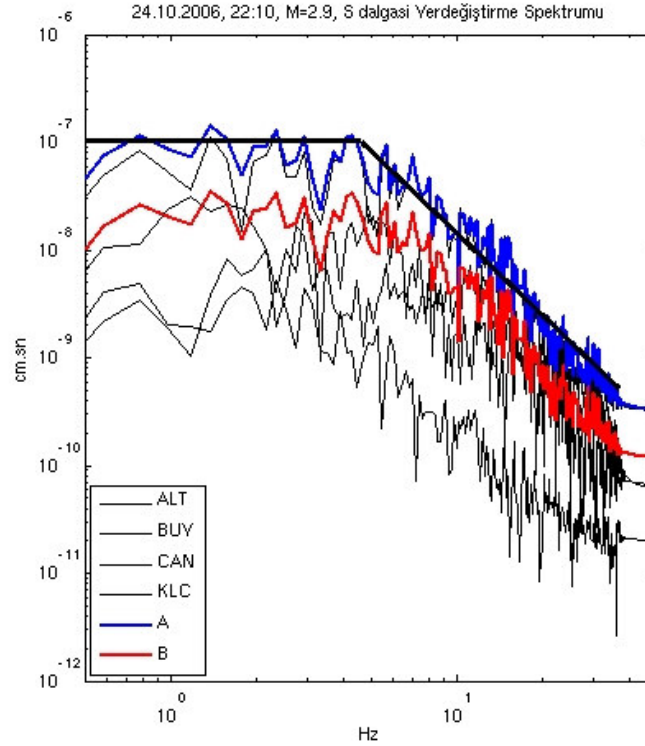
Şekil A.19 : 24.10.2006, 18:01, M=3.0 depremi P dalgası Yerdeğiştirme Spektrumu



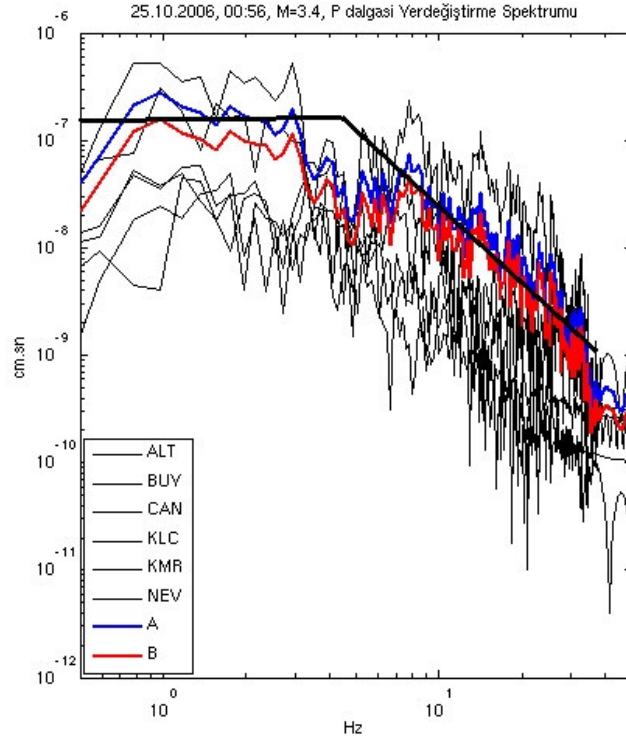
Şekil A.20 : 24.10.2006, 18:01, M=3.0 depremi S dalgası Yerdeğiştirme Spektrumu



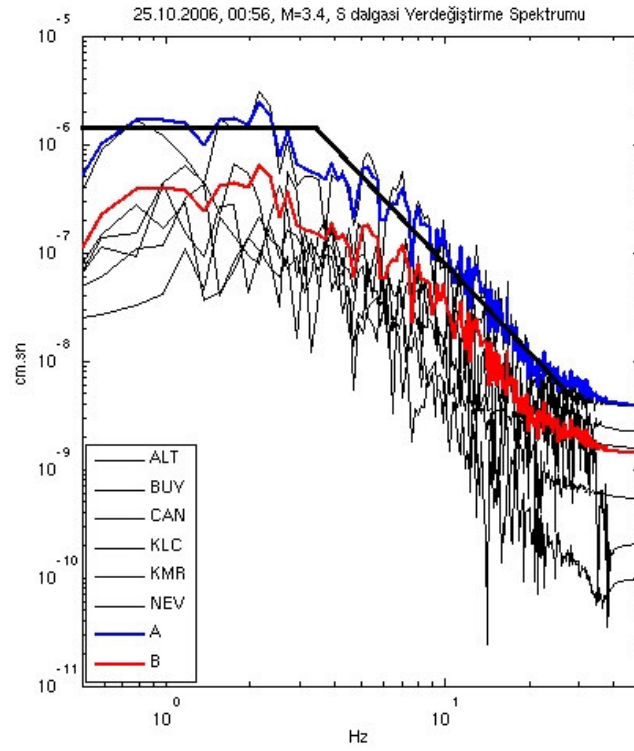
Şekil A.21 : 24.10.2006, 22:10, M=2.9 depremi P dalgası Yerdeğiştirme Spektrumu



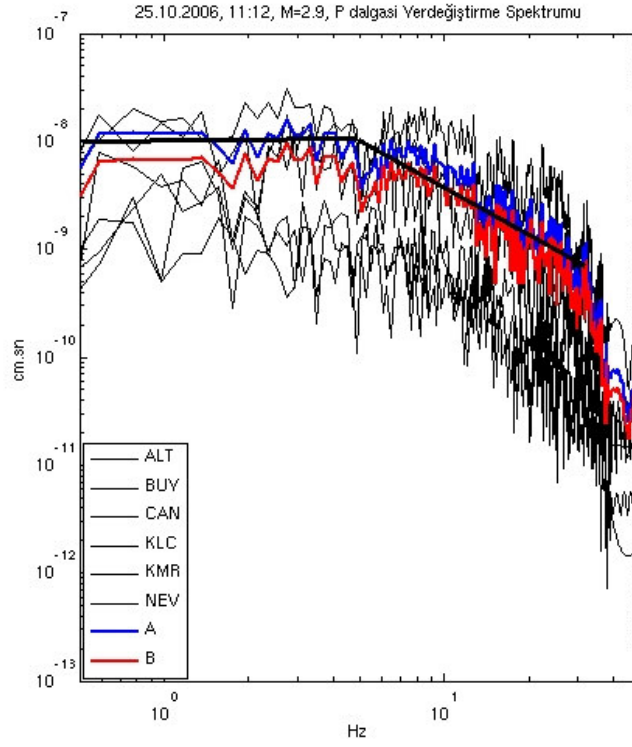
Şekil A.22 : 24.10.2006, 22:10, M=2.9 depremi S dalgası Yerdeğiştirme Spektrumu



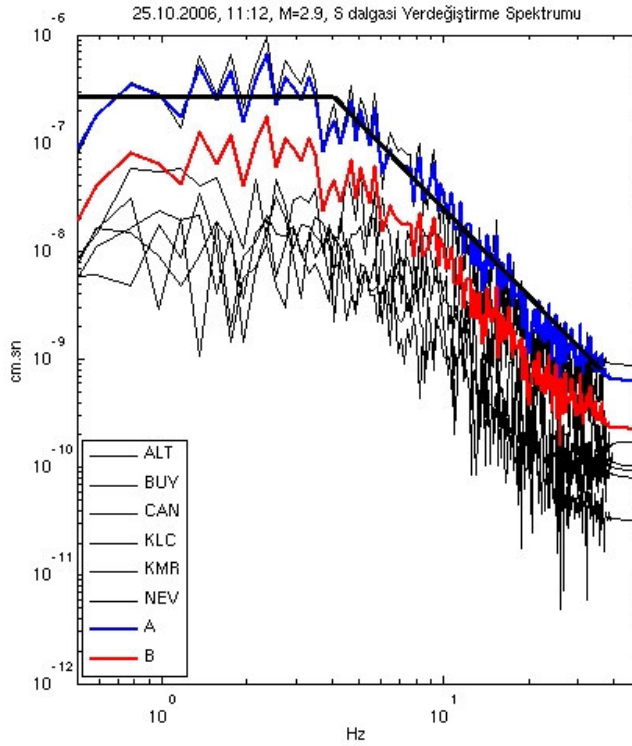
Şekil A.23 : 25.10.2006, 00:56, M=3.4 depremi P dalgası Yerdeğiştirme Spektrumu



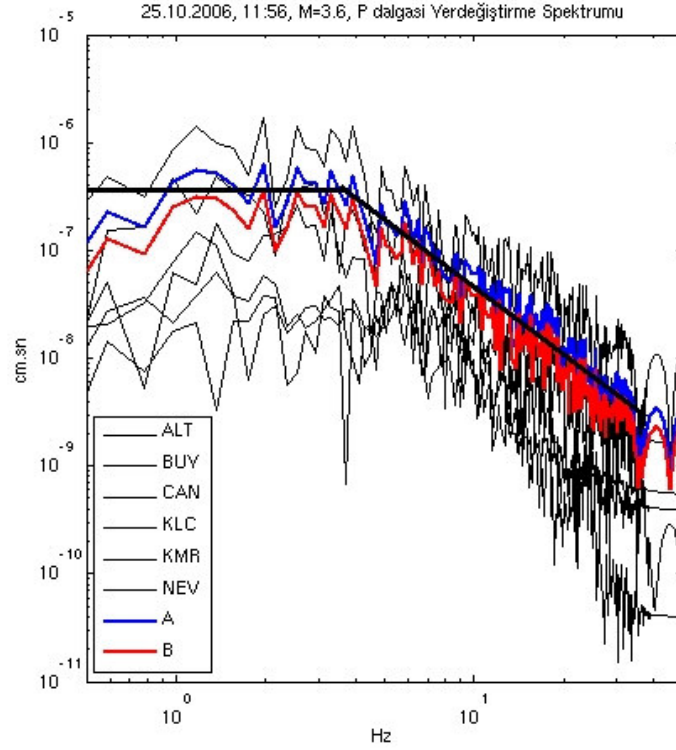
Şekil A.24 : 25.10.2006, 00:56, M=3.4 depremi S dalgası Yerdeğiştirme Spektrumu



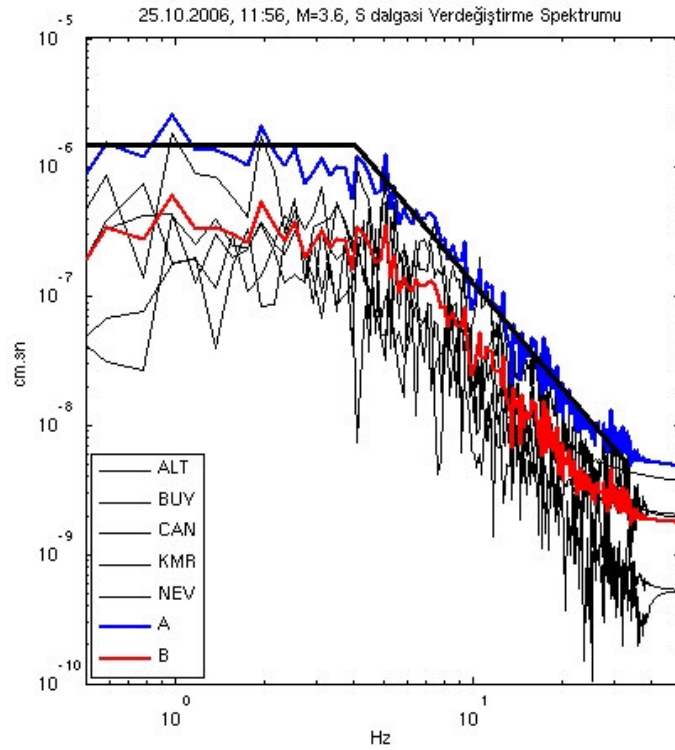
Şekil A.25 : 25.10.2006, 11:12, M=2.9 depremi P dalgası Yerdeğiştirme Spektrumu



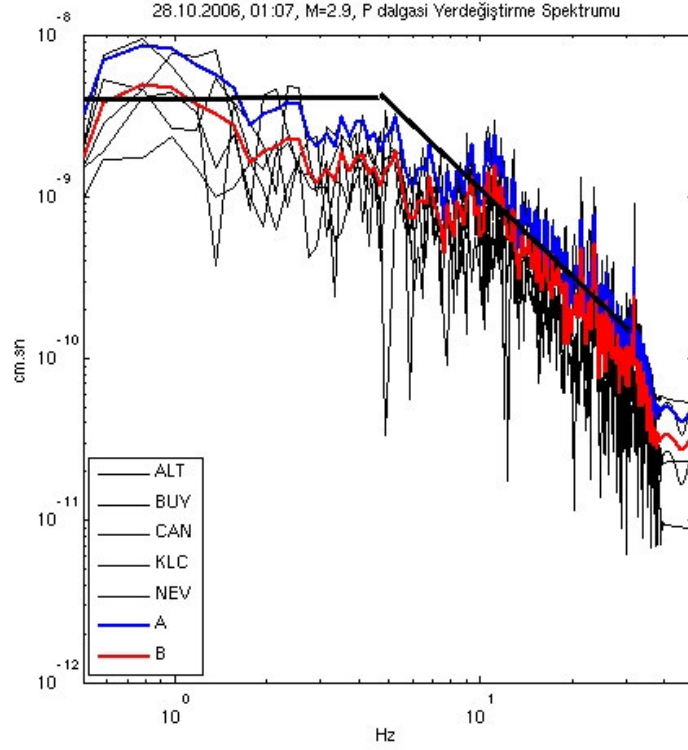
Şekil A.26 : 25.10.2006, 11:12, M=2.9 depremi S dalgası Yerdeğiştirme Spektrumu



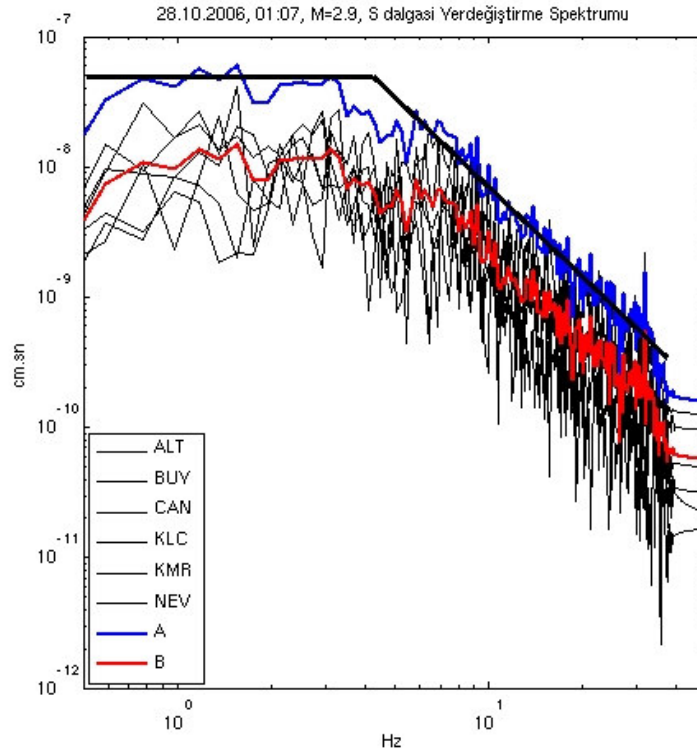
Şekil A.27 : 25.10.2006, 11:56, M=3.6 depremi P dalgası Yerdeğiştirme Spektrumu



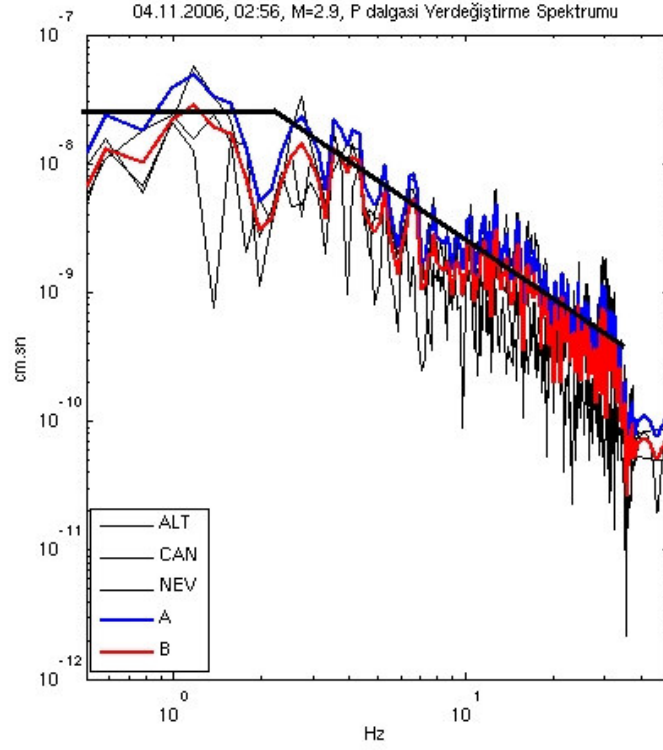
Şekil A.28 : 25.10.2006, 11:56, M=3.6 depremi S dalgası Yerdeğiştirme Spektrumu



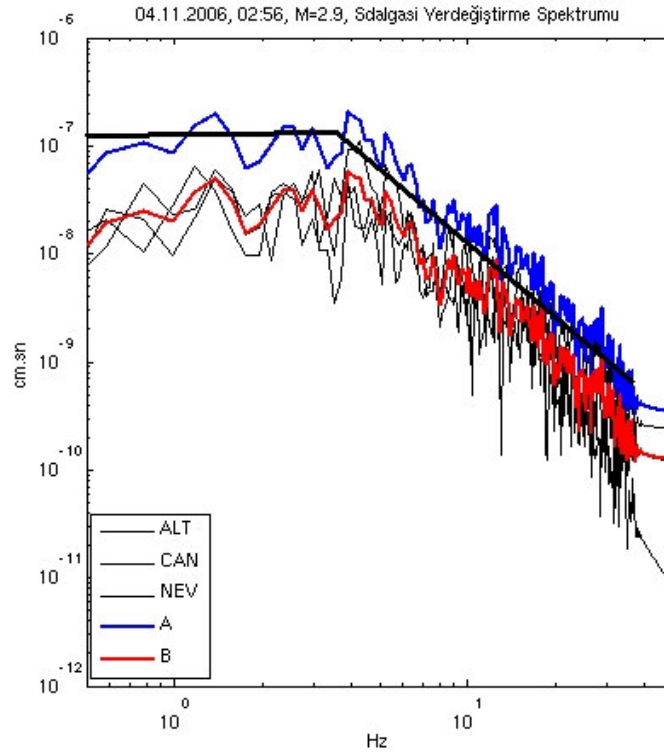
Şekil A.29 : 28.10.2006, 01:07, M=2.9 depremi P dalgası Yerdeğiştirme Spektrumu



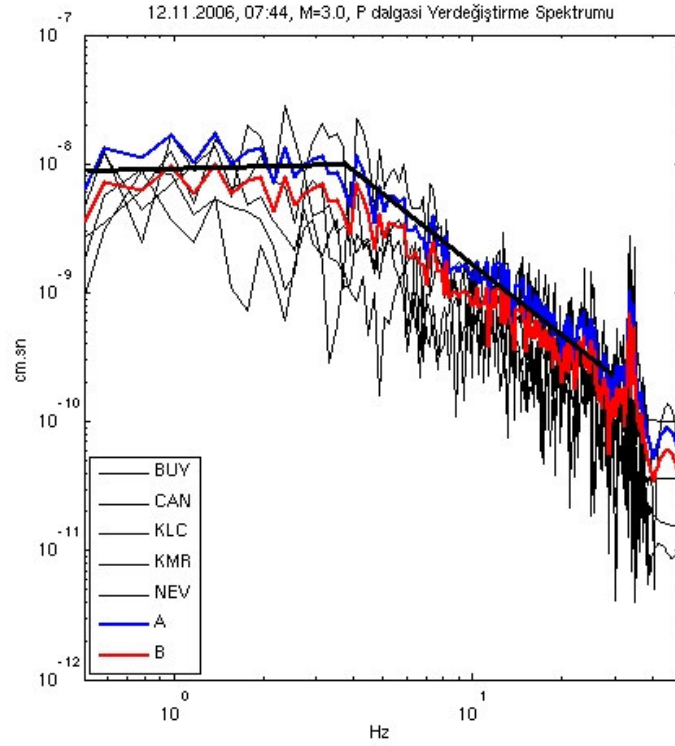
Şekil A.30 : 28.10.2006, 01:07, M=2.9 depremi S dalgası Yerdeğiştirme Spektrumu



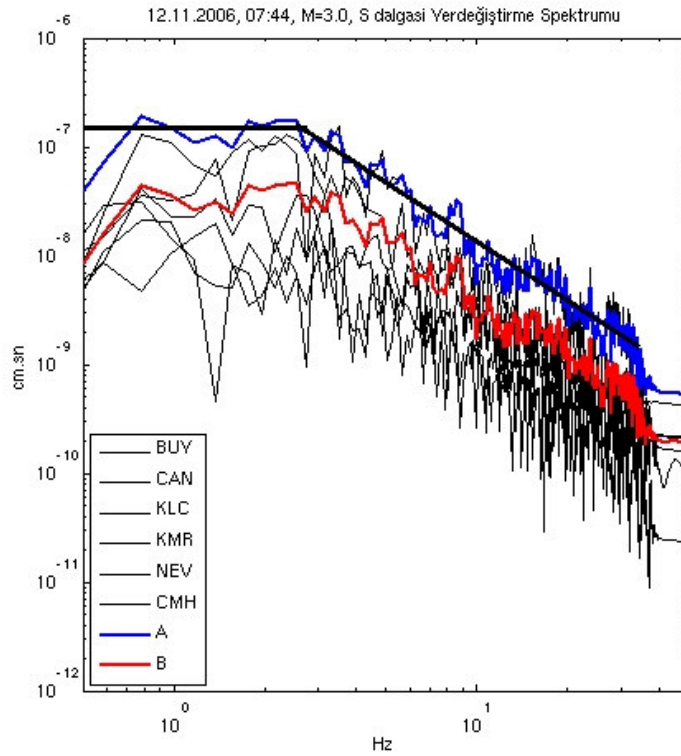
Şekil A.31 : 04.11.2006, 02:56, M=2.9 depremi P dalgası Yerdeğiştirme Spektrumu



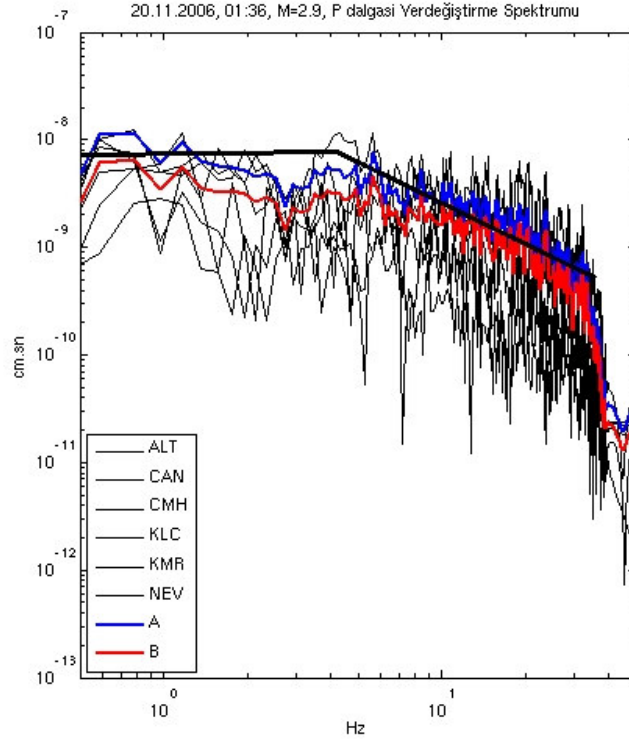
Şekil A.32 : 04.11.2006, 02:56, M=2.9 depremi S dalgası Yerdeğiştirme Spektrumu



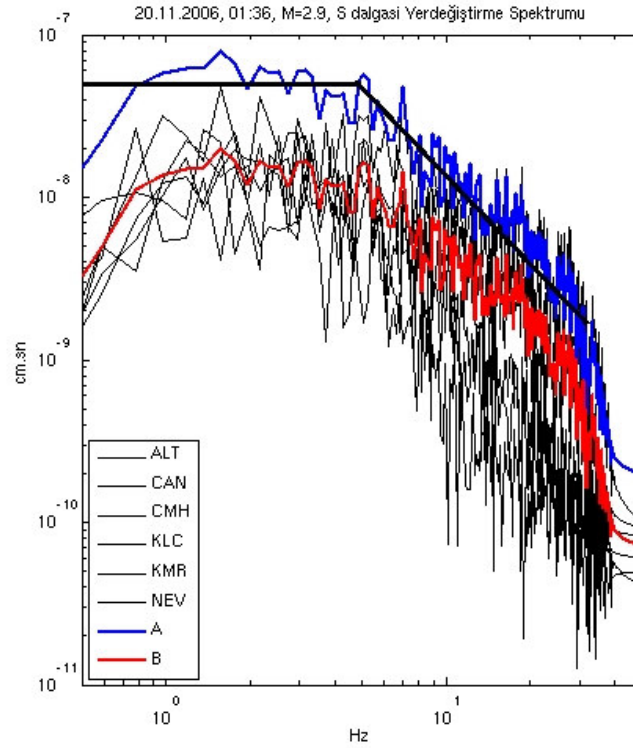
Şekil A.33 : 12.11.2006, 07:44, M=3.0 depremi P dalgası Yerdeğiştirme Spektrumu



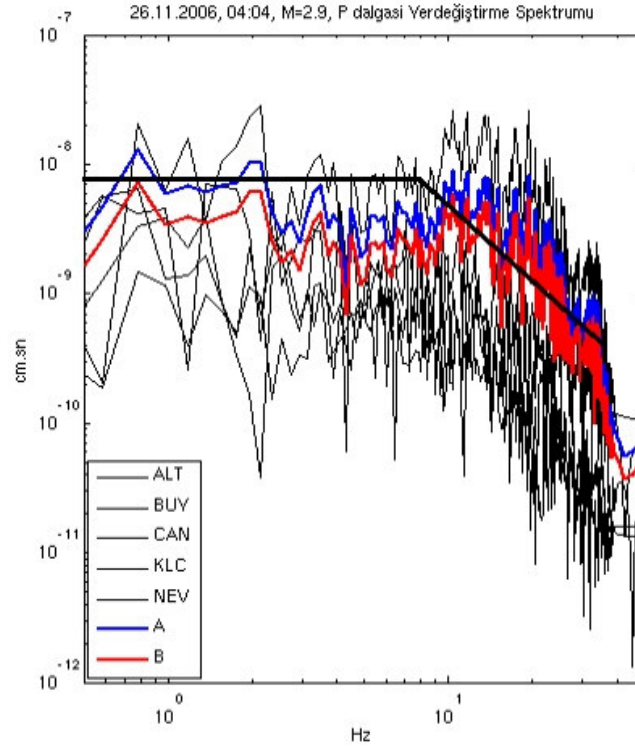
Şekil A.34 : 12.11.2006, 07:44, M=3.0 depremi S dalgası Yerdeğiştirme Spektrumu



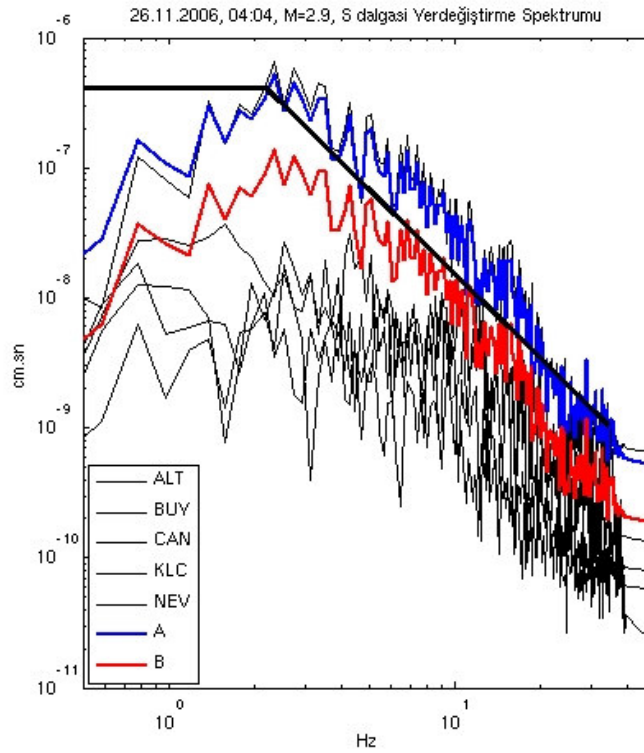
Şekil A.35 : 20.11.2006, 01:36, M=2.9 depremi P dalgası Yerdeğiştirme Spektrumu



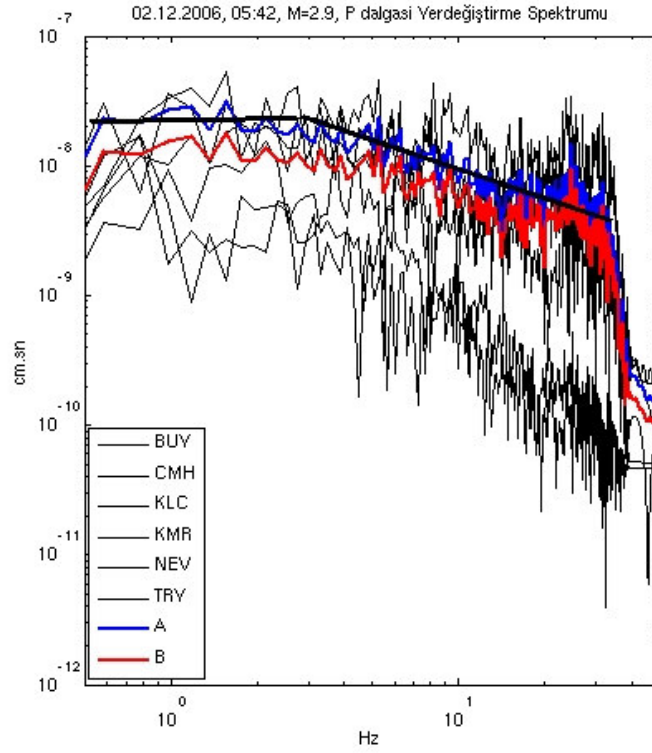
Şekil A.36 : 20.11.2006, 01:36, M=2.9 depremi S dalgası Yerdeğiştirme Spektrumu



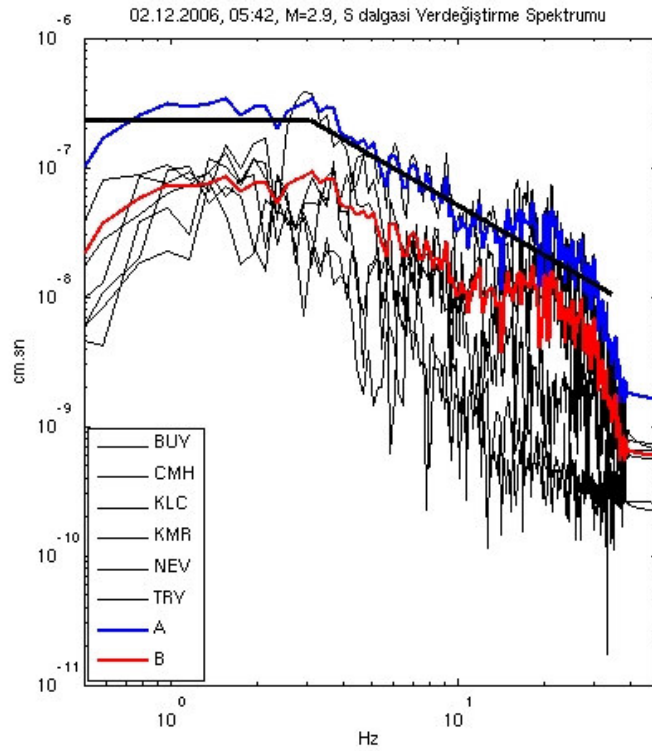
Şekil A.37 : 26.11.2006, 04:04, M=2.9 depremi P dalgası Yerdeğiştirme Spektrumu



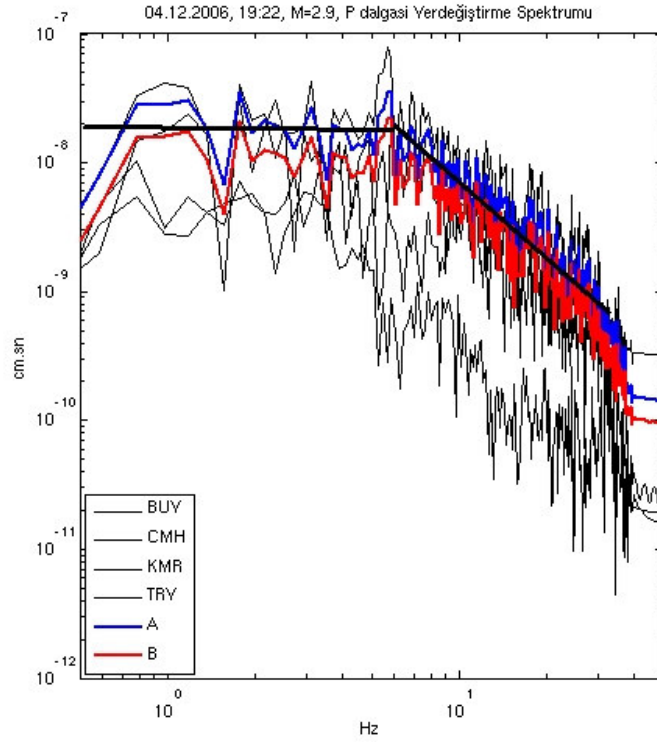
Şekil A.38 : 26.11.2006, 04:04, M=2.9 depremi S dalgası Yerdeğiştirme Spektrumu



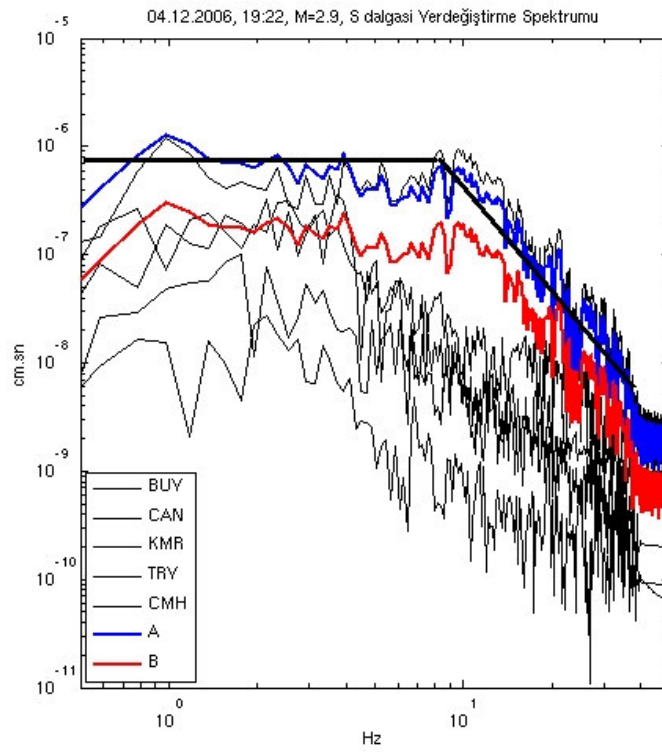
Şekil A.39 : 02.12.2006, 05:42, M=2.9 depremi P dalgası Yerdeğiştirme Spektrumu



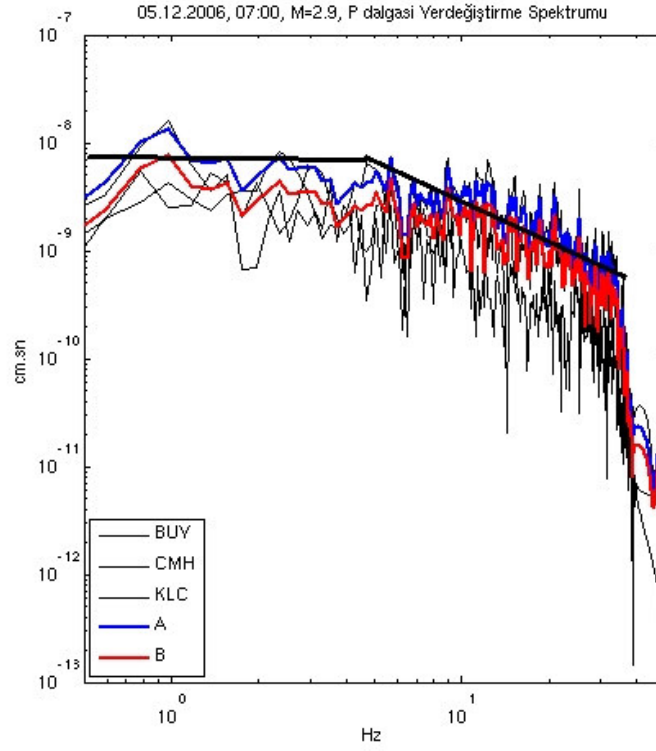
Şekil A.40 : 02.12.2006, 05:42, M=2.9 depremi S dalgası Yerdeğiştirme Spektrumu



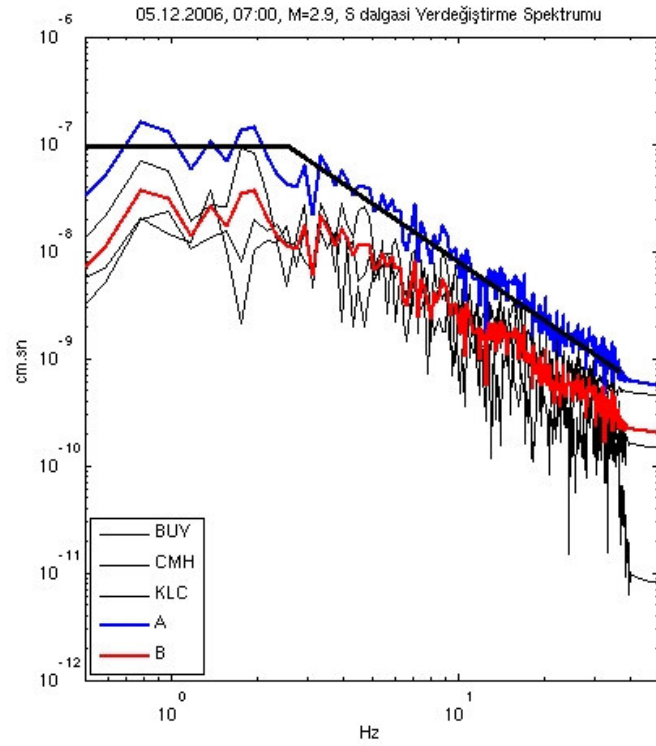
Şekil A.41 : 04.12.2006, 19:22, M=2.9 depremi P dalgası Yerdeğiştirme Spektrumu



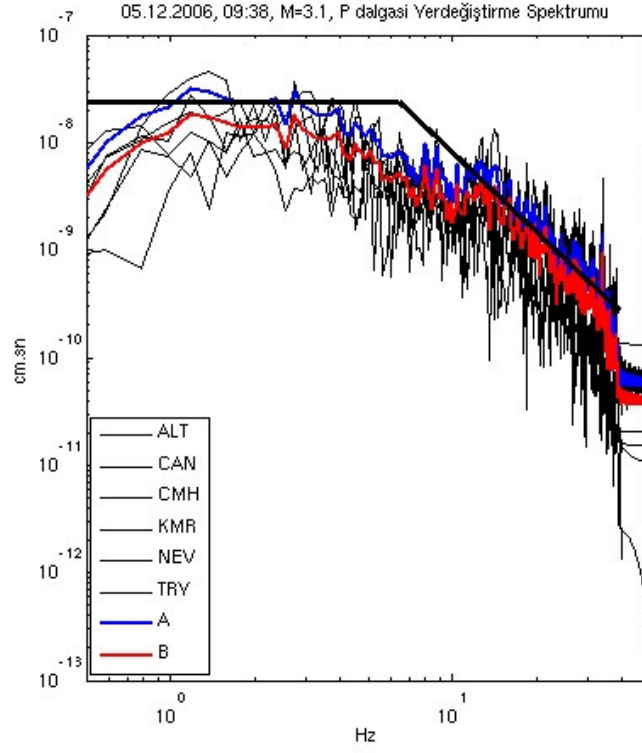
Şekil A.42 : 04.12.2006, 19:22, M=2.9 depremi S dalgası Yerdeğiştirme Spektrumu



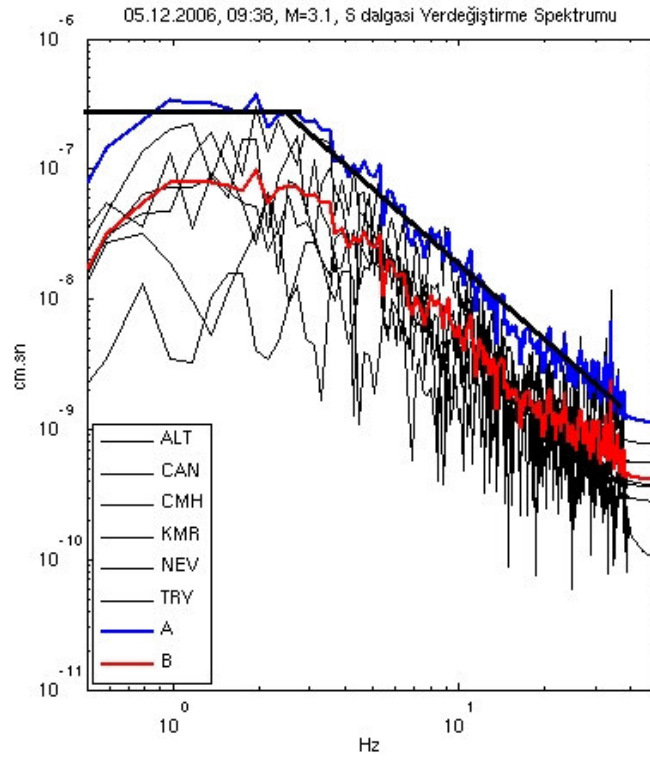
Şekil A.43 : 05.12.2006, 07:00, M=2.9 depremi P dalgası Yerdeğiştirme Spektrumu



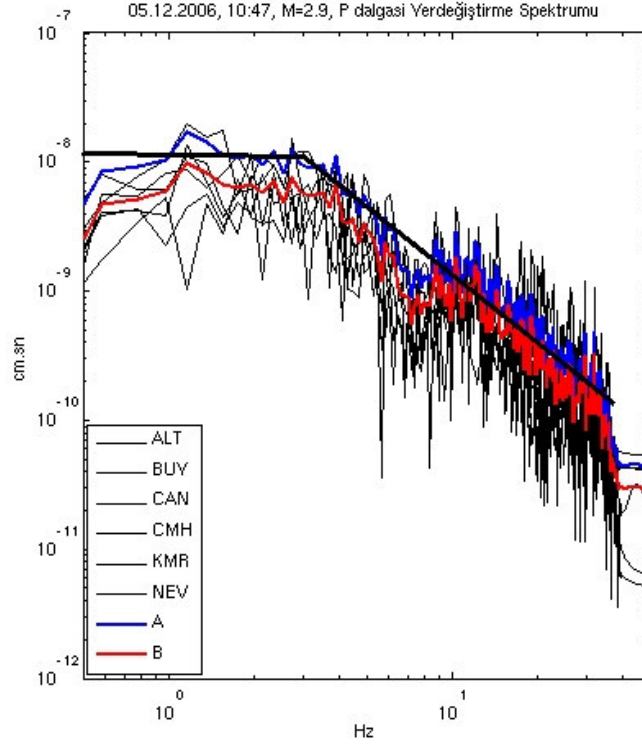
Şekil A.44 : 05.12.2006, 07:00, M=2.9 depremi S dalgası Yerdeğiştirme Spektrumu



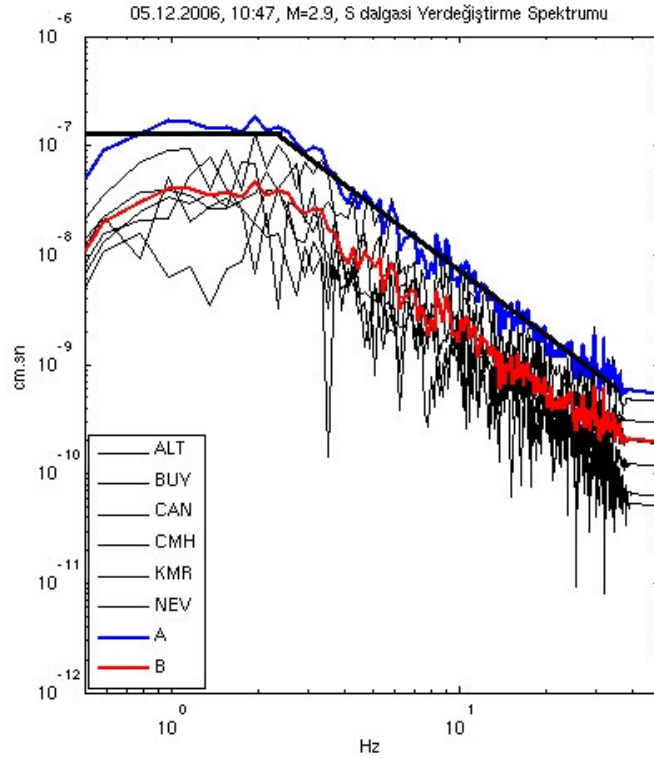
Şekil A.45 : 05.12.2006, 09:38, M=3.1 depremi P dalgası Yerdeğiştirme Spektrumu



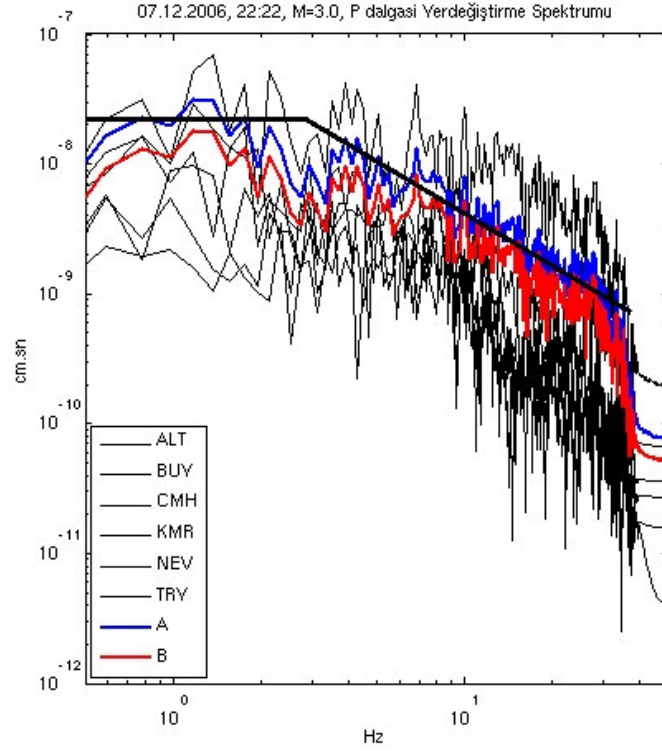
Şekil A.46 : 05.12.2006, 09:38, M=3.1 depremi S dalgası Yerdeğiştirme Spektrumu



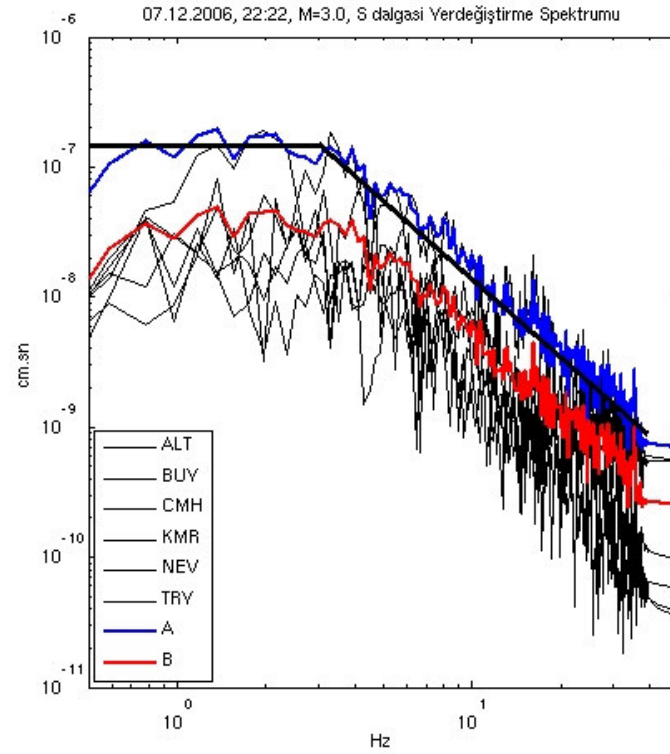
Şekil A.47 : 05.12.2006, 10:47, M=2.9 depremi P dalgası Yerdeğiştirme Spektrumu



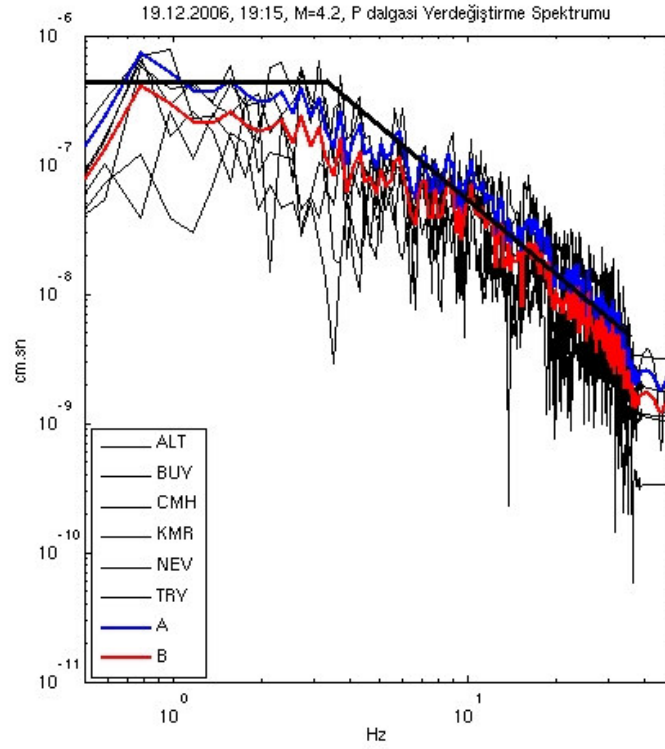
Şekil A.48 : 05.12.2006, 10:47, M=2.9 depremi S dalgası Yerdeğiştirme Spektrumu



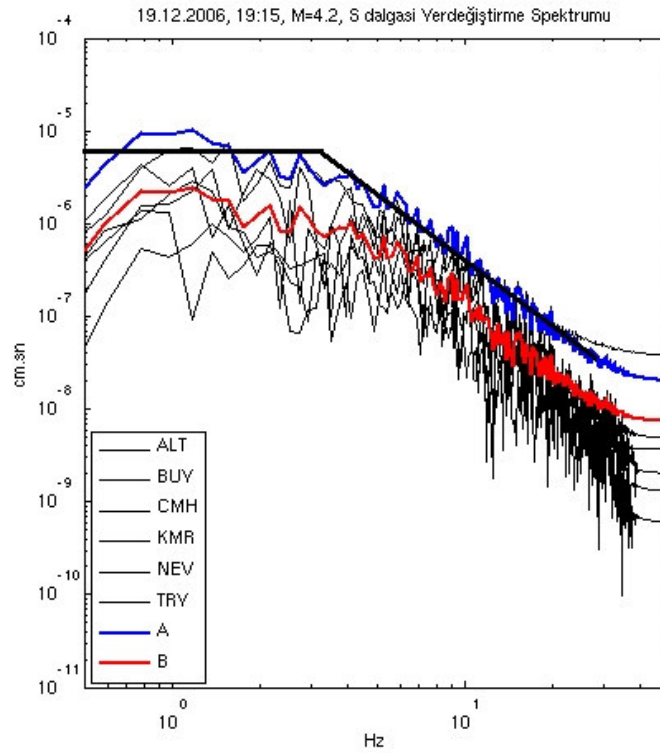
Şekil A.49 : 07.12.2006, 22:22, M=3.0 depremi P dalgası Yerdeğiştirme Spektrumu



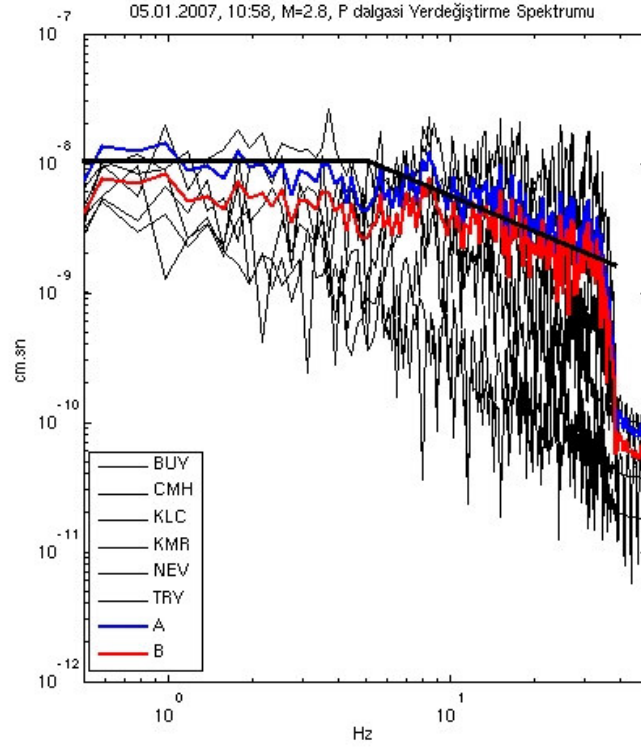
Şekil A.50 : 07.12.2006, 22:22, M=3.0 depremi S dalgası Yerdeğiştirme Spektrumu



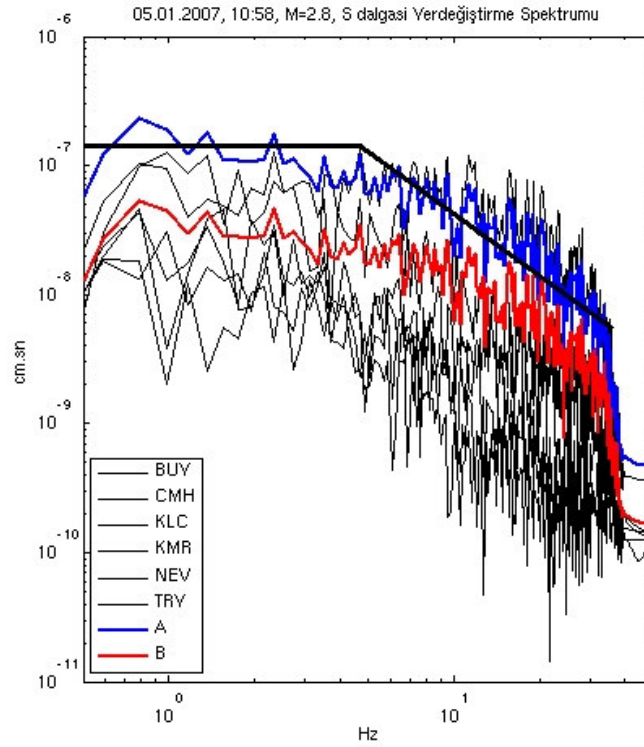
Şekil A.51 : 19.12.2006, 19:15, M=4.2 depremi P dalgası Yerdeğiştirme Spektrumu



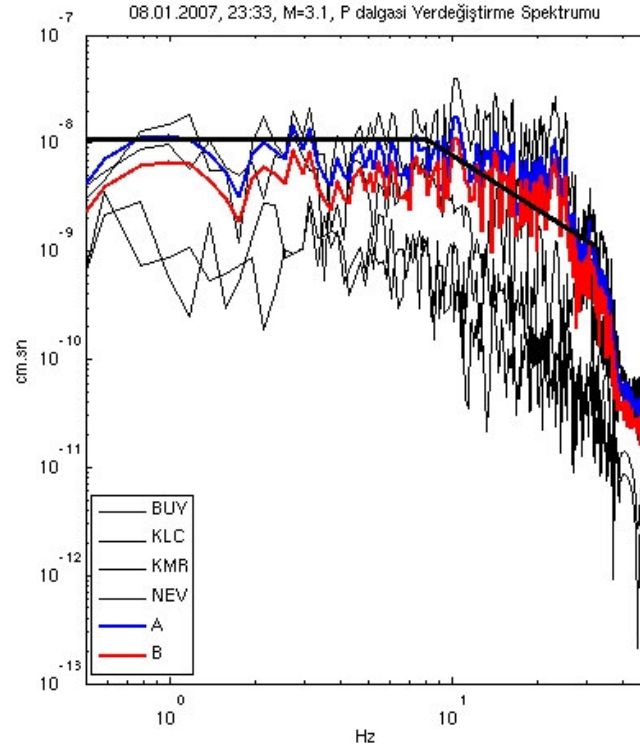
Şekil A.52 : 19.12.2006, 19:15, M=4.2 depremi S dalgası Yerdeğiştirme Spektrumu



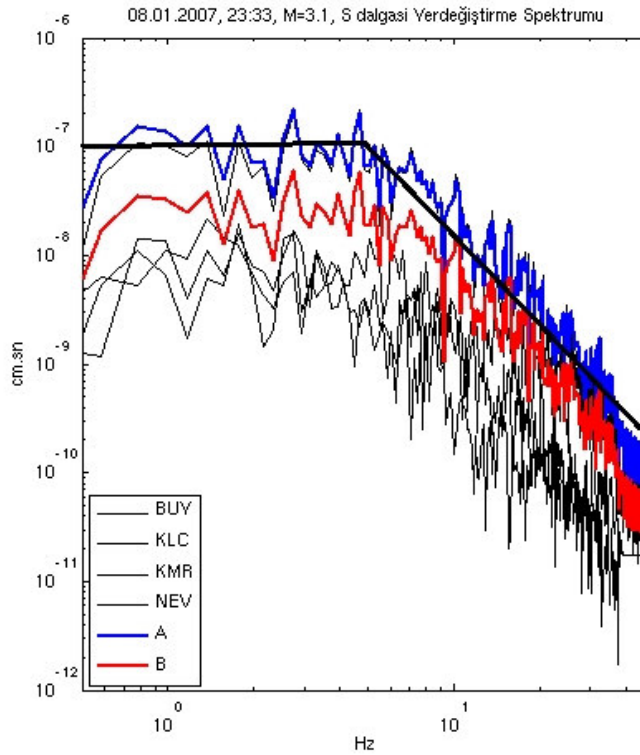
Şekil A.53 : 05.01.2007, 10:58, M=2.8 depremi P dalgası Yerdeğiştirme Spektrumu



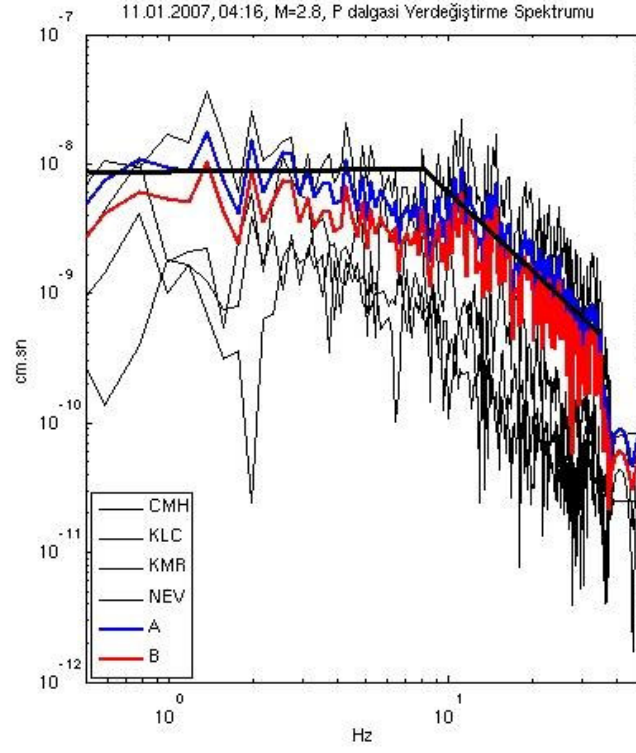
Şekil A.54 : 05.01.2007, 10:58, M=2.8 depremi S dalgası Yerdeğiştirme Spektrumu



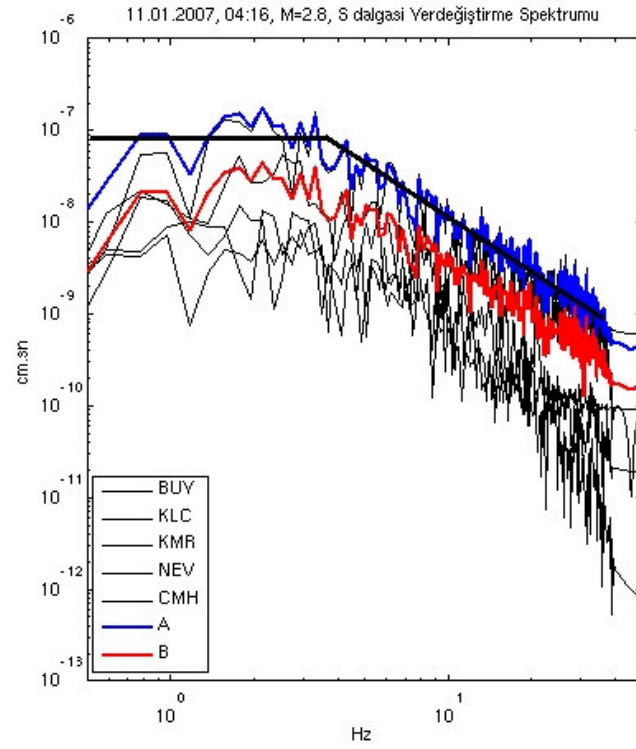
Şekil A.55 : 08.01.2007, 23:33, M=3.1 depremi P dalgası Yerdeğiştirme Spektrumu



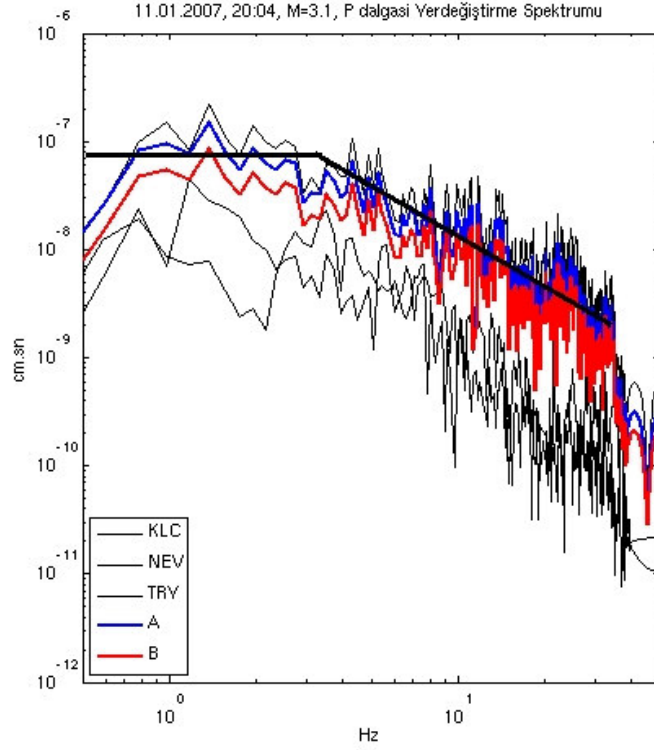
Şekil A.56 : 08.01.2007, 23:33, M=3.1 depremi S dalgası Yerdeğiştirme Spektrumu



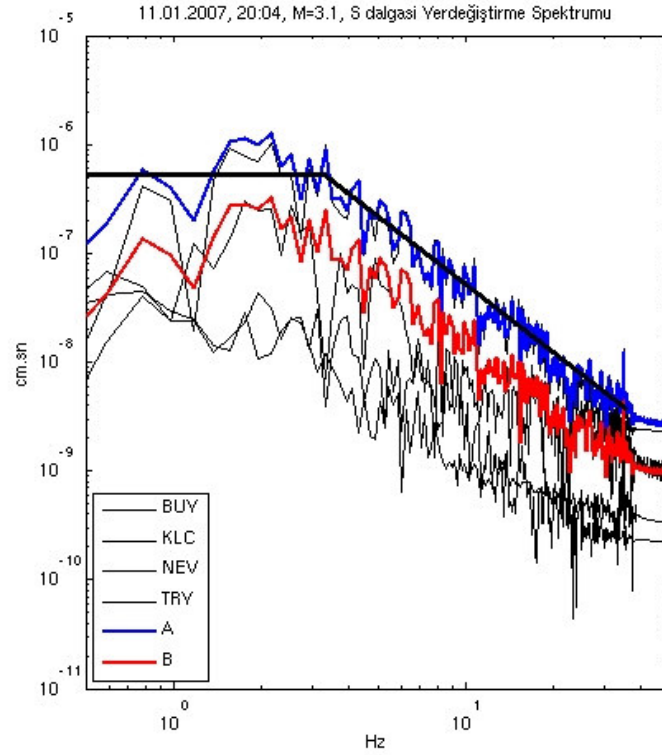
Şekil A.57 : 11.01.2007, 04:16, M=2.8 depremi P dalgası Yerdeğiştirme Spektrumu



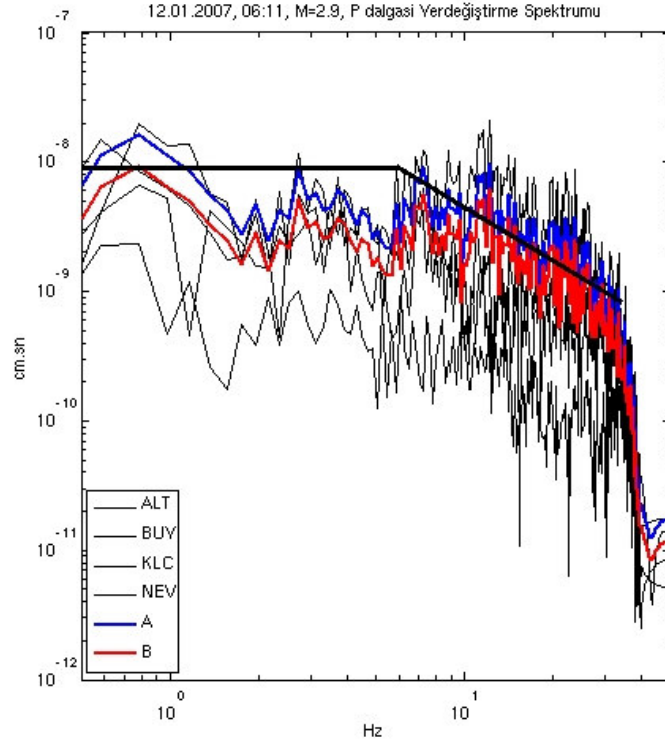
Şekil A.58 : 11.01.2007, 04:16, M=2.8 depremi S dalgası Yerdeğiştirme Spektrumu



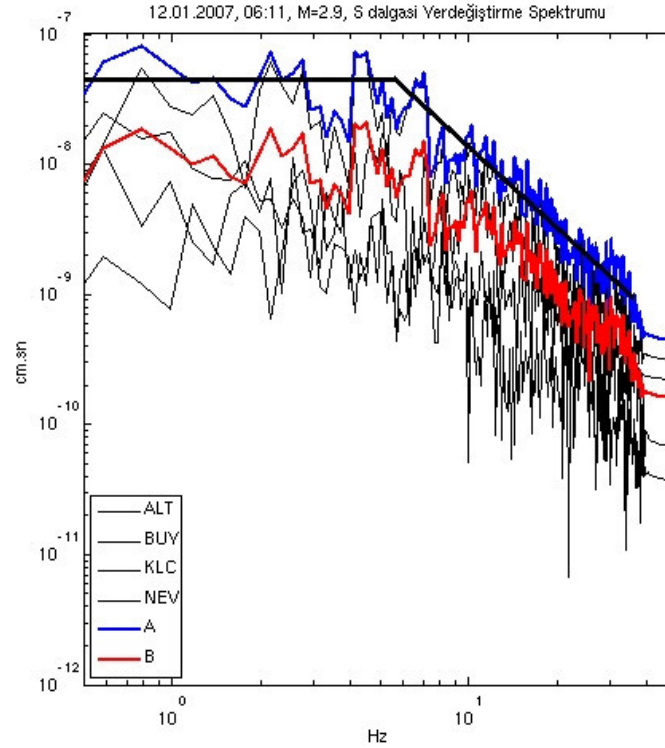
Şekil A.59 : 11.01.2007, 20:04, M=3.1 depremi P dalgası Yerdeğiştirme Spektrumu



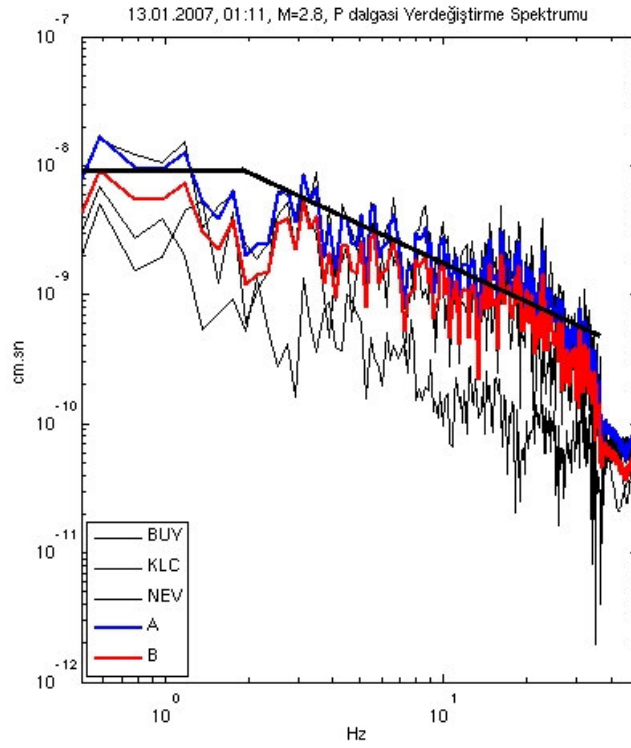
Şekil A.60 : 11.01.2007, 20:04, M=3.1 depremi S dalgası Yerdeğiştirme Spektrumu



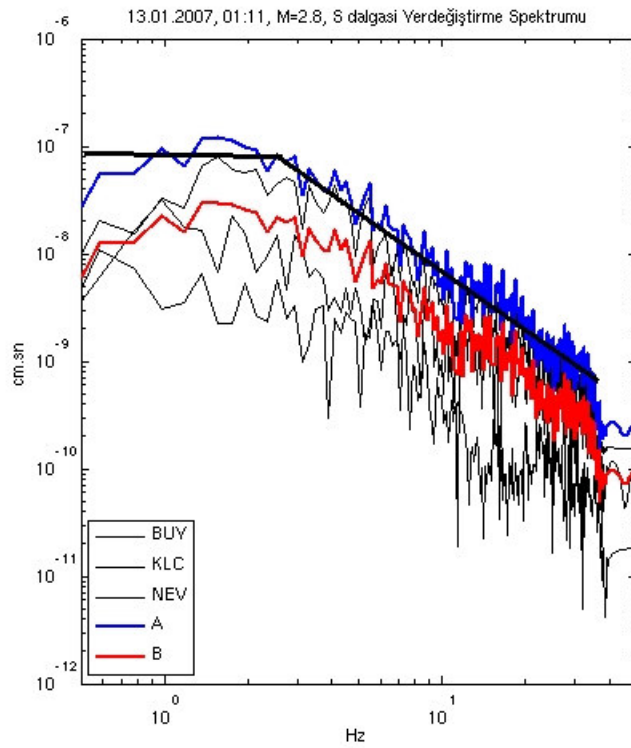
Şekil A.61 : 12.01.2007, 06:11, M=2.9 depremi P dalgası Yerdeğiştirme Spektrumu



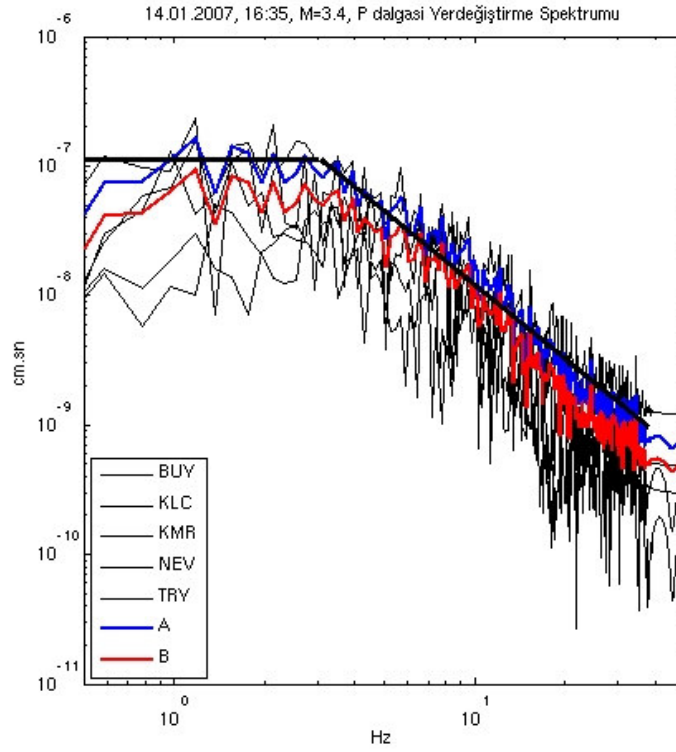
Şekil A.62 : 12.01.2007, 06:11, M=2.9 depremi S dalgası Yerdeğiştirme Spektrumu



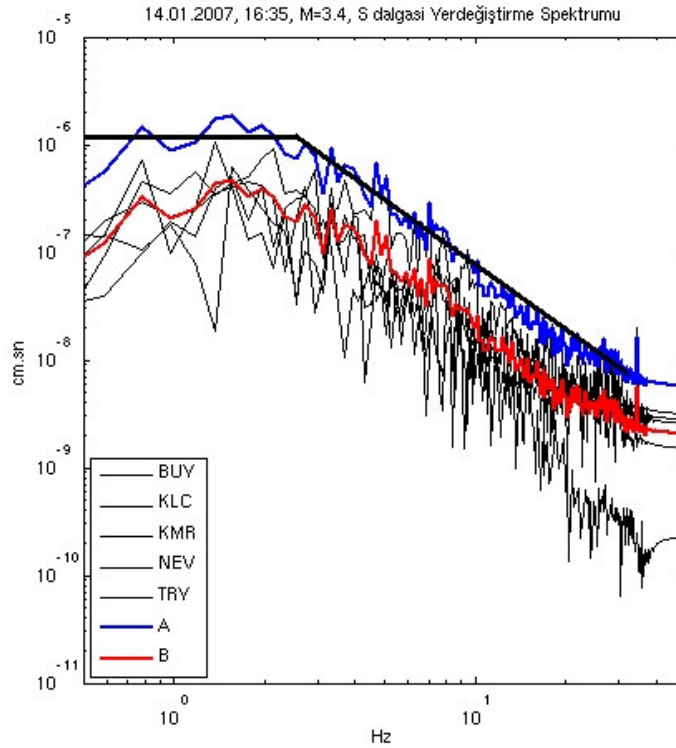
Şekil A.63 : 13.01.2007, 01:11, M=2.8 depremi P dalgası Yerdeğiştirme Spektrumu



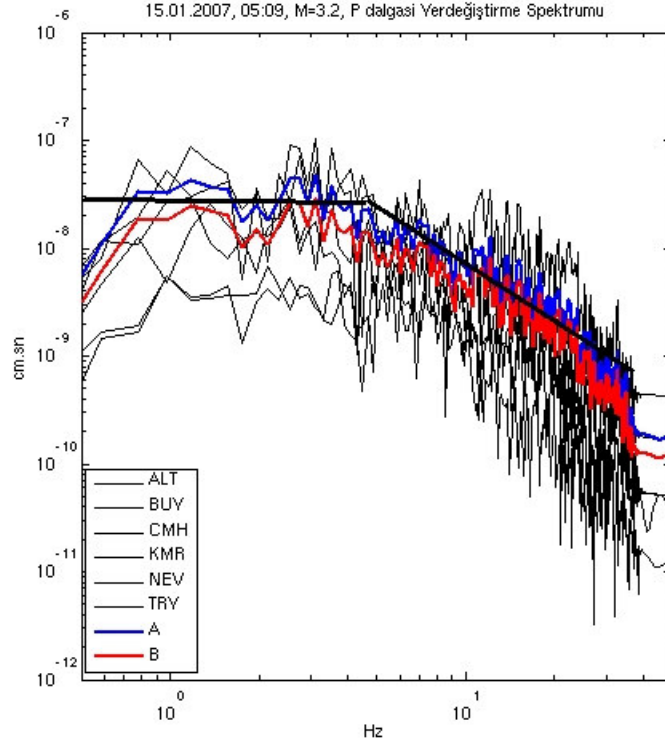
Şekil A.64 : 13.01.2007, 01:11, M=2.8 depremi S dalgası Yerdeğiştirme Spektrumu



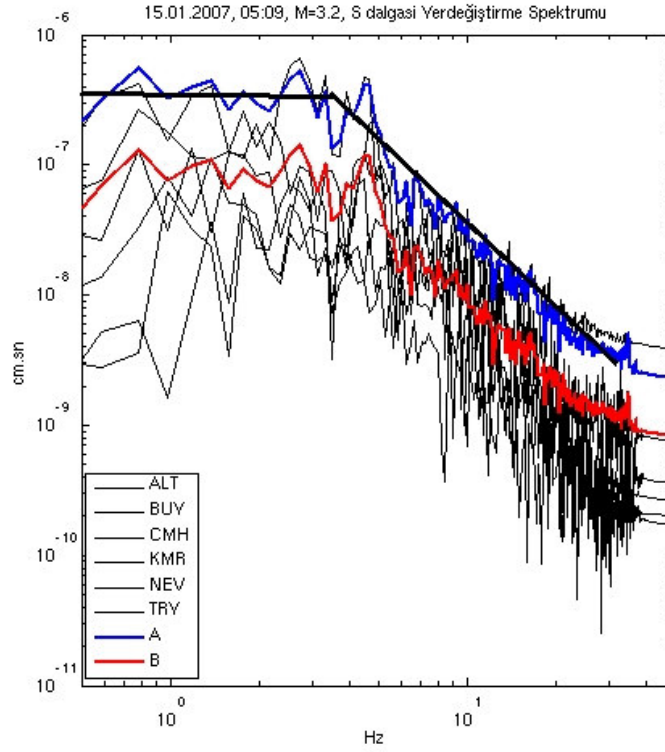
Şekil A.65 : 14.01.2007, 16:35, M=3.4 depremi P dalgası Yerdeğiştirme Spektrumu



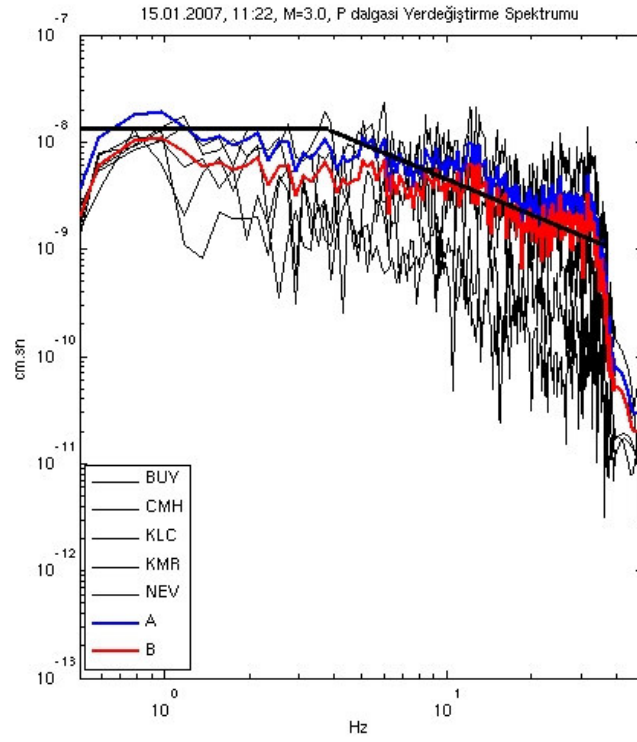
Şekil A.66 : 14.01.2007, 16:35, M=3.4 depremi S dalgası Yerdeğiştirme Spektrumu



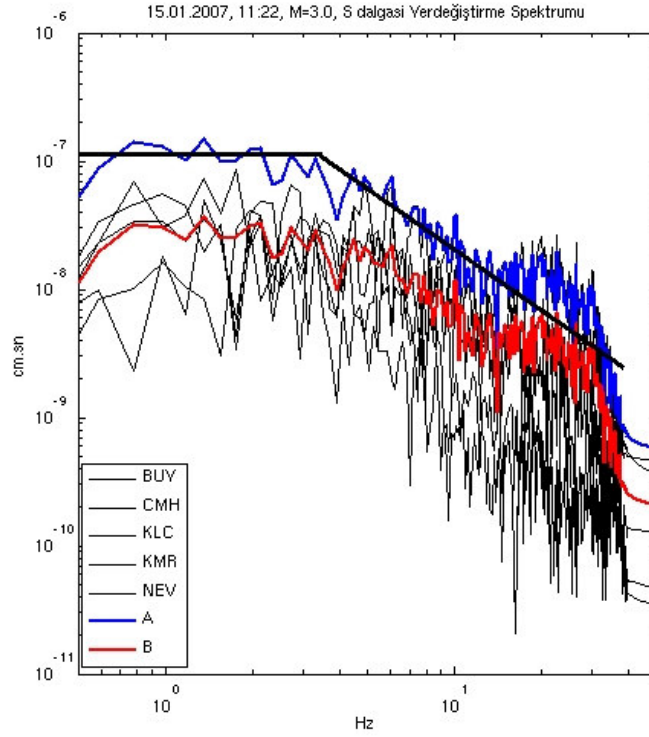
Şekil A.67 : 15.01.2007, 05:09, M=3.2 depremi P dalgası Yerdeğiştirme Spektrumu



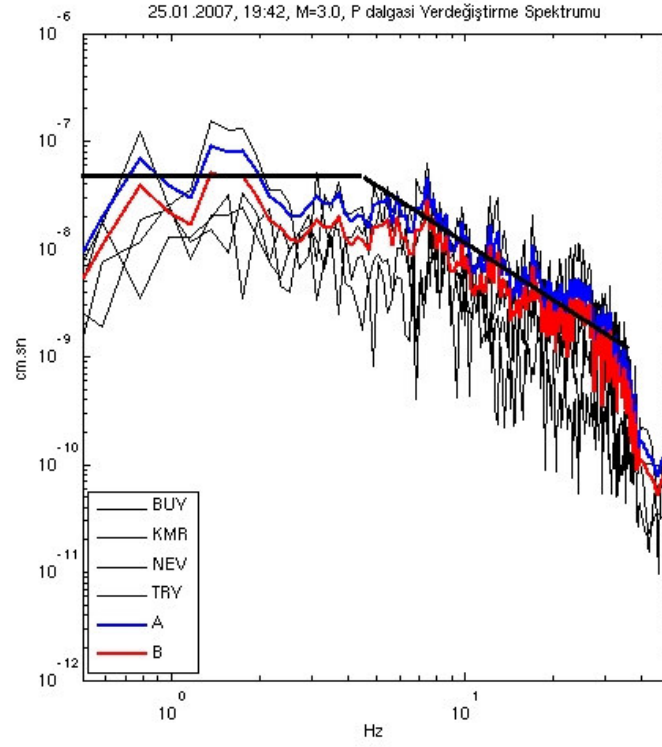
Şekil A.68 : 15.01.2007, 05:09, M=3.2 depremi S dalgası Yerdeğiştirme Spektrumu



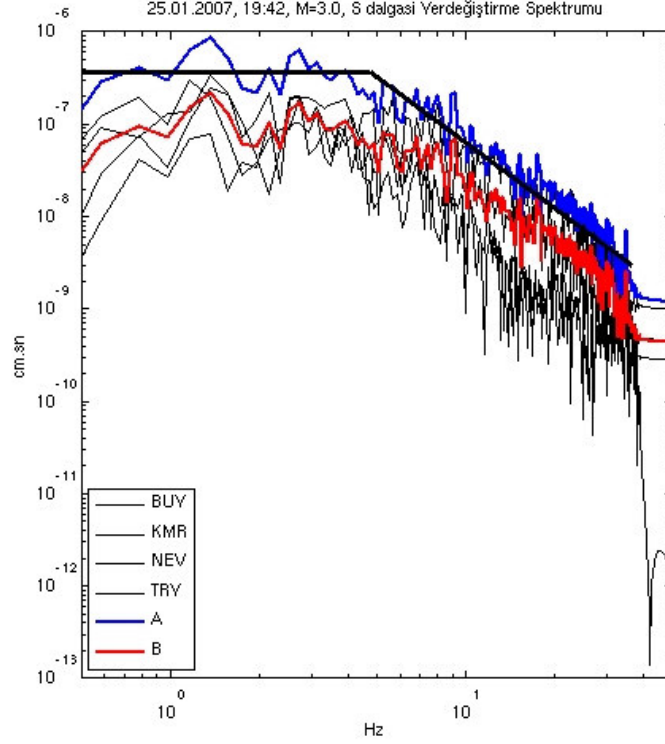
Şekil A.69 : 15.01.2007, 11:22, M=3.0 depremi P dalgası Yerdeğiştirme Spektrumu



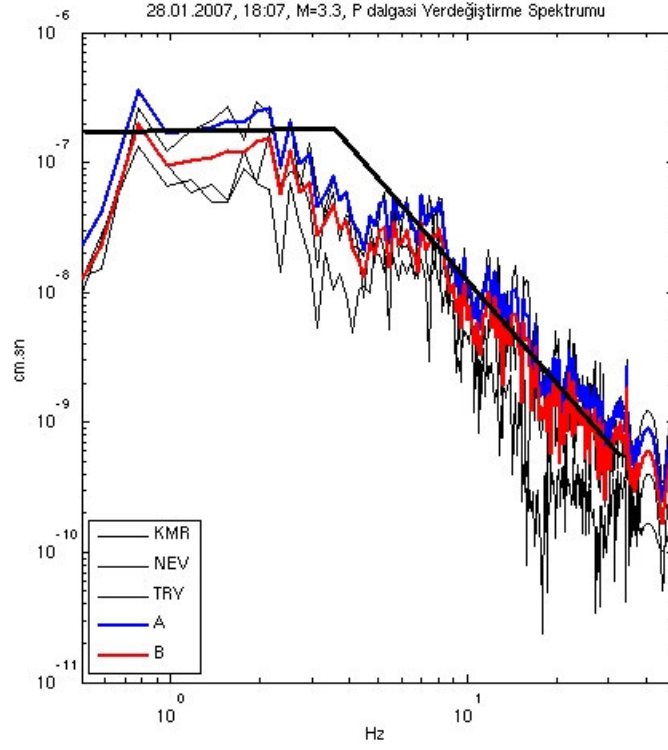
Şekil A.70 : 15.01.2007, 11:22, M=3.0 depremi S dalgası Yerdeğiştirme Spektrumu



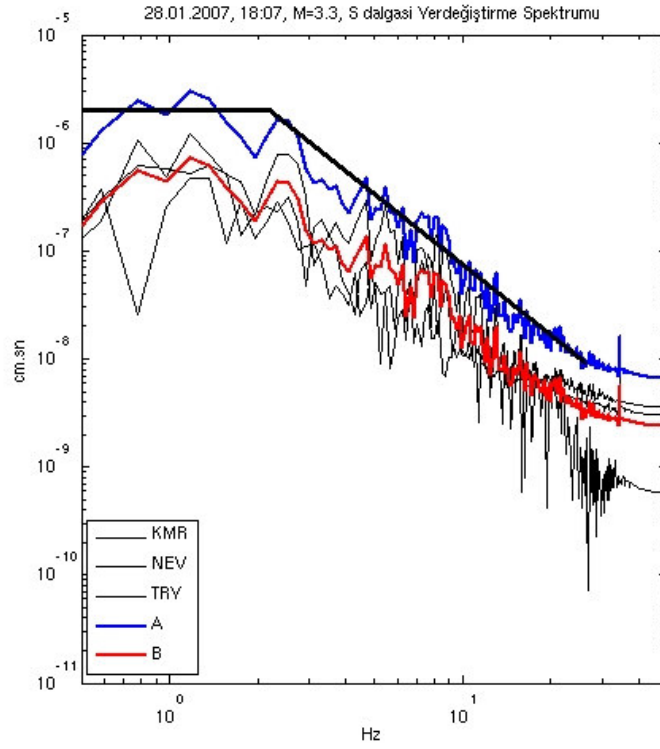
Şekil A.71 : 25.01.2007, 19:42, M=3.0 depremi P dalgası Yerdeğiştirme Spektrumu



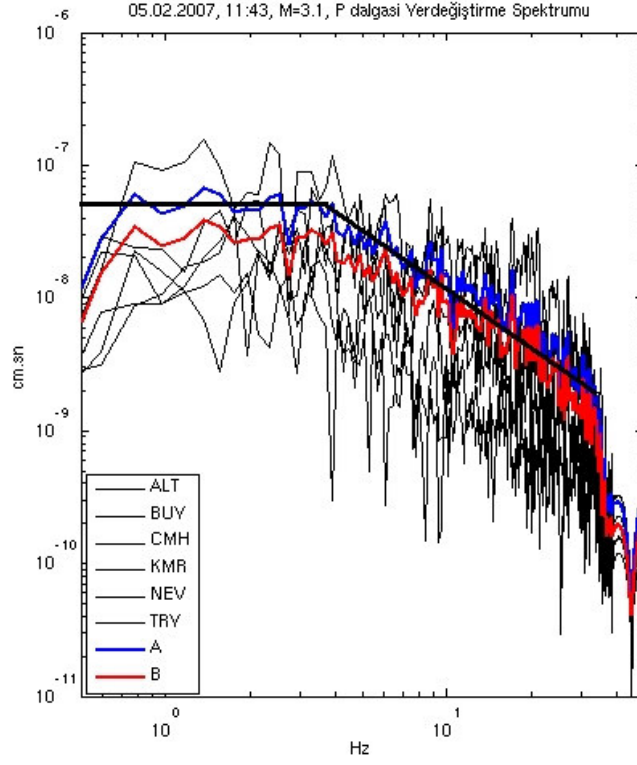
Şekil A.72 : 25.01.2007, 19:42, M=3.0 depremi S dalgası Yerdeğiştirme Spektrumu



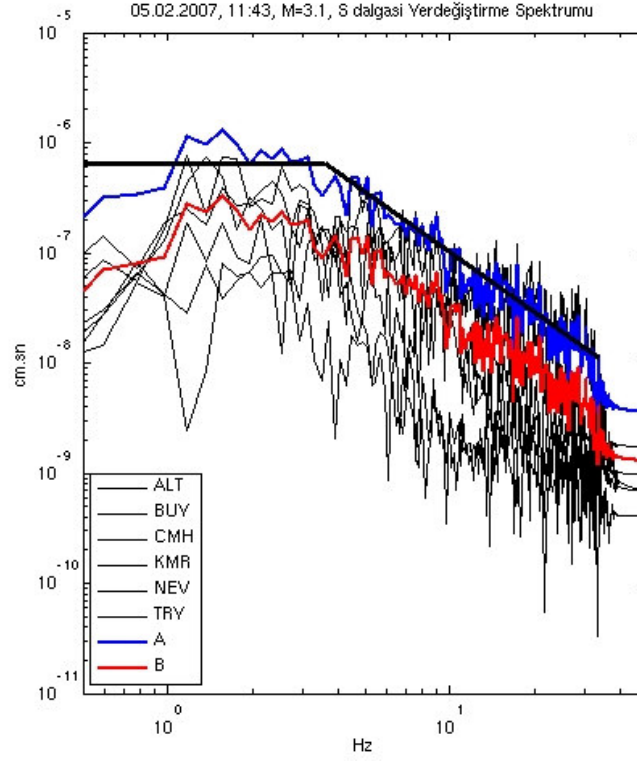
Şekil A.73 : 28.01.2007, 18:07, M=3.3 depremi P dalgası Yerdeğiştirme Spektrumu



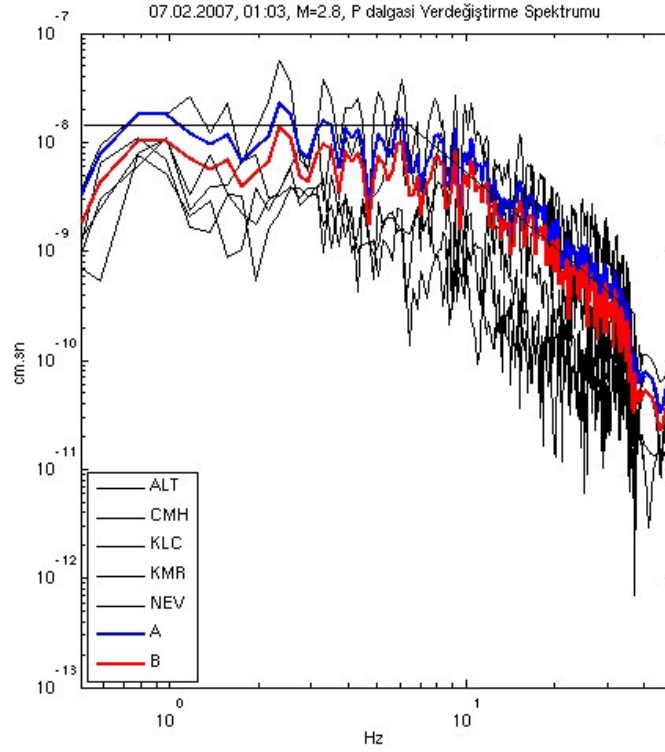
Şekil A.74 : 28.01.2007, 18:07, M=3.3 depremi S dalgası Yerdeğiştirme Spektrumu



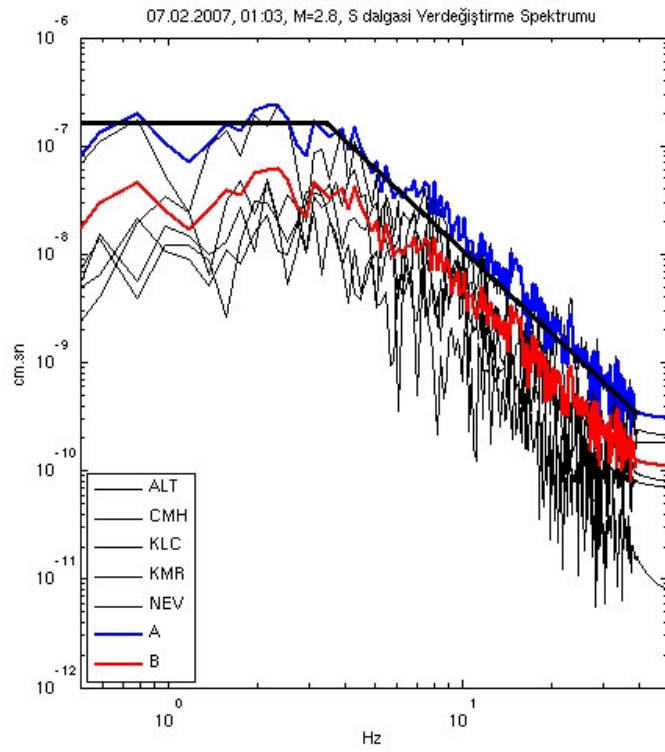
Şekil A.75 : 05.02.2007, 11:43, M=3.1 depremi P dalgası Yerdeğiştirme Spektrumu



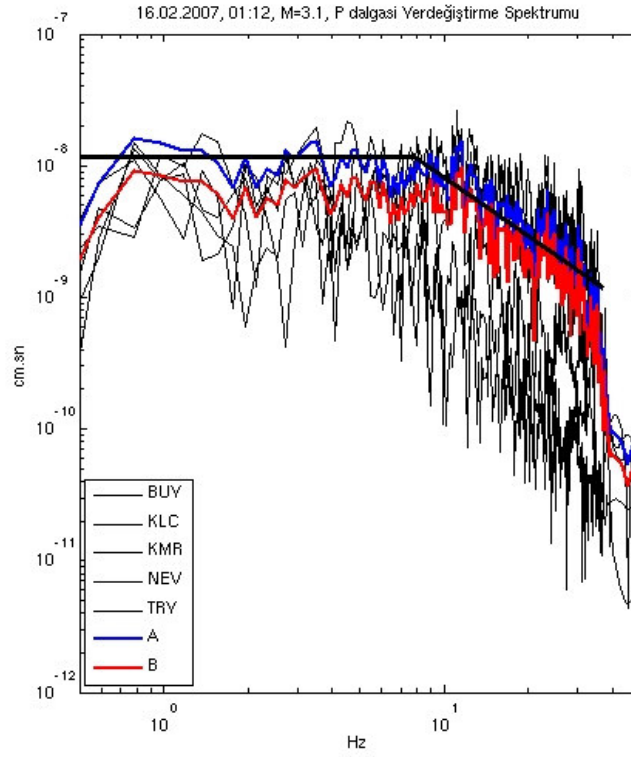
Şekil A.76 : 05.02.2007, 11:43, M=3.1 depremi S dalgası Yerdeğiştirme Spektrumu



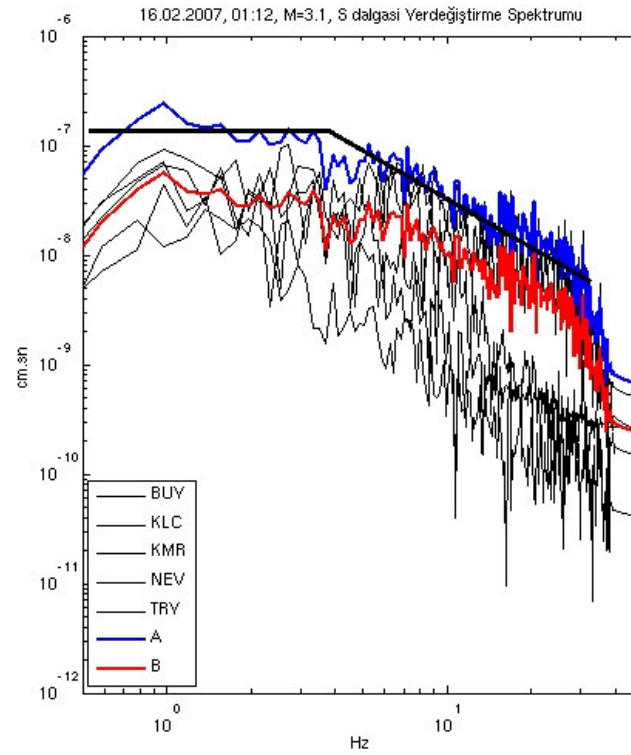
Şekil A.77 : 07.02.2007, 01:03, M=2.8 depremi P dalgası Yerdeğiştirme Spektrumu



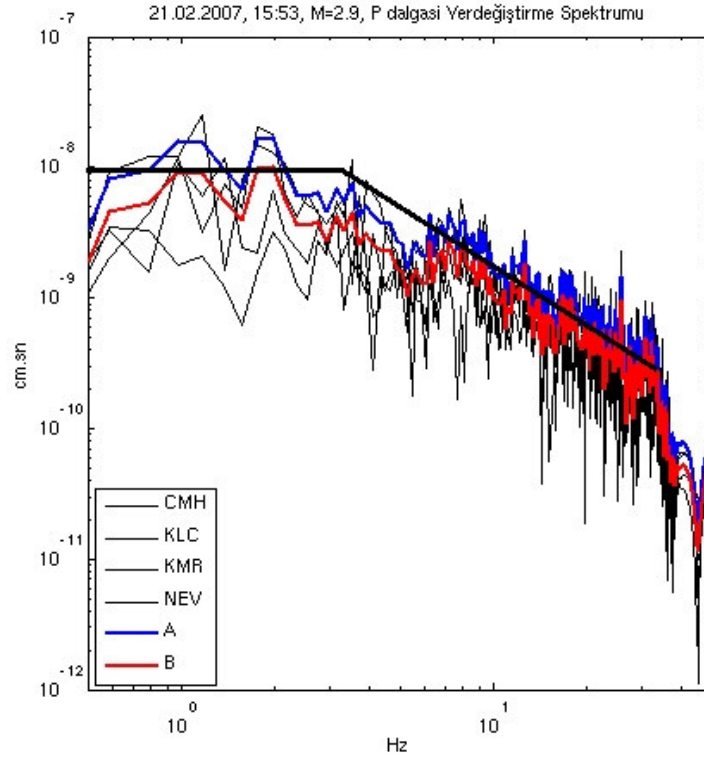
Şekil A.78 : 07.02.2007, 01:03, M=2.8 depremi S dalgası Yerdeğiştirme Spektrumu



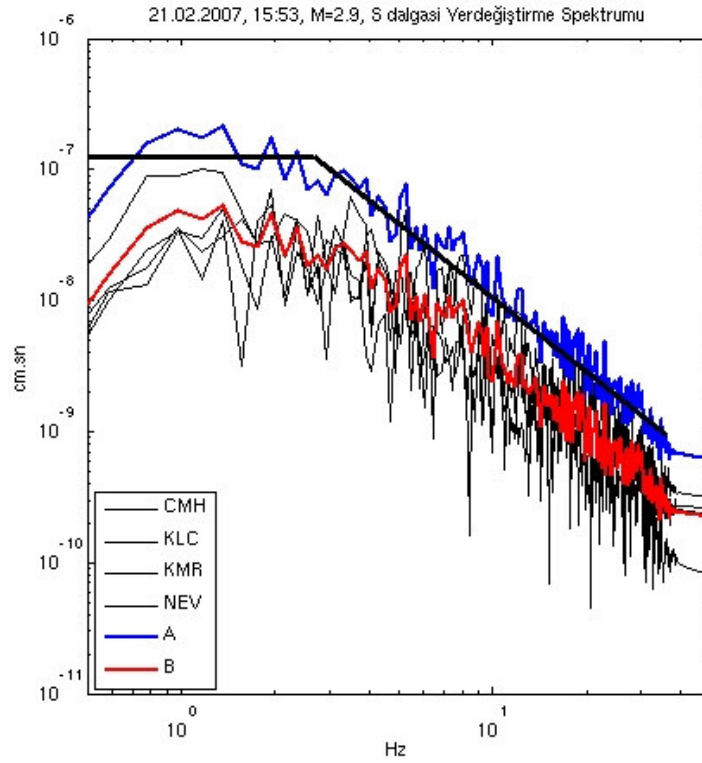
Şekil A.79 : 16.02.2007, 01:12, M=3.1 depremi P dalgası Yerdeğiştirme Spektrumu



Şekil A.80 : 16.02.2007, 01:12, M=3.1 depremi S dalgası Yerdeğiştirme Spektrumu



Şekil A.81 : 21.02.2007, 15:53, M=2.9 depremi P dalgası Yerdeğiştirme Spektrumu



Şekil A.82 : 21.02.2007, 15:53, M=2.9 depremi S dalgası Yerdeğiştirme Spektrumu

ÖZGEÇMİŞ

Zümer Pabuçcu, 1980 yılında İstanbul’da doğdu. Özel Yeni Yıldız İlkokulu’ndan 1990 yılında mezun oldu. Lise öğrenimini Özel Yeni Yıldız Lisesi’nde 1997 yılında tamamladı. 1998 yılında girdiği İstanbul Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü’nden 2002 yılında mezun oldu. 2004 yılında başladığı İTÜ Maden Fakültesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü’ndeki yüksek lisans öğrenimini Ocak-2008’de tamamladı.