

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**2005-2008 BÂLA-SIRAPINAR (ANKARA) VE ÇAMELİ (DENİZLİ)
DEPREMLERİNİN KAYNAK MEKANİZMASI PARAMETRELERİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Yeşim ÇUBUK

Anabilim Dalı : Jeofizik Mühendisliği

Programı : Jeofizik Mühendisliği

OCAK 2010

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**2005-2008 BÂLA-SIRAPINAR (ANKARA) VE ÇAMELİ (DENİZLİ)
DEPREMLERİNİN KAYNAK MEKANİZMASI PARAMETRELERİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Yeşim ÇUBUK
(505071410)**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 24 Aralık 2009

Tezin Savunulduğu Tarih : 28 Ocak 2010

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Tuncay TAYMAZ (İTÜ)

Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Aysun GÜNEY (İTÜ)

Prof. Dr. Özer KENAR (KOÜ)

ARALIK 2009

ÖNSÖZ

Bu tez çalışması kapsamında Bâla-Sırapınar (Ankara) ve Çameli (Denizli) bölgelerinde meydana gelen güncel depremlerin kaynak mekanizması parametrelerinin zaman ortamı moment tensör ters çözüm yöntemiyle belirlenmesi üzerine çalıştım.

Bu tez çalışmasında bana yol gösteren, desteğini, bilgisini, yardım ve teşviklerini esirgemeyen saygıdeğer danışman hocam Prof.Dr. Tuncay TAYMAZ'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam esnasında genel jeofizik ve sismoloji konularında ve kullandığım programlar ile ilgili sorularıma katkılarından dolayı başta Arş.Gör.Dr. Seda Yolsal Çevikbilen olmak üzere, Yrd.Doç.Dr. T.Serkan Irmak'a ve Yrd.Doç.Dr. Gonca Örgülü'ye, arazi çalışmalarında katkılarından dolayı Prof.Dr. Abdullah Ateş'e, Dr. Atilla Aydemir'e, Doç.Dr. Mehmet Cihat Alçiçek'e ve Arş.Gör. Özcan Bektaş'a teşekkürlerimi sunarım. Bilgi işlem alt yapısının geliştirilmesinde desteklerinden ötürü İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Bilimsel Araştırmaları Destekleme Programına, katkılarından dolayı TÜBİTAK-ÇAYDAG-107Y288 nolu projesine, Alexander von Humboldt Stiftung (AvH) araştırma fonuna, TÜBA-GEBİP ve İTÜ Rektörlüğü Alt Yapı Destekleme Birimine teşekkür ederim.

Tez sürecimde ve hayatımın her alanında yanımda olarak bana manevi destek olan sevgili dostlarım Şeyda Daylan ve Gizem Erdoğan'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Bana her zaman güven, destek ve sevgi veren ve yanımda olan değerli aileme sonsuz teşekkürler.

Aralık 2009

Yeşim ÇUBUK

Jeofizik Mühendisi

	<u>Sayfa</u>
ÖNSÖZ	iii
İÇİNDEKİLER	v
KISALTMALAR	vii
ÇİZELGE LİSTESİ	ix
ŞEKİL LİSTESİ	xi
SEMBOL LİSTESİ	xv
ÖZET	xvii
SUMMARY	xix
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı ve İçeriği.....	1
1.2 Literatür Özeti.....	2
1.3 Çalışma Alanlarının Tanımlanması.....	4
1.3.1 Bâla-Sırapınar (Ankara) Bölgesi.....	4
1.3.1.1 Bâla-Sırapınar (Ankara) Bölgesinin Genel Jeolojisi.....	5
1.3.1.2 Ankara ve Civarındaki Temel Fay Yapıları.....	6
1.3.1.3 Orta Anadolu Bölgesinde Gravite ve Manyetik Çalışmalar....	11
1.3.2 Çameli (Denizli) Bölgesi.....	14
1.3.2.1 Çameli Bölgesinin Genel Jeolojisi.....	15
1.3.2.2 Çameli Bölgesinde Temel Fay Yapıları ve Tarihsel Deprem Aktiviteleri.....	17
1.3.2.3 Batı Anadolu Bölgesinde Gravite ve Manyetik Çalışmalar....	23
2. ZAMAN ORTAMI MOMENT TENSÖR TERS ÇÖZÜM YÖNTEMİ	25
2.1 Depremlerin Kaynak Parametreleri.....	26
2.2 Sismik Moment.....	27
2.3 Sismik Moment Tensörler.....	27
2.3.1 Eş Kuvvetler, Tek Kuvvetler ve Kuvvet Çiftleri.....	28
2.3.2 İkili Kuvvet Çifti (Double Couple).....	29
2.3.3 İkili Kuvvet Çifti Olmayan Kaynaklar (Non Double-Couple).....	30
2.4 Sismik Moment Tensör Ters Çözümü.....	31
2.5 Zaman Ortamı Moment Tensör Ters Çözüm Programı Aşamaları.....	33
2.5.1 Veri İşlem Aşaması.....	33
2.5.2 Uygun Mesafe ve Kaynak Derinliği İçin Green Fonksiyonu Üretilmesi Aşaması.....	34
2.5.3 Green Fonksiyonlarının Filtrelenmesi.....	35
2.5.4 Çözüm Aşaması, Kaynak Mekanizmasının Elde Edilmesi.....	35
3. BÂLA-SIRAPINAR (ANKARA) DEPREMLERİ ÇÖZÜMLERİ	37
3.1 30 Temmuz 2005 / 21:45:05.0 Bâla-Sırapınar (Ankara) Depremi (M _w ~ 5.2).....	41
3.2 20 Aralık 2007 / 09:48:27.62 Bâla (Ankara) Depremi (M _w ~ 5.6).....	42
4. ÇAMELİ (DENİZLİ) DEPREMLERİ ÇÖZÜMLERİ	43
4.1 29 Ekim 2007 / 09:23:14.31 Çameli (Denizli) Depremi (M _w ~ 5.2).....	49
4.2 16 Kasım 2007 / 09:08:23.55 Çameli (Denizli) Depremi (M _w ~ 5.1)...	50

5. TARTIŞMA.....	51
6. SONUÇLAR.....	53
6.1 Bâla-Sırapınar (Ankara) Depremleri Sonuçları.....	53
6.2 Çameli (Denizli) Depremleri Sonuçları.....	57
KAYNAKLAR.....	61
EKLER.....	67
EK-A: 2005-2008 BÂLA-SIRAPINAR (ANKARA) DEPREMLERİNİN KAYNAK MEKANİZMASI PARAMETRELERİ.....	67
EK-B: 2005-2008 ÇAMELİ (DENİZLİ) DEPREMLERİNİN KAYNAK MEKANİZMASI PARAMETRELERİ.....	95
EK-C: MTA 1/500.000 ÖLÇEKLİ DENİZLİ PAFTASI BOUGER GRAVİTE HARİTASI, (MTA, 1979).....	107
ÖZGEÇMİŞ.....	109

KISALTMALAR

BB	: Broad-Band (Geniş-Bant)
BODC	: British Oceanographic Data Center
BSL	: Berkeley Seismological Laboratory (ABD)
CLVD	: Compensated Linear Vector Dipole
CMT	: Harvard - Centroid Moment Tensor
DAD	: Deprem Araştırma Dairesi
DC	: Double Couple
DEM	: Digital Elevation Model
EMSC	: European Mediterranean Seismological Centre
ERI	: Earthquake Research Institute (Tokyo)
FKRPROG	: Frequency-Wavenumber Integration Program
GEBCO	: General Bathymetric Chart of the Oceans
GMT	: Greenwich Mean Time
GMT	: General Mapping Tools
GPS	: Global Positioning System
LP	: Long-Period
KOERI	: Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute
NASA	: National Aeronautics and Space Administration (ABD)
NEIC	: USGS National Earthquake Information Center (ABD)
NIED	: National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention (Japonya)
Pclvd	: Percent Compensated Linear Vector Dipole
Pdc	: Percent Double Couple
Q-alpha	: P- dalgası Atenüasyon Katsayısı
Q-beta	: S- dalgası Atenüasyon Katsayısı
RMT	: Regional Moment Tensor
SAC	: Seismic Analysis Code
SRTM	: Shuttle Radar Topography Mission
TDMT_INVc	: Time Domain Moment Tensor Inversion
USGS	: United States Geological Survey (ABD)
UTC	: Coordinated Universal Time
VAR	: Varyans Değeri
VR	: Varyans Azalımı Değeri

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1 : Veri boyunun uzaklığa bağlı olarak belirlenmesi.....	25
Çizelge 2.2 : Deprem büyüklüğüne göre uygulanan filtre aralıkları.....	34
Çizelge 2.3 : Zaman ortamı moment tensör ters çözümü sonuçlarının varyans azalımı değerine göre kalite sınıflandırması (Örgülü, 2001).....	36
Çizelge 3.1 : Bâla-Sırapınar depremleri çözümünde kullanılan kabuk yapısı modeli. V_p , P- dalgası hızı; V_s , S- dalgası hızı ve ρ yoğunluk değerlerini belirtmektedir (Güven, 1998).....	38
Çizelge 3.2 : Bu tez çalışması kapsamında incelenen depremlerin oluş parametreleri. Depremlere ait lokasyon bilgileri Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü'nden alınmıştır.* ile işaretlenen depremlere ait büyüklük değeri M_D cinsinden, # ile işaretlenen depreme ait büyüklük değeri ise M_L cinsinden verilmiştir.....	40
Çizelge 4.1 : Çameli (Denizli) bölgesi kabuk yapısı modeli (Akyol ve diğ., 2006).....	44
Çizelge 4.2 : 2005-2008 yılları arasında Çameli (Denizli) bölgesinde olan bazı önemli depremlerin oluş parametreleri gösterilmiştir. Bu tez çalışması kapsamında çözümü elde edilen depremler ** ile işaretlenmiştir. Depremlere ait lokasyon bilgileri Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü'nden alınmıştır. * ile işaretlenen depremlere ait büyüklük değeri M_D cinsinden, $\times$ ile işaretlenen depreme ait büyüklük değeri ise M_b cinsinden verilmiştir.....	48
Çizelge 6.1 : Bâla-Sırapınar (Ankara) depremleri kaynak mekanizması parametreleri.....	54-55
Çizelge 6.2 : RMT yöntemi ile Çameli (Denizli) depremleri için elde edilmiş kaynak mekanizması parametreleri.....	59

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1	: Ankara bölgesinin genel jeoloji haritası (Aydemir, 2009). SAF: Şereflikoçhisar-Aksaray Fayı, EF: Ecemiş Fayı, KEF: Kırıkkale-Erbaa Fayı, OABK: Orta Anadolu Bindirme kuşağı, DN: Dönme Noktası, KVK: Kapadokya Volkanik Karmaşığı, YB: Yozgat Batoliti. Kesikli kırmızı çizgiyle çevrelenmiş dairesel bölge çalışma alanını göstermektedir.....	6
Şekil 1.2	: Ankara ve yakın çevresinin basitleştirilmiş neotektonik haritası. Ankara ili temel olarak Seyfe (1), Salanda (2), Kesikköprü (3), Tuz Gölü (4), İnönü-Eskişehir (5), Çeltikçi (6), Çubuk (7), Balaban (8), Kızılırmak (9), Kalecik (10), Dodurga (11) fay zonları ile kuzeyde ise KAFZ (Kuzey Anadolu Fay Zonu) ile çevrelenmiş bir bölgede yer almaktadır (Şaroğlu ve diğ., 1992; Koçkar ve Akgün, 2008'den derlenerek çizilmiştir). Kesikli kırmızı çember ile işaretlenen bölge çalışma alanını göstermektedir.....	7
Şekil 1.3	: Bâla ilçesindeki tipik kerpiç yapıların görünümü (Çubuk ve Taymaz, 2009a, b).....	9
Şekil 1.4a	: Bâla ilçesinde $M_L=5.6$ ve 5.5 olan 2007 yılı depremlerinde hasar görmüş kerpiç evler (Çubuk ve Taymaz, 2009a, b).....	9
Şekil 1.4b	: Bâla ilçesinde $M_L=5.6$ ve 5.5 olan 2007 yılı depremlerinde hasar görmüş evler (Çubuk ve Taymaz, 2009a, b).....	10
Şekil 1.4c	: Bâla ilçesinde $M_L=5.6$ ve 5.5 olan 2007 yılı depremlerinde hasar görmüş kerpiç evlerin görünümü (Çubuk ve Taymaz, 2009a, b).....	10
Şekil 1.5	: Orta Anadolu bölgesinin gravite anomali haritası. Kontur aralığı 10 mgal'dir (Aydemir, 2009 ve Ateş ve diğ., 2009'dan derlenmiştir).....	11
Şekil 1.6	: Bâla-Sırapınar (Ankara) bölgesini de içeren Orta Anadolu bölgesi Bouger gravite anomali haritası. Kontur aralığı 5 mgal olarak alınmıştır (Ateş ve diğ., 2009'dan derlenmiştir).....	12
Şekil 1.7	: Bâla-Sırapınar (Ankara) bölgesini de kapsayan, Orta Anadolu bölgesinin havadan manyetik anomali haritası. Uçuş yüksekliği 600 m'dir. Uçuş aralığı 1-3 km'dir. Konturların aralığı 100 nT olarak alınmış olup, 45000 nT'luk gürültü anomalisi ise MTA tarafından anomalilerden kaldırılmıştır (Ateş ve diğ., 2009'dan derlenmiştir).....	13
Şekil 1.8	: Doğu Akdeniz ve Batı Anadolu bölgesinde yer alan ana aktif tektonik birimler KAF: Kuzey Anadolu Fayı, DAF: Doğu Anadolu Fayı, ÖDF:Ölü Deniz Fayı, EPF: Ezinepazarı Fayı, PTF: Paphos Transform Fayı, CTF: Kefalonya Transform Fayı, G: Gökova, BMG: Büyük Menderes Grabeni, Ge: Gediz Grabeni, Si: Simav Grabeni, BuF: Burdur Fayı, BGF: Beyşehir	

	Gölü Fayı, TF: Tatarlı Fayı, SF: Sultandağ Fayı, TGF: Tuz Gölü Fayı, EcF: Ecemiş Fayı, ErF: Erciyes Fayı, DF: Deliler Fayı, EF: Elbistan Fayı, MF: Malatya Fayı, KFZ: Karataş-Osmaniye Fay Zonu'nu belirtmektedir (Yolsal ve diğ., 2007, Yolsal, 2008).....	14
Şekil 1.9	: Çameli havzasının jeoloji haritası (Alçiçek ve diğ., 2005'den derlenmiştir).....	16
Şekil 1.10	: Çameli-Göhlhisar havzasının ve yakın çevresinin aktif fay haritası (Alçiçek ve diğ., 2005'den derlenmiştir).....	17
Şekil 1.11	: Fethiye Körfezi ile Burdur Gölü arasındaki bölgede Burdur fayını oluşturan birimlerin konumları ve diğer fay sistemleri ile olan ilişkileri (Bozcu ve diğ., 2007).....	18
Şekil 1.12	: Uzunoluk-Çameli (Denizli) fayı yüzey kırığı (Çubuk ve Taymaz, 2009c).....	19
Şekil 1.13a	: Kibyra antik kenti (Göhlhisar-Denizli) stadyumu girişinde M.S. 417 ve M.S. 23 tarihsel depremleri ile meydana gelmiş hasar görünümü (Çubuk ve Taymaz, 2009c).....	20
Şekil 1.13b	: Kibyra antik kenti (Çameli-Göhlhisar, Denizli) tiyatrosunda M.S. 417 ve M.S. 23 tarihsel depremleri ile meydana gelmiş hasar görünümü (Çubuk ve Taymaz, 2009c).....	21
Şekil 1.14a	: Sagalassos (Ağlasun-Burdur) antik kenti tiyatrosunda M.S.6.yy'da tarihsel depremler ile meydana gelmiş hasarlar (Çubuk ve Taymaz, 2009c).....	22
Şekil 1.14b	: Sagalassos (Ağlasun-Burdur) antik kentinin üzerinde kurulu olduğu aktif fayların görünümü (Çubuk ve Taymaz, 2009c).....	22
Şekil 1.15	: Batı Anadolu'nun Bouger anomali haritası. Kontur aralığı 10 mgal'dir (Büyüksaraç ve diğ., 2009).....	23
Şekil 1.16	: Batı Anadolu'nun manyetik anomali haritası. Uçuş yüksekliği 600 m'dir. Uçuş aralığı ise 1-3 km arasında değişmektedir. Konturların aralığı 100 nT olarak alınmış olup, 45000 nT'lık gürültü anomalisi ise MTA tarafından anomalilerden kaldırılmıştır (Ateş ve diğ., 1999, 2009).....	24
Şekil 2.1	: Fay düzleminin doğrultu (ϕ), dalım (δ) ve kayma açılarının (λ) gösterimi (Aki ve Richards, 1980; Yolsal, 2008).....	26
Şekil 2.2	: Bir kaynaktaki değişik kuvvet tipleri (Stein ve Wyession, 2003).	28
Şekil 2.3	: Sismik moment tensorünün 9 adet kuvvet çifti gösterimi (Aki ve Richards, 1980; Stein ve Wyession, 2003).....	29
Şekil 2.4	: İzotropik ve deviatorik tip kaynakların kaynak mekanizmaları gösterimi (USGS-NEIC'den derlenerek çizilmiştir).....	30
Şekil 2.5	: TDMT_INVc programı işleyiş aşamaları ve kullanılan alt programlar (Dreger ve Helmberger, 1990, 1993).....	33
Şekil 3.1	: Bâla-Sırapınar depremleri çözümünde kullanılan BU-KOERI-UDIM genişband istasyonların dağılım haritası (Çubuk ve Taymaz, 2009a, b).....	38
Şekil 3.2	: 2005-2008 yılları arasında Bâla-Sırapınar (Ankara) bölgesinde büyüklüğü 3.0'dan fazla olan depremlerin dağılımları. Depremlerin episantır koordinatları Kandilli Rasathanesi Deprem Araştırma Enstitüsü (BU-KOERI-UDIM) veri merkezinden elde edilmiştir. Veri olarak yaklaşık 400 depremin bölgedeki dağılımından faydalanılmıştır. Topoğrafya, NASA-	

	SRTM-30 verisi kullanılarak hazırlanmıştır. Magnitüdü $M \geq 5.0$ olan depremler kırmızı yıldızlar ile temsil edilmiş olup, bölgede olan diğer depremlerin episantır dağılımı mavi daireler ile gösterilmiştir.....	39
Şekil 3.3	: 30 Temmuz 2005 Bâla-Sırapınar (Ankara) depreminin kaynak mekanizması çözümü.....	41
Şekil 3.4	: 20 Aralık 2007 Bâla-Sırapınar (Ankara) depreminin kaynak mekanizması çözümü.....	42
Şekil 4.1	: Çameli (Denizli) depremlerinin çözümünde kullanılan P-dalgası hız-derinlik modeli (Akyol ve diğ. 2006'dan alınmıştır)..	43
Şekil 4.2	: Bu çalışmada kullanılan Kandilli Rasathanesi Deprem Araştırma Enstitüsü'ne ait geniş bandlı istasyonların lokasyonları ve bölgedeki dağılımları. Topoğrafya ve batimetri, sırasıyla NASA-SRTM-30 ve GEBCO-BODC tarafından hazırlanan veriler kullanılarak hazırlanmıştır. Kayıtların lokasyonları BU-KOERI'den alınmıştır. Kırmızı kesik çizgili daire ile çalışma bölgesi gösterilmektedir.....	44
Şekil 4.3	: 2005-2008 yılları arasında Çameli-Göhlhisar (Denizli) bölgesi ve yakın çevresinde $M \geq 2.6$ olan depremlerin dağılımı. Deprem lokasyon bilgileri Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü'nden alınmıştır. KMG: Küçük Menderes Grabeni, BMG: Büyük Menderes Grabeni'ni göstermektedir. Topoğrafya ve batimetri, sırasıyla NASA-SRTM-30 ve GEBCO-BODC tarafından hazırlanan veriler kullanılarak hazırlanmıştır. Aktif faylar Şaroğlu ve diğ. (1992)'den alınarak kullanılmıştır. $M_w > 5.0$ olan depremler, yıldızlar ile temsil edilmektedir.....	45
Şekil 4.4	: 2005-2008 yılları arasında Çameli havzasında oluşan $M \geq 2.6$ olan depremlerin dağılımı. Episantır lokasyon bilgileri Kandilli Rasathanesi'nden alınmıştır. Topoğrafya, NASA-SRTM-30 verisi kullanılarak hazırlanmış olup, aktif faylar Şaroğlu ve diğ. (1992)'den alınarak kullanılmıştır, ancak bölgede varlığı bilinen daha küçük ölçekli neotektonik fayların yeniden haritalanması gerekmektedir.....	46
Şekil 4.5	: Burdur Fethiye Fay Zonunun aktif fay haritası ve sayısal yükseklik modeli (DEM) ve Acıpayam, Göhlhisar ve Çameli havzaları görülmektedir (Elitez ve diğ., 2009).....	47
Şekil 4.6	: 29 Ekim 2007 Çameli (Denizli) depreminin kaynak mekanizması çözümü.....	49
Şekil 4.7	: 16 Kasım 2007 Çameli (Denizli) depreminin kaynak mekanizması çözümü.....	50
Şekil 6.1	: Zaman ortamı moment tensor ters çözüm yöntemi ile üç veya daha fazla istasyon verisi kullanılarak çözümü elde edilen 24 adet depremin bölgedeki dağılımı ve kaynak mekanizması çözümleri gösterilmiştir. Depremlerin episantır lokasyonları Kandilli Rasathanesi Deprem Araştırma Enstitüsü'nden alınmıştır. Topoğrafya NASA-SRTM-30 verisi kullanılarak hazırlanmıştır. Kaynak mekanizması boyutları deprem büyüklüğüyle orantılı olarak değişmekte olup depremlere ait olan numaralandırma kullanılarak Çizelge 5.1 ile kaynak mekanizması parametreleri karşılaştırılabilir (Çubuk ve	

	Taymaz, 2009a, b).....	56
Şekil 6.2	: Zaman ortamı moment tensör ters çözüm kodu ile Çameli (Denizli) bölgesinde üç veya daha fazla istasyon verisi kullanılarak kaynak mekanizması çözümü elde edilen depremlerin dağılımı. Topoğrafya, NASA-SRTM-30 verisi kullanılarak hazırlanmış olup, aktif faylar Şaroğlu ve diğ. (1992)'den alınarak kullanılmıştır. Fayların konumları ve dağılımları yanıltıcı olabilir, zira bu bölgede detaylı neotektonik çalışmalar henüz yapılmamıştır. Kaynak mekanizması gösterimlerinin boyutları deprem büyüklüğüyle orantılı olarak değişmektedir (Çubuk ve Taymaz, 2009c).....	58
Şekil A.1	: 23 Eylül 2008, 09:09:42.50 Afşar-Bâla depremi çözümü ($M_w \sim 4.4$)....	68
Şekil A.2	: 11 Eylül 2008, 08:33:58.27 Afşar-Bâla depremi çözümü ($M_w \sim 4.1$)...	69
Şekil A.3	: 19 Temmuz 2008, 01:27:21.73 Afşar-Bâla depremi çözümü ($M_w \sim 3.5$)	70
Şekil A.4	: 15 Mart 2008, 10:15:38.88 Afşar-Bâla depremi çözümü ($M_w \sim 4.7$).....	71
Şekil A.5	: 1 Şubat 2008, 09:11:03.53 Afşar-Bâla depremi çözümü ($M_w \sim 4.1$).....	72
Şekil A.6	: 26 Ocak 2008, 06:57:52.75 Afşar-Bâla depremi çözümü ($M_w \sim 3.6$)....	73
Şekil A.7	: 20 Ocak 2008, 14:45:27.15 Afşar-Bâla depremi çözümü ($M_w \sim 3.5$)....	74
Şekil A.8	: 14 Ocak 2008, 06:57:56.59 Afşar-Bâla depremi çözümü ($M_w \sim 3.7$)....	75
Şekil A.9	: 11 Ocak 2008, 16:07:48.37 Afşar-Bâla depremi çözümü ($M_w \sim 3.9$).....	76
Şekil A.10	: 7 Ocak 2008, 18:26:35.25 Afşar-Bâla depremi çözümü ($M_w \sim 3.8$).....	77
Şekil A.11	: 4 Ocak 2008, 05:03:13.56 Afşar-Bâla depremi çözümü ($M_w \sim 4.1$).....	78
Şekil A.12	: 29 Aralık 2007, 11:54:16.62 Bâla depremi çözümü ($M_w \sim 3.5$).....	79
Şekil A.13	: 27 Aralık 2007, 17:56:12.55 Bâla depremi çözümü ($M_w \sim 4.1$).....	80
Şekil A.14	: 27 Aralık 2007, 13:47:58.43 Bâla depremi çözümü ($M_w \sim 4.7$).....	81
Şekil A.15	: 27 Aralık 2007, 07:47:01.24 Bâla depremi çözümü ($M_w \sim 4.1$).....	82
Şekil A.16	: 26 Aralık 2007, 23:47:08.68 Bâla depremi çözümü ($M_w \sim 5.6$).....	83
Şekil A.17	: 21 Aralık 2007, 19:18:22.46 Bâla depremi çözümü ($M_w \sim 3.7$).....	84
Şekil A.18	: 20 Aralık 2007, 12:34:25.94 Bâla depremi çözümü ($M_w \sim 3.6$).....	85
Şekil A.19	: 20 Aralık 2007, 10:50:12.31 Bâla depremi çözümü ($M_w \sim 3.9$).....	86
Şekil A.20	: 20 Aralık 2007, 09:48:27.62 Bâla depremi çözümü ($M_w \sim 5.6$).....	87
Şekil A.21	: 23 Ekim 2007, 22:56:52.28 Bâla depremi çözümü ($M_w \sim 3.7$).....	88
Şekil A.22	: 22 Mayıs 2007, 01:39:09.91 Bâla depremi çözümü ($M_w \sim 3.4$).....	89
Şekil A.23	: 6 Eylül 2006, 18:47:02.00 Bâla depremi çözümü ($M_w \sim 3.8$).....	90
Şekil A.24	: 1 Ağustos 2005, 02:02:15.00 Bâla depremi çözümü ($M_w \sim 3.6$).....	91
Şekil A.25	: 31 Temmuz 2005, 23:41:34.00 Bâla depremi çözümü ($M_w \sim 4.4$).....	92
Şekil A.26	: 31 Temmuz 2005, 15:18:19.00 Bâla depremi çözümü ($M_w \sim 4.0$).....	93
Şekil A.27	: 30 Temmuz 2005, 21:45:05.0 Bâla depremi çözümü ($M_w \sim 5.2$).....	94
Şekil B.1	: 30 Mayıs 2008, 05:34:20.97 Çameli depremi çözümü ($M_w \sim 4.1$).....	96
Şekil B.2	: 28 Mayıs 2008, 22:35:48.76 Çameli depremi çözümü ($M_w \sim 4.0$).....	97
Şekil B.3	: 13 Şubat 2008, 03:01:24.24 Çameli depremi çözümü ($M_w \sim 3.8$).....	98
Şekil B.4	: 9 Aralık 2007, 20:29:46.18 Çameli depremi çözümü ($M_w \sim 4.2$).....	99
Şekil B.5	: 2 Aralık 2007, 20:21:49.96 Çameli depremi çözümü ($M_w \sim 4.4$).....	100
Şekil B.6	: 16 Kasım 2007, 09:08:23.55 Çameli depremi çözümü ($M_w \sim 5.1$).....	101
Şekil B.7	: 12 Kasım 2007, 15:02:10.20 Çameli depremi çözümü ($M_w \sim 4.4$).....	102
Şekil B.8	: 31 Ekim 2007, 17:58:00.62 Çameli depremi çözümü ($M_w \sim 4.7$).....	103
Şekil B.9	: 29 Ekim 2007, 09:23:14.31 Çameli depremi çözümü ($M_w \sim 5.2$).....	104
Şekil B.10	: 29 Ekim 2007, 19:41:39.89 Çameli depremi çözümü ($M_w \sim 4.7$).....	105
Şekil C.1	: MTA 1/500.000 ölçekli Denizli paftası Bouger gravite haritası.....	108

SEMBOL LİSTESİ

Δ	: Episantr Uzaklığı (°)
ϕ	: Doğrultu Açısı (°)
δ	: Dalım Açısı (°)
λ	: Kayma Açısı (°)
$\bar{D}$	: Ortalama Yerdeğiştirme (cm)
μ	: Kesme (Katılık) Modülü
ρ	: Yoğunluk (gr/cm ³)
h	: Deprem Kaynak Derinliği (km)
m_b	: Cisim Dalgası Büyüklüğü
M_0	: Sismik Moment (dyne.cm)
M_D	: Süreye Bağlı Büyüklük
M_w	: Sismik Moment Büyüklüğü
t_0	: Deprem Oluş Zamanı
V_p	: P- Dalgası Sismik Hızı (km/sn)
V_s	: S- Dalgası Sismik Hızı (km/sn)
Q	: Kalite Parametresi

2005-2008 BÂLA-SIRAPINAR (ANKARA) VE ÇAMELİ (DENİZLİ) DEPREMLERİNİN KAYNAK MEKANİZMASI PARAMETRELERİ

ÖZET

İç Anadolu bölgesinin aktif tektoniği ve deformasyonu, Anadolu levhasının Afrika ve Arabistan levhalarıyla çarpışması sonucu Kuzey ve Doğu Anadolu fay zonları boyunca Doğu Anadolu sıkışma bölgesinden itibaren batıya doğru itilmesinden kaynaklanmaktadır. Anadolu levhasının batıya zorlanan hareketi sonucunda, İç Anadolu bölgesinde GPS ve paleomanyetik çalışmalarla desteklenen burkulma (rotational-wrench) tektonik yapısı meydana gelmektedir. Tuz Gölü'nün kuzey ucunda kalan ve Bâla ilçesini de içeren bölgenin bu burkulma hareketinin dönme noktası (hinge point) olabileceği ve bu sebeple yoğun deprem aktivitesi gösterdiği düşünülmektedir.

Ankara'nın Bâla ilçesi ve çevresinde uzunlukları 1 km ile 25 km arasında değişen sık aralıklı birçok fay bulunmaktadır. Levha içi deformasyonlar sonucu oluşmuş bu fayların üretebileceği deprem büyüklükleri sınırlı olup 2005 yılının Temmuz ayında Richter ölçeğine göre 5.2 ve 2007 yılının Aralık ayında 5.7 büyüklüğünde olmak üzere iki büyük deprem meydana gelmiştir. Depremler, Bâla ilçesine bağlı Sırapınar, Bahçekaradalak ve Yeniyapanşeyhli köylerindeki kerpiç evlerde hasara neden olmuş ve Kırıkkale, Kırşehir, Aksaray, Niğde, Konya ve Yozgat il merkezleri ile yakın ilçeleri kapsayan bir alanda hissedilmiştir.

Batı Anadolu bölgesi ise dünyada, sismolojik olarak en aktif kıtasal bölgelerden biri olarak bilinmektedir. Anadolu levhasının batıya doğru hareketi, doğu-batı yönlü sıkışmalara, kuzey-güney yönlü genişlemeye neden olmaktadır. Bunun sonucu olarak Ege Bölgesi'nde doğu-batı doğrultulu graben sistemleri oluşmakta ve havza sınırlarındaki normal faylanmalar bölgedeki temel neotektonik unsurları meydana getirmektedir.

Denizli'nin Çameli ilçesinde olan depremler ise yine Güney Batı Anadolu çekme rejiminin denetimi altında, Çameli-Gölhisar Fay Zonu'nun aktivitesinden kaynaklanmaktadır. Bu zon, Kelekçi-Altınyayla arasında uzanan 40 km uzunlukta ve 30 km genişlikte birbirine paralel KD-GB genel gidişli üç faydan oluşmaktadır. Bölgede 2007 yılının Ekim ayında $M_L=5.1$ büyüklüğünde ve yine aynı yılın Kasım ayında $M_L=5.0$ büyüklüğünde olan iki deprem meydana gelmiş olup bu depremleri yoğun artçı deprem aktiviteleri takip etmiştir.

Bu tez çalışmasının esas amacı, 2005–2008 yılları arasında Bâla-Sırapınar (Ankara) ve Çameli (Denizli) bölgelerinde olan depremlerin kaynak parametrelerinin incelenmesi ve depremler ile fay yapılarının özelliklerinin deprem verilerinden yararlanılarak bölgelerin sismotektonik özelliklerinin aydınlatılmasıdır. Çalışmada kullanılan Bölgesel Moment Tensör ters çözüm yöntemi, son yıllarda geniş banthı istasyon sayısının artması ile orta büyüklükte ($4.0 \leq M \leq 6.0$) ve bölgesel mesafede ($1^\circ \leq \Delta \leq 10^\circ$) olan depremlerin kaynak parametrelerinin belirlenmesi için kullanılmaktadır. Yöntem, küresel olarak kullanım alanı bulmakta olup, Dreger (1992) ve Dreger ve Helmberger (1993) tarafından geliştirilmiş olan Zaman Ortamı Moment Tensör Ters Çözüm Kodu (TDMT_INV) olarak bilinmektedir. Bu

yöntemde çalışma alanlarına uygun kabuk modeli kurulduktan sonra yapay sismogramlar geliştirilerek ters çözüm yapılır. Yapay ve gözlemsel genlikler arasındaki farkı minimuma indirgeyen, yüksek değerde ikili kuvvet çifti oranı (DC) ve varyans azalım değeri (VR) veren model en iyi çözüm olarak alınır. Böylece depremlerin kaynak mekanizması parametrelerine ulaşılır. Bu parametreler bölgeye ait sismotektonik ve yapısal jeoloji verileri de göz önüne alınarak bölgenin güncel aktif tektonik yapısı araştırılır.

Bâla ve çevresinde 30.07.2005 ile 18.12.2008 tarihleri arasında meydana gelen ve büyüklükleri 3.5-5.7 arasında değişen 35 adet deprem, Çameli ve çevresinde ise 13.07.2005 ile 08.10.2008 tarihleri arasında meydana gelen ve büyüklükleri 3.5-5.2 arasında olan 10 adet deprem incelenmiştir. Bu depremlerden Kandilli Rasathanesi Deprem Araştırma Enstitüsü'nün çalıştırdığı, episantır uzaklığı yaklaşık olarak 50-300 km uzaklıkta değişen istasyonlarda kaydedilmiş olan gürültüsüz kayıtlar ile bölgesel moment tensör analizi yapılmıştır.

Yapılan çalışma sonucunda Bâla-Sırapınar bölgesinde sinyal/gürültü oranı iyi olan 27 adet depremin ($3.5 \leq M_w \leq 5.6$) kaynak mekanizması elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, bu depremlerden sekiz tanesi KB-GD doğrultulu normal faylanma bileşeni de içerebilen sağ yanal atımlı faylanma mekanizması göstermektedir. Diğer depremler ise KD-GB ve D-B doğrultulu sağ yanal atımlı faylanma mekanizması ile meydana gelmektedir. Kaynak mekanizması çözümlerinin çoğunluğunun KB-GD doğrultulu olması, 2005-2008 deprem etkinliğinin genel karakteristiğinin KB-GD doğrultulu sağ yönlü doğrultu atımlı faylanma ile temsil edildiğini göstermektedir.

Çameli bölgesinde ise sinyal/gürültü oranı iyi olan 10 adet depremin ($3.5 \leq M_w \leq 5.2$) kaynak mekanizması çözümü elde edilmiştir. Bölgede meydana gelen depremler Çameli-Göhlisar fay zonunun aktivitesiyle ilişkili olup kaynak mekanizması sonuçlarına göre bu bölgede olan depremlerin ağırlıklı olarak normal faylanma mekanizması gösterdiği ve oblik atımlarında bulunduğu görülmüştür.

Sonuç olarak, her iki bölge için toplamda elde edilen 37 adet kaynak mekanizması çözümünün bölgelerin aktif tektoniği ve yerel jeolojik özellikleriyle uyumlu sonuçlar verdiği görülmektedir.

SOURCE MECHANISM PARAMETERS OF BÂLA-SIRAPINAR (ANKARA) AND ÇAMELİ (DENİZLİ) EARTHQUAKES OF 2005-2008

SUMMARY

Collision of African and Arabian plates with Anatolian plate induces western movement of Anatolian plate along the North and East Anatolian fault zones which begin from the East Anatolian compression region. Active tectonics and deformations of Central Anatolia are under development of western movement of Anatolian plate. As a result of compelled western movement of Anatolian plate, the rotational wrench tectonics are reasonable for tectonic structures of Central Anatolia that was also supported by the GPS measurements and paleomagnetic studies. The region that includes Bâla is the northernmost corner of the Lake of Tuzgölü and it might be the hinge point for rotation so it is conceivable that intensive earthquake activity occurs.

There are few dense scattered faults, which lengths differ from 1 to 25 km in Bâla region. These faults were developed by internal plate deformations and their potential to produce an earthquake at great magnitudes is limited. There have been two earthquakes in Bâla with regard to Richter magnitudes of 5.2 and 5.7 respectively, in July 2005 and December 2007. These earthquakes caused damage at mud-brick houses in villages such as Sırıpınar, Bahçekaradalak and Yenyapanşeyhli bounded to Bâla and they were perceived at provincial centers of Kırıkkale, Kırşehir, Aksaray, Niğde, Konya and Yozgat and their close districts.

Western Anatolian is known as the one of the most active seismological continental region in the World. Western movement of Anatolian plate caused east-west directional compression and north-south directional dilatation as a consequence of that east-west directional graben systems were formed in Aegean and normal faults constitute essential neotectonic structures in basin margins.

Earthquakes in Çameli district originated from activity of Çameli-Göhlhisar Fault Zone, which have controlled under the Southwestern Anatolian tension regime. This zone consists of 30 km wide and 40 km long three parallel fault systems with NE-SW directions located between Kelekçi and Altınyayla. Two earthquakes occurred in the region with local magnitudes, $M_L=5.1$ on 29 October 2007 and $M_L=5.0$ on 16 November 2007, respectively and these earthquakes were followed by intensive after shock activity.

The aim of these thesis is to get better understanding of seismotectonic characteristics of regions and source parameters of earthquakes occurred during 2005-2008 at Bâla-Sırıpınar (Ankara) and Çameli (Denizli), and to explain the geometry of active fault structures in the region by using seismological data.

Regional Moment Tensor (RMT) method is commonly used to determine focal parameters of moderate size earthquakes ($4.0 \leq M \leq 6.0$) recorded at regional distances ($1^\circ \leq \Delta \leq 10^\circ$), and it is widely accepted due to increasing number of high quality broad-band stations. Methodology used in this study developed by Dreger (1992), Dreger and Helmberger (1993), and it is known as Time Domain Moment Tensor Inverse Code (TDMT_INV). This seismic moment tensor inversion method is widely used among seismologists. In this method after having adapted suitable crustal structure of the region, synthetic seismograms are calculated in order to compare the observed seismograms in terms of shape and amplitudes. The best solution was taken as the one that has minimum misfit between observed and synthetic seismograms with highest double-couple percentage and variance reduction. Thus source mechanism parameters were obtained. Hence, these parameters are used to investigate seismotectonic features of the region in the light of local structural geology of the region.

We have investigated 35 earthquakes with magnitudes ranging $3.5 \leq M \leq 5.7$ occurred between 30.07.2005 and 18.12.2008 in Bâla and surroundings as well 10 earthquakes with magnitudes $3.5 \leq M \leq 5.2$ occurred between 13.07.2005 and 08.10.2008 in Çameli and surroundings. We used waveforms from three-component broad-band stations operated by BU-KOERI for which signal amplitudes were large enough, and recorded at epicentral distances between 50-300 km to obtain moment tensor solutions.

In this study we have consequently obtained source mechanism and moment tensor solutions of 27 earthquakes ($3.5 \leq M_w \leq 5.6$) in Bâla which have good signal/noise ratios. According to source mechanism solutions, right-lateral strike slip fault characteristics are common in NW-SE direction and left-lateral strike-slip fault characteristics in NE-SW direction. Some mechanisms include normal faulting components and partially E-W directions exist. Plenty of NW-SE directions indicate that common characteristics of 2005-2008 earthquake activity in this region could have represented with right lateral strike slip faulting mechanism.

Moment tensor solutions of 10 earthquakes ($3.5 \leq M_w \leq 5.2$) were obtained in Çameli-Göhlisar region which have good signal/noise ratios. These earthquakes can be easily correlated with the recent seismic activity of Çameli-Göhlisar fault zone and with regard to source mechanism parameters normal and oblique faulting mechanisms are present.

As a consequence, overall 37 source mechanism solutions for both region appear to be consistent with active tectonics and local geological features.

1. GİRİŞ

1.1 Tezin Amacı ve İçeriği

Yüksek lisans tezi kapsamında, sırasıyla Orta Anadolu'da ve Güney Batı Anadolu'da yer alan Bâla-Sırapınar (Ankara) ve Çameli (Denizli) olmak üzere iki ayrı bölgede olan depremler çalışma konusu olarak alınmıştır. Çalışma bölgelerinde 2005 ve 2008 yılları arasında gözlenen yoğun deprem aktivitesi, bölgelerde yer alan fay zonlarının geometrisini, genişleme ve sıkışma alanlarını ve bölgelerin aktif tektoniğinin araştırılmasını önemli hale getirmektedir. Bu amaçla, her iki çalışma bölgesinde meydana gelen ve büyüklükleri 3.5 ile 5.7 arasında değişen depremlerin kaynak mekanizması çözümlerinin elde edilmesi hedeflenmiştir.

Çalışmada kullanılan bölgesel moment tensör yöntemi, son yıllarda geniş bantlı istasyon sayısının artması ile orta büyüklükte ($4.0 \leq M \leq 6.0$) ve bölgesel mesafede ($1^\circ \leq \Delta \leq 10^\circ$) olan depremlerin kaynak parametrelerinin belirlenmesi amacıyla kullanılmaktadır. Zaman ortamı moment tensör ters çözüm yöntemi (TDMT_INV), Dreger (1992) ile Dreger ve Helmberger (1993) tarafından geliştirilmiş olup Kaliforniya Üniversitesi, Berkeley Sismoloji Laboratuvarı (BSL) başta olmak üzere dünyada yaygın olarak kullanım alanı bulmaktadır. Green fonksiyonları hesaplamada kullanılan FKRPROG yazılımı ise Saikia (1994) tarafından geliştirilmiştir. Elde edilen sonuçların tez içerisinde gösterilmesi Bâla-Sırapınar (Ankara) ve Çameli (Denizli) şeklinde sınıflandırılarak ayrı başlıklar halinde verilmiştir (Bknz: Bölüm 5).

Zaman ortamı moment tensör ters çözüm yöntemiyle kaynak mekanizması çözümü bulunacak olan depremler seçilirken dikkat edilen kriterler; a) Daha önce çalışılmamış depremler olmaları, b) Daha önceden çalışılmış ancak TDMT_INV yöntemiyle çalışılmamış depremler olmaları, c) Bölgedeki küçük ölçekli ($3.5 \leq M \leq 4.5$) yerel depremlerin sadece Harvard-CMT ve/veya USGS-NEIC çözümlerinin bulunması, yerel depremlerin sağlıklı kaynak mekanizması çözümleri telesismik yöntemlerle kolayca tanımlanamadığından bölgesel moment tensör (RMT) yöntemiye çalışılmaları gerekmiştir.

Tez çalışması kapsamında 30 Temmuz 2005 ve 18 Aralık 2008 tarihleri arasında Bâla-Sırapınar (Ankara) ile 13 Temmuz 2005 ve 8 Ekim 2008 tarihleri arasında Çameli (Denizli) bölgesinde meydana gelen toplamda 45 adet depremin verisi incelenmiştir. Bunların içinden sinyal/gürültü oranı iyi olan, veri kalitesi yüksek, 27 adet deprem Bâla-Sırapınar (Ankara) bölgesinde ve 10 adet deprem ise Çameli (Denizli) bölgesinde olmak üzere toplamda 37 adet depremin kaynak mekanizması parametreleri zaman ortamı moment tensör ters çözümü yöntemi ile elde edilebilmiştir.

Veri işlem aşamaları, SUSE-Linux 9.3 ve Mac-OS-X-FBSDE Leopard işletim sistemleri kullanılarak, SAC2000 yazılımı aracılığıyla gerçekleştirilmiştir. Haritalar ise GMT yazılımı (Wessel ve Smith, 1998) kullanılarak hazırlanmıştır. Kara topografya verisi için, ~90 m ve ~900 m örneklemeli NASA-SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) verisi kullanılmıştır. Kandilli Rasathanesi Deprem Araştırma Enstitüsü tarafından derlenen deprem katalogları kullanılarak, güncel depremsellik haritaları hazırlanmış olup, üç bileşen geniş-band veriler de Kandilli Rasathanesi Deprem Araştırma Enstitüsü'nün hizmete sunduğu veri tabanından alınarak SAC2000 yazılımı (Goldstein, ve diğ., 1999) aracılığıyla kullanılmıştır.

1.2 Literatür Özeti

Sismik moment tensör analizleri, bu çalışmada kullanılan yöntem ve benzeri diğer yöntemler ile hem küresel hem de yerel depremlerin çözümü için, dünya genelinde gerçek zamanlı olarak uygulanmaktadır.

Dziewonski ve diğ. (1981) sismik moment tensörün elde edilmesi amacıyla bir yöntem geliştirmiş ve bunu küresel çapta 25 depreme uygulamışlardır. Bu yöntemde kabuk yapısı, olayın lokasyonu ve oluş zamanı gibi ön bilgilerin kullanılmasıyla sismik dalga biçimi verisinden ters çözüm yaparak ikili kuvvet çifti (double-couple) çözümü hesaplamaktadır. Yöntem, Japonya'da Tokyo Üniversitesi, Deprem Araştırma Enstitüsü'nde (ERI) yaklaşık olarak gerçek zamanlı otomatik moment tensör çözümünde uzun periyotlu cisim dalgası verisi ile kullanılmaktadır.

Dreger ve Helmberger (1990, 1993) geniş-bandlı verilerden Green fonksiyonları üretilmesini sağlayan ve ayrık sismograf ağlarında bölgesel verilerden yararlanılarak kaynak mekanizması, sismik moment ve kaynak derinliği gibi kaynak mekanizması parametrelerinin elde edilmesini ve sismik moment tensörün hesaplatılmasını sağlayan bir yöntem geliştirmişlerdir.

Pasyanos ve diğ. (1996) bölgesel moment tensör ters çözümünde iki farklı yöntem geliştirmiş olup, deprem lokasyon tayini yapmakta kullanılan programlardaki tabakalı hız modellerinin, Green fonksiyonları elde edilmesinde de kullanılabileceğini düşünmüştür. Bahsedilen yöntemlerden biri frekans ortamı yüzey dalgası ters çözümü yöntemi olmaktadır. Bu yöntemde orta periyottaki Love ve Rayleigh dalgalarının ters çözümü yapılır. Uygun hız yapısı her kaynak-alıcı yolu için seçilir. Büyüklüğü yaklaşık olarak 3.6'dan büyük olan depremler bu yöntem ile çözülebilmektedir. İkinci yöntem ise bu tez çalışmasında da kullanılan zaman ortamı moment tensör ters çözüm (TDMT_INV) yöntemidir (Dreger ve Helmberger, 1993).

Kaliforniya Üniversitesi, Berkeley Sismoloji Laboratuvarı'nda (BSL) merkez ve kuzey Kaliforniya'da olan depremler ile beraber Amerika'nın batısında olan önemli depremlerin araştırılması amacıyla, sismik moment tensörlerin gerçek zamanlı ve otomatik olarak belirlenmesi rutin olarak uygulanmaktadır. Berkeley Sismoloji Laboratuvarı'nda Hızlı Deprem Veri Entegrasyonu (REDI) projesi altında iki adet otomatikleştirilmiş moment tensör yöntemi kullanılmaktadır. Yüzey dalgası spektral ters çözümü ve zaman ortamı üç bileşen tam dalga biçimi ters çözümü yardımıyla, herhangi bir depremin olmasının ardından 6-9 dakika sonra bu depremin moment tensör çözümü elde edilebilmektedir.

Dreger ve Helmberger (1993) tarafından geliştirilen program, Japon Ulusal Yer Bilimleri ve Doğal Afetlerin Önlenmesi Araştırma Enstitüsü (NIED)'de depremlerin çözümünde otomatikleştirilmiş prosedür olarak uygulanmaktadır.

Ayrıca Rueda ve Mezcua (2005) İspanya'da, Dreger ve Helmberger (1993) tarafından geliştirilen bu yöntemi kullanarak sismik moment tensörlerin hesaplanmasına otomatik bir yaklaşım getirmişlerdir. Sismik moment tensörler, L_g dalgaları kullanılarak hesaplanan cisim dalgası büyüklüğü, $M_{bLg} \geq 3.5$ olan sismik aktiviteler için otomatik olarak hesaplanmaktadır. Elde edilen sonuçların farklı

alışmalar ile kıyaslanması neticesinde, büyüklüğü $M \geq 4.5$ olan sismik aktiviteler için yöntemin gerçekçi sonuçlar verdiği görülmüştür. Geniş-bantlı istasyon sayısının artışıyla zaman ortamı moment tensör ters çözüm yöntemi Yeni Zelanda’da Matcham (1999) ve Robertson (2008) ile kullanım alanı bulmaktadır.

1.3 Çalışma Alanlarının Tanımlanması

Tez çalışması kapsamında ele alınan iki bölgeye ait genel sismotektonik ve jeolojik özellikler ile bölgelerde gerçekleştirilen arazi çalışmalarından edinilen izlenimler devam eden bölümün konusunu oluşturmaktadır. Ayrıca bu tez çalışması, TÜBİTAK-ÇAYDAG 107Y288 nolu “Türkiyenin Derin Yer Yapısı ve Tektonik Özelliklerinin Gravite, Manyetik, Sismik ve Sismolojik Veriler Kullanılarak Araştırılması” projesi kapsamında desteklenmektedir. Gravite ve manyetik yöntemler kullanılarak gerçekleştirilen çalışmalar ile elde edilen anomali haritaları da bu bölüm içerisinde yer almaktadır.

1.3.1. Bâla–Sırapınar (Ankara) Bölgesi

İç Anadolu bölgesinin aktif tektoniğı ve deformasyonu, Anadolu levhasının Afrika ve Arabistan levhalarıyla çarpışması sonucu Kuzey ve Doğı Anadolu Fay Zonları boyunca Doğı Anadolu sıkışma bölgesinden itibaren batıya doğıru itilmesinden kaynaklanmaktadır. Anadolu levhasının batıya zorlanan hareketi sonucunda İç Anadolu bölgesinde GPS ve paleomanyetik çalışmalarla desteklenen burkulma (rotational wrench) tektonik yapısı meydana gelmektedir. Tuz Gölü’nün kuzey ucunda kalan ve Bâla ilçesini de içeren bölgenin bu burkulma hareketinin dönme noktası (hinge point) olabileceğı (Aydemir, 2009) ve bu sebeple yoğun deprem aktivitesi gösterdiği düşünülmektedir.

Ankara il sınırları içindeki alanlar, Türkiye deprem bölgeleri haritasında birinci, ikinci, üçüncü ve dördüncü derece deprem bölgesi kapsamında yer almaktadır. Birinci derece deprem bölgeleri, ilin kuzeyinde Kuzey Anadolu fayına yakın bölgeler ile doğı, güneydoğıda Tuz Gölü fayına yakın bölgeleri kapsamaktadır. Bu haritaya göre Bâla bölgesi ikinci derece deprem bölgesi içinde kalmaktadır (Afet İşleri Genel Müdürlüğü Deprem Araştırma Dairesi, Deprem Bölgeleri haritası; Zünbül ve Kadirioğılu, 2008).

1.3.1.1 Bâla-Sırapınar (Ankara) Bölgesinin Genel Jeolojisi

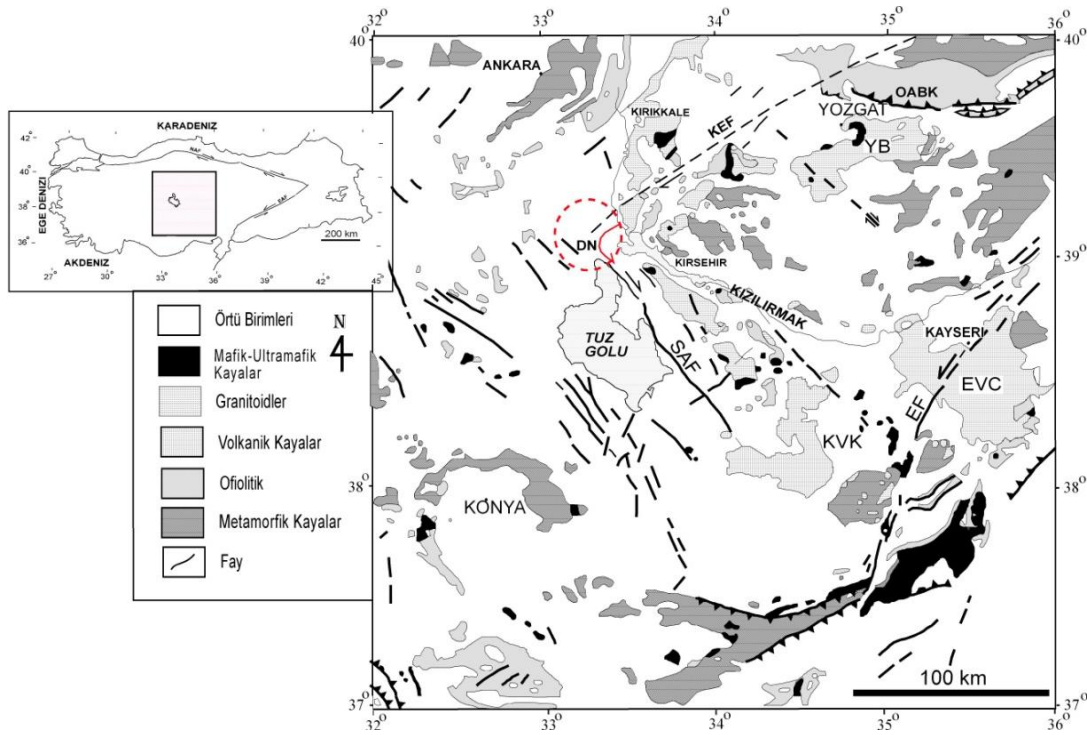
Ankara il sınırları içinde kalan alanlar Torid Anatolit platformu ve Kırşehir bloğu üzerinde olup farklı jeolojik özelliklere sahip kayalardan oluşmaktadır. Ankara ve civarı Mesozoyik öncesi, Geç Triyas-Orta Jura, Erken Jura-Lütesiyen ve Oligosen-Kuvaterner aralıklarında değişik tektonik ortamları karakterize etmeleri yüzünden özgün gelişim süreçleri izlemişlerdir. Bölge bu değişik tektonik ortamların çarpışmalar yüzünden Lütesiyen'de bir araya gelmelerinden sonra ortak bir tektonik mekanizmanın denetimine girmiştir (Baran, 1996).

Neotektonik dönem olayları sismik etkinliklerin kökenlerine yaklaşım yönünden önemlidir. Söz konusu yörede Neotektonik dönem başlangıcının hangi kriterle belirlenebileceği açık değilse de Geç Miyosen'den sonraki gelişim önemli görülmektedir. Koçyiğit ve diğ., (1994) Çankırı havzasında kompresif rejimin Geç Pliyosen'e kadar etkili olduğunu ileri sürmekte ve Ankara batısından da bu gelişimine kanıtlar göstermektedir (Koçyiğit, 1991). Eosen'deki çarpışmayı izleyen dönemde gerilme sisteminin saf makaslama sürecinden doğrultu atımlı fayların oluşumuyla basit makaslama sürecine dönüşmesi volkanik etkinliğin başlamasına yol açmıştır. Volkanik aktivite ürünü kayalar (aglomera, tüf, bazalt) gelişmeye başlamıştır. En genç volkanik aktivite Pliyosen yaşlı Bozdağ bazaltıdır. Pliyosen sonlarında volkanik aktivite durmuştur. Ankara ilindeki en genç jeolojik oluşumları eski ve güncel alüvyonlar oluşturmaktadır (Baran, 1996 ve Zünbül ve Kadirioğlu, 2008).

Anadolu levhasının bütününde egemen olan kuzey-güney yönlü sıkışma levhanın batıya kaçışa zorlanmasıyla Pliyosen'de Kuzey Anadolu fayı ve Doğu Anadolu fayının meydana gelmesine yol açmıştır. Kuzey Anadolu fayından ayrılan ikincil faylanmalar yörede KD-GD uzanımlı dar havzalar oluşturmuştur. Bu şekilde Ankara kuzeybatısında ve batısında bugün egemen olan rejim kuzeybatı yönlü çekme veya serbestleme şeklinde olup, buna bağlı olarak KB-GD uzanımlı normal faylanmalar güncel sismik etkinliği meydana getirmektedirler. Ankara'nın güneyinde KB-GD uzanımlı sağ yanal doğrultu atımlı fay karakterindeki Sivrihisar ve Koçhisar fayları Tuz Gölü havzasının bir çek ayır havza olarak gelişimini sağlamış olup çevresinde bugün de sismik etkinlik görülmektedir (Baran, 1996).

1.3.1.2. Ankara ve Civarındaki Temel Fay Yapıları

Bölgede oluşan depremler incelendiğinde, Ankara ilinin şimdiye kadar yıkıcı depremlerin merkezi olmadığı görülmektedir. Ankara il merkezinden geçen ve büyük deprem üretebilecek herhangi bir diri fay bulunmamaktadır. Ancak bölge, yaklaşık olarak 120 km kuzeyde yer alan Kuzey Anadolu fayı ve güneyde yer yer birbirini kesen genç fay zonları boyunca oluşan depremlerden önemli derecede etkilenmektedir. Ankara civarında deprem üretebilecek faylar; Tuz Gölü Fayı, Ezinepazarı Fayı, Kırıkkale-Erbaa Fay Zonu, Dodurga Fay Zonu, Eldivan Fay Zonu, Eskişehir Fay Zonu, Keskin Fayı, Kuzey Anadolu Fayı'nın Bayramören (Kastamonu) ve Abant arasında uzanan Gerede fay parçası olarak sıralanabilir (Taymaz, 1993; Taymaz ve diğ., 2007b; Baran ve diğ., 2005). Şekil 1.1'de Bâla-Sırapınar (Ankara) bölgesinin genel jeolojik yapısı ve yakın çevresinde yer alan fay yapıları görülmektedir (Aydemir, 2009).



Şekil 1.1: Ankara bölgesinin genel jeoloji haritası (Aydemir, 2009). SAF: Şereflikoçhisar-Aksaray Fayı, EF: Ecemiş Fayı, KEF: Kırıkkale-Erbaa Fayı, OABK: Orta Anadolu Bindirme kuşağı, DN: Dönme Noktası, KVK: Kapadokya Volkanik Karmaşığı, YB: Yozgat Batoliti. Kesikli kırmızı çizgiyle çevrelenmiş dairesel bölge çalışmaya alanını göstermektedir.

The map displays the Ankara region with various tectonic features. The Karadeniz (Black Sea) is to the north. The Kuzey Anadolu Fayı (North Anatolian Fault) runs across the top. The Sultandağı Fayı (Sultandağı Fault) is located to the southwest. The Ankara region is marked with a red dot for the city center. A dashed circle highlights the area around the city center, including locations like Bala, Çiğdemli, Afşar, Sırapınar, Yaylalıöz, Derekişla, and Belçarsak. Numbered faults (1-11) are shown with arrows indicating their orientation and movement. A legend in the bottom right corner defines the symbols: a red dot for 'Şehir Merkezi' (City Center), a line with a perpendicular tick for 'Normal Fay' (Normal Fault), a line with a right-pointing arrow for 'Sağ yönlü doğrultu atımlı fay' (Right-lateral strike-slip fault), a line with a left-pointing arrow for 'Sol yönlü doğrultu atımlı fay' (Left-lateral strike-slip fault), and a line with a triangle for 'Ters Fay' (Thrust fault).

7

Ankara bölgesinde meydana gelen depremlerin kaynak derinlikleri 1 ile 15 km arasında kalan sığ derinliklerde değişmektedir. Bu dağılım nedeniyle, bölgede sıklıkla meydana gelen küçük magnitüdlü depremlerin dahi bölgenin büyük bir kısmını etkilediği bilinmektedir.

Yazılı ve görsel basından edinilen bilgilere göre, Ankara bölgesinde olan orta büyüklükte depremler, Bâla başta olmak üzere Ankara'nın merkez ilçelerinde, Afşar beldesinde, Bâla ilçesine bağlı Sırapınar, Çiğdemli, Yeniyapanşılı ve Bahçekaradalak köylerindeki kerpiç evlerde hasara neden olmuş, AşağıHacıbekir ve YukarıHacıbekir, Suyugüzel, Tatarhöyük, Karahamzalı, Derekışla, Belçarsak ve Yaylaözü Köylerinde kılcal çatlaklar, kesme çatlakları meydana getirmiştir. Ayrıca Kırıkkale, Kırşehir, Aksaray, Niğde, Konya ve Yozgat il merkezleri ile yakın ilçeleri kapsayan bir alanda hissedilmiştir (bkz. URL-4).

Bâla bölgesinin çevresindeki yapılar genellikle kerpiç ve taşıyıcı duvarı taş ve tuğla olan bir veya iki katlı, 30 ile 80 yıl arasında değişen ömürleri olan yığma yapılardan oluşmaktadır. Bu yapılar, yönetmelik ve hesap esasları dikkate alınmadan yöre halkı tarafından inşa edilmişlerdir. Meydana gelen hasarların büyük bir çoğunluğu da yapım hatalarından kaynaklanmaktadır. Bu hataların en dikkat çeken, farklı yapı malzemelerinin (kerpiç, taş, tuğla) aynı yapıda düzensiz olarak kullanılması, taş ve tuğla gibi malzemelerin birbirleriyle birleştirilmesinde çamurun kullanılması olmuştur. Ancak ilçe merkezindeki yapıların büyük çoğunluğu taşıyıcı sistemi betonarme olan yapılardır. Depremden sonra Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Deprem Araştırma Daire Başkanlığı, Deprem Mühendisliği Şube Müdürlüğü tarafından yapılan çalışmalarda bölgede; 834 konut, 63 ağıl ve 3 iş yerinin ağır hasarlı, 5 konutun ise orta hasarlı olduğu tespit edilmiştir (Zünbül ve Kadirioğlu., 2008).

16-20 Nisan 2009 tarihleri arasında TÜBİTAK projesi kapsamında; Bâla, Afşar, Sırapınar ve Gölbaşı bölgelerine arazi gezisi düzenlenmiş olup çeşitli fay oluşumları ve bölgede olan büyük depremlerin yarattığı hasarlar ve etkileri yerinde incelenmiştir. Şekil 1.3'de Bâla ilçesindeki bir veya iki katlı olarak değişen tipik kerpiç yapılara örnekler görülmektedir. Şekil 1.4'de ise sırasıyla depremden dolayı yıkılan binalardan günümüze kalan enkazlar ile hasar gören binalardan örnekler yer almaktadır.



Şekil 1.3: Bâla ilçesindeki tipik kerpiç yapıların görünümü (Çubuk ve Taymaz, 2009a, b).



Şekil 1.4a: Bâla ilçesinde $M_L=5.6$ ve 5.5 olan 2007 yılı depremlerinde hasar görmüş kerpiç evler (Çubuk ve Taymaz, 2009a, b).



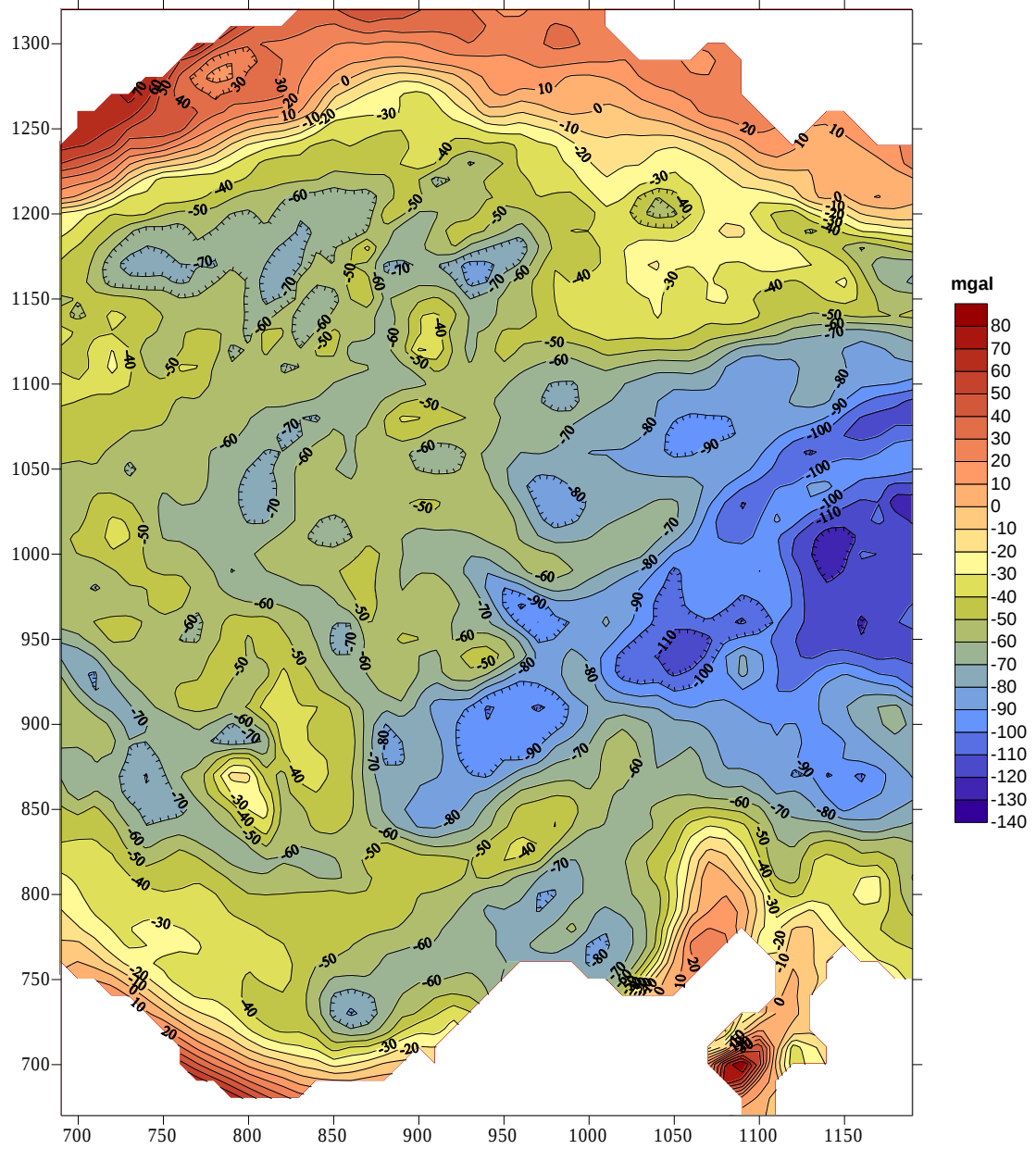
Şekil 1.4b: Bâla ilçesinde $M_L=5.6$ ve 5.5 olan 2007 yılı depremlerinde hasar görmüş evler (Çubuk ve Taymaz, 2009a, b).



Şekil 1.4c: Bâla ilçesinde $M_L=5.6$ ve 5.5 olan 2007 yılı depremlerinde hasar görmüş kerpiç evlerin görünümü (Çubuk ve Taymaz, 2009a, b).

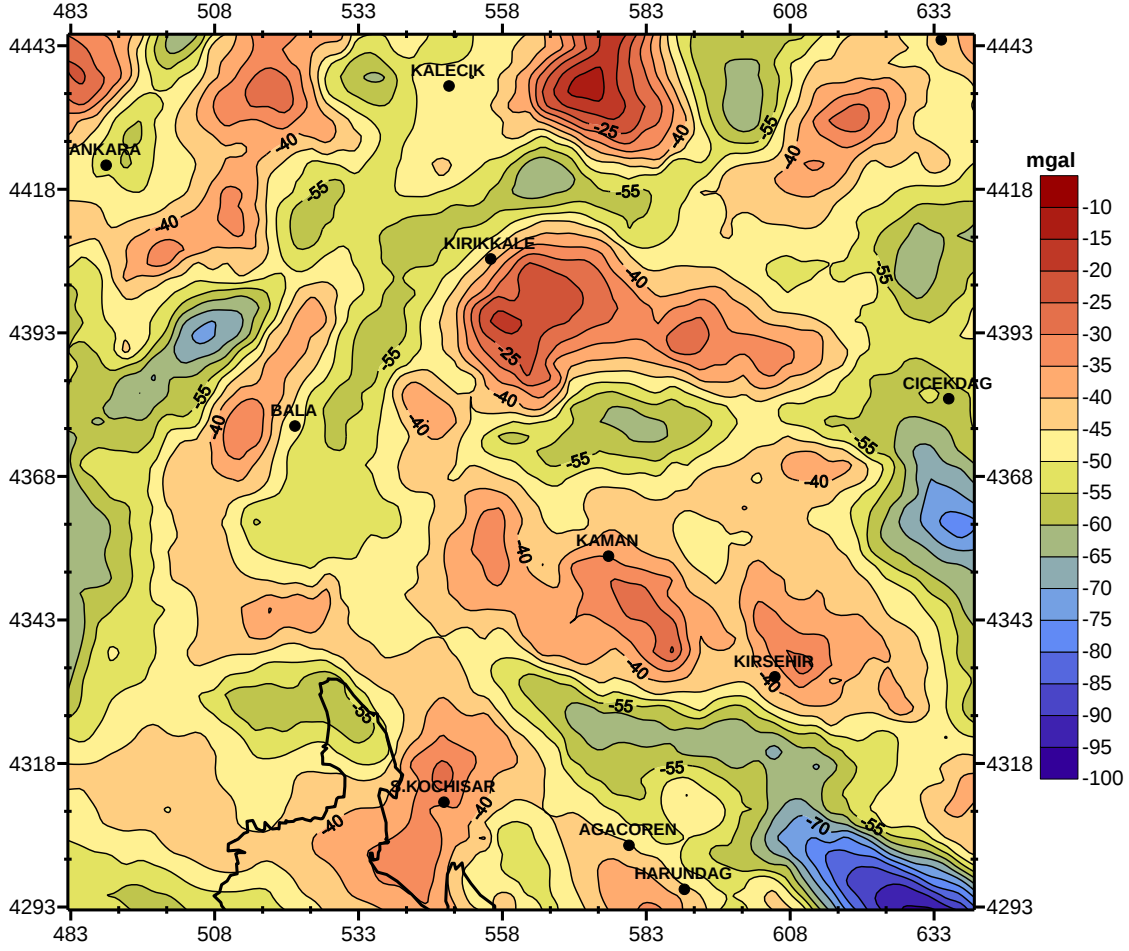
1.3.1.3. Orta Anadolu Bölgesinde Gravite ve Manyetik Çalışmalar

Bâla-Sırapınar (Ankara) ve Çameli (Denizli) bölgelerinde, TÜBİTAK, ÇAYDAG 107Y288 nolu proje kapsamında, gravite ve havadan manyetik anomalilerinin toplandığı çalışmalar gerçekleştirilmiş olup projenin 3. Ara Rapor döneminde sunulmuştur (Ateş ve diğ., 2009; Büyüksaraç ve diğ., 2009). Orta Anadolu Bölgesi için Bouger anomali haritası Şekil 1.5’de gösterilmektedir.



Şekil 1.5: Orta Anadolu bölgesinin gravite anomali haritası. Kontur aralığı 10 mgal'dir (Aydemir, 2009 ve Ateş ve diğ., 2009'dan derlenmiştir).

Şekil 1.5'te yer alan kapsamlı Bouger anomali haritasının Bâla-Sırapınar bölgesi ve Tuz Gölü havzasının kuzeyini de içeren kısım için yakın plan görünümünde ayrıntılı Bouger anomali haritası Şekil 1.6'da yer almaktadır.



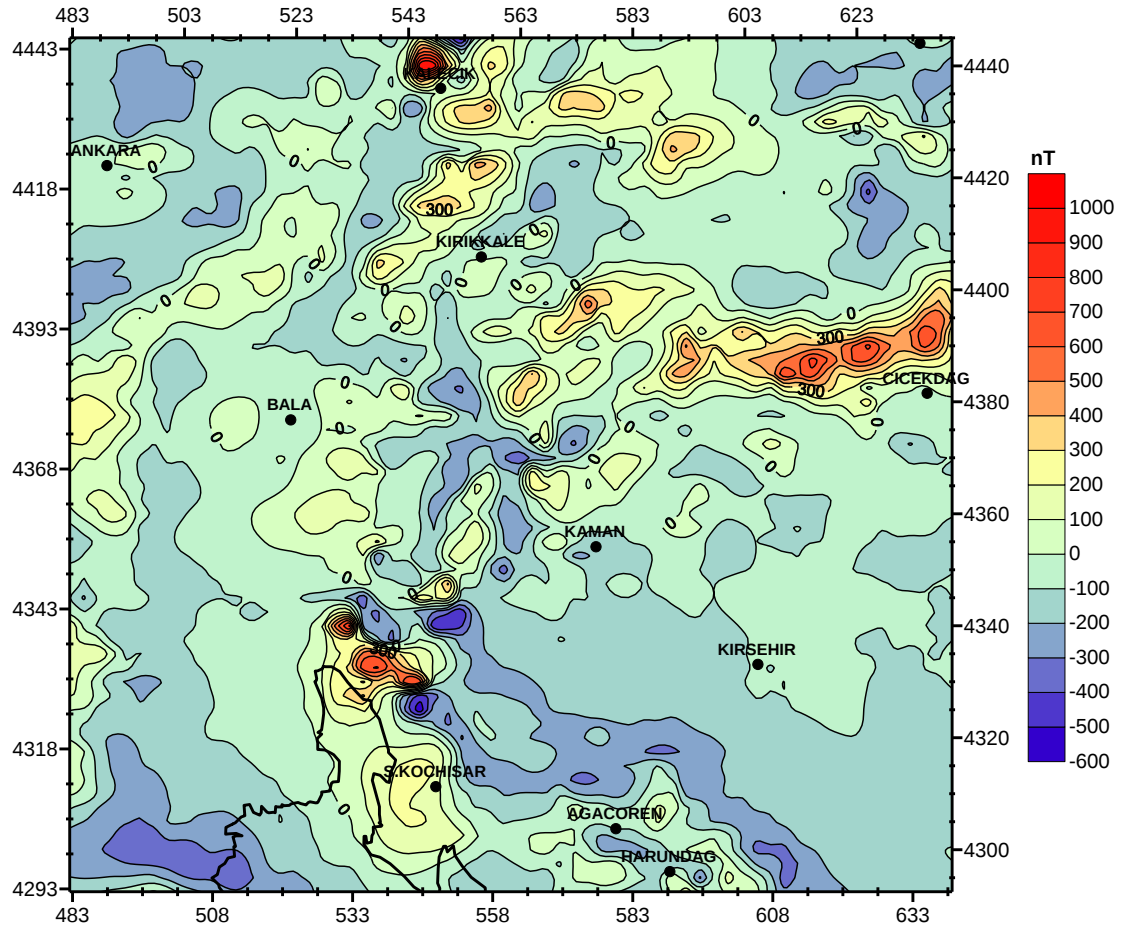
Şekil 1.6: Bâla-Sırapınar (Ankara) bölgesini de içeren Orta Anadolu bölgesi Bouger gravite anomali haritası. Kontur aralığı 5 mgal olarak alınmıştır (Ateş ve diğ., 2009'dan derlenmiştir).

Gravite haritaları incelendiğinde, Bâla-Sırapınar civarında Bouger anomalilerinin genel yöneliminin kuzeydoğu-güneybatı (KD-GB) doğrultusunda olduğu görülmektedir. Derin jeolojik yapılanmanında bu doğrultuda olduğu düşünülebilir. Bâla-Sırapınar civarında anomalilerin aldığı değerler yaklaşık olarak -40 ve -50 mgal arasındadır.

Graviteden elde edilen veriler ile deprem verileri karşılaştırıldığında eski jeolojik yapılanmanın, çalışmanın konusunu oluşturan güncel depremler ile gözlemlenen bugünkü aktif tektoniğe yaklaşık olarak dik olduğu düşünülebilir (Ateş ve diğ., 2009, sözlü görüşme).

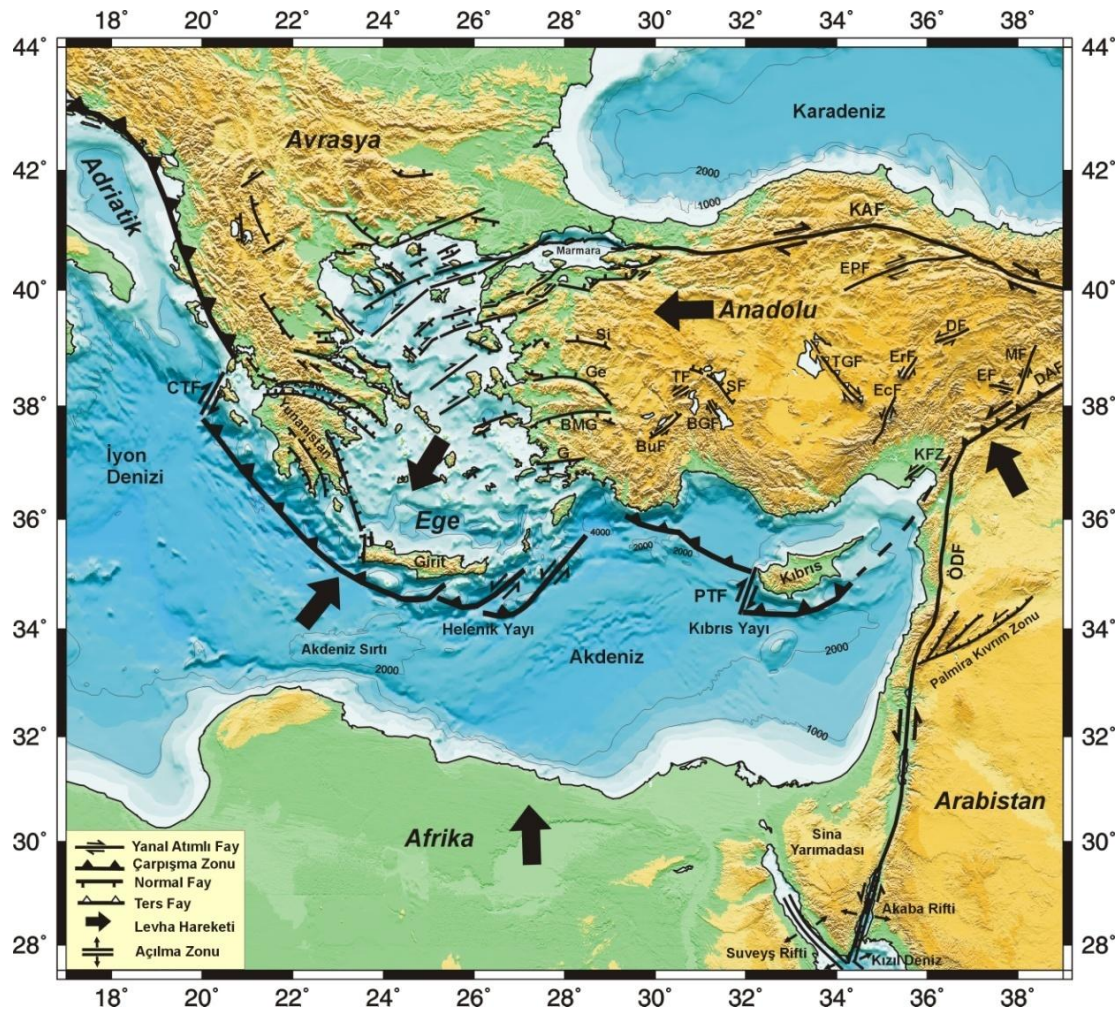
Proje çalışması kapsamında elde edilen ayrıntılı havadan manyetik anomali haritası Şekil 1.7’de yer almaktadır. Bu haritada başta Bâla-Sırapınar ve Ankara bölgesi olmak üzere, Kırıkkale, Çiçekbağ, Kırşehir, Şerefli Koçhisar ve Tuz Gölü havzasını kapsayan bölgenin manyetik özellikleri görülmektedir.

Havadan manyetik ölçümler sonucunda oluşturulan harita incelendiğinde, Bâla-Sırapınar civarında önemli ölçüde manyetik anomali gözlenememektedir. Anomali değerleri yaklaşık olarak 0 ile -100 nT arasında değişmektedir. Ancak Sırapınar’ın 10 km kadar güneydoğusunda gravitedeki yönelim ile uyumlu havadan manyetik anomali gözlenebilmektedir. Bu anomalilerin genliği, çevresinde yer alan çok şiddetli anomalilere kıyasla düşüktür.



Şekil 1.7: Bâla-Sırapınar (Ankara) bölgesini de kapsayan, Orta Anadolu bölgesinin havadan manyetik anomali haritası. Uçuş yüksekliği 600 m’dir. Uçuş aralığı 1-3 km’dir. Konturların aralığı 100 nT olarak alınmış olup, 45000 nT’lık gürültü anomalisi ise MTA tarafından anomalilerden kaldırılmıştır (Ateş ve diğ., 2009’dan derlenmiştir).

Batı Anadolu bölgesi, dünyada sismolojik olarak en aktif genişleme bölgelerinden biri olarak bilinmektedir. Anadolu levhasının batıya doğru hareketi, doğu-batı yönlü sıkışmalara, kuzey-güney yönlü genişlemeye neden olmaktadır. Bunun sonucu olarak Ege Bölgesi'nde doğu-batı doğrultulu graben sistemleri gelişmektedir. Şekil 1.8'de Batı Anadolu bölgesinin aktif tektonik birimleri görülebilir.



Şekil 1.8: Doğu Akdeniz ve Batı Anadolu bölgesinde yer alan ana aktif tektonik birimler KAF: Kuzey Anadolu Fayı, DAF: Doğu Anadolu Fayı, ÖDF:Ölü Deniz Fayı, EPF: Ezinepazarı Fayı, PTF: Paphos Transform Fayı, CTF: Kefalonya Transform Fayı, G: Gökova, BMG: Büyük Menderes Grabeni, Ge: Gediz Grabeni, Si: Simav Grabeni, BuF: Burdur Fayı, BGF: Beyşehir Gölü Fayı, TF: Tatarlı Fayı, SF: Sultandağ Fayı, TGF: Tuz Gölü Fayı, EcF: Ecemiş Fayı, ErF: Erciyes Fayı, DF: Deliler Fayı, EF: Elbistan Fayı, MF: Malatya Fayı, KFZ: Karataş-Osmaniye Fay Zonu’nu belirtmektedir (Yolsal ve diğ., 2007; Yolsal, 2008).

Anadolu'nun batı ve güney kesimlerinde görülen kuzey-güney yönlü açılım Çameli bölgesinde olduğu gibi faylarla sınırlanmış havzalar oluşturmuştur. Çameli grabeninin, güneybatı Türkiye'de yer alan yaklaşık olarak 40 km eninde ve 60 km uzunluğunda Neojen yaşlı bir graben olduğu bilinmektedir (Alçıçek ve diğ., 2006).

Denizli bölgesinde deprem üreten temel faylar; Fethiye-Burdur Fay Zonu, Çameli-Göhlhisar Fay Zonu, Honaz Fayı, Babadağ Fayı ve Honaz-Pamukkale-Karahayıt arasında uzanan Pamukkale Fayı olarak sıralanabilir. Çameli havzası Fethiye-Burdur Fay Zonu'nu oluşturan KKD-GGB gidişli havzaların oluşturduğu büyük ölçekli bir alanın parçasıdır (Taymaz ve Price, 1992). Havzanın güneydoğu kesiminde yer alan Dirmil Fayı ve kuzeybatı kesiminde yer alan Bozdağ Fayı, Çameli formasyonunu sınırlayan temel normal fayları oluşturmaktadır (Alçıçek, 2005 ve 2006). Çameli havzasında bu iki temel fayın arasında kalan ve kuzeybatıya dalım gösteren Alcı-Kelekçi Fayı, Sarıkavak-Kumafşarı Fayı ve Uzunoluk-Çameli Fayı bölgede yer alan önemli fay zonlarıdır (Alçıçek ve diğ., 2004). Bölgede sıklıkla, büyüklükleri 3.5 ile 4.0 arasında değişen depremler oluşmaktadır.

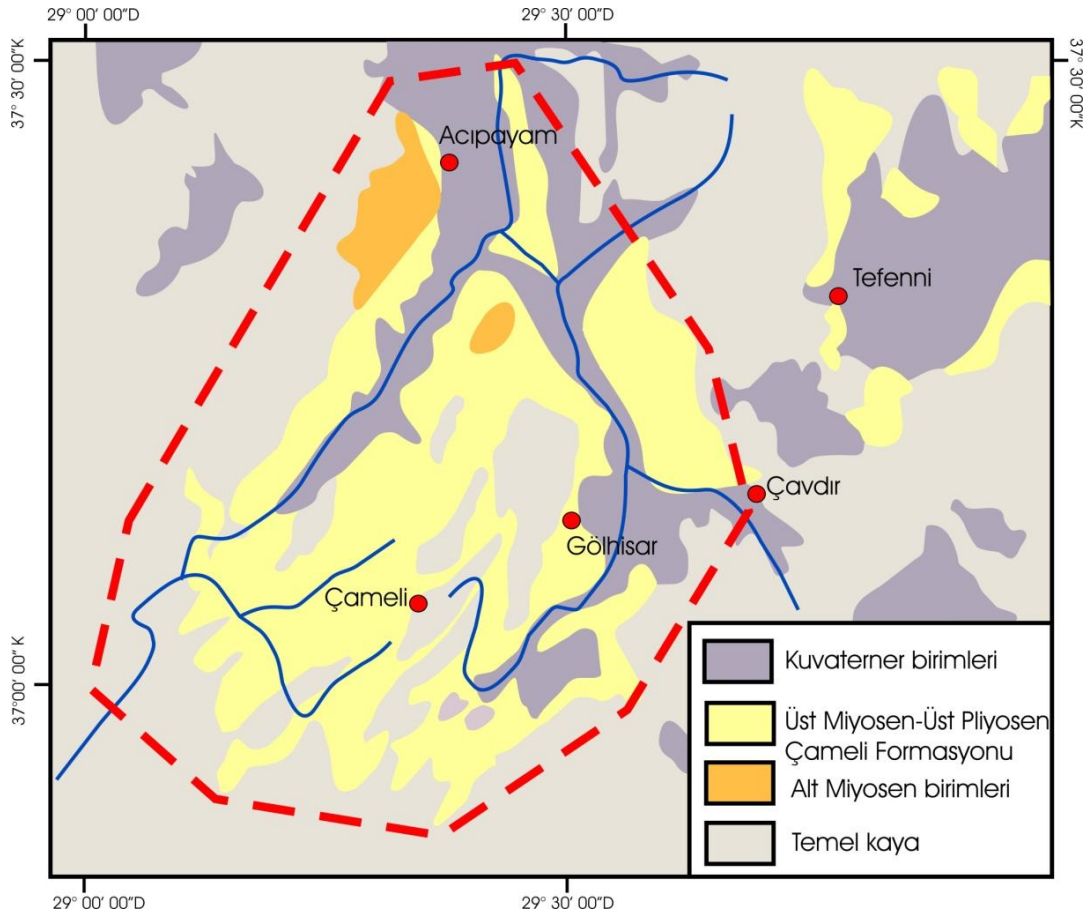
Çameli ilçesinde olan depremler Güneybatı Anadolu çekme rejiminin denetimi altında, Göhlhisar-Çameli Fay Zonu'nun aktivitesinden kaynaklanmaktadır. Bu zon, batıda Kelekçi'den doğuda Altınyayla arasında uzanan 40 km uzunlukta ve 30 km genişlikte birbirine paralel KD-GB genel gidişli Alcı-Kelekçi, Sarıkavak-Kumafşarı ve Uzunoluk-Çameli faylarından oluşmaktadır. Bu bölgede 2005-2008 yılları arasında büyüklüğü 4.0'dan fazla yaklaşık 24 adet deprem olmuştur. 2007 yılının Ekim ayında $M_L=5.1$ büyüklüğünde ve yine aynı yılın Kasım ayında $M_L=5.0$ büyüklüğünde olan iki büyük deprem meydana gelmiş olup bu depremleri yoğun artçı deprem aktiviteleri takip etmiştir.

1.3.2.1. Çameli Bölgesinin Genel Jeolojisi

Çameli havzasında, ofiyolit ve mermerlerden oluşan ve Likya napları olarak bilinen birimler yaygın olarak görülmektedir. Geç Miyosen'de (10.8-8.5 My) doğuda Dirmil fayı, batıda ise Bozdağ fayı denetiminde KD-GB uzanımında bir graben olarak açılmaya başlar. Alüvyon yelpazesi, akarsu ve gölsel tortullardan oluşan, havzanın ilk ürünleri içinde yaygın olarak görülen büyüme fayları, etkin bir genişlemeyi işaret eder. Her bir genişleme evresinde, diğer evrelerden az çok farklı depolanma sistemleri meydana gelmiştir. Bu dönemden sonra havza büyük bir faylanma ile

Erken-Orta Pliyosen'de (3.8-3.2 My) ikiye bölünür. Bu bölünme KD gidişli havzanın daha dar yarı grabenlere bölünmesine neden olmuş ve graben kenarına paralel yeni faylar meydana getirmiştir.

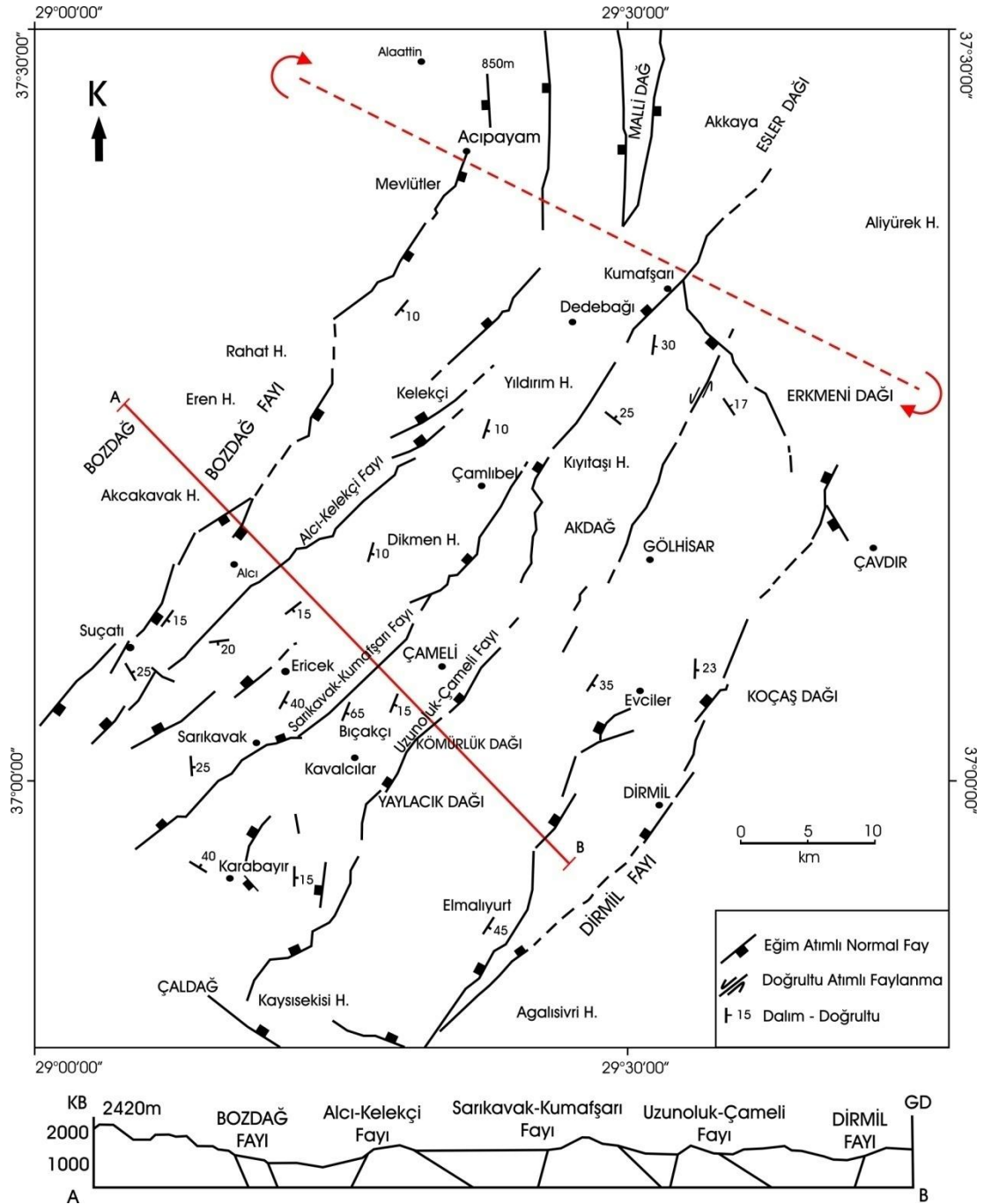
Her bir genişleme evresi aynı zamanda grabenin birincil faylarını da yeniden hareketlendirmiştir. Bunun ardından genişleme tektoniğinin etkinliği nispeten azalır ve havza büyük bir göl ortamına dönüşür. Gölse tortullar havza kenar fayları dahil, havzayı sonradan ikiye bölen fayı da aşar ve bu dönem Orta-Geç Pliyosen'e (3.5-2.5 My) kadar sürer ve doldurularak sığlaşır, aynı zamanda havzanın merkez kesimlerinde gölse karbonatlar depolanır. Havza bu dönemden sonra kenar faylarına paralel olmak üzere ve bir traverten seviyesi ile belirgin olan iki ayrı fay sistemi ile Geç Pliyosen'de (2.6-1.8 My) yeniden kırılır. Havzanın en son ürünleri, bu faylanma evresinin neden olduğu alüvyon çökelleridir. Bu kırılma evresinden sonra depolanan tortullar içinde görülen büyüme faylarına göre genişleme yeniden etkinlik kazanmış, Çameli havzası hemen hemen bugünkü şeklini kazanmıştır (Alçiçek ve diğ., 2004). Çameli havzasının basitleştirilmiş genel jeolojisi Şekil 1.9'da yer almaktadır.



Şekil 1.9: Çameli havzasının jeoloji haritası (Alçiçek ve diğ., 2005'den derlenmiştir).

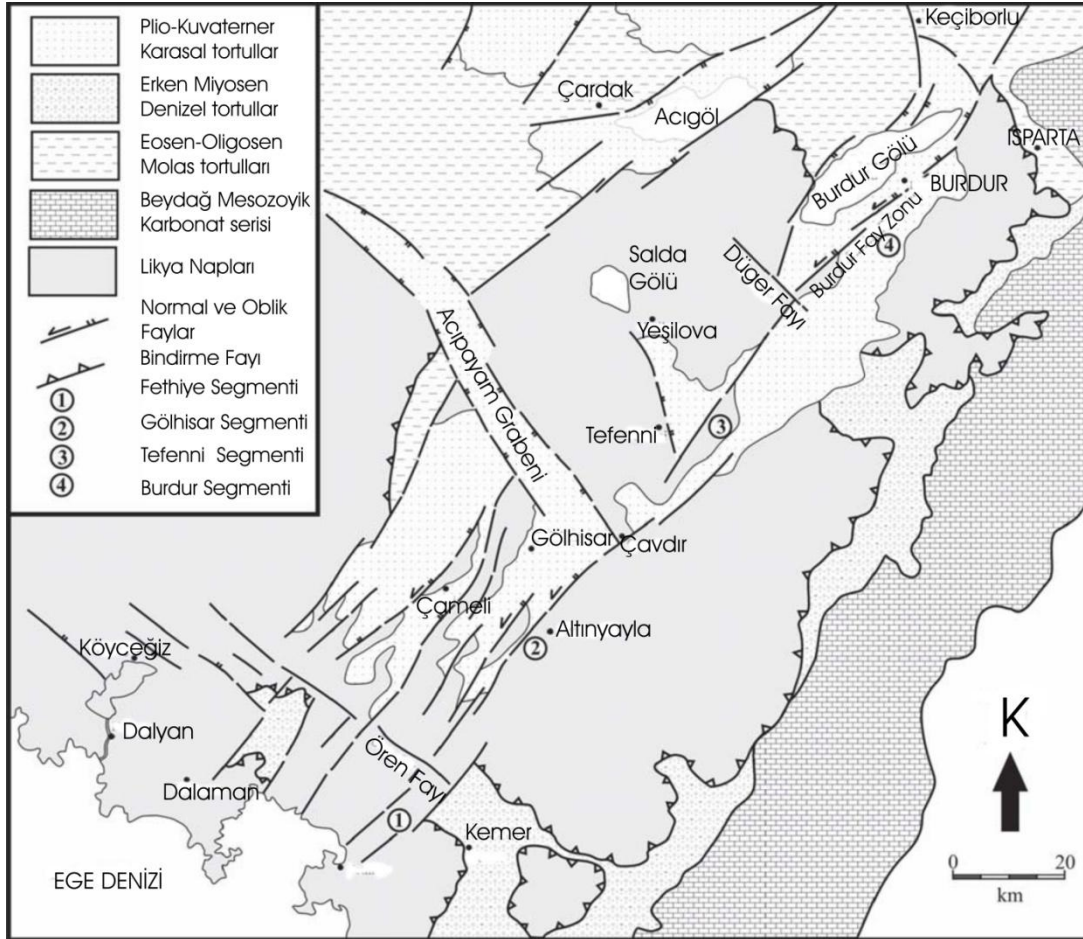
1.3.2.2. Çameli Bölgesinde Temel Fay Yapıları ve Tarihsel Deprem Aktivitesi

Batı Anadolu bölgesindeki tektonik hareketler sonucu doğu-batı doğrultulu graben sistemleri oluşmakta ve havza sınırlarındaki normal faylanmalar bölgedeki temel neotektonik unsurları meydana getirmektedir. Şekil 1.10'da Çameli havzasında oluşan aktif fay yapıları ve havzayı sınırlayan horst yapıları kesit üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 1.10: Çameli-Göhlisar havzasının ve yakın çevresinin aktif fay haritası (Alçıçek ve diğ., 2005’den derlenmiştir).

Bölgedeki fayların en aktif ve önemlilerinden birkaçı Burdur ile Akdeniz arasında KD-GB doğrultusunda uzanan fay kuşağında yer alır. Çameli havzasının kuzeydoğusunda kalan KD-GB gidişli Fethiye-Burdur Fay Zonu bölgedeki esas fay zonunu oluşturmaktadır. Babadağ Fayı, Honaz Fayı, Kaleköy Fayı, Karakova Fayı ve Honaz-Pamukkale-Karahayıt arasında uzanan Pamukkale Fayı, Denizli havzasının yakın KD'sundan geçen Honaz-Kaleköy ve Özerlik-Sarayköy arasından uzanan fay; Honaz-Karakova arasında uzanan faylar ise Denizli bölgesindeki diğer önemli fayları oluşturmaktadır. Fethiye-Burdur arasındaki bölgede, Burdur Fay Zonu üzerinde KB gidişli faylarla sınırlanmış olan başlıca dört ayrı segmentin varlığı (Yağmurlu ve diğ., 2005) tarafından saptanmıştır (Şekil 1.11). Bunlar güneybatıdan kuzeydoğuya doğru; (1) Fethiye segmenti, (2) Gölhisar segmenti, (3) Tefenni segmenti ve (4) Burdur segmentinden oluşmaktadır (Bozcu ve diğ., 2007).



Şekil 1.11: Fethiye Körfezi ile Burdur Gölü arasındaki bölgede Burdur fayını oluşturan birimlerin konumları ve diğer fay sistemleri ile olan ilişkileri (Bozcu ve diğ., 2007).

Denizli'nin Çameli ilçesinde olan depremler yine Güneybatı Anadolu çekme rejiminin denetimi altında, Çameli-Göhlisar Fay Zonu'nun aktivitesinden kaynaklanmaktadır. Bu zon, Kelekçi ile Altınyayla arasında birbirine paralel KD-GB genel gidişli üç faydan oluşmaktadır (Şaroğlu ve diğ., 1987). Bu faylar, Alcı-Kelekçi Fayı (AKFZ), Uzunoluk-Çameli (UÇFZ) fayı ve havzayı boyuna iki bölüme ayıran Sarıkavak-Kumafşarı fayı (SKFZ) olup Şekil 1.10' da gösterilmiştir. Ayrıca Uzunoluk-Çameli fayının arazide yüzeylemesi Şekil 1.12'de yer almaktadır. Fay düzlemi üzerindeki çentik izleri eğim atımlı normal faylanma tipini göstermektedir. Burada kırmızı ok ile gösterildiği gibi fay düzlemi 52° kuzeybatı yönünde eğimli durmaktadır (Doğrultu: Kuzey 15° Doğu, Dalım: 52° Kuzeybatı).



Şekil 1.12: Uzunoluk-Çameli (Denizli) fayı yüzey kırığı (Çubuk ve Taymaz, 2009c).

Aktif fay zonları üzerinde bulunan antik yerleşimler, tarihsel depremlerin izlerini taşımakta ve tarihsel depremlerin büyüklükleri, meydana getirdikleri yerdeğiştirme miktarları ile tekrarlanma periyotları gibi bilgilerin elde edilmesinde önemli katkılar sağlamaktadır (Karabacak ve diğ., 2008). Denizli ve çevresinde tarihsel dönemde de yıkıcı depremlerin meydana geldiği bilinmektedir. Bölgede bulunan Kibyra Fay Zonu, Pliyosen dönem sonrasında Çameli havzasındaki fay aktivitesini gösteren

birkaç faydan biridir. Kibyra antik kenti bu zonda, Pliyosen yaşlı klastik sedimanter kayalar üzerinde yer almaktadır (Alçıçek ve diğ., 2006). Stratejik konumu nedeniyle çağında bulunduğu bölgenin baş kenti olmuş Kibyra antik kenti, kalıntıları iyi korunmuş önemli antik yerleşim yerlerinden biridir. Antik kent içerisindeki gözlemler, kentin tarihsel çağlarda yakın çevrede meydana gelmiş yıkıcı depremlerle ilişkili izler içerdiğini ortaya koymaktadır (Karabacak, 2008). Başta Roma sonrası dönemde M.S. 417 ve M.S. 23 ve M.S. 17 yılları olmak üzere, MSK ölçeğine göre 9 şiddetinde olan yıkıcı boyuttaki depremlere maruz kalmıştır. Antik kentin stadyumunun bu depremlerden ötürü zarar gördüğüne dair arkeosismolojik kanıtlar vardır (Akyüz ve Altunel, 2001).

2009 yılının Ekim ayında, Çameli-Göhlisar (Denizli) bölgesi ve çevresindeki yüzey kırığı gözlemlenebilen fay yapılarında ve tarihsel depremler ile önemli ölçüde zarar görmüş olan Kibyra ve Sagalassos antik kentlerde arazi gözlemleri yapılmıştır. Bu arazi gözlemlerinden bazı fotoğraflar sırasıyla Şekil 1.13’de Kibyra ve Şekil 1.14’de Sagalassos antik kentleri için yer almaktadır.



Şekil 1.13a: Kibyra antik kenti (Göhlisar-Denizli) stadyumu girişinde M.S. 417 ve M.S. 23 tarihsel depremleri ile meydana gelmiş hasar görünümü (Çubuk ve Taymaz, 2009c)



Şekil 1.13b: Kibyra antik kenti (Çameli-Göhlisar, Denizli) tiyatrosunda M.S. 417 ve M.S. 23 tarihsel depremleri ile meydana gelmiş hasar görünümü (Çubuk ve Taymaz, 2009c).

Her iki antik kent içerisindeki gözlemler benzer şekilde tarihsel dönemde yakın çevrede meydana gelmiş yıkıcı depremlerin izlerini taşımaktadır. Yıkılmış duvarlar, devrilmiş sütunlar ve dönmüş bloklar sıklıkla gözlemlenmektedir. Kibyra antik kentinin stadyumu ve tiyatrosu önemli ölçüde hasar görmüştür.

Benzer şekilde Isparta'nın yaklaşık 10 km güneyinde ve Burdur'un 20 km doğusunda (Sintubin ve diğ., 2003), Ağlasun-Gölcük bölgesindeki Sagalassos antik kenti de güneybatı Türkiye'de yer alan ve tarihçesi günümüzden 3500 yıl öncesine uzanan eski tarihsel yerleşimlerden biridir.

Sagalassos antik kentinde dört tarihsel depremin gerçekleşmiş olduğu farklı kaynaklar tarafından rapor edilmiştir. Yaklaşık $I_0=IX-XI$ şiddetinde olduğu rapor edilen en son yıkıcı deprem sırasında Sagalassos kenti harabe haline dönüşmüş ve daha sonrada terk edilmiştir (Koçyiğit, 2008a). Bölgede yapılan uydu görüntüleri ve dijital yükseklik modelleri (Similox-Tohon ve diğ., 2006) ve jeofizik (Similox-Tohon ve diğ., 2004) çalışmaları sonucunda Sagalassos antik kentinin sismik olarak aktif bir fayın üzerine kurulduğu anlaşılmıştır (Sintubin, 2007).



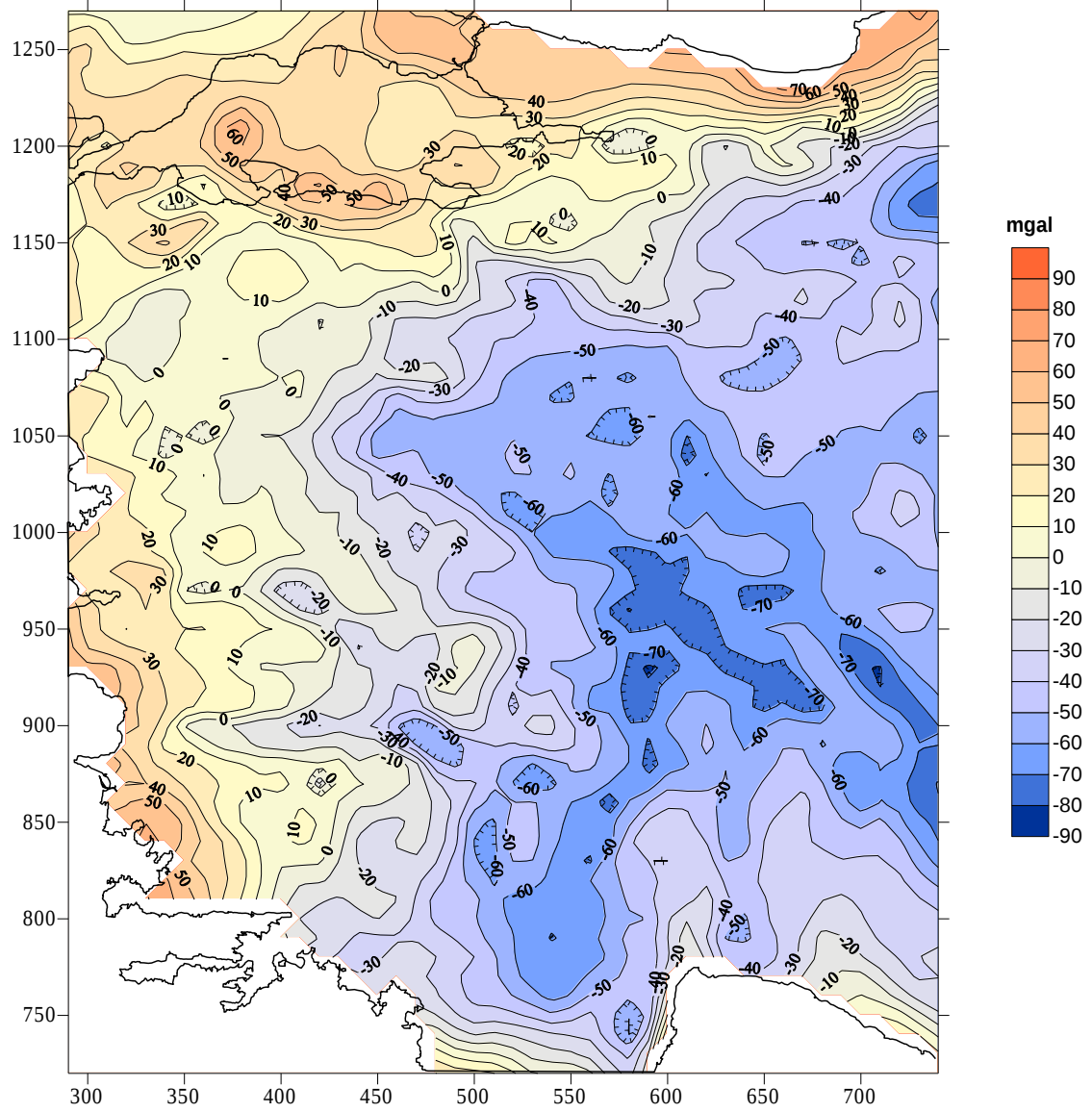
Şekil 1.14a: Sagalassos (Ağlasun-Burdur) antik kenti tiyatrosunda M.S.6.yy'da tarihsel depremler ile meydana gelmiş hasarlar (Çubuk ve Taymaz, 2009c).



Şekil 1.14b: Sagalassos (Ağlasun-Burdur) antik kentinin üzerinde kurulu olduğu aktif fayların görünümü (Çubuk ve Taymaz, 2009c).

1.3.2.3. Batı Anadolu Bölgesinde Gravite ve Manyetik Çalışmalar

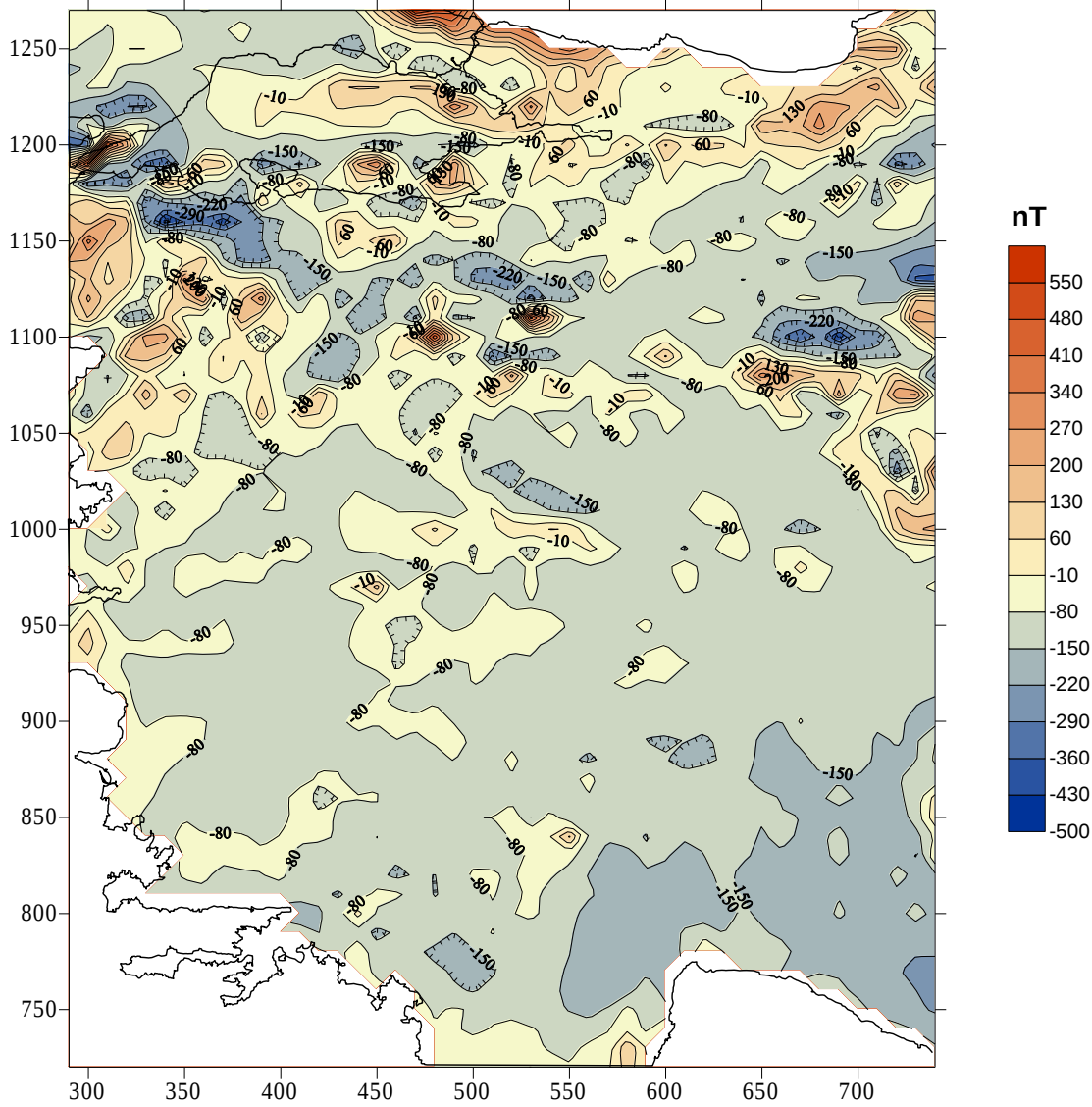
Batı Anadolu bölgesinde, TÜBİTAK-ÇAYDAG 107Y288 nolu proje kapsamında gerçekleştirilen ve Çameli (Denizli) bölgesini de içeren, gravite ve manyetik çalışmalarından elde edilen sonuçlar sırasıyla Şekil 1.15 ve Şekil 1.16'da gösterilmiştir.



Şekil 1.15 : Batı Anadolu'nun Bouguer anomali haritası. Kontur aralığı 10 mgal'dir (Büyüksaraç ve diğ., 2009).

Şekil 1.15 ve 1/500.000 ölçekli MTA-Bouguer anomali haritası ve Denizli paftası (bkz. EK-C), incelendiğinde Çameli bölgesindeki Bouguer anomalisi değerlerinin -70 ile -55 mgal arasında değiştiği görülmektedir. Haritadaki içe doğru çentikli kontur kapanımları gravite anomalilerinin en düşük değer aldıkları yerlerdir. Bu bölgelerin yoğunluğu düşük tortul kayalardan oluştuğu düşünülebilir. Kelekçi, Çameli ve

Göhlisar çevresinde çok sayıda GB-KD yönelimli kontur kapanımları gözlenmektedir. Anomaliler MTA haritasında dar ve uzun kapanımlar şeklinde olmalarından dolayı bölgedeki aktif faylarla ilişkili oldukları düşünülebilir (Ateş, 2009, sözlü görüşme). Şekil 1.16’de yer alan havadan manyetik anomali haritasına bakıldığında Çameli Bölgesi ve Batı Anadolu’daki büyük bir bölgenin anomali değerlerinin yaklaşık -80 ile -150 nT arasında değiştiği gözlenmektedir.



Şekil 1.16: Batı Anadolu’nun manyetik anomali haritası. Uçuş yüksekliği 600 m’dir. Uçuş aralığı ise 1-3 km arasında değişmektedir. Konturların aralığı 100 nT olarak alınmış olup, 45000 nT’lık gürültü anomalisi ise MTA tarafından anomalilerden kaldırılmıştır (Ateş ve diğ., 1999, 2009).

2. ZAMAN ORTAMI MOMENT TENSÖR TERS ÇÖZÜM YÖNTEMİ

Zaman ortamı bölgesel moment tensör ters çözüm yönteminde (TDMT_INVc), üç bileşenli geniş-band dalga biçiminin (waveform) tamamı kullanılarak ters çözüm işlemi yapılmaktadır. Çalışmada kullanılan veriler Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü'nün çalıştırdığı istasyonlardan alınarak kullanılmıştır.

Moment tensör ters çözümü için kullanılacak istasyonların episantır mesafelerinin 50-250 km arasında değişen istasyonlar olmasına dikkat edilmiştir. Ancak optimum mesafedeki istasyonların azlığı nedeniyle episantır uzaklıkları 300 km'yi geçmeyecek şekilde artırılabilir. Deprem episantırını iyi bir şekilde çevreleyen istasyonlardan alınan SAC formatındaki kayıtlar dalga şeklinin tamamını kapsayacak şekilde episantır mesafesine bağlı olarak yaklaşık 300 saniye uzunlukta kesilerek kullanılmıştır. Deprem episantır uzaklığına göre alınabilecek veri boyu, Çizelge 2.1' de belirtilmiştir.

Çizelge 2.1: Veri boyunun uzaklığa bağlı olarak belirlenmesi.

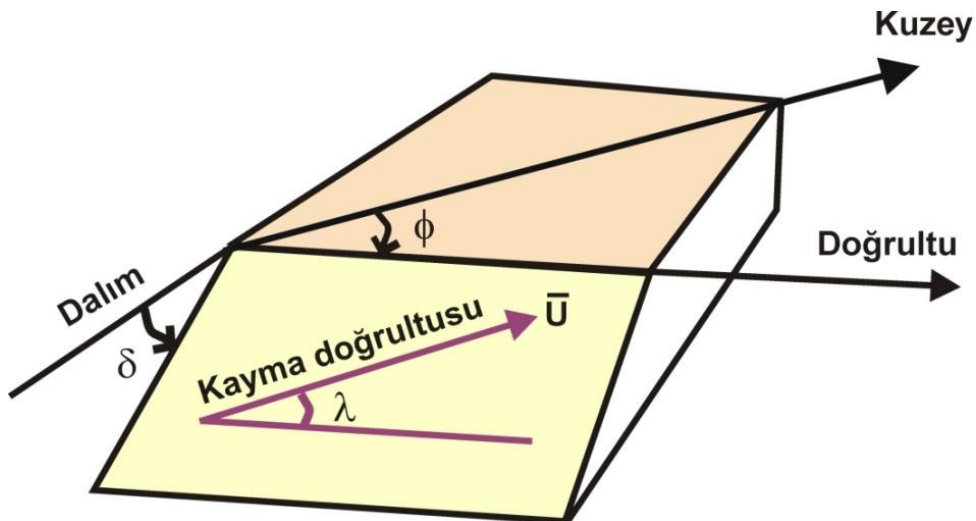
UZAKLIK (Δ , km)	VERİ BOYU (s)
$800 < \Delta \leq 1000$	900
$600 < \Delta \leq 800$	700
$400 < \Delta \leq 600$	500
$200 < \Delta \leq 400$	300
$\Delta \leq 200$	200

Bu yöntemde deprem lokasyonunun iyi belirlendiği, kaynak-zaman geçmişinin tüm moment tensör elemanları için senkronize olduğu ve delta fonksiyonuna yaklaştırıldığı farz edilir. Bu varsayımlar genellikle $M_w < 7.5$ olan depremler için kabul edilebilirdir. Aynı zamanda kabuk yapısının da düşük frekanslı dalga yayılımını açıklaması için iyi bir şekilde biliniyor olması gereklidir. Çalışma alanına uygun kabuk modeli kurulduktan sonra yapay sismogramlar geliştirilerek ters çözüm

yapılmaktadır. Sismik moment tensörün sadece deviatorik bileşeni çözülür. Yapay ve gözlemsel genlikler arasındaki farkı minimuma indirgeyen, yüksek değerlerde ikili kuvvet çifti oranı (DC oranı) ve varyans azalım değeri (VR değeri) veren model en iyi çözüm olarak alınır. Varyans azalım değerinin %100 olması veri ile yapay sismogramlar arasında kesin bir uyum olduğunu gösterir. Kaynak derinliği ise iteratif olarak bulunur ve en iyi varyans azalım değerine karşılık gelen derinlik olarak kabul edilir. Ters çözüm işlemi sonucu elde edilen doğrultu, dalım, kayma açısı parametreleri ve kaynak derinliği değeri ile beraber yerel yapısal jeolojik unsurların da yardımıyla bölgenin sismotektonik özellikleri araştırılmış olur.

2.1 Depremlerin Kaynak Parametreleri

Deprem kaynağını tanımlayan parametreler aynı zamanda fayın hareketini tanımlamaktadır. Bu parametreler fay düzlenminin doğrultusu (ϕ), dalımı (δ) ve kayma açısı (λ) olarak sıralanabilir. Doğrultu, fay düzlenminin kuzey ile saat yönünde yaptığı açı olarak tanımlanır ($0^\circ \leq \phi \leq 360^\circ$). Dalım, fayın yatay düzlemde hesaplanan dalma açısıdır ($0^\circ \leq \delta \leq 90^\circ$). Kayma ise fayın yatay düzlemde saatin tersi yönünde hesaplanan kayma doğrultusudur ($-180^\circ \leq \lambda \leq 180^\circ$). Bu parametreler Şekil 2.1’de gösterilmiştir. Ayrıca deprem kaynağının lokasyonu, kaynak derinliği ve depremin oluş zamanı deprem kaynağını tanımlayan diğer önemli parametrelerdir.



Şekil 2.1: Fay düzlenminin doğrultu (ϕ), dalım (δ) ve kayma açılarının (λ) gösterimi (Aki ve Richards, 1980; Yolsal, 2008).

2.2. Sismik Moment

Bir depremin büyüklüğü ilk olarak Richter tarafından yerel büyüklük kullanılarak hesaplanmıştır (Richter, 1935). Bu hesapta, standart bir Wood-Anderson sismografiyle 100 km uzaklıkta kaydedilen büyüklüğü 2 ile 6 arasında değişen depremler kullanılır. Bunun haricinde diğer büyüklük tanımlamaları cisim dalgası büyüklüğü ve yüzey dalgası büyüklüklerini içermektedir. Ancak depremin büyüklüğü arttıkça bu iki büyüklük tipinde saturasyon görülür ve bazı büyük depremlerin büyüklüğü tanımlanamaz (Stein ve Wyession, 2003). Deprem büyüklüğünün tanımlamalarına alternatif olarak sismik moment, M_0 kavramı geliştirilmiştir (Aki, 1966). Sismik moment M_0 , 2.1’de olduğu gibi tanımlanmaktadır.

$$M_0 = \mu A \bar{D} \quad (2.1)$$

Burada μ , shear modülü, A, fay alanını, $\bar{D}$ ise fay üzerinde ortalama kayma miktarını temsil etmektedir (Stein ve Wyession, 2003). Hanks ve Kanamori (1979) M_0 ’ın dyne.cm olarak hesaplandığında moment büyüklüğünü tanımladığını göstermişlerdir.

$$M_w = 2/3 \log M_0 - 10.7 \quad (2.2)$$

Sismik moment; fay alanı, kayma ve materyalin dayanımı kavramlarını içerdiğinden, bir depremin büyüklüğünün belirlenmesinde en temel hesaplamadır. Bu nedenle hesaplamalarda, moment büyüklüğünün kullanımı tercih edilmektedir. Dreger ve Helmberger’in (1993) kullandığı yöntem moment büyüklüğünün ve kaynak mekanizmasının hesaplanmasında kullanım alanı bulmaktadır.

2.3. Sismik Moment Tensörler

Sismik moment tensör M_{ij} ve bunların birim hacimdeki veya birim alandaki moment tensör yoğunluk m_{ij} değerleri arasındaki ilişki bağıntı (2.3) ile verilmektedir (Jost ve Herrmann, 1989). Doğrultu, dalım ve kayma, depremin sismik moment ve moment magnitudünün tamamı, sismik moment tensörden tanımlanmaktadır. Moment tensörler; gerilme çatlakları, patlatma yada hızlı faz değişimleri gibi hacimsel kaynakları, toprak kaymaları ile volkanik patlamaları yada durağan olmayan akışkan hareketleri gibi ikili kuvvet çifti olmayan farklı tipteki kaynakları içerebilir (Julian ve diğ., 1998).

Bağıntı (2.4) ve (2.5) kaynak bölgesinin dışındaki elastik yer değiştirmelerin, moment tensörlerin ve Green fonksiyonlarının türevlerinin kaynak bölgesi etrafında (V_0 ve Σ) integre edilmesiyle elde edilebildiğini göstermektedir. Bu denklemler kapalı biçimde (2.6)'daki gibi yazılabilir.

$$M_{ij} = \int_V m_{ij} dV = \int_S m_{ij} dS \quad (2.3)$$

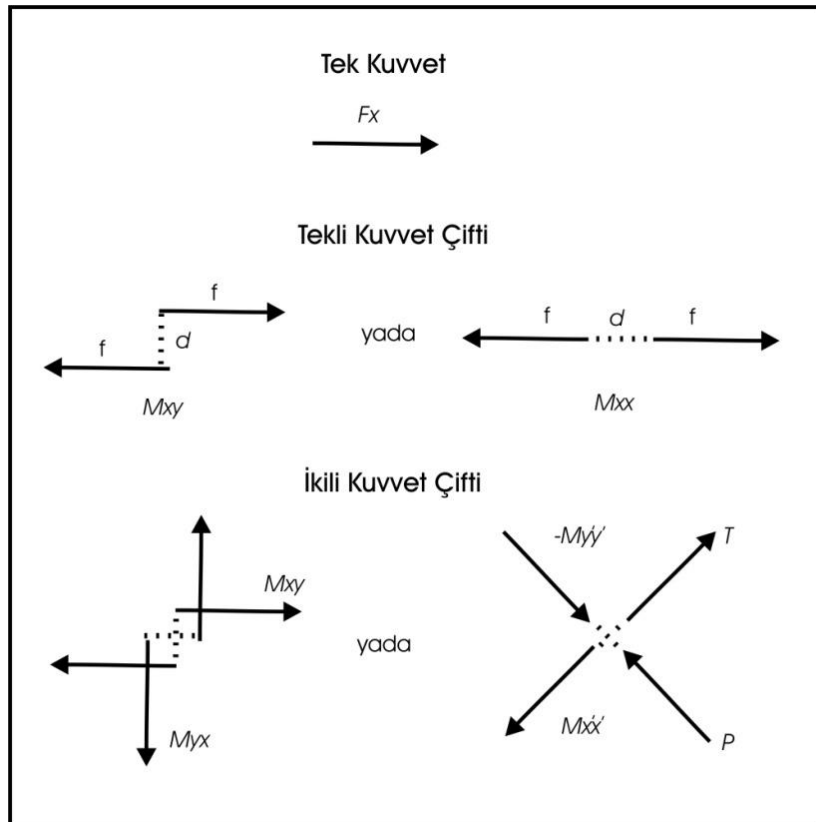
$$u_i = \int_{-\infty}^{\infty} d\tau \int_{V_0} m_{kj} G_{ik,j} dV \quad (2.4)$$

$$u_i = \int_{-\infty}^{\infty} d\tau \int_{\Sigma} m_{kj} G_{ik,j} dS \quad (2.5)$$

$$u_i = M_{kj} * G_{ik,j} \quad (2.6)$$

2.3.1 Eş Kuvvetler, Tek Kuvvetler ve Kuvvet Çiftleri

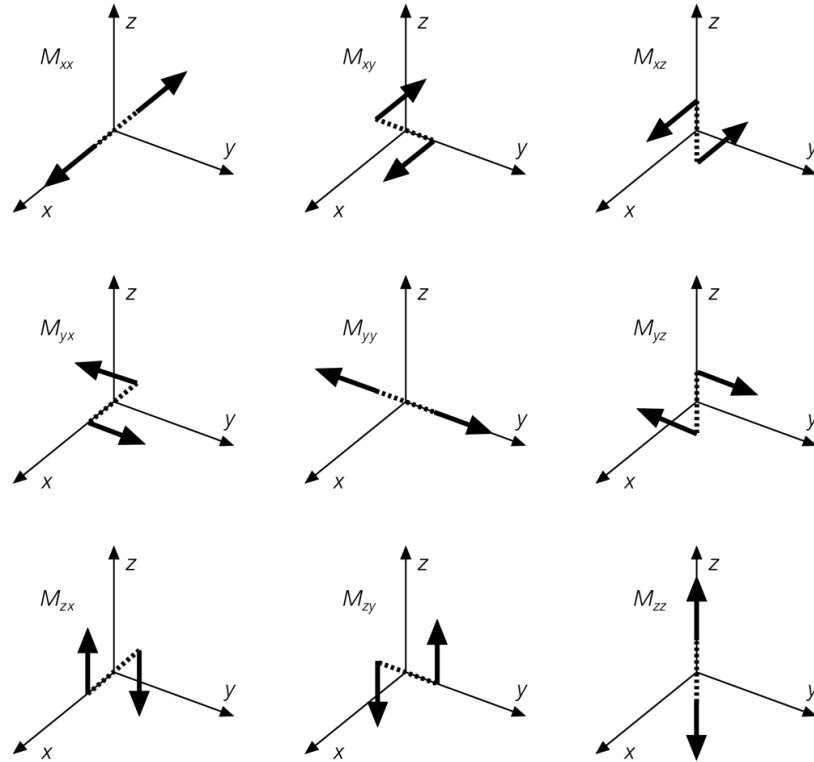
Faylanma eşdeğer cisim kuvvetleriyle temsil edilmektedir. Eşdeğer cisim kuvvetleri, depremlerden, patlatmalardan ve tekli kuvvet çifti olarak modellenebilen toprak kaymaları gibi farklı tipteki sismik kaynaklardan türeyebilir. Kuvvet çifti kavramı ise beraber hareket eden iki kuvveti temsil etmektedir (Şekil, 2.2).



Şekil 2.2: Bir kaynaktaki değişik kuvvet tipleri (Stein ve Wyession, 2003).

2.3.2. İkili Kuvvet Çifti (Double-Couple)

Birbirlerine zıt yönde ve aralarında küçük bir mesafe bulunan iki kuvvetin oluşturduğu sistem ikili kuvvet çifti olarak adlandırılmaktadır. Sismik moment tensörü oluşturan 9 adet bileşen birbirinden d kadar uzaklıkta iki kuvvet çifti şeklinde gösterilirler ve oluşan net kuvvet daima sıfırdır (Şekil 2.3). Farklı geometrilerdeki sismik kaynaklar için eş cisim kuvvetleri (2.7) nolu eşitlikte yer alan sismik moment tensör M ile gösterilir. Sismik moment tensör daima simetriktir ($M_{ij}=M_{ji}$).



Şekil 2.3: Sismik moment tensorünün 9 adet kuvvet çifti gösterimi (Aki ve Richards, 1980; Stein ve Wysession, 2003).

$$M = \begin{bmatrix} M_{xx} & M_{xy} & M_{xz} \\ M_{yx} & M_{yy} & M_{yz} \\ M_{zx} & M_{zy} & M_{zz} \end{bmatrix} \quad (2.7)$$

Kaynak mekanizması çözümünden elde edilen fay düzlemi parametrelerinin moment tensör bileşenleri ile ilişkili bağıntıları aşağıda verilmektedir. Bağıntılardaki M_0 , depremin sismik momentini, ϕ , δ ve λ sırasıyla, fay düzlemine ait doğrultu, dalım ve kayma açılarını göstermektedir (Jost ve Herrmann, 1989; Aki ve Richards, 1980, 2002).

$$M_{xx} = -M_0 (\sin\delta \cos\lambda \sin 2\phi + \sin 2\delta \sin\lambda \sin^2\phi) \quad (2.8)$$

$$M_{yy} = M_0 (\sin\delta \cos\lambda \sin 2\phi - \sin 2\delta \sin\lambda \cos^2\phi) \quad (2.9)$$

$$M_{zz} = M_0 (\sin 2\delta \sin\lambda) \quad (2.10)$$

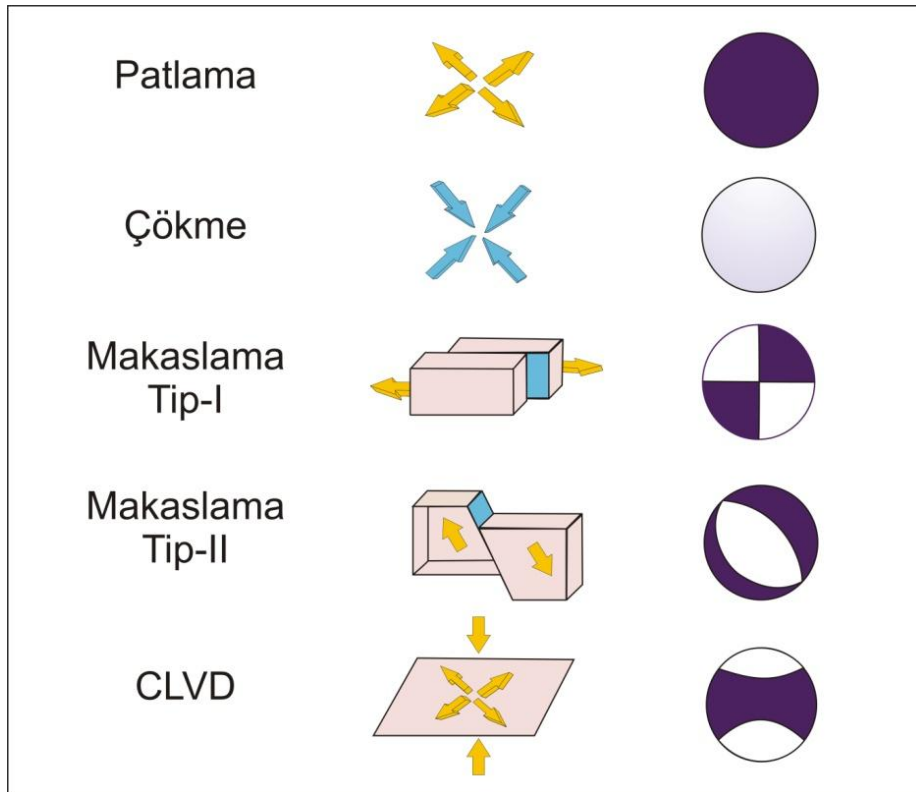
$$M_{xy} = M_0 (\sin\delta \cos\lambda \cos 2\phi + 0.5 \sin 2\delta \sin\lambda \sin 2\phi) \quad (2.11)$$

$$M_{xz} = -M_0 (\cos\delta \cos\lambda \cos\phi + \cos 2\delta \sin\lambda \sin\phi) \quad (2.12)$$

$$M_{yz} = -M_0 (\cos\delta \cos\lambda \sin\phi - \cos 2\delta \sin\lambda \cos\phi) \quad (2.13)$$

2.3.3. İkili Kuvvet Çifti Olmayan Kaynaklar (Non Double Couple)

Gürültülü verilerin varlığı, modelleme yönteminin zayıflığı gibi bazı etkiler, kaynağın ikili kuvvet çifti yaklaşımdan bir miktar sapmasına neden olabilmektedir. İkili kuvvet çifti olmayan bileşenler, volkanik depremler, jeotermal kaynaklardan gelen etkiler, derin kaynaklı bazı olaylar ve kaynağa yakın olan sığ yapıların ve anizotropinin varlığı (Kawasaki, 1982; Tréhu ve Solomon, 1983) gibi etkenlerden kaynaklanabilir (Sipkin, 1986; Jost ve Herrmann, 1989; Julian ve diğ., 1998; Stein ve Wyssession, 2003).



Şekil 2.4: İzotropik ve deviatorik tip kaynakların kaynak mekanizmaları gösterimi (USGS-NEIC'den derlenerek çizilmiştir).

Patlatma türü kaynaklarda, kaynakta meydana gelen hacim değişimini gösteren ve izotropik bileşen olarak adlandırılan $M_{xx} + M_{yy} + M_{zz}$ değeri sıfırdan farklıdır (2.14 ve 2.15). Oysa depremlerin tanımlanmasında gereken ikili kuvvet çifti yaklaşımındaki izotropik bileşen sıfırdır (2.16).

$$M_{xx} + M_{yy} + M_{zz} > 0 \text{ (Patlama Tipi Kaynak)} \quad (2.14)$$

$$M_{xx} + M_{yy} + M_{zz} < 0 \text{ (Çökme Tipi Kaynak)} \quad (2.15)$$

$$M_{xx} + M_{yy} + M_{zz} = 0 \text{ (Deprem Kaynağı)} \quad (2.16)$$

İkili kuvvet çifti yaklaşımından farklılık gösteren deprem kaynakları için, dengelenmiş lineer vektör dipolleri (CLVD) teorisi geliştirilmiştir. Bu teori ile ortaya atılan moment tensör, ikisi diğerinin yarısı büyüklükte olan yani birbiriyle dengelenmiş üç adet kuvvet çiftinden meydana gelmektedir. Şekil 2.4’de izotropik ve deviatorik tip kaynakların kaynak mekanizmaları ve bunlara neden olan kuvvet çiftleri gösterilmiştir.

2.4. Sismik Moment Tensör Ters Çözümü

Moment tensörler kaynak parametrelerinin bulunması amacıyla sismogramlardan ters çözüm yapılmasını sağlamaktadır. Sismogramlar, moment tensör bileşenlerinin lineer fonksiyonları olarak yazıldığında ters problem kolaylaşır. Sismogramların ters çözüme hazırlanmasında ilk aşamayı, bölgenin birinci dereceden hız yapısının hesaplanması oluşturmaktadır. Bu nedenle dalga biçimi modellemesinde önemli bir tanımda Green fonksiyonlarıdır.

Green fonksiyonu, birim tepkiye karşılık gelen bir yer değiştirme alanıdır ve kaynak ile alıcı arasındaki ortamın tepki fonksiyonudur. Green fonksiyonları kullanılarak yapay sismogramlar oluşturulur ve kaydedilmiş veri ile karşılaştırılırlar. Böylelikle varış zamanı ve ilk hareket yönleri bilgilerinin haricinde de sismogramdan daha fazla ölçüde yararlanılmış olunur (Stein ve Wysession, 2003). Basitleştirilmiş bir şekilde sismik bir kaynak uzaysal ve zamansal nokta-kaynak olarak yazılabilir. Elastik yer değiştirmeler zaman ortamında konvolüsyon ile açıklanır (2.17).

$$U_k(t) = M_{ij} * G_{ki,j}(t) \quad (2.17)$$

U_k ; k. dereceden gözlemsel yer değiştirme bileşeni, $G_{ki,j}$; k. dereceden Green fonksiyonu bileşeni, M_{ij} ise sayısal sismik moment tensörü, i ve j indisleri ise coğrafik yönleri göstermektedir. Lineer problem için (2.17) nolu denklem matris formunda aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$u=GM \quad (2.18)$$

Gözlemlerin sayısının bilinmeyenlerin sayısından büyük olması nedeniyle eşitlik verilen bir derinlik değeri için en küçük kareler yöntemi kullanılarak çözülür.

$$M=(G^TG)^{-1}G^Tu \quad (2.19)$$

Deviatorik sismik moment tensör çözülür, M_{ij} sayısal sismik momente, ikili kuvvet çifti ve dengelenmiş lineer vector dipolüne ayrıştırılır ve ikili kuvvet çifti yüzdesi (Pdc) ve dengelenmiş lineer vektör dipolü yüzdesi (PCLVD) olarak gösterilir. İzotropik bileşen yüzdesi (PISO) daima sıfır olarak gösterilir. Daha sonra ikili kuvvet çifti, iki düğüm düzleminin doğrultusu, dalım açısı ve kayma açısı olarak ifade edilir.

Kaynak derinliği ise en büyük varyans azalımını (VR) gösteren aşağıdaki eşitlikle iteratif olarak bulunur. Burada “data” ve “synth” sırasıyla verileri ve Green fonksiyonu zaman serilerini göstermektedir. Toplama işlemi tüm istasyonlar ve bileşenler için yapılmaktadır.

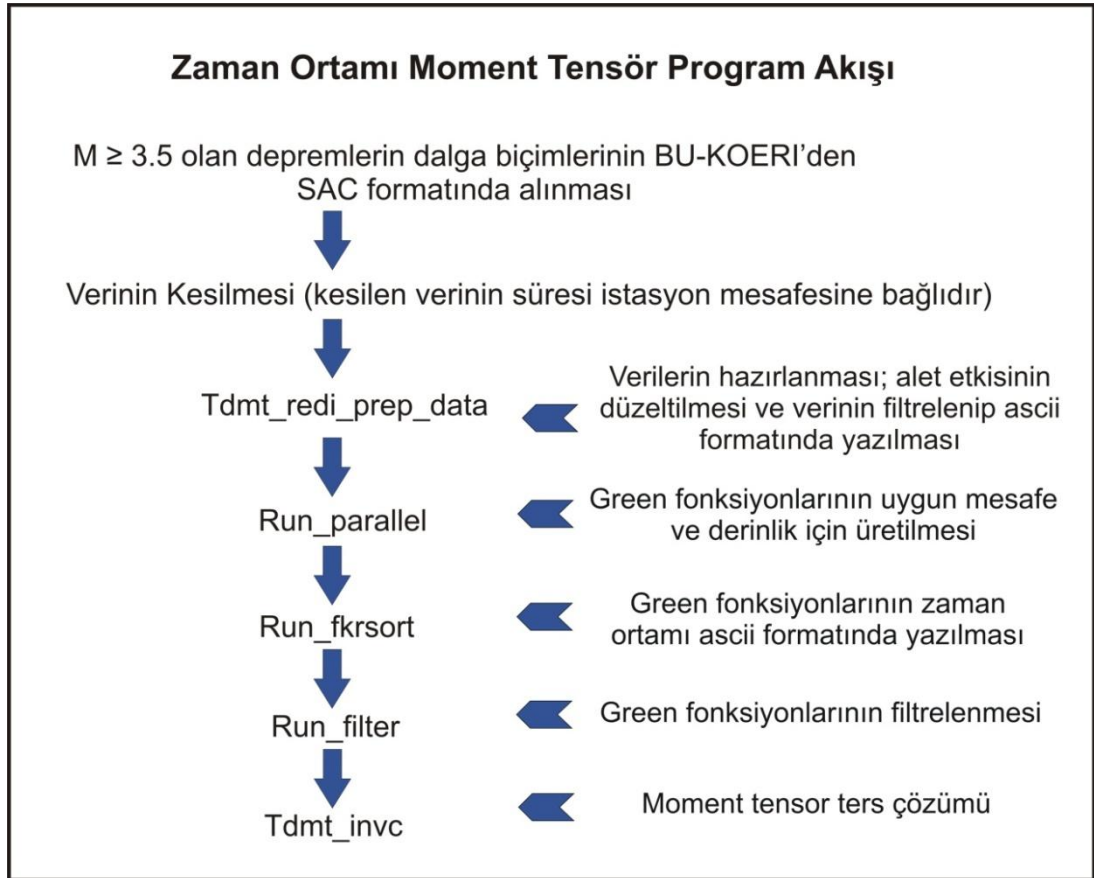
$$VR = \left[1 - \frac{\sum_i \sqrt{(data_i - synth_i)^2}}{\sqrt{data_i^2}} \right] * 100 \quad (2.19)$$

Kaynak derinliğini belirlemede bir diğer kullanım ise, varyansın ikili kuvvet çifti oranı yüzdesine bölünmesidir. En iyi sonuç, bu oranı minimize eden değer olarak alınır buna göre dalga biçimi ile en uyumlu olan ve en yüksek ikili kuvvet çifti yüzdesi (Pdc) veren çözüm en ideal çözümdür.

$$RES / Pdc = \sum_i \sqrt{(data_i - synth_i)^2} / Pdc \quad (2.20)$$

2.5. Zaman Ortamı Moment Tensör Ters Çözüm Programı Aşamaları

Program genel olarak; veri işlem aşaması, uygun mesafe ve kaynak derinliği için Green fonksiyonları üretilmesi ve zaman ortamında yazılması, Green fonksiyonlarının filtrelenmesi aşaması ve son olarak da moment tensör ters çözüm aşaması olmak üzere dört ana bölümde incelenebilir. Zaman ortamı moment tensör ters çözüm programının (TDMT_INVc) işleyişini ve alt programlarını gösteren akış şeması Şekil 2.5’de gösterilmektedir.



Şekil 2.5: TDMT_INVc programı işleyiş aşamaları ve kullanılan alt programlar (Dreger ve Helmberger, 1990, 1993).

2.5.1. Veri İşlem

Öncelikli olarak temin edilen ham verinin üzerinde çeşitli hazırlık uygulamalarının yapılması gerekmektedir. Çalışılan depreme ait koordinat, tarih oluş zamanı gibi ön bilgiler gerekli dosyaya girilir. Veri işlem aşamasında istasyonlarda kullanılan kayıtçılara ait pole-zero dosyalarına ihtiyaç duyulur ve alet büyütmesi etkisinin

giderilmesi amacıyla kullanılmaktadır. Bu dosyalar Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü'nden temin edilmiştir. Bu aşamada alt programlar SAC2000 (Goldstein ve diğ., 1999) yazılımını kullanarak çalışmaktadır.

Daha sonra, hız kayıtlarının integrali alınarak yer değiştirme kayıtlarına geçilir, yatay bileşenlerin radial ve transvers bileşenlere çevirimi yapılır ve BU-KOERI'den temin edilen ham veri üzerine depremin büyüklüğüne uygun frekans aralığı kullanılarak band geçişli filtre uygulanır. Örnekleme aralığı 1 sps olacak şekilde alınarak ascii formatında dosyaya yazılır. Bu amaçla programda “tdmt_redi_prepdata” alt programı çalıştırılmaktadır.

Deprem büyüklüğü ve uygulanan frekans aralıkları seçimi için Çizelge 2.2'deki değerler kullanılmaktadır (Dreger ve Langston, 1995). Bu frekans bandı istasyonun kurulu olduğu bölgedeki gürültü özelliklerine bağlıdır (Örgülü, 2001). İşlem sonucunda, ters çözümde kullanılacak istasyonların verileri filtrelenmiş olup azimut ve uzaklık bilgileri ekrana gelmektedir.

Çizelge 2.2: Deprem büyüklüğüne göre uygulanan filtre aralıkları.

Frekans Aralığı	Büyüklük
0.02 – 0.1 Hz	$M < 4.0$
0.02 – 0.05 Hz	$4.0 \leq M < 5.0$
0.01 – 0.05 Hz	$M \geq 5.0$
0.005 – 0.02 Hz	$M > 7.5$

2.5.2. Uygun Mesafe ve Kaynak Derinliği için Green Fonksiyonu Üretilmesi

Kullanılan her bir kaynak-istasyon mesafesi ve derinlik bilgisi için “run_parallel” alt programı yardımıyla Green fonksiyonları üretilir. Bu amaçla, Saika (1994) tarafından geliştirilen frekans-dalga sayısı integrasyon programı (FKRPROG) kullanılmaktadır. Bu aşamada kabuk yapısı iyi kalibre edilmelidir. Bir boyutlu kabuk yapısı modelinin kurulması için, formatlı olarak hazırlanmış model dosyasına tabaka kalınlıkları, P-dalga hızı, S- dalga hızı, yoğunluk, Q-alpha ve Q-beta atenüasyon parametreleri girilmelidir. İşlem yapılan her istasyonun uzaklığı da bu alt program çalıştırılırken

model dosyasına girilmelidir. Sonuç olarak, verilen parametrelere göre hazırlanmış GREEN.* çıkış dosyaları oluşmaktadır.

Sonraki adımda “run_fkrsort” alt programı, üretilen Green fonksiyonlarını (GREEN.*) okuyan wvint9 alt programının çağrılmasını sağlar, ters FFT uygulanıp tüm yer değiştirmeler cm cinsinden “vec” adındaki binary formattaki bir dosyaya otomatik olarak yazılır. Daha sonra vec dosyaları açılır ve sekiz bileşenli ascii dosyası oluşturulur. Bileşenler Jost ve Hermann (1989)’da tanımlandığı gibidir; transvers bileşen düşey doğrultu atım (tss) ve düşey eğim atımlı faylar (tds), radial bileşen düşey doğrultu-atım (xss), düşey eğim atım (xds) ve 45°eğim atımlı faylar (xdd), düşey bileşen düşey doğrultu atım (zss), düşey eğim atım (zds) ve 45°lik (zdd) faylar. Bu aşama sonucunda *.disp uzantılı dosyalar oluşturulmuş olur.

2.5.3. Green Fonksiyonlarının Filtrelenmesi

Oluşturulan Green fonksiyonlarının filtrelenmesi amacıyla “run_filter” alt programı kullanılmaktadır. “run_fkrsort” alt programının çıktısı burada girdi olarak kullanılır, bir önceki aşamada oluşturulan *.disp uzantılı dosyalara dördüncü dereceden butterworth band geçişli filtresi SAC2000 yazılımı (Goldstein ve diğ., 1999) kullanılarak uygulanır ve Green fonksiyonları da filtrelenmiş olur. Burada, ham verinin filtrelenmesi aşamasında kullanılan filtre aralıklarının aynı şekilde alınarak kullanılmasına ve Hz değerlerinin verilmesine dikkat edilmesi gerekmektedir.

2.5.4. Ters Çözüm İşlemi, Kaynak Mekanizmasının Elde Edilmesi

Ters çözüm aşamasında kullanılacak istasyonlara ait azimut, mesafe ve yapay genlikler için kullanılan offset değerleri, “mt_inv.in” olarak adlandırılmış input dosyasına girildikten sonra filtrelenmiş Green fonksiyonları ters çözümde kullanılabilir. Ters çözüm işleminin başlatılması için “tdmt_invc” alt programı kullanılmaktadır.

Bu aşamadan sonra, sonuç olarak “mt_inv_redi.out” çıkış dosyası oluşturulmuş olur. Bu dosyada programın standart çıktısında yer alan derinlik, doğrutu, dalım ve kayma açılarının değeri, ikili kuvvet çifti oranı (double-couple), dengelenmiş lineer vektör dipolü oranı (CLVD), varyans (VAR) ve varyans azalımı (VR) değerleri gibi parametreler bulunmaktadır. Ters çözümün kalitesi için varyans (VAR), varyans

azalımı (VR), varyansın ikili kuvvet çifti yüzdesine oranı (Var/Pdc) ve kalite (Q) parametreleri dikkate alınmalıdır.

Varyans azalımı (VR) değerinin büyük olması (%100'e yaklaşması) daha iyi bir çözüme işaret etmekle birlikte, istasyon sayısı ≥ 2 olan bir çözüm için çözümlerin güvenilirliği açısından varyans azalımı değerinin %50 ($VR \geq 50$) ve üzerinde olması gerekmektedir. Deviatorik kaynaklı bir deprem için dengelenmiş vektör dipolü oranının %30'dan daha küçük bir değerde olması gerektiği de göz önünde bulundurulmalıdır ($CLVD < \%30$).

Çizelge 2.3'de çözüm sonucunda elde edilen varyans azalımı değerlerine karşılık gelen kalite parametresi (Q) değerleri sıralanmıştır. Tez çalışması kapsamında çalışılan depremlerin kaynak mekanizması parametreleri çözümlerinin çoğunluğunda $VR \geq \%50$ olmak üzere, kalite parametresi $Q=2$ ve $Q=3$ olarak bulunmuştur. Büyüklüğü $M \geq 5.0$ ve üzerinde olan ve fazla istasyon verisi kullanılarak çözüme ulaşılan depremler için bu katsayının $Q=4$ olarak arttığı görülmüştür.

Çizelge 2.3: Zaman ortamı moment tensör ters çözümü sonuçlarının varyans azalımı değerine göre kalite sınıflandırması (Örgülü, 2001).

Varyans Azalımı (VR)	Kalite Parametresi (Q)
$0 \leq VR < 20$	0
$20 \leq VR < 40$	1
$40 \leq VR < 60$	2
$60 \leq VR < 80$	3
$80 \leq VR < 100$	4

3. BÂLA–SIRAPINAR (ANKARA) DEPREMLERİ ÇÖZÜMLERİ

30 Temmuz 2005 ve 18 Aralık 2008 tarihleri arasında Bâla-Sırapınar (Ankara) bölgesinde meydana gelen depremlerin ana şok aktivitelerinden bazı örnek çözümler 30 Temmuz 2005 ve 20 Aralık depremleri için sırasıyla Şekil 3.3 ve 3.4’de devam eden bölümde verilmiş olup, çalışılan diğer depremlerin çözümleri EK-A. 1-27 arasında bulunmaktadır.

Bâla-Sırapınar (Ankara) depremlerinin çözümünde Green fonksiyonları üretilmesi amacıyla kullanılan kabuk yapısı Güven, (1998)’den kalibre edilerek kullanılmış olup model parametreleri ile ilgili değerler Çizelge 3.1’de yer almaktadır.

Bâla-Sırapınar (Ankara) depremlerinin çözümünde kullanılan Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü’nün çalıştırdığı geniş-band kayıtçılardan oluşan istasyon ağı Şekil 3.1’de yer alan haritada gösterilmiştir. Uzaklıkları 50 km ile 380 km arasında değişen bu istasyonlarda kaydedilmiş sinyal/gürültü oranı yüksek veriler kaynak mekanizması çözümü elde edilmesi amacıyla kullanılmıştır.

Tez çalışmasının veri işlem aşamasında, ters çözümde kullanılan her istasyona ait pole-zero değerleri test edilerek kullanılmıştır. Bunun sonucu olarak alet tepki dosyalarındaki bazı hataların çözümün moment büyüklüğü değerinde ufak sapmalara neden olduğu görülmüştür. Yüksek kalite ve doğruluktaki veri ile yapılacak işlemlerin kaynak mekanizması çözümlerine sağlayacağı olumlu katkı açıktır.

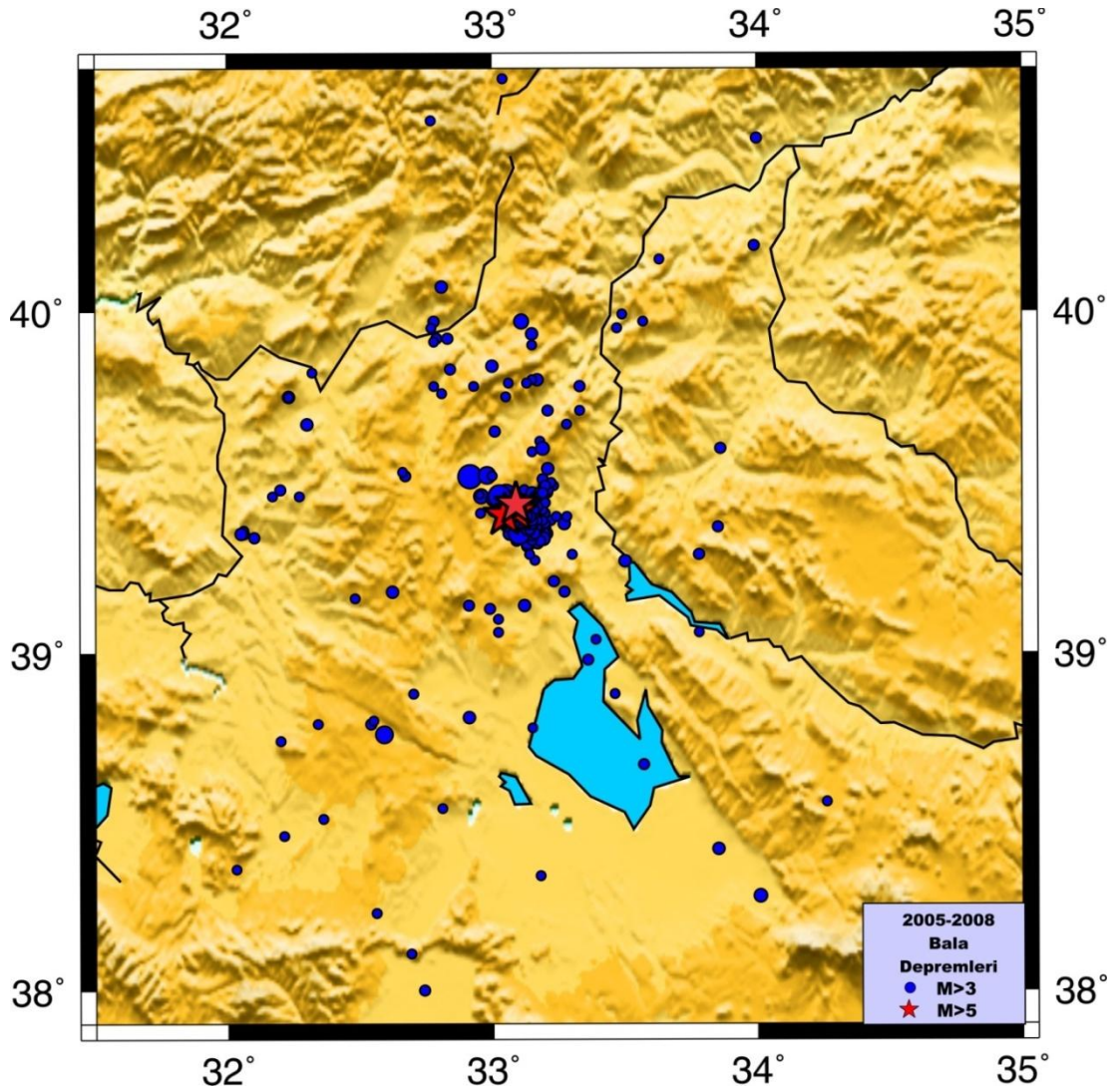
Zaman ortamı moment tensör ters çözüm programının (TDMT_INVc) çalıştırılması sonucu elde edilen standart çıktıda; derinlik, doğrultu, dalım ve kayma açıları, sismik moment, moment büyüklüğü, ikili kuvvet çifti yüzdesi (Percent DC), dengelenmiş lineer vektör dipolleri (Percent CLVD) yüzdesi, izotropik bileşen yüzdesi (Percent ISO), varyans (VAR) ve varyans azalım değeri (VR) ile varyansın ikili kuvvet çiftine oranı (RES/Pdc) bilgileri bulunmaktadır ve Şekil 3.3’de yer alan örnek deprem çözümü üzerinde bu parametreler görülebilir.

Çizelge 3.1: Bâla-Sırapınar depremleri çözümünde kullanılan kabuk yapısı modeli. V_p , P- dalgası hızı; V_s , S- dalgası hızı ve ρ yoğunluk değerlerini belirtmektedir (Güven, 1998).

V_p	V_s	ρ	Tabaka Kalınlığı
(km/s)	(km/s)	(g/cm ³)	(km)
4.50	3.00	2.65	3
6.00	3.50	2.75	5
6.00	3.50	2.75	7
6.90	3.92	2.75	20
8.13	4.48	3.10	10
8.65	5.00	3.55	400



Şekil 3.1: Bâla-Sırapınar depremleri çözümünde kullanılan BU-KOERI-UDIM genişband istasyonların dağılım haritası (Çubuk ve Taymaz, 2009a, b).



Şekil 3.2: 2005-2008 yılları arasında Bâla-Sırapınar (Ankara) bölgesinde büyüklüğü 3.0'dan fazla olan depremlerin dağılımları. Depremlerin episantır koordinatları Kandilli Rasathanesi Deprem Araştırma Enstitüsü (BU-KOERI-UDIM) veri merkezinden elde edilmiştir. Veri olarak yaklaşık 400 depremin bölgedeki dağılımından faydalanılmıştır. Topoğrafya, NASA-SRTM-30 verisi kullanılarak hazırlanmıştır. Magnitüdü $M \geq 5.0$ olan depremler kırmızı yıldızlar ile temsil edilmiş olup, bölgede olan diğer depremlerin episantır dağılımı mavi daireler ile gösterilmiştir.

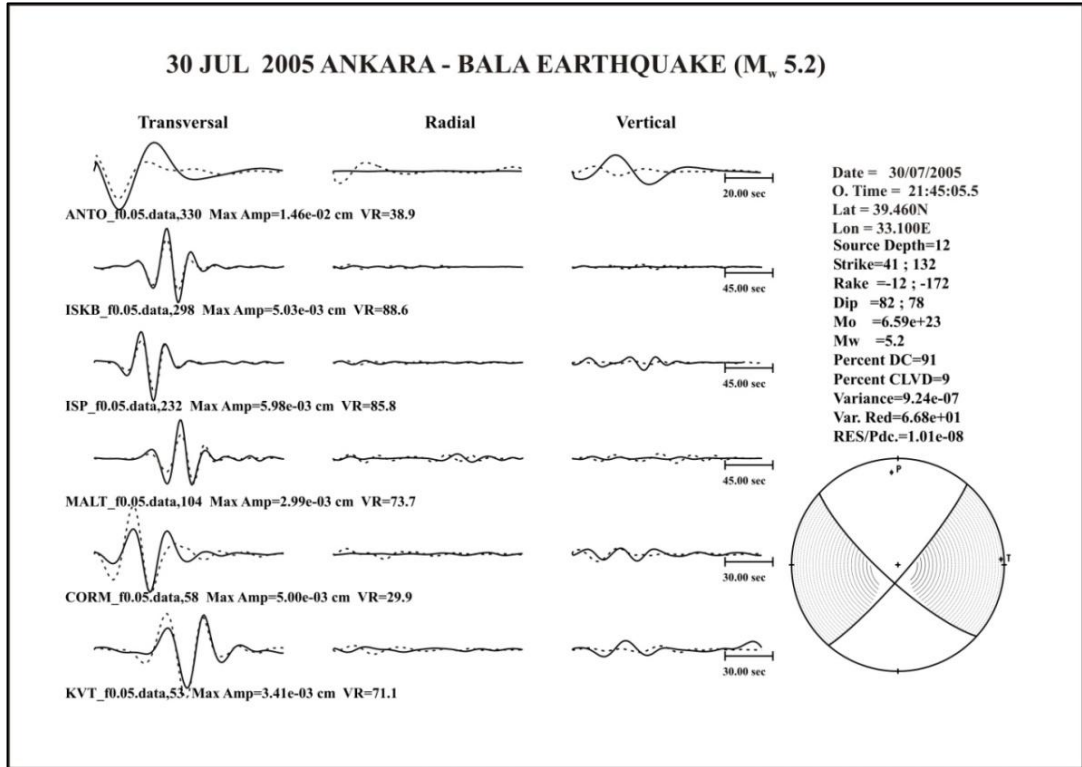
Şekil 3.2 incelendiğinde depremlerin Tuz Gölü'nün kuzeyinde kalan bir hat boyunca, Bâla merkezli bir bölgede kümelandıkları dikkat çekmektedir. Ayrıca bu bölgenin Aydemir (2009) tarafından Orta Anadolu bölgesinin dönme noktası (hinge point) olduğuna değinilmiştir. Çizelge 3.2'de ise tez çalışması kapsamında incelenen depremlerin oluş parametrelerine yer verilmiştir.

Çizelge 3.2: Bu tez çalışması kapsamında incelenen depremlerin oluş parametreleri. Depremlere ait lokasyon bilgileri Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü'nden alınmıştır.* ile işaretlenen depremlere ait büyüklük değeri M_D cinsinden, # ile işaretlenen depreme ait büyüklük değeri ise M_L cinsinden verilmiştir.

Sıra No	Tarih	Oluş Zamanı	Kaynak Derinliği	Lokasyon		Büyüklük				
				Enlem	Boylam	Harvard CMT	ISC	DAD		KOER I
	(gün.ay.yıl)	(sa.dk.sn)	(h:km)	(°) K	(°) D	M_W	M_D	M_W	M_L	M_L
1	23.09.2008	09:09:42	4.4	39.463	33.050	-	-	-	-	4.6
2	11.09.2008	08:33:58	5.0	39.404	33.072	-	-	-	-	4.1
3	19.07.2008	01:27:21	8.2	39.458	32.950	-	3.8	-	-	3.7
4	15.03.2008	10:15:38	8.9	39.501	32.951	-	-	-	5.0	4.9
5	01.02.2008	09:11:03	5.0	39.401	33.071	-	-	-	-	4.1
6	26.01.2008	06:57:52	5.0	39.456	33.071	-	3.7	-	-	3.6
7	20.01.2008	14:45:27	5.3	39.350	33.203	-	3.5	-	-	3.5*
8	14.01.2008	06:57:56	5.0	39.375	33.137	-	3.7	-	-	3.7
9	11.01.2008	16:07:48	5.0	39.434	33.038	-	3.9	-	-	3.8
10	07.01.2008	18:26:35	5.0	39.438	33.094	-	3.8	-	-	3.7
11	04.01.2008	05:03:13	5.0	39.366	33.172	-	-	-	-	4.0
12	29.12.2007	11:54:16	5.0	39.355	33.186	-	3.5	-	-	3.5*
13	27.12.2007	17:56:12	5.0	39.396	33.096	-	-	-	4.2*	4.0
14	27.12.2007	13:47:58	7.2	39.460	33.027	-	-	-	4.9*	4.8
15	27.12.2007	07:47:01	5.7	39.521	32.980	-	4.2#	-	-	4.2
16	26.12.2007	23:47:08	5.0	39.416	33.090	5.6		5.6	5.5	5.5
17	21.12.2007	19:18:22	5.0	39.404	33.073	-	3.7	-	-	3.8*
18	20.12.2007	12:34:25	5.0	39.324	33.133	-	3.6	-	-	3.7
19	20.12.2007	10:50:12	8.1	39.351	33.066	-	3.6	-	-	3.7
20	20.12.2007	09:48:27	5.0	39.404	33.045	5.7	-	5.7	5.6	5.7
21	23.10.2007	22:56:52	4.6	39.491	33.225	-	-	-	-	3.6
22	22.05.2007	01:39:09	5.0	40.130	32.725	-	3.6	-	-	3.6*
23	06.09.2006	18:47:02	5.0	39.408	33.114	-	-	-	-	3.9
24	01.08.2005	02:02:15	10.8	39.422	33.069	-	-	-	-	4.0
25	31.07.2005	23:41:34	16.2	39.438	33.053	-	-	-	-	4.8
26	31.07.2005	15:18:19	17.9	39.436	33.056	-	-	-	-	4.3
27	30.07.2005	21:45:05	5.0	39.437	33.089	5.2	-	-	4.9*	5.3

3.1 30 Temmuz 2005 / 21:45:05.0 Bâla–Sırapınar (Ankara) Depremi ($M_w \sim 5.2$)

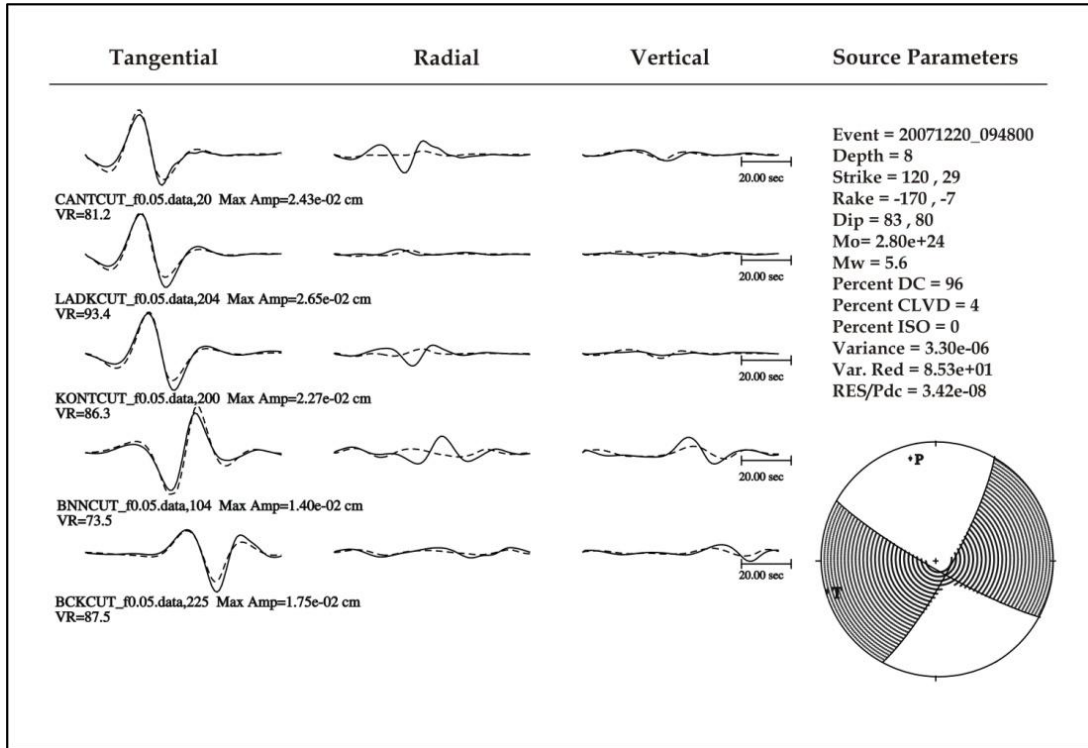
30 Temmuz 2005 tarihinde, 21:45:05.0 GMT oluş zamanlı bir deprem Bâla-Sırapınar (Ankara) civarında meydana gelmiştir. Depremi büyüklüğü bu çalışmada $M_w=5.2$ olarak hesaplanmış olup, BU-KOERI kayıtlarına göre $M_L=5.3$, DAD kayıtlarına göre ise $M_D=4.9$ olarak hesaplanmıştır. Ankara'nın ilçelerinde şiddetlice hissedilen bu deprem ayrıca Kırıkkale, Kırşehir, Niğde ve Yozgat illerinde de hissedilmiştir. Depremden sonra bölgede ilk bir hafta sonunda toplam 300'e yakın deprem meydana gelmiş olup, büyüklükleri $2.0 \leq M \leq 4.5$ arasında değişmektedir. Çalışmada, 54 km mesafede Ankara istasyonu (ANTO), 380 km mesafede İstanbul-Kandilli istasyonu (ISKB), 286 km mesafede Isparta istasyonu (ISP), 430 km mesafede Malatya istasyonu (MALT), 155 km mesafede Çorum istasyonu (CORM), 310 km mesafede Samsun-Kavak (KVT) istasyonları kullanılmıştır. Depremi koordinatları, Kandilli Rasathanesi Deprem Araştırma Enstitüsü'nden 39.424°K - 33.053°D şeklinde alınarak kullanılmıştır. Deprem çözümü Şekil 3.3'de gösterilmiş olup, çözümün kalite faktörü $Q=3$ olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.3: 30 Temmuz 2005 Bâla-Sırapınar (Ankara) depreminin kaynak mekanizması çözümü.

3.2 20 Aralık 2007 / 09:48:27.62 Bâla (Ankara) Depremi ($M_w \sim 5.6$)

20 Aralık 2007 günü, GMT saati ile 09:48:27.62'de Bâla-Sırapınar (Ankara) merkezli bir deprem meydana gelmiştir. Depremin büyüklüğü bu çalışmada $M_w=5.6$ olarak hesaplanmış olup, BU-KOERI kayıtlarına göre $M_L=5.7$, DAD kayıtlarına göre $M_w=5.7$, EMSC-CSEM kayıtlarına göre ise $M_w=5.5$ olarak hesaplanmıştır. Deprem orta büyüklükte olup, Ankara'nın merkez ilçelerinde şiddetlice hissedilirken, Kırşehir, Kırıkkale, Niğde ve Yozgat gibi çevre illerde de hissedilmiştir. Deprem çözümünde; 142 km mesafede Çankırı istasyonu (CANT), 160 km mesafede Çorum istasyonu (CORM), 146 km mesafede Konya-Ladik istasyonu (LADK), 172 km mesafede Konya-Tatköy istasyonu (KONT), 249 km mesafede Kayseri-Bünyan istasyonu (BNN) ve 304 km mesafede Burdur-Bucak istasyonu (BCK) kullanılmıştır. Depremin koordinatları, Kandilli Rasathanesi Deprem Araştırma Enstitüsü'nden 39.404°K - 33.045°D olarak alınmıştır. Deprem çözümü Şekil 3.4'de gösterilmiş olup, çözümün kalite faktörü ise $Q=4$ olarak bulunmuştur.

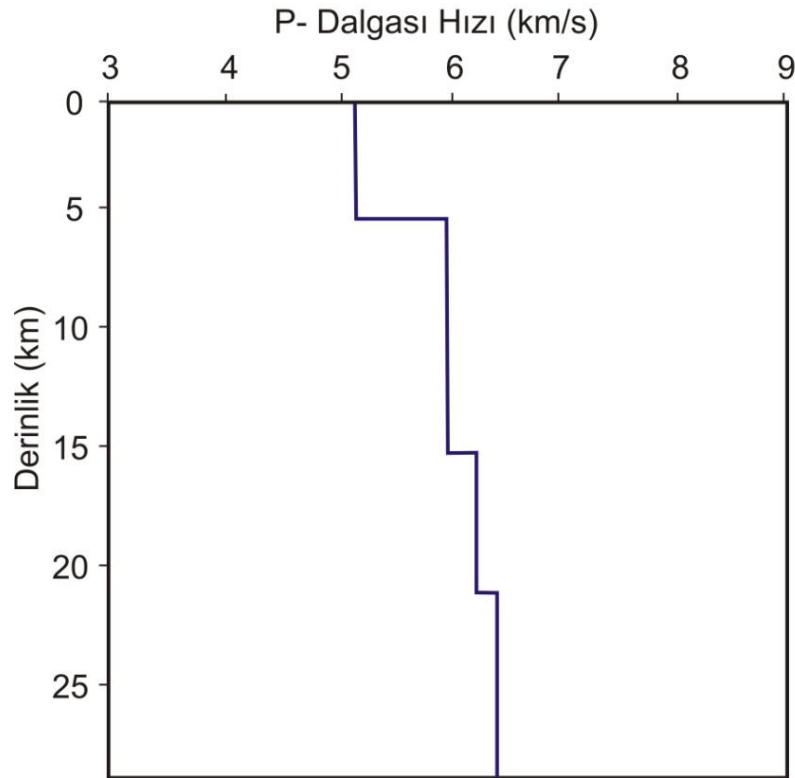


Şekil 3.4: 20 Aralık 2007 Bâla-Sırapınar (Ankara) depreminin kaynak mekanizması çözümü.

4. ÇAMELİ (DENİZLİ) DEPREMLERİ ÇÖZÜMLERİ

13.07.2005 ile 08.10.2008 tarihleri arasında Çameli (Denizli) bölgesinde meydana gelen ve büyüklükleri sıklıkla $3.5 \leq M \leq 5.2$ arasında değişen 10 adet depremin çözümü elde edilmiştir. Tez kapsamında çalışılan depremlerin ana şok aktivitesinin çözümü Şekil 4.5’de bölüm içinde örnek olarak verilmiş olup, çalışılan diğer depremlerin kaynak mekanizması parametreleri ve çözümleri sırasıyla Çizelge 5.2’de ve EK-B. 1-10 arasında bulunmaktadır.

Çameli (Denizli) depremlerinin çözümünde Green fonksiyonları üretilmesi için kullanılan kabuk yapısı Akyol ve diğ. (2006)’dan kalibre edilerek kullanılmış olup model parametreleri ile ilgili değerler Çizelge 4.1’de yer almaktadır. Buna ek olarak, Şekil 4.1’de, Çameli (Denizli) bölgesi için kullanılan P- dalgası hız modeli görülmektedir.



Şekil 4.1: Çameli (Denizli) depremlerinin çözümünde kullanılan P- dalgası hız-derinlik modeli. (Akyol ve diğ. 2006’den alınmıştır).

Çizelge 4.1: Çameli (Denizli) bölgesi kabuk yapısı modeli (Akyol ve diğ., 2006).

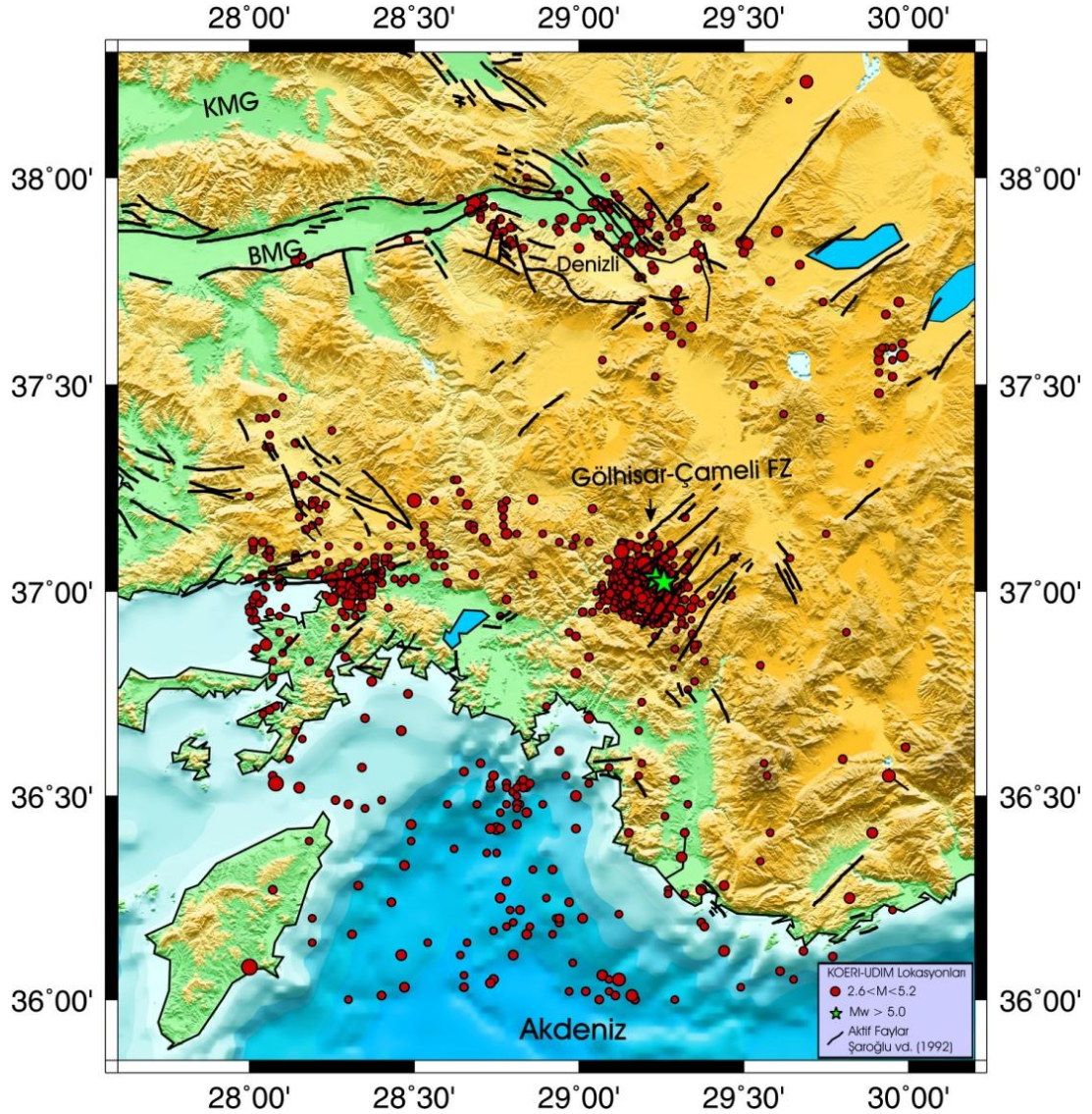
V_p	V_s	ρ	Tabaka Kalınlığı
(km/s)	(km/s)	(g/cm ³)	(km)
5.20	3.06	2.40	3
6.00	3.46	2.67	5
6.00	3.46	2.67	6
6.25	3.61	2.71	8
7.80	4.51	2.99	400

Deprem çözümünde kullanılan ve uzaklıkları 50 km ile 300 km arasında değişen Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü'nün çalıştırdığı geniş-bandlı kayıtçılardan oluşan istasyonların çalışma bölgesindeki dağılımı harita üzerinde Şekil 4.2'de gösterilmiştir.



Şekil 4.2: Bu çalışmada kullanılan Kandilli Rasathanesi Deprem Araştırma Enstitüsü'ne ait geniş bandlı istasyonların lokasyonları ve bölgedeki dağılımları. Topoğrafya ve batimetri, sırasıyla NASA-SRTM-30 ve GEBCO-BODC tarafından hazırlanan veriler kullanılarak hazırlanmıştır. Kayıtçıların lokasyonları BU-KOERI'den alınmıştır. Kırmızı kesik çizgili daire ile çalışma bölgesi gösterilmektedir.

Çameli-Göhlhisar (Denizli) bölgesi ve yakın çevresinde 2005-2008 yılları arasında meydana gelen ve $M \geq 2.6$ olan depremlerin dağılımı Şekil 4.3'te yer almakta olup çizimde yaklaşık olarak 830 deprem kullanılmıştır. Depremlerin, Çameli havzası ve Çameli-Göhlhisar fay zonunda kümelenişi net bir şekilde gözlemlenebilmektedir.

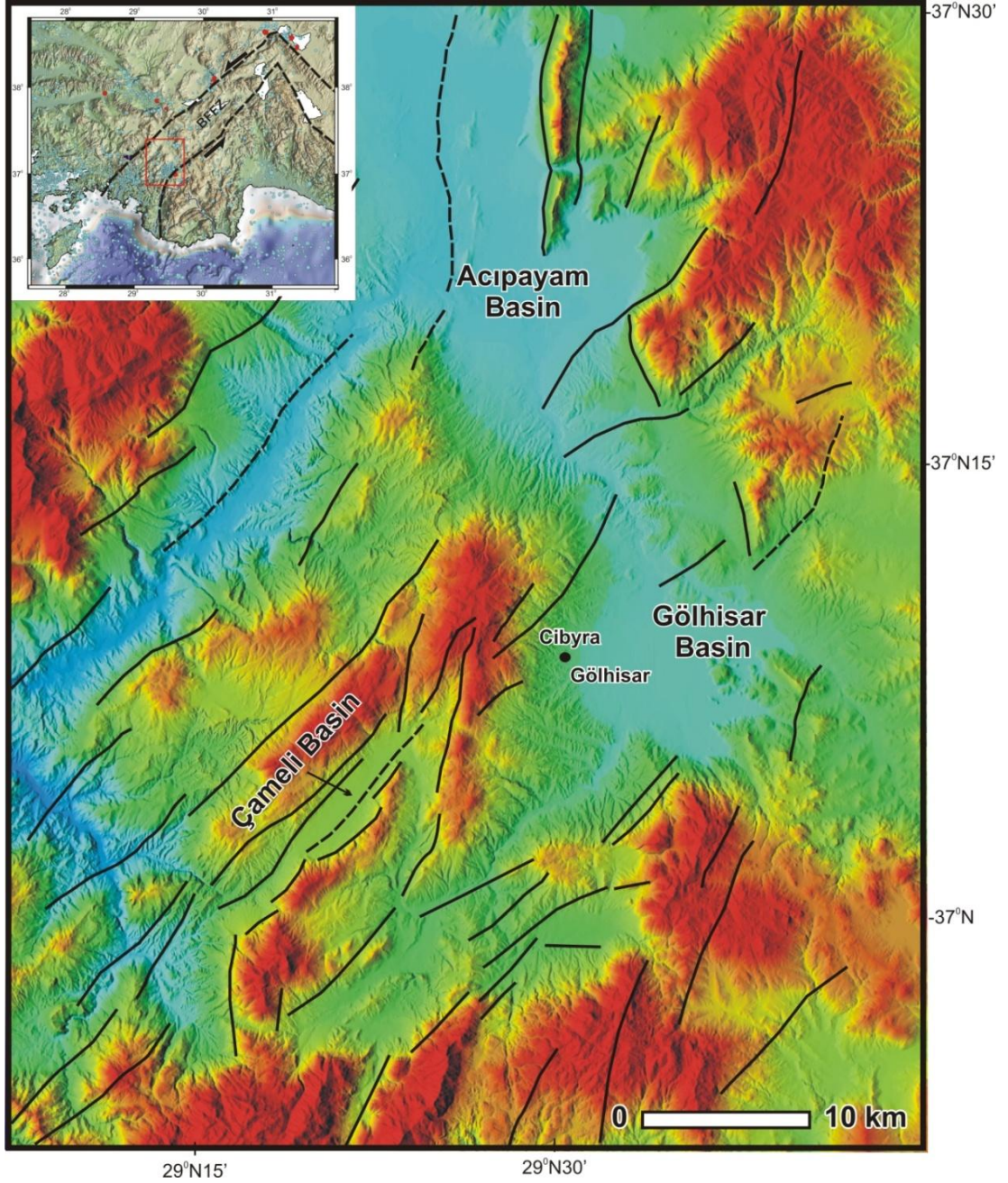


Şekil 4.3: 2005-2008 yılları arasında Çameli (Denizli) bölgesi ve yakın çevresinde $M \geq 2.6$ olan depremlerin dağılımı. Deprem lokasyon bilgileri Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü'nden alınmıştır. KMG: Küçük Menderes Grabeni, BMG: Büyük Menderes Grabeni'ni göstermektedir. Topoğrafya ve batimetri, sırasıyla NASA-SRTM-30 ve GEBCO-BODC tarafından hazırlanan veriler kullanılarak hazırlanmıştır. Aktif faylar Şaroğlu ve diğ. (1992)'den alınarak kullanılmıştır. $M_w > 5.0$ olan depremler yıldızlar ile temsil edilmektedir.

Şekil 4.3'te gözlemlenen depremlerin kümелendiği Çameli (Denizli) bölgesinde, 2005-2008 yılları arasında meydana gelen depremlerin episantr dağılımı ve temel fay sistemleri yakın plan topoğrafya haritası üzerinde Şekil 4.4'te ayrıntılı olarak gösterilmektedir. Ayrıca tez çalışması kapsamında kaynak mekanizması çözümü çalışılan depremler yıldız simgesiyle temsil edilmiştir.

Şekil 4.4: 2005-2008 yılları arasında Çameli havzasında oluşan $M \geq 2.6$ olan depremlerin dağılımı. Episantr lokasyon bilgileri Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü'nden alınmıştır. Topoğrafya, NASA-SRTM 30 verisi kullanılarak hazırlanmış olup, aktif faylar Şaroğlu ve diğ. (1992)'den alınarak kullanılmıştır, ancak bölgede varlığı bilinen daha küçük ölçekli neoktonik fayların yeniden haritalanması gerekmektedir.

Bu çalışmaların sonucuna göre bölgedeki temel fay doğrultusu, KKD-GGB sol yanal ve KB-GD sağ yanal yöneliminde olmaktadır, bölgedeki yırtılma hareketi ile ilişkili K-G yönlü normal faylanmaların ve oblik faylanmaların da bölgede geliştiği görülmektedir.



Şekil 4.5: Burdur Fethiye Fay Zonunun aktif fay haritası ve sayısal yükseklik modeli (DEM) ve Acıpayam, Göhlisar ve Çameli havzaları görülmektedir (Elitez ve diğ., 2009).

Tez çalışması kapsamında incelenen Çameli (Denizli) depremlerinin oluş parametreleri Çizelge 4.2’de yer almaktadır.

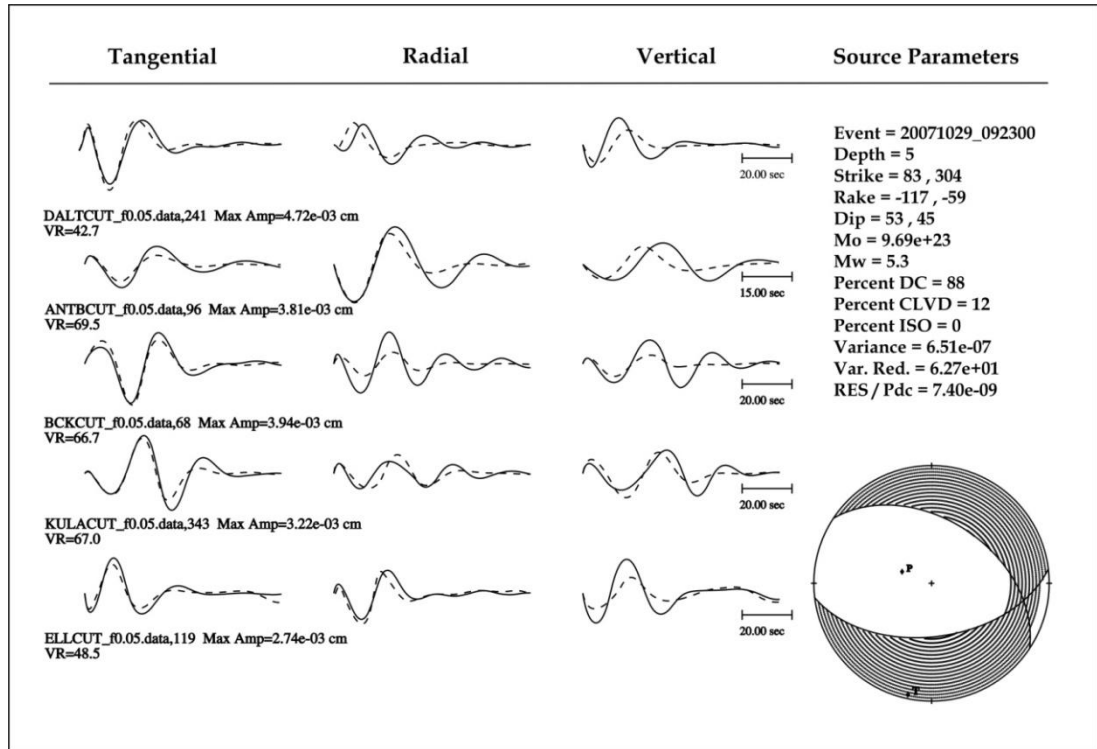
Çizelge 4.2: 2005-2008 yılları arasında Çameli (Denizli) bölgesinde olan bazı önemli depremlerin oluş parametreleri gösterilmiştir. Bu tez çalışması kapsamında çözümü elde edilen depremler ** ile işaretlenmiştir. Depremlere ait lokasyon bilgileri Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü’nden alınmıştır. * ile işaretlenen depremlere ait büyüklük değeri M_D cinsinden, × ile işaretlenen depreme ait büyüklük değeri ise M_b cinsinden verilmiştir.

Sıra No	Tarih	Oluş Zamanı	Kaynak Derinliği	Lokasyon		Büyüklük		
				Enlem	Boylam	EMSC		KOERI
	(gün.ay.yıl)	(sa.dk.sn)	(h:km)	(°)Kuzey	(°)Doğu	M_w	M_L	M_L
1	07.06.2008	16:25:25	5.0	36.962	29.206	-	3.7	3.7*
2	30.05.2008	21:57:24	12.8	36.968	29.230	-	3.2	3.6*
3**	30.05.2008	05:34:20	5.0	36.981	29.208	-	-	4.1
4**	28.05.2008	22:35:48	5.0	36.971	29.191	-	3.6	3.8
5	23.03.2008	11:34:27	5.0	36.991	29.144	-	-	3.7
6**	13.02.2008	03:01:24	5.0	36.947	29.259	-	3.6	3.7
7	28.12.2007	10:34:53	8.2	37.076	29.198	-	-	3.8
8**	09.12.2007	20:29:46	3.6	37.039	29.229	-	4.1	4.2
9**	02.12.2007	20:21:49	8.3	37.065	29.197	-	4.7	4.5
10	16.11.2007	14:47:05	5.0	37.111	29.238	-	-	3.6
11	16.11.2007	12:10:17	5.8	37.057	29.263	-	3.5	3.5
12**	16.11.2007	09:08:23	5.3	37.021	29.256	4.7	4.8 [×]	5.0
13	16.11.2007	08:59:31	5.0	37.096	29.281	-	-	3.7
14	14.11.2007	09:21:11	6.5	37.010	29.310	-	3.5	3.6
15**	12.11.2007	15:02:10	7.1	37.011	29.224	-	4.1	4.1
16**	31.10.2007	17:58:00	5.0	36.986	29.272	4.4	-	4.5
17**	29.10.2007	19:41:39	5.0	36.976	29.239	4.2	4.4	4.4
18**	29.10.2007	09:23:14	5.0	37.032	29.232	5.1	-	5.1
19	12.10.2006	03:20:00	8.0	37.830	29.190	-	4.2	4.0
20	20.08.2005	10:13:00	19.8	37.842	29.038	-	-	3.5

4.1 29 Ekim 2007 / 09:23:14.31 Çameli (Denizli) Depremi ($M_w \sim 5.2$)

29 Ekim 2007 tarihinde GMT saatiyle 09:23:14.31'de, Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü kayıtlarınca 37.032°K ve 29.232°D koordinatlarında, $M_L=5.1$ ve $M_D=4.9$ büyüklüğünde bir deprem olmuştur. Bu tez çalışmasında depremin moment büyüklüğü $M_w=5.2$ olarak hesaplanmıştır. Depremin tez çalışması kapsamında elde edilen çözümü Şekil 4.6'da gösterilmiştir. Depremden sonra bölgede büyüklükleri 2.7 ile 4.0 arasında değişen sekiz adet deprem olmuştur. Depremin Çameli ilçesine bağlı Elmalı ve Taşçılar köylerinde hasara neden olduğu rapor edilmiştir (bkz: URL-2).

Deprem çözümünde 129 km mesafede Burdur-Bucak istasyonu (BCK), 68 km mesafede Antalya-Elmalı istasyonu (ELL), 204 km mesafede Afyon-Şuhut istasyonu (SHUT), 61 km mesafede Muğla-Dalyan istasyonu (DAL) kullanılmıştır. Deprem çözümünün kalite faktörü $Q=2$ olarak bulunmuştur.



Şekil 4.6: 29 Ekim 2007 Çameli (Denizli) depreminin kaynak mekanizması çözümü.

5. TARTIŞMA

Çalışma esnasında en sık karşılaşılan problem veri kayıtlarının kalitesiyle ilgilidir. BU-KOERI-UDIM veri tabanından temin edilen verilerde zaman zaman kesintiler görülmekte bu da o verinin çözüme dahil edilememesine yol açmaktadır. Sinyal/gürültü oranı yüksek olan kayıtlar ters çözüm işleminde kullanıldığından, deprem kaynağına optimum bir mesafedeki alan içerisinde kalan ancak o depreme ait yüksek gürültü içerikli kayıt almış bazı istasyonlar çözümlere eklenmemiştir. Bu da ters çözüm işlemi için kullanılan istasyon sayısını düşüren en önemli etkenlerdendir. Çalışma bölgelerinde meydana gelen depremlerin çoğunluğunun küçük magnitüd aralıklarında meydana gelmesi yöntemi sınırlayan etkenlerden olmaktadır. Ayrıca tez çalışması kapsamında incelenen ve 2005-2006 yılları arasında olan bazı depremlerin çözümü, yetersiz sayıda geniş-bandlı kayıtçı nedeniyle yapılamamıştır. Kısa peryodlu kayıtçıları geniş-banda çevrilmesiyle 2006 yılından sonra meydana gelen depremlerin çözümlerinde kullanılabilen istasyon sayısı artmış olup çözümlere olan olumlu katkısı açıktır. Zaman ortamı moment tensör ters çözüm programının yardımcı programlarının çalışması için gerekli olan alet tepkisi bilgilerini içeren pole-zero dosyaları BU-KOERI-UDIM veri tabanından alınmıştır. Ancak kayıt kalitesi iyi olan ve çözüme dahil edilmesi gereken bazı istasyonlar için tam doğrulukta sağlanmamıştır. Bu nedenle deprem episantırını çevreleyen istasyon ağında kullanılabilir veriler gerek kayıt kalitesi gerekse kayıtçı bilgileri eksikliği nedeniyle gittikçe azalmakta ve ters çözüm kalitesini zayıflatmaktadır. Bununla beraber, bölgesel moment tensör ters çözüm programında kullanılan kabuk yapısının iyi çözümler elde etmek için yeterli derecede biliniyor olmasına ihtiyaç duyulur. Bu nedenle bölgelerde sismik hız yapısına ait önceden yapılmış, kaynak olabilecek ön çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır ancak bu çalışmaların azlığı daha genel kabuk yapılarının çözüm üretilmesinde kullanılmasına neden olmakta ve bu sayede çözüm kalitesinin düşmesine yol açmaktadır. Bölgede sıklıkla meydana gelen $M < 3.5$ olan depremlerinde gelecek çalışmalarda, mikrodepremlerin kaynak mekanizması parametrelerinin elde edilmesinde kullanılan yardımcı yöntemler ile araştırılmasında ve bölgenin aktif tektoniğinin anlaşılmasında kullanılması faydalı olacaktır.

6. SONUÇLAR

6.1 BÂLA-SIRAPINAR (ANKARA) DEPREMLERİ SONUÇLARI

Bâla-Sırapınar (Ankara) Depremleri, KB-GD doğrultulu sağ yanal doğrultu atımlı bir fay olan Tuz Gölü fayının kuzeybatı ucuna yakın ve sismolojik açıdan aktif olan bir bölgeden kaynaklanmıştır. Türkiye Diri Fay haritasında (Şaroğlu ve diğ., 1992, MTA) fayın sonlandığı bu bölgede Kulu ile Bâla arasında KD-GB ve KB-GD uzanımında birbirine çapraz uzanan ve uzunlukları 5-10 km arasında değişen bir fay sistemi yer alır. Bu fay sisteminde her iki doğrultuda da uzanan faylar sağ yönlü doğrultu atımlıdır. Sismolojik ve yapısal veriler karşılaştırıldığında depremlerin Bâla güneyindeki birbirine çapraz uzanan bu diri fay sisteminden kaynaklandığı söylenebilmektedir (bkz. URL-3).

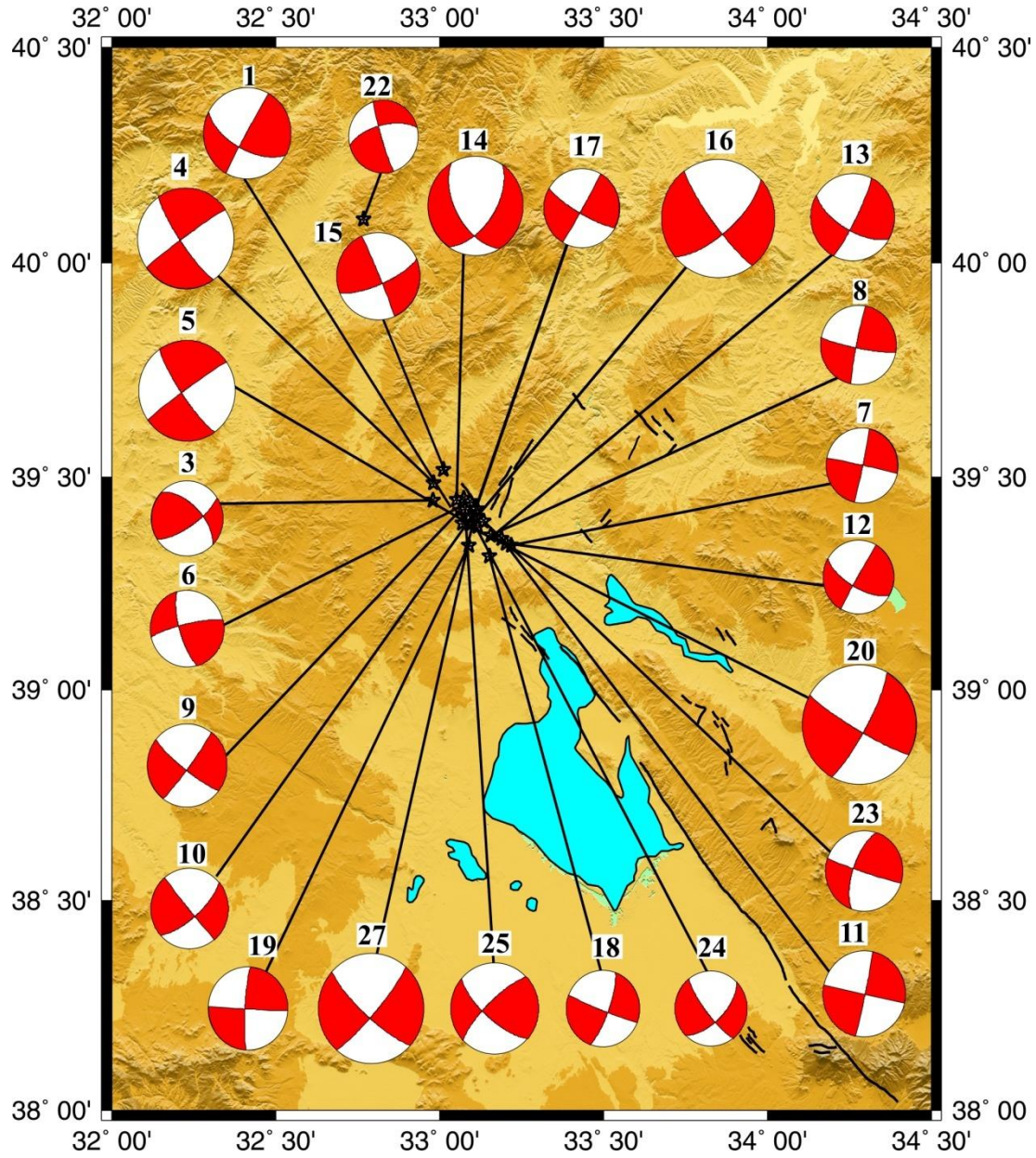
Bu tez çalışması kapsamında, Bâla-Sırapınar (Ankara) bölgesinde sinyal/gürültü oranı iyi olan 27 adet depremin zaman ortamı moment tensör ters çözüm yöntemiyle kaynak mekanizması parametreleri elde edilmiştir. Ancak sonuçların güvenilirliği açısından burada üç veya daha fazla istasyon verisi kullanılarak çözümü elde edilen 24 adet deprem ($M \geq 3.5$) gösterilmiştir. Çözümlerin bölgedeki dağılımı Şekil 6.1’de yer almaktadır. Bu çözümlere ilişkin kaynak mekanizması parametreleri ise Çizelge 6.1’de bulunmaktadır. Bunların haricinde, sadece iki istasyon verisi kullanılarak çözülebilmüş 3 adet kaynak mekanizması çözümü Şekil 6.1’e dahil edilmemiş olup, bu depremlerin çözümleri de EK-A 1-27’de bulunmaktadır. Kaynak mekanizması çözümleri incelendiğinde genel olarak, KB-GD yönünde sağ yönlü doğrultu atımlı fay karakteristiğinin, KD-GB yönünde ise sol yanal doğrultu atımlı fay karakteristiğinin hakim olduğu görülmektedir. Normal faylanma bileşeninin de olduğu KB-GD ve KD-GB ağırlıklı olmak üzere, kısmen D-B uzanımlı fay karakteristikleri de mevcuttur. Depremlerin olduğu bölgede KB-GD ile, KD-GB ve K-G yönelimli doğrultu atımlı fayların çapraz fay sistemlerinin varlığı bilinmektedir (bkz. URL-1). Bu bağlamda çalışma sonuçlarının bölgenin aktif tektoniği ve yerel jeolojik özellikleriyle uyumlu sonuçlar verdiği söylenebilir.

Çizelge 6.1 : Bâla-Sırapınar (Ankara) depremleri kaynak mekanizması parametreleri.

Deprem No	Tarih (gün.ay.yıl)	Oluş Zamanı (sa.dk.sn)	Kaynak Derinliği (h: km)	Moment Büyüklüğü (Mw)	Düzlem 1			Düzlem 2			Sismik Moment (M ₀)	VR	DC
					Doğrultu	Dahm	Kayma	Doğrultu	Dahm	Kayma			
1	23.09.2008	09:09:42	5	4.3	209	88	29	118	61	178	3.23e+22	76	82
2	11.09.2008	08:33:58	5	4.1	40	66	-141	291	55	-29	1.36e+22	58	58
3	19.07.2008	01:27:21	8	3.5	56	72	33	315	59	159	2.21e+21	56	88
4	15.03.2008	10:15:38	10	4.7	235	87	-170	145	80	-3	1.43e+23	56	89
5	01.02.2008	09:11:03	8	4.1	317	85	170	48	80	5	1.42e+22	55	75
6	26.01.2008	06:57:52	5	3.6	257	80	17	164	73	170	3.18e+21	58	83
7	20.01.2008	14:45:27	8	3.5	282	89	178	12	88	1	2.16e+21	64	83
8	14.01.2008	06:57:56	8	3.7	191	86	7	101	83	176	4.55e+21	66	97
9	11.01.2008	16:07:48	8	3.9	37	85	-9	128	81	-175	8.65e+21	54	93
10	07.01.2008	18:26:35	5	3.8	140	88	-161	49	71	-2	6.08e+21	63	90
11	04.01.2008	05:03:13	8	4.1	282	90	178	12	88	0	1.42e+22	60	73
12	29.12.2007	11:54:16	6	3.5	210	88	23	120	67	178	1.94e+21	51	89
13	27.12.2007	17:56:12	6	4.1	27	83	-25	120	65	-172	1.71e+22	70	43
14	27.12.2007	13:47:58	8	4.7	34	57	-42	150	56	-138	1.15e+23	60	94

Çizelge 6.1 (devam) : Bâla-Sırapınar (Ankara) depremleri kaynak mekanizması parametreleri.

Deprem No	Tarih (gün.ay.yıl)	Oluş Zamanı (sa.dk.sn)	Kaynak Derinliği (h: km)	Moment Büyüklüğü (Mw)	Düzlem 1			Düzlem 2			Sismik Moment (M ₀)	VR (%)	DC (%)
					Doğrultu	Dalım	Kayma	Doğrultu	Dalım	Kayma			
15	27.12.2007	07:47:01	6	4.1	337	88	164	67	74	2	1.59e+22	70	46
16	26.12.2007	23:47:08	5	5.6	143	81	-159	49	69	-10	2.55e+24	72	95
17	21.12.2007	19:18:22	6	3.7	30	88	-11	120	79	-178	4.37e+21	64	80
18	20.12.2007	12:34:25	12	3.6	111	86	-167	20	77	-4	3.03e+21	59	92
19	20.12.2007	10:50:12	6	3.9	93	89	173	183	83	1	8.18e+21	60	95
20	20.12.2007	09:48:27	8	5.6	120	83	-170	29	80	-7	2.80e+24	85	96
21	23.10.2007	22:56:52	5	3.7	358	85	139	92	49	6	3.43e+21	57	64
22	22.05.2007	01:39:09	5	3.4	163	85	-26	256	64	-175	1.58e+21	58	96
23	06.09.2006	18:47:02	5	3.8	108	87	157	199	67	3	5.81e+21	51	92
24	01.08.2005	02:02:15	10	3.6	142	78	-152	45	62	-14	2.48e+21	53	82
25	31.07.2005	23:41:34	16	4.4	226	76	19	131	71	165	3.48e+22	51	81
26	31.07.2005	15:18:19	16	4.0	30	84	-15	122	75	-174	9.74e+21	56	65
27	30.07.2005	21:45:05	12	5.2	41	82	-12	132	78	-172	6.59e+23	67	91



Şekil 6.1: Zaman ortamı moment tensor ters çözüm yöntemi ile üç veya daha fazla istasyon verisi kullanılarak çözümü elde edilen 24 adet depremin bölgedeki dağılımı ve kaynak mekanizması çözümleri gösterilmiştir. Depremlerin episantır lokasyonları Kandilli Rasathanesi Deprem Araştırma Enstitüsü'nden alınmıştır. Topoğrafya NASA-SRTM-30 verisi kullanılarak hazırlanmıştır. Kaynak mekanizması boyutları deprem büyüklüğüyle orantılı olarak değişmekte olup depremlere ait olan numaralandırma kullanılarak Çizelge 6.1 ile kaynak mekanizması parametreleri karşılaştırılabilir (Çubuk ve Taymaz, 2009a, b).

6.2 ÇAMELİ (DENİZLİ) DEPREMLERİ SONUÇLARI

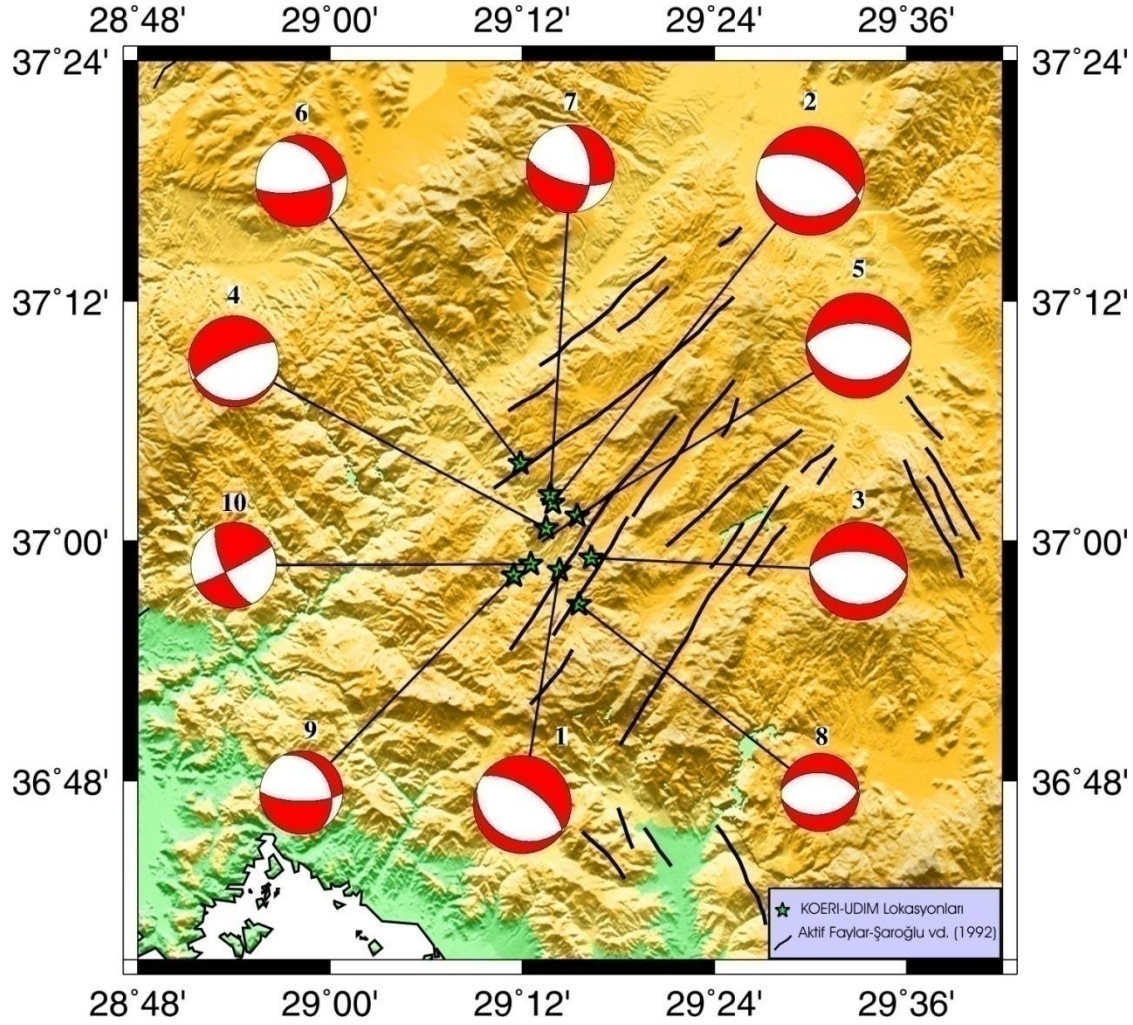
Küçük magnitüd aralıklarında ve sık olarak oluşan depremler ile temsil edilen Çameli (Denizli) bölgesinin deprem karakteristiği, kaynak mekanizması çözümlerinin elde edilmesinde zorlaştırıcı bir etken olmuştur. Bölgede 2005-2006 yılları arasında oluşan bazı depremlerin çözümü, sahip oldukları yüksek gürültü içeriği ve yetersiz geniş-bandlı istasyon sayısından ötürü analiz edilememiştir. Bölgesel moment tensör çalışmaları için kabuk yapısının iyi bir şekilde biliniyor olması daha iyi nitelikte çözümlerin elde edilmesini sağlayacaktır. Çameli havzasının Anadolu levhasının iç deformasyonu ile ilgili olmak üzere;

- (1) Doğu Helenik yay-önünün dışa doğru gelişimi sonucu kuzeydoğu-güneybatı yönlü açılım,
- (2) Doğu yay-önünün yaklaşık olarak doğrultusu boyunca, doğrultu atımlı faylama ile temsil edilen tektonik kaçış,
- (3) Fethiye-Burdur Fay Zonu'nun (FBFZ) kuzeyine doğru (Dinar ve Denizli grabenleri) kuzeydoğu-güneybatı yönlü genişleme gibi üç farklı tektonik rejim altında kalan bir geçiş bölgesi olduğu kabul edilebilir (Alçıçek, 2006). Yerel jeolojik unsurların ışığında, temel fay doğrultusunun KKD-GGB olduğu sol atım bileşenli oblik faylanmalar ile normal faylanma mekanizmalarının bölgede görülmesi beklenen özellikler olduğu söylenebilir.

Bu tez çalışması kapsamında Çameli (Denizli) bölgesinde oluşan ve ayrıntılı olarak incelenen ve moment büyüklükleri $3.8 \leq M_w \leq 5.2$ aralığında değişen 10 adet depremin kaynak mekanizması parametreleri zaman ortamı moment tensör ters çözüm yöntemiyle modellenerek elde edilmiştir. Kaynak mekanizması çözümleri, Şekil 6.2'de gösterilmiş olup bunlarla ilişkili kaynak mekanizması parametreleri ise Çizelge 6.2'de yer almaktadır. Çözümler incelendiğinde çoğunluğunun normal faylanma özelliği taşıdığı görülmektedir. Bununla beraber oblik atımlı faylanmalar ve normal faylanma bileşeni de içeren doğrultu atımlı faylanma özellikleri de birkaç depremde gözlenmektedir.

Sonuç olarak, bu bölgede olan depremlerin Gölhisar'ın güneybatısında Kelekçi-Altınıyayla arasında kuzeydoğu-güneybatı yönünde uzanan birbirine paralel üç adet faydan oluşan Çameli-Gölhisar Fay Zonu'nun aktivitesi ile ilişkili olduğu

düşünülmektedir. Zaman ortamı moment tensör ters çözümü yöntemiyle elde edilen sonuçların bölgedeki diğer çalışmalar ve yerel tektonik unsurlar ile uyumlu sonuçlar verdiği görülmektedir.



Şekil 6.2: Zaman ortamı moment tensör ters çözümü yöntemi ile Çameli (Denizli) bölgesinde üç veya daha fazla istasyon verisi kullanılarak kaynak mekanizması çözümü elde edilen depremlerin dağılımı. Topoğrafya, NASA-SRTM-30 verisi kullanılarak hazırlanmış olup, aktif faylar Şaroğlu ve diğ. (1992)'den alınarak kullanılmıştır. Fayların konumları ve dağılımları yanıltıcı olabilir, zira bu bölgede detaylı neotektonik çalışmalar henüz yapılmamıştır. Kaynak mekanizması gösterimlerinin boyutları deprem büyüklüğüyle orantılı olarak değişmektedir (Çubuk ve Taymaz, 2009c).

Çizelge 6.2: RMT yöntemi ile Çameli (Denizli) depremleri için elde edilmiş kaynak mekanizması parametreleri.

Deprem No	Tarih (gün.ay.yıl)	Oluş Zamanı (sa:dk:sn)	Kaynak Derinliği (h: km)	Moment Büyüklüğü (Mw)	Düzlem 1			Düzlem 2			Sismik Moment (M ₀)	VR	DC
					Doğrultu	Dahm	Kayma	Doğrultu	Dahm	Kayma			
1	29.10.2007	19:41:00	5	4.7	(°)	305	62	(°)	113	28	(°)	(%)	73
2	29.10.2007	09:23:00	5	5.2	294	58	-77	91	35	-110	7.47e+23	60	82
3	31.10.2007	17:58:00	5	4.7	275	57	-89	92	33	-92	1.33e+23	75	86
4	12.11.2007	15:02:00	4	4.4	245	77	-99	100	15	-57	4.19e+22	51	67
5	16.11.2007	09:08:00	8	5.1	271	55	-92	94	35	-88	4.40e+23	64	87
6	02.12.2007	20:21:00	8	4.4	81	71	-128	328	42	-29	4.93e+22	64	98
7	09.12.2007	20:29:00	4	4.2	105	65	-138	354	53	-32	2.61e+22	60	64
8	13.02.2008	03:01:00	8	3.8	273	48	-83	82	43	-98	5.17e+21	62	42
9	28.05.2008	22:35:00	5	4.0	91	73	-118	333	32	-33	1.17e+22	50	73
10	30.05.2008	05:34:00	8	4.1	63	85	159	155	69	5	1.80e+22	65	95

KAYNAKLAR

- Aki, K and Richards, P.G.**, 1980. *Quantitative Seismology: Theory and Methods*. W.H. Freeman and Co., New York.
- Aki, K.** 1966. Generation and Propagation of G Waves from the Niigata Earthquake of June 16, 1964. 2. Estimation of Earthquake Movement, Released Energy and Stress-Strain Drop from G Wave Spectrum, *Bull. of the Earthq. Res. Inst, Tokyo University*, **44**, 23-88.
- Aki, K. and Richards, P.G.**, 2002. *Quantitative Seismology*, 2nd edition, University Science Books, pp. 700.
- Akyol, N., Zhu, L., Mitchell, B.J., Sözbilir, H. and Kekovalı, K.**, 2006. Crustal Structure and Local Seismicity in Western Anatolia, *Geophysical Journal International*, doi:10.1111/j.1365-246X.2006.0353x.
- Akyüz, S. and Altunel, E.**, 2001. Geological and Archaeological Evidence for Post-Roman Earthquake Surface Faulting at Cibyra, SW Turkey, *Geodinamica Acta*, **14**, 95-101.
- Alçıçek, M.C., Kazancı, N., Özkul, M.**, 2005. Multiple Rifting Pulses and Sedimentation Pattern in the Çameli Basin, Southwestern Anatolia, Turkey, *Sedimentary Geology*, **173**, 409-431.
- Alçıçek, M.C., Kazancı, N., Özkul, M., Şen, Ş.**, 2004. Çameli (Denizli) Havzasının Tortul Dolgusu ve Jeolojik Evrimi, *MTA Dergisi*, **128**, 99-123.
- Alçıçek, M.C., Ten Veen H.J. and Özkul M.**, 2006. Neotectonic Development of the Çameli Basin, Southwestern Anatolia, Turkey. Robertson, A.H.F., Mountrakis, D. (Eds.), *Tectonic Development of the Eastern Mediterranean Region*. Geological Society of London, Special Publication, **260**, 591-611.
- Ateş, A., Kearey, P. and Tufan, S.**, 1999. New Gravity and Magnetic Maps of Turkey, *Geophys. J. Int.*, **136**, 499-502.
- Ateş, A., Taymaz, T., Bilim, F., Büyüksaraç, A., Aydemir, A., Yolsal, S., Çubuk, Y., Bektaş, Ö.**, 2009. Tectonic Interpretation of Aeromagnetic Anomalies of Turkey, *International Association of Geomagnetism and Aeronomy, 11th Scientific Assembly*, Özetler, **021**, Sopron, Macaristan.
- Aydemir, A.**, 2009. Tectonic Investigation of Central Anatolia, Turkey, Using Geophysical Data, *Journal of Applied Geophysics*, **68 (3)**, 321-334.
- Baran, B.**, 1996. Ankara Batısının Sismotektonik İncelemesi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, *Yüksek Lisans Tezi*, Ankara, pp. 53.

- Baran, B., Erkmen, C., Köksal, S.T., Kuran, F.,** 2005. 31 Temmuz 2005 Bala-Ankara Depremi Raporu, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Deprem Araştırma Dairesi Başkanlığı, Ankara, pp. 17.
- Bouguer Anomali Haritası,** 1979. 1/500.000 Ölçekli Denizli Paftası, MTA yayını, Ankara.
- Bozcu, M., Yağmurlu, F. and Şentürk, M.,** 2007. Fethiye Burdur Fay Zonunun Bazı Neotektonik ve Paleosismolojik Özellikleri, GB-Türkiye, *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, **31 (1)**, 25-48.
- Büyüksaraç, A., Taymaz, T., Ateş, A., Bilim, F., Aydemir, A., Bektaş, Ö., Yolsal, S. and Çubuk, Y.,** 2009. Gravity Anomalies and Crustal Structure of Turkey, *International Symposium On Historical Earthquakes and Conservation of Monuments and Sites in the Eastern Mediterranean Region: "500th Anniversary Year of the 1509 September 10, Marmara Earthquake"*, Proceedings of Extended Abstracts, 107-112.
- Çubuk, Y. and Taymaz, T.,** 2009a. Time Domain Momet Tensor Analysis of 2005-2008 Bala (Ankara) Earthquakes, *62. Jeoloji Kurultayı 13-17 Nisan 2009, Bildiri Özleri Kitabı (2)*, 780-781.
- Çubuk, Y. and Taymaz, T.,** 2009b. Active Tectonics of Bala-Sırapınar (Central Turkey) and Surroundings: Time Domain Moment Tensor Inversion of Moderate Earthquakes Occurred During 2005-2008, *International Symposium On Historical Earthquakes and Conservation of Monuments and Sites in the Eastern Mediterranean Region: "500th Anniversary Year of the 1509 September 10, Marmara Earthquake"*, Proceedings of Extended Abstracts, 367-372.
- Çubuk, Y. and Taymaz, T.,** 2009c. Active Tectonics of Çameli-Göhlhisar (SW Turkey) and Surroundings: Time Domain Moment Tensor Inversion of Moderate Earthquakes Occurred During 2005-2008, *International Symposium On Historical Earthquakes and Conservation of Monuments and Sites in the Eastern Mediterranean Region: "500th Anniversary Year of the 1509 September 10, Marmara Earthquake"*, Proceedings of Extended Abstracts, 373-376.
- Dreger, D. and Langston, C.A.,** 1995. *Moment Tensor Inversion Workshop*, an IRIS DMS short course.
- Dreger, D.,** 1992. Modeling earthquakes with local and regional broadband data, Doktora Tezi, California Institute of Technology, Pasadena.
- Dreger, D.,** 2000. Dilational Processes Accompanying Earthquakes in the Long Valley Caldera, *Science*, **288**, 122-125.
- Dreger, D., and Helmberger, D.V.,** 1990. Broadband Modeling of Local Earthquakes, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, **80**, 1162-1179.
- Dreger, D., and Helmberger, D.V.,** 1991. Complex Faulting Deduced from Broadband Modeling of the 28 February 1990 Upland Earthquake ($M_L=5.2$), *Bull. Seism. Soc. Am.*, **81**, 1129-1144.
- Dreger, D., and Woods, B.,** 1999. Regional Moment Tensors as Discriminants?, *Seism. Res. Lett.*, **70**, 212.

- Dreger, D., Uhrhammer, R., Pasyanos, M., Franck, J. and Romanowicz B.,** 1998. Regional and Far-Regional Earthquake Locations and Source Parameters Using Sparse Broadband Networks: A Test on the Ridgecrest Sequence, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, **88**, 1353-1362.
- Dreger, D.S. and Helmberger, D.V.,** 1993. Determination of Source Parameters at Regional Distances with Single Station or Sparse Network Data, *J. geophys. Res.*, **98**, 8107–8125.
- Dreger, D.S., and Helmberger, D.V.,** 1991. Source Parameters of the Sierra Madre Earthquake from Regional and Local Body Waves, *Geophys. Res. Let.*, **18**, 2015-2018.
- Dreger, D.S., Savage, B.,** 1999. Aftershocks of the 1952 Kern County, California, Earthquake Sequence, *Bull. seism. Soc. Am.*, **89**, 1094-1108.
- Dziewonski, A.M., Chou, T.A., and Woodhouse, J.H.,** 1981. Determination of Earthquake Source Parameters from Waveform Data for Studies of Global and Regional Seismicity, *Journal of Geophysical Research*, **86 (B4)**, 2825 – 2852.
- Elitez, İ., Yaltırak, C. and Akkök, R.,** 2009. Morphotectonic Evolution of the Burdur Fethiye Fault Zone (BFFZ), Middle section: Acipayam, Gölhisar and Çameli Basins, SW Turkey. *International Symposium On Historical Earthquakes and Conservation of Monuments and Sites in the Eastern Mediterranean Region: “500th Anniversary Year Of The 1509 September 10, Marmara Earthquake”*, Proceedings of Extended Abstracts, 296-297.
- GEBCO,** 1997. General Bathymetric Chart of the Oceans, Digital Version, Distributed on CD-ROM by the British Oceanographic Data Center, Birkenhead.
- Goldstein, P., Dodge, D., and Firpo, M.,** 1999. SAC2000: Signal Processing and Analysis Tools for Seismologist and Engineers, UCRL-JC-135963, *Invited contribution to the IASPEI International Handbook of Earthquake and Engineering Seismology*.
- Güven, I.T.,** 1998. Yapay Sismogram Hesaplama Yöntemi ile Ankara ve Civarının Yerkabuğu Yapısı Modellemesi, *Yüksek Lisans Tezi*. Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, pp. 59.
- Hanks, T.C. and Kanamori, H.,** 1979. A moment magnitude scale. *Journal of Geophysical Research*, **84 (B5)**, 2348-2350.
- Jost, M.L. and Herrmann, R.B.,** 1989. A Student’s Guide to and Review of Moment Tensors, *Seismological Research Letters*, **60 (2)**, 37-57.
- Julian, B.R., Miller, A.D. and Foulger G.R.,** 1998. Non Double Couple Earthquakes I. Theory, *Rev. Geophys.*, **36**, 525-549.
- Karabacak, V., Yönlü, Ö., Altunel, E., Dökü, E., Özüdoğru, Ş., Altınok, S. and Yalçın, Ç.,** 2008. Cibyra Antik Kentinde (Güneybatı Anadolu) Arkeosismolojik ve Jeomorfolojik Gözlemler: Bölgenin Aktif Tektoniğine Ait Yeni Veriler, *Aktif Tektonik Araştırma Grubu Onikinci Çalıştayı-Özetler*, pp. 37.

- Kawasaki, I.A.**, 1982. A Method for the Near-Source Anisotropy by the Pair Event Inversion of Rayleigh Wave Radiation Patterns, *Geophys. J. R. Astr. Soc.*, **71**, 395-424.
- Koçkar, M., and Akgün, H.**, 2008. Development of a Geotechnical and Geophysical Database for Seismic Zonation of the Ankara Basin, Turkey, *Environ. Geol.*, **55**, 165-176.
- Koçyiğit, A.**, 1991. Changing Stress Orientation in Progressive Intracontinental Deformation as Indicated by the Neotectonics of the Ankara Region (NW Central Anatolia), *TAPG Bulletin*, 48-59.
- Koçyiğit, A.**, 2008a. Ağlasun-Gölcük (Isparta) Bölgesinin Aktif Tektoniği: Neotektonik Rejimin Türü ve Sagalassos Tarihsel Depremlerinin Kaynağı, "ATAG-12: Aktif Tektonik Araştırma Grubu Onikinci Çalıştayı", **12**, 7-8.
- Koçyiğit, A.**, 2008b. Ankara Bölgesi'nin Depremselliği Çerçevesinde 31 Temmuz 2005, 20 Aralık 2007 ve 27 Aralık 2007 Afşar (Bâla-Ankara) Depremleri Ne Anlama Gelir, *61.TJK Bildiri Özetleri 24-28 Mart 2008*, 73-75.
- Matcham, I.**, 1999. Source Mechanism Determination Using Broadband Data in the New Zealand Seismic Environment, Victoria University of Wellington, New Zealand, *Yüksek Lisans Tezi*.
- Örgülü, G.**, 2001. Analysis of Regional Moment Tensor Inversion Method and its Applications to the İzmit, Düzce Earthquake Sequences and Eastern Anatolian Earthquakes, Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, *Doktora Tezi*, pp. 115.
- Pasyanos, M.E., Dreger, D.S., Romanowicz, B.**, 1996. Toward Realtime Estimation of Regional Moment Tensors, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, **86**, 1255-1269.
- Pechmann, J.C., Walter, W.R., Nava, S.J., Arabasz, W.J.**, 1995. February 3, 1995, $M_L=5.1$ Seismic Event in the Trona Mining District of Southwestern Wyoming, *Seis. Res. Lett.*, **66 (3)**, 25-34.
- Richter, C.F.**, 1935. An Instrumental Earthquake Magnitude Scale. *Bull. Seismol. Soc. Am.*, **25**, 1-32.
- Robertson, E.J.**, 2008. Seismic Moment Tensor Solutions from Geonet Data to Provide a Moment Magnitude Scale for New Zealand, Victoria University of Wellington, New Zealand, *Yüksek Lisans Tezi*, pp. 186.
- Rueda, J. and Mezcu, J.**, 2005. Near Real Time Seismic Moment Tensor Determination in Spain, *Seismological Research Letters*, **76 (4)**, 455-465.
- Saikia, Chandan. K.**, 1994. Modified Frequency-Wavenumber Algorithm for Regional Seismograms Using Filon's Quadrature; Modeling of L_g Waves in Eastern North America, *Geophys. Journ. Int.*, **118**, 142-158.

- Similox-Tohon, D., Sintubin M., Muchez, P., Verhaert, G., Vanneste, K., Fernandez, M., Vandycke, S., Vanhaverbeke, H., Waelkens, M.,** 2006. The Identification of an Active Fault by a Multidisciplinary Study at the Archaeological Site of Sagalassos (SW Turkey), *Tectonophysics*, **420**, 371–387.
- Similox-Tohon, D., Vanneste, K., Sintubin, M., Muchez, P. and Waelkens, M.,** 2004. Two-Dimensional Resistivity Imaging: A Tool in Archaeoseismology. An Example from Ancient Sagalassos (Southwest, Turkey), *Archaeol. Prospect.*, **11**, 1–18.
- Sintubin, M.,** 2007. Türkiye'nin Güneybatısında Arkeosismik ve Jeolojik Çalışmalar, *Antik Depremler, Toplumsal Tarih*, **161**, 44-49.
- Sintubin, M., Muchez, P., Similox-Tohon, D., Verhaert, G., Paulissen, E. and Waelkens, M.,** 2003. Seismic Catastrophes at the Ancient City of Sagalassos (SW Turkey) and their Implications for Seismotectonics in the Burdur–Isparta Area, *Geological Journal*, **38**, 359–374.
- Sipkin, S.A.,** 1986. Interpretation of Non-Double-Couple Earthquake Mechanisms Derived from Moment Tensor Inversion, *J. of Geophys. Res.*, **91 (B1)**, 531-547.
- Stein, S., and Wyession, M.,** 2003. *An Introduction to Seismology, Earthquakes, and Earth Structure*. Blackwell Publishing, pp. 498 .
- Şaroğlu, F., Emre, Ö., Aydoğan, B.** 1987. Türkiyenin Diri Fayları ve Depremsellikleri, *MTA Derleme Rapor*, No: 8174, 228-230.
- Şaroğlu, F., Emre, Ö., Kuşçu, İ.,** 1992. Active Fault Map of Turkey, 2 pafta, MTA, Ankara, Türkiye.
- Taymaz, T.,** 1993. The Source Parameters of Çubukdağ (Western Turkey) Earthquake of 11 October 1986, *Geophysical Journal International-Oxford*, **113**, 260-267.
- Taymaz, T. and Price, S.,** 1992. The 1971 May 12 Burdur Earthquake Sequence, SW Turkey: A Synthesis of Seismological and Geological Observations, *Geophysical Journal International-Oxford*, **108**, 589-603.
- Taymaz, T., Westaway, R. and Reilinger R.,** 2004. Active Faulting and Crustal Deformation in the Eastern Mediterranean Region, *Special Issue of Tectonophysics*, **391 (1-4)**, pp. 375.
- Taymaz, T., Yılmaz, Y. and Dilek, Y.,** 2007a. *The Geodynamics of the Aegean and Anatolia: Introduction*. Geological Society, London, Special Publications, **291**, 1-16.
- Taymaz, T., Wright, J., Yolsal, S., Tan, O., Fielding. E. and Seyitoğlu. G.,** 2007b. Source Characteristics of the 6 June 2000 Orta–Çankırı (Central Turkey) Earthquake: a Synthesis of Seismological, Geological and Geodetic (InSAR) Observations, and Internal Deformation of the Anatolian Plate. *The Geodynamics of the Aegean and Anatolia*, Geological Society, London, Special Publications, **291**, 259–290.

- Trèhu, A.M. and Solomon, S.C.**, 1983. Earthquakes in the Orozco Transform Zone: Seismicity, Source Mechanisms and Tectonics, *J. Geophys. Res.*, **88**, 8203-8225.
- URL-1:** <<http://www.mta.gov.tr/v1.0/deprem/pdf/15Mart2008BalaDepremi.pdf>>, 20.01.2009.
- URL-2:** <[http://sismo.deprem.gov.tr/DEPREM/DEPREMRAPORLARI/29102007Cameli DENIZLI_RPR.pdf](http://sismo.deprem.gov.tr/DEPREM/DEPREMRAPORLARI/29102007Cameli_DENIZLI_RPR.pdf)>, 10.04.2009.
- URL-3:** <<http://www.mta.gov.tr/v1.0/deprem/pdf/27aralik2007BalaDepremi.pdf>>, 20.01.2009.
- URL-4:** <http://sismo.depreo.gov.tr/DEPREM/DEPREMRAPORLARI/31072005Bala/ANKARA%20%20DEPREM%20RAPORU_RPR.pdf>, 20.01.2009.
- Wessel, P. and Smith, W.H.F.**, 1995. New Version of the Generic Mapping Tool Released, *EOS Trans., Am. Geophys. Un.*, **76**, 329.
- Yağmurlu, F., Bozcu, M., Şentürk, M.**, 2005. Burdur-Fethiye Arasındaki Bölgede Burdur Fayının Sismotektonik Özellikleri, *Tübitak-ÇAYDAG, Proje No 101Y027*, 79, Yayınlanmamış Rapor.
- Yolsal, S.**, 2008. Girit-Kıbrıs Yayları Ve Ölü Deniz Fay Zonu Çevresinde Oluşan Depremlerin Kaynak Mekanizması Parametreleri, Kayma Dağılımları Ve Tarihsel Tsunami Simülasyonları. *Doktora Tezi*, pp. 523, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kasım 2008, İstanbul.
- Yolsal, S. and Taymaz, T.**, 2007. Source Mechanism and Rupture Histories of the Recent Gulf of Gökova and Sığacık Bay Earthquakes, *EGU (European Geosciences Union) General Assembly 2007*, 15-20 April 2007, Vienna-Austria.
- Yolsal, S. and Taymaz, T.**, 2009. Earthquake Source Scaling Relationships and Tsunami Generation Obtained by Slip Distribution and Rupture Modeling Studies in the Eastern Mediterranean Region. , *International Symposium On Historical Earthquakes and Conservation of Monuments and Sites in the Eastern Mediterranean Region: "500th Anniversary Year of the 1509 September 10, Marmara Earthquake"*, Proceedings of Extended Abstracts,
- Yolsal, S., Taymaz, T. and Yalçiner, A.C.**, 2007. Understanding tsunamis, potential source regions and tsunami prone mechanisms in the Eastern Mediterranean, in *The Geodynamics of the Aegean and Anatolia*, Eds. Taymaz, T., Yılmaz, Y. and Dilek, Y., Special Publication, Geological Society, London, Special Publications, **291**, 201-230.
- Yolsal, S., Taymaz, T. and Yalçiner, A.C.**, 2009. 21 July 365 AD Crete Earthquake and Simulation of its Associated Tsunami, *62.Jeoloji Kurultayı 13-17 Nisan 2009*, Bildiri Özleri Kitabı (**2**), 782-783.
- Zünbül, S. and Kadirioğlu, F.T.**, 2008. 20-27 Aralık 2007 Bâla-Ankara Depremleri Raporu, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Deprem Araştırma Dairesi, Ankara, Rapor No: 6052-1, Nisan 2008.

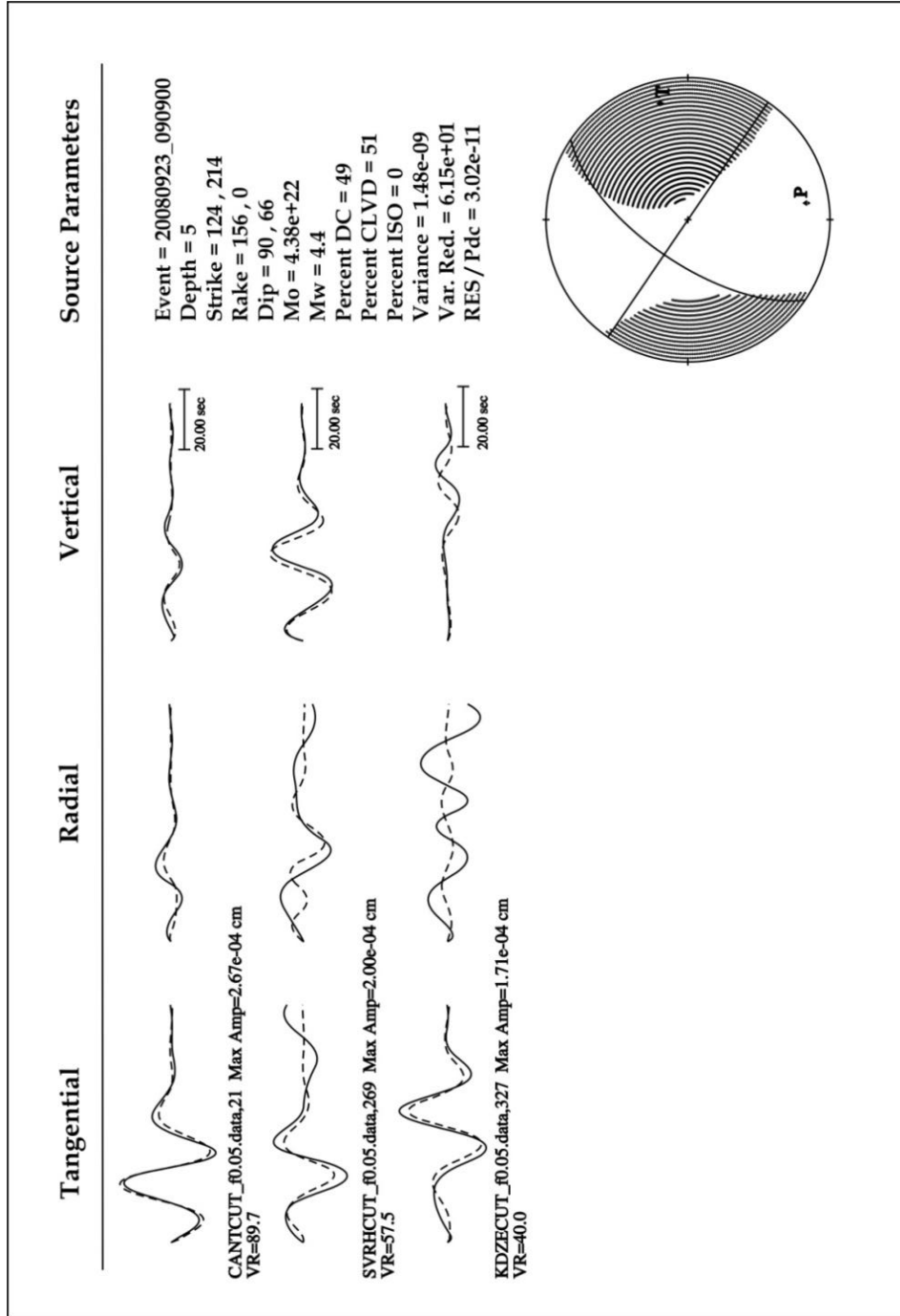
EK-A

2005-2008 BÂLA-SIRAPINAR (ANKARA) DEPREMLERİNİN KAYNAK MEKANİZMASI PARAMETRELERİ

Tezin bu bölümünde TDMT_INVC programı kullanılarak kaynak mekanizması parametreleri belirlenen Bâla-Sırapınar (Ankara) depremlerine ait 27 adet çözüm 2008 yılından geriye doğru sıralanmış şekilde sunulmaktadır.

EK-A-1. 23 Eylül 2008 / 09:09:42.50 Afşar-Bâla Depremi ($M_w \sim 4.4$)

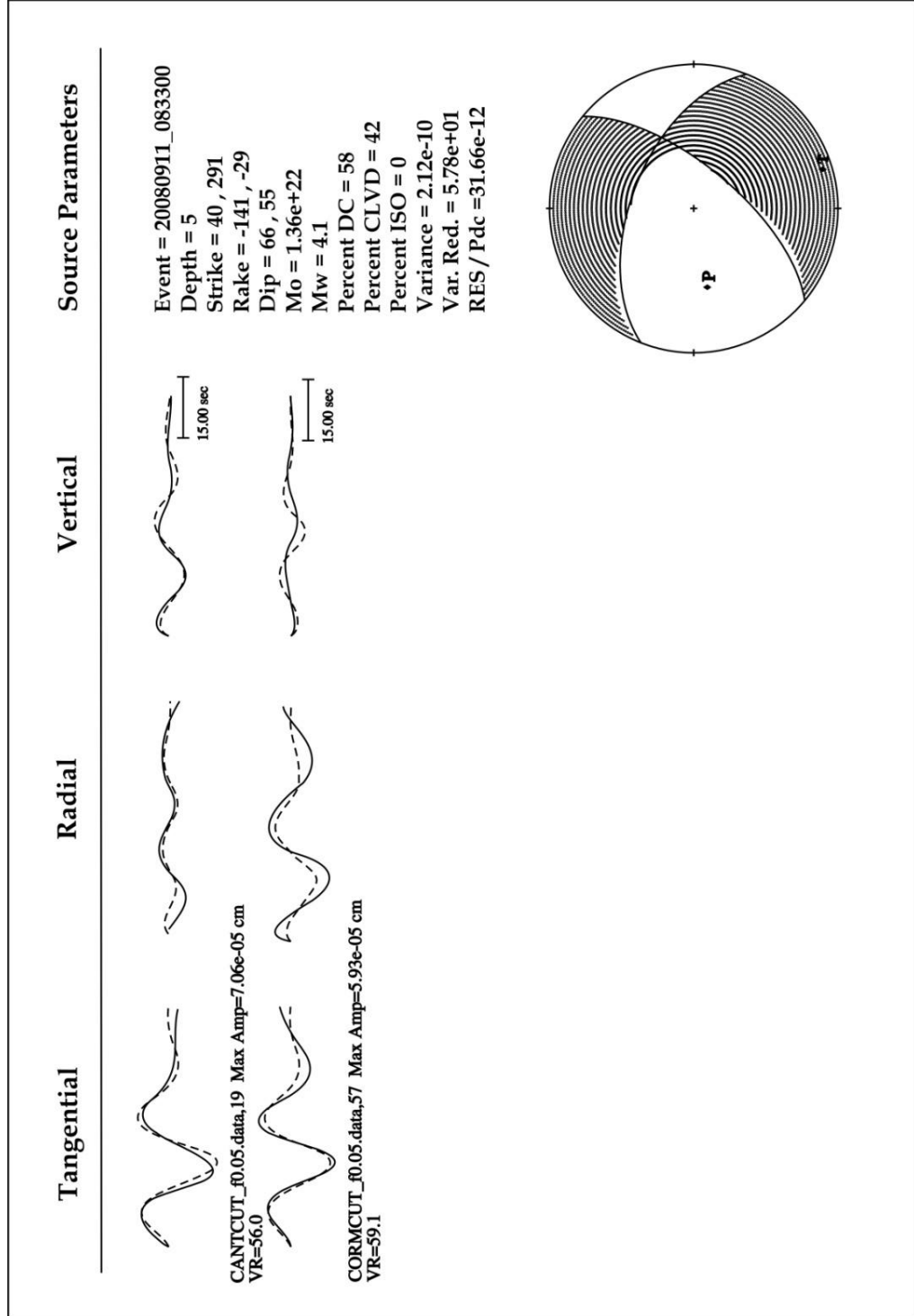
Deprem koordinatları 39.463°K ve 33.050°D şeklindedir. Deprem çözümünde; 135 km de Çankırı istasyonu (CANT), 131 km mesafede Sivrihisar-Eskişehir istasyonu (SVRH), 246 km mesafede Karadeniz Ereğli (KDZE) istasyonları kullanılmıştır. Kalite faktörü $Q=3$ olarak bulunmuştur.



Şekil A-1: 23 Eylül 2008, 09:09:42.50 Afşar-Bâla depremi çözümü ($M_w \sim 4.4$).

EK-A-2. 11 Eylül 2008 / 08:33:58.27 Afşar-Bâla Depremi ($M_w \sim 4.1$)

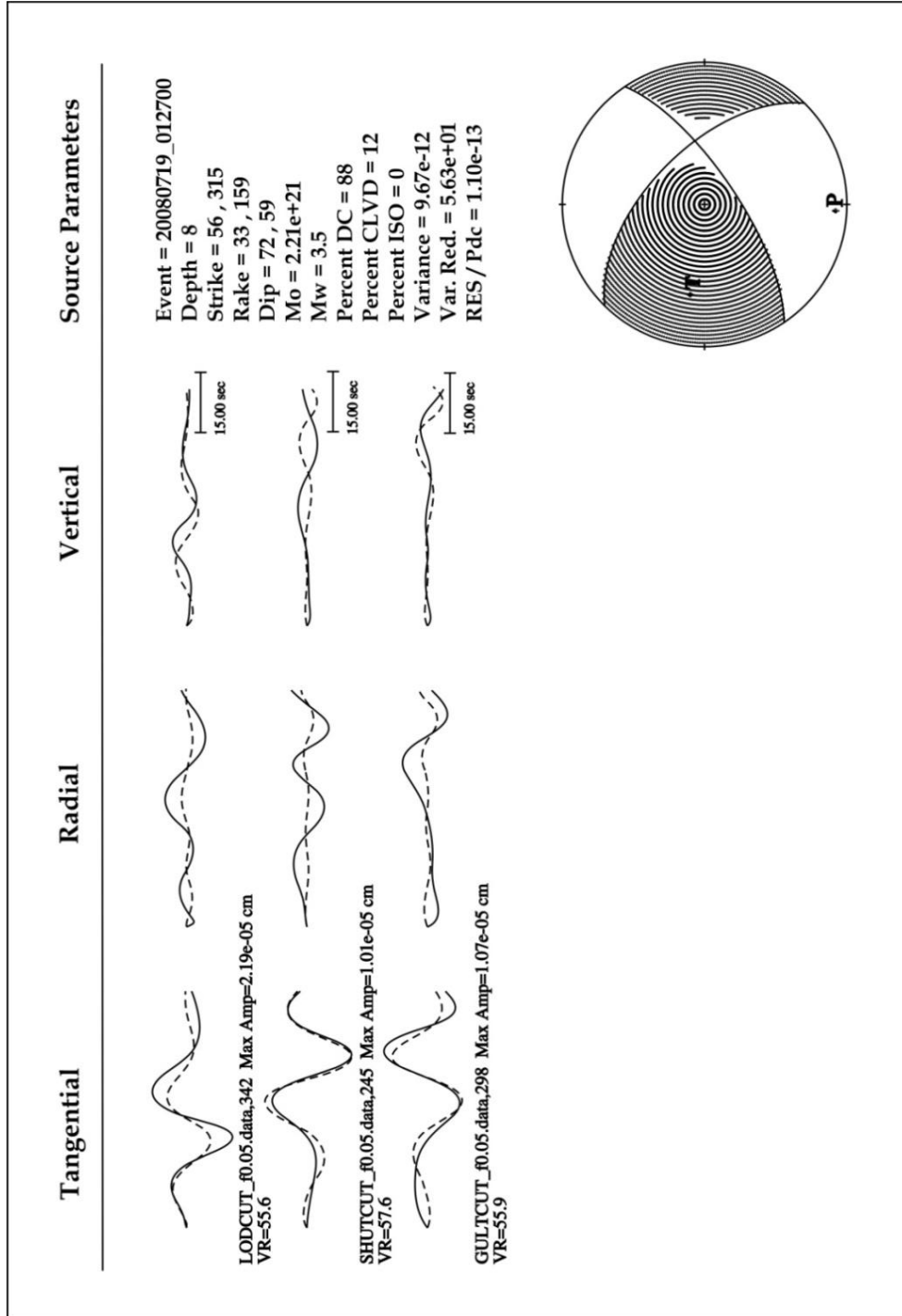
Deprem koordinatları 39.404°K ve 33.072°D şeklindedir. Deprem çözümünde, 141 km mesafede Çankırı istasyonu (CANT), 158 km mesafede Çorum (CORM) istasyonu kullanılmıştır. Kalite faktörü $Q=2$ olarak bulunmuştur.



Şekil A-2: 11 Eylül 2008, 08:33:58.27 Afşar-Bala depremi çözümü ($M_w \sim 4.1$).

EK-A-3. 19 Temmuz 2008 / 01:27:21.73 Afşar-Bâla Depremi ($M_w \sim 3.5$)

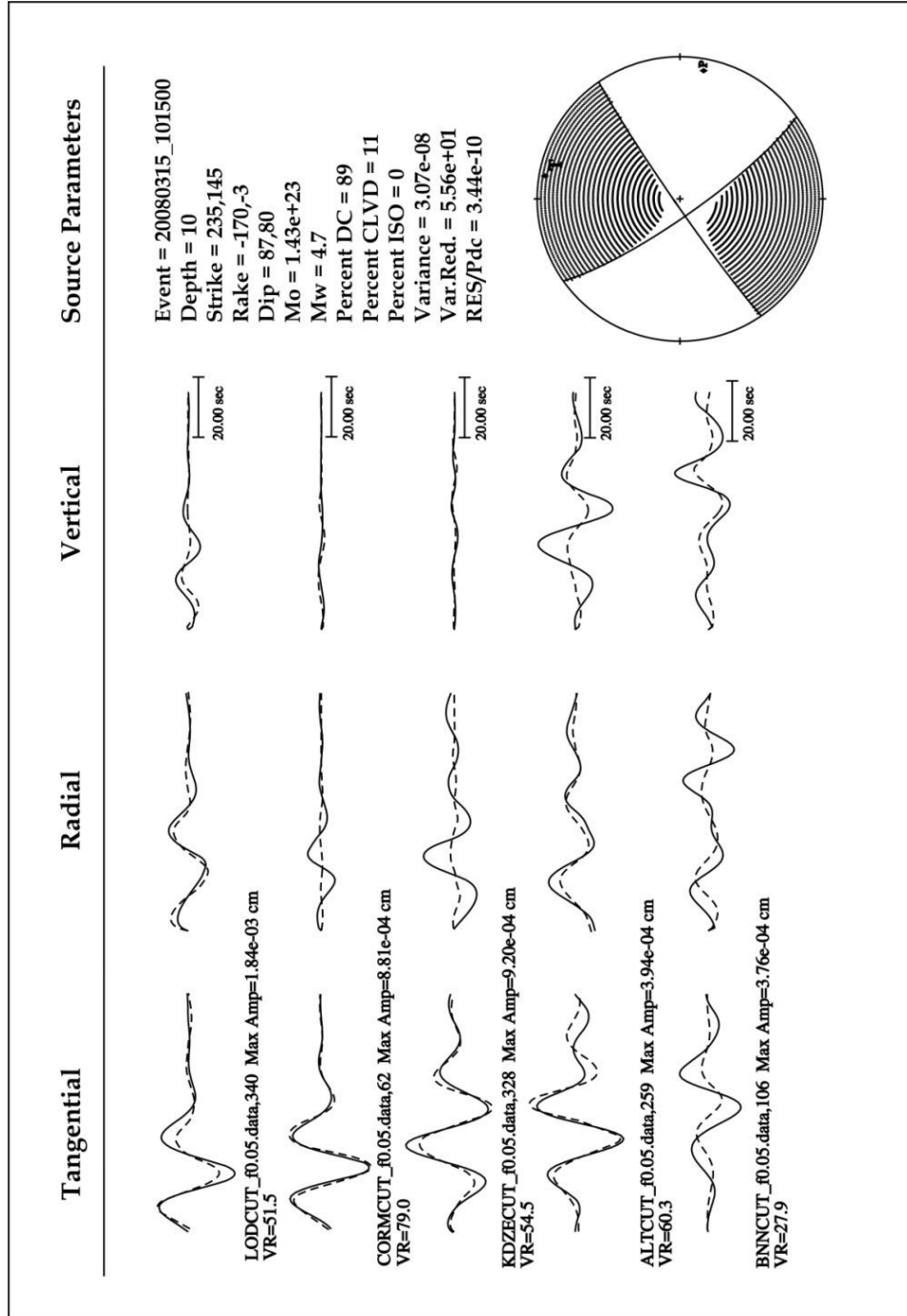
Deprem koordinatları 39.458 °K, 32.950°D şeklindedir. Deprem çözümünde, 50 km mesafede Ankara-Lodumlu istasyonu (LOD), 230 km mesafede Afyon-Şuhut istasyonu (SHUT) ve 234 km mesafede Sakarya-Taraklı istasyonu (GULT) kullanılmıştır. Kalite faktörü $Q=2$ olarak bulunmuştur.



Şekil A-3: 19 Temmuz 2008, 01:27:21.73 Afşar-Bâla depremi çözümü ($M_w \sim 3.5$).

EK-A-4. 15 Mart 2008 / 10:15:38.88 Afşar-Bâla Depremi ($M_w \sim 4.7$)

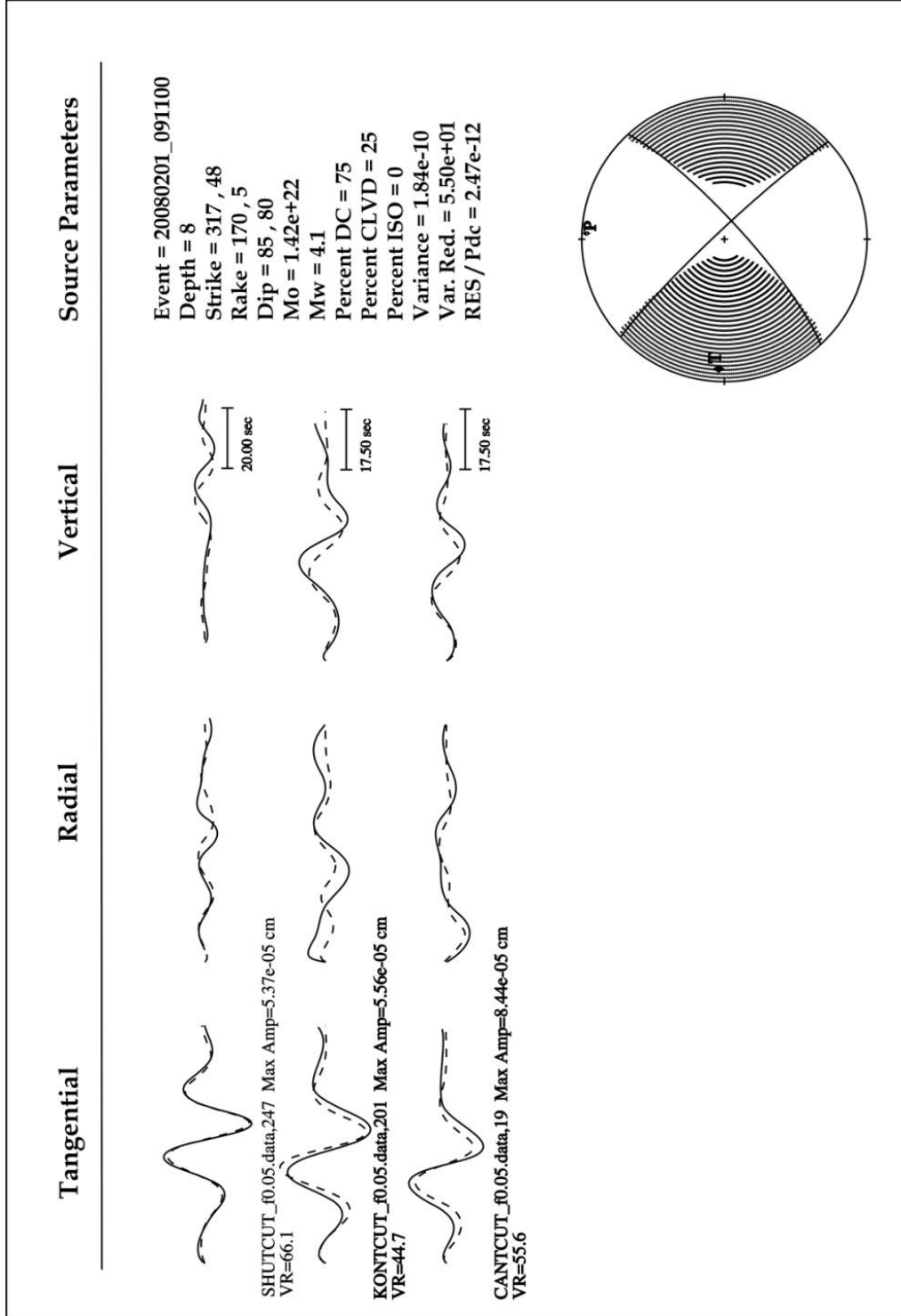
Deprem koordinatları 39.501°K ve 32.951°D şeklindedir. Deprem çözümünde, 45 km mesafede Ankara-Lodumlu istasyonu (LOD), 162 km mesafede Çorum (CORM) istasyonu, 238 km mesafede Karadeniz Ereğli istasyonu (KDZE), 249 km mesafede Kütahya-Altıntaş istasyonu (ALT), 260 km mesafede Kayseri-Bünyan istasyonu (BNN) kullanılmıştır. Kalite faktörü $Q=2$ olarak bulunmuştur.



Şekil A-4: 15 Mart 2008, 10:15:38.88 Afşar-Bâla depremi çözümü ($M_w \sim 4.7$).

EK-A-5. 1 Şubat 2008 / 09:11:03.53 Afşar-Bâla Depremi ($M_w \sim 4.1$)

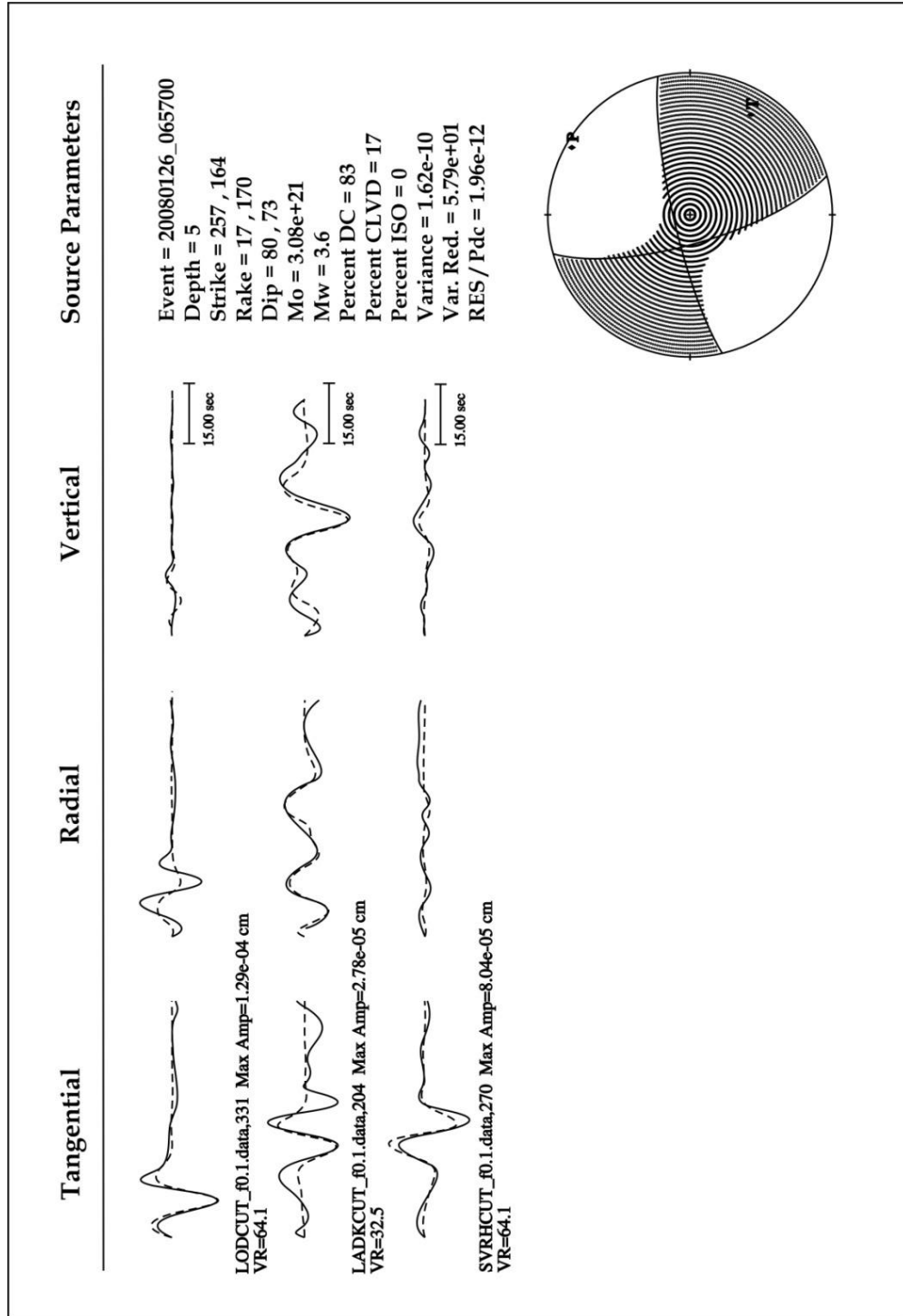
Deprem koordinatları 39.401°K ve 33.071°D şeklindedir. Deprem çözümünde, 237 km mesafede Afyon-Şuhut (SHUT) istasyonu, 173 km mesafede Konya-Tatköy istasyonu (KONT) ve 141 km mesafede Çankırı istasyonu (CANT) kullanılmıştır. Kalite faktörü $Q=2$ olarak bulunmuştur.



Şekil A-5: 1 Şubat 2008, 09:11:03.53 Afşar-Bala depremi çözümü ($M_w \sim 4.1$).

EK-A-6. 26 Ocak 2008 / 06:57:52.75 Afşar-Bâla Depremi ($M_w \sim 3.6$)

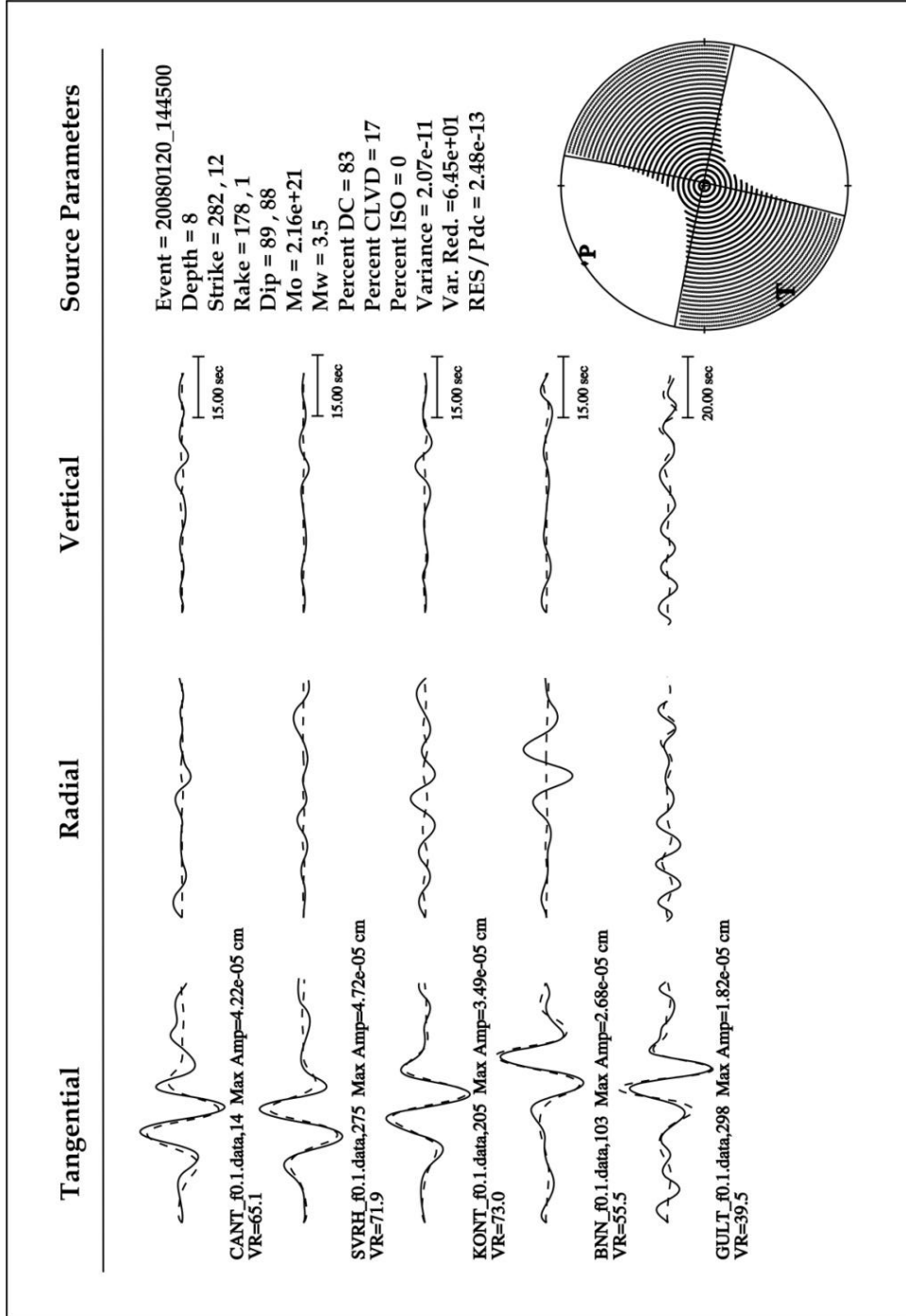
Deprem koordinatları 39.456°K , 33.071°D şeklindedir. Deprem çözümünde, 54 km mesafede Ankara-Lodumlu istasyonu (LOD), 152 km mesafede istasyonu Konya-Ladik (LADK), 133 km mesafede Sivrihisar-Eskişehir istasyonu (SVRH) kullanılmıştır. Kalite faktörü $Q=2$ olarak bulunmuştur.



Şekil A-6: 26 Ocak 2008, 06:57:52.75 Afşar-Bâla depremi çözümü ($M_w \sim 3.6$).

EK-A-7. 20 Ocak 2008 / 14:45:27.15 Afşar-Bâla Depremi ($M_w \sim 3.5$)

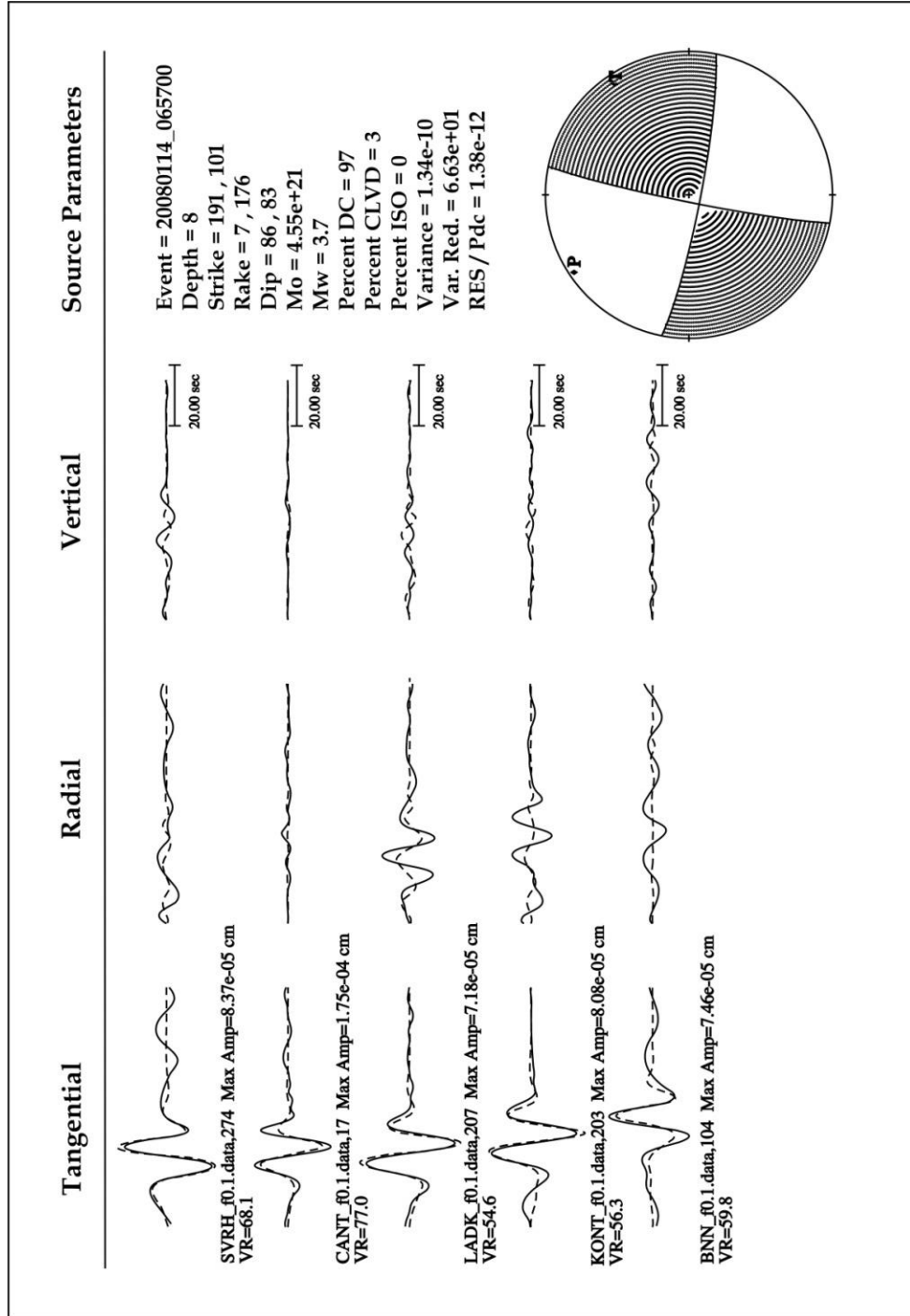
Deprem koordinatları 39.350°K, 33.203°D şeklindedir. Deprem çözümünde, 143 km mesafede Çankırı istasyonu (CANT), 145 km mesafede Sivrihisar-Eskişehir istasyonu (SVRH), 172 km mesafede Konya-Tatköy istasyonu (KONT), 235 km mesafede Kayseri-Bünyan istasyonu (BNN), 259 km mesafede Sakarya-Taraklı istasyonu (GULT) kullanılmıştır. Kalite faktörü $Q=3$ olarak bulunmuştur.



Şekil A-7: 20 Ocak 2008, 14:45:27.15 Afşar-Bâla depremi çözümü ($M_w \sim 3.5$).

EK-A-8. 14 Ocak 2008 / 06:57:56.59 Afşar-Bâla Depremi ($M_w \sim 3.7$)

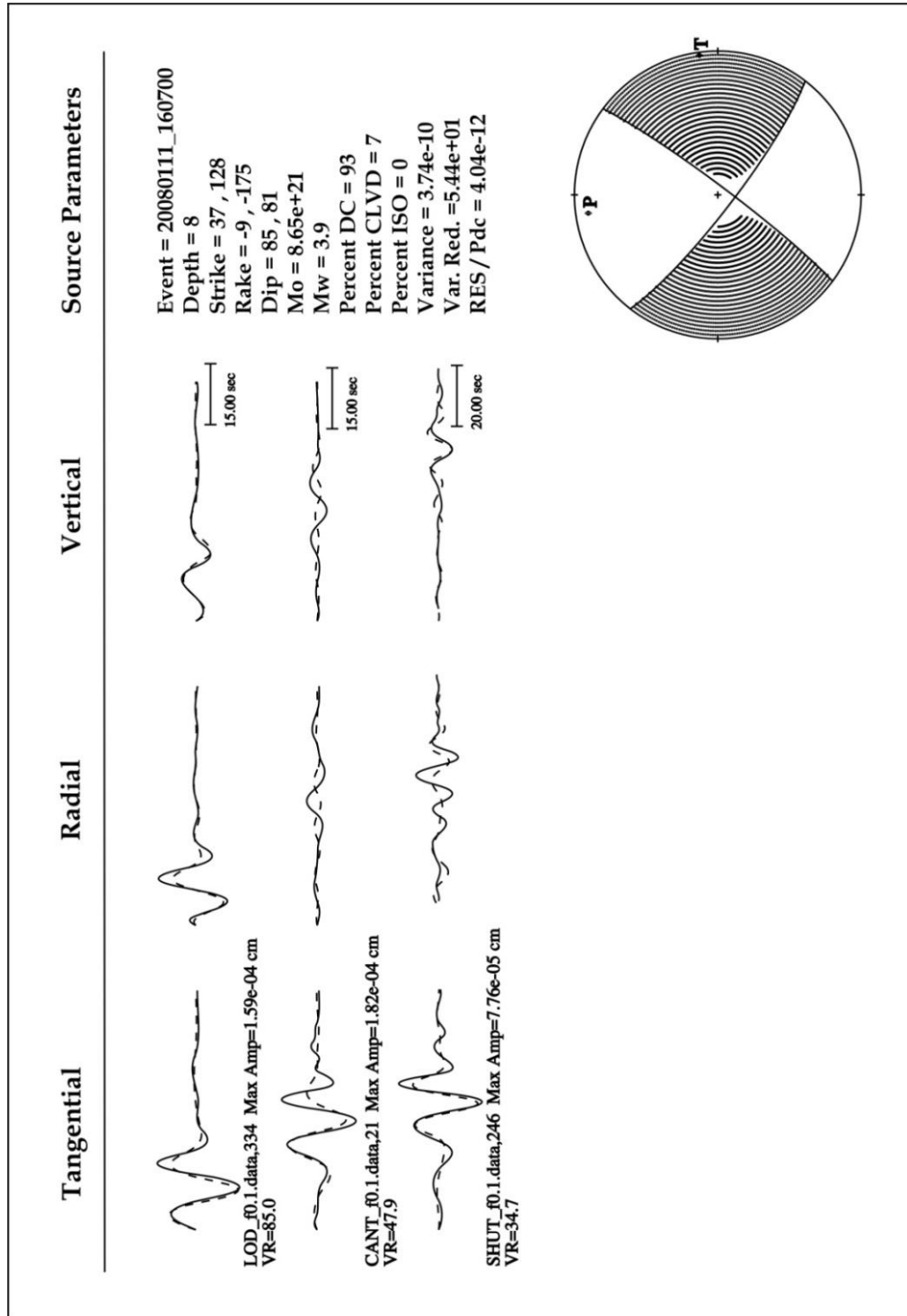
Deprem koordinatları, 39.375°K, 33.137 °D şeklindedir. Deprem çözümünde, 139 km mesafede Sivrihisar-Eskişehir istasyonu (SVRH), 142 km mesafede Çankırı istasyonu (CANT), 146 km mesafede Konya-Ladik istasyonu (LADK), 172 km mesafede Konya-Tatköy istasyonu (KONT), 241 km mesafede Kayseri-Bünyan istasyonu (BNN) kullanılmıştır. Kalite faktörü $Q=3$ olarak bulunmuştur.



Şekil A-8: 14 Ocak 2008, 06:57:56.59 Afşar-Bâla depremi çözümü ($M_w \sim 3.7$).

EK-A-9. 11 Ocak 2008 / 16:07:48.37 Afşar-Bâla Depremi ($M_w \sim 3.9$)

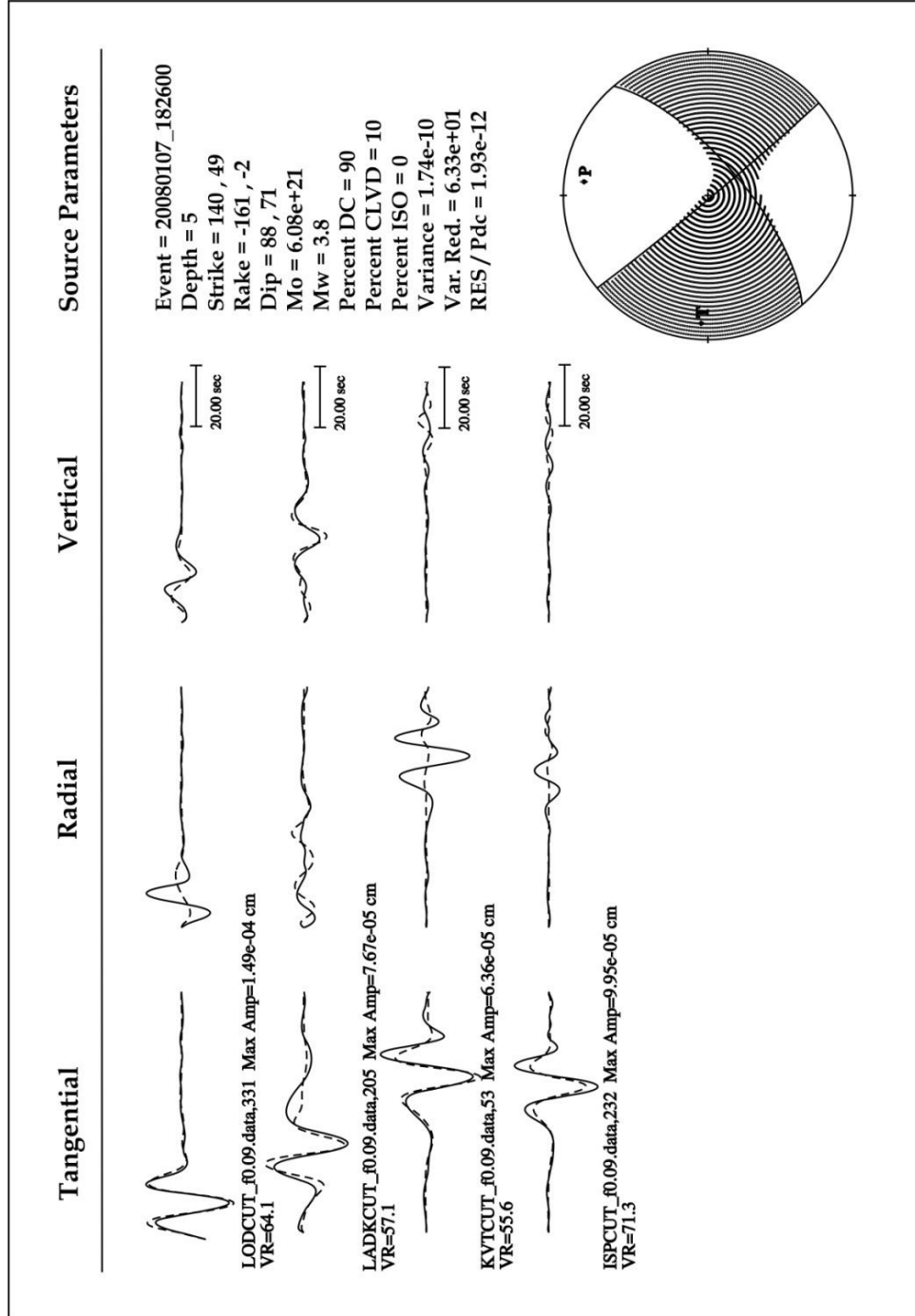
Deprem koordinatları, 39.434°K, 33.038°D şeklindedir. Deprem çözümünde, 55 km mesafede Ankara-Lodumlu istasyonu (LOD), 139 km mesafede Çankırı istasyonu (CANT), 236 km mesafede Afyon-Şuhut istasyonu (SHUT) kullanılmıştır. Kalite faktörü $Q=2$ olarak bulunmuştur.



Şekil A-9: 11 Ocak 2008, 16:07:48.37 Afşar-Bâla depremi çözümü ($M_w \sim 3.9$).

EK-A-10. 7 Ocak 2008 / 18:26:35.25 Afşar-Bâla Depremi ($M_w \sim 3.8$)

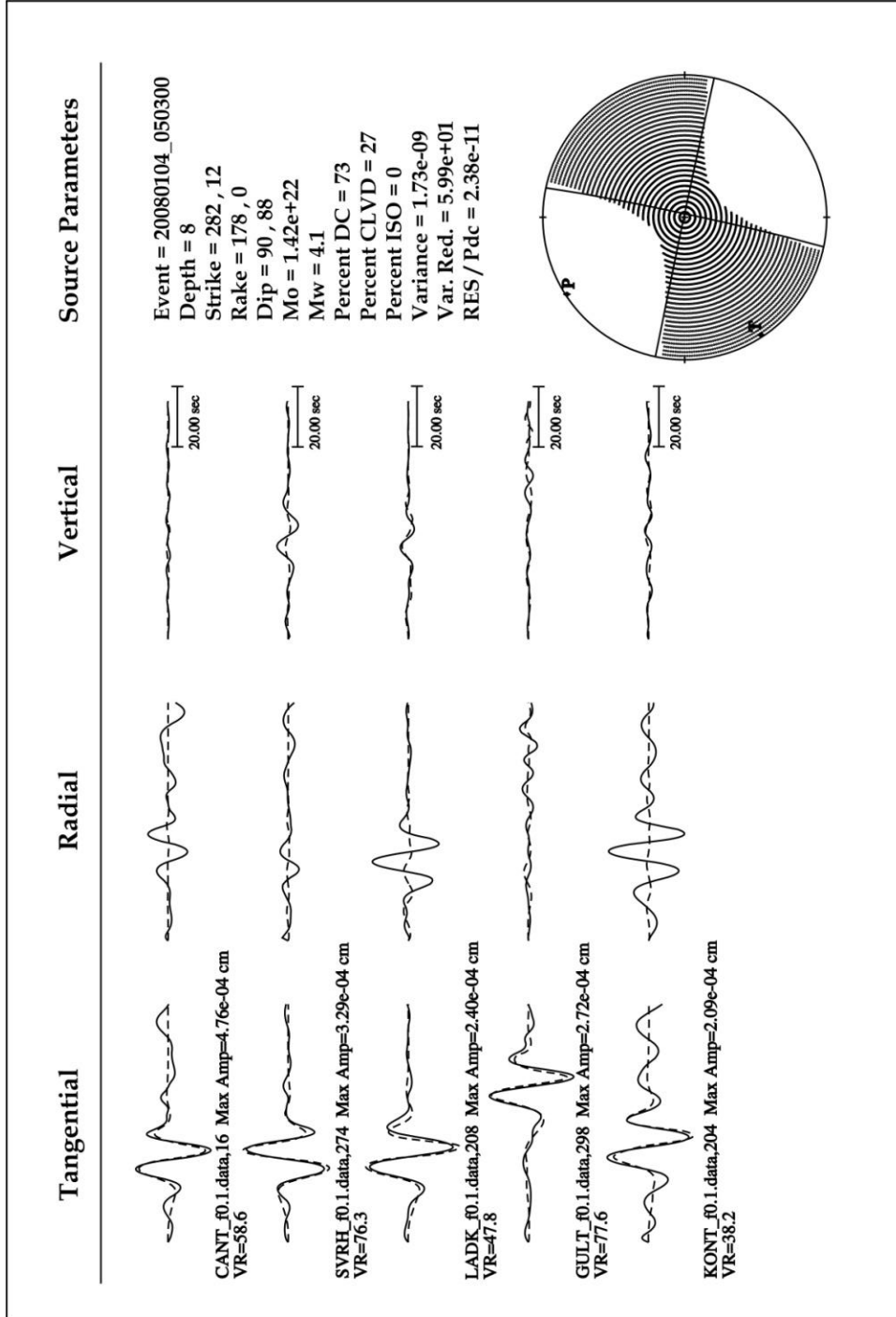
Deprem koordinatları, 39.438°K , 33.094°D şeklindedir. Deprem çözümünde, 57 km mesafede Ankara-Lodumlu istasyonu (LOD), 151 km mesafede Konya-Ladik istasyonu (LADK), 310 km mesafede Samsun-Kavak istasyonu (KVT), 287 km mesafede Isparta istasyonu (ISP) kullanılmıştır. Kalite faktörü $Q=3$ olarak bulunmuştur.



Şekil A-10: 7 Ocak 2008, 18:26:35.25 Afşar-Bâla depremi çözümü ($M_w \sim 3.8$).

EK-A-11. 4 Ocak 2008 / 05:03:13.56 Afşar-Bâla Depremi ($M_w \sim 4.1$)

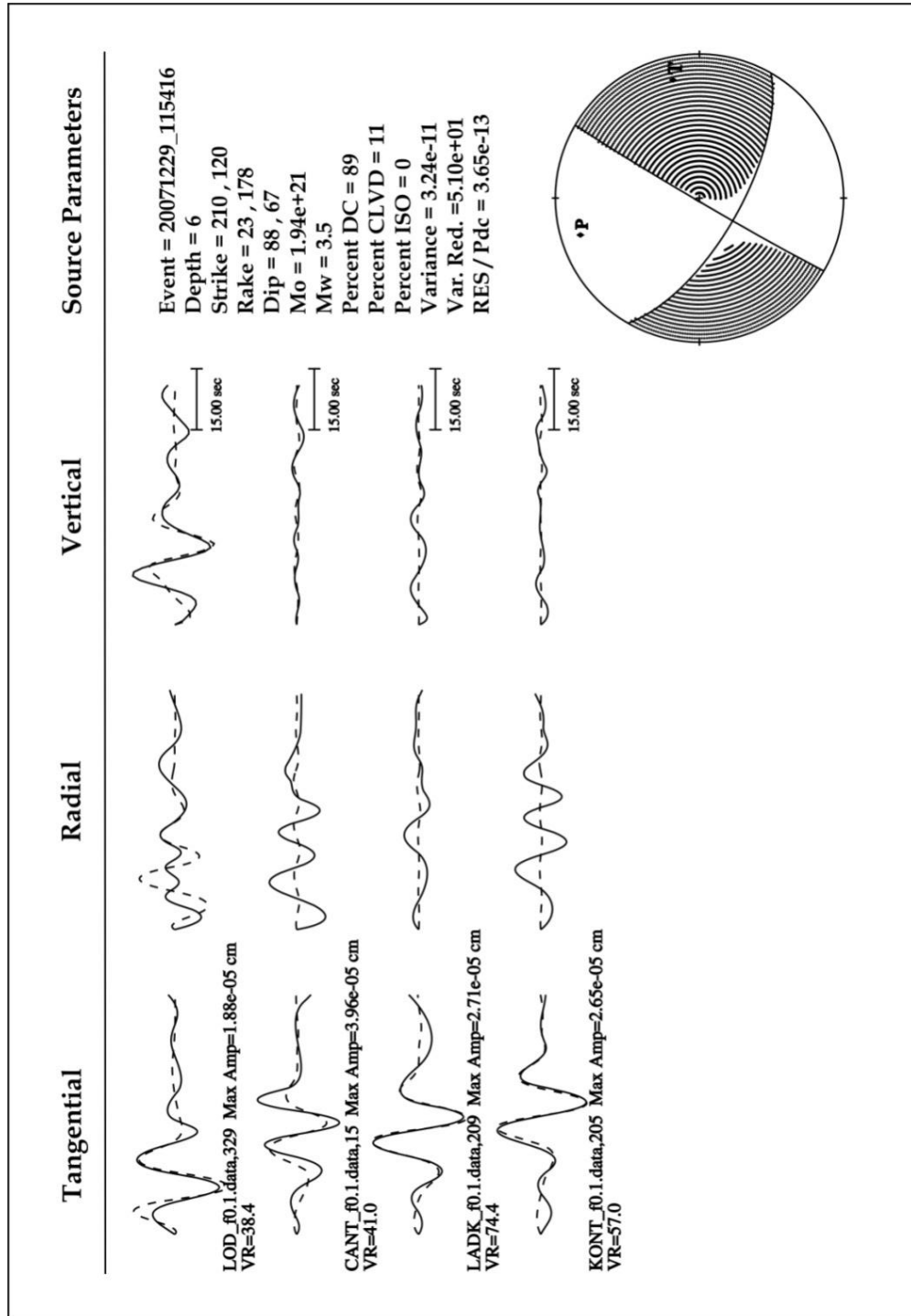
Deprem koordinatları, 39.366°K, 33.172°D şeklindedir. Deprem çözümünde, 142 km mesafede Çankırı istasyonu (CANT), 142 km mesafede Sivrihisar-Eskişehir istasyonu (SVRH), 147 km mesafede Konya-Ladik istasyonu (LADK), 256 km mesafede Sakarya-Taraklı istasyonu (GULT), 172 km mesafede Konya-Tatköy istasyonu (KONT) kullanılmıştır. Kalite faktörü $Q=2$ olarak bulunmuştur.



Şekil A-11: 4 Ocak 2008, 05:03:13.56 Afşar-Bala depremi çözümü ($M_w \sim 4.1$).

EK-A-12. 29 Aralık 2007 / 11:54:16.62 Bâla Depremi ($M_w \sim 3.5$)

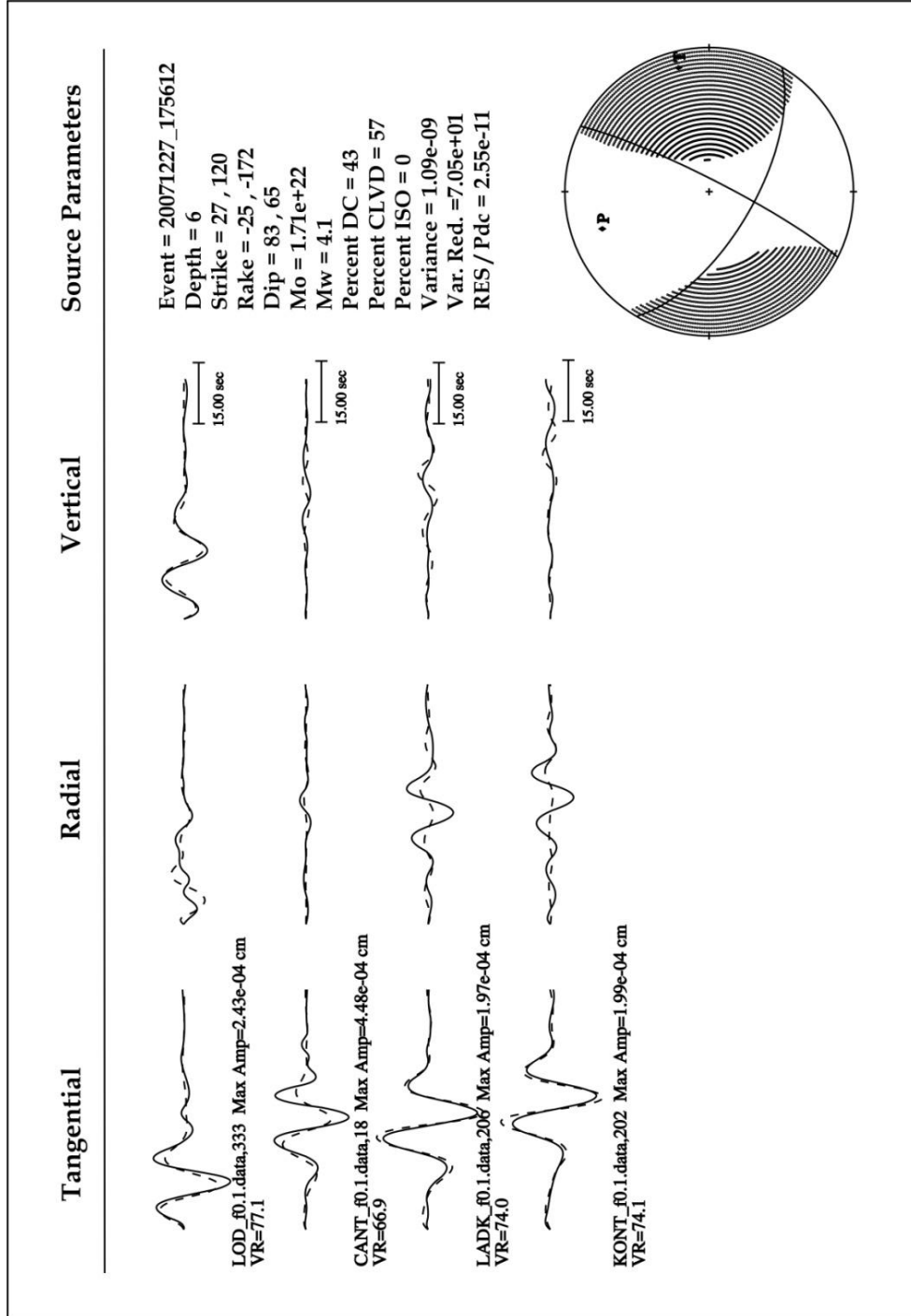
Deprem koordinatları, 39.355°K, 33.186°D şeklindedir. Deprem çözümünde, 69 km mesafede Ankara-Lodumlu istasyonu (LOD), 143 km mesafede Çankırı istasyonu (CANT), 147 km mesafede Konya-Ladik istasyonu (LADK), 172 km mesafede (KONT) kullanılmıştır. Kalite faktörü $Q=2$ olarak bulunmuştur.



Şekil A-12: 29 Aralık 2007, 11:54:16.62 Bâla depremi çözümü ($M_w \sim 3.5$).

EK-A-13. 27 Aralık 2007 / 17:56:12.55 Bâla Depremi ($M_w \sim 4.1$)

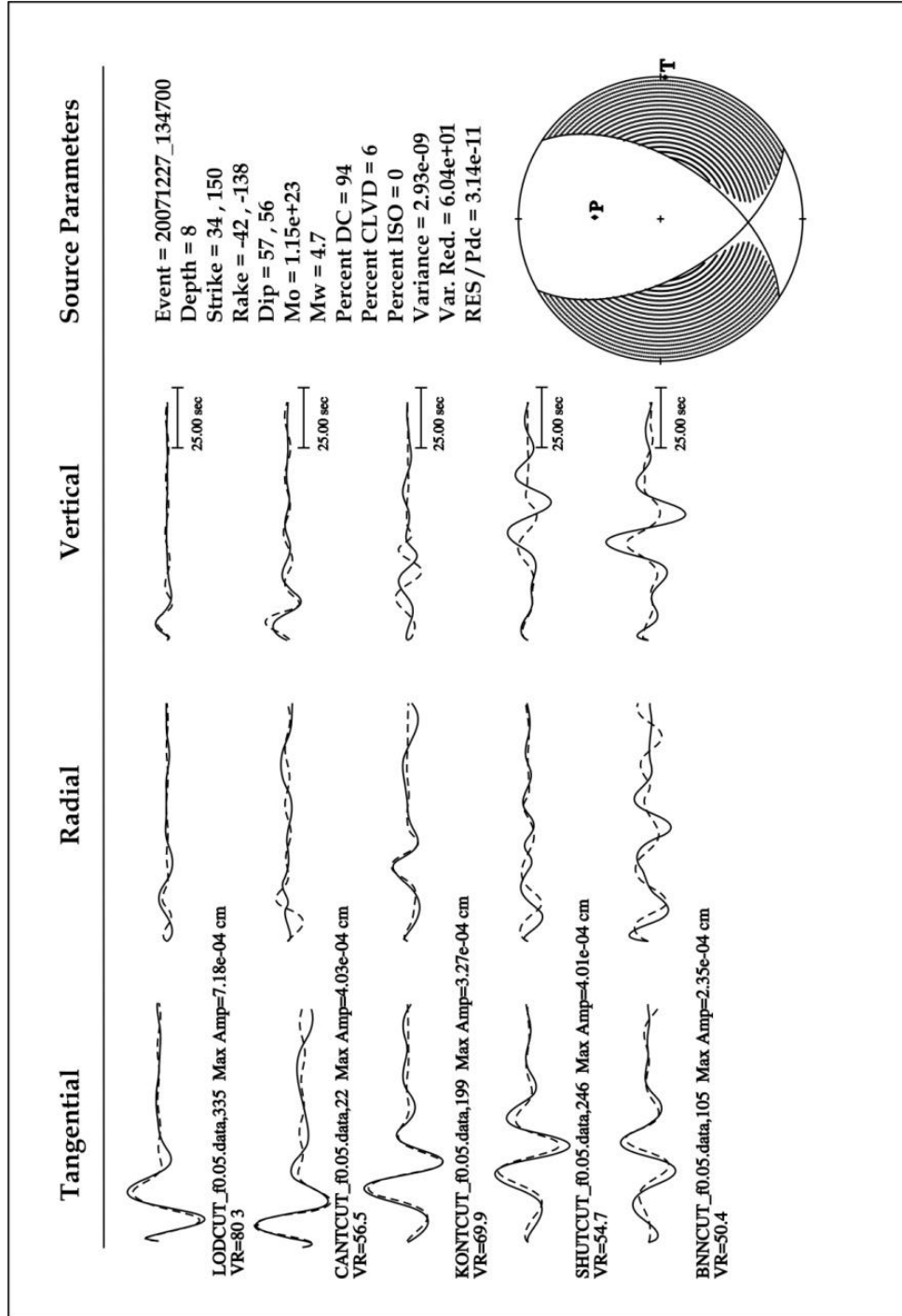
Deprem koordinatları, 39.396°K , 33.096°D şeklindedir. Deprem çözümünde, 61 km km mesafede Ankara-Lodumlu istasyonu (LOD), 141 km mesafede Çankırı istasyonu (CANT), 147 km mesafede Konya-Ladik istasyonu (LADK), 173 km mesafede Konya-Tatköy istasyonu (KONT) kullanılmıştır. Kalite faktörü $Q=3$ olarak bulunmuştur.



Şekil A-13: 27 Aralık 2007, 17:56:12.55 Bâla depremi çözümü ($M_w \sim 4.1$).

EK-A-14. 27 Aralık 2007 / 13:47:58.43 Bâla Depremi ($M_w \sim 4.7$)

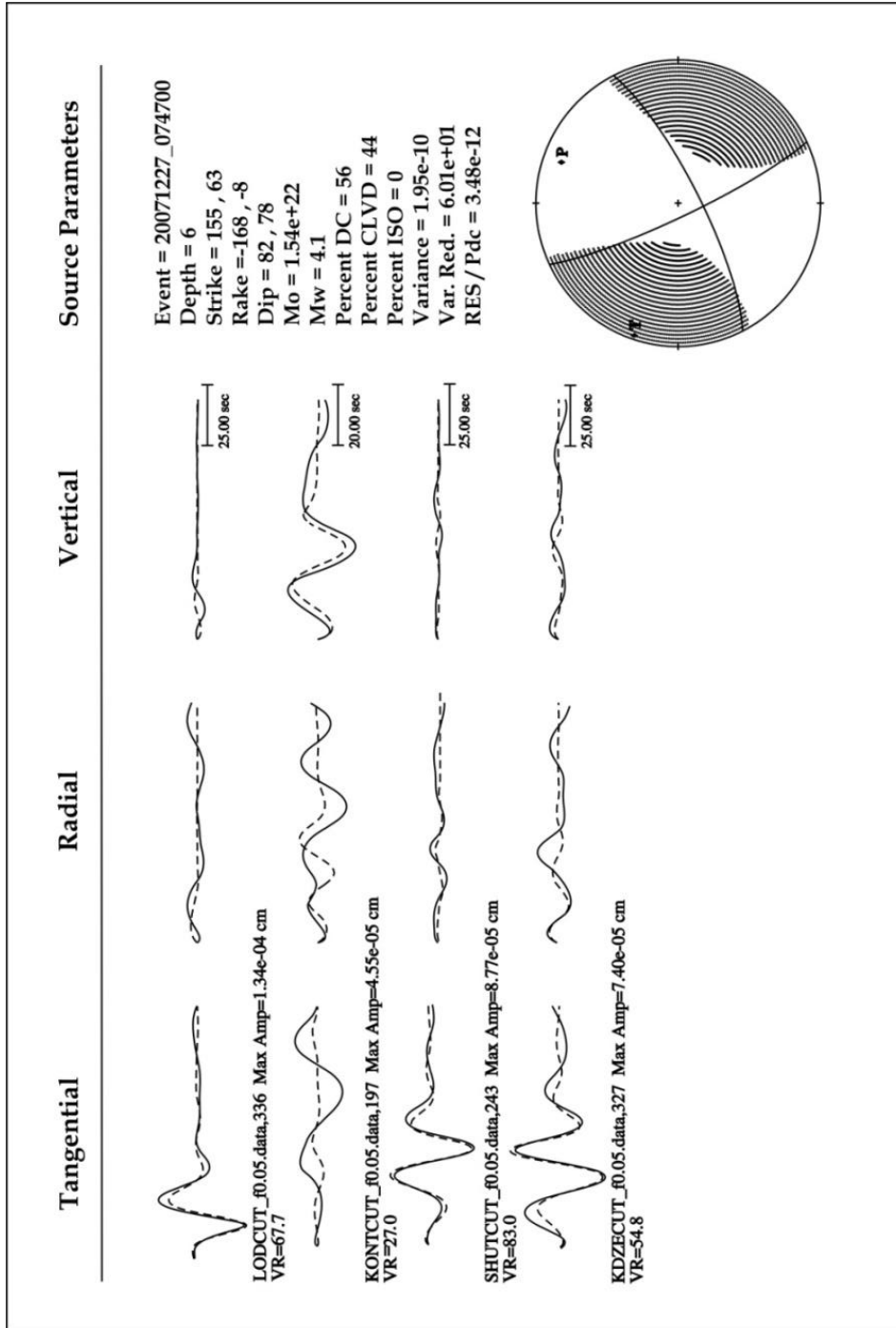
Deprem koordinatları, $39.460^\circ K$, $33.027^\circ D$ şeklindedir. Deprem çözümünde, 52 km mesafede Ankara-Lodumlu istasyonu (LOD), 136 km mesafede Çankırı istasyonu (CANT), 177 km mesafede Konya-Tatköy istasyonu (KONT), 237 km mesafede Afyon-Şuhut istasyonu (SHUT), 252 km mesafede Kayseri-Bünyan istasyonu (BNN) kullanılmıştır. Kalite faktörü $Q=3$ olarak bulunmuştur.



Şekil A-14: 27 Aralık 2007, 13:47:58.43 Bâla depremi çözümü ($M_w \sim 4.7$).

EK-A-15. 27 Aralık 2007 / 07:47:01.24 Bâla Depremi ($M_w \sim 4.1$)

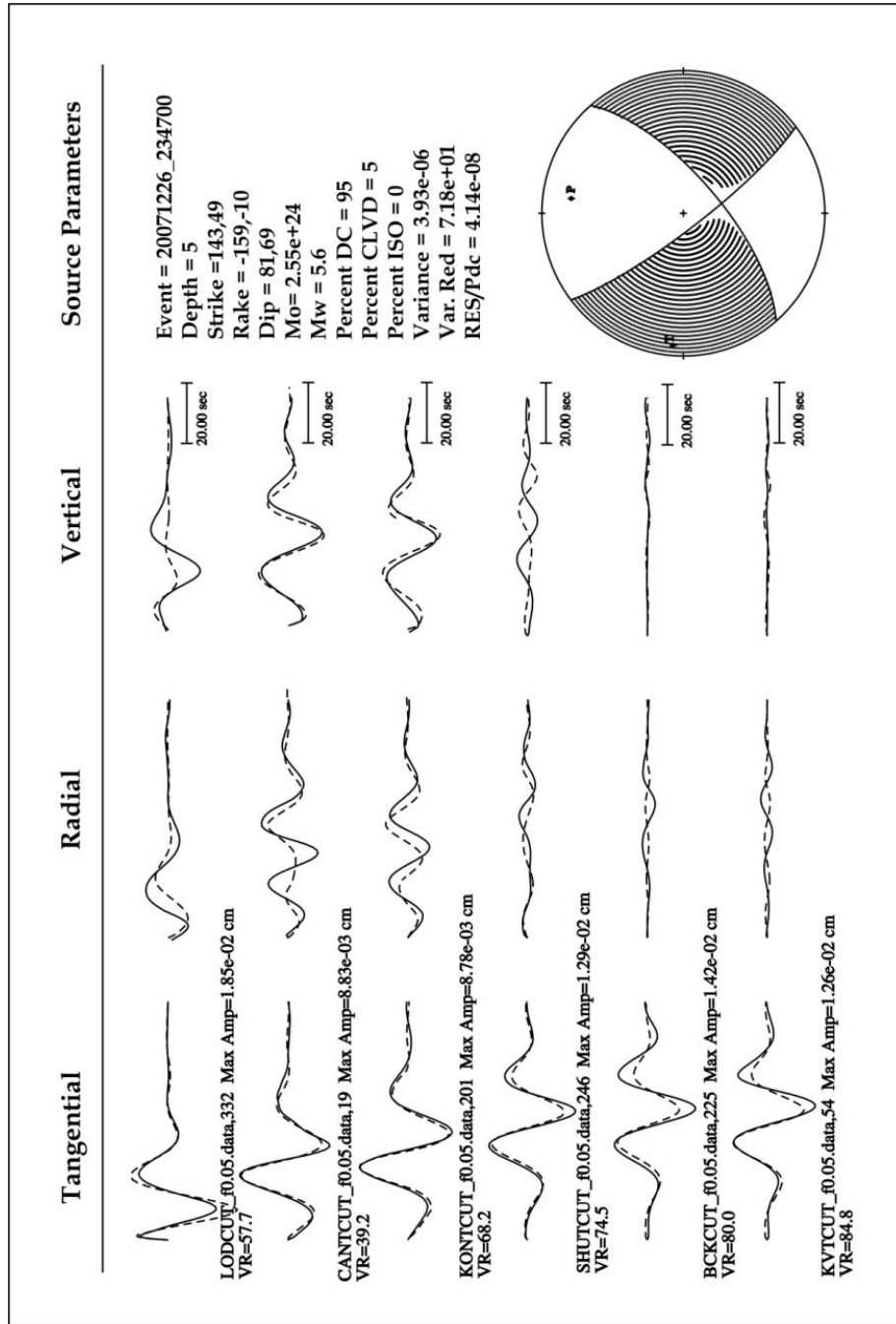
Deprem koordinatları, 39.521°K, 32.980°D şeklindedir. Deprem çözümünde, 45 km mesafede Ankara-Lodumlu istasyonu (LOD), 183 km mesafede Konya-Tatköy istasyonu (KONT), 236 km mesafede Afyon-Şuhut istasyonu (SHUT), 237 km mesafede Karadeniz Ereğli istasyonu (KDZE) kullanılmıştır. Kalite faktörü $Q=3$ olarak bulunmuştur.



Şekil A-15: 27 Aralık 2007, 07:47:01.24 Bâla depremi çözümü ($M_w \sim 4.1$).

EK-A-16. 26 Aralık 2007 / 23:47:08.68 Bâla Depremi ($M_w \sim 5.6$)

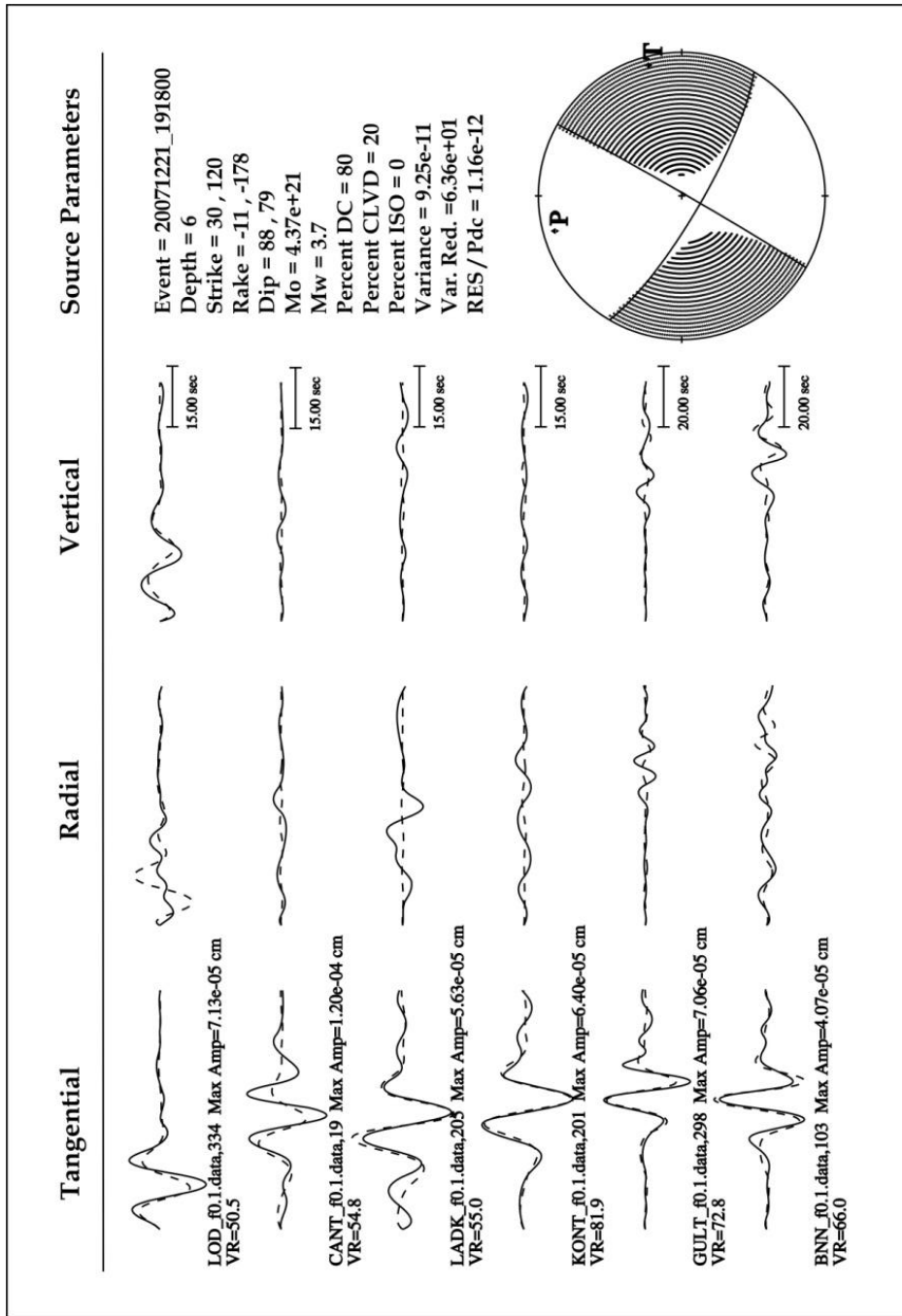
Deprem koordinatları, 39.416°K, 33.090°D şeklindedir. Deprem çözümünde, 59 km mesafede Ankara-Lodumlu istasyonu (LOD), 139 km mesafede Çankırı istasyonu (CANT), 175 km mesafede Konya-Tatköy istasyonu (KONT), 239 km mesafede Afyon-Şuhut istasyonu (SHUT), 308 km mesafede Burdur-Bucak istasyonu (BCK), 312 km mesafede Samsun-Kavak istasyonu(KVT) kullanılmıştır. Kalite faktörü $Q=3$ olarak bulunmuştur.



Şekil A-16: 26 Aralık 2007, 23:47:08.68 Bâla depremi çözümü ($M_w \sim 5.6$).

EK-A-17. 21 Aralık 2007 / 19:18:22.46 Bâla Depremi ($M_w \sim 3.7$)

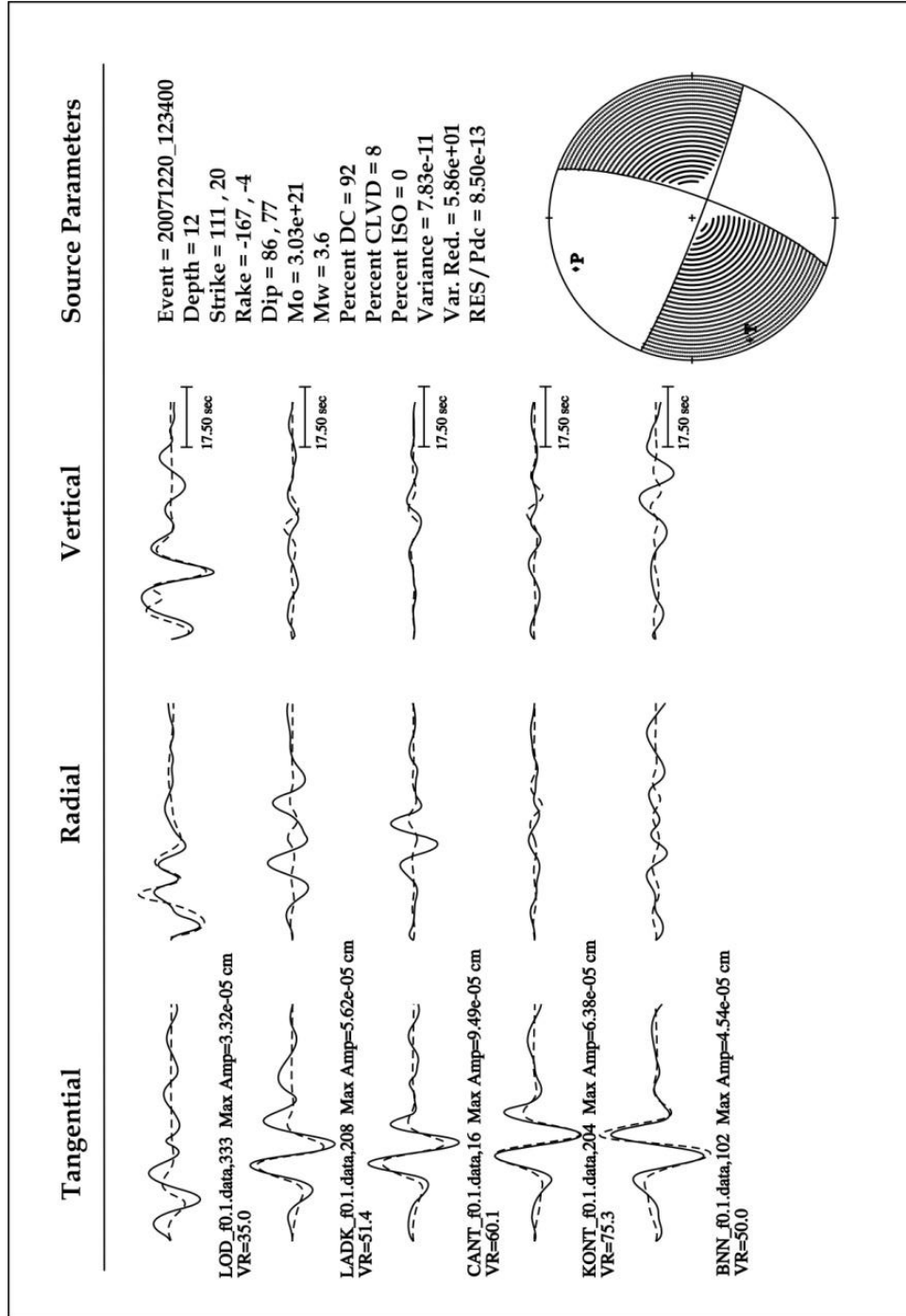
Deprem koordinatları, 39.404°K, 33.073°D şeklindedir. Deprem çözümünde, 60 km mesafede Ankara-Lodumlu istasyonu (LOD), 141 km mesafede Çankırı istasyonu (CANT), 147 km mesafede Konya-Ladik istasyonu (LADK), 173 km mesafede Konya-Tatköy istasyonu (KONT), 246 km mesafede Sakarya-Taraklı istasyonu (GULT), 247 km mesafede Kayseri-Bünyan istasyonu (BNN) kullanılmıştır. Kalite faktörü $Q=3$ olarak bulunmuştur.



Şekil A-17: 21 Aralık 2007, 19:18:22.46 Bâla depremi çözümü ($M_w \sim 3.7$).

EK-A-18. 20 Aralık 2007 / 12:34:25.94 Bâla Depremi ($M_w \sim 3.6$)

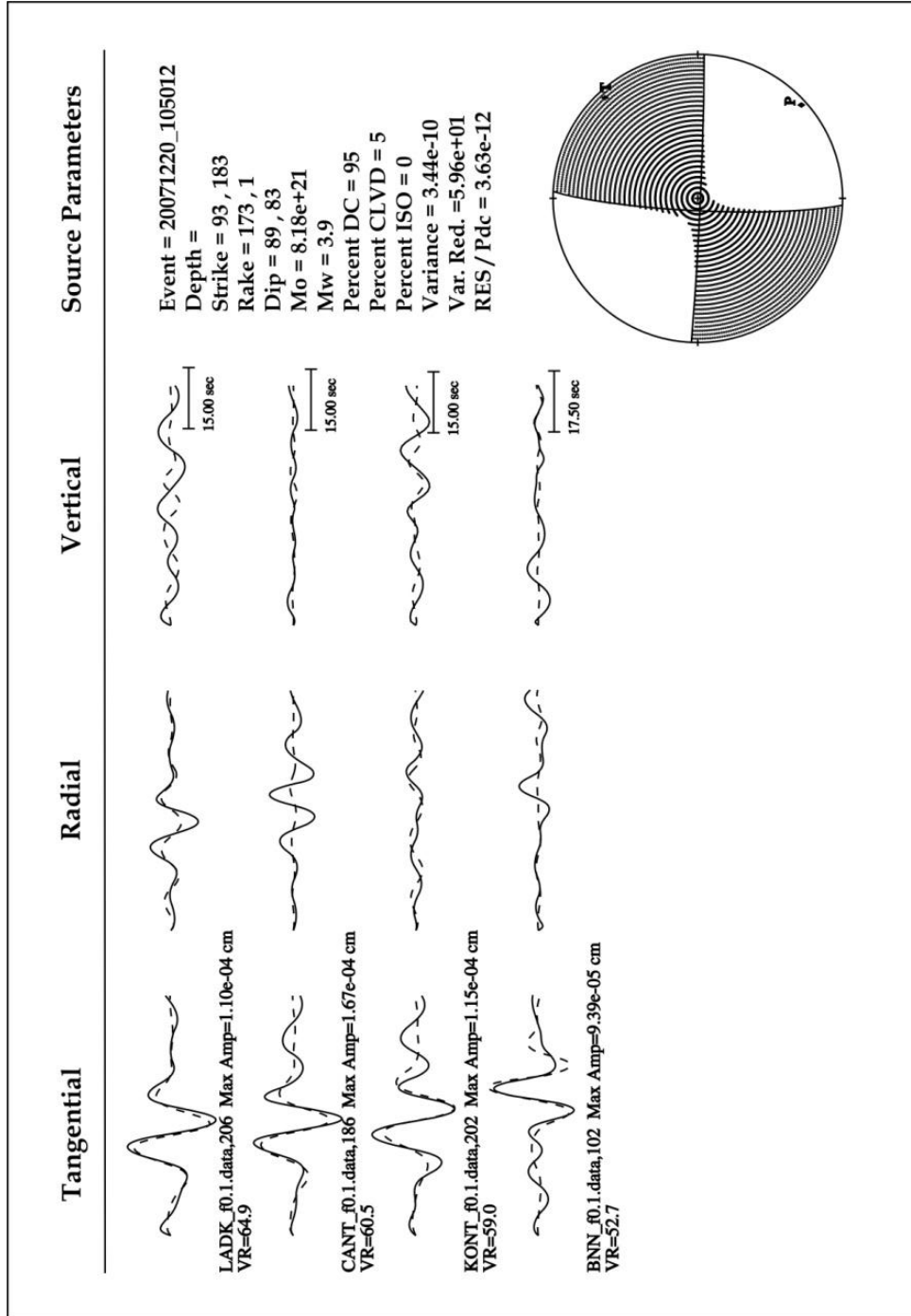
Deprem koordinatları, 39.324°K, 33.133°D şeklindedir. Deprem çözümünde, 70 km mesafede Ankara-Lodumlu istasyonu (LOD), 141 km mesafede Konya-Ladik istasyonu (LADK), 148 km mesafede Çankırı istasyonu (CANT), 167 km mesafede Konya-Tatköy istasyonu (KONT), 240 km mesafede Kayseri-Bünyan istasyonu (BNN) kullanılmıştır. Kalite faktörü $Q=2$ olarak bulunmuştur.



Şekil A-18: 20 Aralık 2007, 12:34:25.94 Bâla depremi çözümü ($M_w \sim 3.6$).

EK-A-19. 20 Aralık 2007 / 10:50:12.31 Bâla Depremi ($M_w \sim 3.9$)

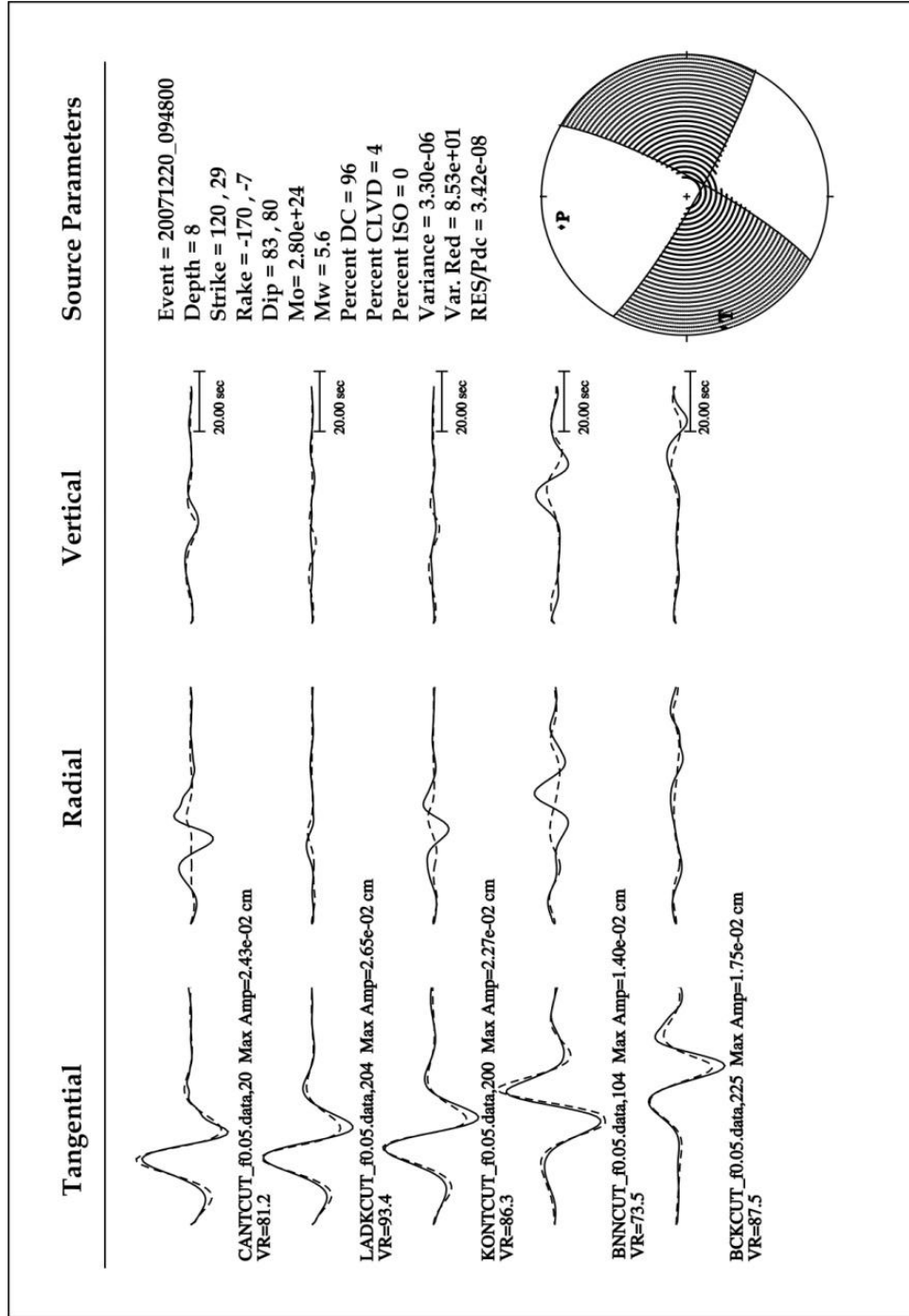
Deprem koordinatları, 39.351°K, 33.066°D şeklindedir. Deprem çözümünde, 141 km mesafede Konya-Ladik istasyonu (LADK), 147 km mesafede Çankırı istasyonu (CANT), 167 km mesafede Konya-Tatköy istasyonu (KONT), 246 km mesafede Kayseri-Bünyan istasyonu (BNN) kullanılmıştır. Kalite faktörü $Q=2$ olarak bulunmuştur.



Şekil A-19: 20 Aralık 2007, 10:50:12.31 Bâla depremi çözümü ($M_w \sim 3.9$).

EK-A-20. 20 Aralık 2007 / 09:48:27.62 Bâla Depremi ($M_w \sim 5.6$)

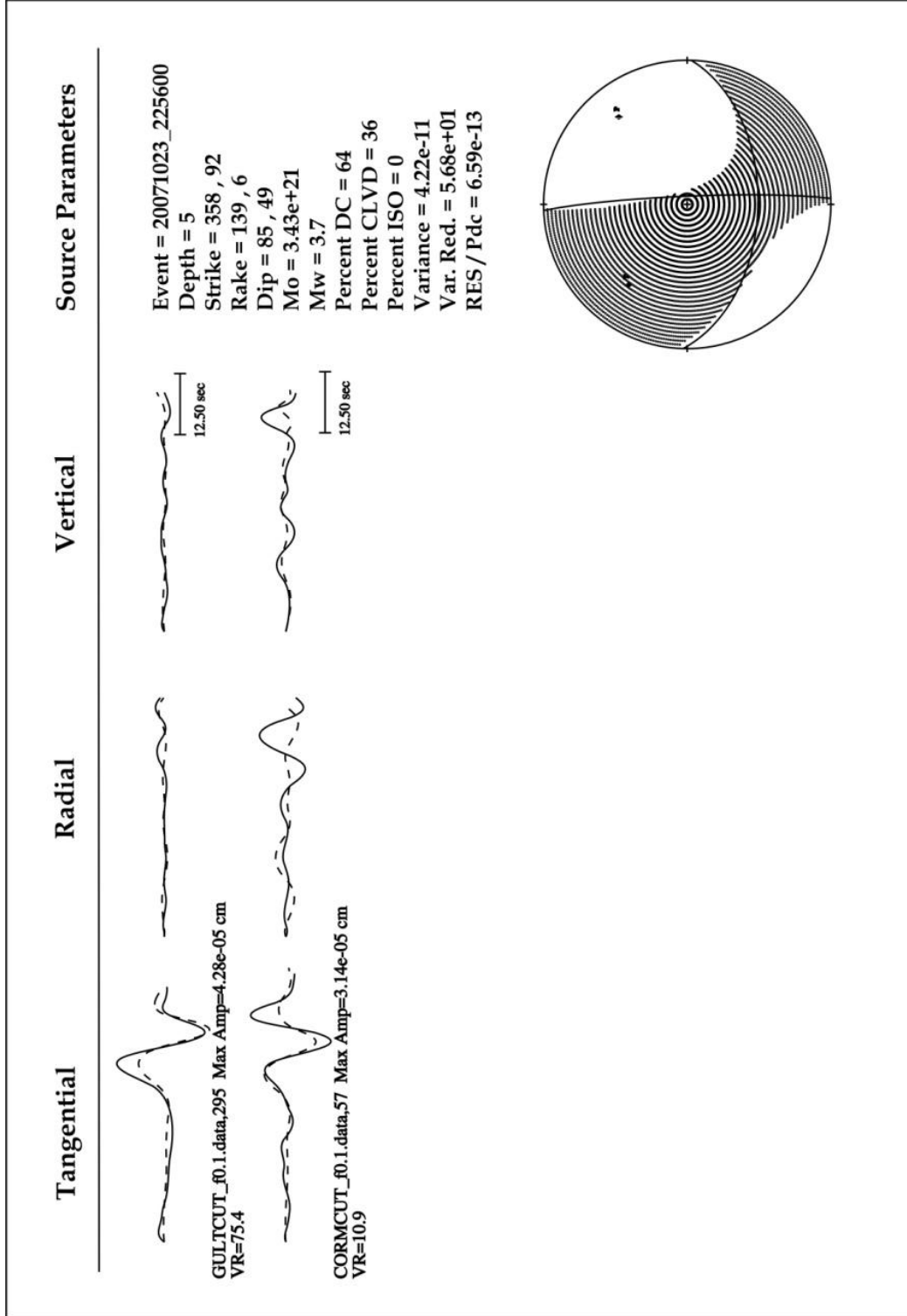
Deprem koordinatları, 39.404°K , 33.045°D şeklindedir. Deprem çözümünde, 142 km mesafede Çankırı istasyonu (CANT), 146 km mesafede Konya-Ladik istasyonu (LADK), 172 km mesafede Konya-Tatköy istasyonu (KONT), 249 km mesafede Kayseri-Bünyan istasyonu (BNN), 304 km mesafede Burdur-Bucak istasyonu (BCK) kullanılmıştır. Kalite faktörü $Q=4$ olarak bulunmuştur.



Şekil A-20: 20 Aralık 2007, 09:48:27.62 Bâla depremi çözümü ($M_w \sim 5.6$).

EK-A-21. 23 Ekim 2007 / 22:56:52.28 Bâla Depremi ($M_w \sim 3.7$)

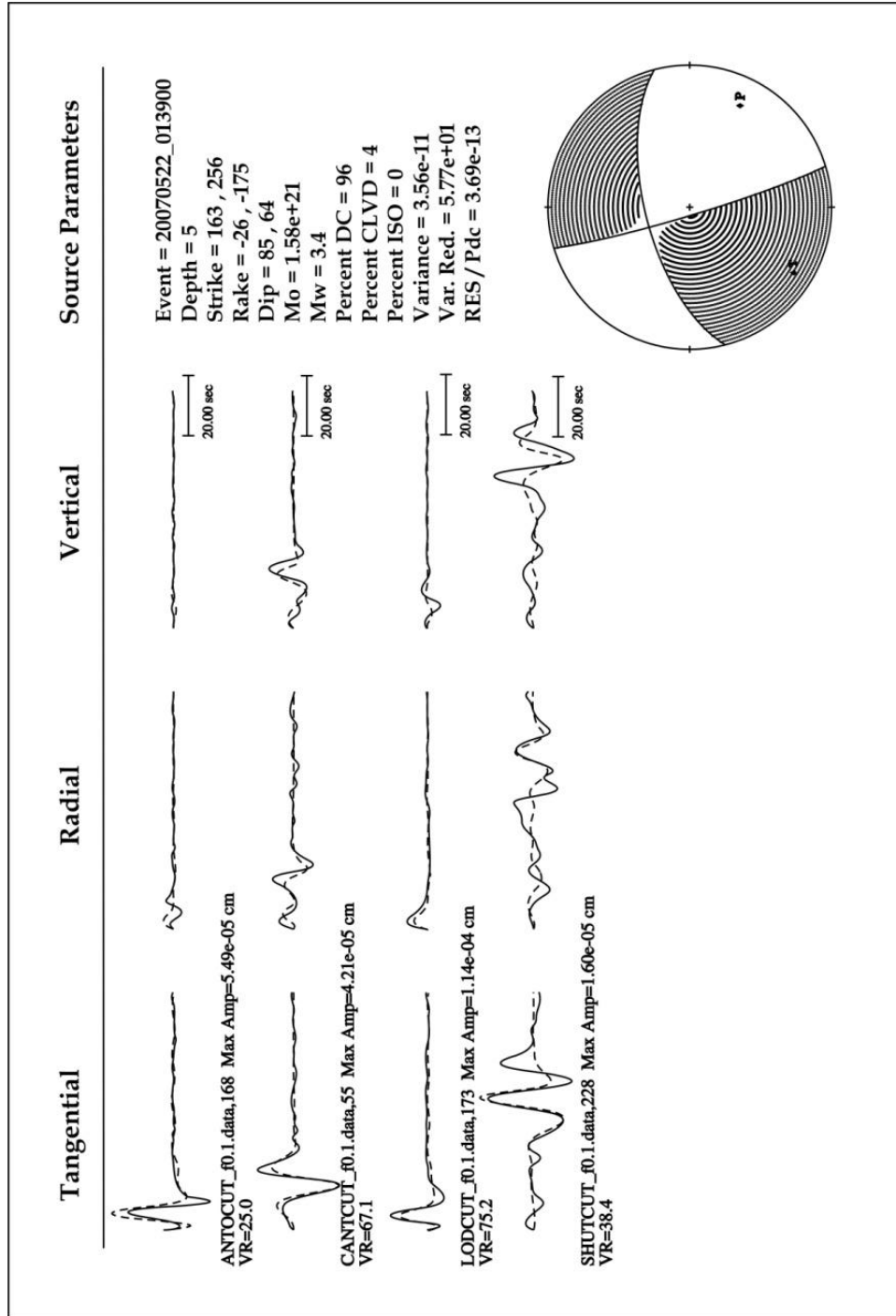
Deprem koordinatları, 39.491°K, 33.225°D şeklindedir. Deprem çözümünde, 253 km mesafede Sakarya-Taraklı istasyonu (GULT), 142 km mesafede Çorum istasyonu (CORM) kullanılmıştır. Kalite faktörü $Q=2$ olarak bulunmuştur.



Şekil A-21: 23 Ekim 2007, 22:56:52.28 Bâla depremi çözümü ($M_w \sim 3.7$).

EK-A-22. 22 Mayıs 2007 / 01:39:09.91 Bâla Depremi ($M_w \sim 3.4$)

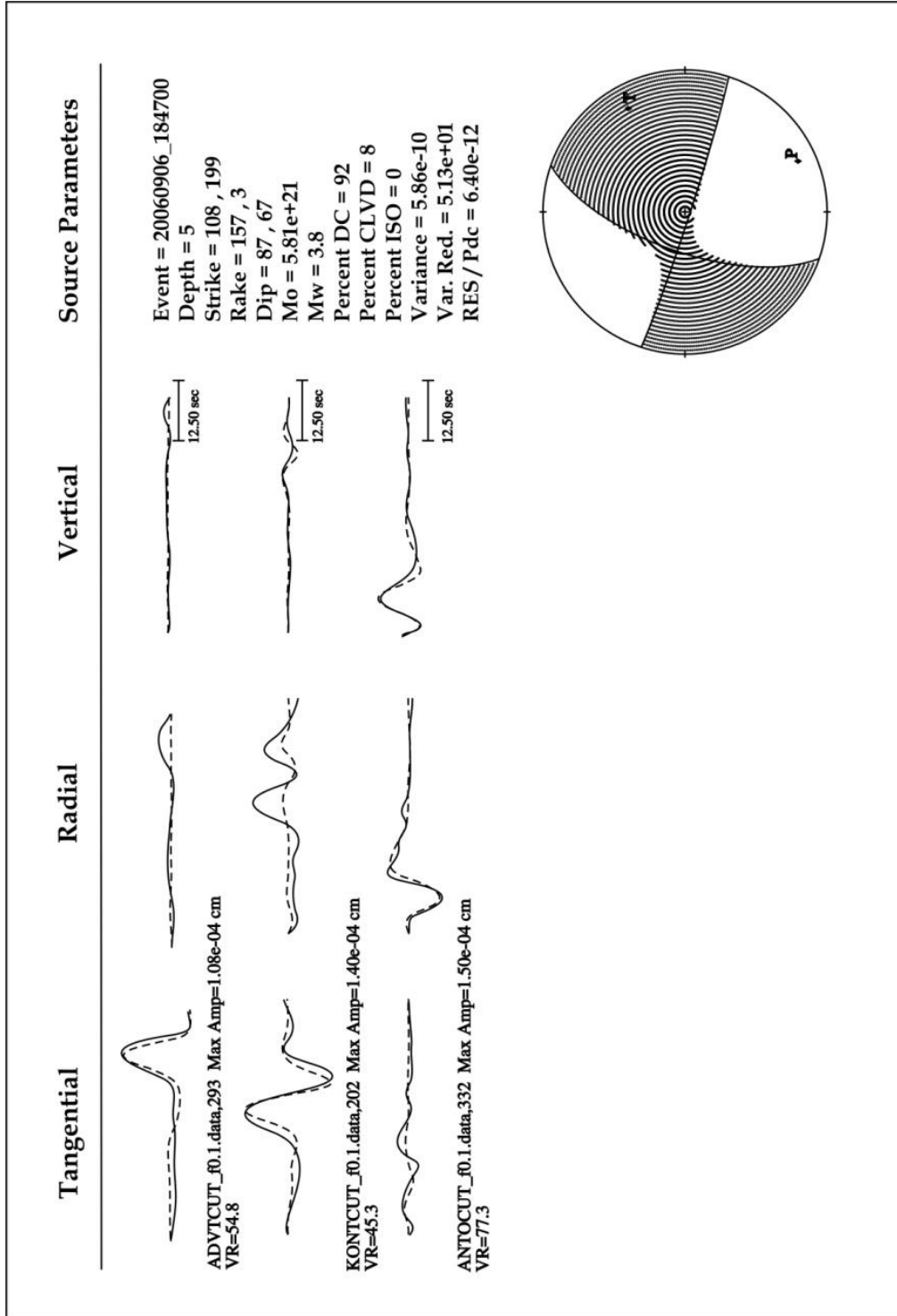
Deprem koordinatları, $40.130^\circ K$, $32.725^\circ D$ şeklindedir. Deprem çözümünde, 30 km mesafede Ankara istasyonu (ANTO), 92 km mesafede Çankırı istasyonu (CANT), 27 km mesafede Ankara-Lodumlu istasyonu (LOD), 256 km mesafede Afyon-Şuhut istasyonu (SHUT) kullanılmıştır. Kalite faktörü $Q=2$ olarak bulunmuştur.



Şekil A-22: 22 Mayıs 2007, 01:39:09.91 Bâla depremi çözümü ($M_w \sim 3.4$).

EK-A-23. 6 Eylül 2006 / 18:47:02.00 Bâla Depremi ($M_w \sim 3.8$)

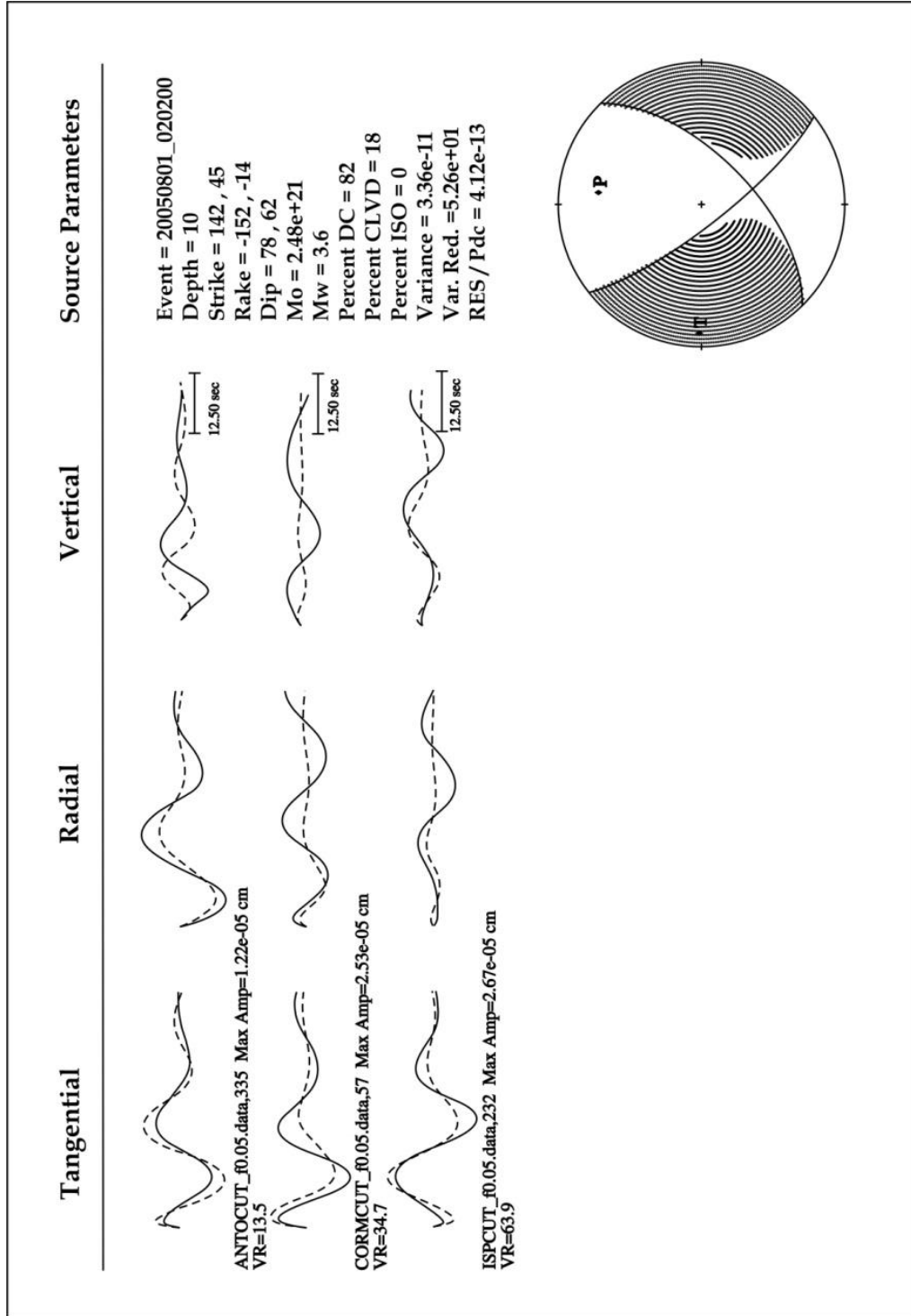
Deprem koordinatları, 39.408°K, 33.114°D şeklindedir. Deprem çözümünde, 310 km mesafede Bursa-İznik istasyonu (ADVT), 175 km mesafede Konya-Tatköy istasyonu (KONT), 58 km mesafede Ankara istasyonu (ANTO) kullanılmıştır. Kalite faktörü $Q=2$ olarak bulunmuştur.



Şekil A-23: 6 Eylül 2006, 18:47:02.00 Bâla depremi çözümü ($M_w \sim 3.8$).

EK-A-24. 1 Ağustos 2005 / 02:02:15.00 Bâla Depremi ($M_w \sim 3.6$)

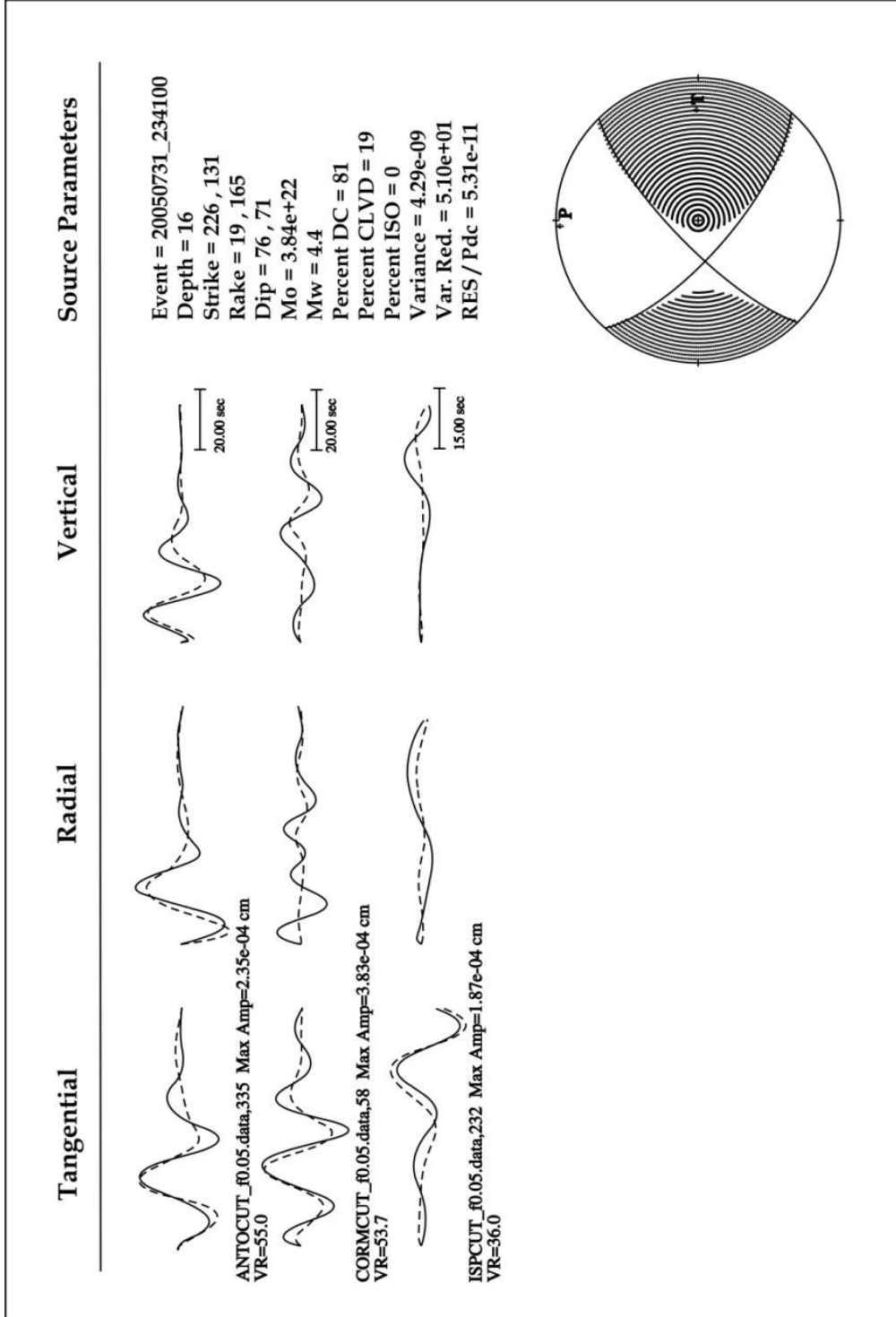
Deprem koordinatları, 39.422°K, 33.069°D şeklindedir. Deprem çözümünde, 55 km mesafede Ankara istasyonu (ANTO), 157 km mesafede Çorum istasyonu (CORM), 284 km mesafede Isparta istasyonu (ISP) kullanılmıştır. Kalite faktörü $Q=2$ olarak bulunmuştur.



Şekil A-24: 1 Ağustos 2005, 02:02:15.00 Bâla depremi çözümü ($M_w \sim 3.6$).

EK-A-25. 31 Temmuz 2005 / 23:41:34.00 Bâla Depremi ($M_w \sim 4.4$)

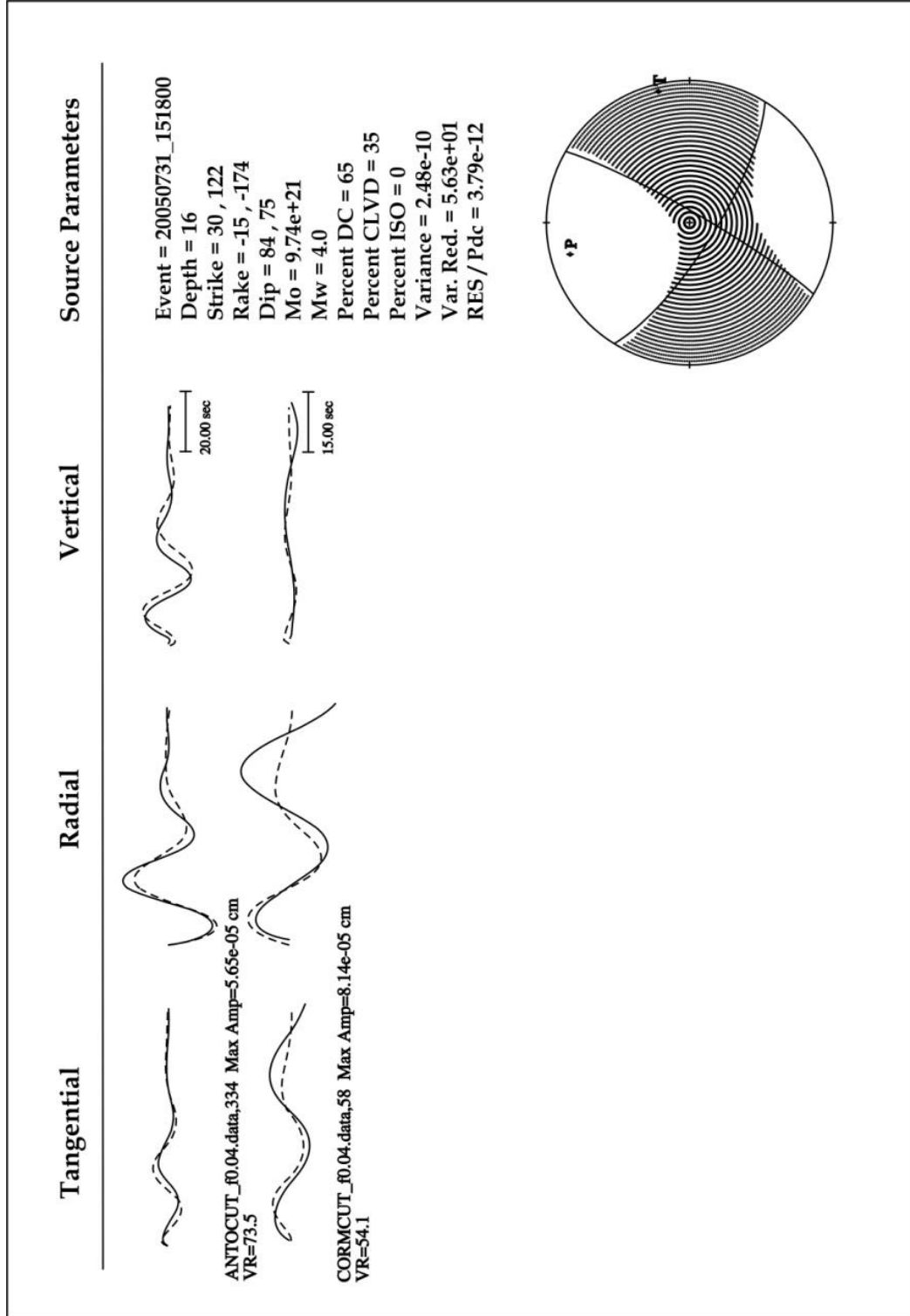
Deprem koordinatları, 39.438°K , 33.053°D şeklindedir. Deprem çözümünde, 52 km mesafede Ankara istasyonu (ANTO), 158 km mesafede Çorum istasyonu (CORM), 284 km mesafede Isparta istasyonu (ISP) kullanılmıştır. Kalite faktörü $Q=2$ olarak bulunmuştur.



Şekil A-25: 31 Temmuz 2005, 23:41:34.00 Bala depremi çözümü ($M_w \sim 4.4$).

EK-A-26. 31 Temmuz 2005 / 15:18: 19.00 Bâla Depremi ($M_w \sim 4.0$)

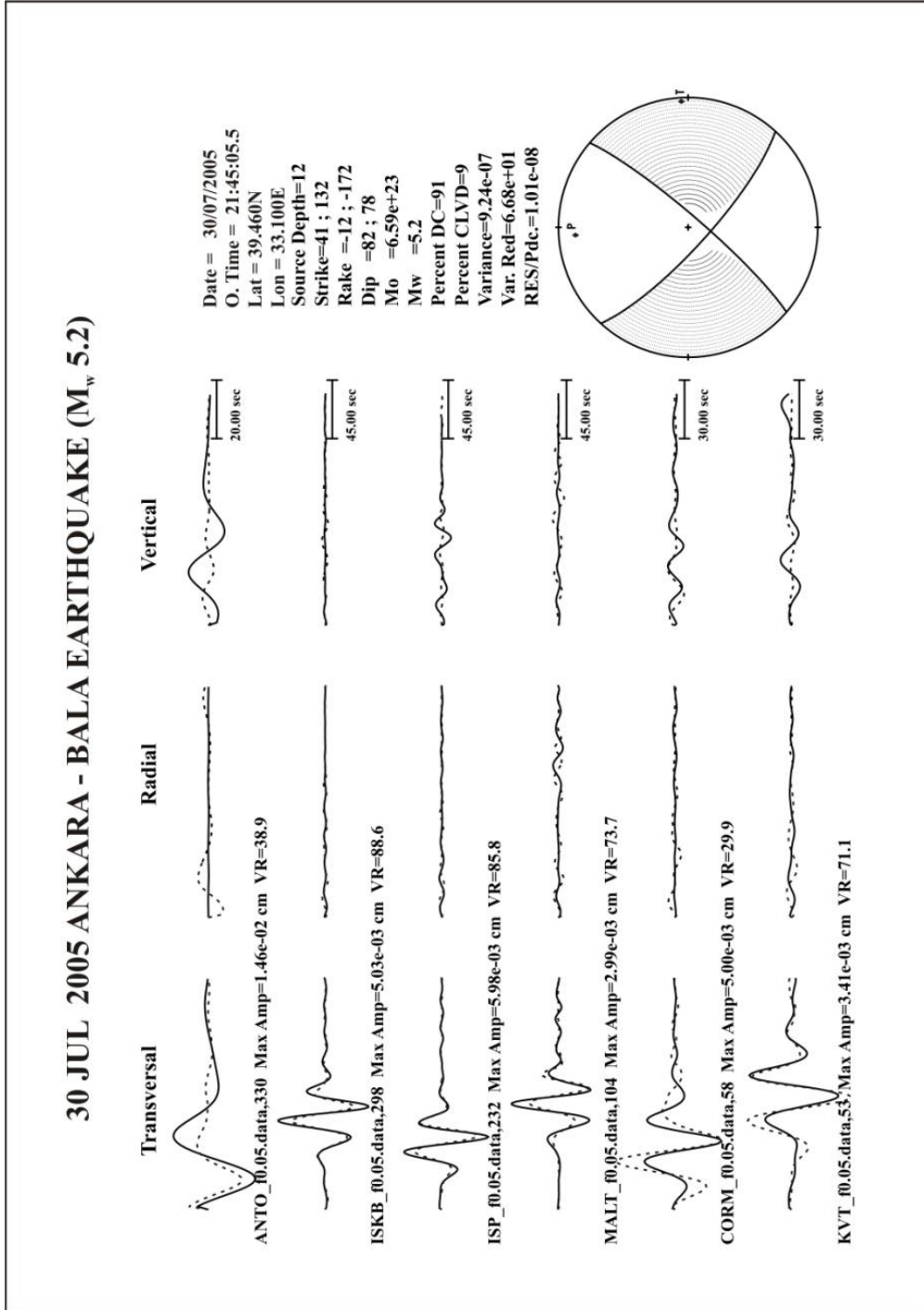
Deprem koordinatları, $39.436^\circ K$, $33.056^\circ D$ şeklindedir. Deprem çözümünde, 53 km mesafede Ankara istasyonu (ANTO), 157 km mesafede Çorum istasyonu (CORM) kullanılmıştır. Kalite faktörü $Q=2$ olarak bulunmuştur.



Şekil A-26: 31 Temmuz 2005, 15:18:19.00 Bâla depremi çözümü ($M_w \sim 4.0$).

EK-A-27. 30 Temmuz 2005 / 21:45:05.0 Bâla Depremi ($M_w \sim 5.2$)

Deprem koordinatları, 39.437°K, 33.089°D şeklindedir. Deprem çözümünde, 54 km mesafede Ankara istasyonu (ANTO), 380 km mesafede İstanbul-Kandilli (ISKB), 286 km mesafede Isparta istasyonu (ISP), 430 km mesafede Malatya istasyonu (MALT), 155 km Çorum (CORM), 310 km mesafede Samsun-Kavak (KVT) istasyonları kullanılmıştır. Kalite faktörü $Q=3$ olarak bulunmuştur.



Şekil A-27: 30 Temmuz 2005, 21:45:05.0 Bâla depremi çözümü ($M_w \sim 5.2$).

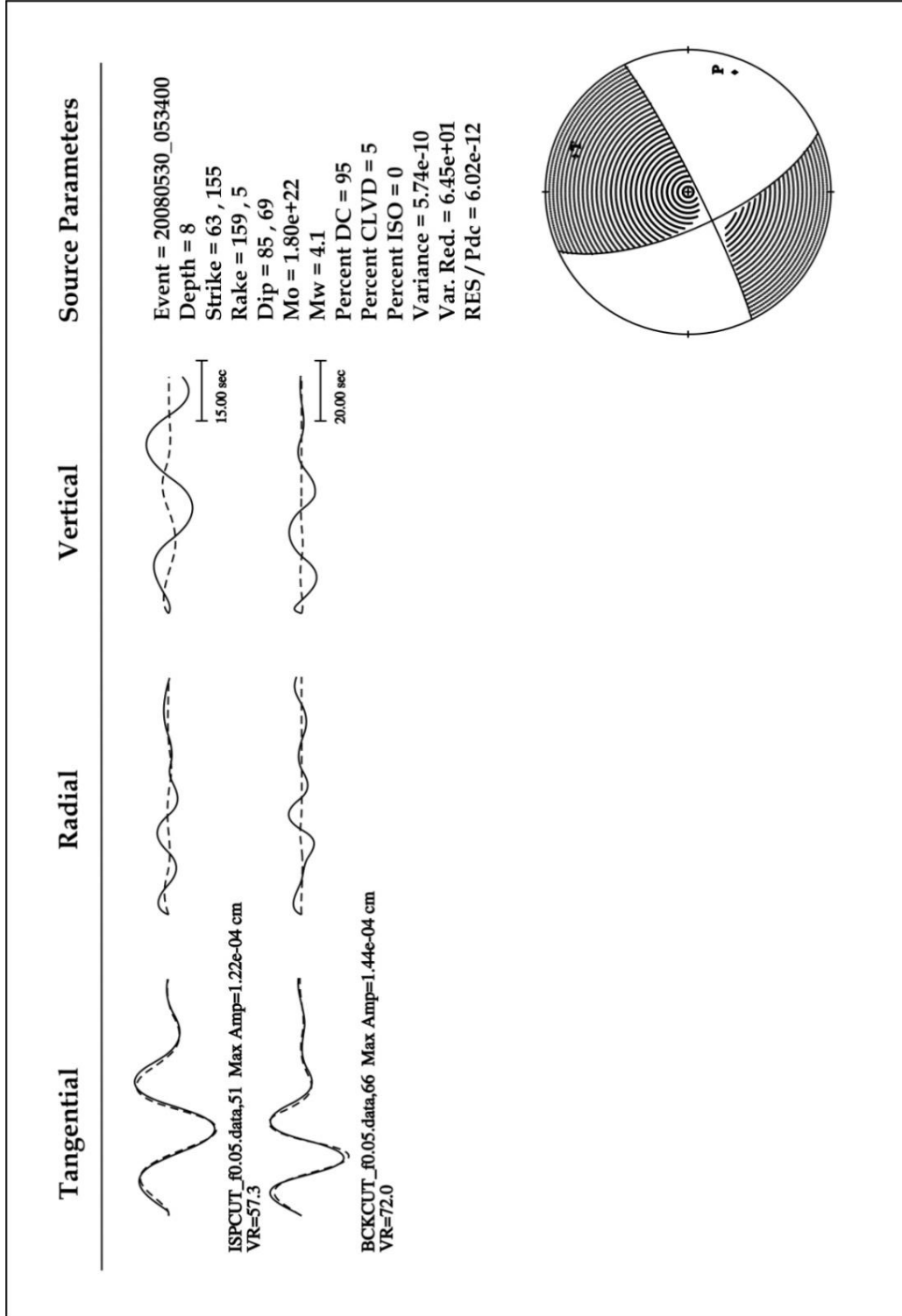
EK-B

2005-2008 ÇAMELİ (DENİZLİ) DEPREMLERİNİN KAYNAK MEKANİZMASI PARAMETRELERİ

Tezin bu bölümünde TDMT_INV programı kullanılarak kaynak mekanizması parametreleri belirlenen Çameli (Denizli) depremlerine ait 10 adet çözüm 2008 yılından geriye doğru sıralanmış şekilde sunulmaktadır.

EK-B-1. 30 Mayıs 2008 / 05:34:20.97 Çameli Depremi ($M_w \sim 4.1$)

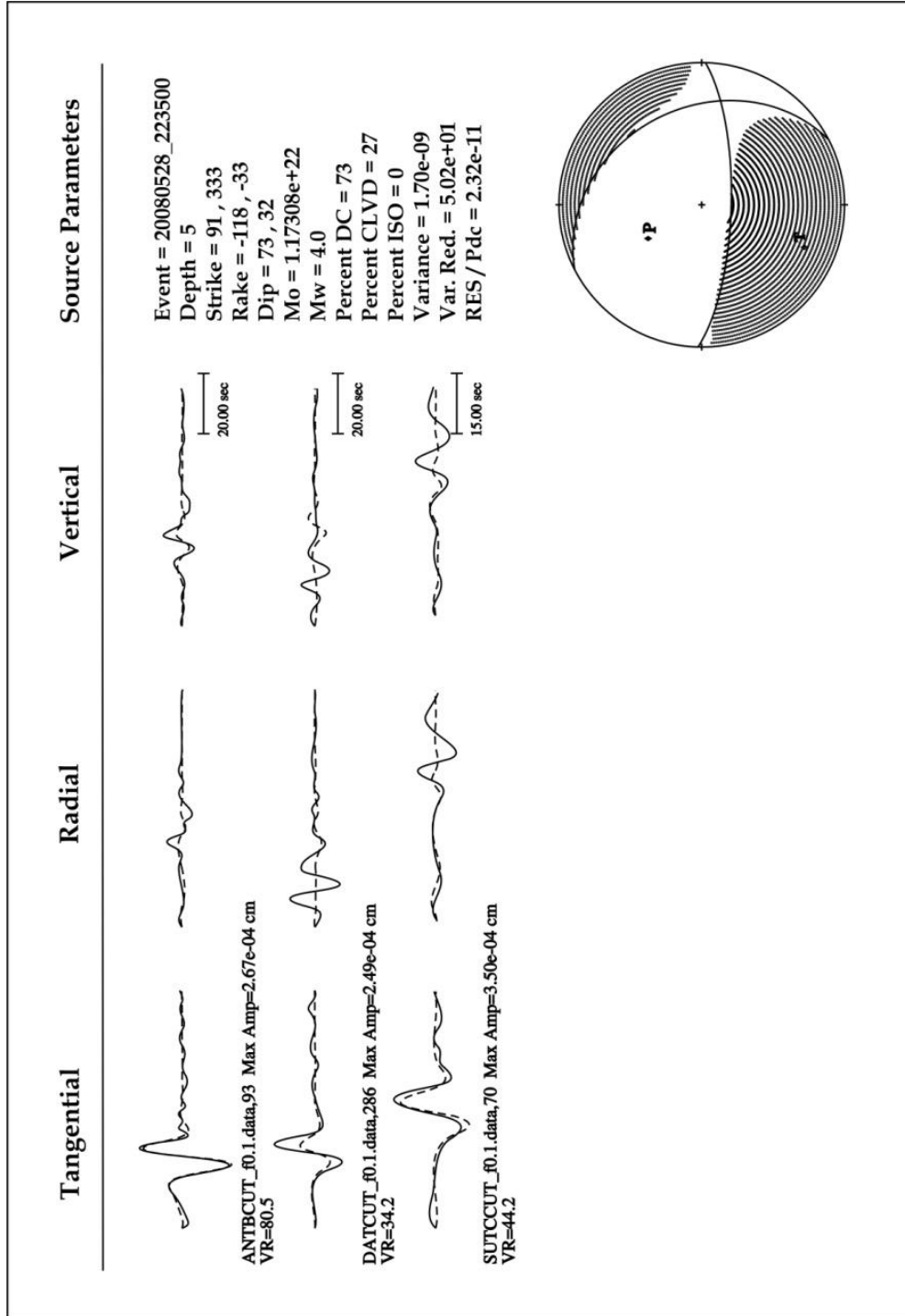
Deprem koordinatları, 36.981°K, 29.208°D şeklindedir. Deprem çözümünde, 149 km mesafede Isparta istasyonu (ISP) ve 133 km mesafede mesafede Burdur-Bucak istasyonu (BCK) kullanılmıştır. Kalite faktörü $Q=2$ olarak bulunmuştur.



Şekil B-1: 30 Mayıs 2008, 05:34:20.97 Çameli depremi çözümü ($M_w \sim 4.1$).

EK-B-2. 28 Mayıs 2008 / 22:35:48.76 Çameli Depremi ($M_w \sim 4.0$)

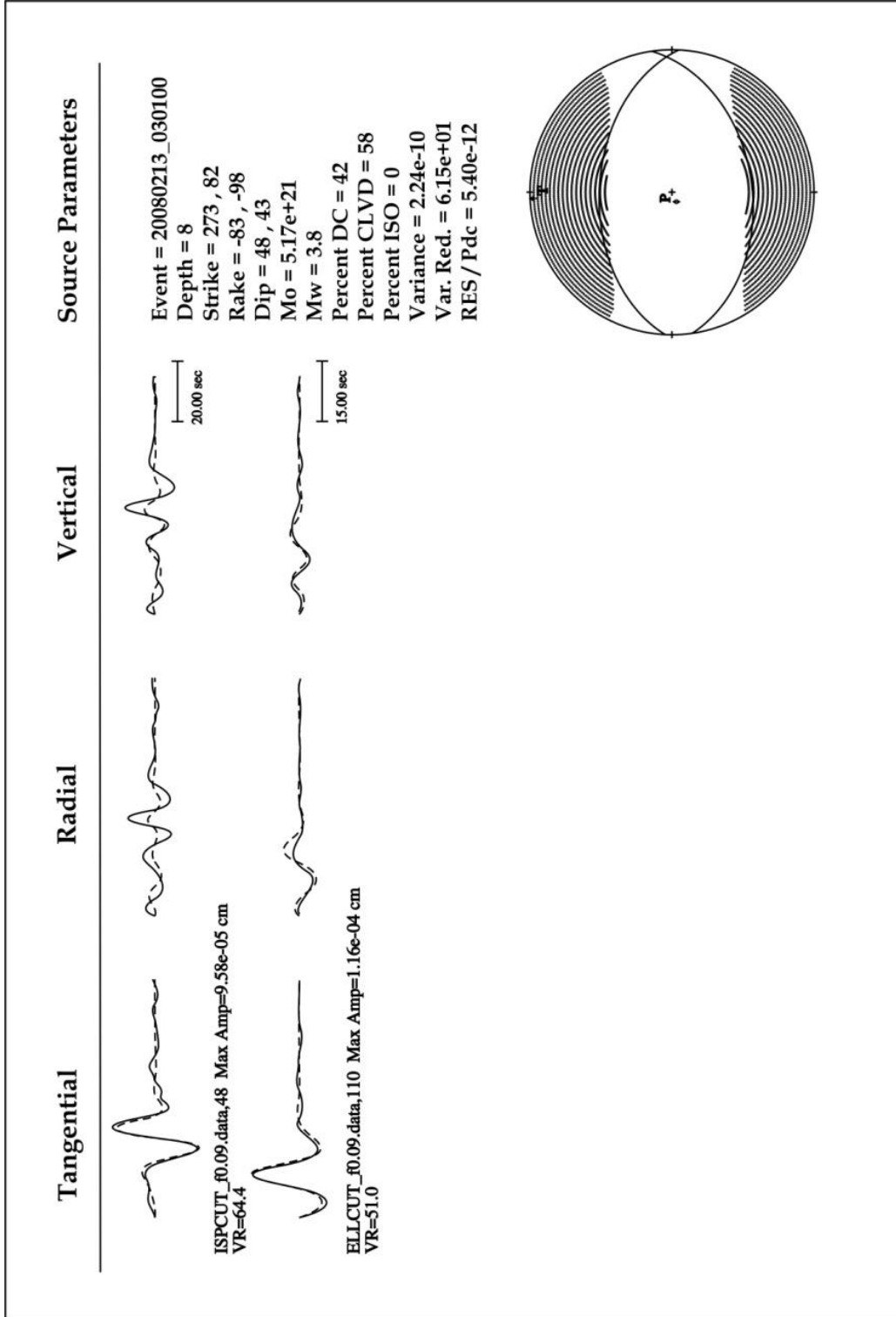
Deprem koordinatları, 36.970°K, 29.190°D şeklindedir. Deprem çözümünde, 130 km mesafede Antalya istasyonu (ANTB), 146 km mesafede Datça-Muğla istasyonu (DAT), 170 km mesafede Sütçüler-Isparta istasyonu (SUTC) kullanılmıştır. Kalite faktörü $Q=2$ olarak bulunmuştur.



Şekil B-2: 28 Mayıs 2008, 22:35:48.76 Çameli depremi çözümü ($M_w \sim 4.0$).

EK-B-3. 13 Şubat 2008 / 03:01:24.24 Çameli Depremi ($M_w \sim 3.8$)

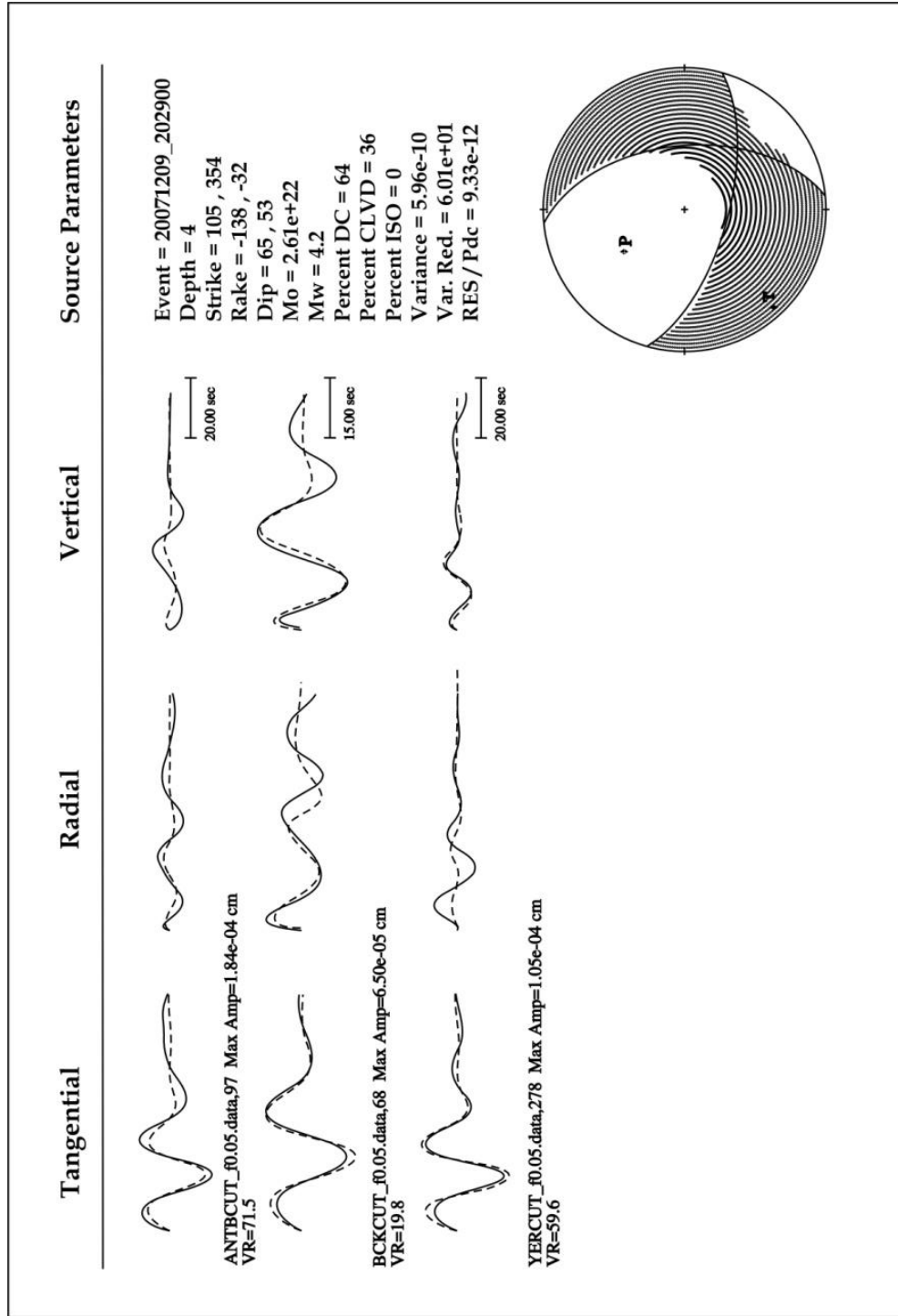
Deprem koordinatları, $36.947^\circ K$, $29.258^\circ G$ şeklindedir. Deprem çözümünde, 148 km mesafede Isparta istasyonu (ISP), 62 km mesafede Elmalı-Antalya istasyonu (ELL) kullanılmıştır. Kalite faktörü $Q=3$ şeklinde bulunmuştur.



Şekil B-3: 13 Şubat 2008, 03:01:24.24 Çameli depremi çözümü ($M_w \sim 3.8$).

EK-B-4. 9 Aralık 2007 / 20:29:46.18 Çameli Depremi ($M_w \sim 4.2$)

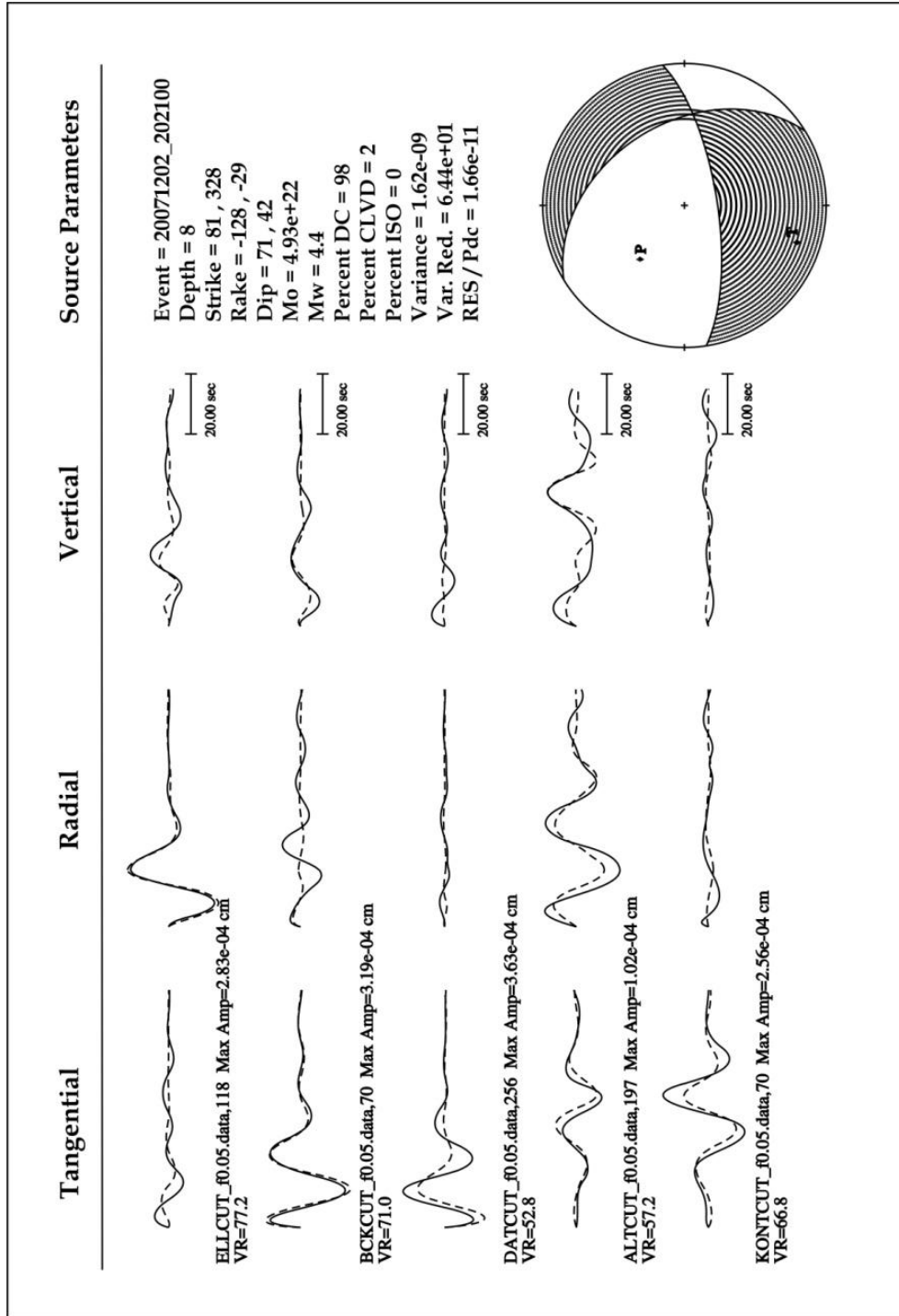
Deprem koordinatları, 37.039°K, 29.229°D şeklindedir. Deprem çözümünde, 127 km mesafede Antalya istasyonu (ANTB), 129 km mesafede Bucak-Burdur istasyonu (BCK), 84 km mesafede Yerkesik-Muğla istasyonu (YER) kullanılmıştır. Kalite faktörü $Q=3$ olarak bulunmuştur.



Şekil B-4: 9 Aralık 2007, 20:29:46.18 Çameli depremi çözümü ($M_w \sim 4.2$).

EK-B-5 2 Aralık 2007 / 20:21:49.96 Çameli Depremi ($M_w \sim 4.4$)

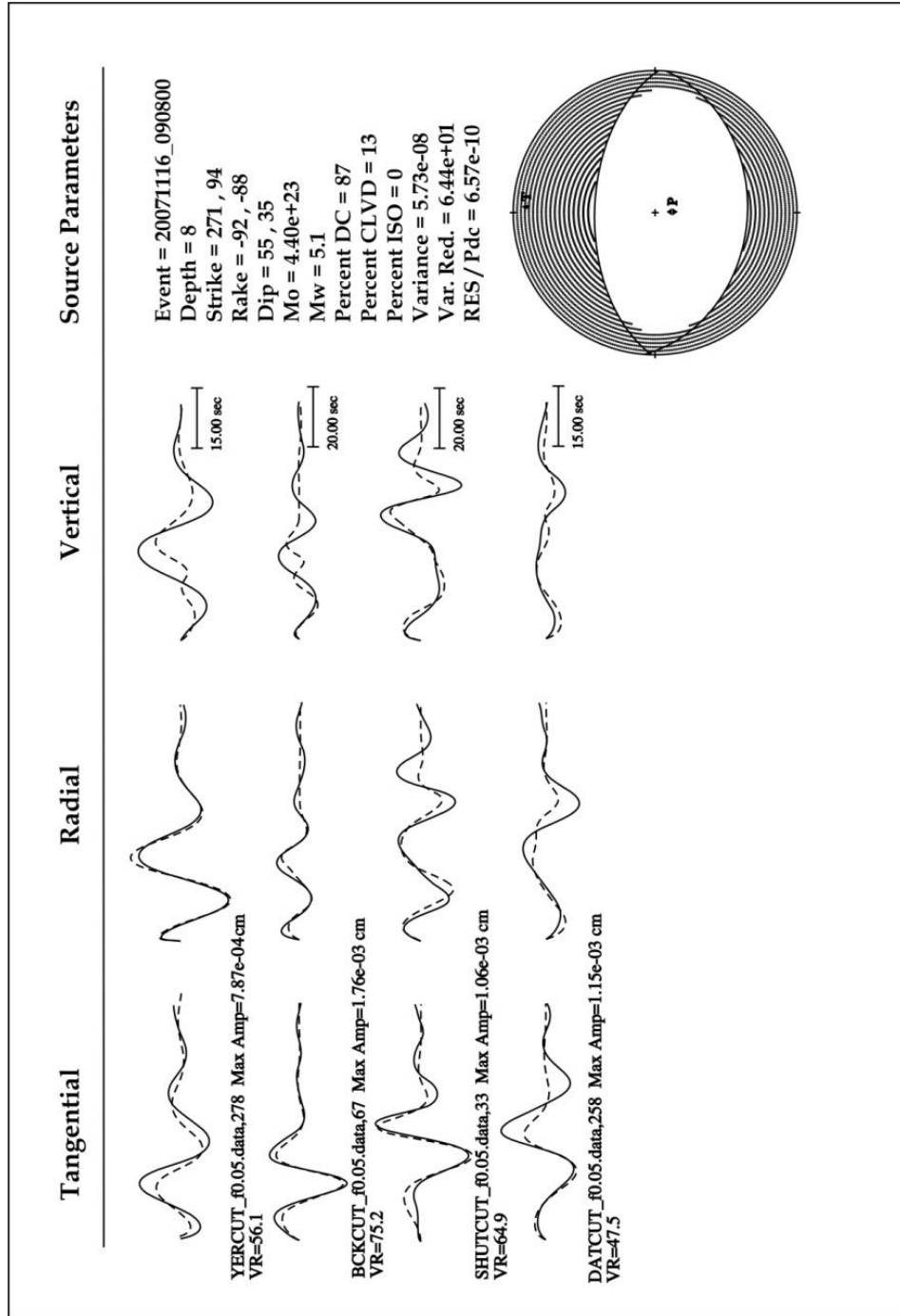
Deprem koordinatları, 37.065°K, 29.197°D şeklindedir. Deprem çözümünde, 72 mesafede Elmalı-Antalya istasyonu (ELL), 130 km mesafede Bucak-Burdur istasyonu (BCK), 149 km mesafede Datça-Muğla istasyonu (DAT), 234 km Altıntaş-Kütahya istasyonu (ALT), 296 km mesafede Tatköy-Konya istasyonu (KONT) kullanılmıştır. Kalite faktörü $Q=3$ olarak bulunmuştur.



Şekil B-5: 2 Aralık 2007, 20:21:49.96 Çameli depremi çözümü ($M_w \sim 4.4$).

EK-B-6. 16 Kasım 2007 / 09:08:23.55 Çameli Depremi ($M_w \sim 5.1$)

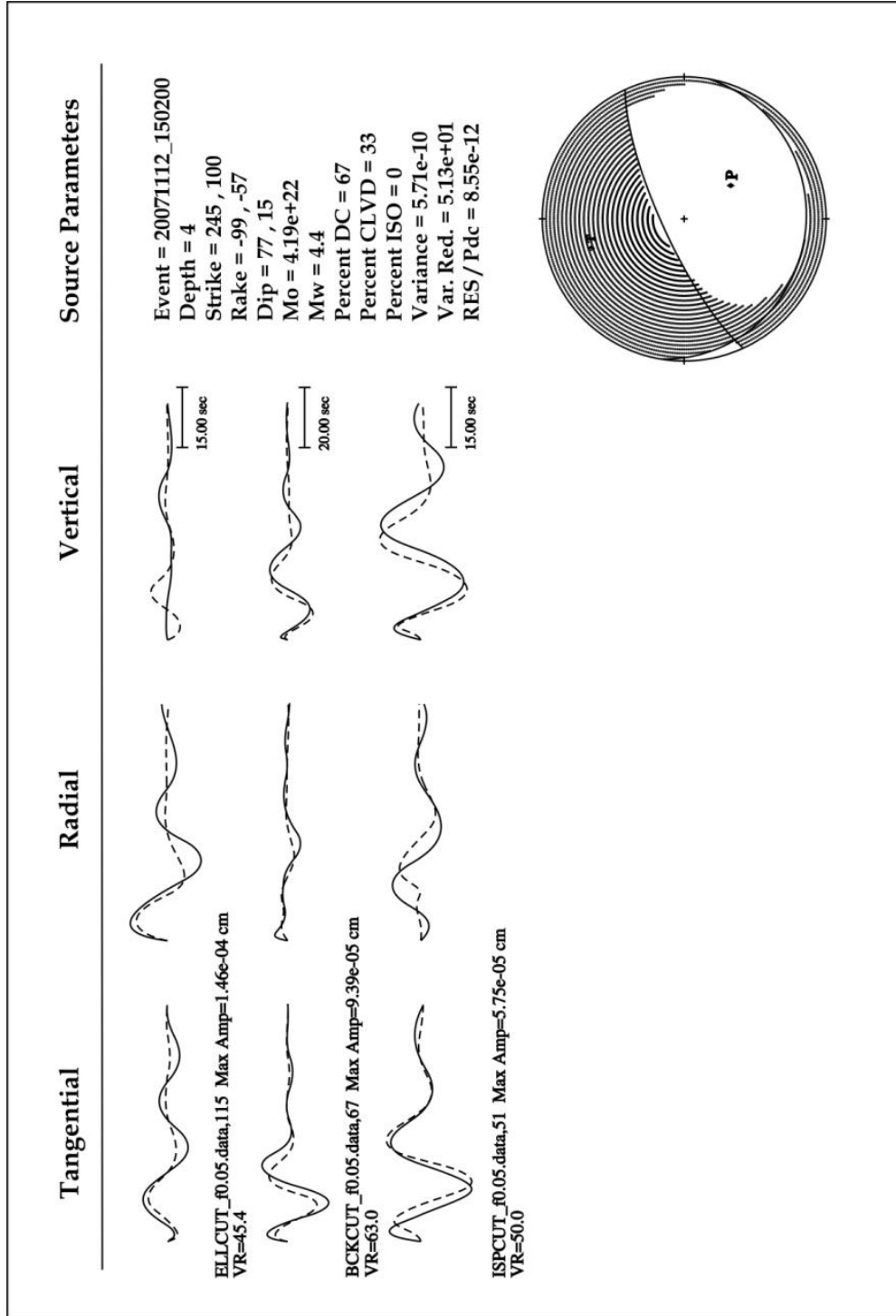
Deprem koordinatları, $37.021^\circ K$, $29.256^\circ D$ şeklindedir. Deprem çözümünde, 87 km mesafede Muğla-Yerkesik istasyonu (YER), 127 km mesafede Burdur-Bucak istasyonu (BCK), 204 km mesafede Afyon-Şuhut istasyonu (SHUT), 153 km mesafede Muğla- Datça istasyonu (DAT) kullanılmıştır. Kalite faktörü $Q=3$ olarak bulunmuştur.



Şekil B-6: 16 Kasım 2007, 09:08:23.55 Çameli depremi çözümü ($M_w \sim 5.1$).

EK-B-7. 12 Kasim 2007 / 15:02:10.20 Çameli Depremi ($M_w \sim 4.4$)

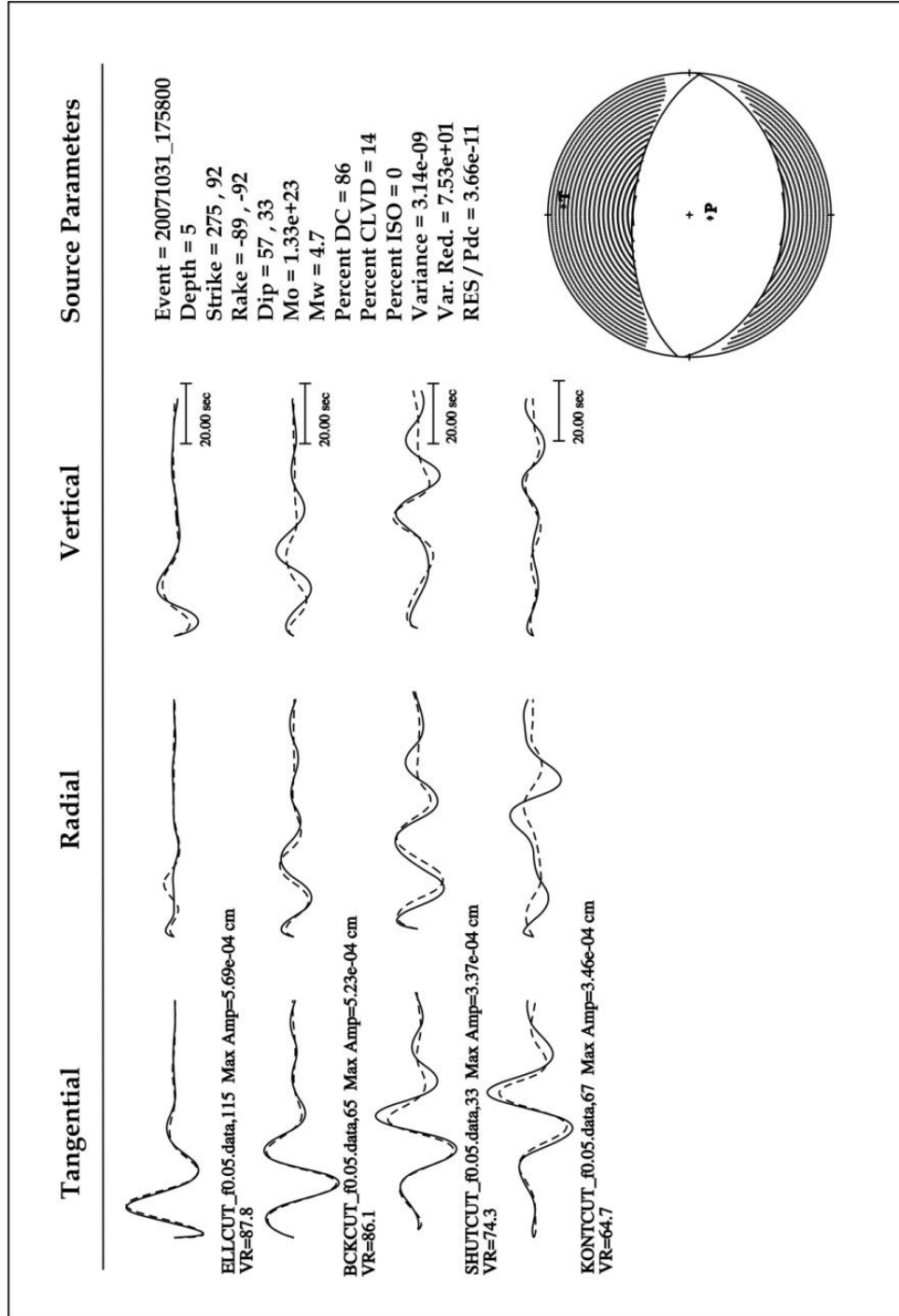
Deprem koordinatları, 37.011°K, 29.224°D şeklindedir. Deprem çözümünde, 67 km mesafede Elmalı-Antalya istasyonu (ELL), 130 km mesafede Burdur-Bucak istasyonu (BCK), 145 km mesafede Isparta istasyonu (ISP) kullanılmıştır. Kalite faktörü $Q=2$ olarak bulunmuştur.



Şekil B-7: 12 Kasım 2007, 15:02:10.20 Çameli depremi çözümü ($M_w \sim 4.4$).

EK-B-8. 31 Ekim 2007 / 17:58:00.62 Çameli Depremi ($M_w \sim 4.7$)

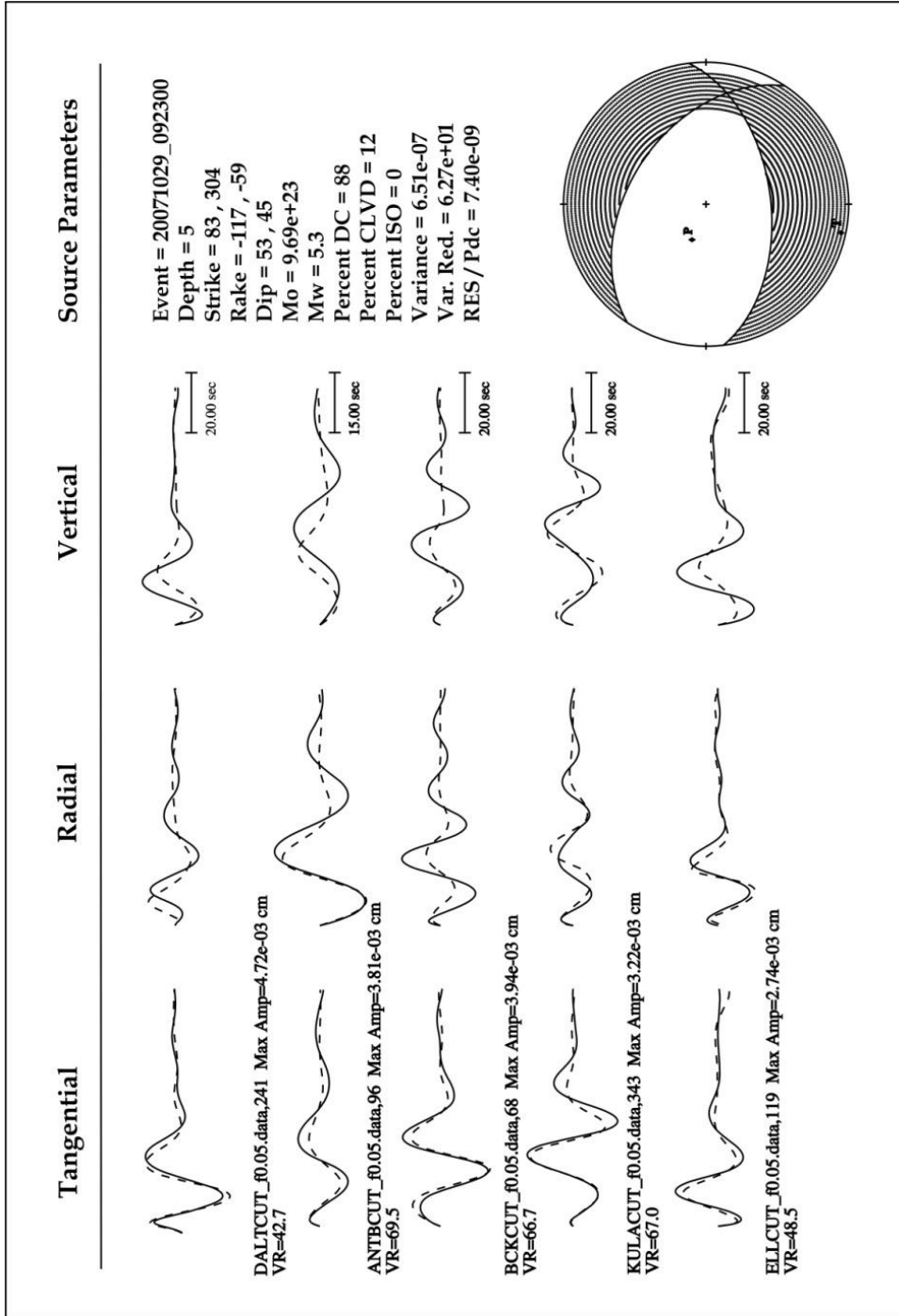
Deprem koordinatları, $36.986^\circ K$, $29.272^\circ D$ şeklindedir. Deprem çözümünde, 62 km mesafede Elmalı-Antalya istasyonu (ELL), 128 km mesafede Burdur-Bucak istasyonu (BCK), 207 km mesafede Afyon-Şuhut istasyonu (SHUT), 293 km mesafede Tatköy-Konya istasyonu (KONT) kullanılmıştır. Kalite faktörü $Q=3$ olarak bulunmuştur.



Şekil B-8: 31 Ekim 2007, 17:58:00.62 Çameli depremi çözümü ($M_w \sim 4.7$).

EK-B-9. 29 Ekim 2007 / 09:23:14.31 Çameli Depremi ($M_w \sim 5.2$)

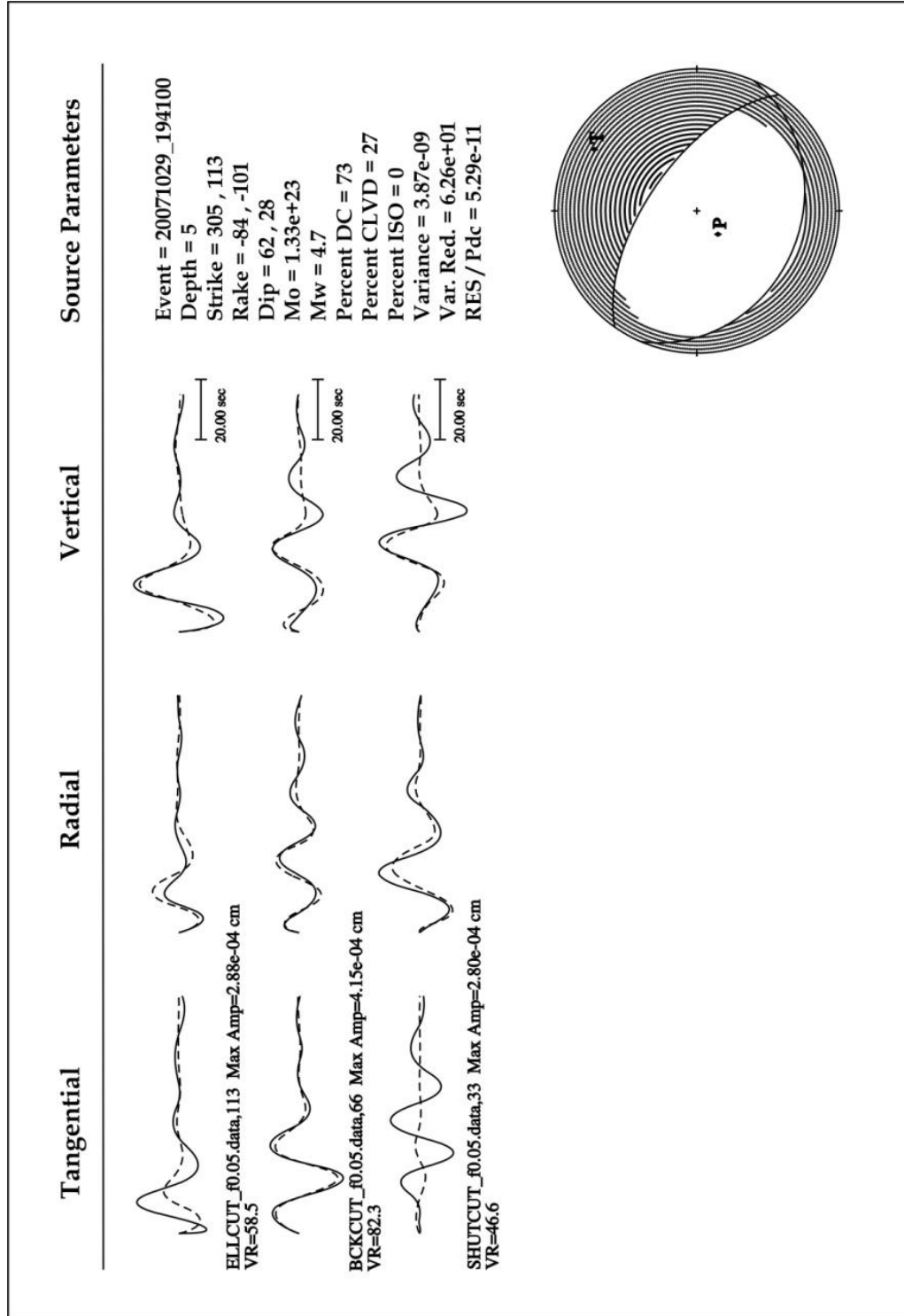
Deprem koordinatları, $37.032^\circ K$, $29.232^\circ D$ şeklindedir. Deprem çözümünde, 60 km mesafede Dalyan-Muğla istasyonu (DALT), 127 km Antalya istasyonu (ANTB), 129 km mesafede Burdur-Bucak istasyonu (BCK), 172 km mesafede Manisa-Kula istasyonu (KULA), 68 km mesafede Elmalı-Antalya istasyonu (ELL) kullanılmıştır. Kalite faktörü $Q=3$ olarak bulunmuştur.



Şekil B-9: 29 Ekim 2007, 09:23:14.31 Çameli depremi çözümü ($M_w \sim 5.2$).

EK-B-10. 29 Ekim 2007 / 19:41:39.89 Çameli Depremi ($M_w \sim 4.7$)

Deprem koordinatları, $36.976^\circ K$, $29.239^\circ D$ şeklindedir. Deprem çözümünde, 64 km mesafede Elmalı-Antalya istasyonu (ELL), 131 km mesafede Burdur-Bucak istasyonu (BCK), 209 km mesafede Afyon-Şuhut istasyonu (SHUT) kullanılmıştır. Kalite faktörü $Q=3$ olarak bulunmuştur.



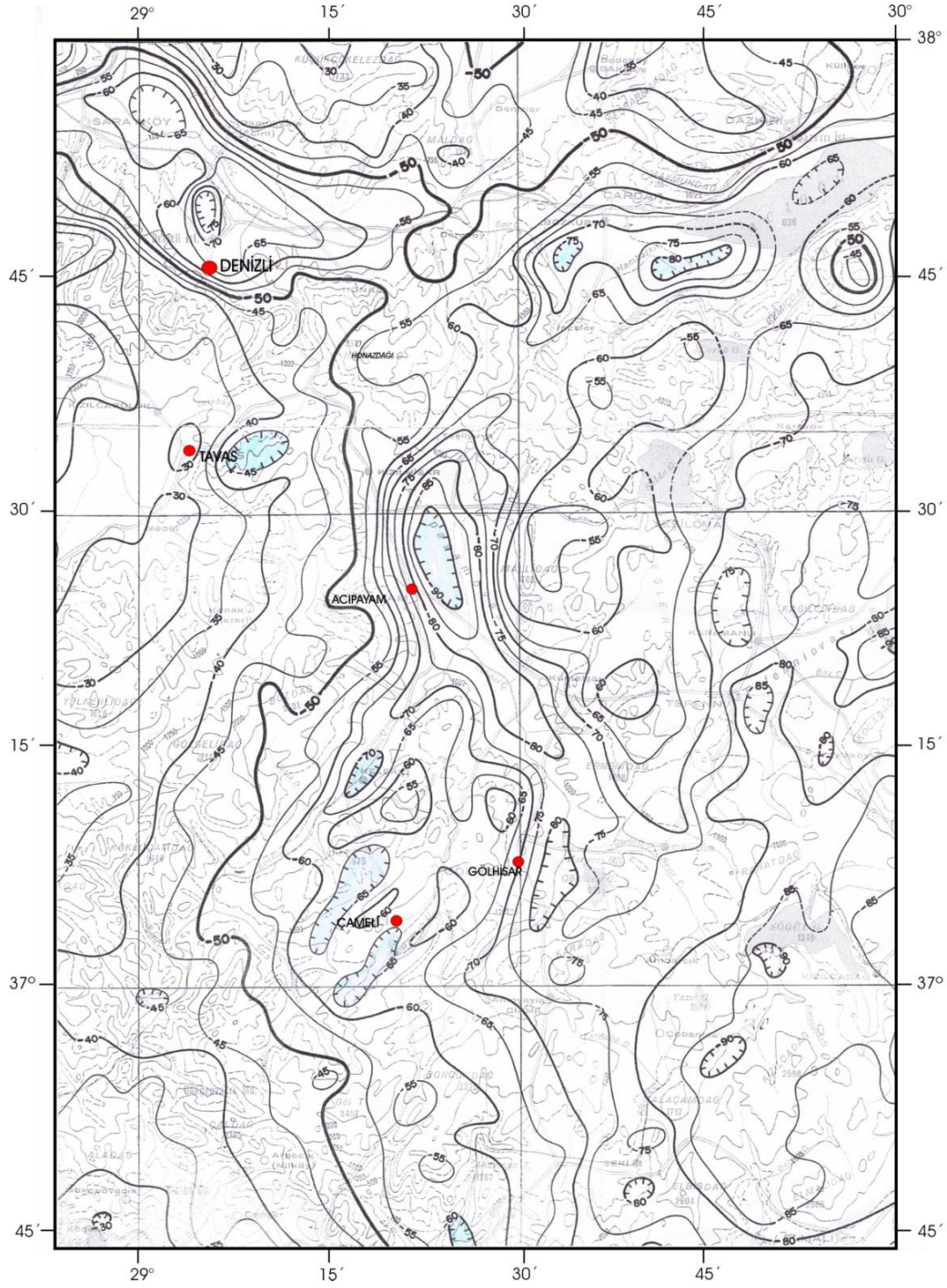
Şekil B-10: 29 Ekim 2007, 19:41:39.89 Çameli depremi çözümü ($M_w \sim 4.7$).

EK-C

MTA 1/500.000 ÖLÇEKLİ DENİZLİ PAFTASI BOUGER GRAVİTE HARİTASI, (MTA, 1979).

Şekil 1.15 ve 1/500.000 ölçekli MTA-Bouguer anomali haritası ve Denizli paftası (bkz. EK-C), incelendiğinde Çameli bölgesindeki Bouguer anomalisi değerlerinin -70 ile -55 mgal arasında değiştiği görülmektedir. Haritadaki içe doğru çentikli kontur kapanımları gravite anomalilerinin en düşük değer aldıkları yerlerdir. Bu bölgelerin yoğunluğu düşük tortul kayalardan oluştuğu düşünülebilir. Kelekçi, Çameli ve Gölhisar çevresinde çok sayıda GB-KD yönelimli kontur kapanımları gözlenmektedir. Anomaliler MTA haritasında dar ve uzun kapanımlar şeklinde olmalarından dolayı bölgedeki aktif faylarla ilişkili oldukları düşünülebilir (Ateş, 2009, sözlü görüşme).

EK-C



Şekil C-1: MTA 1/500.000 ölçekli Denizli paftası Bouger gravite haritası, (MTA, 1979).

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad : Yeşim ÇUBUK
Doğum Yeri ve Tarihi : İstanbul – 10.10.1985
Adres : Acıbadem Mah. Sarayardı Cad. Emek Apt. No: 20/1
D:8 Kadıköy 34718 / İstanbul.
E-posta : cubuky@itu.edu.tr

EĞİTİM BİLGİLERİ:

Lise : Fenerbahçe Yabancı Dil Ağırlıklı Lisesi (1999-2003)
(4.10/5.0)
Lisans Üniversite : Kocaeli Üniversitesi (2003-2007)
(3.45/4.0 Bölüm 3.cüsü)
Lisansüstü Üniversite : İstanbul Teknik Üniversitesi (2007-2010)
(3.19/4.0)

ÇALIŞMALAR:

- Çubuk, Y. and Taymaz, T.,** 2009a. Time Domain Momet Tensor Analysis of 2005-2008 Bala (Ankara) Earthquakes, 62. Jeoloji Kurultayı 13-17 Nisan 2009, *Bildiri Özleri Kitabı (2)*, 780-781.
- Çubuk, Y. and Taymaz, T.,** 2009b. Active Tectonics of Bala-Sırapınar (Central Turkey) and Surroundings: Time Domain Moment Tensor Inversion of Moderate Earthquakes Occurred During 2005-2008, International Symposium On Historical Earthquakes and Conservation of Monuments and Sites in the Eastern Mediterranean Region: “500th Anniversary Year of the 1509 September 10, Marmara Earthquake”, Proceedings of Extended Abstracts, 367-372.
- Çubuk, Y. and Taymaz, T.,** 2009c. Active Tectonics of Çameli-Göhlisar (SW Turkey) and Surroundings: Time Domain Moment Tensor Inversion of Moderate Earthquakes Occurred During 2005-2008, International Symposium On Historical Earthquakes and Conservation of Monuments and Sites in the Eastern Mediterranean Region: “500th Anniversary Year of the 1509 September 10, Marmara Earthquake”, Proceedings of Extended Abstracts, 373-376.
- Çubuk, Y., Karaaslan, A., Barış, Ş.,** 2007. A Case Study of Microtremor Methods in İzmit, 22-24 Ekim 2007 Kocaeli Deprem Sempozyumu, *Özler Kitabı*, pp. 18.