

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SİSMİK MOMENT TENSÖR ANALİZİ İLE 2007-2008  
YILLARINDAKİ  $M \geq 4,0$  TÜRKİYE DEPREMLERİNİN  
KAYNAK PARAMETRELERİNİN BULUNMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Jeofizik Müh. Tuğbay KILIÇ**

**Enstitü Anabilim Dalı : JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ**

**Tez Danışmanı : Doç. Dr. Murat UTKUCU**

**Haziran 2009**

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ


**SİSMİK MOMENT TENSÖR ANALİZİ İLE 2007-2008  
YILLARINDAKİ  $M \geq 4,0$  TÜRKİYE DEPREMLERİNİN  
KAYNAK PARAMETRELERİNİN BULUNMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Jeofizik Müh. Tuğbay KILIÇ**

**Enstitü Anabilim Dalı : JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ**

Bu tez 12/06/2009 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.



**Doç.Dr.  
Murat UTKUCU  
Jüri Başkanı**



**Prof. Dr.  
Ali PINAR  
Üye**



**Prof. Dr.  
Gündüz HORASAN  
Üye**

## ÖNSÖZ

Toplumumuz ülkemizin bir deprem ülkesi olduğu gerçeğini ne yazık ki 17 Ağustos Kocaeli ve 12 Kasım Düzce depremlerinde büyük can ve ekonomik kayıplar vererek acı bir şekilde öğrenmiştir. Gelecekte de buna benzer depremleri yaşamamız kaçınılmazdır. Ülkemizde yaşayan tüm bireylerin deprem zararlarının azaltılması konusunda üstüne düşeni yapması gerekmektedir. Özellikle deprem ve sismoloji konusunda araştırma ve çalışma yapan kişilere bu konuda daha büyük görevler düşmektedir. Ülkemizde deprem ile ilgili çalışmalara ne yazık ki yaşamış olduğumuz iki büyük depremden sonra önem verilmiştir. Depremlerle ilgili araştırılması gereken birçok konu vardır. Bunlardan biri de depremlerin kaynak mekanizmalarının belirlenmesi ve kaynak parametrelerinin saptanmasıdır. Bu çalışma ile ülkemizde 2007-2008 yılları arasında meydana gelmiş  $M \geq 4,0$  depremlerin kaynak parametreleri moment tensör analiz yöntemi kullanılarak elde edilecektir. Bu bağlamda çalışmanın Türkiye için Moment Tensör kataloğu oluşturmaya yönelik bir gayret olacağı ve sonuçlarının da depremler ile ilgili çalışma yapan kişi ve araştırmacılara faydalı bir kaynak oluşturacağı düşünülmektedir.

## TEŞEKKÜR

Tez çalışması süresince bilgi ve deneyimleri ile bana yol gösteren ve desteğini esirgemeyen hocam Sayın Doç. Dr. Murat UTKUCU'ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Her zaman desteğini ve yardımlarını gördüğüm Sayın. Yrd. Doç Dr. Günay BEYHAN'a teşekkür ederim.

Tez çalışmam sırasında katkı ve yardımlardan dolayı Sayın Jeoloji Yük. Müh. Belgin BARAN'a, Sayın JeolojiYük. Müh. Cenk ERKMEN'e, Sayın Jeofizik Müh.Recai F. KARTAL'a Sayın Jeoloji Müh. Hakan ALBAYRAK'a ve Sayın Jeofizik Yük. Müh. Timur TEZEL'e teşekkür ederim. Çalışmamda kullandığım verinin temin edilmesinde emeği geçen Sismoloji Şubesi çalışanlarına, bana böyle bir çalışma yapma fırsatı verdikleri için şahsım adına teşekkür ederim. Ayrıca Tez çalışmam boyunca beni destekleyen, sabır gösteren ve elinden gelen bütün desteği veren Deprem Araştırma Dairesi, Sismoloji Şube Müdürü Sayın Jeofizik Yük. Müh. Yıldız İRAVUL'a çok teşekkür ederim.

Tez çalışmam boyunca beni bilgisayar başında düşünceli gördüğünde tezim ile ilgili bir zorluk yaşadığımı anlayan ve hemen yardımına koşan, değerli bilgisini, tecrübesini ve yardımlarını çömertçe sunan, ve bunun benim için çok büyük bir şans olduğuna inandığım kendisinden çok sey öğrendiğim değerli arkadaşım İnşaat Yük. Müh. Dr.Nazan YILMAZ'a yapmış olduğu herşey için çok teşekkür ederim.

Hayatım boyunca hep yanımda olan, maddi ve manevi yardımlarını esirgemeyen, beni bugünlere getiren, tez çalışmam sırasında sabır gösteren Sevgili Ailem'e, hayatımın ilk adımlarını atarken elimden tutan anneaneme ve dedeme sonsuz teşekkürü bir borç bilirim.

Tuğbay KILIÇ

Mayıs 2009

## ÖZET

Anahtar kelimeler: Moment Tensör Çözümü, Sismik Moment, Moment Magnitud, Kaynak Parametreleri

Bu çalışmada Türkiye’de 2007-2008 yılları arasında meydana gelmiş magnitudü 4’e eşit veya daha büyük olan depremlerin kaynak parametreleri moment tensör yöntemi ile incelenmiştir. Bu amaçla Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Deprem Araştırma Dairesi, Sismoloji Şubesi tarafından oluşturulmuş deprem kataloğunda yer alan en az 3 istasyon veri kaydına sahip 100 adet deprem belirlenmiştir. Moment tensör ters çözümlerinde bu depremlerde yine Deprem Araştırma Dairesi tarafından işletilen Ulusal Sismik Ağı oluşturan istasyonlarda kaydedilen verilerden yararlanılmıştır. Katalog verileri, sismogramlar ve kabuk yapısı kullanılarak deviatorik moment tensör ters çözümünden bu depremlerin kaynak parametreleri (doğrultu, eğim ve atım), sismik moment ve dolayısıyla moment magnitud değerleri elde edilmiştir. Bu çözümlerden elde edilen kaynak parametreleri bu depremlerin meydana geldiği fay kuşaklarındaki tektonik yapı ile uyum içerisindedir. Sonuçlar bazı sismoloji merkezlerinin varolan çözümleriyle karşılaştırılmış, bu çalışmanın Türkiye için bir Moment Tensör kataloğu oluşturulması için bir adım oluşturduğu ve depremlerle ilgili araştırmalarda faydalı olacağı düşünülmektedir.

# **DETERMINATION OF SOURCE PARAMETERS OF THE EARTHQUAKES WITH $M \geq 4.0$ OCCURRED IN TURKEY BETWEEN 2007 AND 2008 BY SEISMIC MOMENT TENSOR ANALYSIS**

## **SUMMARY**

Key Words: Moment Tensor Solution, Seismic Moment, Moment Magnitude, Source Parameters

In this study, the source parameters of the earthquakes with magnitude equal to or greater than 4.0 occurred in Turkey between 2007 and 2008 are investigated by the seismic moment tensor method. For this purpose, 100 earthquakes with at least three station broadband data recordings in the earthquake catalog prepared by Seismology Section of Earthquake Research Department under General Directorate of Disaster Affairs are selected for the analysis. In the seismic moment tensor solutions, the data recorded at the stations of National Seismic Network operated by Earthquake Research Department is used. Source parameters (strike, dip and rake), seismic moment and moment magnitude values of these earthquakes are obtained from deviatoric moment tensor analyses based on crustal model, seismograms and catalog data. The source parameters of the earthquakes obtained from these solutions are consistent with the tectonic structure of the regions where these earthquakes have been located. The results have been compared with the existing solutions of the some seismological centres and it is considered that the study will constitute a step forward constructing a Moment Tensor Catalog for Turkey and will be helpful for the future seismotectonic studies.

## İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	i
TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER .....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	viii
TABLolar LİSTESİ.....	ix
ÖZET.....	x
SUMMARY.....	xi
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
1.1. Giriş .....	1
BÖLÜM 2.	
TÜRKİYE VE DÜNYA'DA DEPREMLER VE TÜRKİYE'NİN SİSMOTEKTONİĞİ .....	4
2.1. Türkiye'nin Sismotektoniği.....	4
2.1.1. Türkiye'deki levha hareketleri ve tektonik unsurlar.....	4
2.1.2. GPS hareketleri.....	8
2.1.3. $M \geq 6,0$ Depremlerin odak mekanizmaları.....	9
BÖLÜM 3.	
DALGA FORMU MODELLEMESİ VE MOMENT TENSÖR YÖNTEMİ	11
3.1. Dalga Formu Modellemesi.....	11
3.1.1. Ana (Temel) model.....	11
3.1.2. Kaynak - Zaman fonksiyonu.....	14

3.1.3. Cisim dalgasının modellenmesi.....	17
3.2. Sismik Moment Tensör.....	24
3.3. Çalışmada Kullanılan Sismik Moment Tensör Yöntemi.....	33
BÖLÜM 4.	
DEVIATORİK MOMENT TENSÖR YÖNTEMİ İLE YAPILAN	
ANALİZLER.....	36
4.1. Çalışmada Kullanılan Veriler.....	36
4.2. Verinin Analizi.....	44
4.3. Deviatorik Moment Tensör Ters çözüm Sonuçları.....	45
BÖLÜM 5.	
SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	59
KAYNAKLAR.....	62
ÖZGEÇMİŞ.....	65



## SİMGELER LİSTESİ

AİGM	: Afet İşleri Genel Müdürlüğü
AUTH	: Aristotle Üniversitesi Sismoloji Merkezi Thessalonike, Yunanistan
CLVD	: Dengelenmiş Lineer Vektör Çift Kutupları (Compensated : Linear Vector Dipoles)
DAD.	: Deprem Araştırma Dairesi
DC	: İkili Çift (Double Couple)
ERD	: Earthquake Research Department
ETHZ	: İsviçre Sismoloji Merkezi
GMT	: Global Harita Araçları
GPS	: Global Yer Belirleme Sistemi
HARVARD	: Harvard Üniversitesi Sismoloji Merkezi
INGV	: Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia Italy
KOERI	: Kandilli Rasathanesi Deprem Araştırma Enstitüsü
M	: Moment
MAM	: Marmara Araştırma Merkezi
Md	: Süre Magnitüd
Ml	: Lokal Magnitüd
Mo	: Sismik Moment
MT	: Moment Tensör
Mw	: Moment Magnitüd
$r_0$	: Yerin Yarıçapı
$T_D$	: Çıkış Zamanı
$T_R$	: Kırılma Zamanı
TÜBİTAK	: Türkiye Bilim ve Teknolojik Araştırma Kurumu

TÜRDEP	: Türkiye'nin Deprem Riski Yüksek Jeo-Stratejik "ancak tektonik rejimleri farklı" Bölgelerinde Deprem Davranışının Çok Disiplinli Yaklaşımlarla Araştırılması Projesi
USAG	: Ulusal Sismik Ağların Geliştirilmesi Projesi
USGS	: Amerika Jeolojik Araştırmalar Merkezi
$V_r$	: Kırılma Hızı
VR	: Varyans Azaltma (Variance Reduction)
YDBE	: Yer ve Deniz Bilimleri Enstitüsü
$\theta$	: Azimut Açısı

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1	Türkiye'nin ana neotectonic yapısını gösteren basit bir harita. Burada K-Karlıova, KM-Kahramanmaraş, ODFS-Ölüdeniz Fay Sistemi, KAFS-Kuzey Anadolu Fay Sistemi, DAFS-Doğu Anadolu Fay Sistemi, KDAFS-Kuzeydoğu Anadolu Fay Sistemidir [10].....	5
Şekil 2.2.	Afrika,Nubia, Arap, Anadolu ve Avrasya Plakalarını içeren tektonik harita. Burada NAF-Kuzey Anadolu Fay Zonu, EAF-Doğu Anadolu Fay Zonu, DSF-Ölüdeniz Fay Zonu olarak gösterilmiştir [14].....	6
Şekil 2.3.	Türkiye ve çevresinde GPS gözlemlerinden belirlenen kabuksal hız alanı ([14]'dan alınmıştır). Hız vektörlerinin yön ve büyüklüklerindeki değişime dikkat ediniz.....	9
Şekil 2.4.	Türkiye ve civarında 1983'den bu yana meydana gelmiş $M \geq 6,0$ büyüklüğündeki depremlerin odak mekanizması çözümleri, (Harvard CMT katalog).....	10
Şekil 3.1.	Uzun periyotlu bir sismometrenin alet tepkisi.....	13
Şekil 3.2.	Bir dikdörtgen fonksiyonun kırılma zaman pulsunun derivasyonu.....	14
Şekil 3.3.	Yamuk bir kaynak zaman fonksiyonunun derivasyonu.....	16
Şekil 3.4.	Kırılma yönlülüğünün kaynak zaman fonksiyonuna etkisi.....	16
Şekil 3.5.	Bir P dalgası varışının bileşenleri.....	18
Şekil 3.6.	Yüzeyden yansıyan dalgaların yolu.....	18
Şekil 3.7.	Farklı varış zamanlarına sahip P, $pP$ ve $sP$ fazlarının farklı odak mekanizmalarındaki polaritelere etkileri.....	21
Şekil 3.8.	Su tabakasının cisim dalga formlarına olan etkisi.....	22

Şekil 3.9	Kaynak zaman fonksiyonlarının cisim dalga formlarına olan etkisi.....	23
Şekil 3.10.	Faydaki atımın eşdeğeri cisim kuvvetlerinin dağılımı (a) iki tekil çift (bir ikili çift), (b) bir tekil çift ve bir kuvvet sistemi [36].....	24
Şekil 3.11.	İkili çiftlerle tanımlanan eşdeğer cisim kuvvetleri.....	25
Şekil 3.12.	Sismik yırtılma işleminde yapılan tahminlerin şematik ifadesi..	26
Şekil 3.13.	Sismik moment tensörü oluşturan dokuz kuvvet çifti.....	27
Şekil 3.14.	Seçilen moment tensörler ile ilişkilendirilen odak mekanizmaları.....	29
Şekil 4.1.	Ulusal Genişband Sismik Ağ'a ait istasyonların (yeşil eşkenar üçgenler) ve TÜRDEP projesi kapsamında kurulmuş olan Mikro Sismik Ağ'a ait istasyonların (kırmızı küçük ters eşkenar üçgenler) dağılımını gösteren harita.....	41
Şekil 4.2.	İstasyonda kullanılan cihaz ve hassasiyet grafiği, (a) İstasyonlarda kullanılan Guralp Sistem tarafından üretilen CMG-3TD modeli genişband sismometre ve sayısallaştırıcıdan oluşan sismik cihazın fotoğrafı (b). Amerika Jeolojik Araştırmalar Merkezi (USGS) tarafından hazırlanmış olan CMG-3TD cihazının sahip olduğu gürültü seviyesini gösteren grafik (Bu grafik bize cihazın hassasiyeti hakkında bilgi vermektedir.).....	42
Şekil 4.3.	Çalışmada kullanılan 2007-2008 yıllarında meydana gelmiş $M \geq 4,0$ olan depremlerin magnitüd oluş sayısı dağılımlarını gösteren histogram.....	42
Şekil 4.4.	Türkiye'de 2007-2008 yılları arasında magnitüdü 4,0 ile 5,6 arasında değişen 100 tane depremin episantrı dağılım.....	43
Şekil 4.5.	Çalışmada Devitorik Moment Tensör yöntemi ile kaynak parametreleri belirlenmiş olan tüm depremlerin odak mekanizması çözümlerinin dağılımlarını gösteren harita. Her çözüm ait olduğu depremin episantrı merkezli olarak haritaya yerleştirilmiştir.....	46

Şekil 4.6.	Çalışmada Deviatorik MT Analizi yapılan 21 Şubat 2007 Sivrice depremine ait gözlenmiş-sentetik dalga şekli karşılaştırmasını, odak mekanizması çözümü ve elde edilen sonuçları sayısal olarak gösteren şekil.....	52
Şekil 4.7.	Çalışmada Deviatorik MT Analizi yapılan 26 Aralık 2007 Bala depremine ait gözlenmiş-sentetik dalga şekli karşılaştırmasını odak mekanizma çözümü ve elde edilen sonuçları sayısal olarak gösteren şekil.....	53
Şekil 4.8.	Çalışmada Deviatorik MT Analizi yapılan 20 Aralık 2007 Bala depremine ait gözlenmiş-sentetik dalga şekli karşılaştırmasını, odak mekanizması çözümü ve elde edilen sonuçları sayısal olarak gösteren şekil. ....	54
Şekil 4.9.	Çalışmada Deviatorik MT Analizi yapılan 09 Şubat 2007 Sivrice depremine ait gözlenmiş-sentetik dalga şekli karşılaştırmasını, odak mekanizması çözümü ve elde edilen sonuçları sayısal olarak gösteren şekil.....	55
Şekil 4.10.	Çalışmada Deviatorik MT Analizi yapılan 25 Ağustos 2007 Karlıova depremine ait gözlenmiş-sentetik dalga şekli karşılaştırmasını, odak mekanizması çözümü ve elde edilen sonuçları sayısal olarak gösteren şekil.....	56
Şekil 4.11.	Çalışmada Deviatorik MT Analizi yapılan 29 Ekim 2007 Çameli depremine ait gözlenmiş-sentetik dalga şekli karşılaştırmasını, odak mekanizması çözümü ve elde edilen sonuçları sayısal olarak gösteren şekil.....	57
Şekil 4.12.	Çalışmada Deviatorik MT Analizi yapılan 28 Şubat 2007 Çüngüş depremine ait gözlenmiş-sentetik dalga şekli karşılaştırmasını, odak mekanizması çözümü ve elde edilen sonuçları sayısal olarak gösteren şekil.....	58
Şekil 4.13.	2007 ve 2008 yıllarında meydana gelmiş en büyük 6 depremin farklı sismoloji merkezleri tarafından yapılmış olan çözümleri	77

## TABLolar LİSTESİ

Tablo 3.1.	Temel odak mekanizmalarına karşılık gelen başlangıç sismogramlarının şekilleri.....	33
Tablo 4.1.	Türkiye’de 2007-2008 yılları arasında magnitüdü 4,0 ile 5,6 arasında değişen depremlere ait parametre bilgileri.....	37
Tablo 4.1.	Tablo 4.1.’in devamı .....	38
Tablo 4.1.	Tablo 4.1.’in devamı .....	39
Tablo 4.1.	Tablo 4.1.’in devamı .....	40
Tablo 4.3.	Herrin kabuk modeli [41, 42].....	44
Tablo 4.4.	Türkiye’de 2007-2008 yılları arasında magnitüdü 4.0 ile 5.6 arasında değişen depremler için bu çalışmada elde edilen kaynak parametre bilgileri.....	47
Tablo 4.4.	Tablo 4.4.’in devamı.....	48
Tablo 4.4.	Tablo 4.4.’in devamı.....	49
Tablo 4.4.	Tablo 4.4.’in devamı.....	50
Tablo 4.4.	Tablo 4.4.’in devamı.....	51

# BÖLÜM 1. GİRİŞ

## 1.1. Giriş

Depremler yüzyıllardır gerek ülkemizde ve gerekse dünyanın pek çok yerinde büyük can ve ekonomik kayıplara sebep olan doğal afetlerdir. Dünya'nın gelişmiş ülkelerinde bu doğal afet ile mücadele etmek ve afet zararlarının azaltılması için politikalar geliştirilmesi önemli bir hedeftir. Bu çerçevede depremlerin anlaşılmasına yönelik çalışmalar ve oluşturdukları afet zararlarının azaltılması için uygun kaynaklar ayrılmakta, bireylerin yerleşim ve yaşama yerlerinin nereleri olacağı belirlenmektedir. Sanayi ve yerleşim yerlerinin depremin olası etkilerinin en az olduğu bölgelerde kurulması yönünde çalışmalar yapılmaktadır. Bu amaçla Dünya'nın pek çok yerinde, özellikle yüksek deprem riski altında bulunan Amerika Birleşik Devletleri ve Japonya'da, depremin doğasını araştırmak ve depremi önceden belirlemek için birçok disiplini içeren yoğun araştırmalar sürdürülmektedir [1].

Yeryüzünde her yıl yaklaşık 140 adet yıkıcı özelliğe sahip deprem meydana gelmektedir. Bu depremler genellikle levha sınırlarına karşılık gelen dar kuşaklarda yoğunlaşmaktadır. Depremlerin yoğun olarak gözlemlendiği bölgeler Pasifik, Alp-Himalaya ve Atlantik olmak üzere üç ana kuşak oluşturmaktadır. Gutenberg ve Richter'in (1945) çalışmalarına göre, depremler sonucu enerjinin %80'i Büyük Okyanus çevresinde, %15'i Alp-Himalaya kuşağında açığa çıkmıştır [2]. Yine enerjinin %85'i sığ odaklı depremler, %12'si orta odak derinliğindeki depremler ve geri kalanı ise derin odaklı depremler sonucu açığa çıkmıştır.

Bütün dünyada yılda ortalama yedi yüz adet hasar yaratıcı deprem meydana gelmektedir. Kentsel ve nüfus yoğunluğu yüksek olan bölgelerde meydana gelen depremler, en yıkıcı doğal afetler arasında yer almaktadır.

Türkiye Dünya'nın önemli deprem kuşaklarından biri olan Alp- Himalaya deprem kuşağı üstündedir; bu nedenle deprem riskini en fazla taşıyan ve deprem zararlarının en fazla yaşandığı bir ülke konumundadır. Ülkemizde her gün aletlerin kaydettiği ve insanlar tarafından hissedilmeyen çok sayıda deprem meydana gelmektedir. Türkiye'nin 1990 yılı nüfus sayımına göre toplam nüfusunun % 98'i, yüzölçümünün de % 96'sı deprem riski altında olup; ülke yüzölçümünün % 42'si ve nüfusunun % 44'ü birinci derece deprem bölgesinde bulunmaktadır [3]. 1900-2008 yılları arasında Türkiye'de 223 adet yıkıcı özelliğe sahip deprem meydana gelmiştir [4]. Son iki bin yıl içinde Türkiye ve yakın çevresinde hasar yapan depremlerin ortalama tekrarlanma periyodu 1,1 yıldır.

Günümüzde depremlerle ilgili sürdürülen bilimsel çalışmaların başında depremlerin kaynak özelliklerinin belirlenmesi ve bu kaynak özelliklerinin yer kabuğundaki tektonik unsurlar ve gerilme alanı ile ilişkisinin araştırılması gelmektedir. Bu araştırmalar yürütülürken gözlemsel çalışmalara bağlı olarak geliştirilen modeller ve teoriler, bilimdeki ve teknolojiadaki gelişmelere bağlı olarak zaman içinde yerini fiziksel ölçümlerle elde edilen bulgularla desteklenen matematiksel ve fiziksel teorilere ve yöntemlere bırakmıştır.

Bu metotlardan biri de aynı zamanda bu çalışmanın konusunu oluşturan depremlerin odak mekanizmalarının belirlenmesinde kullanılan Sismik Moment Tensör yöntemidir. Bu yöntem ile depremlerin kaynak parametrelerinin belirlenmesine yeni bir yaklaşım ve esneklik getirilmiştir [5, 6]. Kısaca açıklamak gerekirse, moment tensör bir deprem sırasında fayın hareketinin matematiksel bir temsilidir. Moment tensör depremin kaynağının dokuz kuvvet çiftinden oluşan bir kuvvet setiyle tanımlanmasıdır. Tensör kaynağın gücüne ve fayın yönelimine bağlıdır. Tensör elemanları kaynağın büyüklüğüne (boyutlarına ve kaynaktaki yerdeğiştirme miktarına, kısaca sismik momentine) ve faylanma parametrelerine (faylanmanın doğrultusu ve eğimi ile kayma açısı) bağlı olarak değişecektir. Amaç bir matematiksel yöntem kullanarak sismik moment tensör olarak adlandırılan bir tensör ile temsil edilen deprem kaynağını gözlenmiş dalga şekilleri ile ilişkilendirmek ve bu



ilişkilendirme yardımıyla tensör elemanlarını belirleyip kaynak büyüklüğünü ve faylanma parametrelerini belirlemektedir.

Türkiye’de meydana gelmiş bazı depremlerin kaynak parametrelerinin Sismik Moment Tensör yöntemi kullanılarak belirlenmesine yönelik literatürde çeşitli çalışmalar yer almaktadır [7]. Marmara Denizinde meydana gelmiş 64 küçük-orta büyüklükteki depremin Centroid Moment Tensör (CMT) analizini yakın alan kuvvetli yer hareketi ve genişband kayıtları kullanarak yapmıştır. Elde edilen kaynak parametrelerinin gerilme alanı analizinden Doğu ve Batı Marmara’da gerilme alanları arasında fark olduğunu bulmuşlardır [8]. Doğu Anadolu platosunda meydana gelmiş 34 adet  $M \geq 3,7$  depremin bölgesel dalga şekillerinden Bölgesel Moment Tensör (RMT) analizi yapmış ve ilk hareket polaritelerinden buldukları daha küçük depremlere ait odak mekanizma çözümlerinin de yardımıyla Karlıova Üçlü Eklemleri doğusunda ve batısında deformasyon sivilinin farklı olduğunu öne sürmüşlerdir [9]. Batı Türkiye’de 2002 - 2003 yılları arasında meydana gelmiş 71 depremin RMT analizinden, Büyük Menderes ve Gediz grabenlerini birleştiren sol yanal doğrultu atımlı bir fayın varlığını öne sürerek inceleme bölgelerinde K-G yönlü genişlemenin doğrultu atımlı faylarla D-B kabuksal kısalması eşliğinde karşılandığını tüm Türkiye’de belli bir dönemde meydana gelmiş  $M \geq 4,0$  tartışmışlardır. Fakat depremlerin tümünü içeren moment tensör yöntemine dayalı bir çalışma mevcut değildir.

Bu çalışmanın amacı 2007 ve 2008 yılları içinde Türkiyede meydana gelmiş tüm  $M \geq 4,0$  olan depremlerin kaynak parametrelerinin deviatorik moment tensör ters çözüm yönetimi kullanılarak belirlemek ve Türkiye Sismik Moment Tensör kataloğunun oluşturulmasına yönelik olarak bir adım atmaktadır.

## **BÖLÜM 2. TÜRKİYE VE DÜNYA'DA DEPREMLER VE TÜRKİYE'NİN SİSMOTEKTONİĞİ**

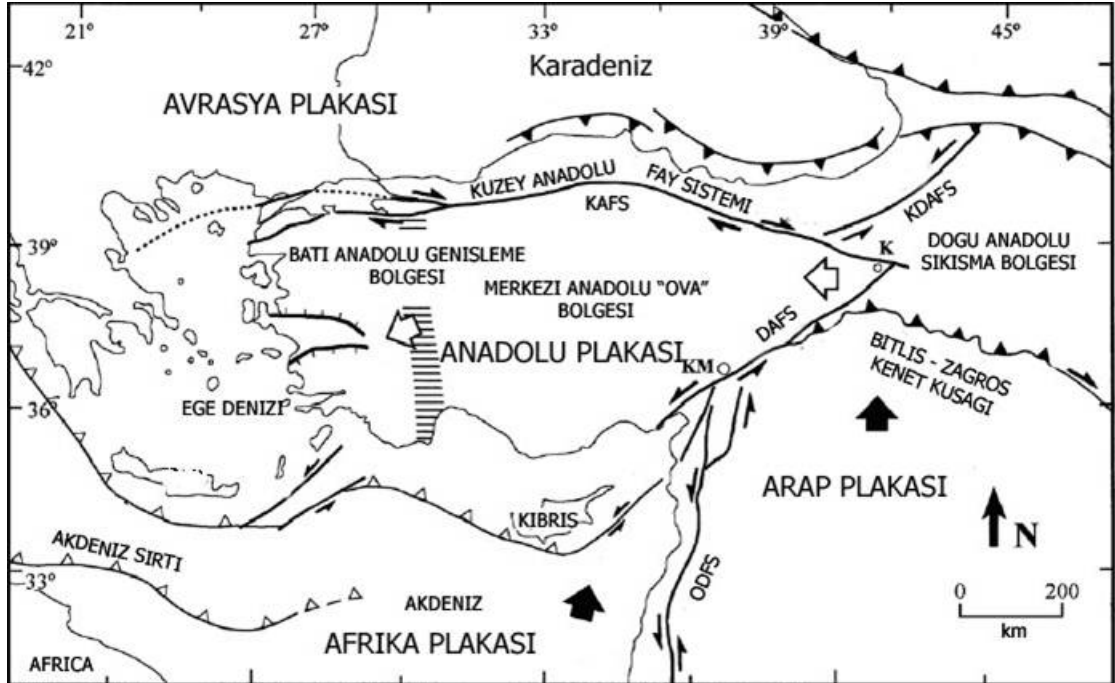
### **2.1. Türkiye'nin Sismotektoniği**

#### **2.1.1. Türkiye'deki levha hareketleri ve tektonik unsurları**

Türkiye, Dünya'nın en önemli deprem kuşaklarından olan Alp-Himalaya Deprem Kuşağı üzerinde yer almaktadır (Şekil 2.1) [10]. Yaklaşık 12 milyon yıl önce Bitlis-Zagros Kenet Kuşağı boyunca Arap levhası ile Avrasya levhası çarpışmış ve çarpışmanın ileri aşamasında, çarpışma zonunun kuzeyinde eşlenik fay sistemi oluşturan Kuzey Anadolu Fay (KAF) ve Doğu Anadolu Fay (DAF) zonları meydana gelmiştir. Bu sağ ve sol yanal doğrultu atımlı faylar boyunca Anadolu bloğu batıya doğru hareket etmeye başlamıştır (Şekil 2.2) [10, 11, 12, 13, 14].

Arap levhasının kuzeye doğru devam eden hareketi yalnızca Bitlis Kenet Kuşağı, Doğu Anadolu ve Kuzey Anadolu fayları boyunca karşılanmamıştır. Bu hareketin sonucu, Anadolu bloğu içsel deformasyona uğramaya başlamıştır. Böylece Doğu Anadolu sıkışma bölgesinde birçok KD-GB ve KB-GD doğrultulu ters atım bileşenli sol ve sağ yönlü doğrultu atımlı faylar meydana gelmiştir (Şekil 2.2) [10, 11, 13].

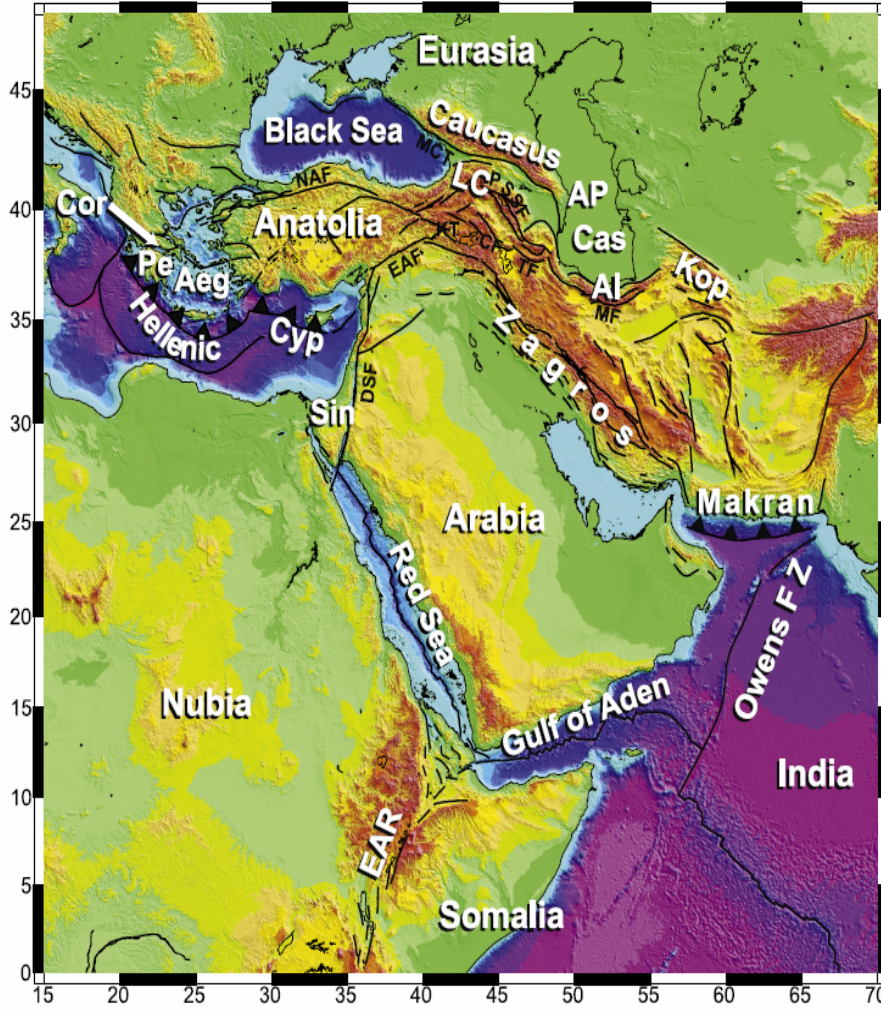
Diğer taraftan, Afrika levhasının Helenik- Kıbrıs Yayını boyunca Avrasya levhasının altına dalması devam etmiştir [10]. Ayrıca Ege Çöküntü Sistemi içerisinde büyüklükleri değişen birçok blok yer almaktadır ve bu blokların kenarları küçük doğrultu atım bileşenli normal faylar ile sınırlandırılmıştır [10, 26, 27, 28]. Bunun sonucu olarak da bölge oldukça karışık bir tektonik yapıya sahiptir.



Şekil 2.1. Türkiye'nin ana neotectonik yapısını gösteren basit bir harita. Burada K-Karlıova, KM-Kahramanmaraş, ODFS-Ölüdeniz Fay Sistemi, KAFS-Kuzey Anadolu Fay Sistemi, DAFS-Doğu Anadolu Fay Sistemi, KDAFS-Kuzeydoğu Anadolu Fay Sistemidir [10]

Türkiye'nin yukarıda sıralanan belli başlı tektonik unsurları önemli bir deprem etkinliğine neden olmaktadır (Şekil 2.2). Türkiye'de olan depremlerin yaklaşık %95'i; Kuzey Anadolu Fayı, Doğu Anadolu Fayı, Ege Graben Sistemi ve Kıbrıs-Helenik Yayı olarak bilinen bu dört bölgede meydana gelmektedir. Bu önemli deprem kuşakları aşağıda kısaca incelenecektir.

Sağ yanal bir doğrultu atımlı fay zonu olan KAFZ, sismik olarak dünyanın en önemli diri fay zonlarından birisini oluşturur [10, 11, 13, 15]. Kuzey Anadolu Fayı DAF ile kesiştiği Karlıova üçlü birleşim noktasından başlar, orta kesimi civarında dışa bükey bir yay yaparak Mudurnu vadisi segmentinin batı ucuna kadar tek bir zon olarak devam eder. KAFZ'nin uzunluğu 1000 km civarında olup, toplam atım miktarı 25 km den daha fazladır.



Şekil 2.2. Afrika, Nubia, Arap, Anadolu ve Avrasya Plakalarını içeren tektonik harita. Burada NAF-Kuzey Anadolu Fay Zonu, EAF-Doğu Anadolu Fay Zonu, DSF-Ölüdeniz Fay Zonu'nu olarak gösterilmektedir [14]

Yapısal özellikleri ile jeolojik, morfolojik ve sismolojik veriler birlikte kullanılarak, fayın yaşı, toplam atımı ve etkinliği konusunda bilgiler elde edilmeye çalışılmaktadır. KAFZ, bazı bölümlerinde tek bir çizgi şeklinde, bazı bölümlerinde 4-5 km'ye varan bir zon halinde görünmektedir [11]. KAFZ'ın tek bir çizgi halinde izlendiği yerlerde doğrultu atımlı faylara özgün tüm morfolojik şekiller gelişmiştir. Buna karşın, KAFZ'ın zon şeklinde geliştiği kesimlerde, fay segmentlerinin sıçrama ve büküm yaptığı alanların konumlarına göre sıkışmalı veya gerilmeli bölgeler ortaya çıkmıştır. Bu özelliklere bağlı olarak, fay boyunca birkaç metreden onlarca kilometre boyutuna kadar değişen, morfolojik şekillerde sağ yanal ötelenmeler gelişmiştir.

Jeolojik çalışmalar, fayın ortalama yıllık kayma hızının 0,5 cm ile 0,8 cm arasında değiştiğini göstermiştir [16, 17, 18]. Sismolojik verilere göre, fayın ortalama kayma hızı 1 cm ile 11 cm arasında hesaplanmıştır [19, 20, 21, 22]. Çok daha güvenilir kayma hızı hesaplaması GPS çalışmalarıyla yapılmıştır [14]. ve bir sonraki bölümde değinilecektir.

Türkiye'nin en etkin ve diri fay sistemlerinden birisi olan DAFZ, kuzeydoğuda Karlıova birleşim noktasından (Kargapazarı) başlar ve güneybatıda Türkoğlu kavşağına kadar devam eder. Varlığı ilk kez Allen (1969) [23], tarafından ortaya konulmuş ve Arpat ve Şaroğlu (1972)[24], tarafından adlandırılarak haritalanmıştır. Ayrıntılı segmentasyonu Barka ve Kadinsky-Cade (1988) [11] ve Şaroğlu vd. (1992) [25], tarafından çalışılmıştır. Türkoğlu kavşağında üç veya dört kola ayrılır. Kuzeydeki kollar Kıbrıs Yayı ile birleşirken güneyde kalan kolu ise Ölü Deniz Fayına doğru (ÖDF) uzanır. Doğu Anadolu fayının Karlıova'dan güneybatıya doğru olan kısmının uzunluğu 400 km olup; bu ana kısımdaki jeolojik olarak belirlenmiş kayma hızı yıllık 5 mm ve GPS ölçümleri ile belirlenmiş hız ise ~10 mm/yıl civarındadır. Sol yönlü doğrultu atımlı bir fay olan DAFZ paleosismolojik olarak KAFZ'na büyük bir benzerlik göstermektedir. Toplam uzunluğu 580 km olan DAFZ, uzunlukları 50 km ile 145 km arasında değişen 5 ayrı fay parçasından meydana gelmektedir. Bu fay parçaları; Karlıova-Bingöl fay parçası (65 km), Palu-Sincik fay parçası (135 km), Çelikhhan-Gölbaşı fay parçası (50 km), Gölbaşı-Türkoğlu fay parçası (90 km) ve Türkoğlu-Hatay fay parçası olarak tanımlanmaktadır. 135 km uzunluğundaki Palu-Sincik Fay Parçası Palu-Hazar fay parçası ve Hazar-Sincik fay parçası olarak iki bölüme de ayrılabilir.

Ege Çöküntü Sistemi, genel olarak D-B doğrultulu normal faylar ile sınırlandırılmış birçok bloktan meydana gelmektedir [10, 26, 27, 28]. Bu bloklar arasında, D-B uzanımlı çöküntü alanlar yer almaktadır. Bölge, genel olarak KKD-GGB yönlü bir çekme rejiminin etkisi altında bulunmaktadır. Bölgede hakim olan KKD-GGB ana genişleme yönü, bu depremlerin odak mekanizma çözümlerinden elde edilmiş T eksenleri'nin yönleri ile uyumluluk göstermektedir [19, 29, 30, 31, 32].

Girit-Kıbrıs Yayı, Türkiye'nin güney kıyısı yakınlarında, Girit adasının güneyinden geçerek kuzeydoğu yönünde Rodos adasının güneyinden Fethiye Körfezi'ne doğru uzanır [12]. Isparta açısının batı cephesini oluşturan sol yanal Fethiye-Burdur fay zonu denizde Helenik yayı ile birleşirken doğu cephesini oluşturan sağ yanal Akşehir fay zonu'da denizde Kıbrıs yayı ile birleşir. Güney Batı Türkiye'de önemli bir tektonik unsur olan Isparta açısının yapısı halen tartışma konusudur.

### 2.1.2. GPS hareketleri

Doğu Akdeniz, Asya'nın alt kısmı, Orta Doğu ve Kuzey Afrika, Dünya'nın dört ana litosfer plakası olan Arabistan, Afrika, Avrasya ve Anadolu levhaları ile ilişkili karmaşık bir tektonik zondur. GPS gözlemleri Arap ve Avrasya levhası sabit kabul edildiğinde Afrika levhasının kuzey yönünde yavaşça (~5mm/yıl) hareket ettiğini ve Arap ve Anadolu levhalarının ise saat yönünün tersinde bir dönme hareketi sergilediğini Şekil 2.3'de göstermektedir [14]. Arap levhası yaklaşık 15mm/yıl'lık bir hız ile Anadolu levhasına Bitlis Kenet Kuşağı boyunca bindirmektedir. Günümüzde bu hareketin büyük kısmının Doğu Anadolu bloğuna ve Anadolu levhasına iletildiği öne sürülmektedir [33, 14].

Bu iletilen hareketten kaynaklanan deformasyon Doğu Anadolu levhası içinde dağınık haldeki sağ-yanal ve sol-yanal doğrultu atımlı fay zonları ile batıda sağ yanal KAFZ ve sol-yanal DAFZ ile karşılanmaktadır. Arap levhasının Güneydoğu Türkiye'de hızı 18 m/yıl civarındadır (Şekil 2.3). Ancak bu kabuksal hız Anadolu levhası içinde batıya doğru artmaktadır. Orta Türkiye'de ~21mm/yıl iken Orta Batı Türkiye'de ~25mm/yıl, Orta ve Güney Ege'de ~ 31mm/yıl civarındadır. Ayrıca, Anadolu levhası içinde KAFZ civarında KB yönlü olan GPS hız vektörleri batıya doğru yavaş yavaş GB'ya yönelmektedir. Reilinger vd.(2006) [14], gözlenen bu GPS kabuksal hız alanından KAFZ üzerinde ~25mm/yıllık DAF üzerinde ise 10mm/yıllık bir kayma hızı hesaplamıştır.







Şekil 2.4. Türkiye ve civarında 1983'den bu yana meydana gelmiş  $M \geq 6,0$  büyüklüğündeki depremlerin odak mekanizması çözümleri [34]



## BÖLÜM 3. DALGA ŞEKLİ MODELLEMESİ VE MOMENT TENSÖR

### 3.1. Dalga Formu Modellemesi

P dalgasının ilk hareketi odak mekanizmalarını kısıtlamak için çoğunlukla yeterli değildir. Gözlenen cisim ve yüzey dalgalarını değişik kaynak parametreleri için hesaplanan teorik veya sentetik dalga biçimleri ile karşılaştırarak ve ileri modelleme ya da ters çözüm ile veriye en iyi uyum model bulunarak ilave bilgiler elde edilebilir. Dalga şekli analizi aynı zamanda deprem derinlikleri ve ilk hareketlerden çıkarılmayan kırılma süreci hakkında bilgi verir. Aşağıdaki bölümlerde dalga modellemesi teorisi ve cisim dalga modellemesi ayrıntılı bir şekilde çeşitli kaynaklardan derlenerek anlatılacaktır [35, 36].

#### 3.1.1. Ana (Temel) model

Bir sismogramda kaydedilen yer hareketi deprem kaynağı, dalgaların yayıldığı yeryüzü yapısı ve sismometrenin bir kombinasyonu olarak dikkate alınırsa sismogram,  $u(t)$ , değişik frekansların katkısını temsil eden Fourier Transformu,  $U(\omega)$ , cinsinden aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$u(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} U(\omega) e^{i\omega t} d\omega \quad U(t) = \int_{-\infty}^{\infty} u(\omega) e^{-i\omega t} dt \quad (3.1)$$

Sentetik sismogramları depremlerden türetmek için değişik faktörlerin kombine edilmiş etkisi her bir faktörü temsil eden zaman serilerinin konvülasyonu olarak tarif edilebilir. İki zaman serisinin;  $\omega(t)$  ve  $r(t)$ , konvülüsyonunu şu şekilde yazabiliriz.

$$s(t) = \omega(t) * r(t) = \int_{-\infty}^{\infty} \omega(t - \tau) r(\tau) d\tau \quad (3.2)$$

Bu durumda bir sismogram,  $u(t)$ , şu şekilde yazılabilir,

$$u(t) = x(t) * e(t) * q(t) * i(t) \quad (3.3)$$

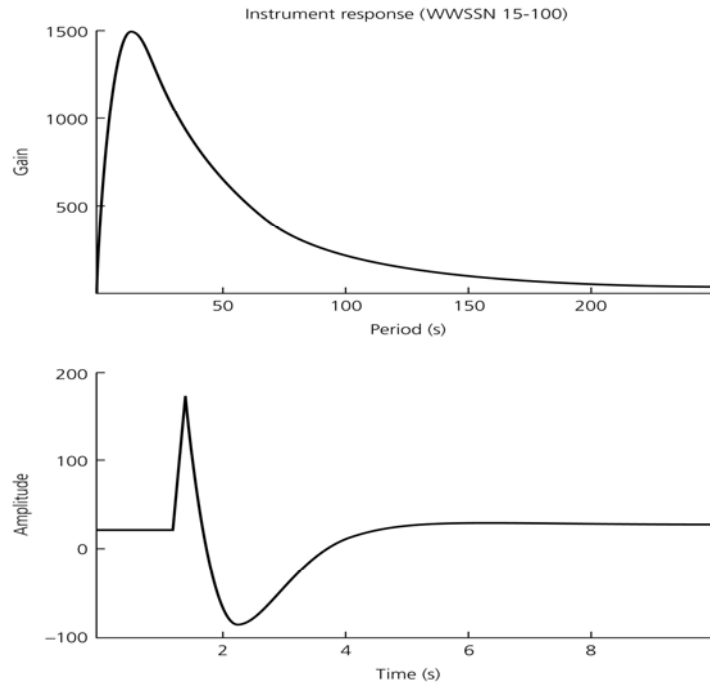
Burada;  $x(t)$  kaynak zaman fonksiyonu, “sinyal” deprem yerin içerisine girer;  $e(t)$  ve  $q(t)$  yer yapısının etkilerini ifade eder; ve  $i(t)$  sismometrenin alet tepkisini tarif eder. Zaman uzayındaki konvülasyon frekans uzayı içerisinde çarpıma eşit olduğundan Denklem 3.3 dört faktörün Fourier Transformatları'nın çarpımı olarak aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$U(\omega) = X(\omega) \cdot E(\omega) \cdot Q(\omega) \cdot I(\omega) \quad (3.4)$$

Her bir faktör zaman ya da frekans uzayında tarif edilebilir. Örneğin, sismogram sismometrenin değişik frekanslarında yer hareketine nasıl tepki verdiğine bağlıdır. Şekil 3.1 uzun periyotlu bir sismometre için alet tepkisini ve sinyalin büyütmesini periyodun bir fonksiyonu olarak göstermektedir. En büyük tepki civarındaki periyotlardaki ( $T = 15$  sn) yer hareketi daha uzun ya da kısa periyotlara kıyasla artar.

Sismometre tepkileri değişebilir; bazıları kısa periyotlarda (örneğin, 1 sn) en büyük tepkiye sahipken bazıları daha uzun periyotlarda daha iyi tepki verebilir. Sismometre tepkisi zaman uzayında bunun ters Fourier Transformu'nu alarak tarif edilebilir. Elde edilen zaman serileri  $i(t)$ , sismometrelerin sert impulslara nasıl tepki verdiğini tarif eden impuls tepkisidir. Şekil 3.1'de gösterilen sismometre sert keskin bir başlangıç en büyük impulsa sahiptir ve bunu tersi istikamette daha az keskin olan kıvrımlı pikler takip eder.

Bu formulasyonda yer yapısının etkileri iki faktöre ayrılır. Birincisi;  $e(t)$  ışın yolu boyunca farklı ara yüzelerde sismik dalgaların dönüşümünün, yansımalarının ve hız yapısı nedeniyle ışınların geometrik yayılımlarının etkilerini verir.



Şekil 3.1. Uzun periyotlu bir sismometrenin alet tepkisi

Bütün bu etkiler elastik dalga olayıdır. Bunun yanısıra sismik dalgaların mekanik enerjisinin bir kısmının ısıya dönüşerek kaybolması sonucu oluşan elastik ötesi (anelastik) sönüm,  $q(t)$ , vardır. Sönüm,  $\omega$  frekansına sahip sönümlenmiş harmonik salınımın zaman ile düşüşü olarak şu şekilde yazılabilir:

$$f(t) = Ae^{i\omega t} e^{-\omega t / 2Q} \quad (3.5)$$

Kalite faktörü  $Q$  sönümü niteler. Öyle ki genlik  $2Q/\omega$  zamanı içerisinde  $e^{-1}$  ile azalır. Böylece  $Q$  ne kadar yüksek ise düşüş ve nitekim sönüm o kadar yavaştır.  $q(t)$  veya  $Q(\omega)$  operatörleri sentetikleştirilen sismogramı oluşturan frekans aralığı boyunca sönümün etkisini tarif eder.



$$r \approx r_0 - L \cos \theta \quad (3.7)$$

Bu nedenle, sonlu fay boyundan dolayı zaman pulsu sürenin bir dikdörtgen fonksiyonu şeklindedir. Kırılma zamanı olarak bilinen  $T_R$  şöyledir;

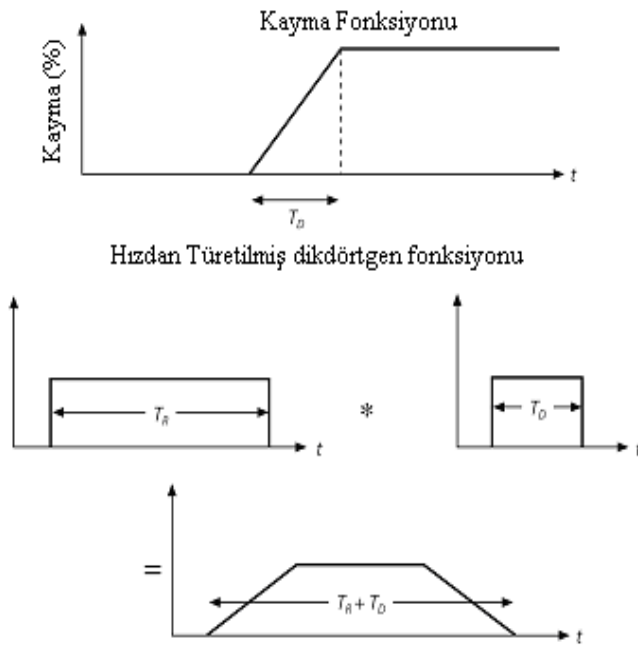
$$T_R = L(1/v_R - \cos \theta / v) = (L/v)(v/v_R - \cos \theta), \quad (3.8)$$

$v_R$  tipik olarak kayma hızı  $\beta$ 'nin yaklaşık olarak 0,7-0,8 katı olarak varsayıldığından  $v/v_R$  kayma dalgaları için yaklaşık olarak 1,2, P dalgası için 2,2'dir. Maksimum süre kırılma yönünden  $180^\circ$ 'de, minimum ise kırılma yönünde olur. Bu ifadeler farklı fay şekilleri ve kırılma ilerleyiş yönleri (örneğin, yuvarlak bir fayın merkezinden dışa doğru ilerleyen bir kırılma) için revize edilebilir.

Zaman fonksiyonunu uzatan ikinci etki, fay üzerinde tek bir yerde dahi kaymanın ani olarak meydana gelmemesinden kaynaklanır. Başka bir deyişle, kayma geçmişi Şekil 3.3'de gösterildiği üzere çoğunlukla sıfır zamanında başlayan ve  $T_D$  çıkış zamanında sona eren bir ramp (yokuş) fonksiyonu olarak modellenir. Kaynak zaman fonksiyonu kısım kayma geçmişinin türevine bağlıdır.

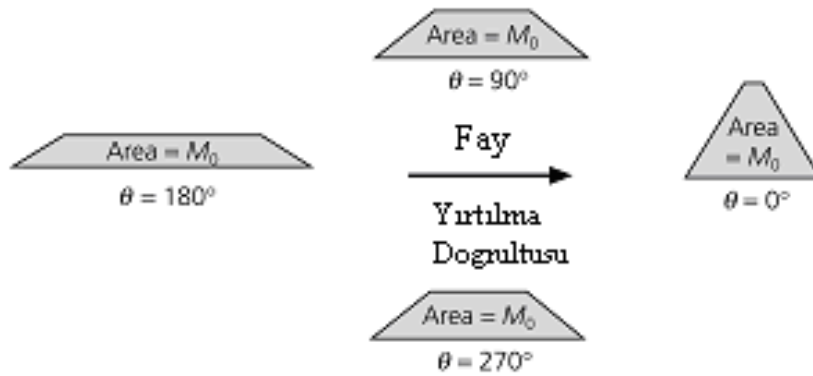
Bir ramp (yokuş) fonksiyonu için türev bir dikdörtgen fonksiyonudur. Sonu olma ve çıkış zamanı etkilerinin konvülasyonu boyu, çıkış ve kırılma zamanlarının toplamı olan bir yamuk verir ve bu şekil çoğunlukla deprem kaynak zaman fonksiyonunu temsil etmek için kullanılır. Sismogramlar kaynak zaman fonksiyonunun detaylarına çoğu zaman duyarız olduğundan diğer şekiller de (örneğin, üçgen) kullanılır. Fakat büyük depremler için cisim dalga modellemesi, fay boyunca kaymanın mekan ve zamanın fonksiyonu olarak değişimine karşılık gelen daha karmaşık bir zaman fonksiyonu verebilir.

Yayılan puls, sonlu kırılma boyundan Denklem 3.8 dolayı kırılma yönünden azimutun bir fonksiyonu olarak zaman süreci içerisinde değişir. Pulsun alanı tüm azimutlarda aynı olduğunda kaynak zaman fonksiyonunun büyüklüğü onun süresi ile ters olacak şekilde Şekil 3.4'de gösterildiği gibi değişir.



Şekil 3.3. Yamuk bir kaynak zaman fonksiyonunun derivasyonu

Bazı durumlarda, yönelim etkisi olarak adlandırılan bu etkiler fay düzlemini belirlemek ve kırılma ilerlemesini çalışmak için kullanılabilir. Yönlülük, ses ve ışık dalgaları için Dopler etkisi ile ilişkilidir. Bu etki, salıncak gözlemciye doğru hareket ettiğinde salıncığın frekansını yüksek frekanslara ve tersi yönünde hareket ettiğinde düşük frekanslara değiştirir. Yönelim etkisi bir fayın değişik parçaları arasındaki girişimden kaynaklanırken, Dopler etkisi en basit şekli ile hareket eden bir nokta kaynak için meydana gelir.



Şekil 3.4. Kırılma yönlülüğünün kaynak zaman fonksiyonuna etkisi

Denklem 3.8'de verilen kırılma zamanı,  $T_R$ , L boyuna sahip bir fayın değişik parçalarından v hızıyla hareket eden dalgaların varış zamanındaki farkı ifade etmektedir ve bu yaklaşık olarak  $L/v$ 'ye eşittir. Eğer  $T_R$  sismik dalganın periyoduna kıyasla farklı ise varan dalga şekli belirgin şekilde etkilenecektir.  $T_R$ 'nin dalganın periyoduna oranı şöyledir:

$$\frac{T_R}{T} = \frac{L/v}{\lambda/v} = \frac{L}{\lambda} \quad (3.9)$$

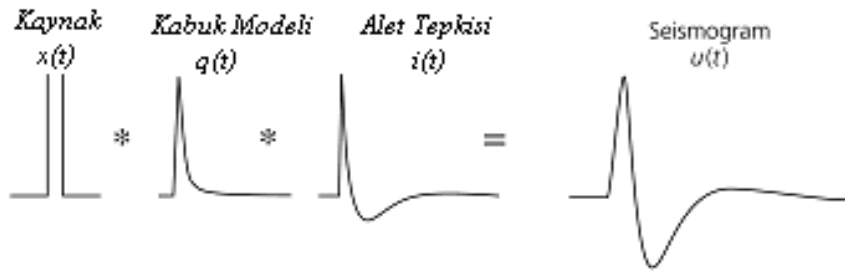
Yukarıdaki denklemde hesaplanan oranın küçük olduğu durumda fayın boyu sismik dalgaların dalga boyuna kıyasla kısadır. Bu durumda kaynağın sonluluğu ihmal edebilir ve bir nokta olarak kabul edilebilir.

Denklem 3.9'a göre cisim dalgaları için bir fay sonlu görülebilirken yüzey dalgaları için bu mümkün olmayabilir. Örneğin,  $M>6,0$  olan bir deprem için olası 10 km uzunluğunda bir fay, 8 km/sn ile ilerleyen 1 sn'lik cisim dalgasının dalga boyu ile kıyaslanabilir; fakat bu 4 km/sn ile ilerleyen 50 sn'lik yüzey dalgasının 200 km dalga boyuna kıyasla küçüktür. Öte yandan  $M>8,0$  büyüklüğündeki bir deprem için beklenen 300 km uzunluğunda bir fay her iki dalga için sonlu kaynak olabilir.

### 3.1.3. Cisim dalgasının modellenmesi

Işın yolu boyunca yansımalar ve iletimlerin etkilerini temsil eden elastik yapı operatörü,  $e(t)$ , fiziksel özelliklerde en büyük değişikliğin olduğu yeryüzü yakınındaki etkileşimleri yansıtır.

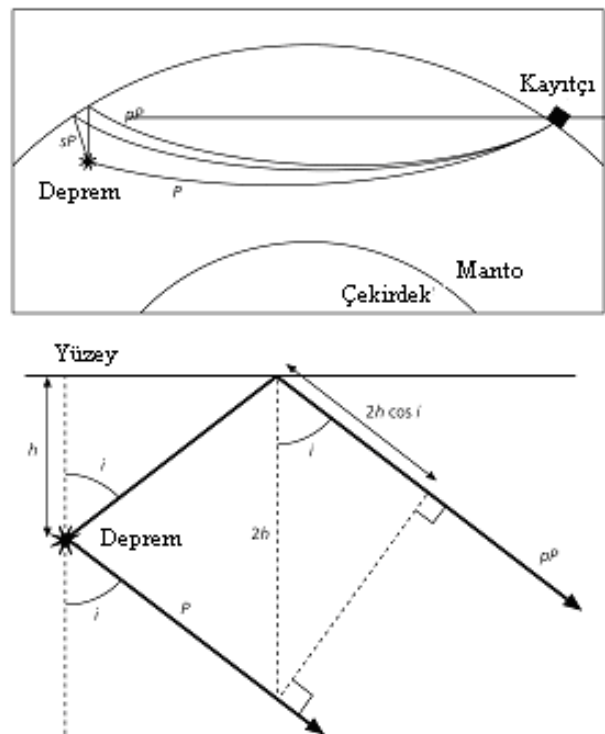
Derin bir deprem için, yüzey yansımaları ve diğer yansımış, kırılmış ve sapmış varışlar P dalgalarından çok daha sonra varır. Bu nedenle P dalgası bunlar olmadan tarif edilebilir. Ayrıca kaynaktan  $30^\circ < \Delta < 90^\circ$  mesafelerde, üst kabuk ve çekirdek yapısının etkileri ihmal edilebilir. Bu nedenle bir sismogram üzerindeki ilk pulsu tarif etmek için yapı operatörü ihmal edilebilir ve Şekil 3.5'de gösterildiği üzere sadece kaynak, sönüm ve sismometre dikkate alınabilir.



Şekil 3.5. Bir P dalgası varışının bileşenleri

Diğer taraftan, sığ bir deprem için, yer yüzeyinden uzaktaki yansımalar direkt varıştan hemen sonra varır. Bu nedenle P dalgası varışının ilk birkaç dakikası Şekil 3.6'da gösterilen üç varışın toplamı olarak modellenebilir: direkt P dalgası, yüzeyden yansıyan P dalgası,  $pP$ ; ve yüzeyde P dalgasına dönüşen S dalgası,  $sP$ .

İki yüzey yansıması direkt P dalgasından sonra varır. Şekil 3.6  $pP$ 'nin P'ye göre yaklaşık olarak şu kadar geçtiğini gösterir:



Şekil 3.6. Yüzeyden yansıyan dalgaların yolu



$$\delta t_{pP} = (2h \cos i) / \alpha \quad (3.10)$$

Burada,  $i$  ve  $\alpha$ , P dalgaları için sırasıyla ışının odağı terkediş açısı ve hızıdır. Poisson bir katı için sP şu kadar ertelenir:

$$\delta t_{sP} = (h / \alpha)(\cos i + (3 - \sin^2 i)^{1/2}) \quad (3.11)$$

Sığ depremler için başlangıç dalga biçimi üç varışı da yansıtır. Örneğin,  $\alpha=6,8$  km/sn ye sahip bir ortamda 10 km derinliğinde bir kaynak için ışının odağı terkediş açısının  $24^\circ$  olduğu  $\Delta=50^\circ$  mesafesinde  $\delta t_{pP}$  ve  $\delta t_{sP}$  gecikmeleri sırasıyla 2,7 sn ve 3,8 sn dir. Bu varışları P varışından ayırmak zordur. Çünkü sismometrenin impuls tepkisi (Şekil 3.1) diğerleri varmadan önce direkt varışa tamamen tepki veremeyecek kadar uzundur.

Sentetik dalgaları üretmek için Denklem 3.3'deki 4 faktör birleştirilebilir. Kaynaktan  $30^\circ - 90^\circ$  mesafelerdeki bir başlangıç P dalgası varışı için yerdeğiştirme zaman, mesafe ve azimutun bir fonksiyonu olarak şöyledir:

$$u(t, \Delta, \phi) = i(t) * q(t) * \frac{M_0}{4\pi\rho_h\alpha_h^3} \frac{g(\Delta)}{a} C(i_0) x \left[ \begin{array}{l} R^p(\phi, i_h)x(t-\tau^p) + R^p(\phi, \pi-i_h)\Pi^{pp}(i_h)x(t-\tau^{pp}) + \\ R^{sv}(\phi, \pi-i_h) \frac{\alpha_h \cos i_h}{\beta_h \cos i_h} \Pi^{sp}(j_h)(t-\tau^{sp}) \end{array} \right] \quad (3.12)$$

Denklem 3.12'deki formülasyon sismometre ve sönüm faktörlerini ve kaynak ile yapı faktörlerini birleştiren üçüncü terimi içerir. Bu karmaşık görünen terim her biri fiziksel anlama sahip farklı parçalara sahiptir. Genlik skala faktörü  $(M_0/4\pi\rho_h\alpha_h^3)$  depremin sismik moment  $M_0$  ve  $h$  kaynak derinliğindeki yoğunluk ve P dalga hızını içerir.  $g(\Delta)/a$  faktörü (Burada  $a$  dünyanın yarıçapıdır) ışınların geometrik yayılımdan dolayı genlik değişimlerini tarif eder.  $C(i_0)$  faktörü ışınlar alıcıya  $i_0$  oluş açısıyla vardığı serbest yüzeyin etkileri için genliği düzeltir. Köşeli parantezin

içindeki terim P, pP ve sP'ye karşılık gelen üç parçaya sahiptir. Her biri o ışın için seyahat zamanı kadar geri kalmış kaynak zaman fonksiyonu  $x(t)$  içerir:  $\tau^P$ ,  $\tau^{pP}$  ve  $\tau^{sP}$ . Her varışın genliği aşağıda gösterildiği üzere o dalga tipi için kaynaktaki cisim dalga yayılım örüntüsüne bağlıdır:

$$\begin{aligned}
 R^P(\phi, i) &= s_R(3 \cos^2 i - 1) - q_R \sin 2i - p_R \sin^2 i, \\
 R^{SV}(\phi, i) &= \frac{3}{2} s_R \sin 2j + q_R \cos 2j + \frac{1}{2} p_R \sin 2i, \\
 R^{SH}(\phi, i) &= -q_L \cos j - p_L \sin i,
 \end{aligned} \tag{3.13}$$

Denklem 3.13'de i ve j sırasıyla P ve S dalgaları için terketme açısı ve  $s_R$ ,  $q_R$  ve  $p_R$  fayın atımı, dalımı ve atım açıları  $\phi_f$ ,  $\delta$ ,  $\lambda$  ve istasyona doğru azimutu  $\phi$  (Kuzey'den saat yönünde) içeren bir takım fay geometri faktörleridir.

P – SV dalgaları için bu faktörler;

$$\begin{aligned}
 s_R &= \sin \lambda \sin \delta \cos \delta, \\
 s_R &= \sin \lambda \cos 2\delta \sin(\phi_f - \phi) + \cos \lambda \cos \delta \cos(\phi_f - \phi), \\
 s_R &= \cos \lambda \sin \delta \sin 2(\phi_f - \phi) - \sin \lambda \sin \delta \cos \delta \cos 2(\phi_f - \phi),
 \end{aligned}$$

SH dalgalar için;

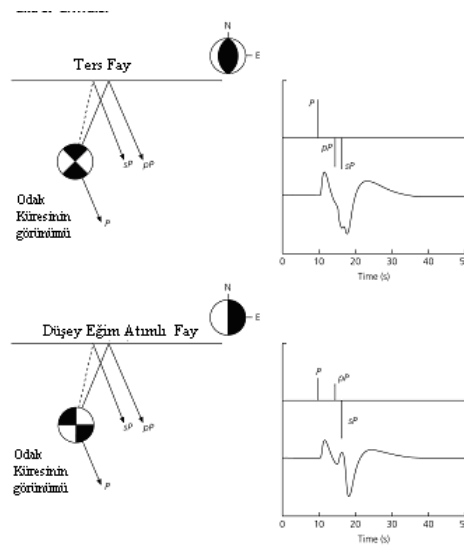
$$\begin{aligned}
 p_R &= \sin \lambda \sin \delta \cos \delta \sin 2(\phi_f - \phi) + \cos \lambda \sin \delta \cos 2(\phi_f - \phi), \\
 q_R &= -\cos \lambda \cos \delta \sin(\phi_f - \phi) + \sin \lambda \cos 2\delta \cos(\phi_f - \phi),
 \end{aligned} \tag{3.14}$$

Yansımış fazların genlikleri aynı zamanda oluş açlarına bağlı serbest yüzeydeki düzlem dalga potansiyel yansıma katsayıları  $\Pi^{PP}(i_h)$  ve  $\Pi^{SP}(i_h)$ 'yi içerir. Son

olarak sP terimi, kaynak yakınlarındaki yüzeydeki dalganın bir düzlem dalgasına göre küresel dalga olarak daha iyi ele alındığı gerçeğini içeren birçok etkiyi içerisine alan  $(\alpha_h \cos i_h)/(\beta_h \cos j_h)$  faktörü ile ölçeklenmiştir.

SH dalgaları, S dalgası hızı, take-off açıları, gecikme zamanı ve SH-dalga yayılım örüntüsü  $R_{SH}$  ile Denklem 3.12'ye benzer bir ifade kullanarak direk S ile sS'i toplamak suretiyle modellenebilir.

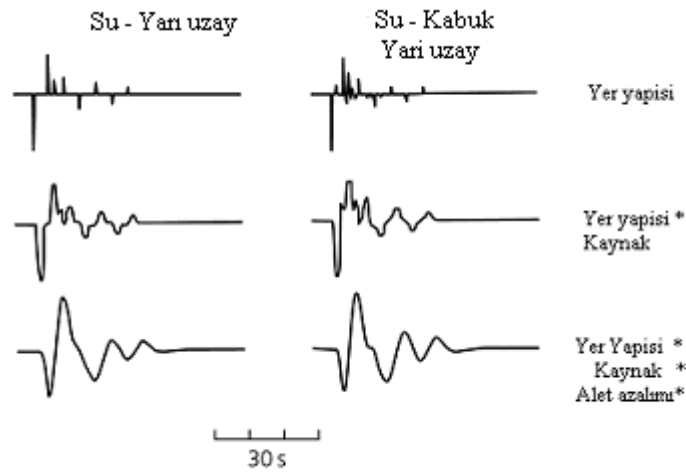
Bu formülasyon, sentetik cisim dalga sismogramlarının varış zamanları arasındaki farkı belirlediği varsayılan odak derinliği; varışların görece genliklerini belirleyen faylanma mekanizması, pulsun şeklini belirleyen kaynak-zaman fonksiyonuna nasıl bağlı olduğunu gösterir. Şekil 3.7'de bu kavram, birisi düşey, diğeri 45° eğimli iki eğim-atımlı faydan kaynaklanan P dalgaları için gösterilmektedir. Varış, ilk önce impuls olarak daha sonra sismometre ve sönüm operatörleri ile konvülsiyon olarak gösterilmiştir. Birisinde  $_pP$ , P ile aynı polaritede odak küresini terk ederken, diğeri ters bir polarite ile terk eder. Daha sonra  $_pP$  polaritesi, serbest yüzeyde ters döner. Bu nedenle, bir sismogram üzerinde  $_pP$ 'nin P'den ters polariteye sahip olması gerekmez. Sonuç olarak görece polariteler ve varışların genlikleri faylanma mekanizması ile değişir.



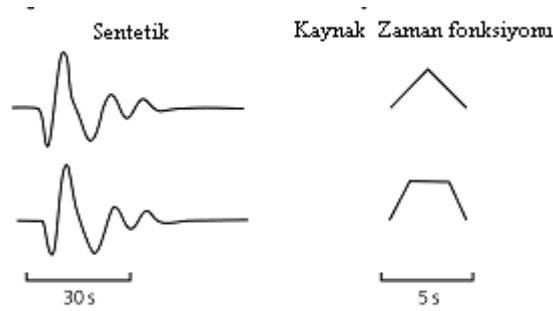
Şekil 3.7. Farklı varış zamanlarına sahip P,  $_pP$  ve  $_sP$  fazlarının, farklı odak mekanizmalarındaki polaritelere etkileri

Kaynak parametreleri, değişik değerler için sentetik sismogramlar üreterek, veriye en iyi uyan sentetik sismogramı bularak çalışılabilir. Çoğunlukla ilk hareket ile cisim dalgası ve yüzey dalgası analizleri kombine edilir. İlk hareket verisi değişik odak mekanizmaları ile çoğunlukla birbirini tutmasına rağmen, bir arada kullanılan değişik metodlar genellikle uygun ve daha iyi kısıtlanmış sonuç verir.

Zaman fonksiyonun detaylarının nasıl daha iyi bir şekilde çözümlenebileceği, kullanılan sismometrenin çeşidi ve depremin büyüklüğünü içeren faktörlere bağlıdır. Önemli bir faktör sönüm miktarını etkileyen kaynak ile alıcı arasındaki mesafedir. Puls seyahat ederken, pulsun şeklini belirleyen yüksek frekanslar, tercihen sönüm ile azalır. Çünkü Denklem 3.5’de gösterildiği üzere genlik  $2/Q\omega$  zaman içerisinde  $1/e$  kadar azalır. Bu nedenle, verilen bir Q için yüksek frekanslar daha hızlı azalır. Bundan dolayı, sismogram hem sönümün, hem de sismometrenin etkileriyle özellikle uzun periyotlu sismometreler için (Şekil 3.8) yumuşatılır. Bunun sonucunda telesismik mesafelerdeki cisim dalga pulsları yaklaşık olarak aynı süreye sahip, değişik kaynak zaman fonksiyonlarına benzer görülür (Şekil 3.9). Diğer taraftan, bir depreme ait kaynak-zaman fonksiyonunun ayrıntılı, depreme yakın-alan kuvvetli yer hareketi kayıtları ve geniş frekans aralığına sahip genişband sismometreler ile verilebilir.



Şekil 3.8. Su tabakasının cisim dalga formlarına olan etkisi



Şekil 3.9. Kaynak zaman fonksiyonlarının cisim dalga formlarına olan etkisi

Büyük depremler, genellikle uzun fayların üzerinde olur ve dolayısı ile uzun süreli zaman fonksiyonlarına sahiptirler. Bu nedenle, yerdeğiştirme sürecinin detaylarının çözümlenmesi çoğu zaman olasıdır.

Kaynak-zaman fonksiyonlarını tahmin etmek için kullanışlı bir yol Green fonksiyonuna dayanmaktadır. Green fonksiyonu şu şekilde yazılabilir:

$$g(t)=e(t)*q(t) \quad (3.15)$$

Bu fonksiyon kaynaktan alıcıya yayılımın elastik ve elastik ötesi etkilerini birleştirir. Green fonksiyonu kaynak zaman fonksiyonunun bir delta fonksiyonu olduğu durumda sismometreye varacak sinyali tanımlar. Bu nedenle depremin kaynak zaman fonksiyonu Green fonksiyonu ve sismogram  $u(t)$ 'den sismometreyi dekonvolusyon edilerek şu şekilde bulunur:

$$x(t) = u(t) * [g(t) * i(t)]^{-1}, \quad X(\omega) = \frac{U(\omega)}{G(\omega)I(\omega)} \quad (3.16)$$

Dekonvolusyon zaman ya da frekans uzayında yapılabilir. Spektrumun frekans uzayında bölünmesi daha kolaydır. Bu yapılırken bazı frekanslarda küçük genlikler ile bölünmesinden kaçınmak gerekir.

Büyük karmaşık bir deprem, fay bölgesinde basit bir kaynak için türetilmiş Green fonksiyonları kullanarak modellenebilir. Sismogram, değişik zamanlarda,  $C_j$ , değişik

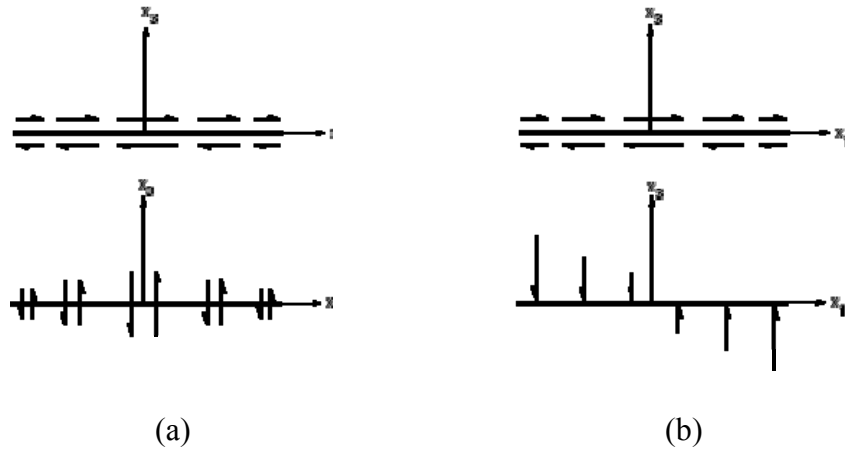
genliklere,  $\tau_j$ , sahip kaynak-zaman fonksiyonlarının toplamı olarak şu şekilde elde edilir:

$$u(t) = \sum_{j=1}^K C_j [x(t - \tau_j) * g(t) * i(t)] \quad (3.17)$$

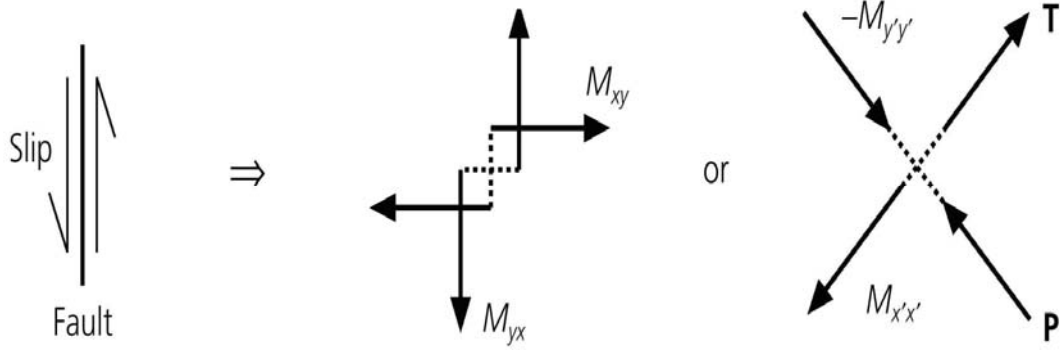
### 3.2. Sismik Moment Tensör

Moment tensör bir deprem sırasında fayda oluşan kuvvetleri gösteren matematiksel bir ifadedir. Başka bir deyişle moment tensör bir faydaki atımdan dolayı oluşan depremin ürettiği sismik dalgaları yaratabilecek faylanmanın eşdeğeri cisim kuvvetlerinin matris biçiminde gösterilmesidir.

Kaynak yakınında kuvvet eşdeğerlerinin tek bir çözümü yoktur ve faydaki atım Şekil 3.10a'da gösterildiği gibi iki tekil çift (bir ikili çift), Şekil 3.10b'deki bir tekil çift ve bir kuvvet sistemi ya da bir tekil çiftin tekil çift veya tekil kuvvet sistemi ile herhangi bir kombinasyonuna eşdeğerdir (Aki ve Richards 1980)[36].



Şekil 3.10. Faydaki atımın eşdeğeri cisim kuvvetlerinin dağılımı: (a) iki tekil çift (bir ikili çift), (b) bir tekil çift ve bir kuvvet sistemi [36]



Şekil 3.11. İkili çiftlerle tanımlanan eşdeğer cisim kuvvetleri

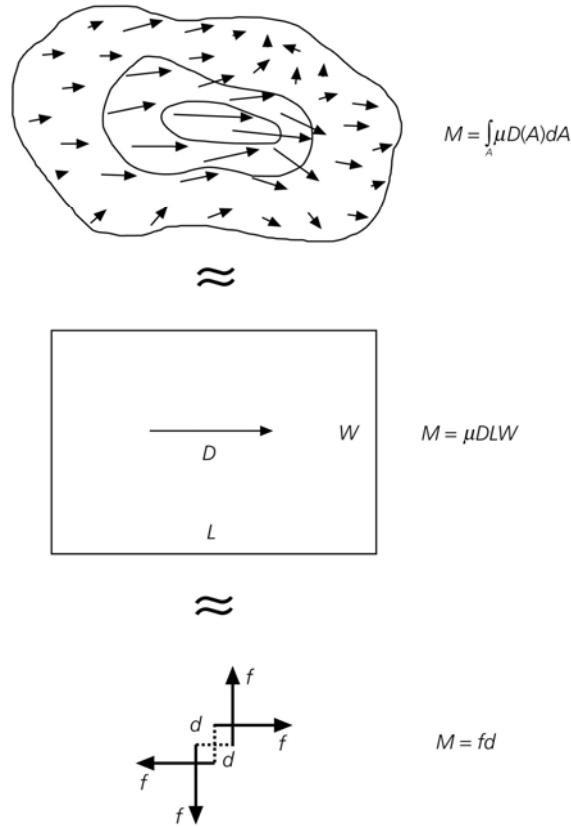
Şekil 3.11’de bir depremin fay geometrisi ile eşdeğer cisim kuvvetlerinin ikili çifti arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Bu şekilde y-z düzlemi içinde bir fay üzerinde  $\pm y$  yönünde sol yanal atıma eşdeğer cisim kuvvetleri  $M_{xy} + M_{yx}$  ikili çift kaynağı oluşturmaktadır.

Kuvvetler kayma doğrultusunda oluşacağından  $M_{yx}$  çiftinin oluşması beklenir.  $M_{xy}$  çifti ise fay üzerindeki net burulmanın engellemesi için gereklidir. Eşdeğer cisim kuvvetlerinin büyüklüğü  $M_0$ , depremin skalar momentidir. Birimi ise bir kuvvet çiftine benzer şekilde dyn-cm cinsindedir. Eğer  $M_{xy}$  ve  $M_{yx}$  birim büyüklüğe sahip çiftlerse, moment tensör;

$$M = M_0 (M_{xy} + M_{yx}) \quad (3.18)$$

Böylece, bir depremin moment tensörü değişik bileşenler aracılığı ile fayın geometrisini ve skalar moment aracılığı ile onun ölçüsünü gösterir.

Moment tensör, düzensiz bir fay üzerinde zamanda ve mekanda değişen yerdeğiştirmeleri içeren karmaşık bir yırtılma ile açığa çıkan sismik dalgaları veren basit bir matematiksel gösterimdir (Şekil 3.12).



Şekil 3.12. Sismik yırtılma işleminde yapılan tahminlerin şematik ifadesi [36]

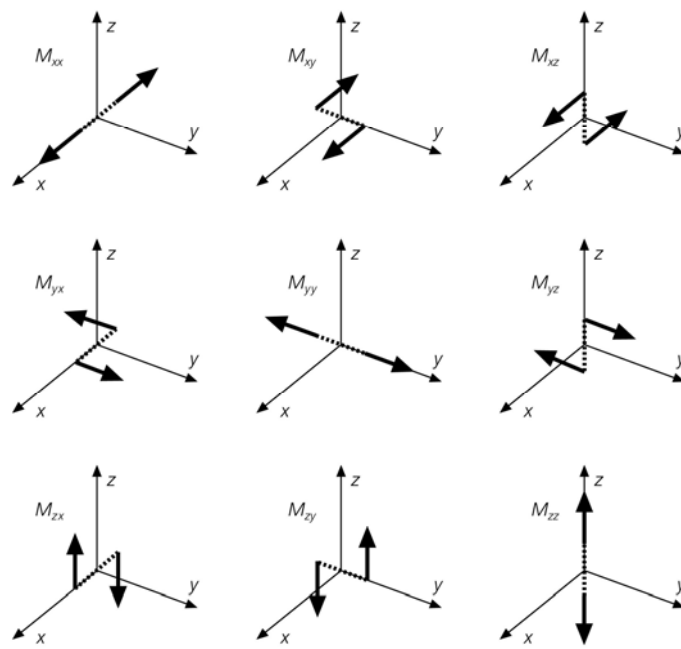
Değişik geometriye sahip sismik kaynaklar için moment tensör, dokuz bileşenli kuvvet çifti ile ifade edilmektedir (Şekil 3.13). Burada moment tensör, M ile ifade edilirse, dokuz bileşenin tanımlandığı şöyle bir matris yazılabilir:

$$M = \begin{pmatrix} M_{XX} & M_{XY} & M_{XZ} \\ M_{YZ} & M_{YY} & M_{YZ} \\ M_{ZX} & M_{ZY} & M_{ZZ} \end{pmatrix} \quad (3.19)$$

Bu notasyonda, Şekil 3.11'deki depremin kuvvet çiftleri olan  $M_{xy}$  ve  $M_{yx}$  şu şekilde yazabiliriz.

$$M = \begin{pmatrix} 0 & M_0 & 0 \\ M_0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} = M_0 \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (3.20)$$





Şekil 3.13. Sismik moment tensörü oluşturan dokuz kuvvet çifti [36]

Vektör ve tensör denklemlerinin koordinat sistemi ne olursa olsun moment tensör herhangi bir ortogonal koordinat sisteminde yazılabilir. Koordinat sistemine göre fay ve kayma doğrultularının yakın olarak yönlennememesi durumunda tensör denklemleri Denklem 3.20’de verileden daha karmaşıktır. Gelişigüzel bir koordinat sisteminde bir ikili çifti depremi için moment tensör bileşenleri; fay düzleminin birim normal vektörü,  $\hat{n}$  ve birim kayma vektörünün,  $\hat{d}$ , bileşenleri ile şu şekilde yazılabilir:

$$M_{ij} = M_0 (n_i d_j + n_j d_i) \quad (3.21)$$

veya

$$M = M_0 \begin{pmatrix} 2n_x d_x & n_x d_y + n_y d_x & n_x d_z + n_z d_x \\ n_y d_x + n_x d_y & 2n_y d_y & n_y d_z + n_z d_y \\ n_z d_x + n_x d_z & n_z d_y + n_y d_z & 2n_z d_z \end{pmatrix} \quad (3.22)$$

Denklem 3.21 ve 3.22’de  $\hat{n}$  ve  $\hat{d}$  yerdeğiştirebilir. Bu da tensörü simetrik yapar ( $M_{ij}=M_{ji}$ ). Fiziksel olarak bu fay düzleminde ya da yardımcı düzlem üzerindeki

kaymanın aynı sismik yayılma örüntüsüne sahip olduğunu ve tensörün diyagonal elemanların toplamının sıfır olduğunu gösterir:

$$\sum_i M_{ii} = M_{ii} = 2M_0 n_i d_i = 2M_0 \hat{n} \cdot \hat{d} = 0 \quad (3.23)$$

Kayma vektörü fay düzlemi içinde bulunur ve normal vektöre diktir. Bu nedenle bir fay düzlemi üzerindeki kaymaya karşılık gelen moment tensörün diyagonal elemanların toplamını sıfırdır. Bu toplamın sıfırdan farklı olması bir hacim değişiminin (artış ya da azalma) göstergesidir.

Denklem 3.19'da ifade edilen moment tensör için skalar moment şu şekilde hesaplanır:

$$M_0 = \left( \sum_{ij} M_{ij}^2 \right)^{1/2} / \sqrt{2}; \text{bu bir vektörün büyüklüğüne benzerdir.}$$

Fayın normal ve kayma vektörlerini, fay doğrultusu, eğimi ve kayma açısı cinsinden tanımlayarak herhangi bir fay için moment tensör yazılabilir. Bir moment tensöre karşılık gelen fay geometrisinin ters çözüm ile bulunması biraz karmaşıktır. Fakat moment tensörü veren sismogramın ters çözümü için bu gereklidir. Üç ortogonal doğrultudaki t, p ve b vektörleri fay normal,  $\hat{n}$ , ve kayma vektörü,  $\hat{d}$ , cinsinden şöyledir:













$$\begin{aligned} t &= \hat{n} + \hat{d}, & t_i &= n_i + d_i \\ p &= \hat{n} - \hat{d}, & p_i &= n_i - d_i \\ b &= \hat{n} \times \hat{d}, & b_i &= \varepsilon_{ijk} n_j d_k \end{aligned} \quad (3.24)$$

Bu vektörler özvektörlerdir.  $\hat{n}$  ve  $\hat{d}$  vektörleri birbirine dik olduğundan bunların vektörel çarpımına eşit olan b vektörü sıfır vektörüne eşittir.

Sismogramların bir coğrafi koordinat sistemi içerisindeki ters çözümden o koordinat sistemindeki moment tensör elde edilir. Daha sonra bunun özvektörleri, p, t ve sıfır

özvektörleri bulunur ve Denklem 3.24 aracılığı ile fay normal ve kayma vektörleri bulunur. Böylece doğrultu, eğim ve kayma açıları elde edilir. Aynı zamanda özdeğerlerden skalar moment bulunur.

Şekil 3.14 bazı kaynak geometrileri için diyagonalleştirilmiş moment tensörleri ve odak mekanizmalarını göstermektedir. Bu şekildeki ikinci, üçüncü ve dördüncü satırlar ikili çift mekanizmalarını göstermektedir. Her biri için şekil düşey doğrultu atım (ikinci satır), düşey eğim atım (üçüncü satır), ve 45° dalımlı salt ters fay (dördüncü satır) göstermektedir. İlk ve son satırlar oldukça farklı görünen mekanizmaları göstermektedir.

Moment tensor	Beachball	Moment tensor	Beachball
$\frac{1}{\sqrt{3}} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$		$-\frac{1}{\sqrt{3}} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$	
$-\frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$		$\frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$	
$\frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 \end{pmatrix}$		$\frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{pmatrix}$	
$\frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$		$\frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$	
$\frac{1}{\sqrt{6}} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & -2 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$		$\frac{1}{\sqrt{6}} \begin{pmatrix} -2 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$	
$\frac{1}{\sqrt{6}} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -2 \end{pmatrix}$		$-\frac{1}{\sqrt{6}} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -2 \end{pmatrix}$	

Şekil 3.14. Seçilen moment tensörler ile ilişkilendirilen odak mekanizmaları

Şekil 3.14'ün ilk satırındaki gibi bir moment tensörün diyagonal elemanları sıfırdan farklı ve eşitse, ilk hareketlerin polaritesi (odak mekanizması) tüm yönlerde aynıdır. Bu şekilde üç eşit ve birbirine dik kuvvet çiftlerinin üçlü vektör çift kutbu bir patlama veya göçme için eşdeğer cisim kuvvet sistemidir.

İkili çift olmayan sismik kaynakların diğer bir sınıfı ise dengelenmiş lineer vektör çift kutuplarıdır (Compensated Linear Vector Dipoles (CLVD)). Bunlar bir kutup

diğerlerinin büyüklüğünün -2 katı olarak dengelenmiş üç kuvvet çift kutbunun setleridir:

$$M = \begin{pmatrix} -\lambda & 0 & 0 \\ 0 & \lambda/2 & 0 \\ 0 & 0 & \lambda/2 \end{pmatrix} \quad (3.25)$$

Denklem 3.25'deki moment tensörün diyagonal elemanlarının toplamı sıfırdır; bu nedenle izotropik bileşeni yoktur. CLVD'ler Şekil 3.14'deki son iki satırda gösterilmiştir. Büyük CLVD bileşenlerine sahip kaynaklar nadir olsa da bunlar pek çok karmaşık tektonik ortamlarda belirlenmiştir.

Moment tensör ters çözümünde sismogramlar moment tensörün bileşenlerinin lineer fonksiyonları olarak yazılır.  $m_j$  moment tensör bileşeninden dolayı  $i$ 'nci sismometredeki sismogram  $G_{ij}(t)$  ile ifade edilirse, bu sismogram sismometrenin ve kaynaktan bu sismometreye kadar olan yol boyunca kabuk yapısının etkilerini içermektedir. Bu nedenle  $i$ 'nci sismogram, moment tensör bileşenleri ile ağırlıklı Green Fonksiyonlarının toplamıdır:

$$u_i(t) = \sum_{j=1}^6 G_{ij}(t) m_j \quad (3.26)$$

Birden fazla sismogramın olması durumunda bu bir vektör-matris denklemi olarak şu şekilde yazılabilir:

$$U = G \cdot m \quad (3.27)$$

Burada,  $u$ :  $n$  istasyondaki sismogramlardan oluşan bir vektör ve  $G$ : Green fonksiyonu matrisidir.  $G$ , sismogramlar kadar satıra ve moment tensör bileşenleri kadar sütuna sahiptir. Böylece Denklem 3.27 şu şekilde görünür:

$$\begin{pmatrix} u_1 \\ u_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ u_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} G_{11} & G_{12} & G_{13} & G_{14} & G_{15} & G_{16} \\ G_{21} & G_{22} & G_{23} & G_{24} & G_{25} & G_{26} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ G_{n1} & G_{n2} & G_{n3} & G_{n4} & G_{n5} & G_{n6} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} m_1 \\ m_2 \\ m_3 \\ m_4 \\ m_5 \\ m_6 \end{pmatrix} \quad (3.28)$$

G matrisi kare olmadığından tersi alınamaz. Bu nedenle Denklem 3.28'in doğrudan çözümü mümkün değildir. Bunun yerine G'nin genelleştirilmiş tersi olarak adlandırılan en küçük kareler yaklaşımına göre gözlenen sismograma en iyi uyan moment tensör bulunur;

$$M = (G^T G)^{-1} G^T u \quad (3.29)$$

Genellikle, sismogramların ters çözümlerinden elde edilen moment tensör bir ikili çift için beklenenden daha karmaşıktır. Hatta kaynak salt bir ikili çift olsa dahi verideki gürültü ve yerkürenin yapısının mükemmel olarak bilinmemesinden dolayı aşağıda gösterildiği şekilde  $\hat{n}_1$ ,  $\hat{n}_2$ ,  $\hat{n}_3$  özvektörlerine sahip bir tensör üretilebilir:

$$M = \begin{pmatrix} \lambda_1 & 0 & 0 \\ 0 & \lambda_2 & 0 \\ 0 & 0 & \lambda_3 \end{pmatrix} \quad |\lambda_1| \geq |\lambda_2| \geq |\lambda_3| \quad (3.30)$$

Eğer M bir ikili çifti simgelerse, bu durumda  $\lambda_1 = -\lambda_2$  ve  $\lambda_3 = 0$ 'dır. Fakat çoğu zaman moment tensör bu koşulları sağlamaya zorlanır. Başka bir deyişle, çoğu durumda  $\lambda_1 = -\lambda_2$  ve  $|\lambda_2| \gg |\lambda_3|$  dür. Bu nedenle M tam olarak değil fakat yaklaşık olarak bir ikili çifttir. Bu tensörün izotropik bir bileşeni aşağıdaki denklem aracılığıyla çıkarılır:

$$\begin{pmatrix} \lambda_1 & 0 & 0 \\ 0 & \lambda_2 & 0 \\ 0 & 0 & \lambda_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} E & 0 & 0 \\ 0 & E & 0 \\ 0 & 0 & E \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \lambda'_1 & 0 & 0 \\ 0 & \lambda'_2 & 0 \\ 0 & 0 & \lambda'_3 \end{pmatrix} \quad (3.31)$$

Burada  $E = (\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3)/3$  'dür. Kalan terim sıfır izotropik bileşenine ve deviatorik özdeğerleri,  $\lambda'_1 = \lambda_1 - E$ ,  $\lambda'_2 = \lambda_2 - E$  ve  $\lambda'_3 = \lambda_3 - E$  sahip bir deviatorik moment tensördür. Deviatorik özdeğerler  $|\lambda'_1| \geq |\lambda'_2| \geq |\lambda'_3|$  olacak şekilde de numaralandırılabilir. Eğer ters çözüm izotropik bileşene sahip değilse, deviatorik moment tensör ters çözümden kaynaklanan moment tensördür. Deviatorik moment tensör birkaç yolla bileşenlerine ayrılabilir. Bunlardan birisi ana ve ikincil ikili çiftler olarak adlandırılan iki ikili çifte ayırmaktır:

$$\begin{pmatrix} \lambda'_1 & 0 & 0 \\ 0 & \lambda'_2 & 0 \\ 0 & 0 & \lambda'_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \lambda'_1 & 0 & 0 \\ 0 & -\lambda'_1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\lambda'_3 & 0 \\ 0 & 0 & \lambda'_3 \end{pmatrix} \quad (3.32)$$

Birinci tensör,  $|\lambda'_1|$  skalar momentine sahip ana ikili çifttir. İkincisi de  $|\lambda'_3|$  skalar momentine sahip ikincil ikili çifttir. Genellikle ana ikili çiftin büyüklüğü çok daha büyüktür ve depremin kaynak mekanizması olarak ele alınır.

Moment tensörü bileşenlere ayırmak için diğer bir yol ise bir ikili çift ve bir CLVD'nin toplamı olarak ifade etmektir:



$$\begin{pmatrix} \lambda'_1 & 0 & 0 \\ 0 & \lambda'_2 & 0 \\ 0 & 0 & \lambda'_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \lambda'_1 + \lambda'_3/2 & 0 & 0 \\ 0 & -\lambda'_1 - \lambda'_3/2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \lambda'_3/2 & 0 & 0 \\ 0 & -\lambda'_3/2 & 0 \\ 0 & 0 & \lambda'_3 \end{pmatrix} \quad (3.33)$$

İkili çift ve CLVD'nin görelî dayanımı en küçük ve en büyük deviatorik özdeğerlerinin oranı,  $\varepsilon = \lambda'_3/\lambda'_1$ , olarak verilir.  $\varepsilon = 0$  durumu salt bir ikili çifti,  $\varepsilon = \mu 0,5$  durumu ise salt CLVD'yi işaret eder.

### 3.3. Çalışmada Kullanılan Sismik Moment Tensör Yöntemi

Çalışmada çoklu nokta kaynak tanımlama özellikli bir moment tensör analizi yöntemi kullanılmıştır. Yöntemin esası telesismik kayıtlar için kullanılan Kikuchi ve Kanamori (1995) [37], yöntemine benzer şekilde tekrarlı dekonvolusyon yöntemine dayanmaktadır. Fakat burada tam dalga alanı göz önüne alınmakta ve ayırık dalga sayısı yöntemi ile Green fonksiyonları hesaplanmaktadır [38]. Bu nedenle bu yöntem bölgesel ve yerel olaylar için uygulanabilmektedir. Alet düzeltmesinde bant-geçişli filtrelenmiş dalga şekilleri kullanılmaktadır. Hız dalga şekilleri yerdeğiştirmeye dönüştürülmekte ve sentetik yerdeğiştirme sismogramları bulunmaktadır. Temel odak mekanizmasına karşılık gelen başlangıç sismogramları Tablo 3.1’de gösterilmiştir:

Tablo 3.1. Temel odak mekanizmalarına karşılık gelen başlangıç sismogramlarının şekilleri

i	<u>Doğrultu</u>	<u>Eğim</u> <u>AÇISI</u>	<u>Kayma</u> <u>AÇISI</u>	<u>Temel Odak</u> <u>Mekanizması</u>
1	<u>0</u>	<u>90</u>	<u>0</u>	
2	<u>270</u>	<u>90</u>	<u>-90</u>	
3	<u>0</u>	<u>90</u>	<u>90</u>	
4	<u>90</u>	<u>45</u>	<u>90</u>	
5	<u>0</u>	<u>45</u>	<u>90</u>	
6	<u>İ Z O T R O P</u>			

İstasyonlardan gözlenmiş 3 bileşen dalga şekilleri ya da gözlenmiş veriler “d” ile gösterilirken “a<sub>i</sub>” katsayıları bulunacak olan model parametrelerini “m” simgelemektedir. d=G.m doğrusal ters çözüm problemi en küçük kareler yöntemi ile çözülmektedir:

$$m = (TG G)^{-1} TG d \quad (3.34)$$

Burada; TG, G'nin tranpozesi, ve  $(.)^{-1}$  (TG G) sistem matrisinin tersidir. (TG G) sistem matrisinin özdeğerleri ters problemin ne kadar iyi konumlanmış veya kötü konumlanmış olduğunu anlamamız için hesaplanmakta ve min/maks özdeğer oranı rapor edilmektedir. Bu değer ne kadar büyükse sonuçlar o kadar iyi, küçükse de o kadar kötüdür.

“ $a_i$ ” katsayıları moment tensör,  $M_{pq}$  (Burada p ve q coğrafi koordinatları x ( $>0$ , N), y ( $>0$ , E), z ( $>0$ , yukarı) işaret etmektedir.), ile ilgilidir:

$$M_{xx} = -a_4 + a_6 \quad (3.35)$$

$$M_{yy} = -a_5 + a_6 \quad (3.36)$$

$$M_{zz} = a_4 + a_5 + a_6 \quad (3.37)$$

$$M_{xy} = M_{yx} = a_1 \quad (3.38)$$

$$M_{xz} = M_{zx} = a_2 \quad (3.39)$$

$$M_{yz} = M_{zy} = -a_3 \quad (3.40)$$

Harvard kataloğunda veya GMT'deki moment tensör bileşenleri Isola Gui programında küresel koordinatlarda (r, t, p) şu şekilde verilmektedir [40].

$$M_{tt} = M_{xy} \quad (3.41)$$

$$M_{pp} = M_{yy} \quad (3.42)$$

$$M_{rr} = M_{zz} \quad (3.43)$$

$$M_{tp} = -M_{xy} \quad (3.44)$$

$$M_{rt} = M_{xz} \quad (3.45)$$

$$M_{rp} = -M_{yz} \quad (3.46)$$

Moment tensörün özvektörleri doğrultu, eğim ve kayma açısını verir. Özdeğerler skalar moment,  $M_0$  ve moment tensörün üç kısma ayrılmış halini yani ikili kuvvet çifti (DC), dengelenmiş lineer vektör dipolü (CLVD) ve hacim değişimi (VOL) bileşenlerini sağlar.



Olası moment tensör (MT) ters çözüm modları şöyledir:

- Tam MT ters çözüm: tüm altı ana odak mekanizması, 1, 2, ....6; DC+CLVD+VOL
- Deviatorik MT ters çözüm: ana odak mekanizmaları 1, 2, ....5; DC+CLVD, VOL (%)=0
- DC-kısıtlı MT ters çözüm: sadece DC; VOL%=CLVD%=0
- Bilinen ve sabit DC moment tensör (sadece konum ve zaman araştırılır.)

Bu çalışmada belirlenen depremlerin analizinde deviatorik MT ters çözüm (VOL%=0) metodu kullanılmıştır. Bunun tercih edilmesinin nedeni doğrultu, eğim, kayma açısı ve  $M_0$ 'ın aksine DC %'nin oldukça değişken oluşudur. Tümüyle DC'den büyük bir sapma genellikle sismogram üzerinde oldukça az bir etkiye sahiptir. Örneğin, DC%=50 ve DC%=100 için sentetiklerin göz ile ayırt edilemediği ve bunların gerçek veri ile uyumunun niceliksel ölçüsünün hemen hemen aynı olduğu (örneğin, varyans azaltma %1 fark ettiği) pek çok örnekte gösterilmektedir. Bu nedenle klasik moment tensör ters çözüm tarafından verilen DC%'nin nadiren fiziksel bir anlamı vardır. Aynısı hacim yüzdesi VOL % için de geçerlidir.

Bu sebeplerden dolayı en fazla önerilen ters çözüm modu deviatorik MT ters çözümdür (VOL %=0). Fakat bu yöntemden elde edilen DC%'nin oldukça dikkatli değerlendirilmesi gerekmektedir.

Hangi ters çözüm metodunu kullanılırsa kullanılsın, en küçük kareler yönteminin artık hatasının minimize edildiği kaynak pozisyonu ve zamanı aranmaktadır. Bu sebeple gözlenen ve sentetik sismogram arasındaki farkın minimum ve korelasyonun maksimize olduğu çözümler tercih edilmelidir.

## **BÖLÜM 4. DEVIATORİK MOMENT TENSÖR YÖNTEMİ İLE YAPILAN ANALİZLER**

### **4.1. Çalışmada Kullanılan Veriler**

Bu çalışmada, 2007 ve 2008 yıllarında Türkiye kara sınırlarında meydana gelmiş  $M \geq 4,0$  depremlere ait dalga şekilleri kullanılarak deviatorik moment tensör yöntemi uygulanmıştır. Çalışmada kullanılan depremlerin odak parametreleri Tablo 4.1’de verilmiştir. Bu çalışmada kullanılan verilerin tümü, Afet İşleri Genel Müdürlüğü-Deprem Araştırma Dairesi (AİGM-DAD) tarafından yürütülen ve 2005 yılında başlayan Ulusal Sismik Ağın Geliştirilmesi (USAG) projesinden sağlanmıştır. Bu projede mevcut Ulusal Sismik Ağ’da kurulu bulunan istasyonların büyük bir kısmı revize edilerek genişband sismometreli, uydu ile iletişim yapan istasyonlara dönüştürülmüş ve yeni istasyonlar kurularak mevcut istasyon sayısı artırılmıştır. USAG projesinde 2008 yılı itibari ile 65 tane uydu iletişimli genişband istasyon bulunmaktadır. Bunlara ilave olarak Afet İşleri Genel Müdürlüğü-Deprem Araştırma Dairesi’nin TÜBİTAK - MAM Yer ve Deniz Bilimleri Araştırma Enstitüsü (YDBE) ile birlikte başlattığı ve 14 üniversitenin de içinde bulunduğu TÜRDEP projesi kapsamında kurulan Mikro Sismik Ağlar ile toplam genişband istasyon sayısı 2008 yılı itibari ile 135’e çıkarılmıştır. Bu genişband istasyonların dağılımı Şekil 4.1’de gösterilmektedir. Bu istasyonların verileri 24 saat sürekli ve kesintisiz olarak uydu iletişimi ile AİGM-DAD’da bulunan veri işlem merkezine gelmektedir.

Analizlerde kullanılan tüm dalga şekilleri verileri Guralp Sistem tarafından üretilmiş olan CMG-3TD modeli genişband sismometrelerce (Şekil 4.2) kaydedilmiştir. Bu cihazlar çok düşük bir gürültü seviyesine sahiptir (Şekil 4.2). Bu sismik cihazların genişband sismometre kısmı 3 bileşenli olup 120 sn’lik periyoda sahiptir. Sayısallaştırıcı ise 24 bit çözünürlüğe sahip ve Global Yer Belirleme (GPS) anteni takılabilir özelliktedir.

Tablo 4.1. Çalışmada kullanılan ve Türkiye’de 2007-2008 yıllarında arasında meydana gelmiş magnitüdü 4,0 ile 5,6 arasında değişen depremlere ait odak parametre bilgileri

Sıra No	Tarih (GG/AA/YY)	Oluş Zamanı	Enlem (K)	Boylam (D)	Derinlik (Km)	M	Yeri
1	21.01.2007	07:38:58.98	39,6133	42,8	10,3	5,1	TUTAK-AGRI
2	09.02.2007	02:22:56.25	38,3415	39,1698	22,9	5	SIVRICE-ELAZIG
3	11.02.2007	03:43:01.23	38,3538	39,119	26,8	4	SIVRICE-ELAZIG
4	21.02.2007	11:05:27.26	38,3957	39,2977	22,6	5,4	SIVRICE-ELAZIG
5	28.02.2007	19:55:32.35	38,2787	39,2638	17,1	5,2	ÇÜNGÜS-DIYARBAKIR
6	28.02.2007	20:08:11.91	38,2923	39,2164	7,9	4,2	ÇÜNGÜS-DIYARBAKIR
7	28.02.2007	23:27:46.68	38,34	39,2518	15,4	4,3	SIVRICE-ELAZIG
8	08.03.2007	12:35:38.82	39,0433	40,4592	5	4,8	MERKEZ-BINGOL
9	09.03.2007	23:24:54.54	39,063	40,4702	5	4,8	MERKEZ-BINGOL
10	30.03.2007	16:56:54.92	38,0437	30,9482	7,1	4,8	GELENDOST-ISPARTA
11	30.03.2007	19:23:58.74	38,0025	30,9238	6,9	4,8	GELENDOST-ISPARTA
12	30.03.2007	20:10:45.05	37,9987	31,0063	7,7	4,2	GELENDOST-ISPARTA
13	30.03.2007	20:49:27.36	38,0143	30,9772	3,9	4	GELENDOST-ISPARTA
14	31.03.2007	01:20:40.53	38,0215	30,9556	6,6	4	GELENDOST-ISPARTA
15	10.04.2007	21:39:20.76	38,0671	30,9225	17,8	4,4	GELENDOST-ISPARTA
16	10.04.2007	22:00:36.04	38,0473	30,9532	13,7	4,9	GELENDOST-ISPARTA
17	11.04.2007	09:58:01.35	38,052	30,9519	10,2	4,1	GELENDOST-ISPARTA
18	11.04.2007	10:06:40.31	38,0145	30,9571	7,8	4,2	GELENDOST-ISPARTA
19	14.04.2007	04:30:37.18	38,3528	39,2848	4,9	4,5	SIVRICE-ELAZIG
20	19.04.2007	07:16:25.79	38,3048	39,1888	7,9	4,2	ÇÜNGÜS-DIYARBAKIR
21	05.05.2007	21:11:38.17	38,7367	42,218	5	4,4	AHLAT-BITLIS
22	07.05.2007	13:45:39.76	39,9008	41,6433	3	4,2	PASINLER-ERZURUM
23	18.05.2007	23:27:45.03	37,2795	33,2983	19	4,4	MERKEZ-KARAMAN
24	06.08.2007	19:35:22.74	39,538	38,5208	7	4,1	ILIÇ-ERZINCAN
26	25.08.2007	22:05:48.01	39,2517	41,0935	23,9	5,5	KARLIOVA-BINGOL
27	15.09.2007	05:26:52.32	37,8165	36,9262	23,8	4,4	MERKEZ-K.MARAS
28	15.09.2007	23:28:47.99	37,8413	36,8843	15,4	4,4	MERKEZ-K.MARAS

Tablo 4.1.'in devamı

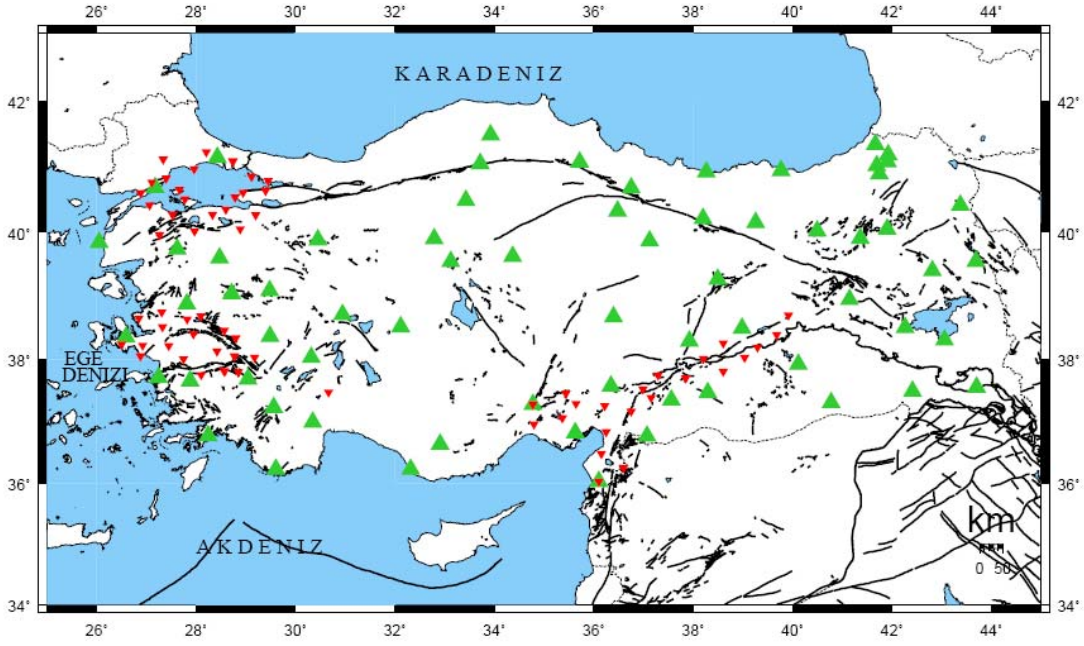
Sıra No	Tarih (GG/AA/YY)	Oluş Zamanı	Enlem (K)	Boylam (D)	Derinlik (Km)	M	Yeri
29	20.09.2007	06:18:51.69	39,2147	29,3885	16,9	4,2	EMET-KUTAHYA
30	21.09.2007	09:49:26.48	37,322	44,1319	6,7	4,2	YÜKSEKOVA-HAKKARI
31	21.09.2007	10:21:20.73	37,3961	44,1509	2,5	4,6	YÜKSEKOVA-HAKKARI
32	24.09.2007	22:50:54.05	37,7146	43,7771	6,3	4	MERKEZ-HAKKARI
33	29.09.2007	22:35:09.49	39,7487	27,7768	6,3	4	MERKEZ-BALIKESİR
34	10.10.2007	21:27:55.77	36,9228	28,0953	7	4	MARMARIS-MUGLA
35	25.10.2007	05:02:04.05	39,3668	27,6859	5	4,4	SAVAŞTEPE-BALIKESİR
36	27.10.2007	04:02:23.58	39,3656	40,757	27,3	4,2	YEDİSU-BINGOL
37	28.10.2007	22:00:46.20	39,0118	41,104	18	4,2	SOLHAN-BINGOL
38	29.10.2007	09:23:13.92	36,9142	29,2995	23,4	5	ÇAMELİ-DENİZLİ
39	31.10.2007	17:58:01.41	36,9512	29,3218	21,6	4,1	ÇAMELİ-DENİZLİ
40	09.11.2007	09:09:01.59	37,3432	44,331	5	4,3	SEMDİNLİ-HAKKARI
41	15.11.2007	04:11:11.29	39,054	41,978	4	4	BULANIK-MUS
42	16.11.2007	09:08:22.74	36,941	29,2962	22	4,8	ÇAMELİ-DENİZLİ
43	02.12.2007	20:21:49.82	37,0262	29,3162	37,6	4,5	ÇAMELİ-DENİZLİ
44	10.12.2007	21:50:06.16	38,7812	27,742	21,4	4	SARUHANLI-MANISA
45	13.12.2007	18:06:19.25	38,8505	33,043	16,9	4,4	KULU-KONYA
46	20.12.2007	09:48:27.21	39,4173	33,0453	2,8	5,6	BALA-ANKARA
47	20.12.2007	10:10:38.84	39,3352	33,1325	7	4,6	BALA-ANKARA
48	23.12.2007	23:55:08.13	37,5168	35,7025	23,7	4	KOZAN-ADANA
49	26.12.2007	23:47:09.51	39,396	33,1073	16,8	5,5	BALA-ANKARA
50	27.12.2007	07:47:00.82	39,4485	33,0695	11,9	4,7	BALA-ANKARA
51	27.12.2007	13:47:58.73	39,4273	33,0928	8,2	4,9	BALA-ANKARA
52	27.12.2007	17:56:12.54	39,3948	33,1368	6,2	4,2	BALA-ANKARA
53	01.01.2008	00:21:41.62	37,5265	35,7363	18,8	4,4	KOZAN-ADANA
54	05.01.2008	05:11:00.92	38,5945	26,985	7	4	MENEMEN-İZMİR
55	07.01.2008	18:26:35.34	39,4255	33,1098	7,7	4,1	BALA-ANKARA

Tablo 4.1.'in devamı

Sıra No	Tarih (GG/AA/YY)	Oluş Zamanı	Enlem (K)	Boylam (D)	Derinlik (Km)	M	Yeri
56	10.01.2008	17:52:28.61	37,9238	28,791	17,3	4,1	SARAYKÖY-DENİZLİ
57	14.01.2008	02:06:28.79	40,5521	34,7685	8,9	4,2	MERKEZ-CORUM
58	17.01.2008	08:39:10.64	36,4392	29,175	56	4	FETHİYE-MUGLA
59	22.01.2008	16:31:55.87	39,5453	38,622	18,1	4,3	İLİÇ-ERZINCAN
60	31.01.2008	00:01:20.57	40,24	33,211	7,4	4,7	ÇUBUK-ANKARA
61	01.02.2008	05:36:58.89	39,9337	40,7482	23	4	ASKALE-ERZURUM
62	01.02.2008	09:11:02.98	39,448	33,0653	16,8	4,4	BALA-ANKARA
63	12.03.2008	18:53:30.71	40,6318	29,0057	24	5	ÇINARCIK-YALOVA
64	15.03.2008	10:15:37.20	39,425	33,0615	12,9	5	BALA-ANKARA
65	15.03.2008	11:52:12.26	39,0373	27,882	24,9	4,2	AKHISAR-MANISA
66	29.03.2008	03:12:30.11	40,553	34,7973	15,5	4,8	MERKEZ-CORUM
67	01.04.2008	00:41:39.36	40,3713	34,4832	7	4,2	UGURLUDAG-CORUM
66	29.03.2008	03:12:30.11	40,553	34,7973	15,5	4,8	MERKEZ-CORUM
67	01.04.2008	00:41:39.36	40,3713	34,4832	7	4,2	UGURLUDAG-CORUM
68	02.04.2008	10:14:08.77	40,5672	34,8077	15	4,1	MERKEZ-CORUM
69	25.04.2008	04:48:55.59	37,8268	29,258	18,8	5	HONAZ-DENİZLİ
70	11.05.2008	23:20:06.74	37,5881	43,068	1,8	4	BEYTÜŞEBAP-SIRNAK
71	30.05.2008	05:34:22.08	37,009	29,191	7	4,1	ÇAMELİ-DENİZLİ
72	30.05.2008	05:34:22.08	37,009	29,191	7	4,1	ÇAMELİ-DENİZLİ
73	03.06.2008	06:59:22.21	40,164	26,928	7	4	BİGA-CANAKKALE
74	04.06.2008	09:48:18.77	39,633	39,0298	18	4,5	KEMAH-ERZINCAN
75	16.06.2008	15:49:24.98	39,5682	28,5977	22,5	4,1	DURSUNBEY-BALIKESİR
76	21.06.2008	03:58:34.78	38,948	41,2473	14,4	4,4	MERKEZ-MUS
77	25.06.2008	21:12:17.75	39,5228	37,554	4,7	4,6	ZARA-SIVAS
78	27.06.2008	10:50:06.54	39,8577	41,8017	16,7	4	PASINLER-ERZURUM
79	03.07.2008	17:37:02.54	36,9943	29,169	22,2	4,4	ÇAMELİ-DENİZLİ
80	10.07.2008	07:49:53.52	40,0013	27,732	26,6	4,7	GÖNEN-BALIKESİR
81	12.07.2008	05:54:03.75	39,2138	41,6732	24,2	4	HİNİS-ERZURUM

Tablo 4.1.'in devamı

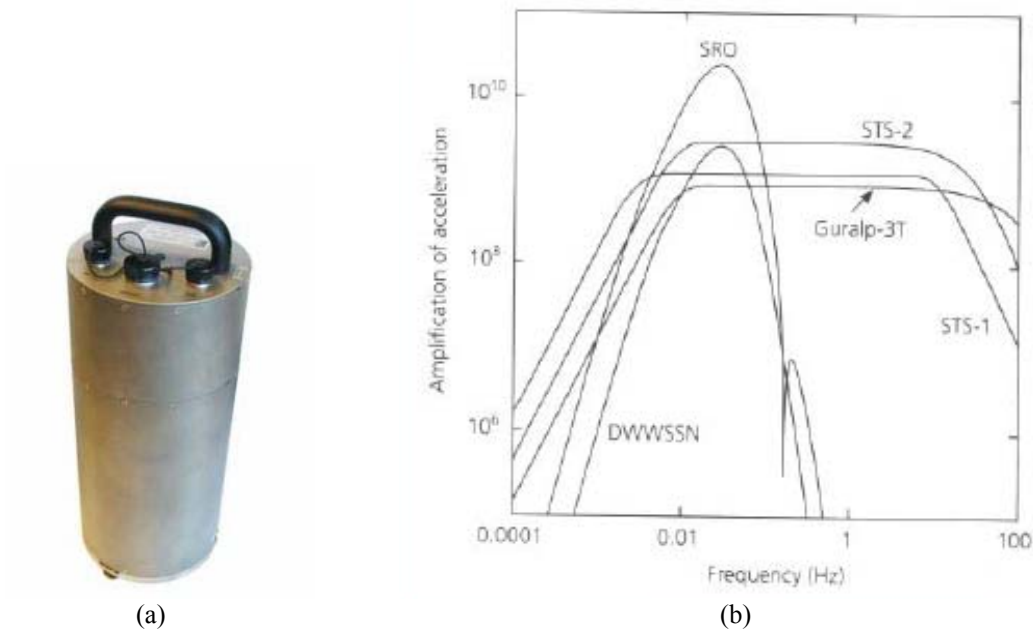
Sıra No	Tarih (GG/AA/YY)	Oluş Zamanı	Enlem (K)	Boylam (D)	Derinlik (Km)	M	Yeri
82	26.07.2008	22:16:48.33	38,5327	43,1002	5	4,2	VAN GOLU-VAN
83	20.08.2008	11:01:38.42	37,7055	37,4608	15	4,2	GÖLBASI-ADİYAMAN
84	03.09.2008	02:22:46.06	37,4363	38,6043	24	4,9	BOZOVA-SANLIURFA
85	04.09.2008	22:54:31.61	37,4605	38,5825	23,8	4,8	BOZOVA-SANLIURFA
86	07.09.2008	12:47:37.72	39,4797	32,6543	17,6	4	HAYMANA-ANKARA
87	11.09.2008	08:33:58.18	39,4248	33,058	14,1	4	BALA-ANKARA
88	17.09.2008	12:08:11.56	39,9993	39,9497	20,5	4,9	OTLUKBELI-ERZINCAN
89	23.09.2008	09:09:42.43	39,4333	33,0427	14	4,7	BALA-ANKARA
90	28.09.2008	11:32:11.82	36,5538	30,2493	50,7	4	KUMLUCA-ANTALYA
91	29.09.2008	20:54:55.82	37,474	38,59	24	4,4	BOZOVA-SANLIURFA
92	30.09.2008	07:30:00.20	39,0057	29,8702	13,3	4,6	ALTINTAS-KUTAHYA
93	05.10.2008	05:33:47.20	38,3063	38,833	11,1	4	PÖTÜRGE-MALATYA
94	05.10.2008	06:04:04.44	40,6103	29,0142	23,7	4,2	ÇINARCIK-YALOVA
95	10.10.2008	06:36:54.40	39,3872	33,1093	1,8	4,6	BALA-ANKARA
96	19.10.2008	22:20:52.58	37,097	30,3907	44,8	4	KORKUTELI-ANTALYA
97	09.11.2008	13:20:25.85	36,883	28,17	50,7	4	MARMARIS-MUGLA
98	12.11.2008	14:03:15.62	38,8607	35,5435	9,5	4,8	KOCASINAN-KAYSERİ
99	24.11.2008	11:34:09.81	37,149	28,324	7,2	4	MERKEZ-MUGLA
100	24.12.2008	05:54:59.93	37,8927	29,2273	4	4,1	CAMELİ-DENİZLİ



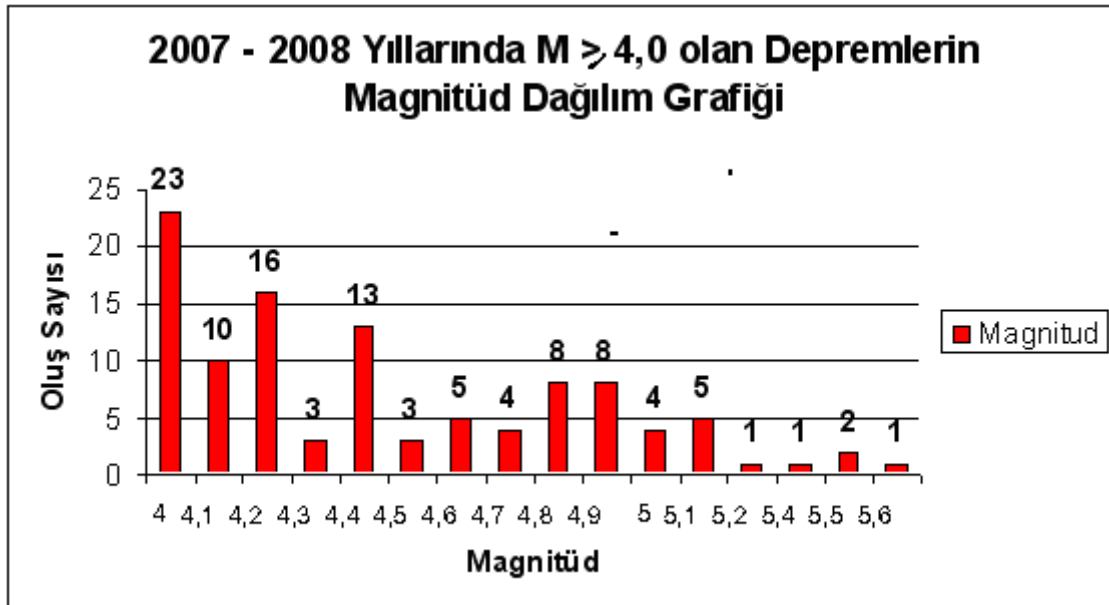
Şekil 4.1. Ulusal Genişband Sismik Ağ'a ait istasyonların (yeşil eşkenar üçgenler) ve TÜRDEP projesi kapsamında kurulmuş olan Mikro Sismik Ağ'a ait istasyonların (kırmızı küçük ters eşkenar üçgenler) dağılımını gösteren harita

AİGM-DAD Sismoloji Şubesinin web sayfasındaki katalog veritabanına göre Türkiye'de 2007-2008 yılları arasında magnitüdü 4,0 ile 5,6 arasında değişen 100 tane deprem meydana gelmiştir [4]. Bu depremlerin lokasyonları ve oluş zamanları HYPOINVERS programı kullanılarak belirlenmiştir [39].

Bu veritabanında bazı depremlerin büyüklüğü hem  $M_d$  hem de  $M_L$  magnitüd ölçeğine göre verilmiştir. Bu çalışmada bu iki magnitüd değerinden büyük olanı depremin magnitüdü olarak dikkate alınmıştır. Bu depremlerin magnitüdülerinin oluş sayılarına göre dağılımı Şekil 4.3'de verilmiştir. Bu depremlerin episantır dağılımları Şekil 4.4'deki haritada gösterilmektedir.

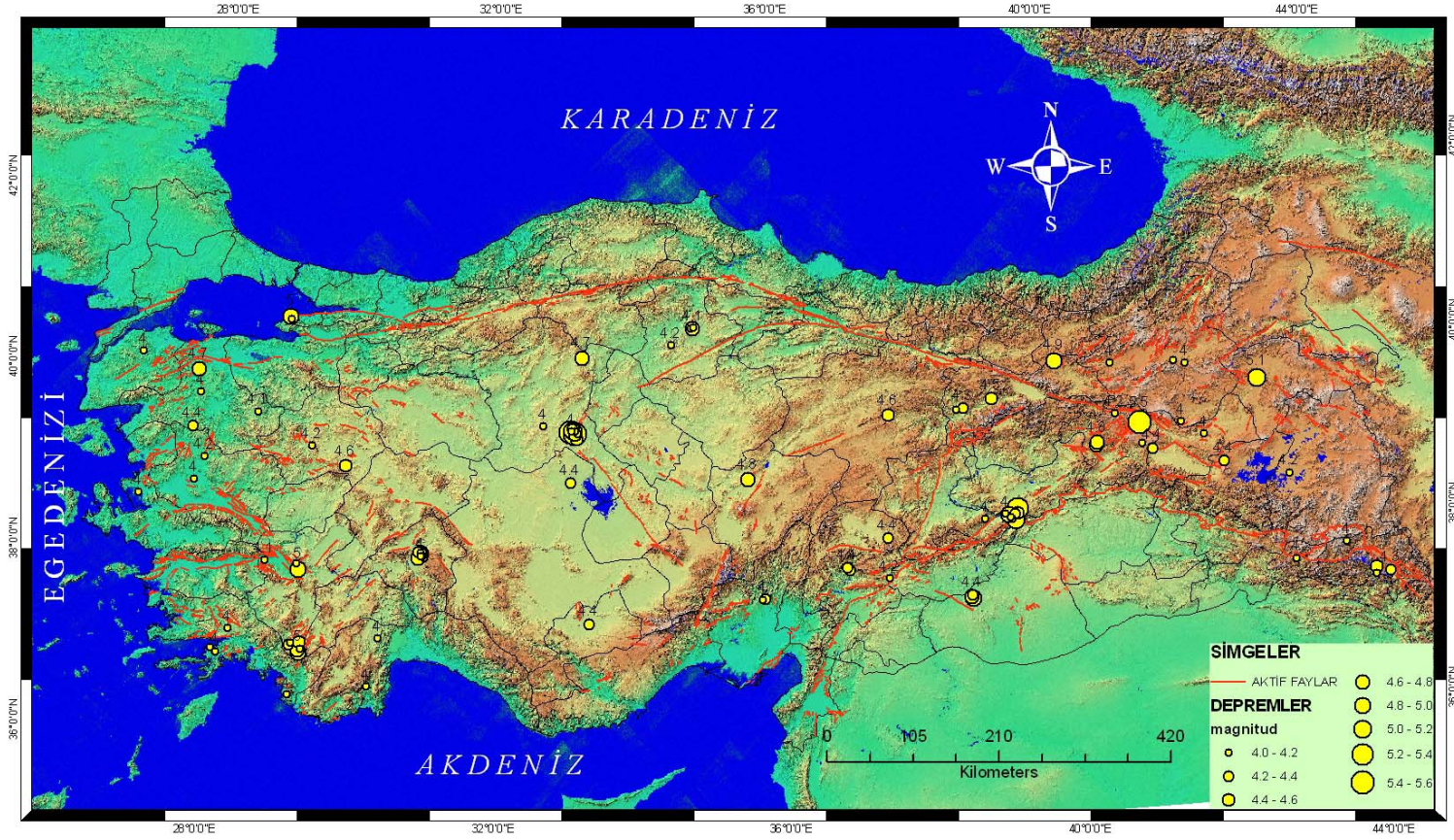


Şekil 4.2. İstasyonda kullanılan cihaz ve hassasiyet grafiği (a) İstasyonlarda kullanılan Guralp Sistem tarafından üretilen CMG-3TD modeli genişband sismometre ve sayısallaştırıcıdan oluşan sismik cihazın fotoğrafı. (b) Amerika Jeolojik Araştırmalar Merkezi (USGS) tarafından hazırlanmış olan CMG-3TD cihazının sahip olduğu gürültü seviyesini gösteren grafik (Bu grafik bize cihazın hassasiyeti hakkında bilgi vermektedir.).



Şekil 4.3. Çalışmada kullanılan 2007-2008 yıllarında meydana gelmiş  $M \geq 4,0$  olan depremlerin magnitüd oluş sayısı dağılımlarını gösteren histogram.





Şekil 4.4. Türkiye’de 2007-2008 yılları arasında magnitudü 4,0 ile 5,6 arasında değişen 100 tane depremin episantr dağılımı.

## 4.2. Verinin Analizi

Verilerin analizinde Sokos ve Zahradnik (2008) [40], tarafından geliştirilmiş Isola Gui, Moment Tensör Analiz programı kullanılmıştır. Bu program kodları fortran programlama dilinde yazılmış olup, Matlab üzerinde çalışmaktadır. Bu çalışmada Isola Gui programı, Matlab 6.5 & 7.0 versiyonu ile birlikte kullanılmıştır. Isola Gui programının çıktıları oluşturmak için Generic Mapping Tools (GMT) 4.0 & 4.1 versiyonu [43] ve Matlab tabanlı haritalama programı M\_Map ve çıktı dosyalarını görüntülemek için ise Ghostscript ve Gsview programları kullanılmıştır.

Bu çalışmada depremlerin deviatorik moment tensör ters çözümlerinde Tablo 4.1’de sunulan deprem parametreleri bulunurken AİGM-DAD tarafından kullanılmış olan Herrin Kabuk Modeli baz alınmıştır [41, 42]. Bu modele ait kabuksal hız ve tabaka yapısı Tablo 4.3’de verilmiştir. Moment Tensör çözümlerinde en az 3 istasyondan elde edilmiş olan üç bileşen genişband kayıtları kullanılmış ve bunları hızdan yerdeğiştirmeye dönüştürürken band geçişli filtreye olarak 0,05-10 Hz frekans aralığı tercih edilmiştir. Kaynak zaman fonksiyonunun belirlenmesi için en az 30 noktalı kaynak belirleme yapılmıştır. Sismogramlarda kayıtlarında zaman penceresi olarak 247 sn tercih edilmiştir.Örnekleme aralığı 100 sn olarak alınmıştır.

Green fonksiyonunun hesaplanmasında maksimum frekans değeri için 0.15055 Hz, deviatorik MT ters çözümlerinde ise band-geçişli filtre köşe frekans değerleri( $f_1$ - $f_2$  ve  $f_3$ - $f_4$ ) için ise sırasıyla 0,03-0,06 Hz ve 0,07-0,1 Hz değerleri tercih edilmiştir.

Tablo.4.3. Herrin kabuksal hız modeli [41, 42]

Tabakalar	H(km)	Vp(km/sn)
1	0,0	6,0
2	15,0	6,74
3	40,0	8,05
4	50,0	8,06
5	70,0	8,15

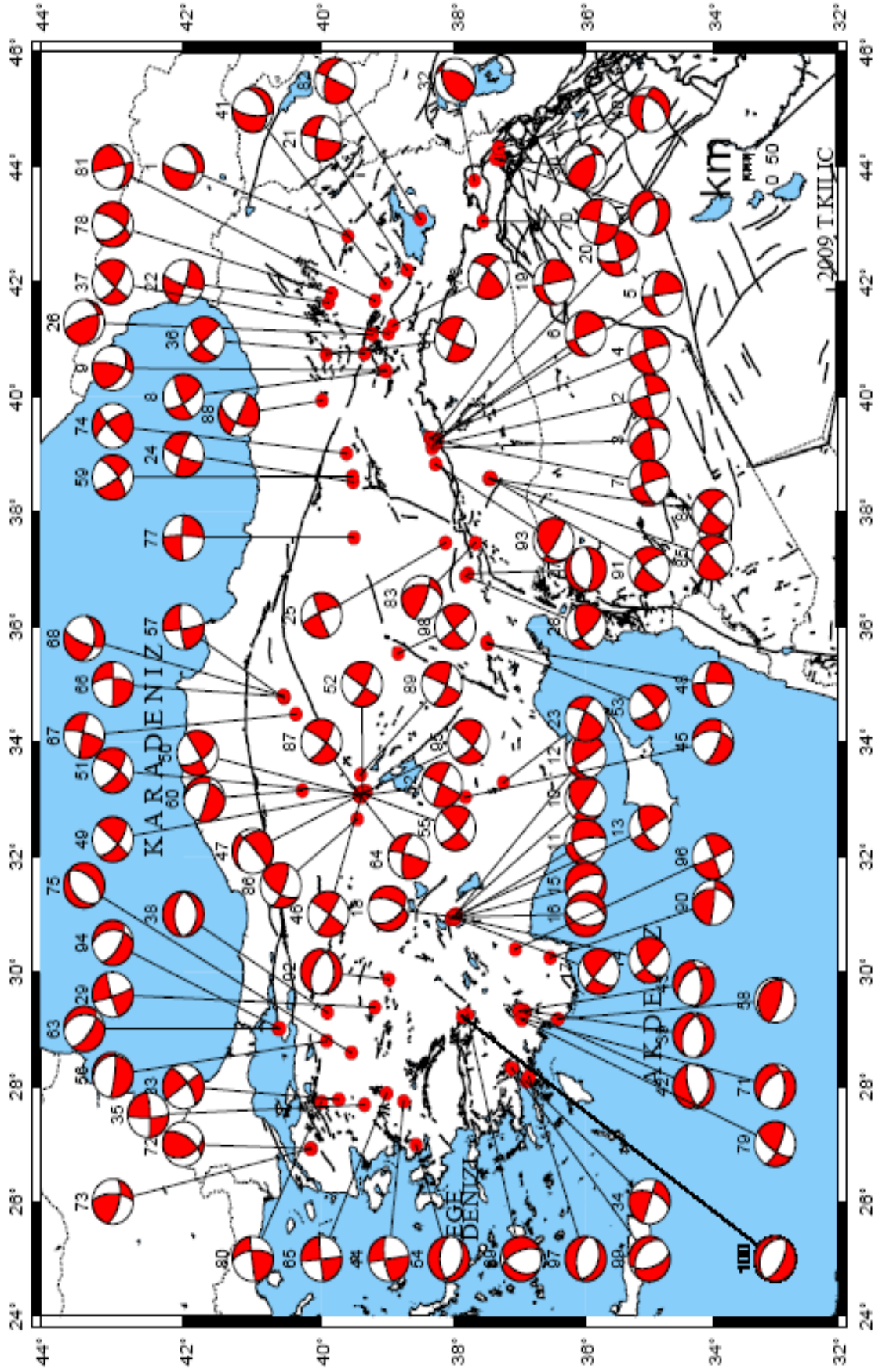
Bu çalışmada kullanılan MT ters çözüm yöntemi çoklu kaynak tanımlamasına dayandığından her bir kaynak için ayrı bir çözüm bulunmaktadır. Bu çözümler içerisinde odak mekanizmasını temsil eden en doğru DC modelinin seçilmesinde DC'nin yanısıra korelasyon ve değişinti (varyans) azaltma katsayıları da göz önüne alınmıştır. Başka bir deyişle en iyi DC modelinin belirlenmesinde yalnızca korelasyon katsayısının büyüklüğüne bakılmamış, aynı zamanda DC değerinin %100'e yakın olması ve değişinti (varyans) azaltma katsayısının büyük olması da dikkate alınmıştır.

### 4.3. Deviatorik Moment Tensör Ters Çözüm Sonuçları

Bu çalışmada 2007 ve 2008 yıllarında Türkiye kara sınırlıları içinde meydana gelmiş magnitudü 4,0 ile 5,6 arasında değişen depremlerin deviatorik MT ters çözüm yöntemiyle kaynak parametreleri belirlenmiştir [40]. Bu depremler için gerçekleştirilmiş olan MT ters çözüm analizlerinden elde edilmiş kaynak parametreleri Tablo 4.4'de verilmiştir. Odak mekanizma çözümleri plaj topları (beachball) şeklinde Şekil 4.5'de gösterilmiştir.

Yapılan çözümlere örnek teşkil etmesi açısından analizler sonucunda hesaplanan büyüklükleri  $M_w \geq 5,0$  olan 7 depreme ait odak mekanizma çözümleri, gözlenmiş ve sentetik dalga şekilleri karşılaştırmaları Şekil 4.6 – 4.12'de gösterilmiştir. Seçilen bu depremler Tablo 4.4'de 2, 4, 5, 26, 38, 46 ve 49 nolu depremlerdir.





Şekil 4.5. Çalışmada Deviatorik Moment Tensor yöntemi ile kaynak parametreleri belirlenmiş olan tüm depremlerin odak mekanizması çözümlerinin dağılımlarını gösteren harita. (Her çözüm ait olduğu depremin episantr merkezli olarak haritaya yerleştirilmiştir.)

Tablo 4.4. Türkiye’de 2007-2008 yılları arasında magnitüdü 4.0 ile 5.6 arasında değişen depremler için bu çalışmada elde edilen kaynak parametre bilgileri

Sıra No	Tarih (YY/AA/GG)	Oluş Zamanı	Enlem (K)	Boylam (D)	Derinlik (Km)	Mw	Doğrultu	Eğim	Atım	Mo (Nm)	Yeri
1	2007/01/21	07:38:58,98	39,6133	42,8000	8	4,7	79	37	-28	1,24E+16	Tutak_AGRI
2	2007/02/09	02:22:56,25	38,3415	39,1698	8	5,2	345	84	-177	8,06E+16	Sivrice_ELAZIG
3	2007/02/11	03:43:01,23	38,3538	39,119	13,2	3,9	77	78	38	9,22E+14	Sivrice_ELAZIG
4	2007/02/21	11:05:27,26	38,3957	39,2977	6,2	5,9	344	82	-166	7,69E+17	Sivrice_ELAZIG
5	2007/02/28	19:55:32,35	38,2789	39,2638	30	5,0	265	56	4	3,15E+16	Cungus_DIYARBAKIR
6	2007/02/28	20:08:11,91	38,2923	39,2164	11	3,9	160	85	135	9,39E+14	Cungus_DIYARBAKIR
7	2007/02/28	23:27:46,68	38,3400	39,2518	18	4,5	249	64	-5	5,69E+15	Sivrice_ELAZIG
8	2007/03/08	12:35:38,82	39,0433	40,4592	26	4,7	149	69	168	1,10E+16	Merkez_BINBOL
9	2007/03/09	23:24:54,54	39,063	40,4702	30	4,2	14	75	132	2,26E+15	Merkez_BINBOL
10	2007/03/30	16:56:54,52	38,0437	30,9482	13	4,2	127	86	127	2,48E+15	Gelendost_ISPARTA
11	2007/03/30	19:23:58,74	38,0025	30,9236	2	4,4	350	75	-127	4,89E+15	Gelendost_ISPARTA
12	2007/03/30	20:10:45,05	37,9987	31,0063	17	3,8	149	81	125	3,93E+14	Gelendost_ISPARTA
13	2007/03/30	20:49:27,36	38,0143	30,9772	19	4	239	63	2	1,35E+15	Gelendost_ISPARTA
14	2007/03/31	01:20:40,53	38,0215	30,9556	18	4	233	58	10	1,20E+15	Gelendost_ISPARTA
15	2007/04/10	21:39:20,76	38,0671	30,9225	12	4,2	336	60	-82	2,18E+15	Gelendost_ISPARTA
16	2007/04/10	22:00:36,04	38,0473	30,9532	6	4,7	15	42	-87	1,48E+16	Gelendost_ISPARTA
17	2007/04/11	09:58:01,35	38,052	30,9519	13	3,7	220	59	-1	3,55E+14	Gelendost_ISPARTA
18	2007/04/11	10:06:40,31	38,0145	30,9571	7,8	4	19	58	-55	9,70E+14	Gelendost_ISPARTA
19	2007/04/14	04:30:37,18	38,3528	39,2848	8	4,4	262	47	3	5,27E+15	Sivrice_ELAZIG
20	2007/04/19	07:16:25,79	38,3048	39,1888	15	4,5	75	89	-28	7,29E+15	Cungus_DIYARBAKIR
21	2007/05/05	21:11:38,17	38,7367	42,218	16	4,2	281	70	-179	2,24E+15	Ahlat_BITLIS
22	2007/05/07	13:45:39,76	39,9008	41,6433	35	4,2	199	80	-170	2,36E+15	Pasinler_ERZURUM
23	2007/05/18	23:27:45,03	37,2795	33,2983	28	4	29	67	14	1,09E+15	Merkez_KARAMAN

Tablo 4.4.'ün devamı

Sıra No	Tarih (YY/AA/GG)	Oluş Zamanı	Enlem (K)	Boylam (D)	Derinlik (Km)	Mw	Doğrultu	Eğim	Atım	Mo (Nm)	Yeri
24	2007/08/06	19:35:22,74	39,538	38,5208	7	4,1	291	83	-169	1,01E+15	Ilic_ERZINCAN
25	2007/08/24	02:53:10,68	38,155	37,4623	15	4,2	337	79	-175	1,87E+15	Elbistan_K_MARAS
26	2007/08/25	22:05:48,01	39,2517	41,0935	29	5,2	95	28	29	7,67E+19	Karlioiva_BINGOL
27	2007/09/15	05:26:52,32	37,8165	36,9262	16	4,4	249	29	-108	3,83E+15	Merkez_K_MARAS
28	2007/09/15	23:28:47,99	37,8413	36,8843	16	4,1	246	55	27	1,61E+15	Merkez_K_MARAS
29	2007/09/20	06:18:51,69	39,2147	29,3885	12	4,5	253	84	-173	6,39E+15	Emet_KUTAHYA
30	2007/09/21	09:49:26,48	37,3240	44,1319	36	3,9	95	50	47	9,51E+14	Yuksekoa_HAKKARI
31	2007/09/21	10:21:20,73	37,3941	44,1509	36	4,2	326	51	-47	2,02E+15	Yuksekoa_HAKKARI
32	2007/09/24	22:50:54,05	37,7146	43,7771	6	3,6	243	42	126	2,92E+14	Merkez_HAKKARI
33	2007/09/29	22:35:09,49	39,7487	27,7768	7	3,8	324	89	-21	6,14E+14	Merkez_BALIKESIR
34	2007/10/10	21:27:55,77	36,9228	28,0953	22	3,8	109	90	34	6,48E+14	Marmaris_MUGLA
35	2007/10/25	05:02:04,05	39,3668	27,6859	11	3,9	87	82	171	7,82E+14	Savastepe_BALIKESIR
36	2007/10/27	04:02:23,58	39,3656	40,757	25	4,4	229	70	3	5,17E+15	Yedisu_BINGOL
37	2007/10/28	22:00:46,20	39,0118	41,1040	20	3,9	221	83	20	6,92E+14	Solhan_BINGOL
38	2007/10/29	09:23:13,92	36,9142	29,2995	5	5	89	35	-93	3,37E+16	Cameli_DENIZLI
39	2007/10/31	17:58:01,41	36,9512	29,3218	7	4,2	81	47	-113	2,39E+15	Cameli_DENIZLI
40	2007/11/09	09:09:01,59	37,3432	44,331	20	4,2	279	62	-46	1,92E+15	Semdilli_HAKKARI
41	2007/11/15	04:11:11,29	39,054	41,978	14	3,9	66	37	-36	8,76E+14	Bulanık_MUS
42	2007/11/16	09:08:22,74	36,941	29,2962	4	4,8	253	67	-107	1,96E+16	Cameli_DENIZLI
43	2007/12/02	20:21:49,58	37,0262	29,3162	8	4,1	318	46	-45	1,83E+15	Cameli_DENIZLI
44	2007/12/10	21:50:06,16	38,7812	27,742	18	4,1	261	73	180	1,42E+15	Soruhanli_MANISA
45	2007/12/13	18:06:19,25	37,8505	33,0420	18	4	2	51	-30	1,14E+15	Kulu_KONYA
46	2007/12/20	09:48:27,21	39,4173	33,0453	7	5,3	125	85	-177	9,70E+16	Bala_ANKARA

Tablo 4.4.'ün devamı

Sıra No	Tarih (YY/AA/GG)	Oluş Zamanı	Enlem (K)	Boylam (D)	Derinlik (Km)	Mw	Doğrultu	Eğim	Atım	Mo (Nm)	Yeri
47	2007/12/20	10:10:38,84	39,3352	33,1325	17	4,2	303	32	-17	2,04E+15	Bala_ANKARA
48	2007/12/23	23:55:08,13	37,5168	35,7015	32	4,1	268	62	-5	1,70E+15	Kozan_ADANA
49	2007/12/26	23:47:09,51	39,396	33,1073	11	5,3	41	89	-27	1,15E+17	Bala_ANKARA
50	2007/12/27	07:47:00,82	39,4485	33,0695	4	4,9	58	87	-28	2,87E+16	Bala_ANKARA
51	2007/12/27	13:47:58,73	39,4273	33,0928	16	4,3	129	69	-164	3,28E+15	Bala_ANKARA
52	2007/12/27	17:56:12,54	39,3948	33,1368	6	3,7	122	75	176	4,28E+14	Bala_ANKARA
53	2008/01/01	00:21:41,62	37,5265	35,7363	14	3,8	148	70	-165	4,94E+14	Kozan_ADANA
54	2008/01/05	05:11:00,92	38,5945	26,985	3	3,6	270	55	-105	2,42E+14	Menemen_IZMIR
55	2008/01/07	18:26:35,34	39,4255	33,1098	15	3,6	136	74	-180	3,00E+14	Bala_ANKARA
56	2008/01/10	17:52:28,61	39,9238	28,7901	5	4,3	337	17	-31	3,37E+15	Saraykoy_DENIZLI
57	2008/01/14	02:06:28,79	40,5521	34,7685	6	3,7	263	80	-172	4,00E+14	Merkez_CORUM
58	2008/01/17	08:39:10,64	36,4392	29,175	3	3,5	108	69	86	1,99E+14	Fethiye_MUGLA
59	2008/01/22	16:31:55,87	39,5453	38,622	12	4,2	146	78	-160	2,47E+15	Ilic_ERZINCAN
60	2008/01/31	00:01:20,7	40,2824	33,1556	20	4,4	107	82	-117	4,88E+15	Cubuk_ANKARA
61	2008/01/31	05:36:58,89	39,9337	40,7482	24	3,6	295	87	-169	2,47E+14	Askale_ERZURUM
62	2008/02/01	09:11:02,98	39,448	33,0653	20	4	295	84	179	1,13E+15	Bala_ANKARA
63	2008/03/12	18:53:30,71	40,6318	29,0057	8	4,7	355	35	-47	1,13E+16	Cinarcik_YALOVA
64	2008/03/15	10:15:37,2	39,425	33,0615	19	4,8	15	83	25	1,74E+16	Bala_ANKARA
65	2008/03/15	11:52:12,26	39,0373	27,882	12	4	174	88	-2	1,09E+15	Akhisar_MANISA
66	2008/03/29	03:12:30,11	40,553	34,7933	6	4,5	359	68	-3	6,78E+15	Merkez_CORUM
67	2008/04/01	00:41:39,36	40,3713	34,4832	4	3,8	282	83	168	5,62E+14	Ugurludag_CORUM
68	2008/04/02	10:14:08,77	40,5672	34,8077	6	3,8	203	73	-135	6,73E+14	Merkez_CORUM
69	2008/04/25	04:48:55,59	37,8268	29,258	3	4,4	307	41	-49	4,45E+15	Honaz_DENIZLI

Tablo 4.4.'ün devamı

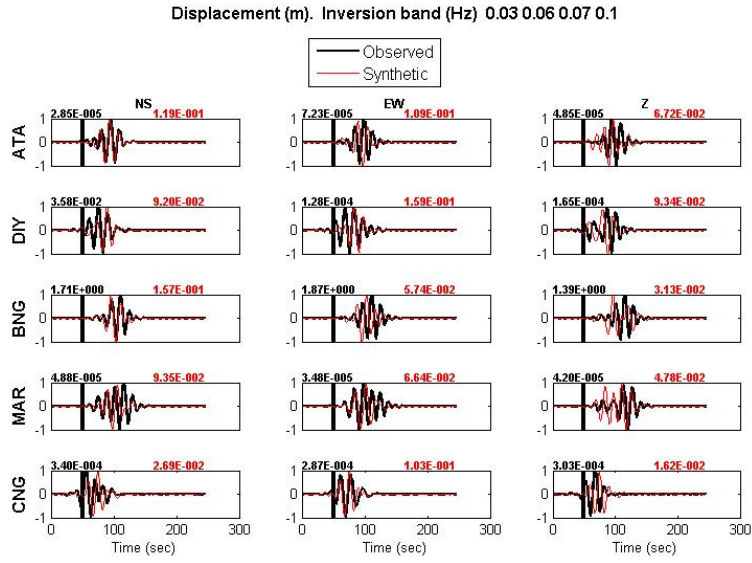
Sıra No	Tarih (YY/AA/GG)	Oluş Zamanı	Enlem (K)	Boylam (D)	Derinlik (Km)	Mw	Dogrultu	Eğim	Atım	Mo (Nm)	Yeri
70	2008/05/11	23:20:06,74	37,58,81	43,068	8	4,1	191	88	2	1,24E+16	Beytusebap_SIRNAK
71	2008/05/30	05:34:22,08	37,009	29,191	4	4	318	53	-53	8,06E+16	Cameli_DENIZLI
72	2008/06/01	03:35:23,60	40,1547	26,921	13	4,2	159	43	46	9,22E+14	Biga_CANAKKALE
73	2008/06/03	06:59:22,21	40,164	26,928	3	3,8	0	63	150	7,69E+17	Biga_CANAKKALE
74	2008/06/04	09:48:18,77	39,633	39,0298	33	4,1	229	79	158	3,15E+16	Kemah_ERZINCAN
75	2008/06/16	15:49:24,98	39,5682	28,5977	12	3,5	232	40	-80	9,39E+14	Dursunbey_BALIKESIR
76	2008/06/21	03:58:34,78	38,948	41,2473	27	4,5	304	73	159	5,69E+15	Merkez_MUS
77	2008/06/25	21:12:17,75	39,5228	37,554	6	4,2	1	82	-175	1,10E+16	Zara_SIVAS
78	2008/06/27	10:50:06,54	39,8577	41,80,17	24	3,9	31	70	-48	2,26E+15	Pasinler_ERZURUM
79	2008/07/03	17:37:02,54	36,9943	29,169	15	4,1	117	72	156	2,48E+15	Cameli_DENIZLI
80	2008/07/10	07:49:53,52	40,0013	27,732	6	4,3	354	59	3	4,89E+15	Gonen_BALIKESIR
81	2008/07/12	05:54:03,75	39,2138	41,6732	32	4,2	76	41	179	3,93E+14	Hinas_ERZURUM
82	2008/07/26	22:16:48,33	38,5327	43,1002	5	4,4	24	88	37	1,35E+15	VanGolu_VAN
83	2008/08/20	11:01:38,42	37,7055	37,4608	27	4,1	6	41	159	1,20E+15	Golbasi_ADIYAMAN
84	2008/09/02	02:22:48,2	37,4980	38,5834	5	4,2	311	78	-175	2,18E+15	Bozova_URFA
85	2008/09/04	22:54:31,61	37,4605	38,5825	7	4,4	226	88	-30	1,48E+16	Bozova_URFA
86	2008/09/07	12:47:37,22	39,4797	32,6543	21	4,1	211	60	17	3,55E+14	Haymana_ANKARA
87	2008/09/11	08:33:58,18	39,4248	33,0580	6	3,8	127	72	-171	9,70E+14	Bala_ANKARA
88	2008/09/17	12:08:11,56	39,9993	39,9497	31	4,5	117	87	-33	5,27E+15	Otlukbeli_ERZINCAN
89	2008/09/23	09:09:42,43	39,4243	33,4333	8	4,2	115	74	-176	7,29E+15	Bala_ANKARA
90	2008/09/28	11:32:11,82	36,5538	30,2493	7	3,6	3	39	175	2,24E+15	Kumluca_ANTALYA
91	2008/09/29	20:54:55,82	37,4740	38,5900	19	4,5	224	79	-26	2,36E+15	Bozova_URFA
92	2008/09/30	07:30:00,20	39,0057	29,8702	9	4,3	292	56	-76	1,09E+15	Altinkaya_KUTAHYA



Tablo 4.4.'ün devamı

Sıra No	Tarih (YY/AA/GG)	Oluş Zamanı	Enlem (K)	Boylam (D)	Derinlik (Km)	Mw	Dogrultu	Eğim	Atım	Mo (Nm)	Yeri
93	2008/10/05	05:33:47,20	38,3063	38,833	4	3,9	123	79	119	6,85E+14	Poturge_MALATYA
94	2008/10/05	06:04:04,44	40,6103	29,0142	4	3,8	357	43	-43	5,76E+14	Cinarcik_YALOVA
95	2008/10/10	06:36:54,40	39,3872	33,1093	18	4	222	89	23	1,19E+15	Bala_ANKARA
96	2008/10/19	22:20:52,58	37,097	30,3907	18	4,3	157	86	-177	2,98E+15	Korkuteli_ANTALYA
97	2008/11/09	13:20:25,85	36,885	28,170	15	3,6	278	53	-99	2,58E+14	Marmaris_MUGLA
98	2008/11/12	14:03:16,68	38,8607	35,5435	7	4,8	140	87	170	1,77E+16	Kocasinan_KAYSERI
99	2008/11/24	11:34:09,81	37,149	28,324	4	3,5	306	38	-121	2,39E+14	Merkez_MUGLA
100	2008/12/24	05:54:59,93	37,8927	29,2273	4	4,1	118	60	-91	1,37E+15	Cameli_DENIZLI

1- 21 Şubat 2007 Mw=5.9 Sivrice - ELAZIĞ depremi;



Origin Time:

20070221 11:05:27.26

Epicenter (DDA):

Lat: 38.3957 Lon: 39.2977

Depth (km) :62

Mw : 5.9

Moment Tensor Solution

No of Stations: 5

Freq band (Hz)

0.06-0.07 tapered 0.03-0.06 and 0.07-0.1

Variance Reduction (%): 1

Moment Tensor: Exponent 10\*\*19 Nm

Mrr Mtt Mpp

-4.810 -39.438 44.247

Mrt Mrp Mtp

14.219 -14.001 61.191

DC (%) : 99.6

CLVD (%) : 0.4

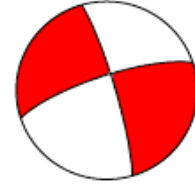
Best Double Couple: Mo= 7.67e+017 Nm

NP1: Strike Dip Rake

344 82 -166

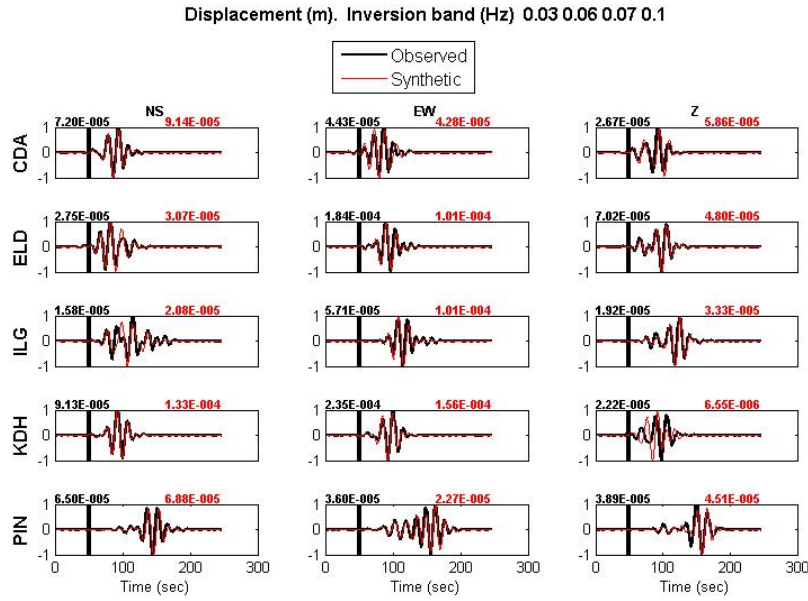
NP2: Strike Dip Rake

252 77 -8



Şekil 4.6. Çalışmada Deviatorik MT Analizi yapılan 21 Şubat 2007 Sivrice depremine ait gözlenmiş-sentetik dalga şekli karşılaştırmasını odak mekanizma çözümü ve elde edilen sonuçları sayısal olarak gösteren şekil

2- 26 Aralık 2007 Mw=5.3 Bala - ANKARA depremi:



Origin Time:  
20071226 23:47:9.51  
Epicenter (DDA):  
Lat: 39.396 Lon: 33.1073  
Depth (km) :11  
Mw : 5.3



Moment Tensor Solution  
No of Stations: 5  
Freq band (Hz)  
0.06-0.07 tapered 0.03-0.06 and 0.07-0.1  
Variance Reduction (%): 60

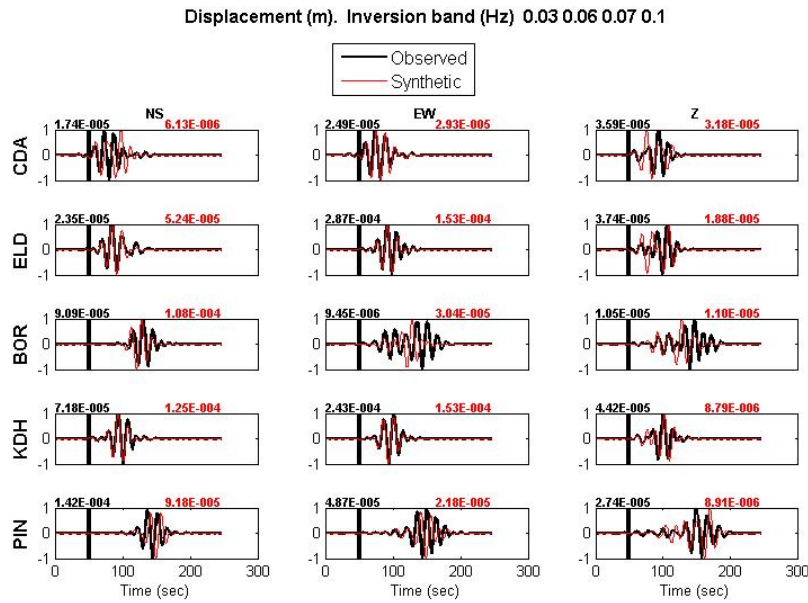
Moment Tensor: Exponent  $10^{15}$  Nm  
Mrr Mtt Mpp  
-1.916 -99.878 101.793  
Mrt Mrp Mtp  
-35.519 -39.307 -14.005

DC (%) : 99.1  
CLVD (%) : 0.9

Best Double Couple:  $M_0 = 1.15 \times 10^{17}$  Nm  
NP1: Strike Dip Rake  
41 89 -27  
NP2: Strike Dip Rake  
131 63 -179

Şekil 4.7. Çalışmada Deviatorik MT Analizi yapılan 26 Aralık 2007 Bala depremine ait gözlenmiş-sentetik dalga şekli karşılaştırmasını, odak mekanizması çözümü ve elde edilen sonuçları sayısal olarak gösteren şekil.

## 3- 20 Aralık 2007 Mw=5.3 Bala - ANKARA depremi;



Origin Time:

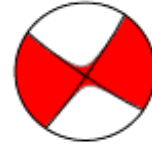
20071220 09:48:27.21

Epicenter (DDA):

Lat: 39.4173 Lon: 33.0453

Depth (km) :7

Mw : 5,3



Moment Tensor Solution

No of Stations: 5

Freq band (Hz)

0.06-0.07 tapered 0.03-0.06 and 0.07-0.1

Variance Reduction (%): 43

Moment Tensor: Exponent 10\*\*15 Nm

Mrr	Mtt	Mpp
3.334	-91.576	88.242

Mrt	Mrp	Mtp
-9.780	-3.013	-34.845

DC (%) : 91.3

CLVD (%) : 8.7

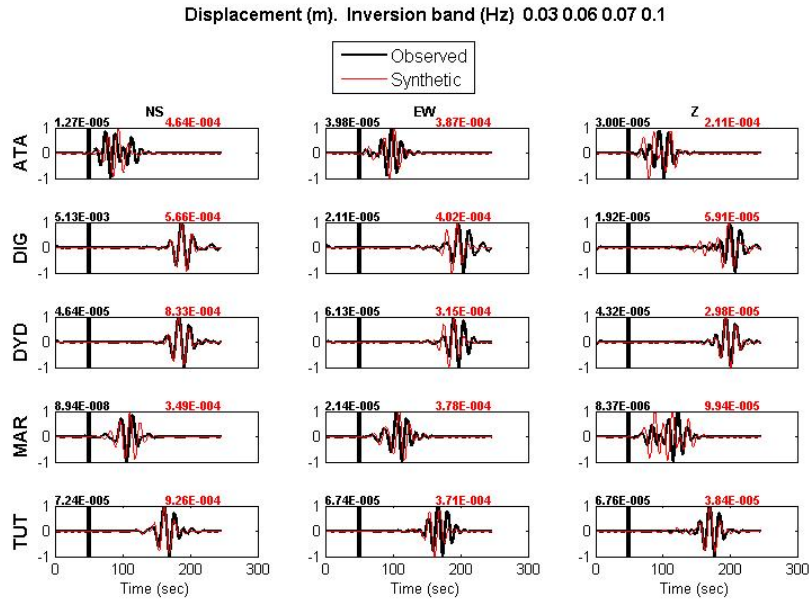
Best Double Couple: Mo= 9.70e+016 Nm

NP1: Strike	Dip	Rake
125	85	-177

NP2: Strike	Dip	Rake
34	87	-5

Şekil 4.8. Çalışmada Deviatorik MT Analizi yapılan 20 Aralık 2007 Bala depremine ait gözlenmiş-sentetik dalga şekli karşılaştırmasını, odak mekanizması çözümü ve elde edilen sonuçları sayısal olarak gösteren şekil

## 4- 09 Şubat 2007 Mw=5.2 Sivrice - ELAZIG depremi;



Origin Time:

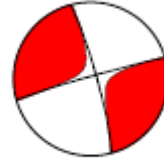
20070209 02:22:56.25

Epicenter (DDA):

Lat: 38.3415 Lon: 39.1698

Depth (km) :8

Mw : 5.2



Moment Tensor Solution

No of Stations: 5

Freq band (Hz)

0.06-0.07 tapered 0.03-0.06 and 0.07-0.1

Variance Reduction (%): 11

Moment Tensor: Exponent 10\*\*15 Nm

Mrr Mtt Mpp

-66.471 -407.757 474.228

Mrt Mrp Mtp

92.028 -4.398 726.746

DC (%) : 86.6

CLVD (%) : 13.4

Best Double Couple: Mo= 8.06e+016 Nm

NP1: Strike Dip Rake

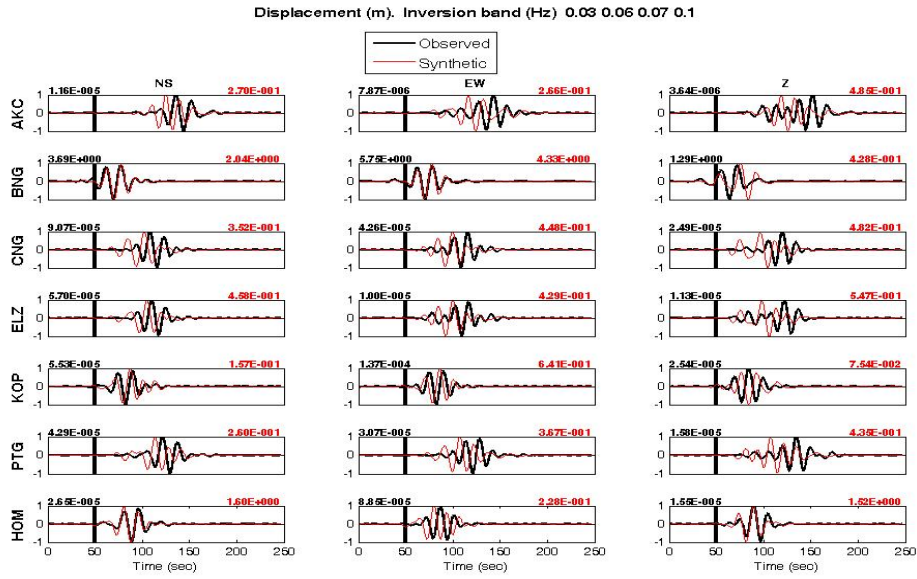
345 84 -177

NP2: Strike Dip Rake

254 87 -6

Şekil 4.9. Çalışmada Deviatorik MT Analizi yapılan 09 Şubat 2007 Sivrice depremine ait gözlenmiş-sentetik dalga şekli karşılaştırmasını, odak mekanizması çözümü ve elde edilen sonuçları sayısal olarak gösteren şekil

## 5- 25 Ağustos 2007 Mw=5.2 Karlıova - BİNGÖL Depremi:



Origin Time:

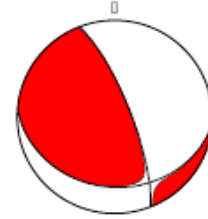
20070825 22:05:48.01

Epicenter (DDA):

Lat: 39.2517 Lon: 41.0935

Depth (km) :29

Mw : 5.2



Moment Tensor Solution

No of Stations: 7

Freq band (Hz)

0.06-0.07 tapered 0.03-0.06 and 0.07-0.1

Variance Reduction (%): 64

Moment Tensor: Exponent  $10^{20}$  Nm

Mrr Mtt Mpp  
31.133 -26.084 -5.049

Mrt Mrp Mtp  
-15.159 61.022 32.943

DC (%) : 96.6

CLVD (%) : 3.4

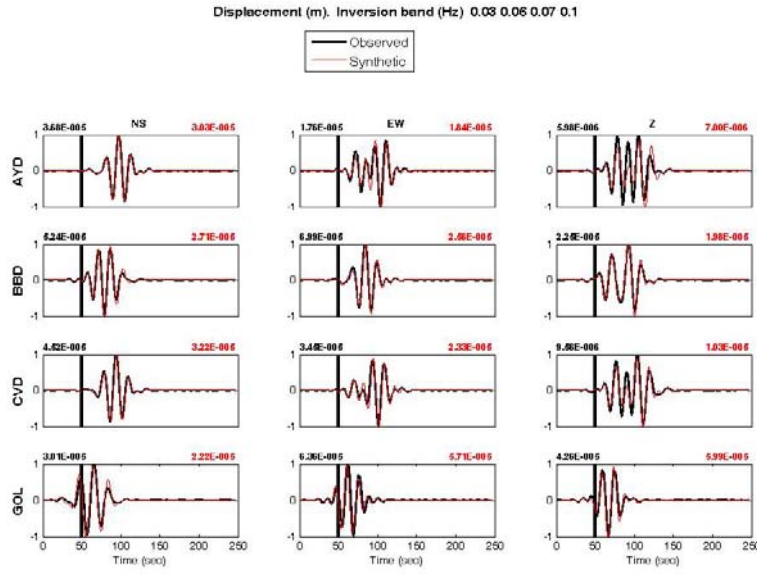
Best Double Couple:  $M_0 = 7.67 \times 10^{16}$  Nm

NP1: Strike Dip Rake  
95 28 29

NP2: Strike Dip Rake  
339 77 115

Şekil 4.10. Çalışmada Deviatorik MT Analizi yapılan 25 Ağustos 2007 Karlıova depremine ait gözlenmiş-sentetik dalga şekli karşılaştırmasını, odak mekanizması çözümü ve elde edilen sonuçları sayısal olarak gösteren şekil

## 6- 29 Ekim 2007 Mw=5.0 Çameli - DENİZLİ depremi:



Origin Time:

20071029 09:23:13.92

Epicenter (DDA):

Lat: 36.9142 Lon: 29.2995

Depth (km) :4

Mw : 5.0



Moment Tensor Solution

No of Stations: 6

Freq band (Hz)

0.06-0.07 tapered 0.03-0.06 and 0.07-0.1

Variance Reduction (%): 60

Moment Tensor: Exponent 10\*\*14 Nm

Mrr Mtt Mpp  
-309.312 324.657 -15.345

Mrt Mrp Mtp  
112.284 -11.513 -6.586

DC (%) : 91.2

CLVD (%) : 8.8

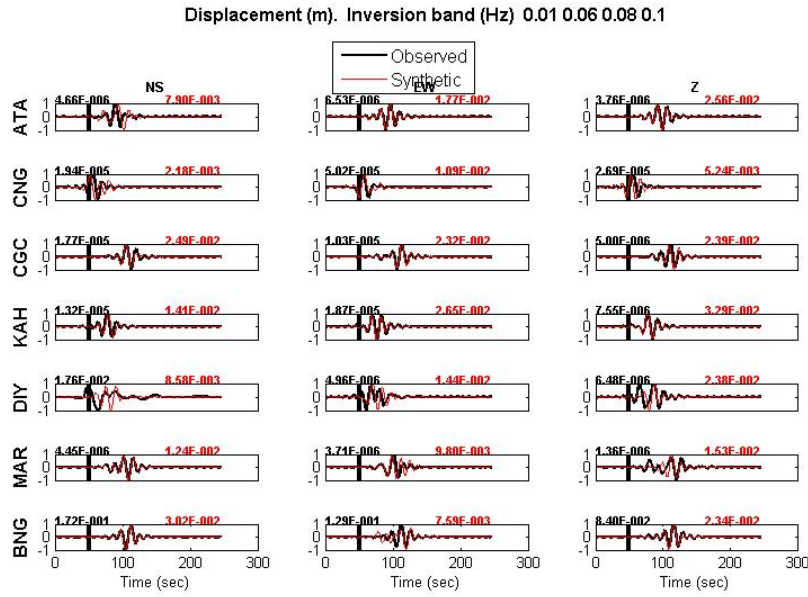
Best Double Couple: Mo= 3.37e+016 Nm

NP1: Strike Dip Rake  
89 35 -93

NP2: Strike Dip Rake  
273 55 -88

Şekil 4.11. Çalışmada Deviatorik MT Analizi yapılan 29 Ekim 2007 Çameli depremine ait gözlenmiş-sentetik dalga şekli karşılaştırmasını, odak mekanizması çözümü ve elde edilen sonuçları sayısal olarak gösteren şekil

## 7- 28 Şubat 2007 Mw=5.0 Çüngüş - DİYARBAKIR depremi;



Origin Time:

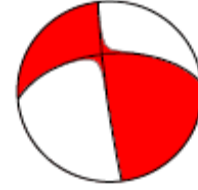
20070228 19:55:32.35

Epicenter (DDA):

Lat: 38.2789 Lon: 39.2638

Depth (km) :30

Mw : 5.0



Moment Tensor Solution

No of Stations: 7

Freq band (Hz)

0.06-0.08 tapered 0.01-0.06 and 0.08-0.1

Variance Reduction (%): 8

Moment Tensor: Exponent 10\*\*18 Nm

Mrr Mtt Mpp

2.369 -6.660 4.292

Mrt Mrp Mtp

1.290 -17.617 25.403

DC (%) : 95.6

CLVD (%) : 4.4

Best Double Couple: Mo= 3.15e+016 Nm

NP1: Strike Dip Rake

265 56 4

NP2: Strike Dip Rake

173 87 146

Şekil 4.12. Çalışmada Deviatorik MT Analizi yapılan 28 Şubat 2007 Çüngüş depremine ait gözlenmiş-sentetik dalga şekli karşılaştırmasını, odak mekanizması çözümü ve elde edilen sonuçları sayısal olarak gösteren şekil



## BÖLÜM 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, Türkiye’de 2007-2008 yıllarında meydana gelmiş büyüklükleri  $M \geq 4,0$  olan toplam 100 tane depremin deviatorik moment tensör ters çözüm yöntemi ile analizi yapılmıştır. Depremlerden 52’si 2007 yılında 48’i de 2008 yılında meydana gelmiştir.

Yapılan analizler sonucunda şu sonuçlara ulaşılmıştır:

- 2007-2008 yılları içinde olmuş en küçük moment magnitudüne sahip olan deprem  $M_w=3,5$ , 16 Haziran 2008 tarihindeki Dursunbey-BALIKESİR depremidir. Bu depremde hesaplanan sismik moment  $M_0=1,95E+14$  Nm’dir. En büyük deprem ise  $M_w=5,9$ , 21 Şubat 2007 tarihindeki Sivrice-ELAZIĞ depremidir. Bu depremde hesaplanan  $M_0=7,69E+17$  Nm dir.

- 2007 yılında meydana gelmiş 52 depremin sonucunda toplam açığa çıkan sismik moment,  $\Sigma M_0=1,37E+18$  Nm iken 2008 yılında meydana gelmiş 48 depremin sonucunda ise toplam  $\Sigma M_0=1,39E+17$  Nm dir. Dolayısıyla 2007-2008 yıllarında açığa çıkan toplam sismik moment,  $\Sigma M_0=1,51E+19$  Nm olarak hesaplanmıştır.

- Bu depremler için Green fonksiyonu ile hesaplanan kaynak-zaman fonksiyonundan elde edilen kaynak derinliklerinin ortalaması 14,5 km’dir.

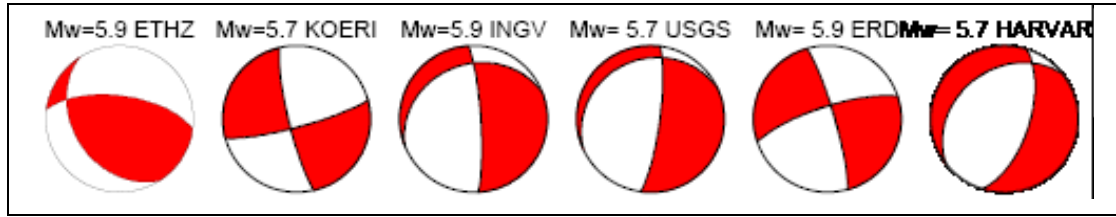
- Depremlerin kaynak derinlik dağılımlarına bakıldığında Türkiye sınırları içinde  $26^\circ-31^\circ$  Doğu boylamları arasında kalan batı kısmında kaynak derinliği ortalaması 3,7 km,  $31^\circ-39^\circ$  Doğu boylamları arasında kalan orta kısımda 13.1 km,  $39^\circ-45^\circ$  Doğu boylamları arasında kalan doğu kısımda ise ortalama kaynak derinliği 19.6 km dir. Bu sonuçlar Türkiye’de batıdan doğuya kabuk kalınlaşması gözlemiyle de uyumludur.

- Yapılan moment tensör ters çözümlerinden DC%, CLVD% parametreleri için elde edilen değerlerin ortalaması sırasıyla 84,15, 15,85 . DC% değerinin büyük, CLVD% olması yapılan çözümlerin kaliteli olduğunu göstermektedir.

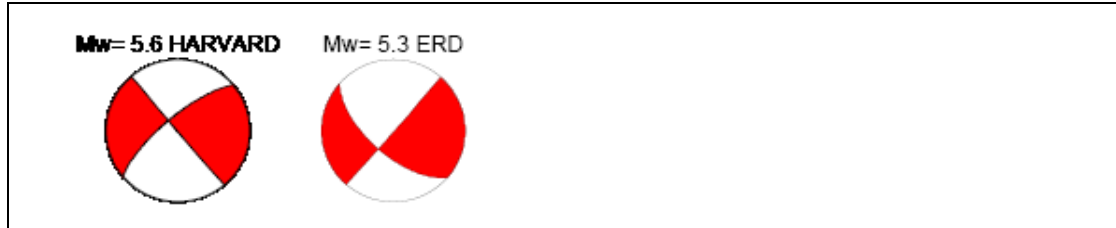
- Çözümlemesi yapılan depremlerin kaynak parametrelerine göre dağılımına baktığımızda ise %70'nin doğrultu atımlı faylanmadan, %22'sinin normal faylanmadan ve %8'inin de ters faylanmadan kaynaklandığı görülmüştür. Ayrıca bu depremler için moment tensör ters çözümü ile elde edilmiş odak mekanizmaları, bunların meydana geldiği bölgelerdeki tektonik yapılar ile uyum içerisinde olduklarıdır.

- Çalışmada çözümü yapılan 2007 ve 2008 yılları arasında meydana gelmiş en büyük 6 depremin çözümü daha önce bazı sismoloji merkezlerince de yapılmıştır. Bu merkezler ajans kodları sırasıyla AUTH,ETHZ, INGV, HARVARD, KOERI, USGS dir. Bu çalışmada yapılan çözümler ERD kodu ile verilmiş olup, söz konusu sismoloji merkezlerinin yaptığı çözümlerin sonuçları Şekil 4.13'de karşılaştırılmıştır. Görüldüğü üzere sonuçlar arasında büyük bir benzerlik söz konusudur. Bu da çalışmada yapılan çözümlerin bir sağlaması olması açısından önemli görülmüştür.

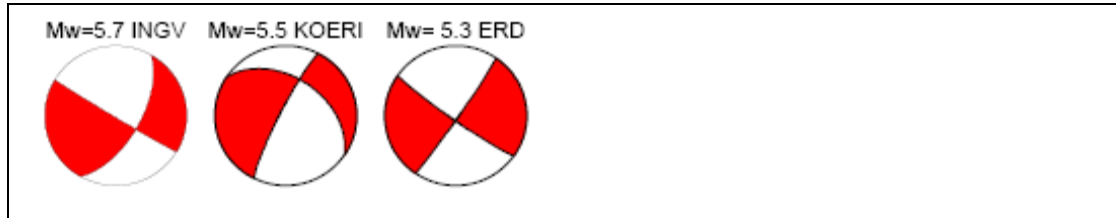
Bu çalışmada anlatıldığı üzere moment tensör ters çözüm yöntemi, sentetik sismogramı gerçek sismograma yaklaştırarak depremlerin kaynaklandığı fay mekanizmalarının belirlendiği matematiksel bir yaklaşımdır. Bunun yanısıra deprem sırasında açığa çıkan enerjinin bir göstergesi olan sismik moment ve moment magnitudü de bu yöntem ile elde edilmektedir. Depremler için bu parametrelerin gözlemsel yollarla elde edilmesi daha fazla zaman ve çaba gerektirmektedir. Ayrıca küçük magnitudlü depremler için bu parametrelerin gözlemsel yolla elde edilmesi oldukça zordur. Bu açıdan bu çalışma Türkiye Moment Tensör Katoluğu'nun oluşturulmasına yönelik rutin MT analizleri için ilk adımlardan biridir. Bu bağlamda gerek daha önceki yıllarda meydana gelmiş gerekse gelecekte meydana gelecek depremler çalışılarak MT kataloğu geliştirilmesi için uğraş verilmelidir.



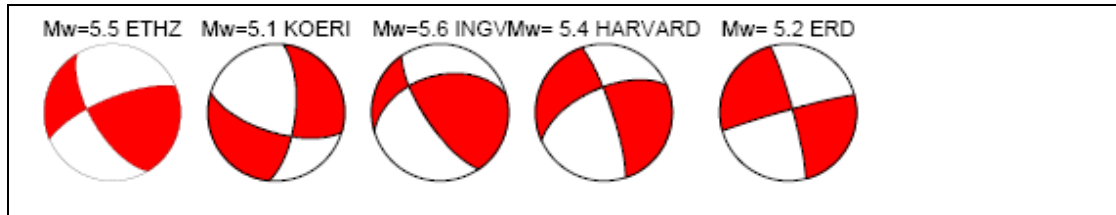
a) 21 Şubat 2007 Mw= 5.9 Sivrice- ELAZIĞ depremi



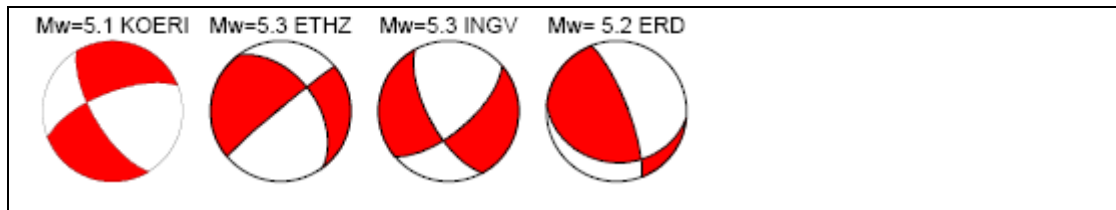
b) 26 Kasım 2007 Mw= 5.3 Bala- ANKARA depremi



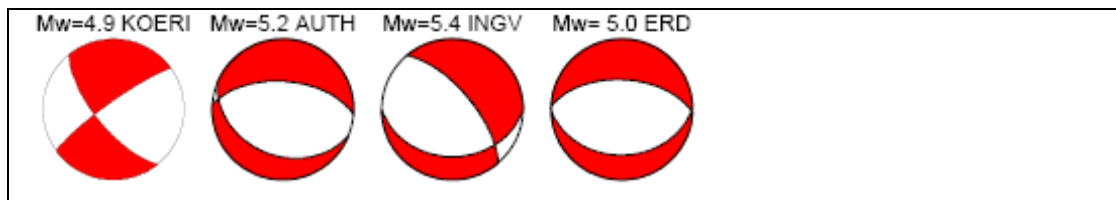
c) 20 Kasım 2007 Mw= 5.3 Bala- ANKARA depremi



d) 09 Şubat 2007 Mw=5.2 Sivrice- ELAZIĞ depremi



e) 25 Ağustos 2007 Mw=5.2 Karlıova- BİNGÖL depremi



f) 29 Ekim 2007 Mw= 5.0 Çameli- DENİZLİ depremi

Şekil 4.13. 2007 ve 2008 yıllarında meydana gelmiş en büyük 6 depremin farklı sismoloji merkezleri tarafından yapılmış olan çözümleri

## KAYNAKLAR

- [1] DEMİRTAŞ, R., ERKMEN, C., Deprem ve Jeoloji, Jeoloji Mühendisleri Odası, 2000
- [2] GUTENBERG, B., RICHTER, C., Seismicity of the Earth, GSA Bulletin, v. 56; no. 6; p. 603-667, 1945
- [3] ÖZMEN, B., NURLU, M., GÜLER, H., Coğrafi Bilgi Sistemi ile Deprem Bölgelerinin İncelenmesi, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara, 1997
- [4] Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Deprem Araştırma Dairesi, Sismoloji Şubesi internet sayfası, <http://sismo.deprem.gov.tr/veritabani.htm>, Şubat 2009
- [5] GILBERT, F., DZIEWONSKI, A., An application of normal mode theory to the retrieval of structural parameters and source mech, Phil Trans R. Soc. London 278, 186-269, 1975
- [6] DREGER, D., Empirical Green's Function Study of the January 17, 1994 Northridge California Earthquake, Geo. Res. Lett., 21, 2633-2636., 1994
- [7] PINAR, A., KUGE, K., HONKURA, Y., Moment tensor inversion of recent small to moderate sized earthquakes: implications for seismic hazard and active tectonics beneath the Sea of Marmara, Geophys. J. Int. 153, 133-145., 2003
- [8] ÖRGÜLÜ O., AKTAR, M., TÜRKELİ, N., SANDVOL, E., BARAZANGI, M., Contribution to the seismotectonics of Eastern Turkey from moderate and small size events, Geop. Res. Letters, Vol. 30, No. 24, 8040, 2003
- [9] ZHU, L., AKYOL, N., MITCHELL, B.J., SOZBİLİR, H., Seismotectonics of western Turkey from high resolution earthquake relocations and moment tensor determinations, GEOP. RES. LETTERS, VOL. 33, 2006
- [10] ŞENGÖR, A. M. C., GÖRÜR, N. and ŞAROĞLU, F., Strike-slip deformation basin formation and sedimentation Strike-slip faulting and related basin formation in zones of tectonic escape Turkey as a case study. In Biddle, K.T. and Christie-Blick, N., Strike-slip faulting and basin formation. Society of Economic, Palgs. Min. Spec. Pub., Vol. 37, 227-264, 1985

- [11] BARKA, A.A., KADINSKY-CADE, K., Strike-slip fault geometry in Turkey and its influence on earthquake activity. *Tectonics* 7, 663-684, 1988
- [12] BARKA, A., REILINGER, R., Active Tectonics of Eastern Mediterranean region:deduced from GPS, neotectonic and seismicity data, *Annali Di Geofisica*, X2(3), 587–610, 1997
- [13] BOZKURT, E., Neotectonics of Turkey - a synthesis, *Geodinamica Acta.*, 14, 3-30, 2001
- [14] REILLINGER, R., MCCLUSKY , S., VERNANT, P., LAWRENCE, S., ERGINTAV, S., CAKMAK, R., OZENER, H., KADIROV, F., GULIEV, I., STEPANYAN, R., NADARIYA, M., HAHUBIA, G., MAHMOUD, S., SAKR, K., ARRAHEHI, A., PARADISSIS, D., AL-AYDRUS, A., PRILEPIN, M., GUSEVA, T., EVREN, E., DMITROTSIA, A. FILIKOV, S. V., GOMEZ, F., AL-GHAZZI, R., KARAM, G., Gps constraints on contienental deformation in the Africa-Arabia-Eurasia continental collision zone and implications for the dynamics of plate interactions, *Journal of Geophys. Res.*, Vol. 111, B05411, 2006
- [15] BARKA, A., Slip distribution along the North Anatolian.Fault Associated with large earthquakes of the Period 1939 to 1967. *Bull. Seis. Soc. Am.*, 86,1238-1254.,1996
- [16] TOKAY, M., Kuzey Anadolu Fay Zominun Gerede ile İlgaz arasındaki kısmında jeolojik gözlemler: Kuzey Anadolu Fayı ve Deprem Kuşağı sempozyumu, Ankara, 12-29, 1973
- [17] SEYMEN, İ., Kelkit vadisi kesiminde Kuzey Anadolu Fay zonunun tektonik özelliği, İTÜ maden fakültesi yayını, 192 s., 1975
- [18] BARKA A., HANCOCK P.L., Neotectonic deformation patterns in the convex-northwards arc of the North Anatolian fault zone, *Geol. Soc. London Spec. Pub.*, 17, 763-774, 1984
- [19] MCKENZIE, D. P., Active Tectonics of the Mediterranean Region, *Geophys. J. Royal Astron Soc.*, 30 , 109-185, 1972
- [20] CANITEZ, N., Yeni kabuk hareketlerine ilişkin çalışmalar ve Kuzey Anadolu Fay problemi: Kuzey Anadolu Fayı ve Deprem kuşağı Sempozyumu, MTA Yayını, 35-38, 1973
- [21] TOKSÖZ, M. N., CHENG, C. H. and TIMUR, A., Velocities of seismic waves in porous rocks, *Geophysics*, 41, 621-645, 1979
- [22] BRUNE, J. N., FLETCHER, J., VERNON, HAAR, F. L., HANKS, T., and BERGER, J.,. Low stress-drop earthquakes in the light of new data from the Anza, California telemetered digital array, in *Earthquake Source Mechanics*, *Geophys. Monog.* 37 (M. Ewing V. 6), Amer. Geophys. Union, Washington, D.C., 237-246, 1986

- [23] ALLEN, C. R., Active faulting in Northern Turkey. Contrib., Division of Geol.Sciences, Cal. Inst. Tech., 1577, 32 p, 1969
- [24] ARPAT, E., ŞAROĞLU, Ş., AYTUN, A., 22-Mayıs-1971 Bingöl Depremi Raporu. Deprem Araştırma Enstitüsü İmar ve İskân Bakanlığı Yayınları, Ankara, 1972.
- [25] ŞAROĞLU, F., EMRE, Ö., KUŞÇU, A., Türkiye'nin Diri Fay Haritası. ölçek: 1/1000000. Ankara., 1992
- [26] KOÇYIĞIT, A., Doğu Anadolu Bölgesi'nin depremselliği ve gerekli çalışmalar: Yeryuvarı ve İnsan, 8, 3, 25-29., 1983
- [27] KOÇYIĞIT, A., Güneybatı Türkiye ve yakın dolayında levha içi yeni tektonik gelişim: Türkiye Jeol., Kur.,Bült., 27, 1, 1-15, 1984
- [28] BOZKURT, E., Origin of NE-trending basins in western Turkey, GEODINAMICA ACTA., 16 (2-6): 61-81., 2003
- [29] JACKSON, J., MCKENZIE, D.P., Active tectonics of the Alpine-Himalayan belt between Turkey and Pakistan: Geophys.J. Royal Ast. Soc., c. 77, s. 185-264, 1984
- [30] EYIDOĞAN, H., JACKSON, J., A seismological study of normal faulting in the Demirci, Alaçehir and Gedizearthquakes of 1969-70 in western Turkey: implication for the nature and geometry of deformation in the continentalcrust. Geophys. Journal of Royal Astronomical Society 81, 569-607., 1985
- [31] PINAR, A., Source inversion of the October 1, Dinar earthquake (Ms=6.1): a rupture model with implications for seismotectonics in SW Turkey. Tectonophysics, 292, 255–266, 1998
- [32] TAYMAZ, T., PRICE, S., The May 12 Burdur Earthquake Sequence, SW. Turkey: a synthesis of seismological and geological observations.Geophys. J. Int., 108, 589-603.,1992
- [33] SANDVOL, E., TURKELLİ, N.,BARAZANGI, M., The Eastern Turkey Seismic Experiment: The study of a young continent-continent collision Geoph. Res. Letters, Vol. 30, No. 24, 8038, 2003
- [34] Harward Moment Tensor Kataloğu, Global CMT Catalog Search, <http://www.globalcmt.org> , sayfasi, Şubat 2009
- [35] STEIN, S., WYSESSION, M., An Introduction to Seismology Eartquakes and Earth Stucture, Blackwell Science Inc., 498 pages, 2002
- [36] AKI, K., Richards, P., Quantitative Seismology, W.Freeman & Co., pp 730-733, San Francisco, 1980

- [37] KIKUCHI, M., KANAMORI, H., Source characteristics of the 1992 Nicaragua tsunami earthquake inferred from teleseismic body waves, PAGEOPH, Vol.144, 441-453, 1995
- [38] BOUCHON, M., A Simple Method to Calculate Green's Functions for Elastic Layered Media , Bulletin of the Seismological Society of America , Vol.71 , No.4, pp.959-971., 1981
- [39] KLEIN, F. W., User guide to HYPOINVERSE, a program for Vax and PC350 computers to solve for earthquake locations, USGS open-file report, 84-000, 1984
- [40] SOKOS, E., N., ve ZAHRADNIK, J., ISOLA a Fortran code and a Matlab Gui to perform multiple-point source inversion of seismic data Computers & Geosciences, Volume 34, Issue 8, Pages 967-977, August 2008
- [41] HERRIN, E., TAGGART, J., Regional variations in P travel times. Bull. Seis. Soc. Am., 58, 1325-1337, 1968
- [42] HERRIN, E., Seismological tables for P-phases, Bull. Seism. Soc. Am., 60, 461-489,. 1968
- [43] WESSEL, P., SMITH, W.H.F., The Generic Mapping Tools (GMT) Soft., 1995
- [44] STRELIZ, R. A., Choosing the best double couple from a moment-tensor inversion, Geophys. J. Int., 99, 811-815, 1989

## ÖZGEÇMİŞ

Tuğbay KILIÇ 1973 yılında Ankara'da doğdu. İlk, orta ve lise tahsilini yine Ankara'da tamamladı. 1992 yılında Ankara Üniversitesi, Fen Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği bölümüne başladı. Aynı bölümdeki eğitimini 1996 yılında tamamladı. 1997 yılında Bayındırlık ve İskan Bakanlığı'nın açmış olduğu sınavı kazanarak Ankara Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Deprem Araştırma Dairesi, Sismoloji Şubesi'nde çalışmaya başladı. 2001-2003 yılları arasında Türkneta Projesi sistem sorumluluğu görevini yürüttü. 2003 yılından itibaren USAG (Ulusal Sismik Ağın Geliştirilmesi) proje sorumluluğu görevini yürütmektedir.