

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**JEODEZİK ÇALIŞMALARLA MARMARA BÖLGESİNDE
DEPREM DÖNGÜSÜNÜN BELİRLENMESİ
VE MODELLERLE AÇIKLANMASI**

**DOKTORA TEZİ
Rahşan ÇAKMAK**

Anabilim Dalı : Jeodezi ve Fotogrametri Müh.

Programı : Jeodezi ve Fotogrametri Müh.

ARALIK 2010

**JEODEZİK ÇALIŞMALARLA MARMARA BÖLGESİNDE
DEPREM DÖNGÜSÜNÜN BELİRLENMESİ
VE MODELLERLE AÇIKLANMASI**

**DOKTORA TEZİ
Rahşan ÇAKMAK
(501012186)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 10 Ağustos 2010
Tezin Savunulduğu Tarih : 10 Aralık 2010**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Ergin TARI (İTÜ)
Eş Danışman : Doç. Dr. Semih ERGİNTAV
(TÜBİTAK MAM)
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Mustafa YANALAK (İTÜ)
Prof. Dr. Okan TÜYSÜZ (İTÜ)
Doç. Dr. Ziyadin ÇAKIR (İTÜ)
Prof. Dr. Rasim DENİZ (İTÜ)
Prof. Dr. Haluk ÖZENER (BÜ)**

ARALIK 2010

ÖNSÖZ

Yüksek Lisans ve Doktora çalışmalarım sırasında benden sabır, bilgi ve tavsiyelerini hiçbir zaman sakınmayan değerli hocalarım Prof. Dr. Ergin Tarı ve Doç. Dr. Semih Ergintav’a; tezin yapısının oluşmasında büyük katkıları olan ve yardımlarını esirgemeyen Doç. Dr. Ziyadin Çakır’a; çalışmalarım boyunca tüm olanakları sağlayan TÜBİTAK MAM, Yer ve Deniz Bilimleri Enstitüsü Müdürü Sayın Doç. Dr. Sedat İnan’a teşekkürü borç bilirim.

Çalışma arkadaşlarım Müh. Alpay Belgen, Levent Kurt, Yük. Müh. Ali Özkan ve Müh. Gökhan Arslan’a; deneyimlerini paylaşarak beni motive etmeye çalışan Dr. Onur Tan ve Dr. Ahmet Murat Akoğlu’na teşekkür ederim.

TARAL 1007 kapsamındaki 105G019 “Türkiyenin Deprem Riski Yüksek -ancak tektonik rejimleri farklı- Bölgelerinde Deprem Davranışının Çok Disiplinli Yaklaşımlarla Araştırılması (TÜRDEP)” projesi gibi farklı projelerde görev almaktan ve bu projeler kapsamında elde edilen verileri tez çalışmam sırasında kullanma olanağı bulduğumdan dolayı şanslıyım. Bu şans için TÜBİTAK MAM YDBE Enstitü Müdürü Doç. Dr. Sedat İnan ve Müdür Yardımcısı Doç. Dr. Semih Ergintav’a tekrar teşekkür ederim.

Sonsuz sevgi ve güvenleri için annem, canım ablam, abilerim ve eşime ise minnettarım.

Ağustos 2010

Rahşan ÇAKMAK

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖNSÖZ.....	iii
İÇİNDEKİLER	v
KISALTMALAR	vii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	xi
ÖZET.....	xvii
SUMMARY	xix
1. GİRİŞ	1
2. KABUK DEFORMASYONLARININ BELİRLENMESİNDE BİR YÖNTEM: GPS.....	3
2.1 Giriş.....	3
2.2 GPS Veri Analizi.....	7
2.2.1 GAMIT.....	7
2.2.2 GLOBK.....	10
3. DEPREM DÖNGÜSÜ	13
4. ÇALIŞMA ALANI: MARMARA BÖLGESİ.....	17
5. JEODEZİK YÖNTEMLERLE MARMARA BÖLGESİNDE DEPREM DÖNGÜSÜNÜN ANLAŞILMASINA YÖNELİK YAPILMIŞ ÇALIŞMALAR	21
5.1 1998 Öncesi.....	21
5.2 1998 – 1999 (17 Ağustos 1999 İzmit Depremi Mw= 7.4).....	23
5.3 17 Ağustos 1999 İzmit Depremi Mw= 7.4 – 12 Kasım 1999 Düzce Depremi Mw=7.2	24
5.4 12 Kasım 1999 Düzce Depremi Mw=7.2 sonrası	26
5.5 Güncel Durum (2002-2009)	27
5.6 Veri İşlem Stratejisi.....	28
5.6.1 Deprem öncesi dönem.....	28
5.6.2 2002-2009 dönemi	29
5.6.3 Referans sisteminin tanımlanması	34
6. MODELLEME YAKLAŞIMI	39
7. UYGULAMA: MARMARA BÖLGESİNDE DEPREM DÖNGÜSÜNÜN İZLENMESİ VE MODELLERLE AÇIKLANMASI	47
7.1 Deprem Öncesi	47
7.1.1 Giriş.....	47
7.1.2 Modelleme çalışması.....	49
7.2 Deprem Anı ve 2002 Yılı Arası Deprem Sonrası Dönem.....	61
7.3 2002 – 2009 Deprem Sonrası Dönem	64
8. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	73
KAYNAKLAR	81
EKLER.....	89
ÖZGEÇMİŞ.....	127

KISALTMALAR

EDM	: Electronic Distance Measurement
GPS	: Global Positioning System
NAVSTAR	: Navigation System with Time and Ranging
SAR	: Synthetic Aperture Radar
VLBI	: Very Long Baseline Interferometry
GLONASS	: Global Navigation Satellite Systems
GNSS	: Global Navigation Satellite Systems
IGS	: International GPS Service
HUAM	: Ham Uydu Alıcı Mesafesi
DOP	: Dilution of Precision
IERS	: International Earth Rotation Service
ITRF	: International Terrestrial Reference Frame
RINEX	: The Receiver Independent Exchange Format
UNAVCO	: University NAVSTAR Consortium
MAGNET	: Marmara Sürekli GPS Gözlem Ağı
TÜRDEP	: Türkiye'nin Deprem Riski Yüksek -ancak tektonik rejimleri farklı- Bölgelerinde Deprem Davranışının Çok Disiplinli Yaklaşımlarla Araştırılması
KAF	: Kuzey Anadolu Fay Hattı
ETHZ	: Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
İTÜ	: İstanbul Teknik Üniversitesi
HGK	: Harita Genel Komutanlığı
MIT	: Massachusetts Institute of Technology
TÜBİTAK	: Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
TOKİ	: Toplu Konut İdaresi
EUREF	: IAG (International Association of Geodesy) Reference Frame Sub-Commission for Europe
TARAL	: Türkiye Araştırma Alanı
GPRS	: General Packet Radio Service
SP3	: Standard Product 3
SOPAC	: Scripps Orbit and Permanent Array Center
ERP	: Earth Rotation Parameters
USNO	: United States Naval Observatory
bull_b	: bulletin_b
FES2004	: (Finite Element Solution) tide model

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1 : GPS sinyal özellikleri (f_0 = temel frekans) (Kınık, 1999).....	4
Çizelge 4.1 : Marmara Bölgesinde 1999 yılına kadar son yüzyıl içinde meydana gelmiş depremler.....	19
Çizelge 5.1 : GAMIT veri işlem adımında kullanılan IGS'ye bağlı küresel GPS istasyonları.....	31
Çizelge 5.2 : Avrasya levhasına göre referanslandırma adımında kullanılan küresel GPS istasyonları (* ile işaretlenmiş istasyonlar IGS'in referans istasyonlarındanır.).....	33
Çizelge 5.3 : IGS'in Avrasya levhasına göre referanslandırmada kullandığı küresel GPS istasyonları (* ile işaretlenmiş istasyonlar, Çizelge 5.2'de verilen Tezde Avrasya levhasına göre referanslandırmada kullanılan küresel istasyonlardır.).....	35
Çizelge 7.1 : DEFNODE ile çalışılan blok geometrilerine ait detaylar.....	50
Çizelge B.1 : Deprem öncesi dönem için yatay hız değerleri (Reilinger ve diğ. 2006).....	95
Çizelge C.1: Marmara Bölgesi GPS kampanya noktalarına ait tekrarlılık bilgileri (2002-2009).....	99
Çizelge C.2: 2002-2009 Dönemi MAGNET istasyonlarına ait istasyon bilgileri (station.info).....	101
Çizelge C.3 : 2002-2009 yılları arası istasyonlara ait yatay hız değerleri.....	105
Çizelge D.1 : r001 modelinde kullanılan bloklar ve düğümlerin koordinatları.....	107
Çizelge D.2 : r002 modelinde kullanılan bloklar ve düğümlerin koordinatları.....	108
Çizelge D.3 : r003 modelinde kullanılan bloklar ve düğümlerin koordinatları.....	109
Çizelge D.4 : r004 modelinde kullanılan bloklar ve düğümlerin koordinatları.....	110
Çizelge D.5 : r002 modeli komut dosyası	111
Çizelge D.6 : r005 modelinde kullanılan bloklar ve düğümlerin koordinatları.....	116

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : GAMIT akış diagramı (Çakmak, 2001).	9
Şekil 3.1 : Gerilmenin tam anlamıyla oluşmadığı evrede gerilme-zaman ilişkisi. Kırmızı kesik çizgi fay üzerindeki sürtünme ve normal gerilmenin yenildiği eşik değeri göstermektedir.	14
Şekil 3.2 : Bölgede gerilimin yükseldiği evrede gerilme-zaman ilişkisi. Kırmızı kesik çizgi fay üzerindeki sürtünme ve normal gerilmenin yenildiği eşik değeri göstermektedir.	14
Şekil 3.3 : Fayın kırılması ile gerilme boşalımı evresinin gerilme-zaman ilişkisi. Kırmızı kesik çizgi fay üzerindeki sürtünme ve normal gerilmenin yenildiği eşik değeri göstermektedir.	14
Şekil 3.4 : Yanal atımlı bir fay sisteminde deprem sebebi ile oluşan yer değiştirme döngüsü (Thatcher, 1993).	16
Şekil 4.1 : Türkiye ve civarının morfoloji ve aktif tektonik haritası. Siyah çizgiler fayları göstermektedir (üçgenli çizgiler dalma batma ve bindirme kuşaklarındaki ters fayları göstermektedir). Marmara Bölgesini etkileyen Kuzey Anadolu Fay Sistemi üzerinde geçtiğimiz asırda oluşan yüzey kırıkları kalın siyah çizgilerle gösterilmiştir. KAF boyunca sıralanmış rakamlar yılları, kırmızı oklar ise o yıllarda meydana gelen depremlerin yüzeyde meydana getirdiği kırıkları, gri oklar ise Avrasya levhasına göre Arap ve Afrika levhalarının hareketini ifade etmektedir. (Ergintav ve diğ., 2009)	18
Şekil 5.1 : Marmara Bölgesinin 1990-1996 yılları arasında İstanbul referans alınarak elde edilmiş hız alanı (Straub ve diğ., 1997).....	22
Şekil 5.2 : Marmara Bölgesinin 1988-1998 yılları Avrasya levhasına göre hız alanı (Reilinger ve diğ., 2006)	22
Şekil 5.3 : 1998'den günümüze MAGNET'in dinamik yapısı (Mor renk ile gösterilen istasyonlar, Deprem öncesi de aktif olan istasyonları; Mavi renk ile gösterilen 4 istasyon İzmit depremi sonrasında kurulan geçici istasyonları (Bu istasyonlardan UCG2, halen aktif durumdadır); Yeşil renkli istasyonlar Düzce depreminden sonra kurulan istasyonları, Siyah renkli istasyonlar güncel MAGNET istasyonlarını, kırmızı renkli çizgiler aktif fayları (Şaroğlu ve diğ., 1992), Siyah kalın çizgiler ise 1999 depremlerine ait yüzey kırıklarını göstermektedir.)	24
Şekil 5.4 : 1999-2009 yılları arasında GPS kampanyalarında ölçme yapılan kampanya noktaları. Mavi renkli ve mavi alt çizgili istasyonlar 1999 depremi sonrası kampanya ölçme noktaları, siyah renkli istasyonlar 2002-2009 yılları arası kampanya ölçme noktaları. Kırmızı renkli çizgiler aktif fayları (Şaroğlu ve diğ., 1992), siyah kalın çizgiler ise 1999 depremlerine ait yüzey kırıklarını göstermektedir.	26
Şekil 5.5 : GPS veri analizinde ağın Avrasya levhasına göre referanslandırılmasında kullanılan küresel istasyonlara ait 2002-2009 yılları arası yatay hız	

değerleri (Mavi dikdörtgen içinde kalan MAGNET'e ait yatay hız değerleri Şekil 5.6'da verilmektedir.).....	34
Şekil 5.6 : GPS veri analizinde ağın Avrasya levhasına göre referanslandırılmasında kullanılan iki ayrı çözüm. Şekil 5.6a, Çizelge 5.2'de verilen küresel istasyonlarla (Şekil 5.4'de gösterilen mavi dikdörtgen alan), Şekil 5.6b ise Çizelge 5.3'de verilen küresel istasyonlarla yapılmış referanslandırma sonrası sonuçlarını göstermektedir. Kullanılan veri seti 2002-2009 dönemi MAGNET istasyonlarına aittir.	36
Şekil 6.1 : Yanal atımlı bir fay sisteminde fayın kilitli olduğu derinliğin şematik gösterimi. a) Gözlenen hız alanı b) Gözlenen hız alanını tanımlayan blok model (Çakır, 2010)	41
Şekil 6.2 : Blok modelleme yaklaşımının prensibi. A ve B aynı Euler kutbuna bağlı ancak farklı hızlara sahip iki bloku tanımlamaktadır. Siyah renkli vektörler blokların GPS ile gözlenen rotasyonel hızlarını (blok sınırını oluşturan fayın kilitli olması durumundaki), kırmızı renkli vektörler ise bloklar arasında sürtünme olmadığı ve dolayısıyla blokların serbest kayması durumundaki hızları göstermektedir. İki vektör arasındaki fark ise deformasyon birikimini ifade eden kayma eksikliğini verir ve bu sadece faya yakın alanda gözlenir (Çakır, 2010).	44
Şekil 6.3 : DEFNODE programında fay yüzeyindeki düğüm noktalarının numaralandırılması (Faya ait her bir parça, birim faylanma ile belirlenmektedir.) (Url-4)	45
Şekil 7.1 : 1999 depremleri öncesi dönem Marmara Bölgesi için üç bloklu (en uygun bulunan) model geometrisi (r002). Siyah renkli vektörler GPS veri işlem sonrası Avrasya levhasına göre hızları (Çizelge B.1), kırmızı renkli vektörler model sonucu elde edilen hızları, mor renkli çizgiler blok sınırlarını, lacivert yuvarlaklar ise fayı tanımlayan düğümleri ve siyah kesikli çizgiler fay üzerinde, fayı dik kesen profilleri göstermektedir. (avra = Avrasya bloku, anad = Anadolu bloku, marm = Marmara bloku)	50
Şekil 7.2 : Marmara Bölgesinde 2006-2009 yılları arasında meydana gelen depremlerin dağılımı. Mavi noktalar büyüklükleri ile ölçeklenmiş olarak deprem lokasyonlarını, siyah renkli düz çizgiler ise aktif fayları göstermektedir (Şaroğlu ve diğ., 1992).	51
Şekil 7.3 : 1999 depremleri öncesi dönem (güney kol geometrisi daha önce yapılmış çalışmalardan alınmıştır (Meade ve diğ., 2002; Reilinger ve diğ., 2006)) Marmara Bölgesi için üç bloklu model geometrisi (r003). Siyah renkli vektörler GPS veri işlem sonrası Avrasya levhasına göre hızları (Çizelge B.1), kırmızı renkli vektörler model sonucu elde edilen hızları, mor renkli çizgiler blok sınırlarını, lacivert yuvarlaklar ise fayları tanımlayan düğümleri göstermektedir. (avra = Avrasya bloku, anad = Anadolu bloku, marm= Marmara bloku)	52
Şekil 7.4 : Doğu profili için fay paralel hızlar. Kesik çizgili kırmızı doğrular KAF'ın kuzey ve güney kolunu, G ve K harfleri ise Kuzey ve Güney yönleri göstermektedir (Şekil 7.1). Profil üzerine düşen GPS noktalarının yeri kırmızı noktalar ve belirsizlikleri ise kırmızı barlar ile ifade edilmektedir.	53
Şekil 7.5 : Batı profili için fay paralel hızlar . Kesik çizgili kırmızı doğrular KAF'ın kuzey ve güney kolunu, G ve K harfleri ise Kuzey ve Güney yönleri göstermektedir (Şekil 7.1). Profil üzerine düşen GPS noktalarının yeri	

kırmızı noktalar ve belirsizlikleri ise kırmızı barlar ile ifade edilmektedir.	53
Şekil 7.6 : KAF'ın kuzey koluna ait phi ve kayma eksikliği derinlik ilişkisi. Harita, r002 modelinde kuzey kol ve düğümlerin yerlerini göstermektedir. Phi lejantı ile tanımlanan kesit phi-derinlik ilişkisini, kayma eksikliği lejantı ile tanımlanan kesit ise kayma eksikliği- derinlik ilişkisini vermektedir. Phi 0 ve 1 arasında değer almakta ve 1 fayın hareket edemediği, kilitli olduğu durumu, 0 ise serbest hareketin olduğu durumu ifade etmektedir. Kesitlerin sol tarafında ise derinlik bilgisi (km) gösterilmektedir.	55
Şekil 7.7 : KAF'ın güney koluna ait phi ve kayma eksikliği derinlik ilişkisi. Harita, r002 modelinde güney kol ve düğümlerin yerlerini göstermektedir. Phi lejantı ile tanımlanan kesit phi-derinlik ilişkisini, kayma eksikliği lejantı ile tanımlanan kesit ise kayma eksikliği- derinlik ilişkisini vermektedir. Phi 0 ve 1 arasında değer almakta ve 1 fayın hareket edemediği, kilitli olduğu durumu, 0 ise serbest hareketin olduğu durumu ifade etmektedir. Kesitlerin sol tarafında ise derinlik bilgisi (km) gösterilmektedir.	56
Şekil 7.8 : Deprem öncesi model sonucu faylar boyunca elde edilen atım değerleri. Sarı dikdörtgenler, yanal atım (- değerler, sağ yanal atım); beyaz dikdörtgenler düşey atım (- değerler, açılma) değerlerini ifade etmektedir.	57
Şekil 7.9 : Deprem öncesi model sonucu elde edilen fay paralel hızlar.	57
Şekil 7.10 : Deprem öncesi model sonucu elde edilen fay normal hızlar (- değerler açılmayı, + değerler sıkışmayı ifade etmektedir.)	57
Şekil 7.11 : Derinlik testinde incelenen kuzey kolun bölümleri (Şekil 7.12; Şekil 7.13 ve Şekil 7.14).	58
Şekil 7.12 : KAF'ın kuzey kolunun doğu kısmı (Şekil 7.11) için χ_r^2 -derinlik ilişkisi. Yatay eksen, derinlik (km); düşey eksen ise χ_r^2 değerini ifade etmektedir.	59
Şekil 7.13 : KAF'ın kuzey kolunun Marmara Denizinde kalan orta kısmı (Şekil 7.11) için χ_r^2 -derinlik ilişkisi. Yatay eksen, derinlik (km); düşey eksen ise χ_r^2 değerini ifade etmektedir.	59
Şekil 7.14 : KAF'ın kuzey kolunun batı kısmı (Şekil 7.11) için χ_r^2 -derinlik ilişkisi. Yatay eksen, derinlik (km); düşey eksen ise χ_r^2 değerini ifade etmektedir.	60
Şekil 7.15 : KAF'ın güney kolu için χ_r^2 -derinlik ilişkisi. Yatay eksen, derinlik (km); düşey eksen ise χ_r^2 değerini ifade etmektedir.	60
Şekil 7.16 : 1999 İzmit Depremi anında A) meydana gelen yer değiştirme alanı B) yüzeyde gözlenen derinliklerle ilişkisi C) Atımların derinlik dağılımı (Reilinger ve diğ., 2000)	62
Şekil 7.17 : MAGNET istasyonlarına ait zaman serileri (deprem sonrası -2002 dönemi için). Yeşil kesikli çizgi deprem öncesi döneme ait uzun dönem hız değişimini, kırmızı çizgi veriye en uygun rahatlatma zamanına ait model fonksiyonunun değişimini göstermektedir (Ergintav ve diğ., 2002).	63
Şekil 7.18 : 2002-2009 yılları arası Avrasya levhasına göre hız alanı (Çizelge C.3). Kırmızı renkli çizgiler aktif fayları göstermektedir (Şaroğlu ve diğ., 1992).	64
Şekil 7.19 : Tez kapsamında deprem öncesi ve sonrası modelleme çalışmalarında kullanılan hız alanlarının farkı. Gri renkli çizgiler aktif fayları göstermektedir (Şaroğlu ve diğ., 1992).	65

Şekil 7.20 :	2002-2009 dönemi Marmara Bölgesi için oluşturulan model. Siyah renkli vektörler GPS veri işlem sonrası Avrasya levhasına göre hızları (Çizelge B.1), kırmızı renkli vektörler model sonucu elde edilen hızları, mor renkli çizgiler blok sınırlarını, lacivert yuvarlaklar ise fayı tanımlayan düğümleri ve siyah kesikli çizgiler fay üzerinde, fayı dik kesen profilleri göstermektedir. (avra = Avrasya bloku, anad = Anadolu bloku, marm = Marmara Bloku, refe = Referans Bloku)	66
Şekil 7.21 :	Deprem sonrası (2002-2009) döneme ait model sonucu elde edilen artık hızlar (model-veri farkı)	68
Şekil 7.22 :	Şekil 7.1’de verilen Marmara’nın doğusunda bulunan profile ait deprem öncesi ve sonrası faya paralel hızlar. Kesik çizgili kırmızı doğrular KAF’ın kuzey ve güney kolunu, G ve K harfleri ise Kuzey ve Güney yönleri göstermektedir. Yeşil renkli eğri (nokta konumları kırmızı renk ile gösterilmiştir.) deprem öncesi hızları, mavi renkli eğri ise deprem sonrası hızları göstermektedir.	68
Şekil 7.23 :	2002-2009 dönemi için KAF’ın kuzey koluna ait phi ve kayma eksikliği derinlik ilişkisi. Harita, r005 modelinde kuzey kol ve düğümlerin yerlerini göstermektedir. Phi lejantı ile tanımlanan kesit phi-derinlik ilişkisini, kayma eksikliği lejantı ile tanımlanan kesit ise kayma eksikliği-derinlik ilişkisini vermektedir. Phi 0 ve 1 arasında değer almakta ve 1 fayın hareket edemediği, kilitli olduğu durumu, 0 ise serbest hareketin olduğu durumu ifade etmektedir. Kesitlerin sol tarafında ise derinlik bilgisi (km) gösterilmektedir.	69
Şekil 7.24 :	2002-2009 dönemi için KAF’ın güney koluna ait phi ve kayma eksikliği derinlik ilişkisi. Harita, r005 modelinde kuzey kol ve düğümlerin yerlerini göstermektedir. Phi lejantı ile tanımlanan kesit phi-derinlik ilişkisini, kayma eksikliği lejantı ile tanımlanan kesit ise kayma eksikliği-derinlik ilişkisini vermektedir. Phi 0 ve 1 arasında değer almakta ve 1 fayın hareket edemediği, kilitli olduğu durumu, 0 ise serbest hareketin olduğu durumu ifade etmektedir. Kesitlerin sol tarafında ise derinlik bilgisi (km) gösterilmektedir.	70
Şekil 7.25 :	2002-2009 dönemi model sonucu faylar boyunca elde edilen atım değerleri. Sarı dikdörtgenler, yanal atım (- değerler, sağ yanal atım); beyaz dikdörtgenler düşey atım (- değerler, açılma) değerlerini ifade etmektedir.	71
Şekil 7.26 :	2002-2009 dönemi model sonucu elde edilen fay paralel hızlar.	71
Şekil 7.27 :	2002-2009 dönemi model sonucu elde edilen fay normal hızlar (- değerler açılmayı, + değerler sıkışmayı ifade etmektedir.)	72
Şekil A.1 :	TUBİ istasyonunun Deprem anını gösteren zaman serisi (Kuzey-Güney, Doğu-Batı ve Yükseklik bileşenleri için)	91
Şekil A.2 :	KANT istasyonunun Deprem anını gösteren zaman serisi (Kuzey-Güney, Doğu-Batı ve Yükseklik bileşenleri için)	92
Şekil A.3 :	MERT istasyonunun Deprem anını gösteren zaman serisi (Kuzey-Güney, Doğu-Batı ve Yükseklik bileşenleri için)	93
Şekil A.4 :	DUMT istasyonunun Deprem anını gösteren zaman serisi (Kuzey-Güney, Doğu-Batı ve Yükseklik bileşenleri için)	94
Şekil D.1:	1999 depremleri öncesi dönem Marmara Bölgesi için iki bloklu model geometrisi (r001). Siyah renkli vektörler GPS veri işlem sonrası hızları (Çizelge B.1), kırmızı renkli vektörler model sonucu elde edilen hızları, mor renkli çizgiler blok sınırlarını, lacivert yuvarlaklar ise fayı	

tanımlayan nodları göstermektedir. (avra = Avrasya bloku, anad = Anadolu bloku).....	117
Şekil D.2: 1999 depremleri öncesi dönem Marmara Bölgesi için dört bloklu model geometrisi (r004). Siyah renkli vektörler GPS veri işlem sonrası hızları (Çizelge B.1), kırmızı renkli vektörler model sonucu elde edilen hızları, mor renkli çizgiler blok sınırlarını, lacivert yuvarlaklar ise fay tanımlayan nodları göstermektedir. (avra = Avrasya bloku, anad = Anadolu bloku, burs = Bursa bloku, marm = Marmara bloku).....	118
Şekil E.1 : Yerkürenin iç yapısının şematik gösterimi (Url-6).....	119
Şekil E.2 : Fay geometrisi ve kayma bileşen tanımları (s : kayma vektörü, δ : eğim açısı (<i>dip angle</i>), α : fay doğrultusunun azimutu (<i>strike</i>), d : fay düzleminin derinliği, L : fay düzleminin uzunluğu, W : fay düzleminin genişliği, SS : fay doğrultusu yönündeki kayma (<i>strike-slip</i>), DS : fay eğimi doğrultusunda kayma (<i>dip-slip</i>), x,y : fay doğrultusu ve ona dik koordinatlar, r : kayma vektörünün yönü (<i>rake</i>))(Aktuğ ve Çelik, 2008)	120
Şekil E.3 : Reolojik modeller ve yamulma-zaman grafikleri (σ_0 = ilk gerilme) a) Kelvin (η_K = Kelvin viskozite, μ_K = Kelvin rijitlik sabiti), b) Maxwell (η_M = Maxwell viskozite, μ_M = Maxwell rijitlik sabiti, c) Burgers (η_1 = Kelvin viskozite, μ_1 = Kelvin rijitlik sabiti, η_2 = Maxwell viskozite, μ_2 = Maxwell rijitlik sabiti) (Ranalli, 1987).	124
Şekil E.4 : BEST istasyonuna ait deprem sonrası zaman serisi. Kırmızı renkli eğri eksponansiyel rahatlama modelini, mavi renkli eğri ise logaritmik rahatlama modelini ifade etmektedir. Uzun dönem hız için, modelleme yapılırken, bilinen bir değer kullanılarak kısıt uygulanmamış ve serbest parametre olarak kestirilmiştir.	126

JEODEZİK ÇALIŞMALARLA MARMARA BÖLGESİNDE DEPREM DÖNGÜSÜNÜN BELİRLENMESİ VE MODELLERLE AÇIKLANMASI

ÖZET

Jeodezik yöntemlerin kabuk deformasyonlarının belirlenmesinde kullanılması 1906 San Francisco depremi ile başlamıştır. Yersel yöntemlerin kullanıldığı bu çalışma ile depremlerin oluş ve tekrarlanma süresinin açıklanmasında kilometre taşı olan ‘elastik serbestlenme kuramı’ tanımlanmıştır. Deprem kaynaklı deformasyonların izlenmesinde, jeodezik anlamda yersel klasik ölçme yöntemleri ile başlayan süreç, teknolojinin gelişmesi ile gelişimini sürdürmüştür. EDM, VLBI ve SLR gibi ölçme teknikleri ile çalışmalar genişlemiştir. Özellikle VLBI ve SLR ile jeodezi ve jeodinamik uygulamalarda kullanılan kutup hareketi, yeryuvarının dönme hızı, katı yer kabuğu gelgitleri ve küresel anlamda kabuk deformasyonları yüksek doğrulukta elde edilebilmeye başlamıştır. 1980’li yılların başında GPS ile birlikte çalışmalar yüksek bir ivme kazanmış ve geniş alana yayılmış. 1990’lı yılların başında ise InSAR bu tür çalışmalarda yerini almıştır.

GPS ile deprem döngüsünün (deprem öncesi, anı ve sonrası yer değiştirme alanı) belirlenmesi, fayların karakteristiğini anlama ve yamulma birikiminin izlenmesi ile deprem riskinin kestirilmesi gibi konularda önemli gelişmeler kaydedilmiştir.

Kuzey Anadolu Fay sisteminin etkisinde bulunan Marmara Bölgesi 1980’li yıllardan günümüze yerli/yabancı birçok bilim adamının ilgi odağı olmuştur. Özellikle 1999 İzmit ve Düzce depremleri sonrasında farklı disiplinler ve farklı yöntemlerle birçok çalışmaya ev sahipliği yapmıştır.

Marmara Bölgesinin tektonik yapısı gözönüne alınarak 1988 yılından itibaren bölge yoğun olarak tekrarlı GPS kampanyaları ile izlenmeye başlanmış, bu tür çalışmalarda beklenen mekansal ve zamansal doğruluk için kampanyaların yeterli olmamasından, 1998 yılında Sürekli GPS istasyonlarının kurulmasına başlanmıştır.

Bu çalışmada sürekli ve kampanya tarzı GPS istasyonlarından elde edilen veriler ile bölgede 1999 yılında olan Mw7.4 büyüklüğündeki İzmit depremi temel alınarak deprem döngüsünün tanımlanması ve modellenmesine ilişkin sonuçlar verilmiştir. Blok modelleme yardımı ile deprem öncesi ve sonrası güncel hız alanı (2002-2009) aynı blok geometrisi ile modellenmiş, deprem anına ait yapılmış çalışmalar da derlenerek verilmiştir. Elde edilen sonuçlar ile Marmara’daki ana fay kolları üzerinde yamulma birikimleri tanımlanmış, İzmit depremine ait deformasyonların bölgede hala etkin olarak devam ettiğini ve tüm Marmara’yı etkilediğini, halihazırda deprem öncesine dönmeye uzak bir görüntü olduğu gösterilmiştir. Çalışma kapsamında deprem öncesi dönem için elde edilen düşük kayma değerleri sebebi ile bölgeye ait deprem tehlikesi hesaplamalarının yeniden yapılması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır. Deprem sonrası dönem için gerçekleştirilen modelleme sonrasında, deprem öncesi dönem sonuçları ile sistematik veri bazlı uyumsuzlukları gözlenmiştir. Bu uyumsuzluklar ve yakın alandaki deformasyon değişimlerindeki yön farklılıkları

deprem sonrası döneme ait deformasyon yapısının sadece elastik olmadığını ve viskoelastik etkiler de taşıdığını göstermektedir.

DETERMINING AND MODELLING THE EARTHQUAKE CYCLE IN THE MARMARA REGION USING GEODETIC OBSERVATIONS

SUMMARY

Using geodetic methods in determination of crust deformation was started with San Francisco earthquake back in 1906. By this study conducted with survey methods, the “elastic rebound theory”, a milestone for understanding the earthquake occurrence had been stated. The monitoring the deformation related to earthquakes process was started with surveying methods and being developed along with the technology. Studies went on greater scales with the help of survey techniques such as: EDM, VLBI and SLR. Especially with VLBI and SLR the polar motions used in geodesy and geodynamic applications, earth’s rotation parameters, pole tides and crustal deformations globally can be surveyed with high accuracy. By early 1980s studies with GPS reached a high acceleration and spread widely. And by early 1990s InSAR is also started to be used in various studies.

With GPS, substantial achievements recorded in defining in many fundamental areas such as the displacement field in an earthquake cycle (coseismic, postseismic, interseismic), understanding the characteristics of the faults, and monitoring the strain accumulation and prediction of the risk of earthquake.

Marmara Region, under the influence of North Anatolian Fault System, has happened to be a center of attraction for many foreign/native scientists since 1980s. The region hosted many studies conducted with various disciplines and methods especially following the 1999 Izmit and Düzce earthquakes.

As campaign type GPS could not be sufficient in time and space accuracy for such studies, in 1998, the permanent GPS stations were started to be installed considering the tectonic structure of the region and expectations.

In this study, the results related to completion of earthquake cycle and modeling based on Mw 7.4 Izmit earthquake occurred in the region in 1999 with the data gathered from continuous and campaign style GPS stations are delivered. By block modeling, updated presismic and postseismic velocity fields (2002-2009) are modeled with the same block geometry, the data for coseismic velocity field provided as gathered in previous studies. With the achieved results; strain accumulation on main fault branches in Marmara are defined and displayed that the deformation related to Izmit earthquake is still continuing actively effecting the whole Marmara region and currently is showing a quite far for returning to the pre earthquake state. It is concluded that as the low slip rates achieved for interseismic period during the study, the earthquake risk for the region should be reevaluated. Systematic data based inaccuracies with the preseismic period results observed following the modeling implementation for postseismic period. These inaccuracies and near field rotations in deformation variations show that the deformation structure of postseismic period is not only elastic but carries viscoelastic imprints as well.

1. GİRİŞ

Teknoloji alanındaki gelişmeler bilime yüksek ivmeli bir hareket getirmiştir. Temel bilimlerde kullanılan teknik ve yöntemlerde ilerlemeler kaydedilmiş, hatta yeni yöntemler geliştirilmiştir. Temel bilimlerdeki bu gelişmelerden yer bilimleri de kendine düşeni, özellikle ülkemizde büyük sorun ve korku oluşturan deprem çalışmalarında jeofizik, jeoloji ve jeodezi gibi farklı bilim dallarına ait farklı yöntemlerin birlikte uygulanması ile almıştır. Jeodezi ve Fotogrametri (Geomatik) Mühendisliğinin önemli uygulamalarından olan GPS, gravite ve InSAR yöntemleri deformasyon analizinde yüksek doğrulukla gerçekleştirdikleri ölçmelerle yerbilimleri için önemli görevler üstlenmişlerdir. Ayrıca yazılımlarda ve kullanılan modellerde gelinen nokta da ölçme kalitesinin artmasında çok büyük etkindir. Tüm bu gelişmelere rağmen henüz onbinlerce insanın hayatını yitirmesine, milyonlarcasının da evsiz kalmasına neden olan depremlerin zamanı tam anlamıyla çözülerek, insanların korkulu rüyası olmaktan çıkarılamamıştır.

Yurdumuzda 1999 yılında yaşadığımız; maddi ve manevi ağır kayıplara neden olan 17 Ağustos İzmit ($M_w= 7.4$) ve 12 Kasım Düzce ($M_w= 7.2$) depremleri, Kuzey Anadolu Fay (KAF) sistemi hakkında bilinmesi ve öğrenilmesi gereken daha çok şey olduğunu göstermiştir. Bu nedenle, KAF'ın Marmara Bölgesi'ndeki kısmını incelemek ve karakteristiğini belirlemek için gerek denizde gerekse karada farklı teknikler yardımıyla birçok ulusal/uluslararası çalışma gerçekleştirilmiş ve gerçekleştirilmeye devam edilmektedir. Bu çalışmaların içinde GPS büyük yer tutmaktadır. 1988 yılında kampanya tarzında ölçme ile başlayan GPS çalışmaları 1999 yılında hız kazanmış, Marmara Bölgesinin tektonik özelliklerine göre şekillenen MAGNET'in (Marmara Sürekli GPS Gözlem Ağı) kurulması ile devam etmiştir. 1999 depremleri öncesi, anı ve sonrasında jeodezik yöntemlerden biri olan GPS'ten fazlasıyla yararlanılmıştır.

1999 İzmit depremi, veri seti açısından deprem öncesi, anı ve sonrasının izlenebildiği ender depremlerden biridir. Tez çalışmasının amacı ise eldeki bu veri yardımıyla 1999 İzmit depremi özelinde jeodezik bakış açısıyla deprem döngüsünün

izlenmesidir. Bu amaç doğrultusunda 1998 yılından günümüze süregelen GPS çalışmaları ile dünyanın en önemli fay sistemlerinden biri olan KAF'ın Marmara Bölgesini etkisi altında tutan kısmının neden olduğu 1999 depremlerinin deprem döngüsündeki yeri jeodezik bakış açısı ile araştırılmış, bölgedeki deprem tehlikesine yönelik jeolojik ve jeofizik çalışmalar için gerekli altlık bilgiler üretilmiştir.

Deprem döngüsünün her evresi ele alınmıştır. Deprem öncesi ve sonrası dönem, GPS verileri kullanılarak, blok modelleme yaklaşımını esas alan DEFNODE programı ile ve aynı blok geometrisi kullanılarak modellenmiştir. Deprem öncesi ve sonrası dönemde bölgedeki yamulma birikiminin KAF'ın Marmara denizinden geçen kuzey ve güney kolu üzerinde ne şekilde değiştiği ve bölgenin tümünü nasıl etkilediği açıklanmış, bölgedeki ana deformasyonları kontrol eden fay geometrisi ortaya konmuştur.

Yapılan bu çalışma ile daha önce bölgede yapılmış çalışmalardan farklı olarak deprem öncesi ve sonrası dönem için aynı model geometrisi kullanılmış ve modelde tanımlanan her fay kolu için kilitlenme oranının derinlikle değişimi analiz edilmiştir. Ayrıca oluşturulan modelin uygunluğunda sadece gerçek veri model arasındaki uyum değil, faya dik alınan profil sonuçları ve fayların bilinen özellikleri ile model sonuçları arasındaki uyum da dikkate alınmıştır.

Bu çalışmada öncelikle GPS yönteminden ve tez kapsamında kullanılan GPS veri işlem programı GAMIT/GLOBK'in çalışma prensibinden bahsedilmiştir. Daha sonra sırasıyla deprem döngüsü ve çalışma bölgesi tanımlanmıştır. 1998-2009 yılları arasında bölgeye ait GPS veri toplama ve işlem stratejisi hakkında bilgi verilmiştir. Ayrıca veri işlemin en önemli kısımlarından referanslandırma aşamasında dikkat edilmesi gerekenlere değinilmiştir. Tez çalışması kapsamında benimsenen blok modelleme yaklaşımından, bu yaklaşımı benimseyen (tez kapsamında modelleme çalışması sırasında kullanılan) DEFNODE programından ve çalışma prensibinden bahsedilmiştir. Bölgeye ait yapılmış jeodezik çalışmalar derlendikten sonra deprem döngüsünün belirlenmesine yönelik olarak deprem öncesi, anı ve sonrası dönemler, uygun görülen yaklaşımlar ile modellenerek elde edilen sonuçlar sunulmuştur.

2. KABUK DEFORMASYONLARININ BELİRLENMESİNDE BİR YÖNTEM: GPS

2.1 Giriş

Uydu jeodezisi tekniklerinin özellikle GPS (Global Positioning System – Küresel Konumlandırma Sistemi)’in yaygın kullanım alanı bulması, GLONASS (Global Navigation Satellite System – Küresel Navigasyon Uydu Sistemi) ve GALILEO gibi farklı uydu sistemlerinin de yapılandırılmasını sağlamıştır. Yeni yapılanmalarla tüm uydu sistemlerinin entegrasyonunu sağlamak ve kullanıcı için doğruluğu artırmak amacı ile GNSS (Global Navigation Satellite Systems – Uydularla Küresel Navigasyon Sistemi) hayata geçirilmiştir.

GNSS’in en önemli kısmını oluşturan NAVSTAR GPS (NAVigation System with Time And Ranging), günümüzde jeodezik ve jeodinamik uygulama alanlarında yoğun olarak kullanılan bir uydu jeodezisi tekniğidir. GPS, 1974 yılında Amerika Birleşik Devletleri Savunma Dairesi tarafından kurulan bir uydu bazlı navigasyon sistemidir. Bu sistem dünyanın her yerinde, her an ve her türlü hava koşulunda yüksek doğrulukla konum, hız ve zaman belirlemeyi mümkün kılar. Sistem; uzay, kontrol ve kullanıcı olmak üzere üç bölümden oluşur. Sistemin uzay bölümü, ekvatorla 55° eğim yapan 6 yörünge üzerine yerleştirilmiş, 12 saatte 1 devir yapan ve yükseklikleri 20 200 km olan 24 uydudan meydana gelir. Oluşturulan uydu dağılımı ile dünyanın herhangi bir yerinde, her an en az 4 uydu görmek mümkündür. Kontrol bölümü, GPS uydularını izlemek ve kontrol etmek, uydu yörünge zamanlarını kestirmek ve düzenli olarak her uydu için navigasyon mesajını yenilemek amacıyla dünyanın çeşitli yerlerine kurulmuş olan yer istasyonlarından oluşur. Kontrol bölümü bünyesinde, ana kontrol istasyonu, uydu izleme istasyonları ve yer antenleri olmak üzere 5 istasyon bulunur. Uydu izleme istasyonları, görünebilen tüm uydulardan veri alıp, bu veriyi kendi bulundukları bölgenin meteorolojik verisiyle birlikte ana kontrol istasyonuna gönderir. Bu veriler ana kontrol istasyonunda işlenip ileriye yönelik uydu yörünge ve saat bilgileri kestirimi yapılır. Bu bilgiler yer antenleri yardımıyla tekrar uydulara yüklenir. Kullanıcı bölümü ise, çeşitli amaçlar için dizayn edilmiş

GPS alıcılarından oluşur. GPS alıcısı genel olarak GPS uydu sinyallerini algılayan anten, duyarlı bir saat ve mikro işlemciden oluşur. Farklı tiplerde anten olduğu gibi tek veya çok kanallı alıcı tipleri de vardır.

GPS sinyalleri, L1 ve L2 olarak isimlendirilen iki farklı frekans üzerinden yayın yapmaktadır. Bu frekanslar, 10.23 MHz standart uydu frekansının katları olarak aşağıdaki eşitliklerle hesaplanır.

$$L1 = 154 \cdot 10.23 \text{ MHz} = 1575.42 \text{ MHz} \quad (2.1a)$$

$$L2 = 120 \cdot 10.23 \text{ MHz} = 1227.60 \text{ MHz} \quad (2.1b)$$

GPS uyduları, yörünge koordinatlarını hesaplamak için gerekli bilgileri ve saat bilgilerini L1 ve L2 taşıyıcıları üzerine bindirirler. Bu amaçla P- ve C/A olmak üzere farklı iki kod üretirler. Bunlardan P-Kodu (*precise/protected*), 10.23 Mhz frekansında ve yaklaşık 30 m dalga boyunda, 266.4 günde bir tekrarlanan koddur. P-Kodu L1 ve L2 taşıyıcılarının her ikisine de bindirilmiştir. C/A (*clear/acquisition*) ise 1.023 MHz frekansında, yaklaşık 300 m dalga boyundadır ve her milisaniyede bir tekrar edilir. Bu kod sadece L1 taşıyıcısı üzerine bindirilmiştir (Seeber, 1993). Çizelge 2.1’de sinyallere yönelik bilgiler verilmektedir (Kınık, 1999). Bu konuda detaylı bilgi Spilker (1980) ve Forssell (1991)’de bulunabilir.

Çizelge 2.1 : GPS sinyal özellikleri (f_0 = temel frekans) (Kınık, 1999).

SİNYAL	YAPISI	FREKANS	DALGABOYU	YAK. HATA
L1 Taşıyıcısı	$154 f_0$	1575.42 MHz	19 cm	1.9 mm
L2 Taşıyıcısı	$120 f_0$	1227.60 MHz	24 cm	2.4 mm
P-Kodu	f_0	10.23 MHz	30 m	0.3 m
C/A Kodu	$f_0/10$	1.023 MHz	300 m	3 m

GPS sisteminde en basit ölçme tekniği kodlar kullanılarak gerçekleştirilir. Bu ölçme tipinde, sinyalin uydudan yayınlandığı andan alıcıya ulaştığı ana kadar geçen zamanın ışık hızı ile çarpılması ile uydu ve yeryüzünde bulunan alıcı arasındaki mesafenin bulunması sağlanır. Elde edilen bu mesafe, alıcı saatinin yeteri kadar hassas olamamasından oluşan saat hatalarını içerdiğinden pseudorange olarak

adlandırılır (Hager ve diğ., 1991). Kınık (1999)'da pseudorange tanımlaması *Ham Uydu – Alıcı mesafesi* (HUAM) olarak türkçeleştirilmiştir.

HUAM için genel eşitliği,

$$c\left[(t_R + \Delta t_R) - (t^s + \Delta t^s)\right] = \rho_R^s + I_R^s + T_R^s \quad (2.2)$$

şeklindedir. Eşitlik 2.2 düzenlenerek ise,

$$c(t_R - t^s) = \rho_R^s + (\Delta t_R)c + I_R^s + T_R^s \quad (2.3)$$

eşitliği elde edilir. Eşitlikte,

t^s = uydu saati zamanı,

t_R = alıcı saati zamanı,

Δt^s = S_i uydu saatinin GPS zamanından olan farkı,

Δt_R = R_i alıcı saatinin GPS zamanından olan farkı,

I_R^s = iyonesfer etki,

T_R^s = troposfer etki,

c = ışık hızı (299792458 m/sn),

ρ_R^s = uydu ile alıcı arasında t_i anındaki uzaklıktır.

HUAM yöntemi, daha çok navigasyon amaçlı uygulamalarda kullanılmaktadır. Bu yöntemle P-kod ile 10-20 m, C/A kodla 20-30 m kadar konum doğruluğu sağlanabilmektedir (Kahveci, 1993). Bu yöntemde, uydu sayısı ve geometrisi önemlidir ve doğruluğu doğrudan etkiler. Alıcının sinyal aldığı uydular ne kadar geniş hacimli bir ortam oluşturlarsa konumlama doğruluğu da o kadar artacaktır. DOP (Dilution of Precision), uydularla alıcı geometrisinin güvenilirliğini belirten katsayıdır (Kınık, 1999).

Teze konu olan kabuk deformasyonlarının GPS yöntemi ile belirlenmesinde HUAM yönteminin yeterli olamayacağı çok açıktır. Yüksek doğruluk isteyen bilimsel çalışmalara yönelik uygulamalarda Taşıyıcı Dalga Fazlarının Kullanıldığı ölçü tekniği kullanılır. Yöntem, HUAM yöntemine benzer olarak, t^s anında uydudan

yayılan sinyalin taşıyıcı fazı ile t_R anında alıcı tarafından üretilen referans sinyalin fazı arasındaki farkın tanımlanması prensibini esas alır.

Tüm hatalar ve bozucu etkiler dikkate alınmadığında anlık faz farkı,

$$\Phi_R^{SV}(t_R) = \Phi^{SV}(t^{SV}) - \Phi_R(t_R) \quad (2.4)$$

eşitliği ile elde edilir. Eşitlikte,

$$\Phi^{SV}(t^{SV}) = t^{SV} \text{ uydu saati anında yayınlanan sinyal fazını,}$$

$\Phi_R(t_R) =$ alıcının uydu sinyalini aldığı t_R anında alıcıda üretilen fazı ifade etmektedir.

GPS gözlemlerinin değerlendirilmesi aşamasında ise bu iki gözlem yönteminin farklı lineer kombinasyonlarının (alıcılar, uydular, ölçü epokları vb. arasında) kullanılması ile alıcı ve uydu saatleri hataları, faz başlangıç belirsizliği gibi hataların ortadan kaldırılması mümkün olmaktadır.

GPS yöntemi ile konum belirlemede kullanılan ölçme metotları, hata ve hata kaynakları ile ilgili detaylı bilgi ise Seeber (1993) ve Kahveci (1993)'den elde edilebilir.

Jeodezik ölçme tekniği özelliği ile GPS yer bilimlerine yönelik çalışmalarda yoğun olarak kullanılmaktadır (Herring, 1999; Segall ve Davis, 1997; Hager ve diğ, 1991; Bock, 1991). Hava şartlarından etkilenmemesi, noktaların birbirini görme şartını ortadan kaldırması, üç boyutlu konum hesabında yüksek doğruluk sağlaması, diğer tekniklere göre daha az bütçe gerektirmesi ve portatif özellik taşıması ona bu geniş uygulama alanını yaratmıştır.

2.2 GPS Veri Analizi

Her alıcı firmasına ait mühendislik çalışmalarında rahatlıkla kullanılabilen ticari yazılımların dışında kabuk deformasyonlarının belirlenmesi gibi bilimsel çalışmalara yönelik veri analizinde üniversite ve AR-GE kuruluşlarının katkıları ile yazılan ve sürekli geliştirilen yazılımlar kullanılmaktadır. Bu tür yazılımlarının en önemlileri GAMIT/GLOBK (Massachusetts Institute of Technology, ABD), BERNESE (Astronomical Institute University of Berne, İsviçre) ve GIPSY (NASA Jet Propulsion Laboratory, ABD) olarak sıralanabilir.

Genel olarak tüm bu yazılımlarda veri analizinden önce, farklı GPS alıcıları ve antenleri kullanılarak elde edilen ham verilerin kontrol edilerek tüm yazılımların kullanabileceği standart bir format olan RINEX (The Receiver Independent Exchange Format) formatına indirgenmesi işlemi gerçekleştirilir. Tez çalışması kapsamında ham verilerin, RINEX formatına dönüştürülmesinde kullanılan yazılım UNAVCO (University NAVSTAR Consortium, ABD) tarafından farklı işletim sistemleri için geliştirilen ve sürekli yenilenen TEQC programıdır (Estey ve Meertens, 1999; Url-1).

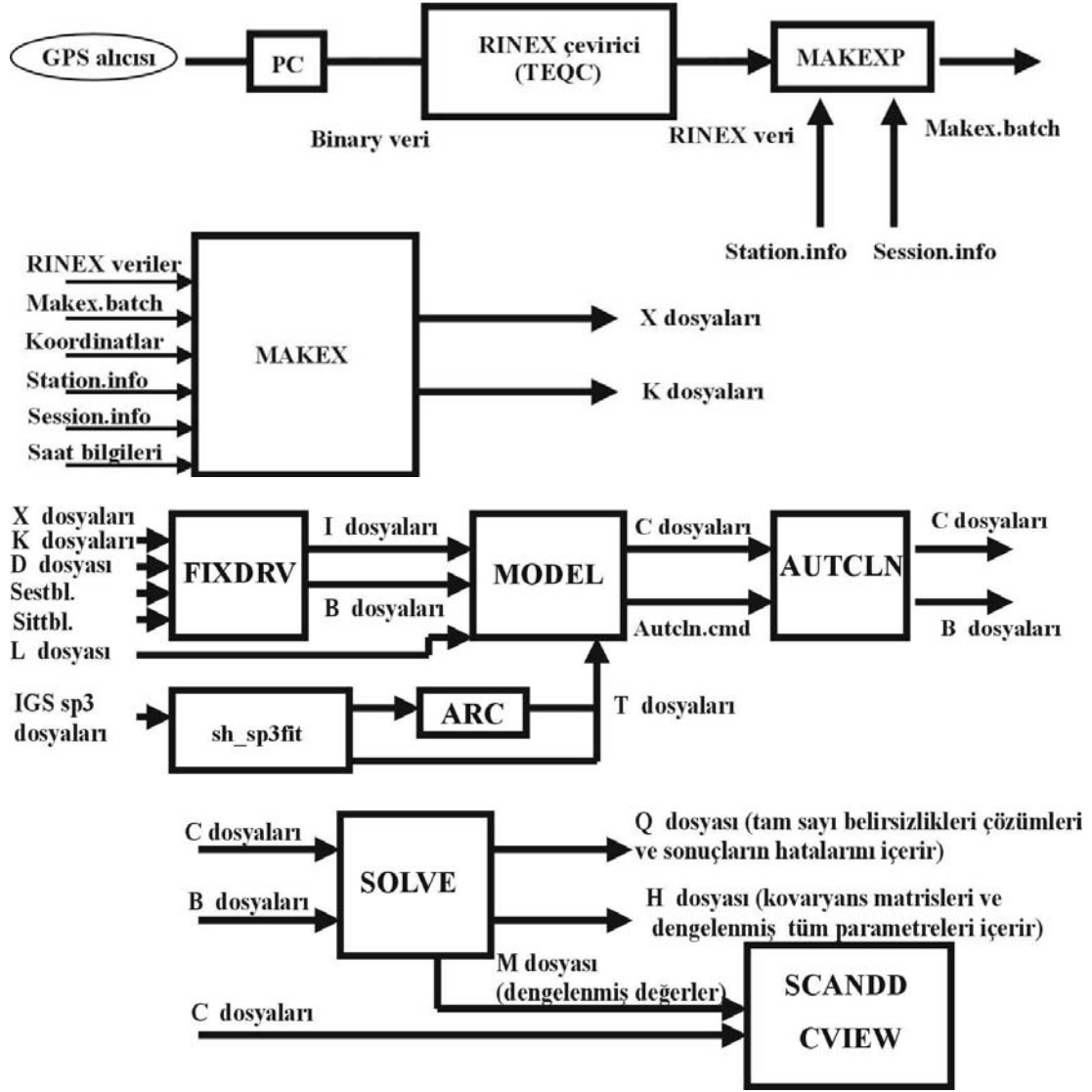
Tez çalışmasında tüm GPS verilerinin analizinde kullanılan GPS yazılımı GAMIT/GLOBK yazılımıdır.

2.2.1 GAMIT

GAMIT değişik alıcılardan toplanmış veriler üzerinde işlemler yapmak, uydu yörüngelerini sayısal olarak integre etmek ve faz ve HUAM ölçü değerlerini modellemek gibi özelliklere sahiptir (Herring ve diğ., 2009a). Asıl fonksiyonu, taşıyıcı fazlardaki tamsayı belirsizliği ile atmosferik etkileri ve saat hatalarını da hesaba katarak, gözlenen ve teorik olarak elde edilen ölçü değerleri farklarına göre, uydu yörüngelerini ve nokta konumlarını doğrusal kestirimle dengelemektir.

GAMIT’de veri işlem en yalın şekliyle Şekil 2.1’de gösterilen akış şeması mantığında yürümektedir. Program işleyişi Şekil 2.1’den de görüldüğü üzere iki ana kısımda gerçekleştirilmektedir. İlk kısımda alt programlar kullanarak, program girdileri (çeşitli analiz merkezlerinin ürünleri olan tablolar ve dosyalar, istasyonların ve oturum özelliklerinin tanımlandığı dosyalar ve GPS istasyonlarına ait RINEX veriler) üzerinde çeşitli analizler yapılarak, programın ikinci kısmında kullanılmak

üzere GAMIT formatında hazırlanmış gözlem dosyaları oluşturulur. Bu aşamada kullanılan programların en önemlileri, MAKEXP ve MAKEX'dir. Kullanılan gözlem dosyaları, genel ve yerel GPS istasyonlarına ait RINEX veriler ile, bu istasyonların anten ve GPS alıcısı bilgilerini içeren dosyalardan oluşmaktadır. Programın bu ilk aşamasında uydu saatleri ve uydu ön yörünge bilgileri elde edilmekte ve HUAM bilgileri ile dengeleme öncesi nokta koordinatlarına dayalı olarak ilgili istasyon saat düzeltmeleri hesaplanmaktadır. Bu aşamada kullanılan programlardan biri olan MAKEXP, günlük GAMIT çözümlerin planlanmasını sağlamaktadır. Şekil 2.1'deki akış diagramından da anlaşılacağı gibi MAKEXP alt programının girdilerini, RINEX veriler, bu verilerin ait olduğu istasyonlara ait alıcı, anten ve zaman bilgilerini içeren dosya ve oturumda kullanılacak olan uydu numaralarını içeren dosya oluşturmaktadır. Program sonrasında MAKEX dosyasına girdi olacak sonuç dosyası oluşmaktadır. MAKEX programı, sonuç dosyasını, analize girecek olan istasyonlara ait dengeleme öncesi koordinatları ve RINEX verileri girdi alarak GAMIT programının kullanabileceği formatta ölçme anındaki tüm bilgileri içeren gözlem dosyalarını (X-files) ve alıcı saat bilgilerini içeren K-dosyalarını oluşturur. X ve K-dosyaları, GAMIT programının ikinci aşamasına girdi olacak dosyalardır.



Şekil 2.1 : GAMIT akış diagramı (Çakmak, 2001).

İkinci aşamada, amaç veri işlem sırasında kullanılan tüm parametrelerin kestirimidir. Bu amaçla, devir kesiklikleri saptanır ve ortadan kaldırılır. Uydu yörüngeleri ve nokta koordinatlarının dengeleme öncesi değerleri, faz ve HUAM ölçmeleri ile karşılaştırılan teorik gözlemlerin hesaplanmasında kullanılır. Devir kesiklikleri, ölçme sonucu elde edilen değerlerle teorik değerler arasındaki farkların hesaplanması ve faz gözlemlerinin kombinasyonlarının değerlendirilmesi ile saptanır.

Bu aşamada kullanılan en önemli programlar, FIXDRV, MODEL, AUTCLN ve SOLVE' dur. Birinci aşamada elde edilen GAMIT formatındaki gözlem dosyaları ve saat dosyaları bu aşamada FIXDRV programı için girdileri oluştururlar. Bu program sırasında her istasyon ve oturum için saat farklarını ve oranları içeren I-dosyası ve analiz boyunca kontrolü sağlayan B-dosyaları oluşturulur. FIXDRV'dan sonraki

aşama MODEL programının çalışması ile sağlanır. MODEL programı ile analiz sırasında gözlenen ve teorik olarak elde edilen ölçme değerlerinin farkları ile X-dosyalarındaki her bir ölçmenin kısmi türevi hesaplanır ve X-dosyalarının mantığında C-dosyaları oluşturulur. Yeni gözlem dosyaları (C-dosyaları), AUTCLN programınca kullanılarak, HUAM ve çift-fark faz gözlemlerindeki muhtemel devir kesikliği ve kaba hata içeren ölçmeler belirlenmeye ve veriden uzaklaştırılmaya çalışılır. Üzerinde çalışılmış olan C-dosyaları, indisleri değiştirilerek yine C-dosyası formatında saklanır. Daha sonra, tüm parametreler (istasyon koordinatlarına ve uydu yörüngelerine ait) en küçük kareler yöntemi ile dengelenir. Bu adımda SOLVE programı kullanılır. Dengeleme sonuçlarına göre dengeleme öncesi değerlere düzeltmeler getirilir ve tekrar MODEL, AUTCLN ve SOLVE programları aynı mantıkla çalıştırılır (Çakmak, 2001).

GAMIT sonucunda elde edilen sonuç dosyaları, Q ve H-dosyalarıdır. Q-dosyalarında, SOLVE programı sonucu elde edilen tam sayı belirsizliklerinin çözümü ve sonuçların hataları bulunur. Bu dosya sayesinde veri işlemin nasıl gerçekleştirildiği adım adım rahatlıkla incelenebilmektedir. H-dosyalarında ise dengeleme sonrası türetilmiş ölçüler ve kovaryans matrisleri bulunmaktadır. Dengeleme sonrası elde edilen bu türetilmiş ölçüler farklı iki sonuç şeklinde de ifade edilebilmektedir. Bu dosyalar veri işlemin diğer bir kısmı olan GLOBK için girdi oluşturmaktadır. Tüm bu veri işlem sırasında; atmosferik gecikmeleri, uydu hareketlerini ve yörüngelere etkiyen kuvvetleri de hesaba katmak gerekmektedir. Bu amaçla GAMIT, farklı fiziksel modeller kullanmaktadır. Bu modellerle ilgili geniş bilgi Herring ve diğ., (2009a)'de yer almaktadır.

2.2.2 GLOBK

GLOBK temel olarak uydu jeodezisi yardımı ile elde edilmiş ölçmelerin (VLBI, GPS) değerlendirilmesi sonucu elde edilen çözümlerin bir araya getirilerek, Kalman Filtresi uygulanması işlemini içermektedir (Herring ve diğ., 2009b). Nokta koordinatları, yörünge parametreleri ve yerin dönme parametreleri ile ilgili kovaryans matrislerini veri olarak kabul eder.

1. Kalman filtresi, parametrelerin ardışık olarak kestirimini sağlayan bir yöntemdir. Genel olarak iki tip Kalman filtresi dengelemesi gerçekleştirilir;

- a. ölçmelerin ağırlıklı ortalamalarının ve hız gibi diğer model parametrelerinin ardışık kestirimlerini veren "ileri" çözüm,
 - b. ileri çözüme göre ölçme düzeltmelerinin saptanmasını sağlayan bir "geri" çözüm.
2. Veri işlemin GLOBK aşamasında, GAMIT ile her bir oturum için elde edilen H-dosyaları, küresel çözümlerle birleştirmek için genel veri merkezlerince oluşturulmuş günlük H-dosyaları ile beraber analiz edilmekte ve her bir istasyon için zaman serileri oluşturulmaktadır. Elde edilen zaman serileri yardımıyla her bir istasyonun kuzey-güney, doğu-batı ve düşey koordinat bileşenleri ve gerektiğinde baz bileşenlerinin zamana bağımlı değişimi incelenebilmektedir. Bu aşamayı GLRED programı sağlamaktadır. Bu programın çıktısını, uydu yörünge bilgileri ile istasyonların koordinatları ve baz bileşenleri oluşturur. GLRED programı ile zaman serilerinin izlenip, verilerde meydana gelebilecek uyumsuzluklar kontrol edildikten sonra, yerel ve genel ağlara ait H-dosyalarının birleştirilerek her bir oturum için tüm detayları içeren tek bir H-dosyasının oluşturulmasına gidilir. Bu amaçla GLOBK programı kullanılır. Elde edilen günlük birleştirilmiş H-dosyaları, amaca göre haftalık veya aylık olarak da birleştirilerek tek bir H-dosyası elde edilebilmektedir.

Geniş bir zaman aralığı için elde edilen birleştirilmiş H-dosyaları, GLRED ve GLORG programlarına girdi olurlar. Bu aşamada, her bir istasyon için koordinat ve hız değerleri saptanmaktadır. GLORG programı yardımıyla, GLOBK programıyla birleştirilmiş sonuçların, belirlenmiş bir referans sisteminde tanımlanması gerçekleştirilmektedir (Çakmak, 2001; Herring ve diğ., 2009b).

3. DEPREM DÖNGÜSÜ

Deprem, yer kabuğunda fay olarak adlandırılan kırıklar üzerinde biriken elastik yamulmanın aniden boşalması sonucunda meydana gelen yer değiştirme hareketinin neden olduğu karmaşık elastik dalga hareketlerine neden olur. Deprem sonrasında statik ve dinamik olmak üzere iki tür deformasyon meydana gelmektedir. Statik deformasyon deprem sonrasında fayda ve civarında meydana gelen kalıcı deformasyondur ve fayın atım miktarı ve mekanizmasına bağlı oluşur. Dinamik deformasyon ise fayın kırılması sırasında meydana gelen elastik dalgalar ile yayılan ve deprem dalgasının ortamdan geçtiği sırada sıkışma, yamulma, dönem hareketleri sonucu zamana bağlı oluşur. Dinamik deformasyon genelde kalıcı olmayan bir deformasyon şeklidir.

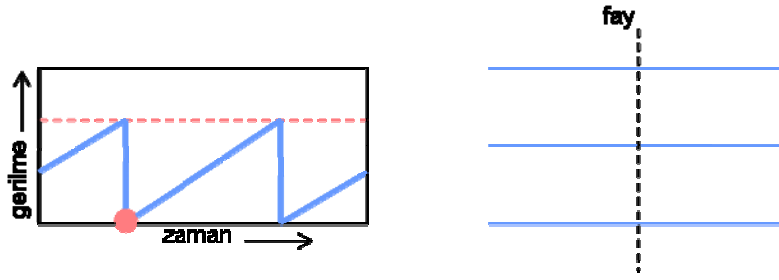
Depremlerin meydana gelmesi, jeodezik bakış açısı ile genel olarak elastik serbestlenme kuramı (*elastic rebound theory*) ile açıklanmaktadır. Elastik serbestlenme kuramı, 1906 San Francisco depreminden sonra Reid tarafından tanımlanmıştır. Jeodezik yöntemlerle depremleri incelemeye yönelik ilk önemli çalışma olan 1906 San Francisco depremi sonrasında, bölgedeki nirengi ağlarında açı ve doğrultu okumaları tekrarlanmış ve deprem öncesi okumalarla karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonrasında deprem sonrası meydana gelen en büyük yer değiştirmenin fay üzerinde ve yakın alanda olduğu, faydan uzaklaştıkça yer değiştirmenin azaldığı gözlemlenmiştir. 1906 San Francisco depreminde gerçekleştirilen yersel ölçmeler Reid'in "elastik serbestlenme kuramı"nın temelini oluşturmuştur (Reid, 1910).

Reid teorisi ile depremi, fay boyunca elastik yamulmanın ani rahatlaması olarak tanımlamıştır. Depreme neden olan yamulmanın ise fayın her iki tarafında bölgenin durağan hızının zamana bağlı olarak birikiminin sonucu olduğunu belirtmiştir (Reid, 1910).

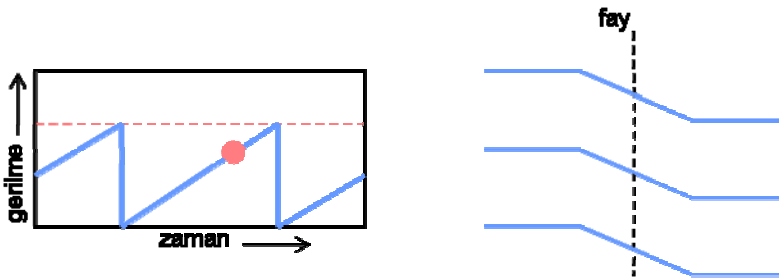
Teoriye göre, deprem döngüsü üç ana adımda tanımlanmaktadır:

- 1- Ortamın sakin olduğu, gerilme birikiminin olmadığı evre (Şekil 3.1),
- 2- Levha tektoniğine bağlı olarak bölgede gerilmenin biriktiği evre (Şekil 3.2)

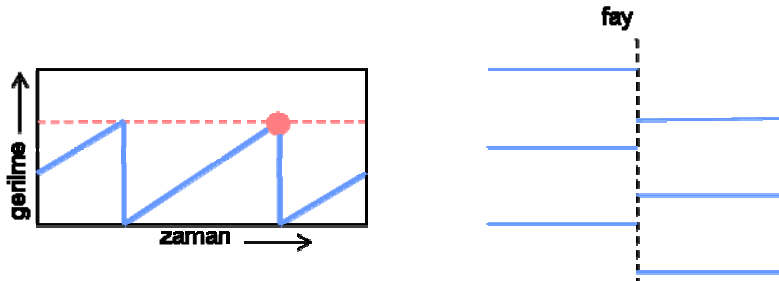
3- Fayın kırılması ile bölgedeki gerilme boşalımı evresi (Şekil 3.3)



Şekil 3.1 : Gerilmenin tam anlamıyla oluşmadığı evrede gerilme-zaman ilişkisi. Kırmızı kesik çizgi fay üzerindeki sürtünme ve normal gerilmenin yenildiği eşik değeri göstermektedir.



Şekil 3.2 : Bölgede gerilimin yükseldiği evrede gerilme-zaman ilişkisi. Kırmızı kesik çizgi fay üzerindeki sürtünme ve normal gerilmenin yenildiği eşik değeri göstermektedir.



Şekil 3.3 : Fayın kırılması ile gerilme boşalımı evresinin gerilme-zaman ilişkisi. Kırmızı kesik çizgi fay üzerindeki sürtünme ve normal gerilmenin yenildiği eşik değeri göstermektedir.

Depremlerin oluşumunda önemli yer tutan gerilme-zaman ilişkisi Şekil 3.1, 3.2 ve 3.3'de Reid'in yukarıda da anlatılmaya çalışılan elastik serbestlenme kuramı ile açıklanmıştır. Bu kurama göre depremlerin tekrarlanma aralığının bilinmesi mümkündür. Fakat bilindiği gibi depremin oluşturduğu etki, basit lineer davranışlarla açıklanamamaktadır.

Bu kurama göre depremlerle ilişkili sadece deprem anı (coseismic) ve deprem öncesi (interseismic) olmak üzere iki yer değiştirme evresinin oluşması yeterli olmalıydı.

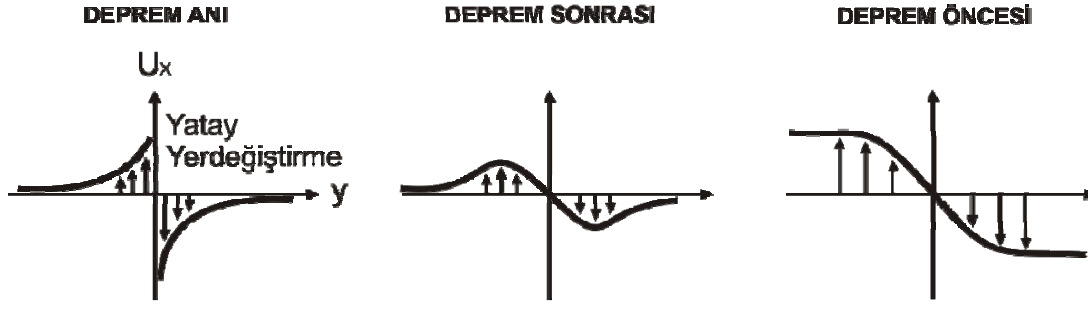
Fakat yer değiştirme döngüsü deprem öncesi, deprem anı ve deprem sonrası (postseismic) olmak üzere en az üç evreyle tanımlanabilmektedir (Kanamori, 1994; Thatcher, 1993; Okada, 1985; Kasahara, 1981).

Deprem öncesi dönem, bölgedeki gerilimin arttığı, potansiyel enerjinin biriktiği, deprem anına kadar süre gelen dönemdir. Bu dönemde, levhaların birbirine göre göreceli hareketlerinin sonucunda ortamdaki gerilme birikimini ve bunun sonucu oluşabilecek deprem riskini belirlemek mümkündür (Şekil 3.4)

Deprem anını tanımlayan dönem ise deprem öncesi biriken potansiyel enerjinin kinetik enerjiye dönüştüğü anı ifade eder. Fay boyunca metrelerce atım oluşabilir (Şekil 3.4). Bu dönemde, GPS yardımı ile ölçülen yüzey deformasyonları, deprem kırığının geometrisinin ve bu kırığın deprem sırasındaki hareketinin saptanmasına yardımcı olur. Bu bilgiler depremin derinliğine ve ortamın özelliğine bağlı olarak yeryüzünde bir deprem kırığı oluşmadığında veya sismolojik verinin (özellikle artçı sarsıntılarının) dağılımının çok karmaşık olması durumunda önemli bilgiler sağlar.

Deprem sonrası dönem ise, deprem anı ile deprem öncesi dönem arasında kalan geçiş dönemidir (Şekil 3.4). Deprem sonrası dönem, depremlerin anlaşılmasında GPS'in en önemli rol oynadığı evredir. Bu dönemde, GPS yardımıyla bölgede oluşan zamana bağlı deformasyonlar belirlenebilmektedir. Bu değişimler depremden sonra yıllarca devam etmektedir ve artçı sarsıntı dağılımları ile bu konuda bir miktar yol gösterici bilgi elde edilebilmesine rağmen, klasik sismolojik yöntemler ile bu değişimleri saptamak olanaksızdır. Deprem sırasında oluşan deformasyona bağlı olarak başlayan değişimler, ortamdaki başka kırıkların üzerindeki gerilme miktarlarını arttırarak yeni depremlerin oluşmasına neden olabilmektedir.

Thatcher (1993)'da D derinlikli yanal atımlı bir fay geometrisi için bu üç evre anlatılmıştır. Şekil 3.4'de yanal atım fayların oluşturduğu deprem anı, sonrası ve öncesi dönemde yüzeyde oluşan yer değiştirmeler özetlenmektedir (Thatcher, 1993). Deprem anındaki hareket fay üzerindeki atım miktarına ve ne kadarlık bir derinlikte etkili olduğuna göre değişir ve elastik dislokasyon kuramı (*elastic dislocation theory*) ile modellenebilir (Okada, 1985). Fakat deprem sonrası zamana bağlı olarak değişen hareketleri modelleme için farklı model veya modellerin birlikte kullanılması gerekmektedir (Ergintav ve diğ., 2002; Ergintav ve diğ., 2007; Doğan ve diğ., 2003).



Şekil 3.4 : Yanal atımlı bir fay sisteminde deprem sebebi ile oluşan yer değiştirme döngüsü (Thatcher, 1993).

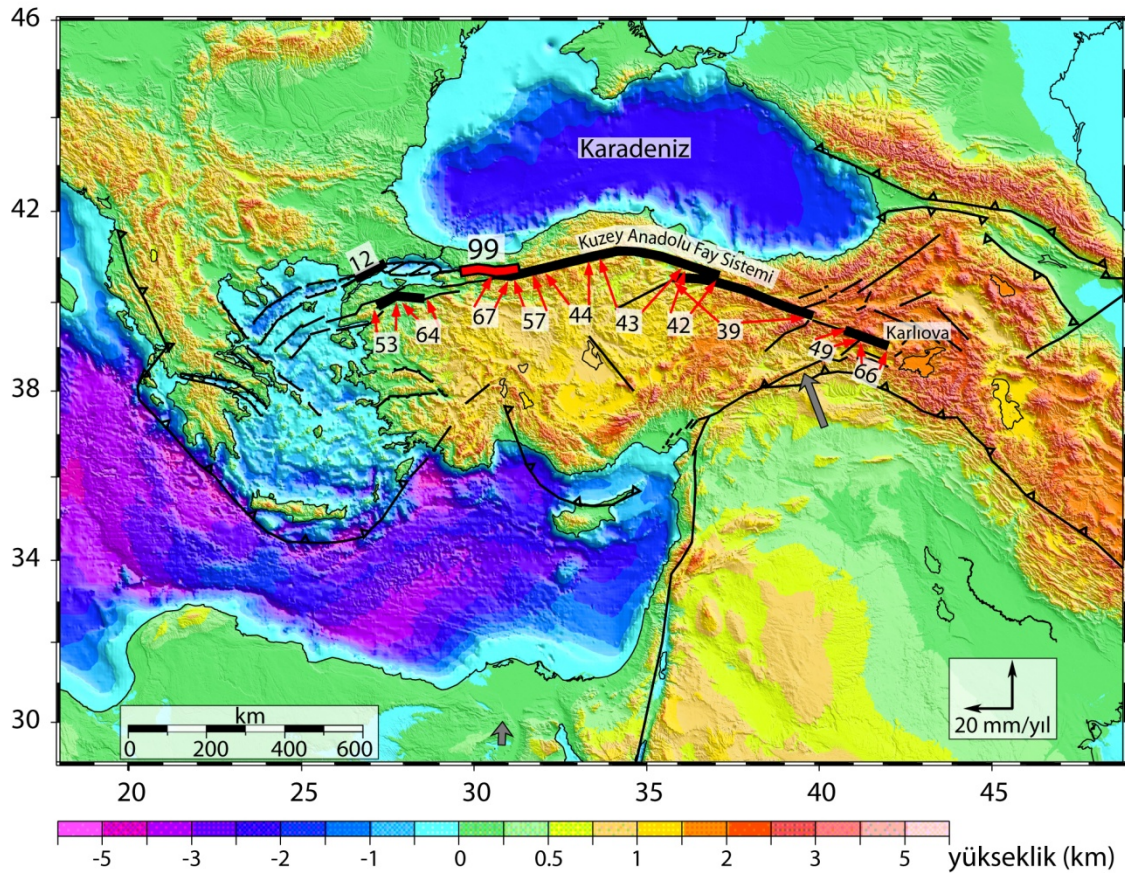
Buraya kadar deprem döngüsünü tanımlayan genel yaklaşım jeodezik temelli olup, tüm deformasyonların elastik olduğunu varsaymaktadır. Bununla birlikte gözlem teknolojisi arttıkça bu tür modellerin yetersiz kaldığı, deprem döngüsü (özellikle deprem sonrası) sonucu oluşan zaman bağımlı deformasyonların jeofizik modellerle irdelenmesi gerektiği, bunların bir kısmının pore elastik, viskoelastik kökenli olduğu görülmektedir (Feigl ve Thatcher, 2006). Pore elastik yaklaşımlar ile genel olarak ortamdaki deprem sonrası yüklemeye bağlı olarak gözenek basıncındaki yakın alandaki değişimler modellenirken (Pedersen ve diğ., 2003; Jonsson ve diğ., 2003), viskoelastik yaklaşımda ilk anlarda deformasyonların kırılğan üst kabukta olduğu, zaman içerisinde sünek alt kabuğa yayıldığı ve uzun aşamada üst mantoya kadar indiği varsayılarak modelleme yapılmaktadır (Ergintav ve diğ., 2009; Hearn ve diğ., 2009). Bu kapsamda genel bilgi Ek E’de verilmektedir. Tez kapsamında jeodezik modelleme ile deformasyonlara yoğunlaşılacak ve modele uymayan kısımların (model hataları hariç) jeofizik modellere bağlı deformasyonlarla ilişkili olduğu tanımı yapılacaktır.

4. ÇALIŞMA ALANI: MARMARA BÖLGESİ

Kuzey Anadolu Fayı (KAF), Karlıova'dan başlayıp Marmara Bölgesini geçerek Kuzey Ege'ye ulaşan yaklaşık 1200 km'lik baskın olarak doğrultu atımlı ve sağ yanal bir transform faydır (Şekil 4.1). KAF tek bir kayma düzleminden oluşmayıp 100 – 1000 m, bazı kesimlerde birkaç km, ovalık bölgelerde ise 8-10 km genişlikte bir fay sistemi şeklindedir (Ketin, 1983). Güncel hızı, joedezik yöntemlerle ortalama olarak yaklaşık 25 mm/yıl olarak elde edilmiştir (McClusky ve diğ., 2000; Reilinger ve diğ., 2006). KAF ve üzerinde meydana gelen depremlere ait yüzey kırıkları Şekil 4.1'de gösterilmektedir (Barka, 1992; Ergintav ve diğ., 2009). Şekil 4.1'de ayrıca Arap ve Afrika levhalarının kuzey yönlü hareketleri sonucunda Anadolu levhasının sıkışarak batıya kaçışını göstermektedir.

KAF, yıkıcı bir çok depreme neden olduğu Marmara Bölgesinde kuzey ve güney olmak üzere iki ana kola ayrılmaktadır. Tarihsel kayıtlara göre 1719, 1754, 1878 ve 1894 yıllarında İzmit Körfezi civarında meydana gelen diğer depremler, güncel 1963 ve 1999 depremleri bölgenin deprem tehlikesinin büyüklüğünün en önemli belgeleridir (Barka ve diğ., 2002). Çizelge 4.1'de Marmara Bölgesinde son yüzyıl içinde (1999 depremleri hariç) meydana gelmiş depremler verilmiştir.

1999 İzmit ve Düzce depremleri öncesinde yapılan çalışmalarda bölgedeki deprem tehlikesi farklı bilimsel platformlarda tartışılmıştır. Bu konu Bölüm 5'de detaylı olarak ele alınacaktır. 1999 depremleri onbinlerce insanın hayatını kaybetmesine ve Türkiye ekonomisinin büyük yara almasına sebep olmuştur.



Şekil 4.1 : Türkiye ve civarının morfoloji ve aktif tektonik haritası. Siyah çizgiler fayları göstermektedir (üçgenli çizgiler dalma batma ve bindirme kuşaklarındaki ters fayları göstermektedir). Marmara Bölgesini etkileyen Kuzey Anadolu Fay Sistemi üzerinde geçtiğimiz asırda oluşan yüzey kırıkları kalın siyah çizgilerle gösterilmiştir. KAF boyunca sıralanmış rakamlar yılları, kırmızı renkli oklar ise o yıllarda meydana gelen depremlerin yüzeyde meydana getirdiği kırıkları, gri renkli oklar ise Avrasya levhasına göre Arap ve Afrika levhalarının hareketini ifade etmektedir. (Ergintav ve diğ., 2009)

KAF boyunca depremlerin batıya doğru göç ettiğinin bilinmesi nedeniyle 1999 depremleri sonrasında Marmara Bölgesinde kırılan alanın batı kısmında (İstanbul ve Batı Marmara) tehlikenin arttığı beklentisi içine girilmiştir (Toksöz ve diğ., 1979; Barka, 1999). Bu tehlike bölgede süregelen farklı disiplinlerdeki çalışmaların artışının en önemli sebebidir. Bölgedeki bu tehlike sebebi ile olayı tüm boyutları ile ele almak, eldeki verilerin analizini en istikrarlı ve hassas şekilde gerçekleştirmek ve uyumlu model/modellerle tanımlayabilmek önem kazanmaktadır.

Çizelge 4.1 : Marmara Bölgesinde 1999 yılına kadar son yüzyıl içinde meydana gelmiş depremler

Tarih	Yer	Manyetüd (Ms)
9 Ağustos 1912	Saroz	7.4
4 Ocak 1935	Marmara Adası	6.4
18 Mart 1953	Yenice-Gönen	7.2
18 Haziran 1953	Edirne	5.2
18 Eylül 1963	Yalova	6.4
6 Ekim 1964	Manyas	6.9
23 Ağustos 1965	Saroz	5.9
22 Temmuz 1967	Mudurnu-Adapazarı	7.1
27 Mart 1975	Saroz	6.6

1988 yılından günümüze sürdürülen çalışmalarla 1999 İzmit depremi, deprem döngüsünün tüm evrelerinin izlenebildiği ender depremlerden biridir (deprem döngüsünü tanımlamaya olanak verecek 10 yıllık bir gözlem süresi vardır). Deprem öncesi deformasyon alanının uzun dönem ve yüksek duyarlılıkla analizi, deprem anı ve sonrası evreleri için de büyük önem taşımakta ve deprem sonrası değişimlerin boyutunun deprem öncesine yaklaşıp yaklaşmadığı konusunda referans olmaktadır.

Evrelerden birinde meydana gelen uyuşumsuzluk diğer evrelerin analizinde aynı şekilde veya artarak taşınacağından, bu veri setinin önemini göstermektedir. Bu sebeple, Marmara Bölgesinde deprem öncesi döneme ait modellerin farklı yaklaşım ve/veya geometrilerle iyileştirilmesi gerekmektedir. Tez çalışmasının amaçlarından biri, deprem öncesi en anlamlı model geometrisini oluşturarak diğer çalışmalar için uygun bir altlık haline getirmektir.

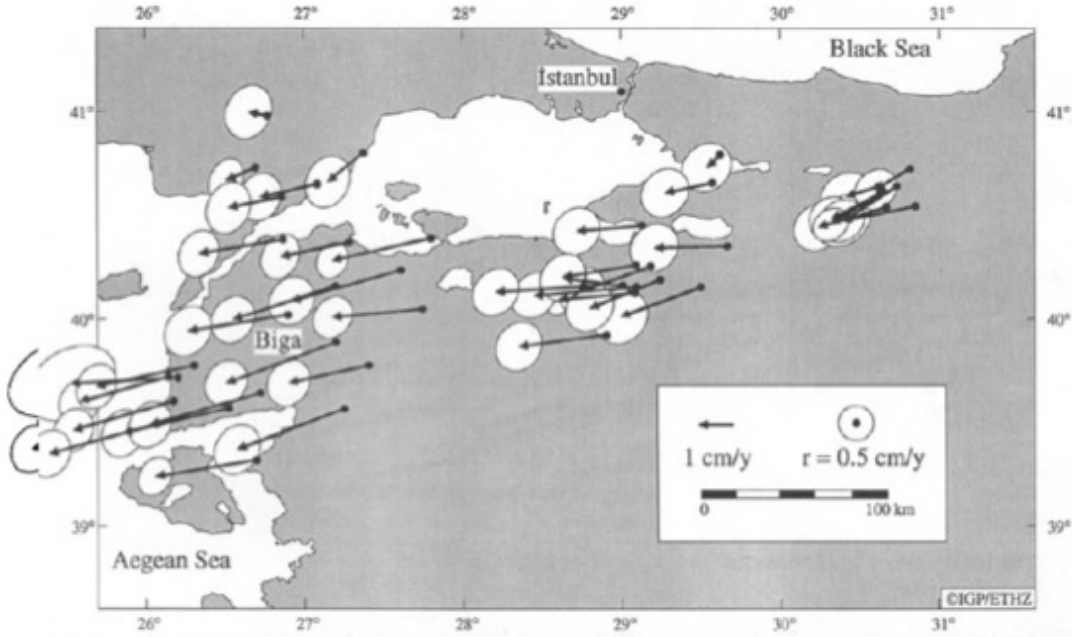
5. JEODEZİK YÖNTEMLERLE MARMARA BÖLGESİNDE DEPREM DÖNGÜSÜNÜN ANLAŞILMASINA YÖNELİK YAPILMIŞ ÇALIŞMALAR

5.1 1998 Öncesi

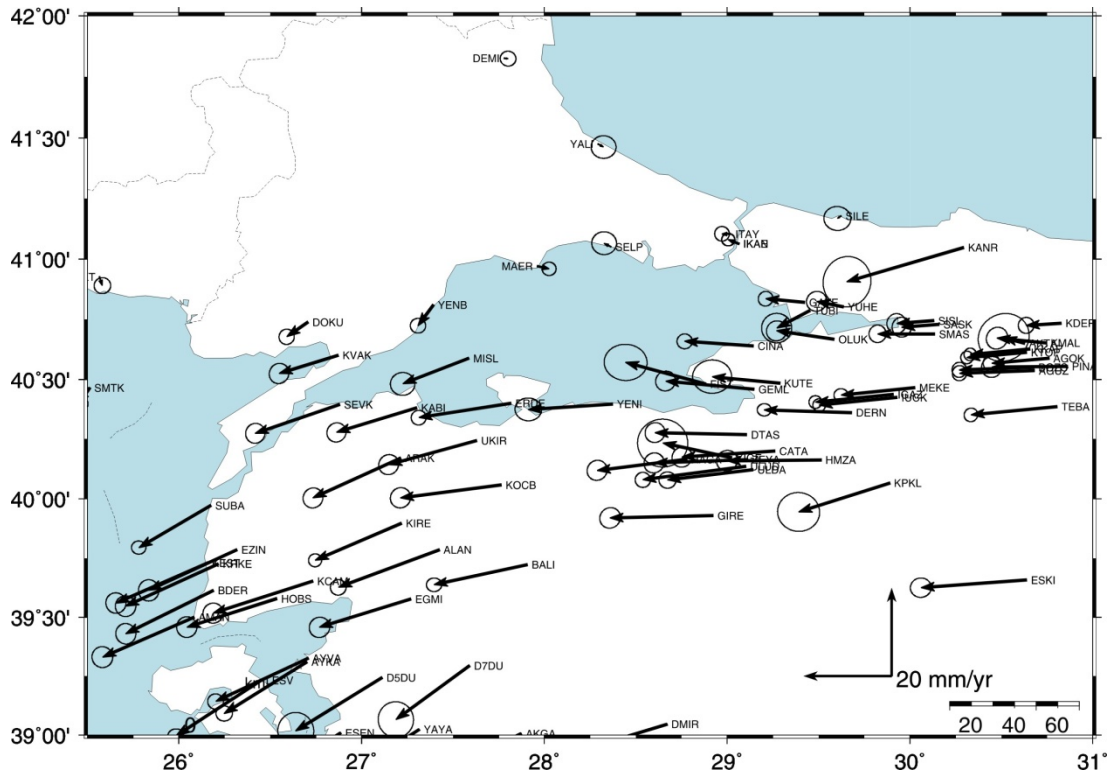
GPS'in sivil kullanıcılar tarafından yüksek hassasiyetle kullanılması ile GPS yerbilimleri alanında, kabuk deformasyonlarının incelenmesi amacı ile 1980'li yıllarda yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Türkiye'de ise bu çalışmalar 1988 yılından itibaren yabancı araştırmacıların bilimsel merakları ve ülkedeki üniversite ve araştırma kurumlarının desteği ile başlamıştır.

Marmara Bölgesi ve Ege Bölgesinin kuzey kesiminde Eidgenössische Technische Hochschule Zürich (ETHZ), İsviçre'nin Marmara projesi (Schindler, 1993) kapsamında İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ) ve Harita Genel Komutanlığı (HGK) desteği ile 1990-1996 yılları arasında dört GPS kampanyası gerçekleştirilmiştir (Straub ve Kahle, 1995; Straub ve diğ., 1997; Denli, 2004). Straub ve Kahle (1995) ve Straub ve diğ.,(1997)'de GPS kampanyalarına ait bilgiler, bölgenin İstanbul'a göre hız ve gerilme alanları verilmiştir (Şekil 5.1). Çalışmalar sonucunda Marmara Bölgesinde iki ana kola ayrılan KAF'ın kuzey kolunun güney kola nazaran daha aktif olduğu (22 ± 3 mm/yıl) belirtilmiştir.

Bölgesel çalışma alanlarının yanısıra Massachusetts Institute of Technology (MIT)'nin Doğu Akdeniz ve Kafkasya'yı içeren projesi kapsamında 1988 yılından itibaren iki senelik periyotlarla Türkiye genelinde (İTÜ ve HGK desteği ile) GPS kampanyaları gerçekleştirilmeye başlanmıştır. Yapılan bu çalışmalar sonucu Şekil 5.2'deki Avrasya levhasına göre hız alanı elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar gerek makale formatında gerekse bildiri şeklinde ulusal/uluslararası platformlarda sunulmuştur (McClusky ve diğ., 2000; Reilinger ve diğ., 2006). McClusky ve diğ., (2000)'de KAF üzerinde biriken hız 24 ± 1 mm/yıl olarak belirtilmiş, Arap Afrika levhalarının hareketleri altında Anadolu ve Ege'de meydana gelen hareketler tanımlanmıştır.



Şekil 5.1 : Marmara Bölgesinin 1990-1996 yılları arasında İstanbul referans alınarak elde edilmiş hız alanı (Straub ve diğ., 1997)



Şekil 5.2 : Marmara Bölgesinin 1988-1998 yılları Avrasya levhasına göre hız alanı (Reilinger ve diğ., 2006)

MEKE ve ERDE gibi noktalara ait hız vektörlerinin (sırasıyla, 13 ± 4 , 18 ± 6 mm/yıl) İzmit körfezi ve çevresindeki istasyonlara oranla daha büyük oldukları görülmüş ve bu durum İzmit Körfezi çevresinde, gerilmenin %75'inin KAF'nın kuzey kolu ile

birleştığının göstergesi olarak, bu bölgede bir kilitlenmenin meydana geldiği şeklinde yorumlanmıştır (Yalçın ve diğ., 1999). Jeodezik yöntemlerle elde edilen bu bulgularla bölgede deprem riskinin önemli bir boyutta olduğu görülmüştür (McClusky ve diğ., 2000; Yalçın ve diğ., 1999; Kahle ve diğ., 1999; Oral, 1994).

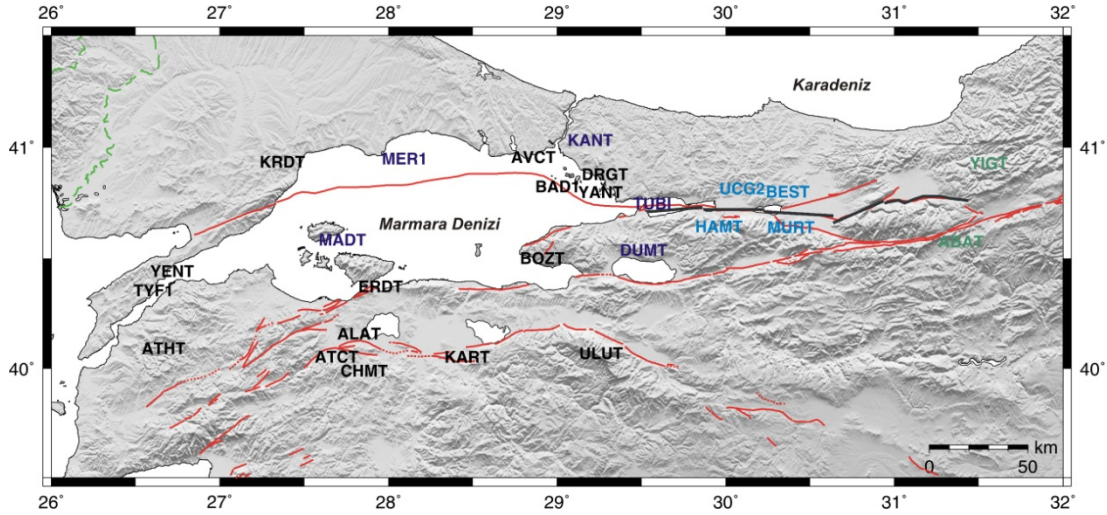
Bu çalışmalar ışığında 1995 yılında, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) ile Toplu Konut İdaresi (TOKİ) arasında Dünya Bankası destekli Erzincan Depremi Rehabilitasyon Projesinden depreme yönelik yeni bir projeye pay ayrılması konusunda görüşmelere başlanılmıştır. Projelendirme çalışmaları 1998 yılında ancak tamamlanabilmiş ve TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi (MAM) Yer ve Deniz Bilimleri Enstitüsü (YDBE)'nün koordinatörlüğünde MIT, İTÜ, HGK ve Boğaziçi Üniversitesi, Deprem Araştırma ve Kandilli Rasathanesi Enstitüsü işbirliği ile 1998 yılında Marmara Bölgesinin depremselliğini araştırmaya yönelik bir proje hayata geçirilmiştir. Proje kapsamında kampanya tipi ölçmelerin yanısıra sürekli GPS gözlemleri de ele alınmış, yoğun sismolojik gözlemlerle aktiviteler yüksek duyarlılıkla tanımlanmaya başlanmıştır (Çakmak, 2001).

5.2 1998 – 1999 (17 Ağustos 1999 İzmit Depremi Mw= 7.4)

Marmara Bölgesinin GPS kampanyaları ile izlenmesinin projenin amacına uygun mekansal ve zamansal doğruluk için yeterli olmayacağından bölgenin tektonik yapısı ve beklentiler gözönüne alınarak Sürekli GPS istasyonlarının ilk istasyonu TUBİ, TÜBİTAK Gebze Yerleşkesinde kurulmuştur. TUBİ istasyonu Marmara Bölgesi ölçeğinde kabuk deformasyonlarının GPS ölçmeleri yardımıyla izlenmesi amacı ile 1998 yılından itibaren çalışan ve en uzun süreli veriye sahip olup, Marmara Sürekli GPS Ağı'nın (MAGNET) da ilk istasyonu olma özelliğini taşımaktadır. TUBİ, kurulduğu günden bugüne IGS Uluslararası GPS ağı'nın bir istasyonudur ve verileri günlük olarak EUREF analiz merkezine aktarılarak, işlenmektedir.

Proje kapsamında GPS kampanyaları da ilk kez Mayıs 1998'de 47 nokta ile yapılmıştır. Her noktada en az 10'ar saat olmak üzere üç gün veri toplanmıştır. Amaca uygun olarak, MIT ve ETHZ tarafından oluşturulmuş eski noktaların yanısıra yeni noktalar da tesis edilerek sürekli GPS gözlem istasyonları ile yeterli sıklıkta gözlenemeyen alanlardaki gözlem kalitesi artırılmıştır.

1999 yılında TUBİ'nin yanısıra DUMT (Dumanlı/Orhangazi, Bursa), KANT (Kandilli/İstanbul), MADT (Marmara Adası, Balıkesir) ve MERT (Marmara Ereğlisi, Tekirdağ) istasyonları kurularak Marmara Bölgesinde sürekli istasyon sayısı 5'e çıkarılmıştır (Şekil 5.3). Kurulan sürekli istasyonların yer seçimi kriterleri, noktaların istikşafı Çakmak (2001)'de verilmiştir. Mayıs 1999'da yapılan ikinci GPS kampanyasından sonra 17 Ağustos 1999 tarihinde İzmit depremi meydana gelmiştir.



Şekil 5.3 : 1998'den günümüze MAGNET'in dinamik yapısı (Mor renk ile gösterilen istasyonlar, Deprem öncesi de aktif olan istasyonları; Mavi renk ile gösterilen 4 istasyon İzmit depremi sonrasında kurulan geçici istasyonları (Bu istasyonlardan UCG2, halen aktif durumdadır); Yeşil renkli istasyonlar Düzce depreminden sonra kurulan istasyonları, Siyah renkli istasyonlar güncel MAGNET istasyonlarını, kırmızı renkli çizgiler aktif fayları (Şaroğlu ve diğ., 1992), Siyah kalın çizgiler ise 1999 depremlerine ait yüzey kırıklarını göstermektedir.)

5.3 17 Ağustos 1999 İzmit Depremi $M_w=7.4$ – 12 Kasım 1999 Düzce Depremi $M_w=7.2$

İzmit depremi anında aktif olan 5 MAGNET istasyonunda depremin merkezine olan uzaklıklara bağlı olarak anlık yer değiştirmeler etkin biçimde saptanmıştır. TUBİ istasyonuna ait zaman serisinden (Şekil A.1) deprem anında istasyon noktasının yatay (kuzey-güney, doğu-batı) ve düşey hareketi net bir şekilde izlenebilmektedir. EK A'da verilen zaman serilerinden KAF'ın kuzey kısmında kalan TUBİ istasyonunun yatayda yaklaşık 30 cm güney, 55 cm doğu doğrultusunda yer değiştirmeye uğradığı görülmektedir. Düşeyde ise yine yaklaşık olarak 10 cm'lik bir yer değiştirme izlenmektedir. KAF'ın kuzey tarafında kalan diğer iki istasyondan biri KANT da TUBİ ile aynı doğrultularda yaklaşık 8 ve 10 cm'lik yer değiştirmeler

belirlenmesine rağmen düşey düzlemde bir deformasyonun meydana geldiğini söylemek mümkün görünmemektedir (Şekil A.2). MERT istasyonu için bu aşamada kesin olarak bir deformasyondan söz etmek zordur (Şekil A.3). Deprem anında KAF'ın güneyinde kalan tek istasyon olan DUMT'da ise sağ yönlü KAF'ın hareketine bağlı olarak farklı yönde yer değiştirme izlenmiştir. DUMT yatayda yaklaşık 30 cm güney, 35 cm ise batı yönünde bir harekete uğramıştır (Şekil A.4). Düşeyde ise diğer istasyonlarda olduğu gibi kesin bir hareket görülmemektedir (Çakmak, 2001).

İzmit depremini izleyen ilk 2-3 gün içinde deprem sonrasında oluşan kırık boyunca maksimum yer değiştirmeyi izleyebilmek üzere KAF'ın iki adet kuzeyinde (Üçgaziler (UCGT), Beşevler (BEST)) ve iki adet güneyinde (Hamidiye (HAMT), Muradiye (MURT)) olmak üzere geçici sürekli istasyonlar kurulmuştur. Depremi izleyen ilk hafta içinde 50 kadar GPS noktasında en az 10'ar saatlik ölçmeler yapılmıştır. Deprem kırığı çevresindeki yaklaşık 35 noktada ise ölçmeler, deprem sonrası deformasyonların ayrıntılı olarak belirlenebilmesi için 3 aylık gibi kısa bir sürede 3 kez tekrarlanmıştır. Şekil 5.4'de kampanyalarda kayıt alınan GPS noktaları görülmektedir. Nokta dağılımında görüldüğü gibi fayı en iyi şekilde kontrol edebilmek amacıyla sadece fay çevresinde değil faya uzak bölgelerdeki noktalarda da ölçme alınmasına dikkat edilmiştir. GPS tekniği ile derinlik boyutunu kontrol edebilmek amacı ile kırık alanına yakın ve uzak alanda nokta seçimine dikkat edilmiştir. Elde edilen tüm bu veri seti ile elastik modeller kullanılarak (Thatcher, 1995; Savage, 1990; Okada, 1985; Thatcher, 1983) deprem anında ve sonrasında meydana gelen yer değiştirmeler ve yer değiştirmelerin fay düzlemi boyunca dağılımları elde edilmiştir (Reilinger ve diğ., 2000).

İzmit depreminde oluşan maksimum yer değiştirme değerlerinin Gölcük, batı ve doğu Sapanca çevresinde olduğu görülmektedir. Deprem odağının batısında yüzeyde 5.6 m, doğusunda ise yüzeyde 4.7 m kayma değerleri elde edilirken, deprem odağında göreceli olarak düşük yer değiştirmeler elde edilmiştir (<2 m). Gölcük'te yüksek değerlere varan yer değiştirmeler, Hersek Deltası'ndan sonra hızla azalmaktadır. Karamürsel'in batısında yüzeyde çok az atım görülürken, yaklaşık 5 km'lik bir derinlikte 0.6-1 m büyüklüğünde yer değiştirme miktarları kestirilmiştir.

5.5 Güncel Durum (2002-2009)

2002 yılından bugüne gerek sürekli istasyonların işletilmesi gerekse her yıl kampanyaların gerçekleştirilmesi Tez yazarının da görev aldığı projeler ile mümkün olmuştur.

1999 depremlerinden sonra farklı kurum ve kuruluşlarla birlikte gerçekleştirilen ve desteklenen projeler ile MAGNET'in kesintisiz devamlılığı sağlanmıştır. 2005 yılından itibaren ise TÜBİTAK Türkiye Araştırma Alanı (TARAL) 1007 Programı kapsamında yürütülen “Türkiye'nin Deprem Riski Yüksek Jeo-Stratejik -ancak tektonik rejimleri farklı- Bölgelerinde Deprem Davranışının Çok Disiplinli Yaklaşımlarla Araştırılması (TÜRDEP)” projesi kapsamında sadece Marmara Bölgesinde değil ayrıca Ege, Doğu ve Güneydoğu Anadolu Bölgelerinde de sürekli GPS istasyonları kurulmuş ve GPS kampanyaları gerçekleştirilmiştir (İnan ve diğ., 2007). Yine farklı projeler kapsamında farklı sorunları incelemek üzere küçük ölçekte GPS ağı da kurulmuştur.

Yukarıda bahsedilen TÜBİTAK MAM YDBE tarafından başarı ile yürütülmüş ve halen yürütülen projeler ile 1999 yılında 5 istasyonlu bir ağ olan MAGNET, bugün 21 istasyona ulaşmış durumdadır (Şekil 5.3). Kurulduğu günden bugüne dinamik yapısını hiç değiştirmeyerek, güncel teknolojinin (alıcı, anten, veri aktarım, güç, yazılım vb) sağladığı tüm olanaklardan yararlandırılmaya çalışılmıştır. Radyo modemlerle yapılan ve kötü hava şartlarında veri kaybı olasılığı yüksek olan veri aktarım politikası değişmiştir. Günümüzde MAGNET General Packet Radio Service (GPRS) üzerinden verilerini günlük olarak merkeze aktaran bir yapıya sahiptir.

Depremler sonrasında riskli alanlar olarak belirlenen Marmara Denizi ve Saros körfezinde oluşan yamulma birikimini izleyebilmek amacı ile bu bölgelerde yeni istasyonlar oluşturulmuştur. Marmara Denizinde Büyükada'nın yaklaşık 10-12 km güneyinden geçen KAF'ın kuzey kolu için, BAD1 (Büyükada), YANT (Yandros, Büyükada'nın yaklaşık 5 km güneyinde bulunan küçük bir kayalık), DRGT (Dragos) istasyonları; Batı Marmara'da ise, ATHT (Atikhisar), TYF1 (Tayfur Barajı), KRDT (Karaidemir) ve YENT (Yeniköy) istasyonları kurulmuştur (Şekil 5.3). Ayrıca, yine TÜRDEP projesi kapsamında karmaşık tektonik bir yapıya sahip olan Gönen civarında da üç yeni sürekli GPS istasyonu oluşturulmuştur. Pilot bölge özelliği

taşıyan bu alan GPS'in yanısıra kuyu içi eğim ölçerler (sürekli) ve gravite ile de (iki aylık aralıklı kampanyalarla) izlenmektedir.

Bölgede sürekli istasyonların yanısıra GPS kampanyaları 2002-2005 yıllarında Mayıs-Haziran ve Eylül-Ekim aylarında olmak üzere senede iki kere yapılmıştır. 2002-2009 yılları arasında kampanya noktalarına ait tekrarlılık bilgileri Çizelge C.1'de verilmektedir. 2006 yılından itibaren ise deprem sonrası deformasyonun daha lineer bir hal almaya başlaması sebebi ile Mayıs-Haziran aylarında olmak üzere senede bir kere GPS kampanyası gerçekleştirilmektedir (Şekil 5.4).

5.6 Veri İşlem Stratejisi

Tanımlanan tüm GPS verileri (sürekli istasyonlar ve kampanya tarzı çalışmalardan elde edilen) Bölüm 2.2'de detaylı bir şekilde anlatılan GAMIT/GLOBK yazılımı ile analiz edilmiş olup, izlenen veri işlem stratejisi bu kısımda detaylı bir şekilde verilmiştir.

5.6.1 Deprem öncesi dönem

Tezin 1999 İzmit depremi öncesi dönemini içeren bölümünde; ETHZ, İsviçre'nin Marmara projesi (Schindler ve diğ., 1993) kapsamında İTÜ ve HGK desteği ile 1990-1996 yılları arasında gerçekleştirilen dört GPS kampanyası, MIT'nin Doğu Akdeniz ve Kafkasya'yı içeren projesi kapsamında 1988 yılından itibaren iki senelik peryotlarla Türkiye genelinde (İTÜ ve HGK desteği ile) gerçekleştirdiği GPS kampanyaları ve TÜBİTAK MAM YDBE'nin 1998 yılında oluşturmaya başladığı Marmara Bölgesinin kabuk deformasyonunu sürekli ve kampanya tarzı GPS ölçmeleri ile izlemesi kapsamında gerçekleştirdiği çalışmaların sentezini içeren Reilinger ve diğ., (2006)'de yapılan analizler esas alınmış olup, tez yazarı gerek ölçme gerekse veri analizinde bu süreçte aktif olarak görev almıştır. Bölüm 5.1'de Reilinger ve diğ., (2006)'de gerçekleştirilen çalışmanın farklılığını vurgulamak amacıyla, bu verileri kullanarak daha önce yapılmış çalışmalara değinilmiştir.

Reilinger ve diğ., (2006) yayınında, Doğu Akdeniz'den Kafkasya'ya kadar olan bölgede farklı kurum ve kuruluşlar tarafından toplanan ham veri setleri, aynı referans sisteminde ele alınarak birlikte analiz edilmiş ve referans sistemi problemi ortadan kaldırılmıştır. Bu süreçte, GAMIT/GLOBK yazılımı kullanılmıştır. GAMIT yazılımı ile oluşturulan çift farklar kullanılarak hergün için istasyon koordinatları ve herbir

istasyon için atmosferik gecikmeler ve yörünge bilgileri, analize giriş verisi olan parametrelere hiçbir kısıtlama getirilmeden elde edilmiş, kestirilen tüm parametreler sonraki aşamada uzun dönem koordinat ve hız belirlenmesi için Kalman filtresi yardımıyla işlenmiştir. Son aşama olan referans sisteminin tanımlanmasında ise, ITRF2000'e göre 49 IGS istasyonunun yatay hızlarının minimuma indirgenmesi yöntemi benimsenmiştir. ITRF2000'e göre elde edilmiş hız alanı Avrupa levhasında tanımlı 32 istasyon kullanılarak Avrasya levhasına göre döndürülmüştür (Reilinger ve diğ., 2006). Hız alanının Avrasya levhasına göre referanslandırılmasında bu 32 istasyon ve bölgeye ait hız alanı verileri kullanılarak en küçük kareler yöntemi ile Avrasya levhasının davranışını en iyi biçimde temsil edecek Euler kutup vektörü (Euler vektörü) hesabına gidilmiştir (Reilinger ve diğ., 2006).

Maalesef araştırmacılar çalışmalarında, genellikle referans sistemlerindeki gelişmeleri dikkate almadan analiz sonuçlarını kullanmaktadır. Örneğin, Marmara Bölgesindeki çalışması için GPS hız alanına ihtiyaç duyan bir araştırmacı, Reilinger ve diğ. (2006)'de yayınlanmış değerleri kullanmak yerine McClusky ve diğ. (2000)'de yayınlanmış değerleri kullandığında ITRF96'ya göre referanslandırılmış kısıtlı veri setini esas almış olacaktır.

1999 depremleri öncesi, bölgeye ait en güncel ve geniş veri tabanını baz alan Reilinger ve diğ., (2006) çalışmasına ait yatay hız değerleri (Çizege B.1), Marmara bölgesinin kinematik davranışını tanımlayacak olan blok modelleme yönteminde temel veri seti olarak kullanılmıştır.

5.6.2 2002-2009 dönemi

1999 depremlerini izleyen dönemde etkin biçimde gözlenen deprem sonrası davranışlar ilk başlarda gün mertebesinde, izleyen zamanda da gittikçe yavaşlayarak aylar bazında yüksek ivmeli bir davranış göstermiş ve bu süre zarfında hız alanı hesaplama olanağı olmamıştır (Ergintav ve diğ., 2002). Bölgeye ait deprem öncesi ve sonrası uzun dönem kinematik davranışın ortaya konmasını hedefleyen tez çalışması kapsamında, doğrusal olmayan bir hız değişimi gösteren bu dönem devre dışı bırakılarak, hızların değişiminin durağanlaşmaya başladığı 2002 yılından itibaren hız kestirimine başlanmıştır. Bu süreçte, veriler sürekli analiz edilmiş ve elde edilen yıl bazındaki hız alanına ait değişim aralığının deprem öncesine yakınsadığı (hız

kestirimine ait standart sapma aynı aralıktadır) zaman, durağan bir değişimin başladığı zaman olarak düşünülmüştür.

Tezin 1999 depremleri sonrası (2002-2009) dönemi modelleme çalışmaları için kullanılan ve Bölüm 5.5’de tanımlanan GPS verilerinin analizinde de veri işlem yaklaşımını korumak amacıyla GAMIT/GLOBK yazılımı kullanılmıştır. Veri işlemin ilk aşaması olarak GPS verilerine ait GAMIT programına girdi olacak her bir istasyon için alıcı (markası, modeli, içinde bulunan programın versiyon numarası) ve anten bilgilerini (markası, modeli, anten yükseliği (m cinsinden) ve anten yüksekliğinin dik veya eğik ve de antenin referans noktasının yeri belirtilerek) ve ayrıca hangi zaman aralığında ölçme yapıldığını içeren *station.info* (Bölüm 2.2.1) (istasyon bilgi dosyası) hazırlanmıştır (Çizelge C.1). Aynı zamanda Bölüm 2.2’de değinildiği üzere Sürekli ve kampanya GPS verileri TEQC programı ile alıcı ve anten bağımsız RINEX formatına dönüştürülmüştür.

IGS’nin ürettiği hassas yörünge bilgisi SP3 (Standard Product 3) formatında SOPAC (Scrips Orbit and Permanent Array Center) adresinden alınmıştır. Yer dönme parametreleri (ERP; Earth Rotation Parameters), USNO_bull_b (United States Naval Observatory_bulletin_b) değerlerinden alınarak kullanılmıştır. Radyasyon-basınç etkileri için SOPAC tarafından da standart olarak kullanılan 9 parametrelili Berne modeli kullanılmıştır. Okyanus yüklemesi etkisi (Ocean tide loading effect) için Scherneck modeli (IERS standards, 2003) (McCarthy and Petit, 2004), katı yer yükleme etkisi için ise FES2004 modeli (Letellier, 2004) kullanılmıştır. Zenit gecikme bilinmeyenleri Saastamoinen öncül standart troposfer modeline dayalı olarak 2 saatlik aralıklarla hesaplanmıştır. Değerlendirmede, L1 ve L2 taşıyıcı dalga fazlarının iyonosferden bağımsız LC (L3) doğrusal kombinasyonu kullanılmıştır. Anten faz merkezleri için yüksekliğe bağlı model kullanılmıştır. GAMIT ile oluşturulan çift farklar kullanılarak hergün için istasyon koordinatları ve her bir istasyon için atmosferik gecikmeler ve yörünge bilgileri hiçbir kısıtlama uygulanmadan elde edilmiştir. Bu aşamada, yerel ağı genel bir ağ ile ilişkilendirmek, amacıyla IGS genel ağına bağlı Matera-İtalya (MATE), Graz-Avusturya (GRAZ), Bahreyn (BAHR), Kitab-Özbekistan (KIT3), Sofya-Bulgaristan (SOFI), Nicosia-Güney Kıbrıs (NICO), Wettzel-Almanya (WTZR), Zeck-Rusya (ZECK), Ankara, İstanbul-Türkiye (ANKR, ISTA) istasyonlarına ait veriler de veri işleme dahil edilmiştir (Çizelge 5.1).

Çizelge 5.1 : GAMIT veri işlem adımında kullanılan IGS'ye bağlı küresel GPS istasyonları

	İstasyon Kodu	Koordinatlar		Lokasyon
		E (°)	N (°)	
1	ANKR	32.758	39.887	Türkiye
2	BUCU	26.126	44.464	Romanya
3	GRAZ	15.493	47.067	Avusturya
4	ISTA	29.019	41.104	Türkiye
5	KIT3	66.885	39.135	Özbekistan
6	MATE	16.704	40.649	İtalya
7	NICO	33.396	35.141	Güney Kıbrıs
8	NSSP	44.503	40.226	Ermenistan
9	ONSA	11.926	57.395	İsveç
10	ORID	20.794	41.127	Makedonya
11	SOFI	23.395	42.556	Bulgaristan
12	TRAB	39.776	40.995	Türkiye
13	WTZR	12.879	49.144	Almanya
14	ZECK	41.565	43.788	Rusya

GAMIT çıktısı olan MAGNET'e ait günlük ASCII formatta bulunan h dosyaları "htoglb" yazılımı ile IGS veri merkezlerince üretilen igs1, igs2 ve eura genel GPS ağlarına ait günlük ASCII h dosyaları ile birlikte GLOBK için girdi oluşturacak binary dosyalar haline getirilmiştir. Bu aşamada GLOBK için girdi oluşturacak her bir istasyonun ilk koordinatlarını içeren koordinat dosyası da oluşturulmuştur.

Kampanya verilerinin işlenmesinde elde edilen tüm h dosyaları kullanılarak GLOBK ile her bir istasyon için o kampanya dönemine ait genel bir koordinat kestirimi yapılmıştır. Günlük h dosyalarının birlikte analizinde kestirilen koordinatlar, ilk koordinat olarak kullanılmıştır.

Her bir gün için yerel ve küresel ağlara ait h dosyaları birlikte analiz edilerek, birleştirilmiş bir h dosyasına ulaşılmıştır. Günlük h dosyalarının (igs1, igs2, eura, tubi) birleştirilmesinde, eldeki veri yoğunluğu sebebi ile ağırlıklandırma uygulanmamıştır. Bu işlem her bir gün için gerçekleştirilmiştir. Öncelikle her bir kampanyanın kendi içinde uyumunu izlemek için istasyonların zaman serileri incelenmiştir. Zaman serilerinde 2 sigma değerinden daha büyük ortalamadan sapmaya sahip olan veriler uyuşumsuz olarak tanımlanmış ve çözüm kümesini oluşturan verilerden çıkarılmıştır. Bu işlem sonrasında oluşturulan sağlıklı günlük birleştirilmiş h dosyaları yine GLOBK programı ile birleştirilerek her bir kampanya dönemine ait koordinatlar kestirilmiştir. Her bir kampanyaya ait birleştirilmiş h dosyaları yardımıyla ise uzun süreli koordinat ve hız bilgileri elde edilmiştir.

GLOBK ve GLORG programlarının kullanımı sırasında tüm koordinat ve hız kestirimi çalışmaları ITRF2005 sistemine göre gerçekleştirilmiştir.

Hız kestirimi sırasında yerel ağına amaca uygun olarak Avrasya levhasına göre referanslandırılması sırasında Avrupa'nın tamamen rijid olmadığı kabulü ile (Campbell, 2010) "plate" modülü kullanılarak Avrasya levhasına göre noktaların 2002-2009 dönemi için mm duyarlılıkta koordinat ve hız değerleri hesaplanmıştır (Çizelge C.3). Hız alanının Avrasya'ya göre referanslandırılmasında Avrasya levhasının davranışını temsil eden Çizelge 5.2'de verilen 21 küresel GPS noktası (Steblov ve diğ., 2003) kullanılarak Avrasya levhasının davranışını en iyi biçimde temsil edecek Euler kutup vektörü hesabı yapılmış ve Avrasya levhasına göre referanslandırma sırasında kullanılan küresel GPS noktalarına ait hız değerleri Şekil 7.18'de verilmiştir. Tez kapsamında çalışılan ağına Avrasya levhasına göre referanslandırılmasında elde edilen Karesel Ortalama Hata (RMS) değeri 0.8 mm/yıl'dır (Ağırlıklandırılmış karesel ortalama değerleri (WRMS) doğu-batı yönünde 0.97 mm/yıl; kuzey-güney yönünde 1.18 mm/yıl). Bu değer, herhangi bir ağına belli bir levhaya göre referanslandırılmasında Herring ve diğ. (2009b)'de kabul edilebilir olarak tanımlanan 1-2 mm/yıl değerinden küçüktür. Referanslandırma işleminde yatay düzlem (kuzey-güney ve doğu batı doğrultusu) için verilen WRMS değerleri;

$$wrms = \sqrt{\frac{\sum \left(\frac{r}{\sigma}\right)^2}{\sum \left(\frac{1}{\sigma}\right)^2}} \quad (5.1)$$

r = ortalama sapma (artık değerler),

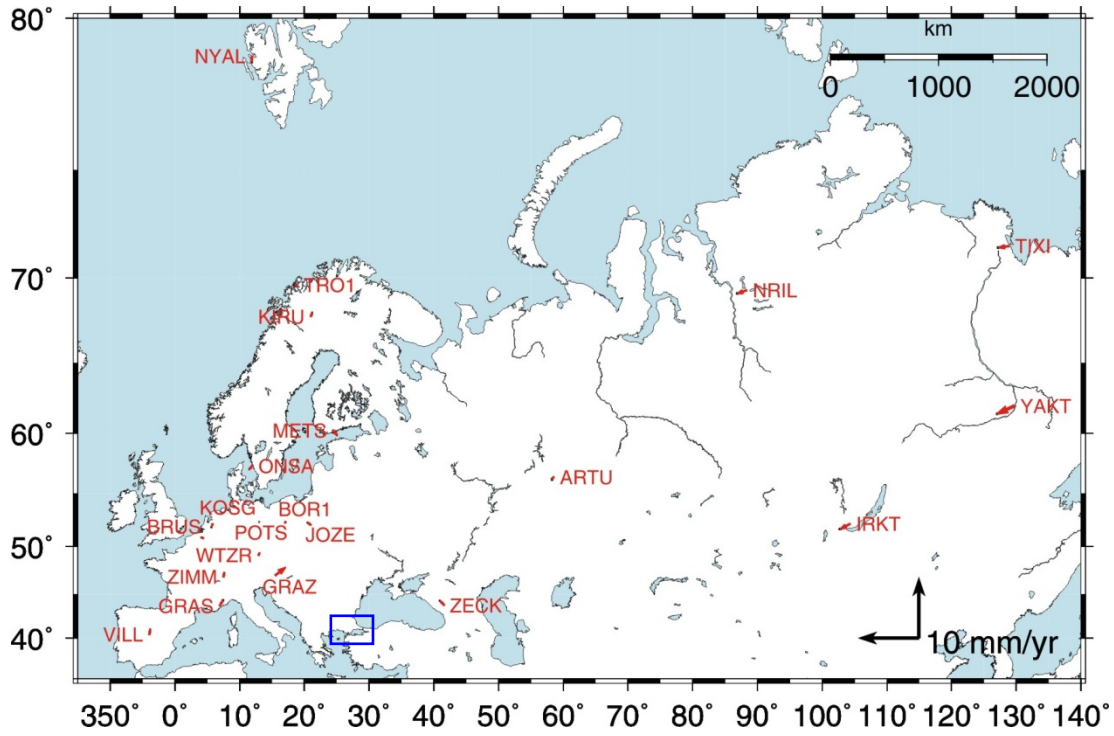
σ = standart sapma,

eşitliği ile hesaplanmaktadır.

Avrasya levhasına göre referanslandırmada, Bölüm 5.6.3'de anlatılan adımlar ve sonuçları esas alınmıştır.

Çizelge 5.2 : Avrasya levhasına göre referanslandırma adımımda kullanılan küresel GPS istasyonları (* ile işaretlenmiş istasyonlar IGS'in referans istasyonlarıdır.) (Tüm istasyonlar ITRF2005'in (Url-2) oluşturulmasında kullanılmışlardır.)

	İstasyon Kodu	Koordinatlar		Lokasyon	Veri Arşiv Aralığı
		Boylam (°)	Enlem (°)		
1	VILL*	356.048	40.444	İspanya	1994- 2009
2	YAKT	129.680	62.031	Rusya	2000- 2009
3	TIXI*	128.866	71.634	Rusya	1998- 2009
4	IRKT*	104.316	52.219	Rusya	1995- 2009
5	NRIL*	88.360	69.362	Rusya	2000- 2009
6	ARTU*	58.560	56.430	Rusya	1999- 2009
7	ZECK	41.565	43.788	Rusya	1997- 2009
8	METS*	24.395	60.217	Finlandiya	1992- 2009
9	JOZE*	21.032	52.097	Polonya	1993- 2009
10	KIRU	20.968	67.857	İsveç	1993- 2009
11	TRO1*	18.940	69.663	Norveç	1997- 2009
12	BOR1*	17.073	52.277	Polonya	1994- 2009
13	GRAZ*	15.493	47.067	Avusturya	1992- 2009
14	POTS*	13.066	52.379	Almanya	1994- 2009
15	WTZR*	12.879	49.144	Almanya	1995- 2009
16	ONSA*	11.926	57.395	İsveç	1993- 2009
17	NYAL*	11.865	78.930	Norveç	1999- 2009
18	ZIMM*	7.465	46.877	İsviçre	1993- 2009
19	GRAS*	6.921	43.755	Fransa	1995- 2009
20	KOSG	5.810	52.178	Hollanda	1994- 2009
21	BRUS*	4.359	50.798	Belçika	1993- 2009



Şekil 5.5 : GPS veri analizinde ağı Avrasya levhasına göre referanslandırılmasında kullanılan küresel istasyonlara ait 2002-2009 yılları arası yatay hız değerleri (Mavi dikdörtgen içinde kalan MAGNET'e ait yatay hız değerleri Şekil 5.6'da verilmektedir.)

5.6.3 Referans sisteminin tanımlanması

GPS veri işlemin en önemli kısmını küresel/lokal ağların amaca uygun olarak (küresel veya lokal) referanslandırılması oluşturmaktadır. Tezin veri işlem kısmında küresel boyutta çalışma benimsenmiştir. İlk olarak veri işlemin GAMIT aşamasında, Çizelge 5.1'de verilen küresel istasyonların verileri de analize alınmıştır. GLOBK aşamasında ise Bölüm 5.6.2'de anlatıldığı üzere GAMIT çözümlerinden elde edilen Marmara Bölgesine ait günlük h dosyaları, küresel ağların günlük h dosyaları ile birleştirilmiştir. İkinci olarak ise referans sisteminin tanımlanmasında kullanılacak küresel istasyonların seçimi yapılmıştır. Bu tür istasyonların seçiminde, referans sistemini temsil etmesi ve uzun süreli veri arşivinin bulunması (varsa iç deformasyon değerlerinin de hesaba katılabilmesi için) beklenmektedir (Çizelge 5.2, Şekil 5.5).

Tez kapsamında oluşturulan veri yaklaşımının doğruluğunu test etmek amacı ile 2002-2009 yılları arasında MAGNET ağına ait istasyonların ele alındığı bir çalışma yapılmıştır. İlk olarak Çizelge 5.2'de verilen ve Steblov ve diğ.,(2003)' tanımlanan Avrasya levhasındaki iç deformasyonları da göz önüne alarak seçilmiş olan küresel istasyonlar Avrasya levhasına göre referanslandırmada esas alınmıştır. Bu veri işlem

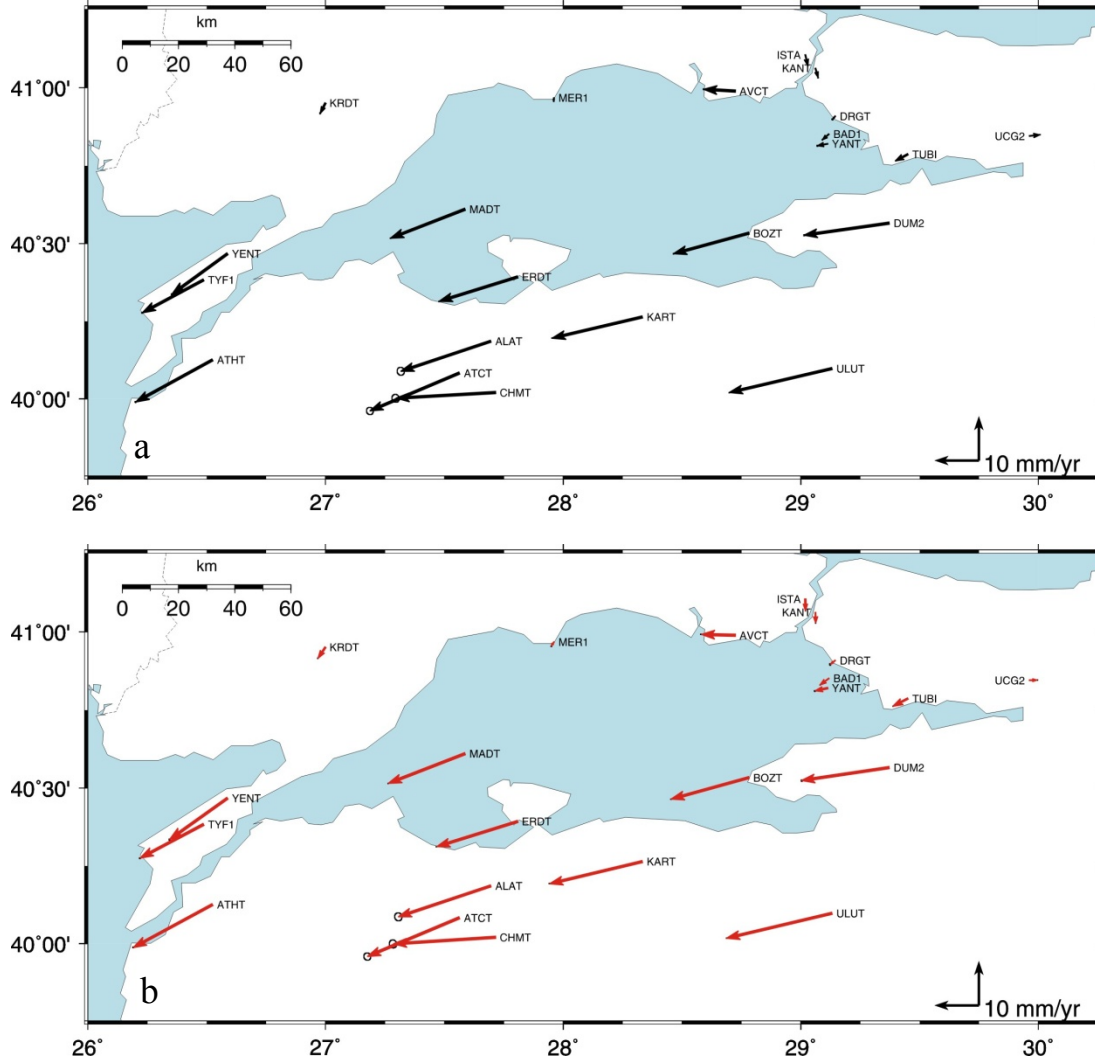
sonrasında elde edilen Karesel Ortalama Hata (RMS) değeri 0.38 mm/yıl olarak elde edilmiştir. Bu referanslandırma dönüşümünün sonrasında IGS'in standart olarak Avrasya levhası için açıkladığı referans istasyonlarının (Url-3, Çizelge 5.3) kullanıldığı ikinci bir referanslandırma işlemi yapılmış ve Karesel Ortalama Hata değeri 0.3 mm/yıl olarak bulunmuştur.

Çizelge 5.3 : IGS'in Avrasya levhasına göre referanslandırmada kullandığı küresel GPS istasyonları (* ile işaretlenmiş istasyonlar, Çizelge 5.2'de verilen Tez çalışmasında Avrasya levhasına göre referanslandırmada kullanılan küresel istasyonlardır.)

	İstasyon Kodu	Koordinatlar		Lokasyon	Veri Arşiv Aralığı
		Boylam (°)	Enlem (°)		
1	VILL*	356.048	40.444	İspanya	1994- 2009
2	MADR	355.750	40.429	İspanya	1992- 2009
3	SFER	353.794	36.464	İspanya	1995- 2009
4	RABT	353.146	33.998	Fas	2000- 2009
5	TRAB	39.776	40.995	Türkiye	1999- 2009
6	MDVJ	37.215	56.021	Rusya	2001- 2009
7	RAMO	34.763	30.598	İsrail	1998- 2009
8	POLV	34.543	49.603	Ukrayna	2001- 2009
9	NICO	33.396	35.141	G. Kıbrıs	1997- 2009
10	METS*	24.395	60.217	Finlandiya	1992- 2009
11	JOZE*	21.032	52.097	Polonya	1993- 2009
12	TRO1*	18.940	69.663	Norveç	1997- 2009
13	BOR1*	17.073	52.277	Polonya	1994- 2009
14	MATE	16.704	40.649	İtalya	1991- 2009
15	GRAZ*	15.493	47.067	Avusturya	1992- 2009
16	NOT1	14.990	36.876	İtalya	2000- 2009
17	POTS*	13.066	52.379	Almanya	1994- 2009
18	WTZR*	12.879	49.144	Almanya	1995- 2009
19	ONSA*	11.926	57.395	İsveç	1993- 2009
20	CAGL	8.973	39.136	İtalya	1995- 2009
21	ZIMM*	7.465	46.877	İsviçre	1993- 2009
22	GRAS*	6.921	43.755	Fransa	1995- 2009
23	WSRT	6.605	52.915	Hollanda	1997- 2009
24	BRUS*	4.359	50.798	Belçika	1993- 2009

Yapılan iki referanslandırma işlemi sonucu MAGNET istasyonlarına ait hız alanı Şekil 5.6'da gösterilmektedir. Çizelge 5.2'deki istasyonlar kullanılarak yapılan referanslandırma sonuçları ağırlıklandırılmış karesel ortalama değerleri (WRMS) doğu-batı yönünde 0.74 mm/yıl, kuzey-güney yönünde 0.67 mm/yıl (Şekil 5.6a), Çizelge 5.3'de verilen istasyonlar kullanılarak yapılan referanslandırma sonuçları ağırlıklandırılmış karesel ortalama değerleri (WRMS) doğu-batı yönünde 0.60 mm/yıl, kuzey-güney yönünde 0.51 mm/yıl (Şekil 5.6b) olarak bulunmuştur. Bu iki

referanslandırma işleminin MAGNET üzerinde bir etkisi olmadığı Şekil 5.6'da görülmektedir. Elde edilen bu fark, tüm Avrasya levhasının davranışını homojen kabul eden ve düşük WRMS değeri elde edilmesini sağlayan IGS'e ait analiz sonucunun yeterince serbestliğe sahip olmadığını, kısıt içerdiğini göstermektedir.



Şekil 5.6 : GPS veri analizinde ağın Avrasya levhasına göre referanslandırılmasında kullanılan iki ayrı çözüm. Şekil 5.6a, Çizelge 5.2'de verilen küresel istasyonlarla (Şekil 5.4'de gösterilen mavi dikdörtgen alan), Şekil 5.6b ise Çizelge 5.3'de verilen küresel istasyonlarla yapılmış referanslandırma sonrası sonuçlarını göstermektedir. Kullanılan veri seti 2002-2009 dönemi MAGNET istasyonlarına aittir.

Bilimsel çalışmalarda (yerel veya küresel), çalışmanın anlamına uygun referans sisteminde çalışmak önemlidir. Tez çalışmasında da olduğu gibi depreme yönelik yapılan çalışmalarda küresel ölçekte çalışmak anlamlı iken, heyelan, yerel

deformasyonların tanımlanması ve mühendislik uygulamaları gibi çalışmalarda yerel ölçekte çalışmak amaca uygun bir yaklaşımdır.

Tez çalışmasında, çalışma bölgesinde KAF'ın, özellikle Anadolu levhasını da içine alan kesimde oluşturduğu hız alanı farklılıklarını analizi (diğer deyişle KAF'ın karada yer alan kolları üzerindeki yerel deformasyonları belirlemek için) söz konusu olduğu için referans sistem oluşturulurken Avrasya levhası esas alınmıştır.

6. MODELLEME YAKLAŞIMI

Tez çalışması kapsamında, deprem öncesi ve deprem sonrası yapılan modelleme çalışmalarında blok (faylarla sınırlandırılmış rijit alan) modelleme yaklaşımı kullanılmıştır. Blok modelleme yaklaşımında, yeryüzünde herhangi bir noktanın hız değeri, Euler kutup değerine bağlı olarak durağan blokun dönmesi ve blokları sınırlayan faylar boyunca elastik yamulma birikiminin toplamı olarak ele alınır. Oluşturulan model ise fayın kilitlenme derinliğine, kavrama oranına (coupling ratio) ve atım hızına bağlıdır. Blok modelleme yaklaşımında, yeryüzünde herhangi bir noktanın (X_i , R referans sisteminde, b blokuna ait) lineer yatay hızları temel girdi olarak kullanılır.

$$\vec{V}_b(X_i) = \vec{\Omega}_b * \vec{X}_i \quad (6.1)$$

Eşitlikte;

X_i = modellemede hızı kestirilecek olan noktayı

Ω = R referans sisteminde, b blokunda bulunan X_i noktasına ait açısal hızı (Euler kutup vektörü) ifade eder.

Blokların durağan açısal hızları, elastik yamulma birikimi ve faylar üzerindeki atım hızları kullanılarak herhangi bir X_i noktasındaki hız,

$$\vec{V}_{X_i} = \vec{V}_b - \sum_{p=1}^P \vec{V}_{fp} \quad (6.2)$$

eşitliği ile X_i noktasının bulunduğu b blokunun açısal hızı ile elastik yamulma birikimine bağlı faylar üzerindeki yer değiştirme arasındaki farkı olarak elde edilir.

Eşitlikte;

f = fayı,

p = fayı tanımlayan en küçük parçayı

P = fayı tanımlayan en küçük parça sayısı olarak verilmektedir.

Blok modelleme yönteminde kilitlenme derinliği önemli bir parametredir. Elastik bir ortamda genel olarak (krip olmadığı durumlarda) fayların yüzeyden belirli bir derinliğe kadar kilitli olduğu varsayılır. Depremler sırasında hareket edemeyen bu kilitli alan kırılır ve bu alanın boyutu ile doğru orantılı olarak enerji boşalımı olur. Diğer bir deyişle, kilitli alan, olası depremin boyutunun tayinindeki en önemli parametredir. Elastik ortamlardaki modelleme yaklaşımında hareket etmeyen zonun derinliğine kilitlenme derinliği denir (Şekil 6.1). Elastik yarı-uzaysal homojen bir ortam için, GPS ölçmeleri ile kilitli derinliğin kestirilmesinde Savage ve Burford (1973)'da verilen,

$$V(x) = \frac{V_T}{\pi} \arctan\left(\frac{x}{D}\right) \quad (6.3)$$

eşitliği kullanılır (Jolivet ve diğ., 2008). Eşitlikte;

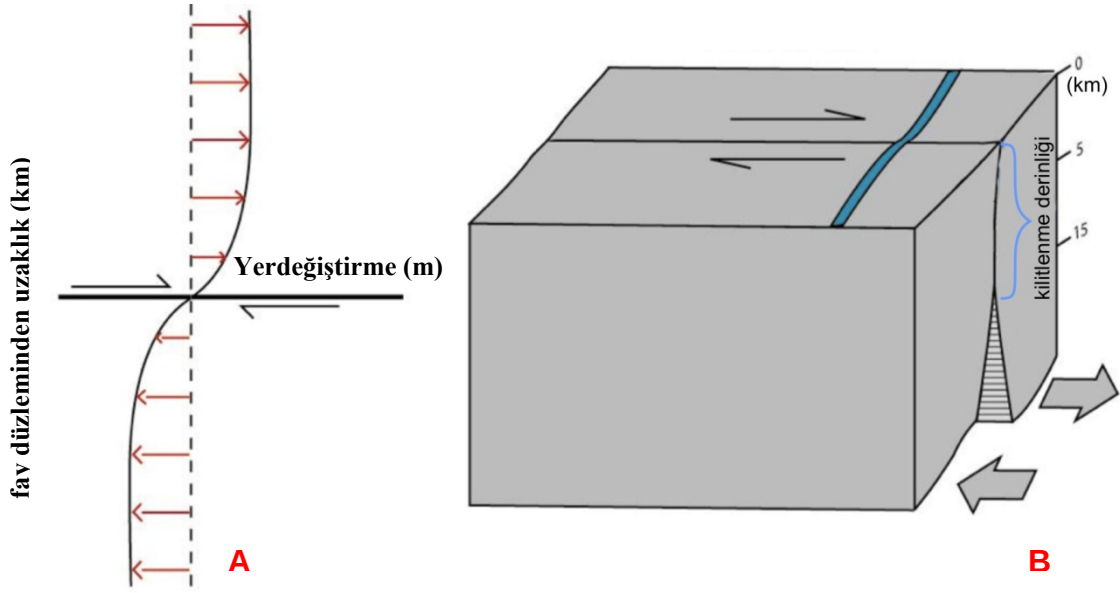
V , faya paralel hızı,

V_T , uzun dönem hızı,

x , faya olan uzaklığı,

D , kilitlenme derinliğini ifade etmektedir.

6.3 eşitliği, yüzeyden yapılan GPS ölçmeleri ile derinlik boyutunun kontrolü için fay düzlemine dik olarak ve kilitlenme derinliğinin yaklaşık iki katı bir alanda izleme yapılması gerektiğini göstermektedir. Şekil 6.1b'de görüldüğü gibi faya yakın alanlarda kilitlenmenin fonksiyonu olarak hız değerleri azalmakta, kilitli derinliğin iki katı üstünde olarak homojen blokların ortalama hızı kestirilmektedir. Diğer bir deyişle yakın alan gözlemler fayın kilitli olduğu derinlik hakkında bilgi verirken, uzak alan gözlemler genel blok davranışını (tez çalışması özelinde levha hızını) tanımlamaktadır. Buradaki en önemli varsayım, tüm deformasyonun faydan kaynaklandığı ve blokun rijit davrandığıdır. Bir fay zonu çalışılırken sadece yakın veya uzak alanda kalındığında fayın davranışı hakkında yeterli bilgi edinilemeyeceği açıktır. Bu nedenle faylar üzerindeki yamulma birikimlerini derinliğin fonksiyonu olarak tanımlayabilmek amacıyla fay düzlemine dik ve kilitlenme derinliğinin yaklaşık iki katı alanda olacak şekilde profiller boyunca veri toplama stratejileri gerçekleştirilmelidir.



Şekil 6.1 : Yanal atımlı bir fay sisteminde fayın kilitli olduğu derinliğin şematik gösterimi. a) Gözlenen hız alanı b) Gözlenen hız alanını tanımlayan blok model (Çakır, 2010).

Blok modelleme yaklaşımını esas alan farklı programlar bulunmaktadır. Bunlardan açık kaynaklı olarak kullanıcılara sunulan en önemlileri DEFNODE (McCaffrey, 1995) ve Meade ve Loveless (2009)'da detayları verilen kodlardır. Tez çalışmasında sadece GPS hız değerlerini değil farklı disiplinlerden (jeolojik atımlar gibi) elde edilen veriyi de girdi olarak kullanabilen DEFNODE programı tercih edilmiştir (Url-4). Ayrıca DEFNODE, gerek Robert McCaffrey gerekse kullanıcılarının katkıları ile sürekli gelişme gösteren bir yapıdadır.

Genel olarak DEFNODE, Robert McCaffrey tarafından tanımlanan elastik rijit bir blokun dönme, yamulma ve kilitli olma durumunu modelleyen Fortran dilinde yazılmış bir blok modelleme programı olup, tez çalışmasında blok modelleme amacı ile kullanılmıştır (McCaffrey, 1995). Kod içinde blok hareketleri küresel yeryüzü açısı hızı (Euler pole – Euler kutup değeri) ile tanımlanmakta, artan kayma miktarı ise blok sınırlarına ait fay mekanizmasını belirleyen yarı sonsuz bir ortamda tanımlı bir faya ait yer değiştirme alanını ifade eden Okada yaklaşımı (elastik, yarı-uzaysal dislokasyon model) kullanılarak kestirilmektedir (Okada, 1985; Okada, 1992). Toplam değer, blok sınırlarında Euler kutup değeri ile hesaplanan blok rotasyonlarına, Okada ile hesaplanan değerlerin eklenmesi ile elde edilmektedir. (Okada, 1985).

Okada yaklaşımı (Okada, 1985) yeryüzünün elastik yarı sonsuz bir ortam olduğunu kabul eder ve bu ortamda bir fayda ait yer değıştirme alanını,

$$u = Okada (\Delta u, v, \mu, L, W, x_f, y_f, x, y, d, \delta, \alpha) \quad (6.4)$$

tanımı ile verir. Eşitlik 6.3’de, fay doğrultusu (x_f, y_f) , fay düzleminin genişliği (W) , fay düzleminin uzunluğu (L) , fay doğrultusunun azimutu (α) , eğim açısı (δ) , Poisson oranlı (v) ve rijitlik katsayılı (μ) bir elastik ortama ait olan fay düzleminin derinliği (d) parametreleri ile tanımlı dikdörtgensel bir fay yüzeyi üzerinde Δu ($(\Delta u_j (\xi_1, \xi_2, \xi_3))$ kayma vektörü) sebebi ile yüzeyde oluşan yer değıştirme alanı $(u_i (x_1, x_2, x_3))$ ifade edilmektedir (Feigl ve Thatcher, 2006; Feigl, 2002; Aktuğ ve Çelik, 2008).

Eşitlik 6.4’te tanımlanan Okada yaklaşımının (Okada, 1985) matematiksel temeli,

$$u_i = \frac{1}{F} \int \int \int \Delta u_j \left[\lambda \delta_{jk} \frac{\partial u_l^n}{\partial \xi_n} + \mu \left(\frac{\partial u_l^j}{\partial \xi_k} + \frac{\partial u_l^k}{\partial \xi_j} \right) \right] v_k d\Sigma \quad (6.5)$$

eşitliğini esas almaktadır. Eşitlik 6.5’te

δ_{jk} = Kronocker deltası,

λ ve μ = Lamé sabitleri,

v_k = $d\Sigma$ yüzeyine ait yüzey normali bileşeni

olarak ifade edilmektedir.

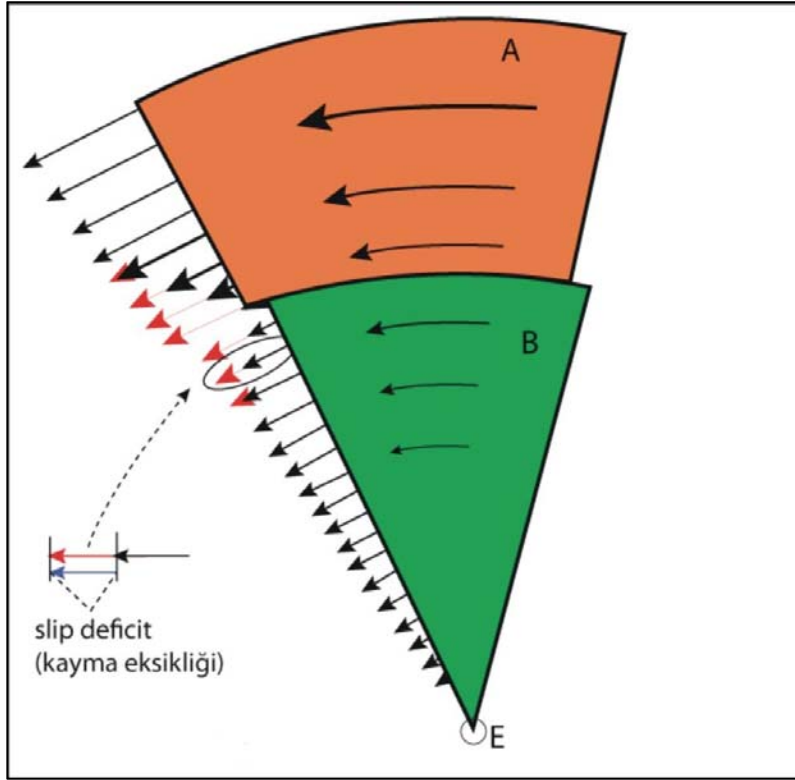
Okada, yeryüzünün elastik yarı sonsuz bir ortam olduğu kabulü ile Eşitlik 6.5’in analitik denklemlerle ifade edilmesini (Ek E) ve böylece bir fay düzleminde (Şekil E.2) fay parametrelerine bağlı olarak yer değıştirme alanının elde edilmesini sağlamıştır (Okada, 1985). Bu yaklaşım, çok sayıda deprem için uygulanmış ve başarılı sonuçlar üretilmesini sağlamıştır (Feigl ve diğ., 2002). Okada yaklaşımı, deprem kaynaklı yer değıştirme alanının belirlenmesinde, aşağıda sıralanan maddeler sebebi ile büyük önem taşımaktadır.

- Öncelikle bu yaklaşımla, meydana gelen elastik yer değıştirmenin fiziki basit bir şekilde anlaşılır. Bu yaklaşıma göre, yerdeğıştirme esnasında yüzeyde oluşan yerdeğıştirme ile derindeki kayma vektörü arasında lineer ilişki vardır. Bu lineer ilişki ile karmaşık bir fay sisteminde meydana gelen yer değıştirmenin, fay üzerinde tanımlı küçük parçalardaki yer değıştirmenin

toplamı olarak hesabı mümkündür. Bu, fay düzlemini küçük parçalarla örnekleme olanağı sağlamaktadır. Ayrıca, yüzeyde toplanan jeodezik veri ile fay düzlemi boyunca derinde kayma dağılımının lineer bir problem olarak ele alınmasını ve yalın bir şekilde, ters çözüm metodu ile kestirimine de olanak vererek problemi basitleştirir.

- Okada yaklaşımında kullanılan parametreler farklı şekillerde birbirinden bağımsız ve analitik olarak hesap edilebilirler. Böylelikle daha az kabul ile işlem yapılabilir.
- Elde edilen sonuçlar yeryüzünde bir noktaya ait tekil çözümlerdir. Okada alternatifi farklı yaklaşımlarda, analitik çözüm yerine yerdeğiştirmeye ait integral denklemlerin sayısal çözümleri temel alınmakta olup, birden çok eşdeğer çözümler bulmak mümkündür.
- Sonuç olarak deprem anı yer değiştirme alanının ve atım dağılımının modellenmesi için oluşturulan bu yaklaşım, yer bilimleri dünyası tarafından kabul edilmiş ve benimsenmiştir (Reilinger ve diğ., 2000; Feigl ve diğ., 2002; Arnadottir ve Segall, 1994; Cheng ve diğ., 2009; Çakır ve diğ., 2003; Vigny ve diğ., 2005; Gahalaut ve diğ., 2006). Ayrıca deprem anının yanısıra deprem sonrası ve deprem öncesi zamanın modellenmesinde de geniş bir kullanım alanına sahiptir (Manaker ve diğ., 2008; Chlieh ve diğ., 2004; Meade ve diğ., 2002; Cheng ve diğ., 2009; Reilinger ve diğ., 2000; Owen ve diğ., 2002; Ruegg ve diğ., 2009; Xia ve diğ., 2003).

DEFNODE programında bloklar kapalı poligonlar şeklinde oluşturulur ve fay modeli, blok sınırları boyunca tanımlanır. Her bir bloğa ait noktaların aynı açısız hızla hareket ettiği kabul edilir. Faylar bir çok noktanın blok sınırları boyunca 3 boyutlu olarak tanımlanması ile oluşturulur. DEFNODE ile, fay üzerindeki levha kilitlenme dağılımını, blok/levha açısız hızlarını, blok içerisindeki yamulma hızlarını ve GPS hız alanlarının referans sistemine göre rotasyonunu elde etmek mümkündür. Şekil 6.2, blok modelleme yaklaşımının çalışma prensibini şematik olarak göstermektedir.



Şekil 6.2 : Blok modelleme yaklaşımının prensibi. A ve B aynı Euler kutbuna bağlı ancak farklı hızlara sahip iki bloku tanımlamaktadır. Siyah renkli vektörler blokların GPS ile gözlenen rotasyonel hızlarını (blok sınırını oluşturan fayın kilitli olması durumundaki), kırmızı renkli vektörler ise bloklar arasında sürtünme olmadığı ve dolayısıyla blokların serbest kayması durumundaki hızları göstermektedir. İki vektör arasındaki fark ise deformasyon birikimini ifade eden kayma eksikliğini verir ve bu sadece faya yakın alanda gözlenir (Çakır, 2010).

Şekil 6.2’de birbirinden farklı fakat aynı Euler kutbuna bağlı hareket eden A ve B blokları gösterilmektedir. Normal şartlar altında her iki blokun her yerde aynı yeryüzü açılal hızı ile hareket etmesi beklenir. Fakat blokları sınırlayan fay yüzeyindeki sürtünmeden dolayı oluşan kilitlenme nedeniyle faya yakın alanda A ve B blokları beklenen hızları ile hareket edemezler. Blokların beklenen ve gerçekleşen hızları arasındaki fark bize kayma eksikliği değerini verir. Fay üzerindeki kayma miktarının levha hızına olan oranı ise phi değerinin tanımını içerir. phi değişkeni, matematiksel olarak;

$$\phi = 1 - V_c/V \quad (6.6)$$

eşitliği ile ifade edilir. Eşitlikte;

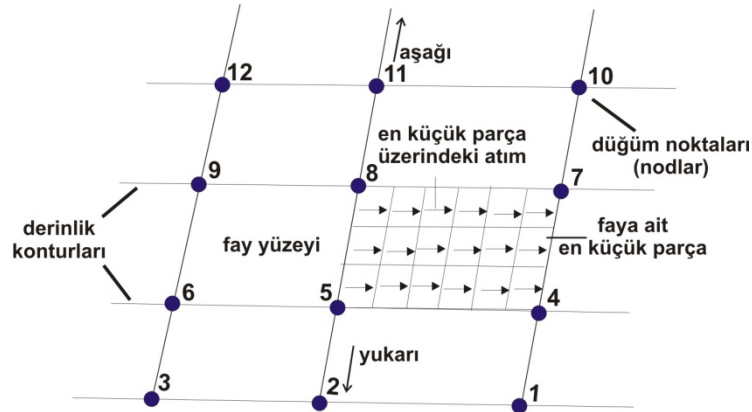
V_c = fay boyunca kısa dönem yer değiştirme hızını (yani güncel kayma miktarını),

V = ise uzun dönem hızı (yani güncel levha hızını) ifade etmektedir.

ϕ 'nin 1'e eşit olması için V_c değerinin 0 olması yani fay üzerinde bir kaymanın olmaması, diğer bir ifade ile fayın %100 kilitli olması gerekir. ϕ değerinin 0'a eşit olması ise V_c değerinin V değerine eşit olması yani fay üzerindeki kaymanın levha hızına eşit olması, diğer bir ifade ile fay üzerinde herhangi bir sürtünme olmaksızın fayın %100 serbest olarak hareket (krip) etmesi gerekir.

Kayma eksikliğinin matematiksel ifadesi ise açısal hızlardan elde edilen atımın ϕ ile çarpımı ($V_{atım} \times \phi$) şeklindedir.

Elastik deformasyon, modeli meydana getiren her bir düğüm arasını oluşturan küçük parçalar üzerindeki deformasyonların toplanması ile elde edilir. Yüzey hızlarının hesabı ise, elastik deformasyonun tanımlanmasında kullanılan küçük parçalar (ki her biri aslında birim faylanmaya karşılık gelmektedir ve EK E'de tanımlı şekilde özellikleri verilmektedir) (Şekil 6.3) üzerinde " $-V_{atım} \times \phi$ " oranında artık kayma (*backslip*) miktarı eklenerek Okada rutinleri ile (Okada, 1985; Ek E) gerçekleştirilir.



Şekil 6.3 : DEFNODE programında fay yüzeyindeki düğüm noktalarının numaralandırılması (Faya ait her bir parça, birim faylanma ile belirlenmektedir.) (Url-4)

DEFNODE, ters ve ileri çözüm tekniklerini birlikte kullanmaktadır. GPS hız alanı, modele girdi olarak tanımlanırken, blokların dönme ve fay kilitlenme parametreleri "simulating annealing" (benzetimli yaklaşım) (Press ve diğ., 1989) yöntemi ile ters çözüme tabi tutulur. Ters çözümle parametre kestiriminde, χ_r^2 (reduced chi-squared – indirgenmiş chi-kare)'nin minimum olması sağlanmaya çalışılır. Bu sebeple oluşturulan modeller, χ_r^2 değerleri esas alınarak karşılaştırılır ve en uyumlu modele bu aşamada karar verilir.

Program içerisinde χ_r^2 ;

$$\chi_r^2 = \frac{\sum_{i=1,n} (r_i / \sigma_i)^2}{n-m} \quad (6.7)$$

eşitliği ile hesaplanır. Eşitlikte;

n = gözlem sayısı,

m = parametre sayısı,

r_i = artık değerler (veri ve model arasındaki fark),

σ_i = belirsizlik olarak ifade edilmektedir.

Blok modelleme konusundaki uygulama ve ek bilgiler Bölüm 7.1.2 ve 7.3’de hem sayısal olarak hem de yorumlanarak verilmektedir. Ayrıca kullanılan parametreler ayrıntılı olarak Çizelge D.5’de sıralanmıştır.

Programın kullanılmasında önemli bazı konular aşağıda belirtilmiştir:

- 1- Modelde her fay için tek bir taban bloku tanımlanmalıdır.
- 2- Fayın eğimi 90°’den az olmalıdır.
- 3- Faylar, 3 boyutlu olarak tanımlanan noktalar ile ifade edilir. Yatay konum değerleri derece, derinlik ise km cinsindedir. Derinlik, fay yüzeyinden aşağıya inildikçe pozitif değerini korur.
- 4- Bloklar, yüzeyde belirlenen noktalarla tanımlanmalı ve mutlaka poligon şeklinde kapatılmalıdır. Fayları ve blok sınırlarını tanımlayan düğümler birebir aynı olmalı ve iki blok arasında boşluklar bulunmamalıdır. Blok sınırlarının fay olarak tanımlanmadığı durumlarda olabilir. Bu şekilde fayın serbest hareket ettiği ve elastik yamulma üretmediği varsayılarak sadece blokların dönme hareketleri hesaplanır.
- 5- Bir bloku tanımlamak için blok içine mümkün olduğunca homojen dağılmış GPS ölçme noktaları olması gerekir. Ayrıca fayın kilitli olduğu derinliği de kontrol edebilmek amacı ile blok sınırları civarında, olası kilitlenme derinliğinin en az 2 katı mesafede gözlem noktaları olmalıdır. Aksi halde, bloğa ait kestirilen parametrelerin belirsizliği büyüyecek ve gerçekçi çözümler elde edilemeyecektir.

7. UYGULAMA: MARMARA BÖLGESİNDE DEPREM DÖNGÜSÜNÜN İZLENMESİ VE MODELLERLE AÇIKLANMASI

Marmara Bölgesi, Bölüm 5.1’de belirtildiği gibi 1988 yılından günümüze yerli ve yabancı birçok bilim adamının ortak çalışma alanı haline gelmiş, farklı disiplinlerce sürekli incelenmiş ve incelenmeye devam edilmektedir.

Tezin ana uygulama kısmı, bölgenin GPS verileri esas alınmak sureti ile deprem öncesi, anı ve sonrası deformasyon alanlarının modellenmesi, bölgeye ait jeodezik verileri baz alan ve aynı geometri ile tanımlanan bir fay geometrisi oluşturulması, bölgedeki MAGNET’e ait sürekli ve kampanya tarzı istasyonların uzun dönem analizleri (Bölüm 5.6) ve bölgenin Avrasya levhasına göre 2002-2009 dönemine ait hız alanının verilmesi şeklinde oluşturulmuştur.

7.1 Deprem Öncesi

7.1.1 Giriş

Marmara Bölgesinin deprem öncesi hız alanı farklı blok modelleme rutinleri ile farklı bilimsel çalışmalarda ele alınmıştır (Straub ve diğ., 1997; Meade ve diğ., 2002; Le Pichon ve diğ., 2003; Reilinger ve diğ., 2006).

Reilinger ve diğ., (2006)’de küresel ölçekte (Afrika, Arabistan ve Avrasya), Straub ve diğ., (1997), Meade ve diğ., (2002) ve Le Pichon ve diğ., (2003)’de ise sadece Marmara bölgesi özelinde çalışılmıştır.

Straub ve diğ., (1997)’de Marmara Bölgesinde 1990-1996 yılları arasında Şekil 5.1’de gösterilen noktaları kapsayan GPS kampanya ölçme değerleri kullanılmış ve yamulma hızlarının belirlenmesi yaklaşımı benimsenmiştir. Çalışmanın en önemli dezavantajı nokta dağılımının bölge için yeterli olmayışıdır. Bu sebeple bölge, veri yoğunluğuna ve davranışına bağlı olarak üç farklı segment halinde incelenmiş, bir bütün olarak ele alınamamıştır.

Meade ve diğ., (2002) ve Le Pichon ve diğ., (2003)’de kullanılan GPS verisi McClusky ve diğ., (2000)’de yayınlanan veri setidir. Bu iki çalışma arasında veri

açısından fark Meade ve diğ., (2002)'de kullanılan hız alanının lokal bir sistemde tanımlı olması, Le Pichon ve diğ., (2003)'de ise Avrasya levhasına göre referanslandırılmış hız alanının kullanılmış olmasıdır. Her iki çalışmada da KAF'ın kuzey kolu odaklı olarak çalışılmıştır. Bu iki çalışma arasındaki en belirleyici fark Meade ve diğ., (2002)'de blok modelleme yaklaşımının; Le Pichon ve diğ., (2003)'de ise Euler kutup vektörü kestirimi ile fay olarak kabul edilen blok sınırlarındaki yamulma değerlerinin hesaplanması yönteminin (2 Boyutlu Savage ve Burford, (1973) analitik çözümünün) benimsenmesidir.

Yukarıda belirtilen Marmara Bölgesi özelinde yapılmış çalışmaların yanısıra küresel ölçekte Reilinger ve diğ., (2006)'de Bölüm 5.1'de anlatıldığı üzere kullanılan veri seti önceki çalışmalarda kullanılan veri seti bakımından daha yoğun ve veri işlem stratejisi açısından daha bütüncüdür. Bu çalışmada da, Meade ve diğ., (2002)'de olduğu gibi blok modelleme yaklaşımı benimsenmiş ve Bölüm 6'da detaylandırılan Okada rutinleri (Okada,1985) kullanılmıştır.

Daha önce yapılmış modelleme çalışmalarına rağmen tez kapsamında bölgenin davranışını incelemek amacı ile deprem öncesi dönem için modelleme çalışmasının yenilenmesi son derece önemlidir. Bölüm 5.6.1'de belirtildiği gibi Doğu Akdeniz'den Kafkasya'ya kadar olan bölgede farklı kurum ve kuruluşlar tarafından toplanan ham veri setleri, daha önceden yapılan çalışmaların hiç birinde aynı referans sisteminde ele alınmamış olmasına karşın Reilinger ve diğ., (2006) çalışmasında ilk defa aynı referans sisteminde ele alınarak birlikte analiz edilmiş ve referans sistemi problemi ortadan kaldırılmıştır. Tez kapsamında bu veri seti (Reilinger ve diğ., 2006) kullanılmış ve veri yoğunluğu ve kalitesi açısından önceki çalışmalara göre oldukça önemli bir iyileştirme elde edilmiştir.

Ek olarak deprem sonrası 2002-2009 dönemi modelleme çalışması için de Bölüm 5.5 ve Bölüm 5.6.2'de detayları verilen bölgeye ilişkin en güncel veri seti kullanılmıştır. Tez kapsamında yapılan modelleme çalışmalarında önceki çalışmalarda olduğu gibi, parametrelerin kestiriminde sınırlı sayıda istasyon verisi değil eldeki tüm veri seti kullanılmış, buna göre en uygun model geometrisi seçilmiştir.

Ayrıca yukarıda belirtilen tez öncesi çalışmalardan farklı olarak Marmara Bölgesinde olası farklı blokların varlığı bu çalışmada sorgulanmış ve araştırılmıştır. Farklı bloklar yardımıyla model geometrileri oluşturulmuş ve en uyumlu model

geometrisine yapılan testler sonrasında karar verilmiştir. Son olarak tanımlanan faylara ait kollar üzerinde fayın kilitlenme durumu üzerinde de çalışılmış ve derinlik testleri gerçekleştirilerek en uygun kilitlenme derinlikleri ortaya çıkarılmıştır.

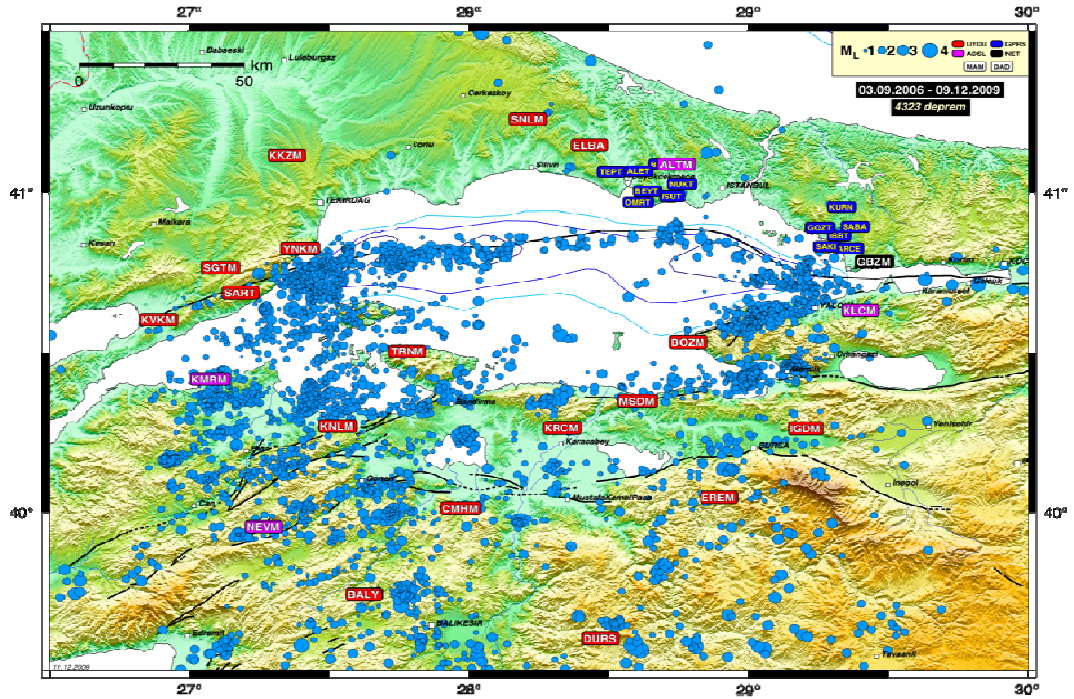
7.1.2 Modelleme çalışması

Tez çalışmasında, Bölüm 7.1.1’de belirtildiği gibi bölgenin deprem öncesi durumunun modellenmesinde blok modelleme yaklaşımı benimsenmiş ve DEFNODE (Bölüm 6) programı kullanılmıştır.

Reilinger ve diğ., (2006)’de yayınlanmış (bölgenin 1999 depremleri öncesi döneme ait hız alanı gözden geçirilmiş, yeni verilerle zenginleştirilmiş ve tüm veri setinin birlikte analizi ile referanslandırma hataları elimine edilerek hesaplanmış) GPS hız alanı, modelleme çalışmasında girdi olarak kullanılmıştır (Çizelge B.1). Başlangıç Euler kutup değerleri ise McClusky ve diğ. (2000)’den alınmış ve modelleme sırasında uygunlukları test edilmiştir. Blokların birbirine çok yakın olması sebebi ile denenen modellerde her bir blok için aynı Euler kutup değerleri kullanılmıştır.

Modellemenin en önemli kısmını ise en uygun blok geometrisini oluşturmak olmuştur. Fayları blok sınırlarının temsil ettiği düşünülerek MTA’nın aktif fay haritası (Şaroğlu ve diğ., 1992) ve 1999 depremleri sonrasında arazi çalışmaları ile haritalanan yeryüzü kırıkları esas alınmıştır. Marmara Denizi içinde ise yapılan farklı çalışmalara ait sonuçların (Le Pichon ve diğ., 2001) sadeleştirilmesi ile oluşturulan fay geometrisi KAF’ın kuzey kolunun deniz içinden geçen kısmının oluşturulması için kullanılmıştır. En uyumlu model geometrisini elde etmek üzere farklı blokların tanımlandığı denemeler yapılmıştır. Denemelere ilişkin sayısal değerler Çizelge 7.1’de verilmektedir. İlk denemede sadece KAF’ın İstanbul’un güneyinden geçen kuzey kolunu fay olarak tanımlayan iki bloklu bir geometri ile çalışılmıştır (Şekil D.1). Daha sonra kuzey kolun yanısıra blok sayısını üçe çıkaracak güney kol tanımlanmıştır. Üç bloklu model geometrisinde iki farklı güney kol geometrisi denenmiştir (Şekil 7.1 ve 7.3). Son denemede ise bölgede daha önce oluşturulan modellerle kontrol altına alınamayan sistematik farkları azaltmak amacı ile Bursa-Gemlik civarında dördüncü bir blok oluşturulmuş ve blok sayısı dörde çıkarılmıştır (Şekil D.2). Bölüm 6’da belirtildiği gibi en iyi gerçek ve model veri uyumuna karar verebilmek için oluşturulan dört modele ait toplam ve indirgenmiş χ^2 değerleri Çizelge 7.1’de verilmiştir.

Marmara Denizi'nin güney kıyısına paralel olarak tanımlanmıştır. Bu tanımlamayı yaparken İnan ve diğ., (2007)'de anlatılan TÜRDEP projesi kapsamında 2006 yılından günümüze sismoloji çalışmaları ile elde edilen bölgede meydana gelmiş depremlerin dağılımları (Şekil 7.2) ve yine aynı proje kapsamında bölgede yapılan ve Ergintav ve diğ., (2007)'de tartışılan gravite çalışmalarından elde edilmiş bilgiler kullanılmıştır. Bölgenin deprem öncesi modelleme çalışmalarında kullanılan parametreler ve blok geometrileri EK D'de verilmektedir (Çizelge D.1, D.2, D.3, D.4).

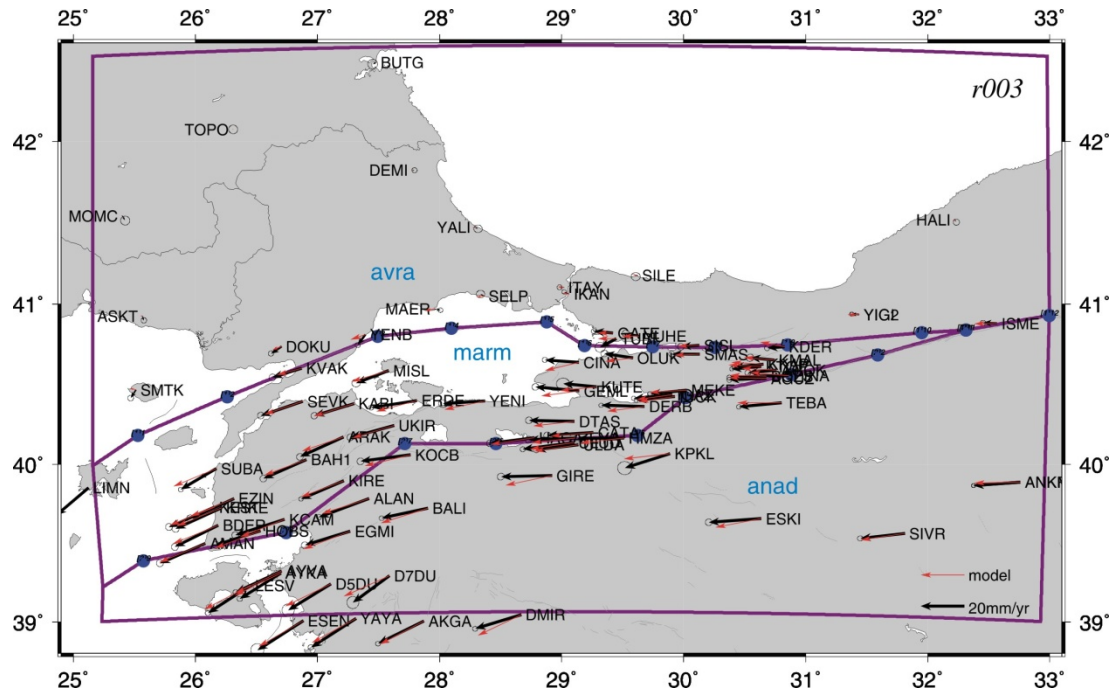


Şekil 7.2 : Marmara Bölgesinde 2006-2009 yılları arasında meydana gelen depremlerin dağılımı. Mavi noktalar büyüklükleri ile ölçeklenmiş olarak deprem lokasyonlarını, siyah renkli düz çizgiler ise aktif fayları göstermektedir (Şaroğlu ve diğ., 1992).

En uygun modele karar verebilmek için χ^2 karşılaştırmasına ek olarak, üç modelin (r001, r003 ve r004) indirgenmiş χ^2 değerlerini, χ^2 'i en küçük olan r002 modeli ile istatistiksel ilişkilendirilmesinde F-test kullanılmıştır. r001, r003 ve r004 modelleri r002 modeli ile karşılaştırılmış ve her karşılaştırmada elde edilen değerler kritik değerlerin altında kalmıştır (Trauth, 2006). Yapılan testler sonucunda Çizelge 7.1'de son kolonda, diğer modellerin r002 modeline uygunluğunu sorgulayan olasılık değerleri verilmiştir. Yapılan bu testler sonucu r002 modelinin Marmara Bölgesi için

en uygun geometriye sahip model olduğuna karar verilmiştir. Bu modele ait DEFNODE parametre dosyası Çizelge D.5'te açıklanmıştır.

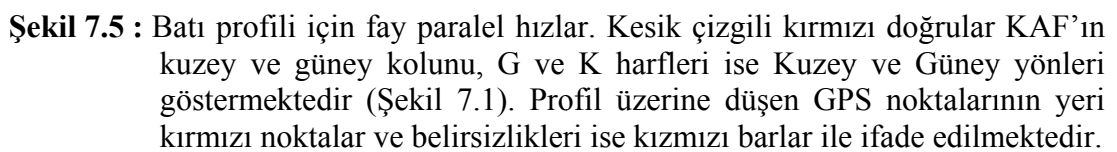
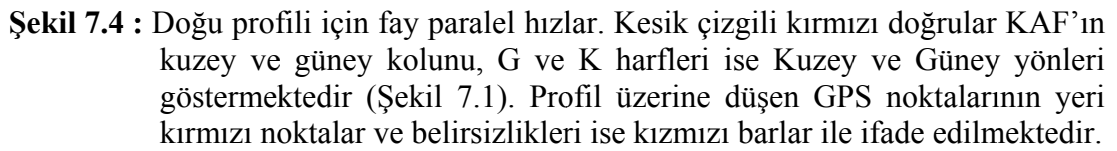
r002 modelinde bölgenin güney kısmında bulunan bazı noktalarda model ve veri arasında uyumsuzluklar görülmektedir (Şekil 7.1). Ege Bölgesini sınırlayan alanda yeni bir blok tanımlaması uyumsuzlukların giderilmesinde etkin rol oynamaktadır. Fakat çalışma alanı sınırları sebebi ile Ege Bölgesini de sınırlayan yeni bir blok tanımlaması yapılmamıştır. Ayrıca Gemlik ve Çınarcık noktalarında ve civarında görülen veri-model uyumsuzluğu, tez çalışması süresince denenen deprem öncesi tüm modellerde aynı görüntüyü vermiştir (Şekil 7.1 ve 7.3, Şekil D.1 ve D.2). Oluşturulan tüm modellerde elde edilen bu uyumsuzluk bölgedeki lokal bir deformasyona işaret etmektedir.



Şekil 7.3 : 1999 depremleri öncesi dönem (güney kol geometrisi daha önce yapılmış çalışmalardan alınmıştır (Meade ve diğ., 2002; Reilinger ve diğ., 2006)) Marmara Bölgesi için üç bloklu model geometrisi (r003). Siyah renkli vektörler GPS veri işlem sonrası Avrasya levhasına göre hızları (Çizelge B.1), kırmızı renkli vektörler model sonucu elde edilen hızları, mor renkli çizgiler blok sınırlarını, lacivert yuvarlaklar ise fayları tanımlayan düğümleri göstermektedir. (avra = Avrasya bloku, anad = Anadolu bloku, marm= Marmara bloku)

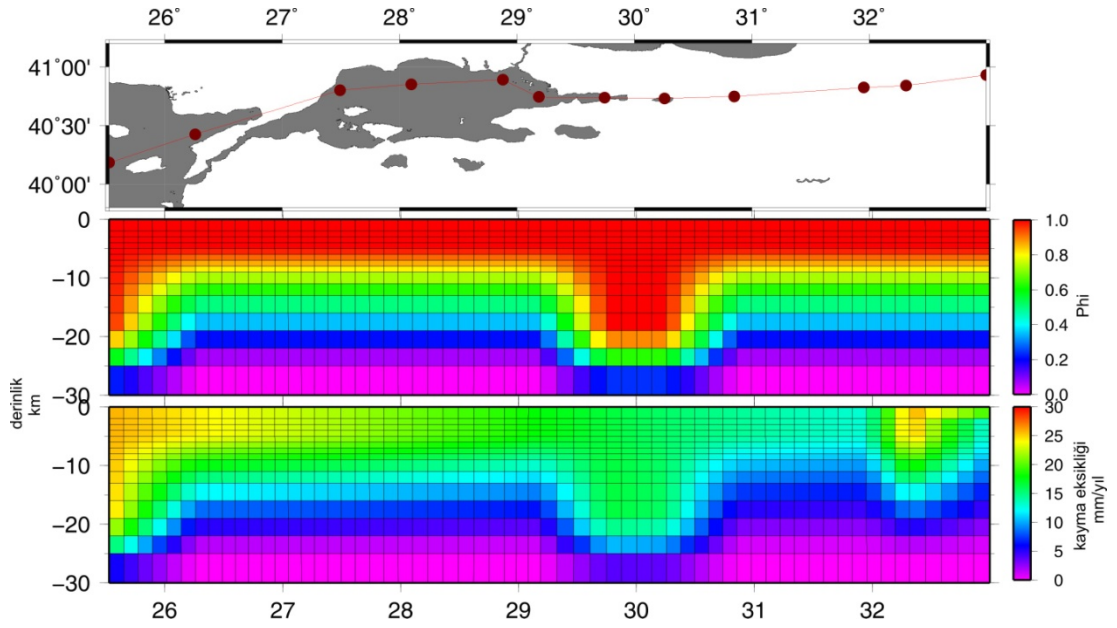
Tez çalışması sırasında, farklı geometride ve/veya sayıda bloğa sahip modelleme denemelerinde, bir önceki bölümde anlatılan kısıtlar çerçevesinde bir bloku tanımlamaya yeterli ve uygun veri olmaması sebebi ile blokların dönme ve blok

Şekil 7.1’de biri Marmara’nın doğusunda (profil 1/Doğu profili), diğeri ise batısında (profil 2/Batı profili) olmak üzere fay sistemini dik kesen iki profil alınmış ve bu profiller boyunca faya paralel hızlar elde edilmiştir (Şekil 7.4 ve Şekil 7.5).



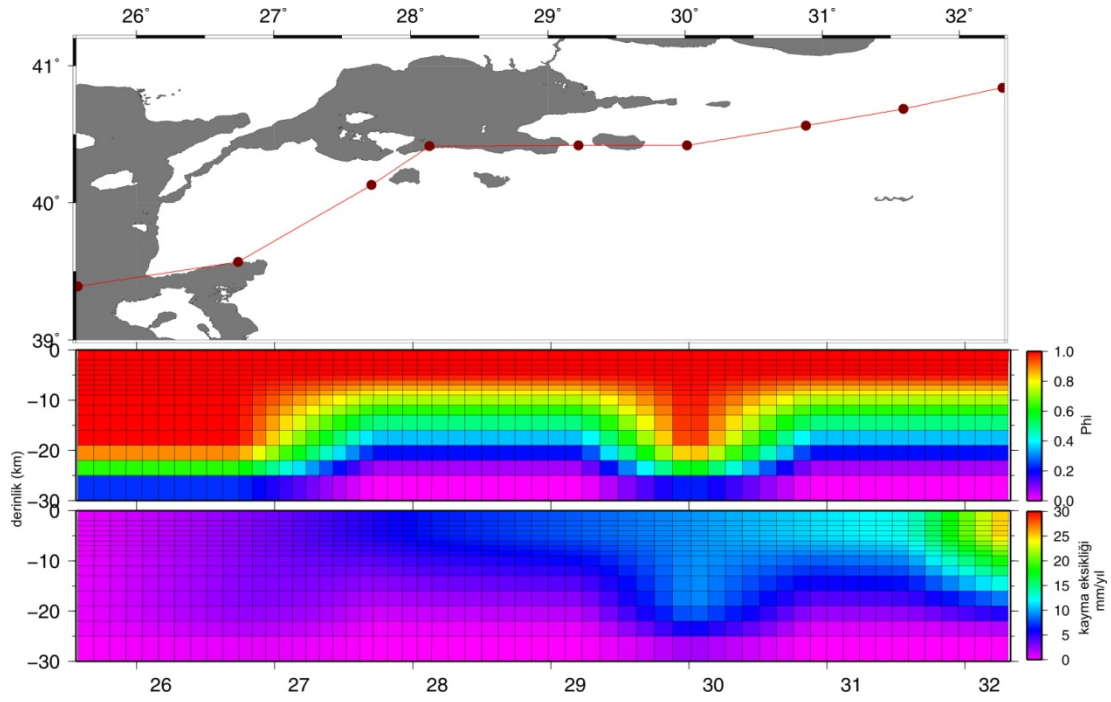
Oluşturulan bu profiller modelin kontrolü için kullanılmıştır. Şekil 7.4 ve 7.5'ten görüldüğü üzere veri ve model arasındaki uyum iyidir. Bunu Çizelge 7.1'de verilen model detaylarında görmek de mümkündür. Her iki profilde de kuzey koldaki yamulma miktarının güney koldakinden daha fazla olduğu görülmektedir.

Deprem öncesi modelleme çalışmasında, model sonunda elde edilen tüm çıktı dosyaları çizim formatına dönüştürülerek, bu bölümde detaylandırılacaktır. Bu kapsamda öncelikle fay olarak tanımlanan her iki kol üzerinde oluşan kayma eksikliği ve ϕ değerlerinin derinlik ilişkisi üzerinde durulacaktır. Şekil 7.6'da KAF'ın kuzey koluna ait ϕ ve kayma eksikliği değerlerinin derinlik boyutu ile ilişkisi verilmektedir. Buna göre kuzey kol için kilitlenme derinliğinin yaklaşık 10 km'ler civarında olduğu görülmektedir. Fakat 1999 İzmit depreminin meydana geldiği İzmit körfezi civarında kilitlenme derinliğinin yaklaşık 18 km'lere inmesi dikkat çekicidir. Model sonucu batıda Ege Denizi civarında hesaplanan derin kilitlenme derinliği ise modelin batıda tam olarak kontrol edilememesi, modelin bu alanda yetersiz kalmasının sonucudur. Şekil 7.6'da kayma eksikliği – derinlik kesitinde ise, kilitlenme derinliğinin 18 km'ler olarak görülen İzmit körfezi civarında 15-20 mm/yıl'lık bir kayma eksikliğinin mevcut olduğu, bu kayma eksikliğinin ise 1999 İzmit Depremi ile karşılandığı görülmektedir.



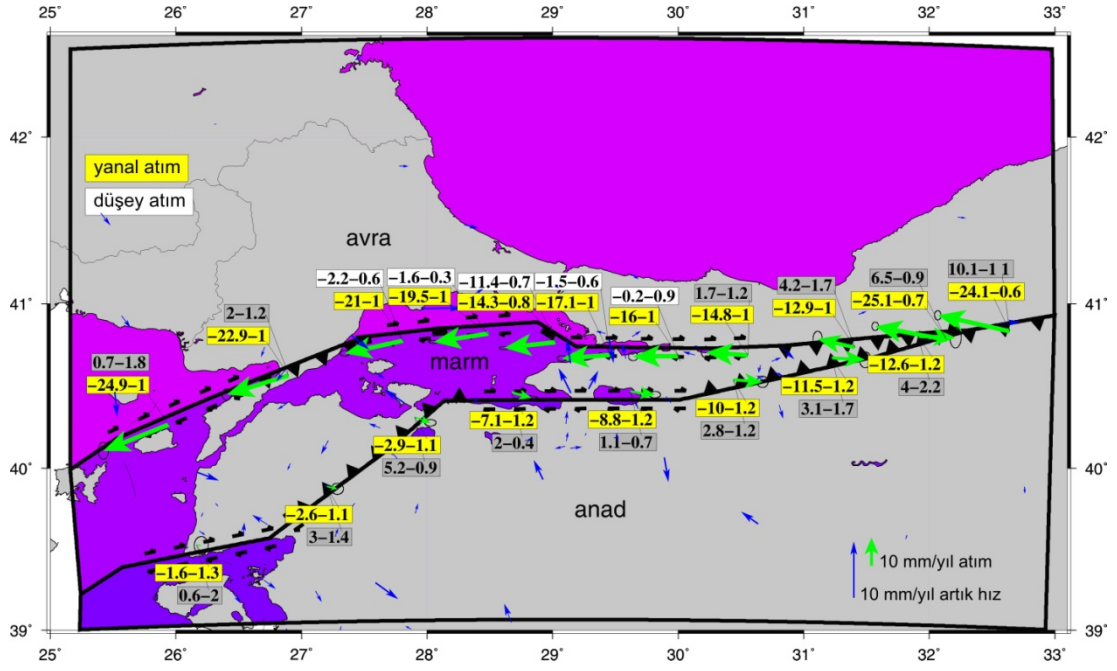
Şekil 7.6 : KAF'ın kuzey koluna ait phi ve kayma eksikliği derinlik ilişkisi. Harita, r002 modelinde kuzey kol ve düğümlerin yerlerini göstermektedir. Phi lejantı ile tanımlanan kesit phi-derinlik ilişkisini, kayma eksikliği lejantı ile tanımlanan kesit ise kayma eksikliği- derinlik ilişkisini vermektedir. Phi 0 ve 1 arasında değer almakta ve 1 fayın hareket edemediği, kilitli olduğu durumu, 0 ise serbest hareketin olduğu durumu ifade etmektedir. Kesitlerin sol tarafında ise derinlik bilgisi (km) gösterilmektedir.

KAF'ın güney koluna ait phi ve kayma eksikliği değerlerinin derinlik ile ilişkisi de Şekil 7.7'de verilmiştir. Kuzey kolda olduğu gibi güney kolun batı kısmında görülen yaklaşık 20 km'lik kilitlenme derinliği de gerçekçi değildir. Bu alanda yeterli verinin bulunmaması derinlik boyutunda kontrolü azaltmaktadır. KAF'ın her iki kolu için kilitlenme derinliği uyum göstermektedir (Şekil 7.6 ve 7.7).

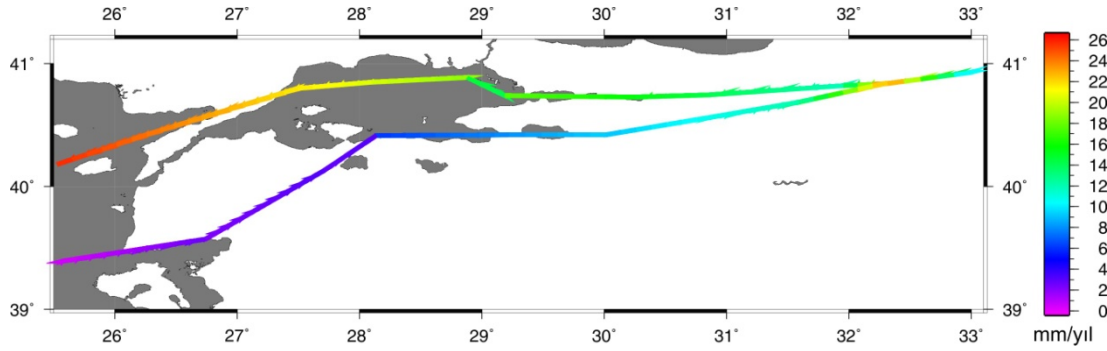


Şekil 7.7 : KAF'ın güney koluna ait phi ve kayma eksikliği derinlik ilişkisi. Harita, r002 modelinde güney kol ve düğümlerin yerlerini göstermektedir. Phi lejantı ile tanımlanan kesit phi-derinlik ilişkisini, kayma eksikliği lejantı ile tanımlanan kesit ise kayma eksikliği- derinlik ilişkisini vermektedir. Phi 0 ve 1 arasında değer almakta ve 1 fayın hareket edemediği, kilitli olduğu durumu, 0 ise serbest hareketin olduğu durumu ifade etmektedir. Kesitlerin sol tarafında ise derinlik bilgisi (km) gösterilmektedir.

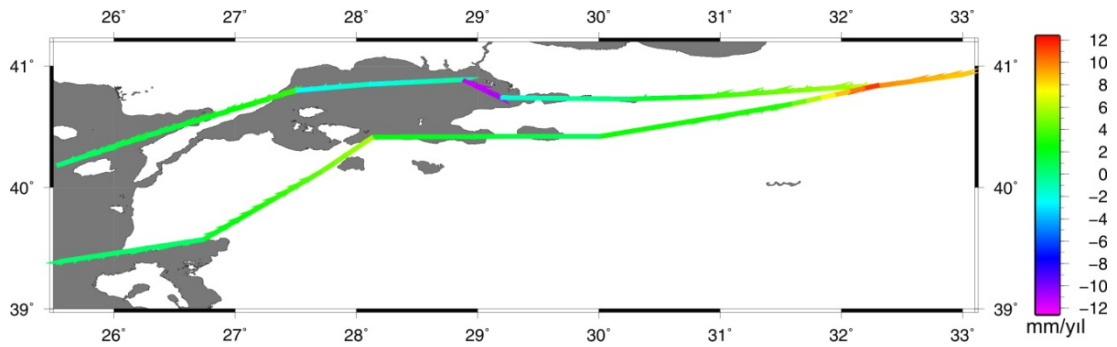
Deprem öncesi modelleme çalışmaları sonrası bölgedeki atım dağılımı ise Şekil 7.8'de gösterilmektedir. Elde edilen atım değerleri ile Reilinger ve diğ. (2006)'de verilen değerler arasında yaklaşık %20'lik bir fark görülmektedir (Şekil 7.9).



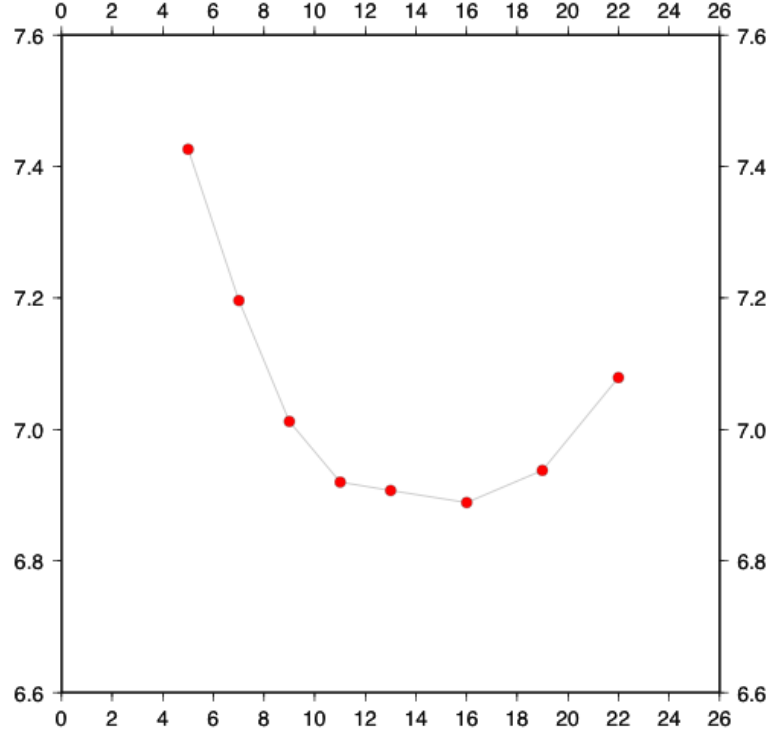
Şekil 7.8 : Deprem öncesi model sonucu faylar boyunca elde edilen atım değerleri. Sarı dikdörtgenler, yanıl atım (- değerler, sağ yanıl atım); beyaz dikdörtgenler düşey atım (- değerler, açılma) değerlerini ifade etmektedir.



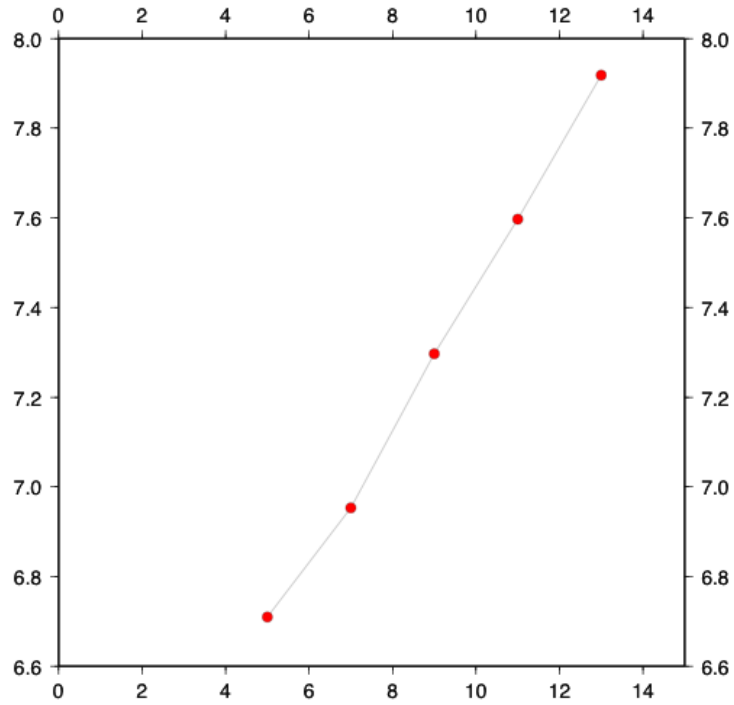
Şekil 7.9 : Deprem öncesi model sonucu elde edilen fay paralel hızlar.



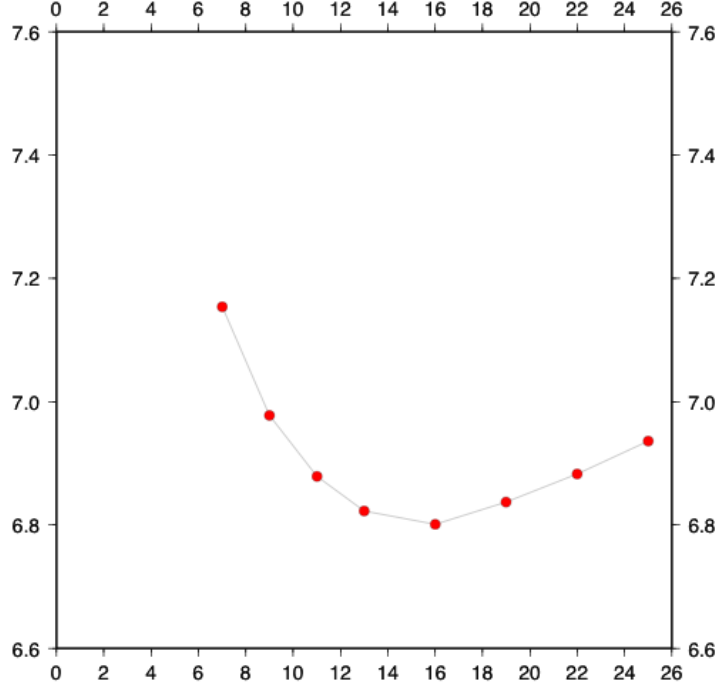
Şekil 7.10 : Deprem öncesi model sonucu elde edilen fay normal hızlar (- değerler açılmayı, + değerler sıkışmayı ifade etmektedir.)



Şekil 7.12 : KAF'nın kuzey kolunun doğu kısmı (Şekil 7.11) için χ_r^2 -derinlik ilişkisi. Yatay eksen, derinlik (km); dikey eksen ise χ_r^2 değerini ifade etmektedir.

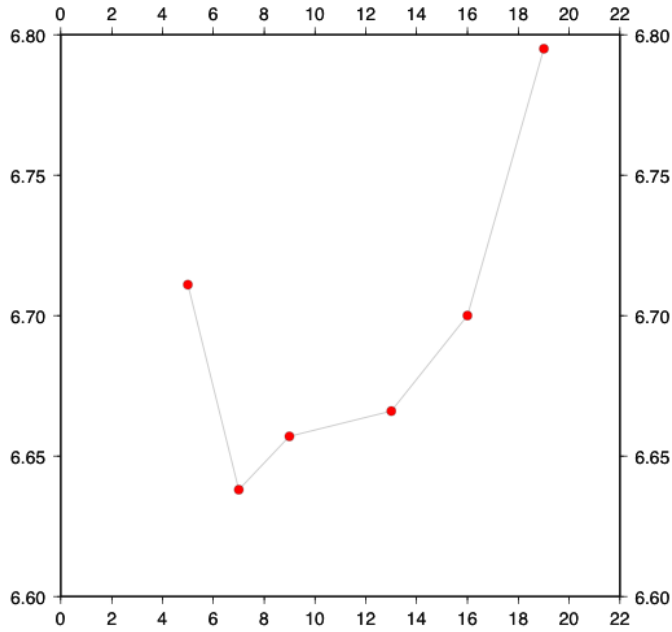


Şekil 7.13 : KAF'nın kuzey kolunun Marmara Denizinde kalan orta kısmı (Şekil 7.11) için χ_r^2 -derinlik ilişkisi. Yatay eksen, derinlik (km); dikey eksen ise χ_r^2 değerini ifade etmektedir.



Şekil 7.14 : KAF'ın kuzey kolunun batı kısmı (Şekil 7.11) için χ_r^2 -derinlik ilişkisi. Yatay eksen, derinlik (km); dikey eksen ise χ_r^2 değerini ifade etmektedir.

Güney kol için yapılan derinlik testinde ise derinlik kuzey kolun aksine daha sığ bulunmuştur. Bütün olarak incelenen güney kol için kilitlenme derinliğinin 7-13 km arasında değiştiği Şekil 7.15'de görülmektedir. Fakat yukarıda belirtildiği gibi güney kolun batı kısmı için yeterli kontrol noktası bulunmamaktadır.



Şekil 7.15 : KAF'ın güney kolu için χ_r^2 -derinlik ilişkisi. Yatay eksen, derinlik (km); dikey eksen ise χ_r^2 değerini ifade etmektedir.

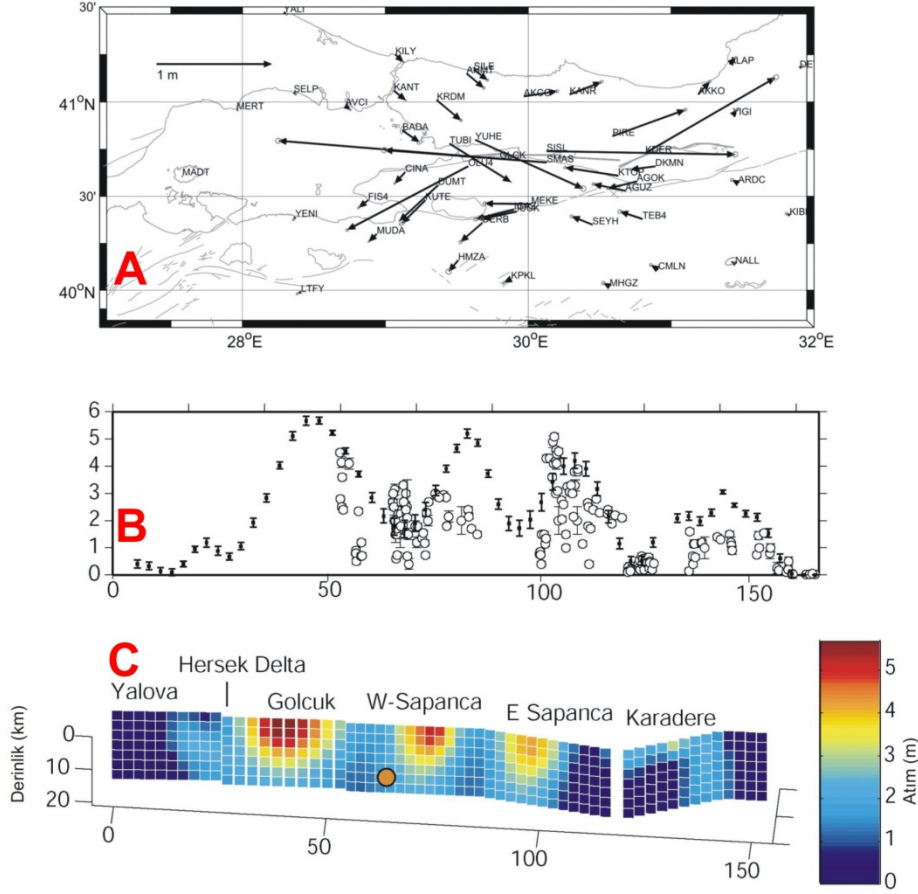
7.2 Deprem Anı ve 2002 Yılı Arası Deprem Sonrası Dönem

Tez çalışmasında ana amaç olan deprem döngüsünün izlenmesinde bütünlüğün sağlanması için deprem anı ve 2002 yılına kadar olan zaman aralığı, tez yazarının da gerek arazi çalışması gerekse veri işlem aşamalarında içinde bulunduğu yayınlanmış çalışmalardan yararlanılarak derlenmiştir.

Deprem anında çalışan MAGNET istasyonları ve deprem öncesinde ve depremden sonra bir hafta içinde gerçekleştirilen GPS kampanyaları yardımı ile İzmit Depremi için deprem anında meydana gelen yer değiştirme alanı belirlenebilmiştir. Bu uygulamada, istasyonların deprem öncesi verilerine dayanarak hesaplanan konumları deprem anına ekstrapole edilerek, deprem anındaki konumları hesaplanmıştır. Aynı şekilde, deprem sonrası verilerle hesaplanan konumları yine geri yönlü olarak ekstrapole yöntemi ile deprem anındaki nokta konumlarına dönülmüştür. Bu iki hesaplama sonrasında nokta koordinatlarında meydana gelen farklardan Şekil 7.16'da gösterilen deprem anındaki noktaların yer değiştirme alanı elde edilmiştir (Reilinger ve diğ., 2000). Elde edilen yer değiştirme alanı elastik yer değiştirmeyi esas alan Okada (1985)'de detayları verilen Okada rutinleri ile modellenmiştir. Bu çalışmaların detayları Reilinger ve diğ. (2000), Burgmann ve diğ. (2002), Ergintav ve diğ. (2002), Feigl ve diğ. (2002) ve Çakmak ve diğ. (2004)'de farklı boyutları ile ele alınmış olduğundan tez kapsamında sonuçları özetlenmiştir.

Şekil 7.16a'da görüldüğü gibi en büyük yer değiştirme miktarı fay zonu çevresinde görülmektedir (Reilinger ve diğ., 2000). Faydan uzaklaştıkça ise yer değiştirme miktarlarındaki önemli derecede azalma dikkat çekmektedir. Fay düzlemi boyunca faya paralel davranış gösteren yer değiştirme yönleri elastik modele uyum sağlayacak şekilde kırığın sonlandığı kısımlarda belli açılarla fay düzleminden uzaklaşma eğilimi göstermektedirler (Reilinger ve diğ., 2000). Genel olarak elde edilen sonuçlar, doğrultu atımlı ve sonlu parçalı bir kırığın oluşturduğu atım dağılımını vermektedir (Şekil 7.16; Reilinger ve diğ., 2000). Blok modelleme ile desteklenerek elde edilen en fazla atım değerleri yüzeyde Gölcük ve Sapanca'da olup 5m'ye kadar ulaşmaktadır (Şekil 7.16b,c). Deprem odağında göreceli olarak en düşük atım değerleri söz konusudur (1-2.5 m). Kırılan alanının batı kısmında derinlerde Hersek deltasının batısında gözlenen atım değerleri, kırığın adalar civarına kadar ulaştığını göstermektedir. Doğusunda ise, gözlem noktalarının saçıklı

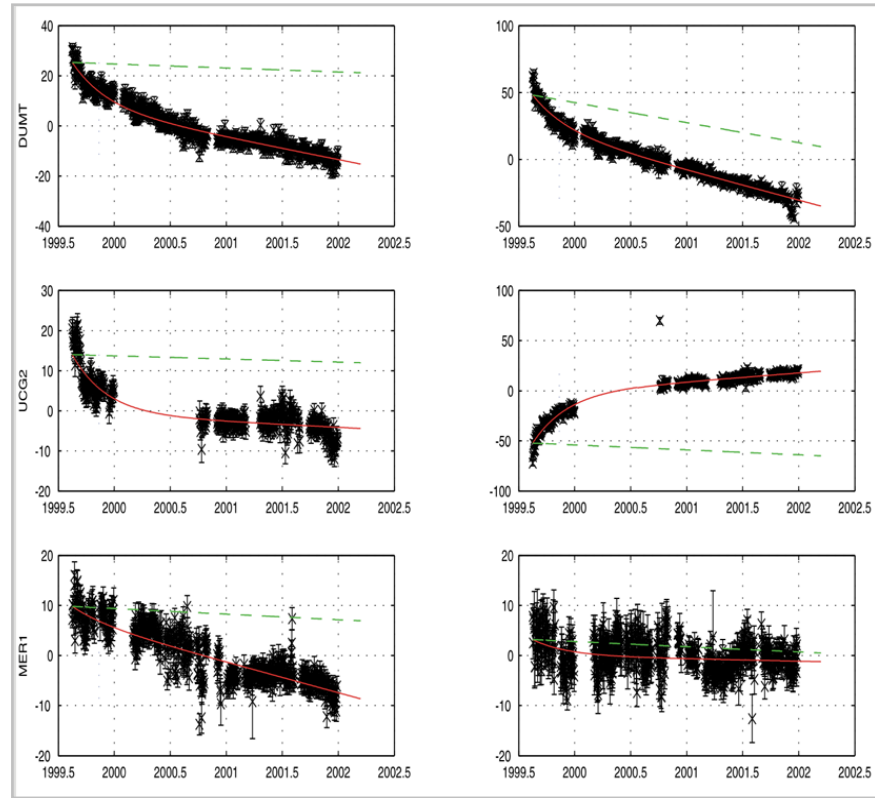
olmasının getirdiği belirsizliklere rağmen, Karadere'ye kadar bir alanın (Düzce depremine ait kırığın batı ucuna kadar) kırıldığı görülmektedir (Reilinger ve diğ., 2000).



Şekil 7.16 : 1999 İzmit Depremi anında A) meydana gelen yer değiştirme alanı B) yüzeyde gözlenen derinliklerle ilişkisi C) Atımların derinlik dağılımı (Reilinger ve diğ., 2000)

Deprem sonrası yer değiştirme fay düzlemi boyunca azalıp geniş alana ve derinlere yayılmıştır (Ergintav ve diğ., 2002; Bürgmann ve diğ., 2002; Çakmak ve diğ., 2004). Bu dönemdeki verilerden bölgedeki yer değiştirme alanının lineer bir davranış göstermediği görülmüş ve yapılan uygulamalar sonucunda “zaman bağımlı doğrusal olmayan deformasyonların ortamın reolojik özelliklerine bağlı olarak, basitleştirilmiş fonksiyonlar ile tanımlanmasını sağlayan” Relaxation (rahatlama) modelinin (Ek E) kullanılmasına karar verilmiştir. Ergintav ve diğ. (2002)’de, ilk 298 gün verisine uyan en uygun modelin, 57 günlük durulma zamanı ile eksponansiyel model olduğunu göstermiştir. Bu modelde temel olarak deformasyonların, zaman içinde azalan bir ivme ile orantılı olarak arttığı tanımlanmaktadır. Aynı çalışma, 2002 yılı verileri de dahil edilerek yapıldığı (866 gün için) zaman; deformasyonların zaman

bağlı davranışı için eksponansiyel durulma modelinin halen en iyi uyumu verdiği, bununla birlikte rahatlama zamanının 110 ± 3 gün gibi bir süreye eşit olduğu görülmektedir (Ergintav ve diğ., 2002). Farklı zaman süreleri için elde edilen bu iki farklı rahatlama zamanları, ortamdaki deformasyonun karmaşık olduğunu ve birden fazla deformasyon modunun söz konusu olabileceğini göstermektedir. Depremi izleyen ilk dönem için bulunan kısa durulma zamanının değişmesi ve uzun dönemde büyümesi, yüksek ivmeli olarak gözlenen deformasyonların; ivmelerinin azaldığı bilgisini vermektedir. Çakmak ve diğ., (2004)'de belirtildiği gibi 2002 yılına kadar gözlenen doğrusal olmayan davranışların ivmesi bölgeye ait genel bir hız alanı oluşturulmasını engellemektedir. Bu nedenle bu döneme ait genel hız alanı vermek yerine yapılan çalışmalarda zaman serileri analiz edilerek yorumlar yapılmıştır (Şekil 7.17).

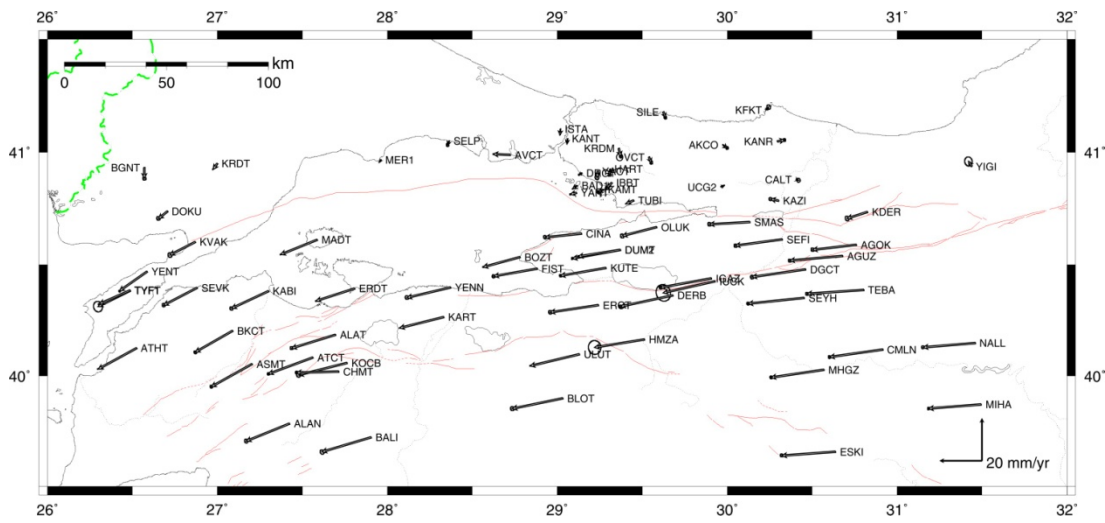


Şekil 7.17 : MAGNET istasyonlarına ait zaman serileri (deprem sonrası -2002 dönemi için). Yeşil kesikli çizgi deprem öncesi döneme ait uzun dönem hız değişimini, kırmızı çizgi veriye en uygun rahatlama zamanına ait model fonksiyonunun değişimini göstermektedir (Ergintav ve diğ., 2002).

7.3 2002 – 2009 Deprem Sonrası Dönem

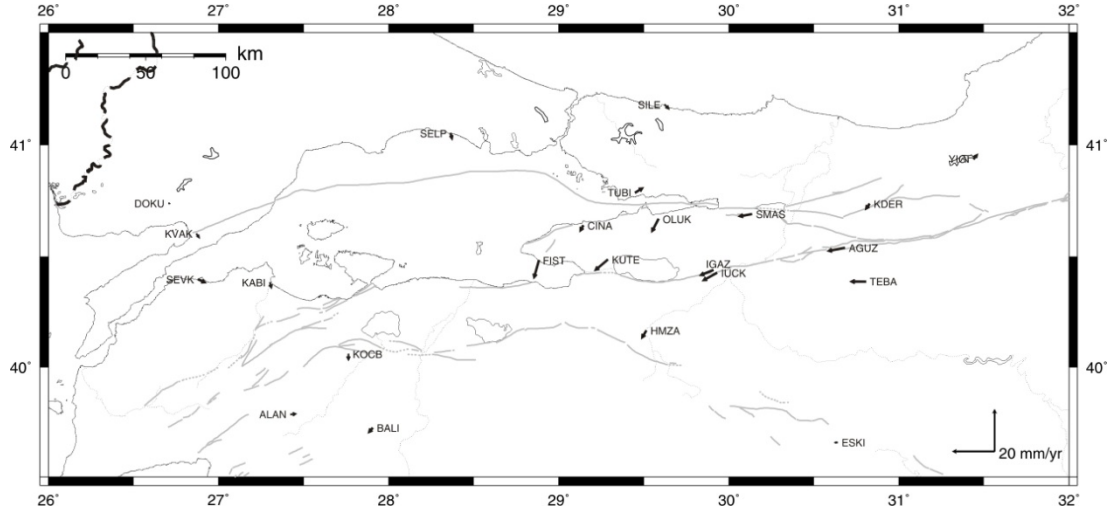
1999 depremleri sonrası yüksek ivmeli ve lineer olmayan davranışla devam eden yer değiştirme 2002 yılından itibaren deprem sonrası davranışı yansıtmakla birlikte yüksek ivmeli hareketini kaybetmeye başlamıştır. Bu sebeple 2002 yılından itibaren bölge için hız alanının belirlenebilmesi mümkün hale gelmiştir.

Bölüm 5.4’de anlatıldığı şekilde yapılan veri işlem sonrasında, bölgeye ait güncel hız alanı oluşturulmuştur (Şekil 7.18). İstasyonlara ait yatay hız değerleri Çizelge C.3’te verilmektedir.



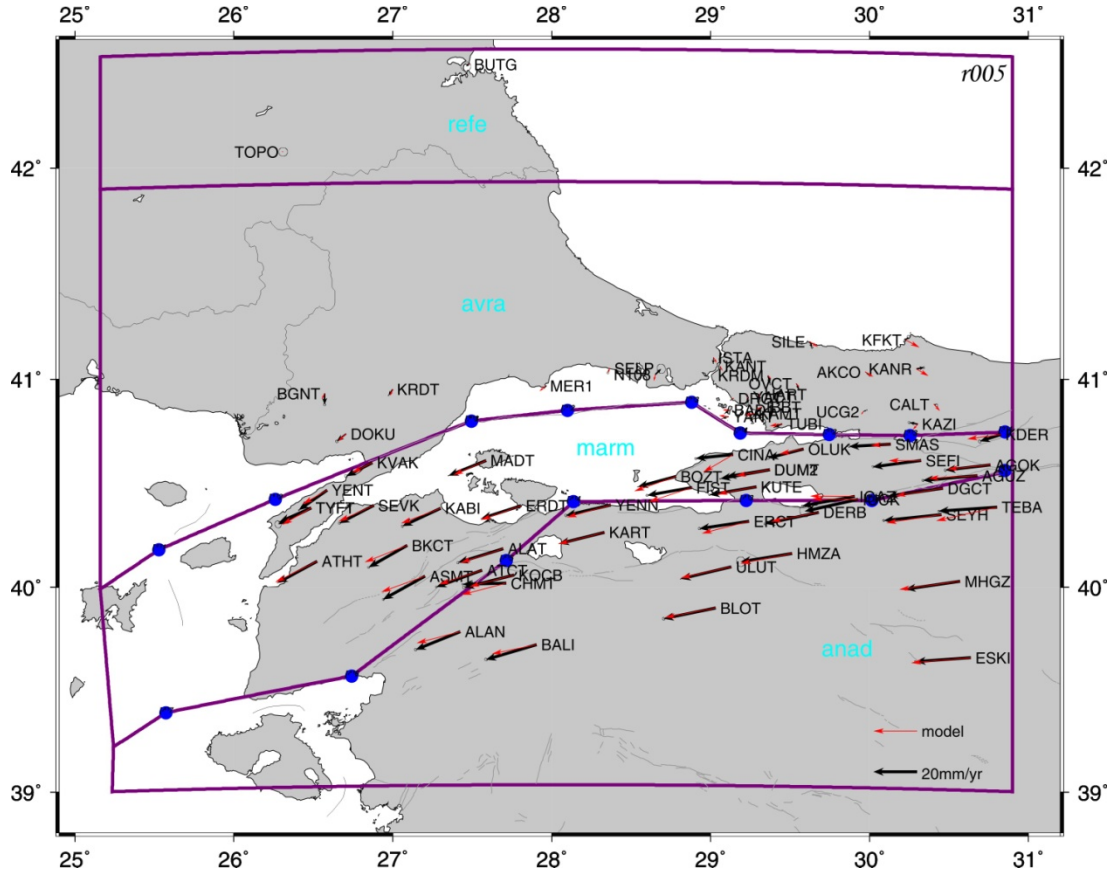
Şekil 7.18 : 2002-2009 yılları arası Avrasya levhasına göre hız alanı (Çizelge C.3). Kırmızı renkli çizgiler aktif fayları göstermektedir (Şaroğlu ve diğ., 1992).

Şekil 7.18 ve Çizelge C.3’de verilen hız alanı, 2002-2009 deprem sonrası dönem için modelleme çalışmasında kullanılacaktır. Deprem öncesi (Şekil 5.2; Çizelge B.1) ve deprem sonrası (Şekil 7.18; Çizelge C.3) kullanılacak hız alanları arasındaki fark ise Şekil 7.19’da verilmektedir. Deprem öncesi hız alanı Bölüm 5.6.1’de anlatıldığı gibi ITRF2000’e, 2002-2009 dönemi hız alanı ise Bölüm 5.6.2’de belirtildiği gibi ITRF2005’e göre referanslandırılmıştır. ITRF2000 ve ITRF2005 arasındaki dönüşüm parametreleri ITRF’in web sayfasında (Url-5) verilmekte, ve yatayda hız farkının 1 mm/yıl’dan fazla olmadığı görülmektedir. Şekil 7.19’da verilen deprem öncesi ve sonrası (2002-2009) dönem hızları arasındaki farklardan, bölgenin hala deprem öncesi durağan hızına dönmediği ve deprem sonrası deformasyonun devam ettiği görülmektedir.



Şekil 7.19 : Tez kapsamında deprem öncesi ve sonrası modelleme çalışmalarında kullanılan hız alanlarının farkı. Gri renkli çizgiler aktif fayları göstermektedir (Şaroğlu ve diğ., 1992).

2002-2009 dönemi için deprem öncesi modelleme çalışmasında kullanılan model geometrisi kullanılmıştır. Yalnız bu dönemde 1999 depremleri sonrasında yapılan GPS ölçmeleri 1999 deprem lokasyonları (Gölcük ve Düzce) civarında ve sonrasında Marmara'nın batısına doğru yoğunlaşmıştır. Bu nedenle Marmaranın doğusunda model kontrolünü sağlayacak yeterli veri toplanmamış ve 2002-2009 dönemine ait model doğuda 31° ile sınırlandırılmıştır (Şekil 7.20). Deprem öncesi “avra” olarak tanımlanan referans blokun (Şekil 7.1) yerine, deprem sonrası KAF'ın kuzey kolunun kuzeyinde kalan GPS noktalarının davranışlarını izleyebilmek için çalışma alanının en kuzeyinde yeni bir referans blokun tanımlanması gerekmiş ve bu yeni referans bloku “refe” olarak adlandırılmıştır (Şekil 7.20). Deprem sonrası model geometrisi için oluşturulan blok koordinatları Çizelge D.6'da verilmiştir. Bu dönem için hesaplanan hız alanı (Şekil 7.18; Çizelge C.3) ve Çizelge 7.6'da verilen blok koordinatları kullanılarak 2002-2009 dönemi, Bölüm 7.1'de anlatıldığı gibi modellenmiştir (Şekil 7.20). Amaç, bölgedeki hız değerlerinin deprem öncesi değerlere yakınsayıp yakınsamadığını ve deprem döngüsünün tamamlanıp tamamlanmadığını sorgulamaktır.

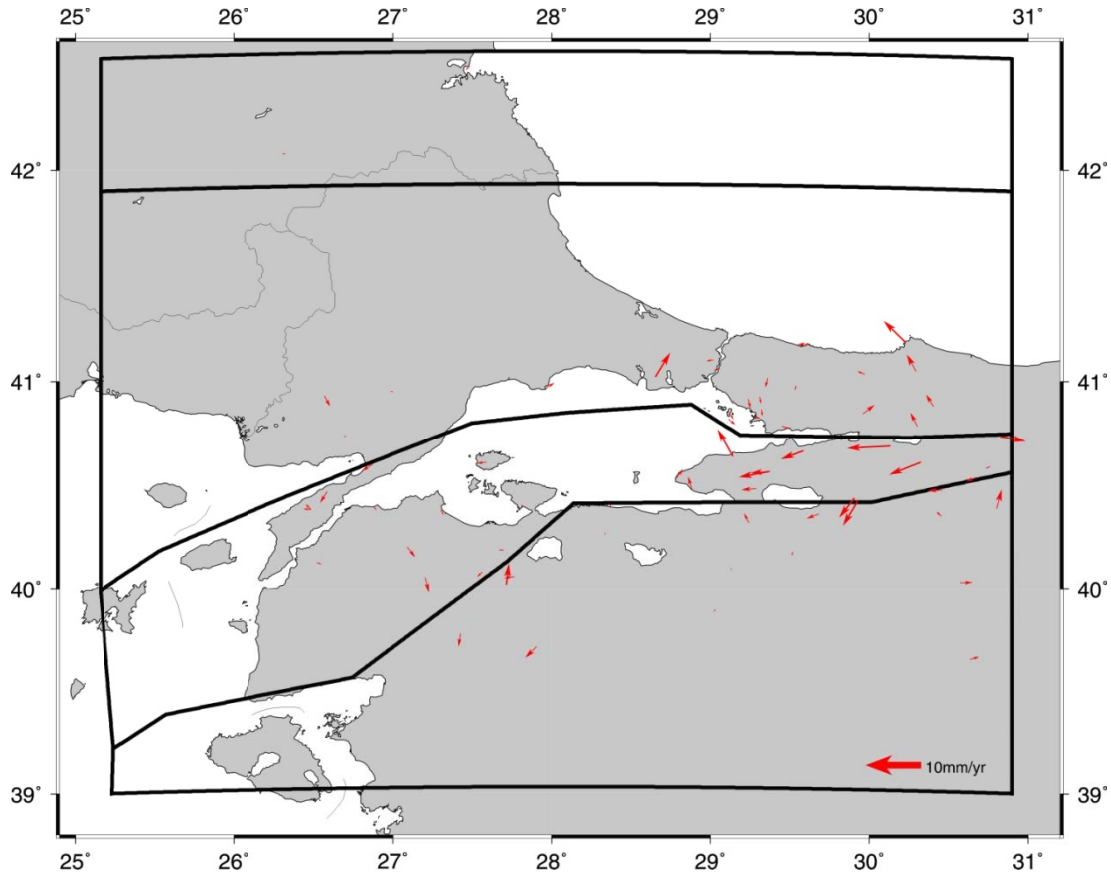


Şekil 7.20 : 2002-2009 dönemi Marmara Bölgesi için oluşturulan model. Siyah renkli vektörler GPS veri işlem sonrası Avrasya levhasına göre hızları (Çizelge B.1), kırmızı renkli vektörler model sonucu elde edilen hızları, mor renkli çizgiler blok sınırlarını, lacivert yuvarlaklar ise fay tanımlayan düğümleri ve siyah kesikli çizgiler fay üzerinde, fayı dik kesen profilleri göstermektedir. (avra = Avrasya bloku, anad = Anadolu bloku, marm = Marmara Bloku, refe = Referans Bloku)

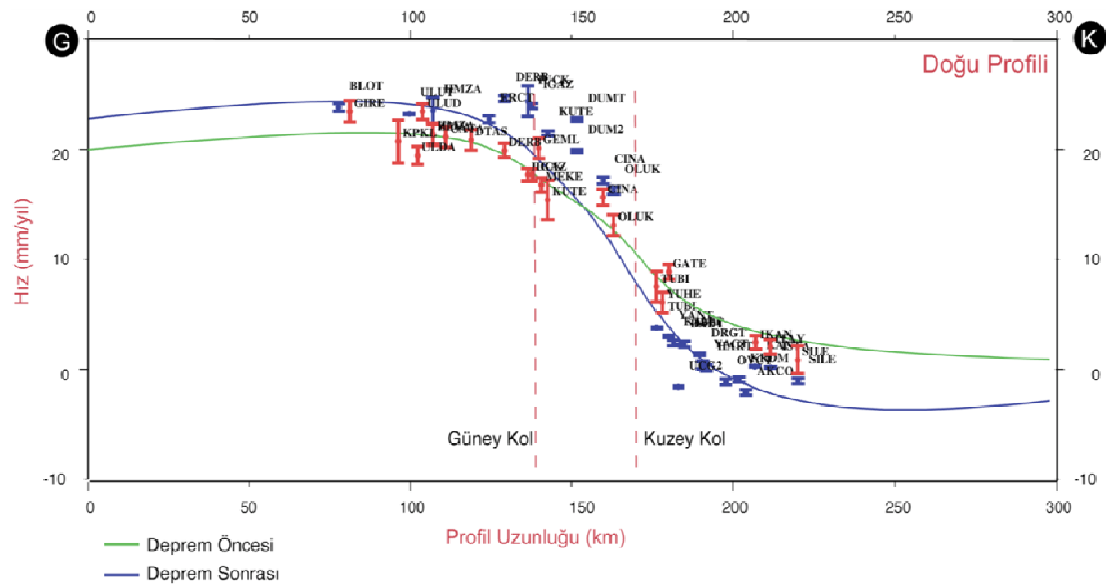
Modelin güney kısmında veri ve model uyumunun yüksek olduğu bununla birlikte özellikle İzmit ve Gemlik körfezleri arasında model ile kestirilen değerlerin düşük kaldığı görülmektedir (Şekil 7.20). Tezde benimsenen blok modelleme yaklaşımı, tüm deformasyonların elastik olduğunu öngörmektedir. Modelleme sonucu, bölgede gözlenen deformasyonların ne kadarının elastik deformasyonlara bağlı olduğunu ve artık hızların model uyumsuzluğunun (Şekil 7.21) yanısıra Bölüm 6 ve Ek E’de anlatılan elastik yaklaşımlar ile modellenme olanağı bulunmayan viskoelastik deformasyonlar (Ek E) ile ilişkili olduğunu göstermektedir. Yakın alandaki, elastik modelleme ile açıklanamayan yön değişiklikleri bölgedeki viskoelastik deformasyonların en belirgin bulgusudur. Genel olarak çalışma sahasının tümünde deprem öncesine göre deprem kırığından uzaklaştıkça azalan bir oranda tüm hızlarda belirgin bir artış vardır. Faya yakın alanda model değerleri baz alındığında deprem

öncesinin hali hazırda yaklaşık %40 fazlası değerler gözlenirken, uzak alanda bu değişim yaklaşık %3'lere düşmektedir. Bu 1999 deprem serisinin oluşturduğu deformasyon alanının tüm Marmara'ya yayıldığını (büyük olasılıkla çalışma alanının dışına da (Ergintav ve diğ., 2009)), doğal olarak daha derinleri de etkilediğini (kabuğun sünek kısmına ve üst manto) göstermektedir. 2002-2009 dönemine ait modelleme çalışması sonucu elde edilen wrms değeri, 1.60 mm olarak elde edilmiştir.

Deprem öncesi dönem için profiller (Şekil 7.1) boyunca elde edilen fay paralel hızlar (Şekil 7.4 ve Şekil 7.5), 2002-2009 döneminde özellikle doğu profili için tekrar hesaplanmış ve deprem öncesi elde edilen hızlarla karşılaştırılmıştır (Şekil 7.22). Deprem öncesi dönemde olduğu gibi maksimum yamulmanın kuzey kol üzerinde olduğu ve deprem öncesine göre hız alanını belirleyen eğrinin genliğinde bir artış olduğu yani deprem sonrası hızların deprem öncesi hızlardan fazla olduğu görülmektedir (Şekil 7.22). Yukarıda belirtildiği gibi güney ve kuzey kol arasında kalan kısımda model veri uyumsuzluğunun etkileri Şekil 7.22'de de belirgin şekilde izlenmektedir.



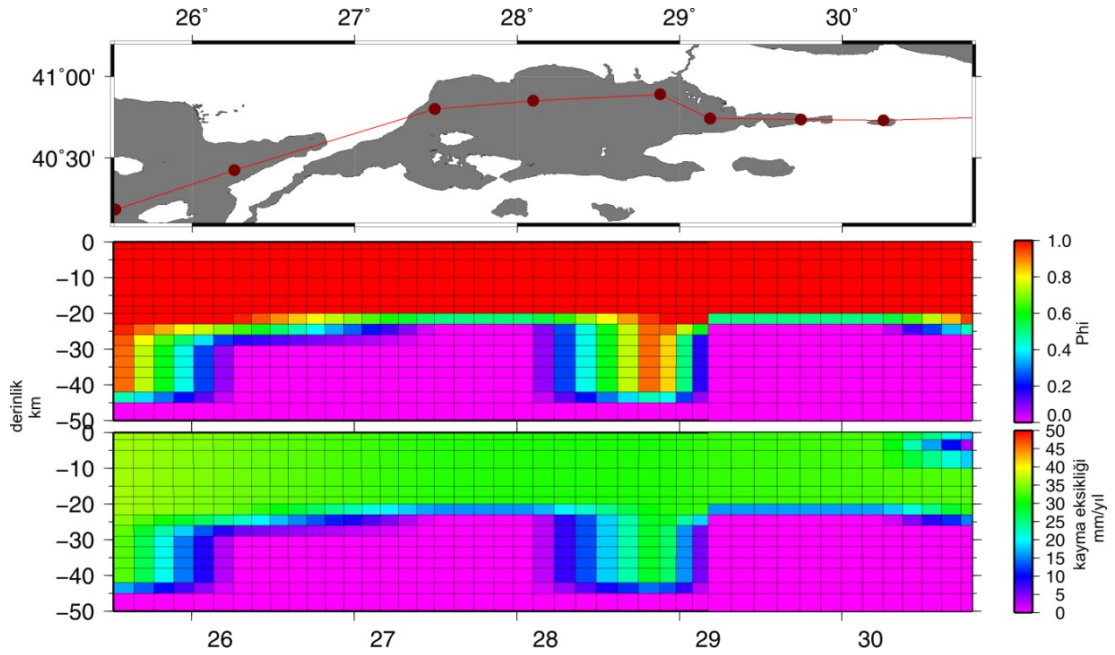
Şekil 7.21 : Deprem sonrası (2002-2009) döneme ait model sonucu elde edilen artık hızlar (model-veri farkı)



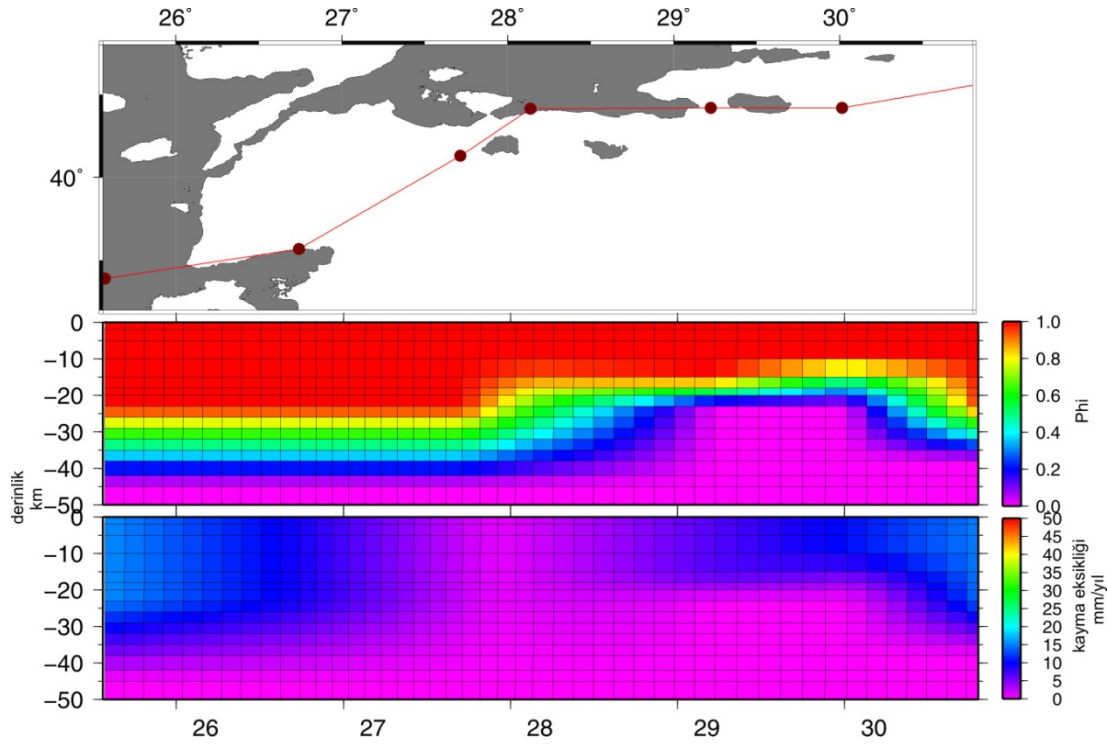
Şekil 7.22 : Şekil 7.1’de verilen Marmara’nın doğusunda bulunan profile ait deprem öncesi ve sonrası faya paralel hızlar. Kesik çizgili kırmızı doğrular KAF’ın kuzey ve güney kolunu, G ve K harfleri ise Kuzey ve Güney yönleri göstermektedir. Yeşil renkli eğri (nokta konumları kırmızı renk ile gösterilmiştir.) deprem öncesi hızları, mavi renkli eğri ise deprem sonrası hızları göstermektedir.

2002-2009 dönemi için elde edilen ve Şekil 7.20, Şekil 7.21 ve Şekil 7.22’de verilen şekillerle özetlenen bulgular uzaysal kontrolün iyi olduğunu, en büyük uyumsuzluğun kuzey kolun büküm kısmında meydana geldiğini ve modelin derinlik kontrolünün yetersiz kaldığını göstermektedir. Bunun ana nedeni büyük olasılıkla, derinlere yayılan deformasyonların elastik modellemeye yeterince cevap verememesidir (Savage, 1990; Ergintav, 2010). Bilindiği gibi bir boyutlu ortamlarda sıg bir viskoelastik deformasyona karşılık gelen elastik deformasyonu modelleyebilmek için en az 10 katı bir derinlik almak gerekmektedir (idealde sonsuz) (Savage, 1990).

2002-2009 dönemi phi ve kayma eksikliği değerlerinin derinlik ile ilişkisi Şekil 7.23 ve Şekil 7.24’de verilmektedir. KAF’ın kuzey kolu için elde edilen kilitlenme derinliği deprem öncesi modele göre daha derin hesaplanmıştır.

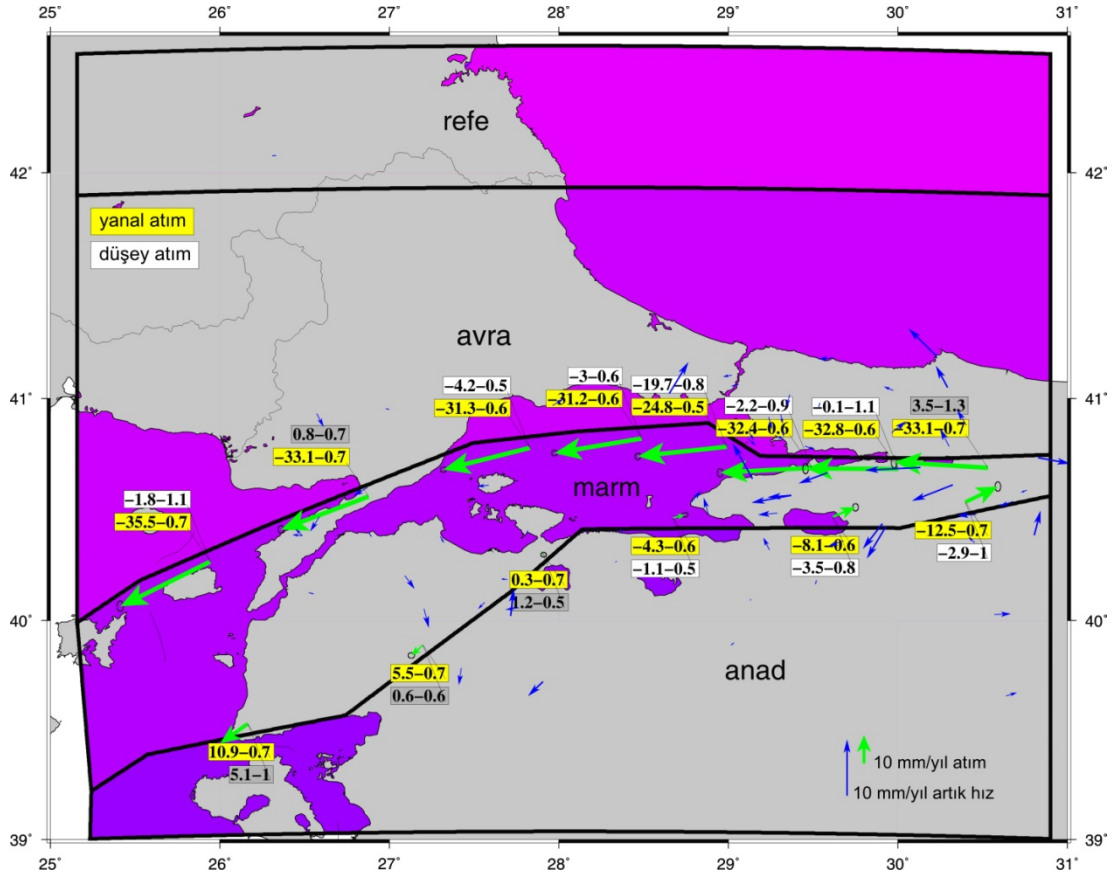


Şekil 7.23 : 2002-2009 dönemi için KAF’ın kuzey koluna ait phi ve kayma eksikliği derinlik ilişkisi. Harita, r005 modelinde kuzey kol ve düğümlerin yerlerini göstermektedir. Phi lejantı ile tanımlanan kesit phi-derinlik ilişkisini, kayma eksikliği lejantı ile tanımlanan kesit ise kayma eksikliği-derinlik ilişkisini vermektedir. Phi 0 ve 1 arasında değer almakta ve 1 fayın hareket edemediği, kilitli olduğu durumu, 0 ise serbest hareketin olduğu durumu ifade etmektedir. Kesitlerin sol tarafında ise derinlik bilgisi (km) gösterilmektedir.

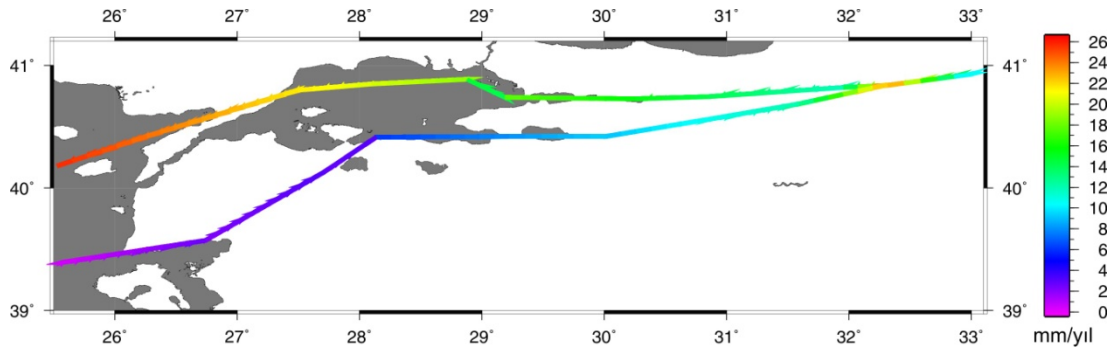


Şekil 7.24 : 2002-2009 dönemi için KAF'ın güney koluna ait phi ve kayma eksikliği derinlik ilişkisi. Harita, r005 modelinde kuzey kol ve düğümlerin yerlerini göstermektedir. Phi lejantı ile tanımlanan kesit phi-derinlik ilişkisini, kayma eksikliği lejantı ile tanımlanan kesit ise kayma eksikliği-derinlik ilişkisini vermektedir. Phi 0 ve 1 arasında değer almakta ve 1 fayın hareket edemediği, kilitli olduğu durumu, 0 ise serbest hareketin olduğu durumu ifade etmektedir. Kesitlerin sol tarafında ise derinlik bilgisi (km) gösterilmektedir.

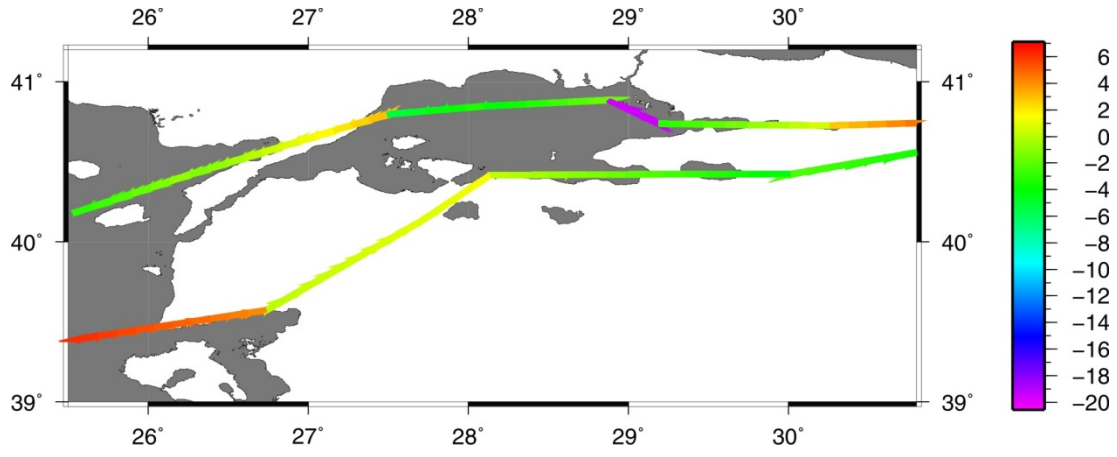
Deprem sonrası faylar boyunca elde edilen atım miktarları ise deprem öncesi değerlerden farklılık göstermektedir (Şekil 7.25). Deprem sonrası toplam atımın güney koldan karşılanan kısmı deprem öncesi döneme göre azalmış, kuzey koldan karşılanan kısım ise deprem öncesi döneme göre artmıştır (Şekil 7.25). Daha büyük değerlerin gözlenmesinin sebebi bu dönemde bölgedeki viskoelastik kökenli derindeki deformasyonların tüm hız alanını etkilemesidir. Döneme ait fay paralel ve fay normal hızlar da ayrıca Şekil 7.26 ve Şekil 7.27'de gösterilmektedir.



Şekil 7.25 : 2002-2009 dönemi model sonucu faylar boyunca elde edilen atım değerleri. Sarı dikdörtgenler, yanıl atım (- değerler, sağ yanıl atım); beyaz dikdörtgenler düşey atım (- değerler, açılma) değerlerini ifade etmektedir.



Şekil 7.26 : 2002-2009 dönemi model sonucu elde edilen fay paralel hızlar.



Şekil 7.27 : 2002-2009 dönemi model sonucu elde edilen fay normal hızlar (- değerler açılmayı, + değerler sıkışmayı ifade etmektedir.)

8. SONUÇ ve ÖNERİLER

Tez kapsamında, aynı model geometrisini esas alarak 1999 depremleri öncesi, anı ve sonrası bir bütün olarak ele alınmış, deprem döngüsünü tanımlayacak bütünlükte gözlenen deformasyonların jeodezik bakış açısı ile sınıflandırılması yapılmış, jeofizik modellemeler için gerekli altlıklar oluşturulmuştur. Elde edilen sonuçlar maddeler halinde aşağıda verilmiştir.

1- Tez kapsamında kullanılan ve toplanan veri açısından 1999 İzmit Depremi, dünyada deprem döngüsünün izlendiği ilk depremlerdendir. Döngünün izlenmesinde deprem sonrası oluşturulan ve sürekli geliştirilerek yenilenen veri toplama ve işlem stratejilerinin de büyük önemi bulunmaktadır.

2- 1999 depremleri öncesi bölgede toplanan 10 yıllık veri ile elde edilen hız alanının deprem öncesi dönemi yansıttığı varsayılarak ilk aşamada durağan deprem öncesi dönem ele alınmıştır. 1998 yılından itibaren tez yazarının da gerek GPS ağı kurma ve işletme, veri toplama ve veri işlem adımlarında görev aldığı 1988-1999 (1999 depremleri öncesi) yılları arasına ait farklı kurum ve kuruluşların veri toplamaya yönelik çalışmaları sonucu elde edilen tüm GPS verileri ITRF2000 datumunda ve Avrasya levhasına göre Bölüm 5.6.1’de anlatıldığı şekilde yeniden analiz edilmiş ve bölgeye ait hız alanı elde edilmiştir (Reilinger ve diğ., 2006; Çizelge B.1).

3- Modelleme yaklaşımı olarak Bölüm 6’da anlatılan blok modelleme benimsenmiş ve DEFNODE programı kullanılmıştır (McCaffrey, 1995). Elde edilen sonuçların Reilinger ve diğ. (2006), Le Pichon ve diğ. (2003) ve Meade ve diğ. (2002) gibi daha önce yapılan çalışmalardan belirgin farklılığı, güney kol geometrisi ve toplamda elde edilen atım değerlerinin düşüklüğü olarak özetlenebilir.

4- Deprem öncesi uzun dönem değişimleri yansıtan model geometrisi için en düşük χ_r^2 değeri baz alınarak (Çizelge 7.1), en uygun model r002 olarak saptanmıştır. Bu modelde, KAF’ın İstanbul’un güneyinden geçen kuzey kolunun yanısıra Marmara Denizinin güney kıyısına paralel olarak alınan bir de güney kol tanımlanmıştır. Fay olarak tanımlanan bu iki kol ile üç bloklu bir geometri oluşturulmuştur. Bunun yanısıra bu model geometrisi diğer model geometrileri ile de istatistiksel anlamda F-

test ile karşılaştırılmış ve elde edilen sonuçların kritik değerler içerisinde kaldığı görülmüştür.

5- Deprem öncesi dönem için elde edilen atım değerleri ile Reilinger ve diğ., (2006)'de verilen değerler arasında yaklaşık %20'lik bir fark görülmektedir. Güney kolun geometrisi için seçim kriteri mikrosismolojik deprem dağılımını, Ergintav ve diğ. (2007)'de verilen gravite çalışmalarını ve Şaroğlu ve diğ. (1992)'de yayınlanmış aktif fay haritasını esas almaktadır. Bununla birlikte farklı araştırmacılar tarafından yayınlanmış modeller de ele alınmış ve oluşturulan modellerle karşılaştırılmıştır.

6- Ek olarak, ilk defa bu çalışmada bölgeye ait blok sınırlarını oluşturan faylar boyunca derinlik boyutunda, kilitlenme oranının derinlikle değişimi de analiz edilmiştir. Çalışmanın özgün yanlarından birisi olarak kabul edilebilecek bu analizlerle, tanımlı her fay için derinlik testleri gerçekleştirilmiş ve kilitlenme dağılımının derinlik ve yatayda sorgulanması sağlanmıştır. Yamulmanın önemli bir kısmının kuzey kol tarafından karşılanması sebebi ile kuzey kol derinlik testinde üç parça halinde (29° - 33° boylamları arası doğu kısmı, marmara denizinin içinden geçen kısmı ve 25° - 27.5° boylamları arası batı kısmı) incelenmiştir (Şekil 7.11). Bu aşamada kuzey kolun batı ve doğu kısmı için fayın kilitli olduğu derinliğin 13-16 km arasında olduğu görülmüştür. Marmara Denizi içinde kalan kısım için eldeki verinin yetersiz kalması sebebi ile anlamlı sonuç üretilememiştir. Güney kolda ise kuzey kola nazaran kilitlenme derinliği daha sık olarak bulunmuştur. Güney kol üzerinde derinlik 7-13 km arasında kestirilmiştir.

7- Deprem öncesi gerçekleştirilen model sonuçları, fayların bilinen özellikleri ile model arasındaki uyumu göstermektedir. Genel olarak kayma değerlerinin dağılımı farklı araştırmacıların sonuçları ile hız farkının getirdiği ölçekleme dışında uyumlu gözükmemektedir. Bununla birlikte düşük kayma değerlerinin bölgedeki deprem tehlikesi hesaplamalarının yeniden ele alınmasının gerekliliğini de ortaya koymaktadır. Tezin bir diğer özgün noktası olarak, deprem öncesi çalışmalardan oluşturulan ve uzun dönem bölgeye ait kinematiği yansıtan model, depremden sonra bölgede kurulan yeni noktalara ait deprem öncesi değerlerin kestiriminde de kullanılmıştır.

8- Blok sınırlarının tanımında kullanılan verilerin blok içindeki dağılımı önem taşımaktadır. Oluşturulan blokların kontrolü için blok içinde homojen dağılmış ve

parametre sayısından fazla veriye ihtiyaç bulunmaktadır. Bu nedenle tez çalışması kapsamında, farklı blok özelliği göstermesine rağmen Bursa bloku veri yetersizliği sebebi ile farklı bir blok olarak modellemede gösterilememiştir. Bu bloku temsil edecek, yeni gözlem noktalarının oluşturulması ile Marmara Bölgesinin kinematığının daha iyi ortaya konacağı açıktır.

9- Deprem anında çalışan MAGNET istasyonları ve deprem öncesinde ve hemen sonrasında gerçekleştirilen GPS kampanyaları yardımı ile İzmit Depremi için deprem anında meydana gelen yer değiştirme alanı belirlenebilmiştir. Bu uygulamada, istasyonların deprem öncesi verilerine dayanarak hesaplanan konumları deprem anına ekstrapole edilerek, deprem anındaki konumları hesaplanmıştır. Aynı şekilde, deprem sonrası verilerle hesaplanan konumları yine geri yönlü olarak ekstrapole yöntemi ile deprem anındaki nokta konumlarına dönmüştür. Bu iki hesaplama sonrasında nokta koordinatlarında meydana gelen farklardan Şekil 7.16'da gösterilen deprem anındaki noktaların alanı elde edilmiştir. Bu çalışmanın detayları Reilinger ve diğ., (2000), Bürgmann ve diğ., (2002), Ergintav ve diğ., (2002), Feigl ve diğ., (2002), Çakmak ve diğ., (2004)'de farklı boyutları ile ele alınmış olduğundan tez kapsamında ana sonuçlar özetlenmiştir. Şekil 7.16'da görüldüğü gibi en büyük yer değiştirme miktarı fay zonu çevresinde görülmektedir. Faydan uzaklaştıkça ise yer değiştirme miktarlarındaki önemli derecede azalma dikkat çekmektedir. Fay düzlemi boyunca faya paralel davranış gösteren yer değiştirme yönleri elastik modele uyum sağlayacak şekilde kırığın sonlandığı kısımlarda belli açılarla fay düzleminde uzaklaşma eğilimi göstermektedirler.

10- Deprem sonrası 2002 yılına kadar olan ve yüksek hızlı ivmeli davranışlar gösteren gözlemlerde yer değiştirmenin fay düzlemi boyunca azalıp geniş alana ve derinlere yayıldığı görülmektedir (Ergintav ve diğ., 2002; Bürgmann ve diğ., 2002; Çakmak ve diğ., 2004). Bölgeye ait yer değiştirme alanının lineer bir davranış göstermediği görülmüş ve yapılan uygulamalar sonucunda Relaxation (rahatlama) modelin kullanılmasına karar verilmiştir. Ergintav ve diğ. (2002)'de, farklı zaman süreleri için eksponansiyel model ile elde edilen farklı rahatlama zamanları ortamdaki deformasyonun karmaşık olduğunu ve birden fazla deformasyon şeklinin söz konusu olabileceğini göstermektedir. Depremi izleyen ilk dönem için bulunan kısa rahatlama zamanının değişmesi ve uzun dönemde büyümesi, yüksek ivmeli olarak gözlenen deformasyonların; ivmelerinin azaldığı bilgisini vermektedir.

Çakmak ve diğ., (2004)'de gösterildiği gibi 2002 yılına kadar gözlenen doğrusal olmayan davranışların ivmesi bölgeye ait genel bir hız alanı oluşturulmasını engellemektedir. Bu nedenle bu döneme ait genel hız alanı vermek yerine sadece zaman serileri analiz edilerek yorum yapma olanağı vardır.

11- 1999 depremleri sonrası yüksek ivmeli ve lineer olmayan davranışla devam eden yer değiştirme 2002 yılından itibaren deprem sonrası davranışı içermekle birlikte yüksek ivmeli hareketini kaybetmeye başlamıştır (Ergintav ve diğ., 2002). Bu sebeple 2002 yılından itibaren bölge için uzun dönem davranışı temsil eden hız alanının belirlenebilmesi mümkün hale gelmiştir (Çakmak ve diğ., 2004). Güncel veri (Bölüm 5.5) ile bölgeye ait 2002-2009 dönemini yansıtan güncel hız alanı Bölüm 5.6.2'de belirtildiği şekilde oluşturulmuştur (Şekil 7.18; Çizelge C.3). Elde edilen bu hız alanı ile, deprem öncesi dönemin modellenmesinde kullanılan model geometrisi esas alınarak deprem sonrası dönem modellenmiş ve bölgedeki hız değerlerinin deprem öncesi değerlere yakınsayıp yakınsamadığı ve deprem döngüsünün kapanıp kapanmadığı sorgulanmıştır. Modelin güney kısmında veri ve model uyuşumun yüksek olduğu görülmektedir. Kullanılan model tüm deformasyonların elastik olduğunu öngörmektedir. Şekil 7.20 ve Şekil 7.21'den de görüldüğü gibi modelde sistematik farklılıklar izlenmektedir. Tez kapsamında kullanılan yaklaşım ile elde edilen sonuçlar, bölgede gözlenen deformasyonların, ne kadarının elastik deformasyonlara bağlı olduğunu ve artık hızların model uyumsuzluğunun (Şekil 7.21) yanısıra elastik yaklaşımlar ile modellenme olanağı bulunmayan viskoelastik deformasyonlar ile ilişkili olduğunu göstermektedir. Yakın alandaki elastik deformasyonları baz alan kinematik model ile açıklanamayan yön değişiklikleri bölgedeki viskoelastik deformasyonların en belirgin bulgusudur.

12- Genel olarak çalışma sahasının tümünde deprem öncesine göre deprem kırığından uzaklaştıkça azalan bir oranda tüm hızlarda belirgin bir artış vardır. Faya yakın alanda modelleme sonucu elde edilen artık değerler baz alındığında deprem öncesinin hali hazırda yaklaşık %40 fazlası değerler gözlenmektedir. Bu fark uzak alanda ise yaklaşık %3'lere düşmektedir. Bu tür bir karşılaştırma değerine, salt zaman serilerinin analizi sonucunda da ulaşılmıştır (Ergintav ve diğ., 2009). Bu 1999 deprem serisinin oluşturduğu deformasyon alanının tüm Marmara'ya yayıldığını (büyük olasılıkla tez çalışma alanı dışına da), doğal olarak daha derinleri de etkilediğini (kabuğun sünek kısmına ve üst manto) göstermektedir. Bilindiği gibi

deprem öncesi KAF'ın kuzey kolu bölgedeki hız değerlerinin %95'ini kapsamaktadır. Benzer bir analizi deprem sonrası güncel hız alanı için yapmak da mümkündür. Bununla birlikte bölgedeki viskoelastik kökenli derindeki deformasyonların tüm hız alanını etkilemesi ve genel olarak daha büyük değerlerin gözlenmesi nedeniyle bu tür bir analiz yapmaktan kaçınılmıştır.

13- Deprem öncesi dönem için kuzey kola ait phi-derinlik ilişkisinde (Şekil 7.7) 1999 İzmit depreminin meydana geldiği körfez civarında phi değerinin 20 km derinliğe kadar 1 olduğu (%100 kilitli durumu tanımlamaktadır), yani 20 km'ye kadar fayın rahat hareket edemediği görülmektedir.

Deprem sonrası yapılan benzer çalışmada ise kuzey kola ait phi-derinlik ilişkisinde (Şekil 7.24), 28.8-29° boylamları arasında phi, tüm kuzey kol için elde edilen derinliğin yaklaşık 2 katına kadar 1 değeri ile tanımlanmış, Büyüka'da'nın güneyinde maksimum kayma eksikliği değeri elde edilmiştir.

Elastik ve basit (maxell tipi) viskoelastik ortamlar arasında eşdeğerlik prensibi nedeni ile ince bir viskoelastik katmanın oluşturduğu deformasyona karşılık gelen elastik deformasyon, bu ince katmanın en az 10 katı kalınlığındaki bir elastik ortam ile oluşturulabilmektedir (Savage, 1990). Bu sebeple sonuçlar, bölgede elastik olmayan deprem sonrası deformasyon ile de açıklanabilir. Bununla birlikte deprem anının ilk aşamalarında deformasyonların kırılğan üst kabukta olduğu ve zaman içinde sünek alt kabuğa ve astenosfere yayıldığı gözönüne alındığında (Ergintav ve diğ., 2009; Hearn ve diğ., 2009; Ergintav, 2010), viskoelastik deformasyonların uzun dönem içinde meydana geleceği ve yakın dönem içindeki deformasyonların elastik olarak yorumlanması gerektiği açıktır.

14- Depremden günümüze deformasyonların izlenmesinde zaman boyutunun etkilerini, deprem anında ve sonrasında deformasyon davranışındaki farklılıkların deprem riski taşıyan ülkemiz açısından TUSAGA AKTİF gibi ağların sağlıklı işletilmesinin ne derece önemli olduğunu göstermektedir. Bunun yanı sıra, depremleri anlamaya yönelik oluşturulan MAGNET gibi salt jeodinamik gözlemlere yoğunlaşan ağların da deprem kaynaklı deformasyonların tanımında önemli rol oynadığı görülmektedir.

Çalışma kapsamında elde edilen sonuçlardan yola çıkarak yapılabilecek öneriler ise aşağıdaki şekilde sıralanabilir.

1- Tez kapsamında yapılan çalışmalar ve elde edilen sonuçlar ışığında, bölgenin sürekli gözlenmeye devam edilmesinin, faydan uzak alanlara yayılan deformasyonların etkin modellenenebilmesi, ana fay kolları dışında diğer fay kolları üzerindeki olası gerilme artışların da saptanması için çalışma sahasının genişletilmesinin gerekliliğinin bölgedeki deprem tehlikesi açısından öneminin büyük olduğu görülmektedir.

2- Tez kapsamında gerçekleştirilen modelleme çalışmaları ile bölgedeki değişimlerin elastik modellerle belli yaklaşıklıkla gözlenmesi mümkündür (Bölüm 7.3). Bununla birlikte deprem sonrası modelleme çalışmalarında viskoelastik modellemenin de daha etkin olacağı açıktır (Şekil 7.21 ve Şekil 7.22). Tez kapsamında viskoelastik modelleme çalışmalarına girilmemesinin sebebi, tekil çözüm üretebilmek için deprem sonrası dönem için bir on yıllık verinin yeterli olmaması yani deprem sonrası yeterli zamanın halen geçmemiş olmasıdır. Ayrıca, halihazırda bilim dünyası tarafından kabul edilmiş elastik modellemede olduğu gibi yalın bir viskoelastik modelleme yaklaşımı söz konusu değildir. Bunun en büyük nedeni, İzmit depremi gibi büyük manyütüdlü depremler sonrası var olan gözlem teknikleri (GPS gibi) ile örneklenen zaman bağımlı deformasyonların zaman boyutunun, halen zaman içindeki davranışı gözlemek için yeterli olmayışıdır. Diğer bir deyişle, dünyanın farklı yerlerinden alınan tüm örneklerle (ki İzmit depremi bu açıdan öncesi ve sonrası gözlem aralığı ile halihazırda 1-2 örnekten biri durumundadır) ait oluşturulan farklı viskoelastik modellerin farkının sorgulanabilmesi için çok uzun zaman dönemine (50-100 yıl gibi) gereksinim duyulmaktadır.

3- Blok modelleme yaklaşımını benimseyen fakat zaman serileri ile deprem anı ve sonrası dönemi zamana bağlı olarak modelleyebilen ve bir uygulaması McCaffrey (2009)'da verilen kod kullanılarak 1998-2009 döneminin yeniden ele alınması anlamlı olacaktır. Ayrıca sonlu elemanlar veya analitik yaklaşımlar benimsenerek İzmit depremi için viskoelastik modellemeye yönelik temel çalışmaların da gerçekleştirilmesi gerekmektedir.

4- Bölge ile yapılacak farklı modelleme çalışmalarında gerek deprem öncesi gerekse deprem sonrası dönemler için en son yayınlanmış hız değerlerinin kullanılması

önemlidir. Bölge için tez kapsamında oluşturulan hız alanı (2002-2009 dönemi için) en güncel hız alanı özelliğini taşımaktadır.

5- Tez çalışması kapsamında verinin uygun olmaması sebebi ile tanımlanamayan blok/bloklar için rotasyon ve derinlik boyutunu kontrol edebilmeye yönelik yeni veri toplanması uygun olacaktır. Eksik veri nedeni ile sağlıklı modellenemeyen Bursa bloku, bu konuya güzel bir örnektir. Ayrıca Çanakkale civarında, Prof. Dr. Orhan Baykal ve Prof. Dr. Ergin Tarı eş yürütücülüğünde İTÜ'nün, TÜBİTAK tarafından desteklenen projesi kapsamında üretilen hız alanının mevcut veri ile birleştirilerek modelin iyileştirilmesi önem taşımaktadır (Baykal ve Tarı, 2007).

6- Eldeki veri seti, uygun ve farklı yaklaşımların benimsenmesi ile KAF ve bölgenin depremselliği hakkında sürekli yeni ve özgün değerler üretmeye uygundur. Tez çalışması sonrasında, yeni veri setleri (GPS'in yanısıra gravite, InSAR gibi) ile bu konudaki modellerin geliştirilmesine devam edilmesi önem taşımaktadır.

KAYNAKLAR

- Aktuğ, B. ve Çelik, R. N., 2008. Jeodezik ölçülerle deprem kaynak parametrelerinin belirlenmesi, *İTÜ Dergisi/d mühendislik*, **7**, 1, 89-102.
- Arnadottir, T. and Segall, P., 1994. The 1989 Loma Prieta earthquake imaged from inversion of geodetic data, *Journal of Geophysical Research*, **99**, B11, 21835-21855.
- Barka, A., 1992. The North Anatolian Fault Zone, *Annales Tectonicae*, **6**, 164-195.
- Barka, A., 1999. The 17 August 1999 Izmit Earthquake, *Science*, **285**, 5435, 1858-1859.
- Barka, A., Akyüz H. S., Altunel, E., Sunal, G., Çakır, Z., Dikbaş, A., Yerli B., Armijo, R., Meyer, B., de Chabaliier, J. B., Rockwell, T., Dolan, J. R., Hartleb, R., Dawson, T., Christofferson, S., Tucker, A., Fumal, T., Langridge, R., Stenner, H., Lettis, W., Bachhuber, J., Page, W., 2002. The Surface Rupture and Slip Distribution of the 17 August 1999 İzmit Earthquake ($M 7.4$), North Anatolian Fault, *Bulletin of the Seismological Society of America*, **92**, 1, 43-60.
- Baykal, O. ve Tarı, E., 2007. Kuzey Anadolu Fayının Batı Marmara bükümünde deformasyonların belirlenmesi ve deprem riskinin tanımlanması, **103Y033 TÜBİTAK Proje Raporu**.
- Bock, Y., 1991. Continuous Monitoring of Crustal Deformation, *GPS World*, 40-47.
- Bürgmann, R., Ergintav, S., Segall, P., Hearn, E. H., McClusky, S., Reilinger, R. E., Woith, H., Zschau, J., 2002. Time-Dependent Distributed Afterslip on and Deep below the İzmit Earthquake Rupture. *Bulletin of the Seismological Society of America*, **92**, 1, 126-137.
- Campbell, J. ve Nothnagel, A., 2010. Intra-plate deformation in west-central Europe, *Journal of Geodynamics*, **49**, 130-140, doi: 10.1016/j.jog.2009.10.004.
- Cheng, L-W., Lee, J-C., Hu, J-C., Chen, H-Y., 2009. Coesismic and postseismic slip distribution of the 2003 $M_w=6.5$ Chengkung earthquake in eastern Taiwan: Elastic modeling from inversion of GPS data, *Tectonophysics*, **466**, 335-343.
- Chlieh, M., Chabaliier, J-B.d., Ruegg, J. C., Armijo, R., Dmowska, R., Campos, J. and Feigl, K., 2004. Crustal deformation and fault slip during the seismic cycle in the North Chile subdoction zone, from GPS and InSAR observations, *Geophysical Journal International*, **158**, 695-711.
- Çakır, Z., Chabaliier, J-B.d., Armijo, R., Meyer, B., Barka, A., Peltzer, G., 2003. Coseismic and early post-seismic slip associated with the 1999 İzmit earthquake (Turkey), from SAR interferometry and tectonic field observations, *Geophysical Journal International*, **155**, 1, 93-110.

- Çakır, Z.,** 2010. Türkiye Diri Fayları Boyunca Meydana Gelen Kabuk Deformasyonunun Yapay Açıklık Radar İnterferometrisi (InSAR) Yöntemiyle İncelenmesi. **107Y281 TÜBİTAK Proje Raporu.**
- Çakmak, R.,** 2001. Marmara Bölgesinde Kabuk Deformasyonlarının GPS Yardımıyla İzlenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Çakmak, R., Ergintav, S., Reilinger, R., McClusky, S., Hearn, E., Meade, B., Lenk, O., Özener, H.,** 2004. Jeodezik Yöntemlerle Marmara Bölgesinde Deprem Döngüsünün izlenmesi, *Aktif Tektonik Araştırma Grubu (ATAG) 8. Toplantısı*, Fırat Üniversitesi, Elazığ, 22-24 Eylül.
- Denli, H.H.,** 2004. Crustal Deformation Analysis in the Marmara Sea Region, *Journal of Surveying Engineering*, **130**, 4, 151-155.
- Doğan, U., Ergintav, S., Demirel, H., Çakmak, R., Özener, H.,** 2003. Estimation of the Time-Dependent Crustal Movements of the İzmit Earthquake, *Journal of Geodynamics*, **36**, 615-632.
- Ergintav, S., Bürgmann, R., McClusky, S., Çakmak, R., Reilinger, R. E., Lenk, O., Barka, A., Özener, H.,** 2002. Postseismic Deformation near the İzmit Earthquake (17 August 1999, M 7.5) Rupture Zone, *Bulletin of the Seismological Society of America*, **92**, 1, 194-207.
- Ergintav, S., Doğan, U., Gerstenecker, C., Çakmak, R., Belgen, A., Demirel, H., Aydın, C. ve Reilinger, R.,** 2007. A snapshot (2003-2005) of the 3D postseismic deformation for the 1999, Mw= 7.4 İzmit earthquake in the Marmara Region, Turkey, by first results of joint gravity and GPS monitoring, *Journal of Geodynamics*, **44**, 1-18.
- Ergintav, S., McClusky, S., Hearn, E. H., Reilinger, R. E., Çakmak, R., Herring, T., Ozener, H., Lenk, O., and Tari, E.,** 2009. Seven years of postseismic deformation following the 1999, M=7.4 and M=7.2, İzmit-Düzce, Turkey earthquake sequence, *Journal of Geophysical Research*, **114**, B07403, doi:10.1029/2008JB006021.
- Ergintav, S.,** 2010. Kişisel görüşme.
- Estey, L. H., ve Meertens, C. M.,** 1999. TEQC: The Multi-Purpose Toolkit for GPS/GLONASS Data, L. H. Estey and C. M. Meertens, *GPS Solutions*, **3**, 1, 42-49.
- Feigl, K. L.,** 2002. Estimating Earthquake Source Parameters from Geodetic Measuremets, *International Handbook of Earthquake and Engineering Seismology*, **81A**, Chapter 37.
- Feigl, K. L., Sarti, F., Vadon, H., McClusky, S., Ergintav, S., Durand, P., Bürgman, R., Rigo, A., Massonnet, D., Reilinger R. E.,** 2002. Estimating Slip Distribution for the İzmit mainshock from coseismic GPS, ERS-1, RADARSAT, and SPOT measurements, *Bulletin of the Seismological Society of America*, **92**,1, 138-160.
- Feigl, K. L., and Thatcher W.,** 2006. Geodetic observations of post-seismic transients in the context of the earthquake deformation cycle, *Comptes Rendus - Geoscience*, **338**, 1012 - 1028.
- Forssell, B.,** 1991. *Radionavigation Systems*, Prentice Hall. ISBN 0-13-751058-6.

- Gahalaut, V. K., Nagarajan, B., Catherine, J. K., Kumar, S.,** 2006. Constraints on 2004 Sumatra-Andaman earthquake rupture from GPS measurements in Andaman-Nicobar Islands, *Earth and Planetary Science Letters*, **242**, 365-374.
- Galgana, G., Hamburger, M., McCaffrey, R., Corpuz, E., and Chen, Q.,** 2007. Crustal deformation in Luzon Island, Philippines using terrain models, geodetic observations and focal mechanisms, *Tectonophysics*, **432**, 63-87.
- Gurtner, W.,** 2000. RINEX: The Receiver Independent Exchange Format Version 2.10, Astronomical Institute University of Berne, Berne.
- Hager, B. H., King R. W. and Murray M. H.,** 1991. Measurement of Crustal Deformation Using The Global Positioning System, *Earth Planet Science*, 19:351-82
- Hatanaka, Y.,** 1998. Compact RINEX Format, Geographical Survey Institute, Ibaraki
- Hearn, E. H.,** 2003. What can GPS data tell us about the dynamics of post-seismic deformation, *Geophysical Journal International*, **155**, 753-777.
- Hearn, E. H., McClusky, S., Ergintav, S., and Reilinger, R. E.,** 2009. Izmit earthquake postseismic deformation and dynamics of the North Anatolian Fault Zone, *Journal of Geophysical Research*, doi:10.1029/2008JB006026.
- Herring, T. A.,** 1999. Geodetic Applications of GPS, *IEEE*, **87**, 1.
- Herring, T. A., King, R. W., McClusky, S.,** 2009a. GAMIT Reference Manual, Massachusetts Institute of Technology.
- Herring, T. A., King, R. W., McClusky, S.,** 2009b. Globk Reference Manual, Global Kalman filter VLBI and GPS analysis program, Massachusetts Institute of Technology.
- Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H. and Collins, J.,** 1992. *Global Positioning System Theory and Practice*, Springer, New York.
- İnan, S., Ergintav, S., Saatçılar, R., Tüzel, B., İravul, Y.,** 2007. Turkey makes major investment in earthquake research, *EOS, American Geophysical Union*, **88**, 34, 333-334.
- Jolivet, R., Cattin, R., Chamot-Rooke, N., Lasserre, C., and Peltzer, G.,** 2008. Thin-plate modeling of interseismic deformation and asymmetry across the Altyn Tagh fault zone, *Geophysical Research Letters*, **35**, L02309, doi: 10.1029/2007GL031511.
- Jónsson, S., Segall, P., Pedersen, R., ve Björnsson, G.,** 2003. Post-earthquake ground movements correlated to pore-pressure transients, *Nature*, **424**, 179-183.
- Kahle, H., Cocard, M., Peter, Y., Geiger, A., Reilinger, R. E., McClusky, S., King, R. W., Barka, A., Geis, G.,** 1999. The GPS Strain Rate Field in the Aegean Sea and Western Anatolia, *Geophysical Research Letter*, **26**, 16, 2513-2516.

- Kahveci, M.**, 1993. Ortometrik Yüksekliklerin Belirlenmesinde Global Konumlama (GPS) Sistemi, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kanamori, H.**, 1994. Mechanics of Earthquakes, *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, **22**, 207-237
- Kasahara, K.**, 1981. *Eartquake Mechanics*, Cambridge.
- Ketin, İ.**, 1983. *Türkiye Jeolojisine Genel Bakış*, İstanbul Teknik Üniversitesi Vakfı, Kitap Yayın No: 32, İstanbul.
- Kınık, İ.**, 1999. GPS Ölçme ve Değerlendirmelerinde Hata Kaynakları Üzerine Bir İnceleme, *Doktora Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- King, R. W. ve Bock, Y.**, 2000. Documentation for the GAMIT GPS Analysis Software, MIT, Cambridge.
- Larson, K. M., Freymueller, J. T., Philipson, S.**, 1997. Global Plate velocities from the Global Positioning System, *Journal of Geophysical Research*, **102**, 9961-9982.
- Leick, A.**, 1995. *GPS Satellite Surveying*, Wiley-Interscience, New York.
- Le Pichon, X., Sengor, A.M.C., Demirbag E., Rangin, C., Imren, C., Armijo, R., Gorur, N., Cagatay, N., Mercier de Lepinay, B., Meyer, B., Saatçılar, R., Tok, B.**, 2001. The active main Marmara fault, *Earth and Planetary Science Letters*, **192**, 595-616.
- Le Pichon, X., Chamot-Rooke, N., Rangin, C., Şengör, A. M. C.**, 2003. The North Anatolian Fault in the sea of Marmara, *Journal of Geophysical Research*, **108**, 2170-2179.
- Letellier, T.**, 2004. Etude des ondes de marée sur les plateaux continentaux, *Doktora Tezi*, Toulouse Üniversitesi, Toulouse.
- Manaker, D. M., Calais, E., Freed, A. M., Ali, S. T., Przybylski, P., Mattioli, G., Jansma, P., Pr'epetit, C., and de Chabaliar, J. B.**, 2008. Interseismic Plate coupling and strain partitioning in the Northeastern Caribbean, *Geophysical Journal International*, **174**, 889–903, doi: 10.1111/j.1365-246X.2008.03819.x.
- Marone, C., Scholtz, C.H., Bilham, R.**, 1991. On the mechanics of earthquake afterslip, *Journal of Geophysical Research*, **96** (B5), 8441-8452.
- McCaffrey, R.**, 1995. DEF-NODE User's Guide. Rensselaer Polytechnic Institute, Troy.
- McCaffrey, R., Long, M. D., Goldfinger, C., Zwick, P., Nabelek, J., and Smith, C.**, 2000. Rotation and plate locking at the southern Cascadia subduction zone, *Geophysical Research Letters*, **27**, 3117-3120.
- McCaffrey, R.**, 2002. Crustal block rotations and plate coupling, in Plate Boundary Zones, Geodynamics Series 30, S. Stein and J. Freymueller, editors, 101-122, AGU.

- McCaffrey, R.**, 2009. Time-dependent inversion of three-component continuous GPS for steady and transient sources in northern Cascadia, *Geophysical Research Letters*, **36**, L07304, doi: 10.1029/2008GL036784.
- McCarthy, D. D. and Petit, G.**, 2004. IERS Conventions (2003), IERS Technical Note 32, Verlag des Bundesamts für Kartographie und Geodäsie, Frankfurt.
- McClusky, S., Balassanian, S., Barka, A., Demir, C., Ergintav, S., Georgiev, I., Gürkan, O., Hamburger, M., Hurst, K., Kahle, H., Kastens K., Kekelidze, G., King, R., Kotzev, V., Lenk, O., Mahmoud, S., Mishin, A., Nadariya, M., Ouzounis, A., Paradissis D., Peter, Y., Prilepini M., Reilinger, R., Sanli, İ., Seeger, H., Tealeb, A., Toksöz, M. N., and Veis, G.**, 2000. Global Positioning System constraints on plate kinematics and dynamics in the eastern Mediterranean and Caucasus, *Journal of Geophysical Research*, **105**, 5695-5719.
- Meade, B., Hager, B., McClusky, S., Reilinger, R. E., Ergintav, S., Lenk, O., Barka, A. and Ozener, H.**, 2002. Estimates of seismic potential in the Marmara Sea region from block models of secular deformation constrained by GPS measurements, *Bulletin of the Seismological Society of America*, **92**, 208-215.
- Meade, B., and Loveless, J.P.**, 2009. Block Modeling with Connected Fault-Network Geometries and a Linear Elastic Coupling Estimator in Spherical Coordinates, *Bulletin of the Seismological Society of America*, **99**, 6, 3124-3139, doi: 10.1785/0120090088.
- Okada, Y.**, 1985. Surface Deformation Due to Shear and Tensile Faults in a Half-Space, *Bulletin of the Seismological Society of America*, **75**, 1135-1154.
- Okada, Y.**, 1992. Internal deformation due to shear and tensile faults in a half-space, *Bulletin of the Seismological Society of America*, **82**, 1018-1040.
- Oral, M. B.**, 1994. Global Positioning System (GPS) Measurements in Turkey (1988-1992): Kinematics of the Africa-Arabia-Eurasia Plate Collision Zone, *Doctor of Philosophy in Geophysics*, MIT, Cambridge.
- Owen, S., Anderson, G., Agnew, D. C., Johnson, H., Hurst, K., Reilinger, R., Shen, Z.-K., Svarc, J., and Baker, T.**, 2002. Early Postseismic Deformation from the 16 October 1999 M_w 7.1 Hector Mine, California, Earthquake as Measured by Survey-Mode GPS, *Bulletin of the Seismological Society of America*, **92**, 4, 1423-1432.
- Parkinson, B. W., Spilker, J. J., Axelrad, P., Enge, P.**, 1996. *Global Positioning System: Theory and Applications*. Washington, DC.
- Pedersen, R. Jónsson, S., Árnadóttir, Th., Sigmundsson, F., and Feigl, K. L.**, 2003. Fault slip distribution of two June 2000 M_w 6.5 earthquakes in South Iceland estimated from joint inversion of InSAR and GPS measurements, *Earth and Planetary Science Letters*, **213**, 487-502.

- Press, W. H., Flannery, B. P., Teukolsky, S. A., Vetterling, W. T., 1989.** *Numerical Recipes*, Cambridge Univ. Press, Cambridge.
- Ranalli, G., 1987.** *Rheology of the World*, Allen & Unwin Inc., Winchester, Massachusetts.
- Reid, H.F., 1910.** The Mechanics of the Earthquake, The California Earthquake of April 18, 1906, Report of the State Investigation Commission, Vol.2, Carnegie Institution of Washington, Washington, D.C.
- Reilinger, R. E., Ergintav, S., Bürgmann, R., McClusky, S., Lenk, O., Barka, A. Gürkan, O., Hearn, L., Feigl, K. L., Çakmak, R., Aktuğ, B., Özener, H., Toksöz, M. N., 2000.** Coseismic and Postseismic Fault Slip for The 17 August 1999, M = 7.5, İzmit, Turkey Earthquake, *Science*, **289**, 1519-1524.
- Reilinger, R., McClusky, S., Vernant, P., Lawrence, S., Ergintav, S., Çakmak, R., Özener, H., 2006.** GPS constraints on continental deformation in the Africa-Arabia-Eurasia continental collision zone and implications for the dynamics of plate interactions. *Journal of Geophysical Research*, **111**, B05411, doi:10.1029/2005JB004051.
- Ruegg, J. C., Rudloff, A., Vigny, C., Madariaga, R., Chabalier, J.B-de., Campos, J., Kausel, E., Barrientos, S., Dimitrov, D., 2009.** Interseismic strain accumulation measured by GPS in the seismic gap between Constitucion and Concepcion in Chile, *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, **175**, 78-85.
- Savage, J. C., and Burford, R. O., 1973.** Geodetic determination of relative plate motion in central California, *Journal of Geophysical Research*, **78**, 5, 832-845.
- Savage, J. C., 1990.** Equivalent Strike-Slip Earthquake Cycles in Half-Space and Lithosphere-Asthenosphere Earth Models, *Journal of Geophysical Research*, **95**, B4, 4873-4879.
- Savage, J. C., and Svarc, J. L., 1997.** Postseismic deformation associated with the 1992 $M_w=7.3$ Landers earthquake, southern California, *Journal of Geophysical Research*, **102**, 7565-7577.
- Schindler, C. et al., 1993.** The Marmara polyproject: tectonics and recent crustal movements revealed by space-geodesy and their interaction with the circulation of groundwater, heat flow and seismicity in northwestern Turkey, *Terra Nova*, **5**, 164-173.
- Seeber, G., 1993.** *Satellite Geodesy: Foundations, methods and applications*, Walter de Gruyter, Berlin.
- Segall, P. and Davis J. L., 1997.** GPS Applications for Geodynamics and Earthquake Studies, *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, **25**, 2, 301-336.
- Shen, Z. K., Jackson, D. D., Feng, Y., Cline, M., Kim, M., Fang, P., Bock, Y., 1994.** Postseismic deformation following the Landers earth-quake, California, 28 June 1992, *Bulletin of the Seismological Society of America*, **84**, 780-791.

- Spilker, J. J.**, 1980. *Signal Structure and performance characteristics, Global Positioning System*, I:29-54, The Institute of Navigation, Alexandria, VA.
- Steblov, G. M., Kogan, M. G., King, R. W., Scholz, C. H., Bürgmann, R., Frolov, D. I.**, 2003. Imprint of the North American plate in Siberia revealed by GPS, *Geophysical Research Letters*, **30**, 18, 1924, doi: 10.1029/2003GL017805.
- Straub, C., and Kahle, H.-G.**, 1995. Active crustal deformation in the Marmara Sea region, NW Anatolia, inferred from GPS measurements, *Geophysical Research Letters*, **22**, 18, 2533-2536.
- Straub, C., Kahle, H.-G., Schindler, C.**, 1997. GPS and geological estimates of the tectonic activity in the Marmara Sea region, NW Anatolia, *Journal of Geophysical Research*, **102**, B12, 27587-27601.
- Şaroğlu, F., Emre, Ö. ve Kuşçu, İ.**, 1992. *Türkiye'nin Aktif Fay Haritası*, Maden Tetkik Arama Kurumu (MTA), Ankara.
- Thatcher, W.**, 1983. Nonlinear Strain Buildup and the Earthquake Cycle on the San Andreas Fault, *Journal of Geophysical Research*, **88**, B7, 5893-5902.
- Thatcher, W.**, 1993. The Earthquake cycle and its role in the long-term deformation of the continental lithosphere, *Annali Di Geofisica*, **36**.
- Thatcher, W.**, 1995. Microplate versus continuum descriptions of active tectonic deformation, *Journal of Geophysical Research*, **100**, B3, 3885-3894.
- Toksöz, N. M., Shakal, A. F., Andrew J. M.**, 1979. Space-time migration of earthquakes along the North Anatolian fault zone and seismic gaps, *Pageoph*, **117**, 1258-1270.
- Trauth, M.H.**, 2006. *MATLAB Recipes for Earth Sciences*, Springer, Hollanda.
- Url-1** <<http://facility.unavco.org/software/teqc/teqc.html>>, alındığı tarih 21.12.2009.
- Url-2** <http://itrf.ensg.ign.fr/ITRF_solutions/2005/doc/ITRF2005_GPS.SSC.txt>, alındığı tarih 20.12.2010.
- Url-3** <http://igsceb.jpl.nasa.gov/network/maps/ref_eur.html>, alındığı tarih 02.07.2010.
- Url-4** <http://itrf.ensg.ign.fr/ITRF_solutions/2005/tp_05-00.php>, alındığı tarih 02.07.2010.
- Url-5** <http://www.rpi.edu/~mccafr/defnode/defnode_071025.html>, alındığı tarih 21.12.2009.
- Url-6** <http://www.ydbae.mam.gov.tr/toplum_bilim/index.html>, alındığı tarih 02.08.2010.
- Vigny, C., Simons, W. C. F., Abu, S., Bamphenyu, R., Satirapod, C., Choosakuli N., Subarya, C., Socquet, A., Omar, K., Abidin, H. Z., Ambrosius, B. A. C.**, 2005. Insight into the 2004 Sumatra-Andaman earthquake from GPS measurements in southeast Asia, *Nature*, **436**, 14, 201-206.
- Wang, K., Wells, R., Mazzotti, S., Hyndman, R. D., Sagiya, T.**, 2003. A revised dislocation model of interseismic deformation of the Cascadia subduction zone, *Journal of Geophysical Research*, **108**, 2026.

- Xia, Y., Michel, G. W., Reigber, CH., Klotz, J. and Kaufmann, H., 2003.** Seismic unloading and loading in northern central Chile as observed by differential Synthetic Aperture Radar Interferometry (D-INSAR) and GPS, *International Journal of Remote Sensing*, **24**, 22, 4375-4391.
- Yalçın, M.N., Ergintav, S., Aktar, M., Gurbuz, C., Gurkan, O., Eyidoğan, H., Barka, A., Ayhan E., Lenk, O., Reilienger, R., Toksoz, N., 1999.** Seismic Hazard Assessment in the Marmara Sea Region, *IUGG99*, Birmingham, United Kingdom, 18-30 July.

EKLER

EK A: DEPREM ANI ZAMAN SERİLERİ

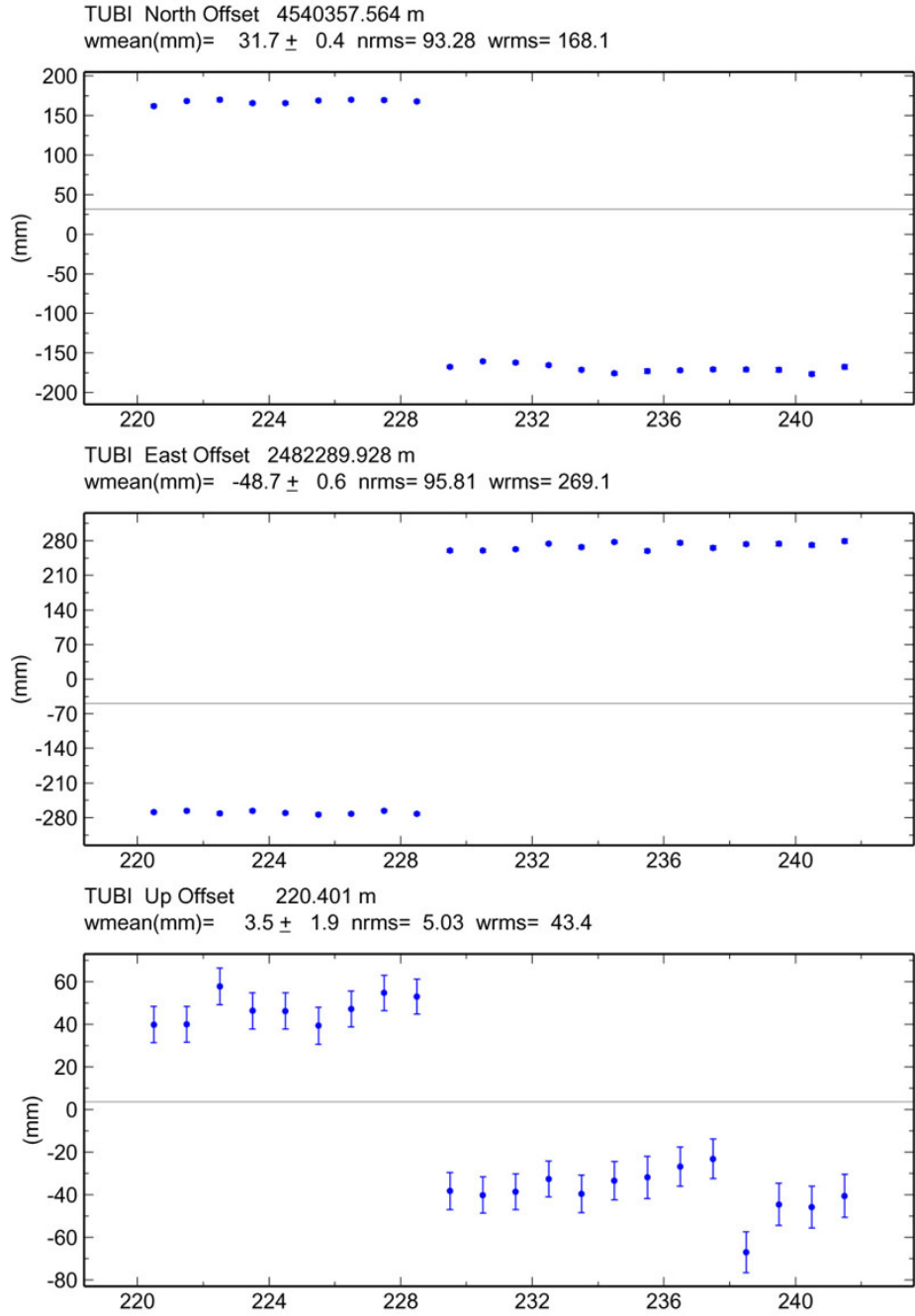
**EK B: DEPREM ÖNCESİ MARMARA BÖLGESİ GPS İSTASYONLARINA
AİT YATAY HIZ DEĞERLERİ**

**EK C: 2002-2009 DÖNEMİNE AİT MARMARA BÖLGESİ GPS
NOKTALARINA AİT TEKRARLILIK, İSTASYON BİLGİLERİ VE
YATAY HIZ DEĞERLERİ**

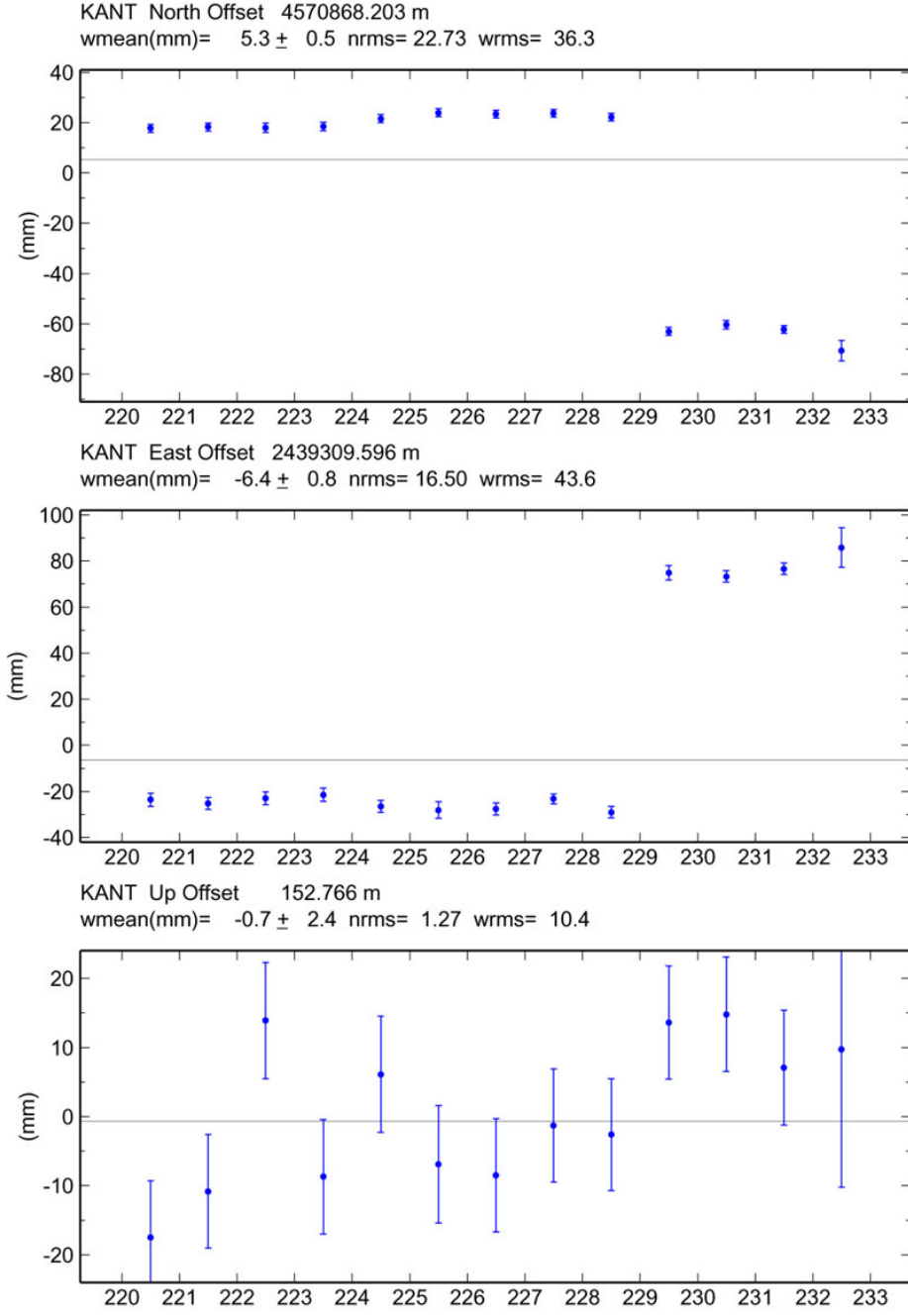
EK D: BLOK MODELLEME ÇALIŞMALARINA AİT ÇIKTILAR

EK E: TEZ KAPSAMINDA DEĞİNİLEN JEOFİZİKSEL KAVRAMLAR

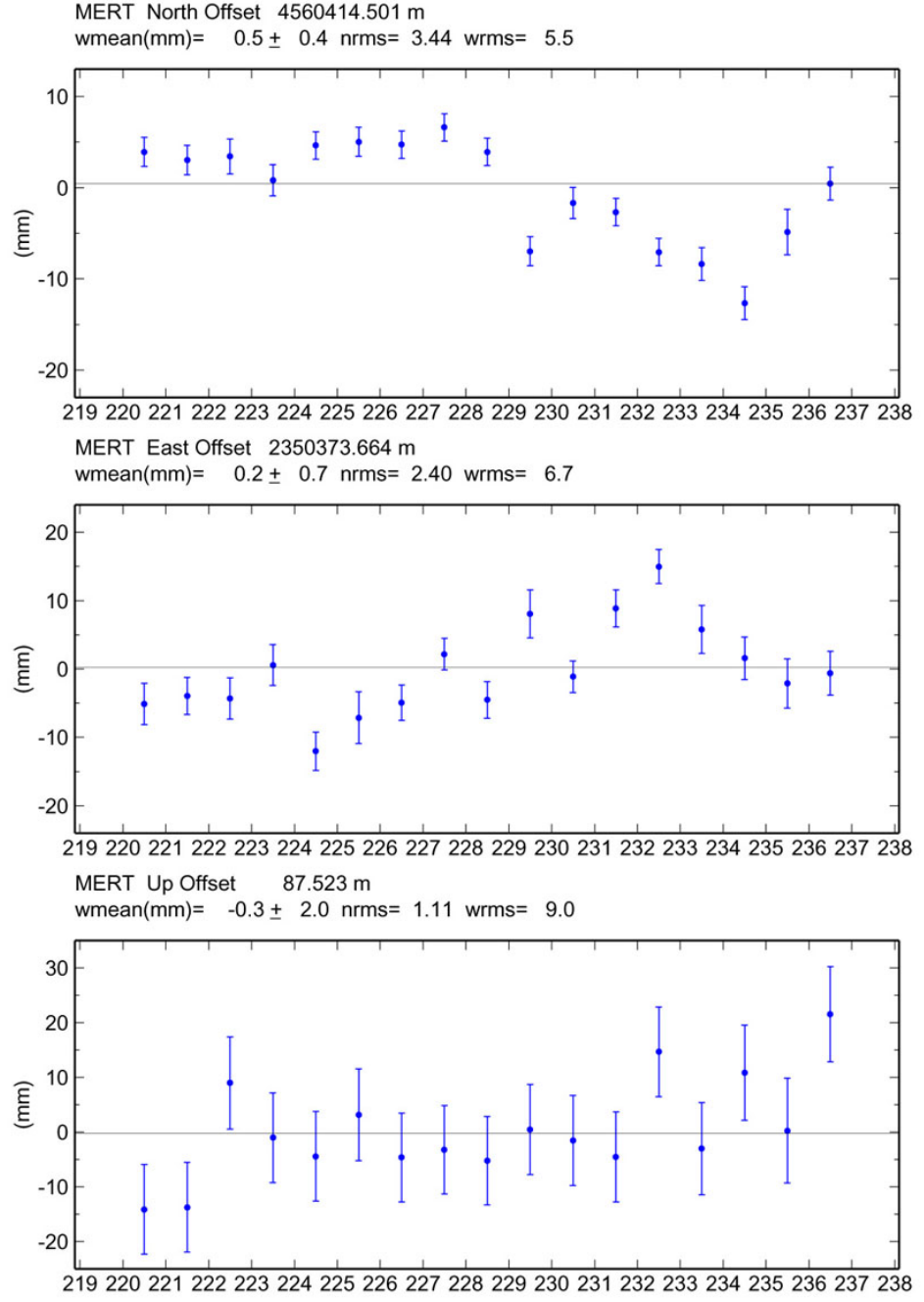
EK A. DEPREM ANI ZAMAN SERİLERİ



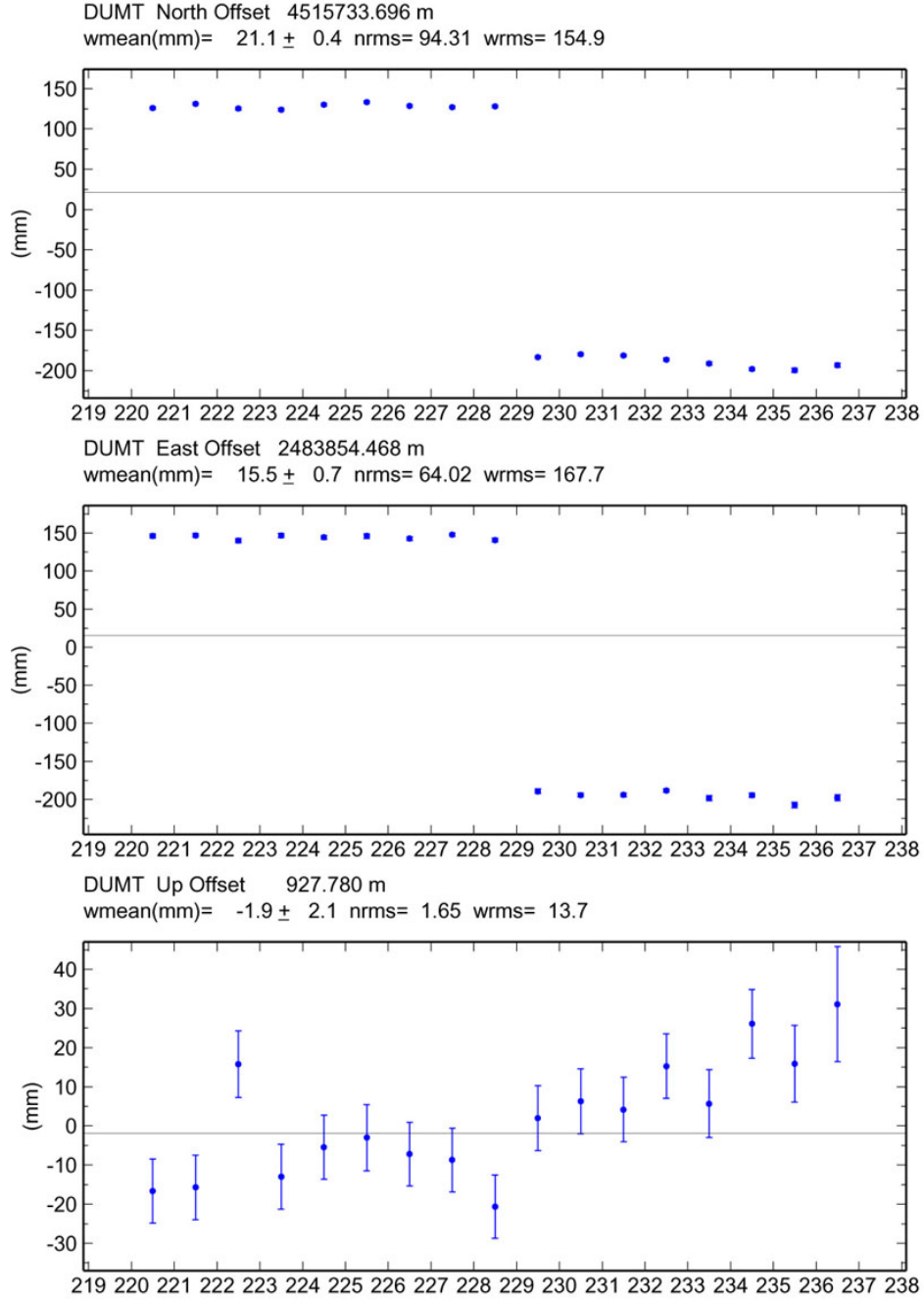
Şekil A.1 : TUBI istasyonunun Deprem anını gösteren zaman serisi (Kuzey-Güney, Doğu-Batı ve Yükseklik bileşenleri için) (Çakmak, 2001)



Şekil A.2 : KANT istasyonunun Deprem anını gösteren zaman serisi (Kuzey-Güney, Doğu-Batı ve Yükseklik bileşenleri için) (Çakmak, 2001)



Şekil A.3 : MERT istasyonunun Deprem anını gösteren zaman serisi (Kuzey-Güney, Doğu-Batı ve Yükseklik bileşenleri için) (Çakmak, 2001)



Şekil A.4 : DUMT istasyonunun Deprem anını gösteren zaman serisi (Kuzey-Güney, Doğu-Batı ve Yükseklik bileşenleri için) (Çakmak, 2001)

**EK B. DEPREM ÖNCESİ MARMARA BÖLGESİ GPS İSTASYONLARINA
AİT YATAY HIZ DEĞERLERİ**

Çizelge B.1 : Deprem öncesi dönem için yatay hız değerleri (Reilinger ve diğ. 2006)

Boylam (derece)	Enlem (derece)	Hız Bileşeni (mm/yıl)		+- (mm/yıl)		RHO	İstasyon kodu
		Doğu- Batı	Kuzey- Güney				
25.126	39.851	-14.81	-12.59	0.71	0.64	0.071	LIMN
25.402	41.545	1.26	-2.10	1.27	1.22	-0.009	MOMC
25.513	40.466	-2.42	-3.70	0.81	0.79	0.022	SMTK
25.566	40.928	0.64	-2.05	0.77	0.74	0.013	ASKT
26.082	39.501	-20.82	-9.08	0.96	0.97	-0.017	AMAN
26.157	39.731	-20.86	-9.16	0.93	0.95	-0.018	KEST
26.174	39.973	-16.38	-9.61	0.67	0.61	-0.012	SUBA
26.189	39.614	-19.94	-9.85	0.93	0.95	-0.025	BDER
26.216	39.726	-21.11	-9.61	0.95	0.96	0.001	KRKE
26.309	42.075	0.03	0.02	1.24	1.19	-0.005	TOPO
26.317	39.785	-20.05	-9.19	0.95	0.99	0.001	EZIN
26.451	39.234	-19.47	-12.68	0.74	0.65	0.048	LESV
26.535	39.580	-20.45	-6.51	0.94	0.96	0.004	HOBS
26.700	39.311	-18.80	-11.72	0.76	0.70	0.003	AYKA
26.706	40.739	-4.84	-3.34	0.71	0.71	0.021	DOKU
26.707	39.326	-21.06	-9.80	0.73	0.71	-0.009	AYVA
26.732	39.653	-22.65	-7.26	0.94	0.93	0.023	KCAM
26.871	40.601	-13.42	-4.14	0.91	0.94	0.055	KVAK
26.880	40.396	-19.20	-6.57	0.90	0.92	0.035	SEVK
26.885	39.010	-21.06	-13.52	1.78	1.75	-0.019	ESEN
26.910	40.029	-19.70	-8.64	0.93	0.93	0.040	BAH1
27.112	39.244	-19.64	-12.11	1.67	1.72	-0.004	D5DU
27.214	40.171	-19.97	-9.04	0.92	0.93	0.050	ARAK
27.217	39.897	-19.62	-8.40	0.61	0.60	0.017	KIRE
27.269	39.577	-20.77	-6.40	0.95	0.94	0.043	EGMI
27.301	40.381	-18.24	-5.55	0.89	0.89	0.049	KABI
27.316	39.024	-20.63	-13.31	0.76	0.71	0.013	YAYA
27.393	40.811	-3.53	-4.76	0.71	0.68	-0.010	YENB
27.424	39.785	-22.95	-8.51	0.73	0.72	0.022	ALAN
27.483	42.484	-1.71	-0.88	1.35	1.30	-0.003	BUTG
27.586	40.588	-15.04	-5.80	1.14	1.06	0.008	MISL
27.590	39.295	-16.75	-12.25	1.64	1.66	-0.011	D7DU
27.629	40.245	-20.01	-5.48	0.92	0.93	0.054	UKIR
27.763	40.059	-22.89	-2.94	0.94	0.94	0.045	KOCB
27.779	41.827	0.91	-0.09	0.73	0.69	-0.018	DEMI

Çizelge B.1 : (devam) Deprem öncesi dönem için yatay hız değerleri
(Reilinger ve diğ. 2006)

27.816	40.400	-20.96	-3.23	0.69	0.68	0.014	ERDE
27.873	39.006	-21.02	-10.31	0.68	0.66	0.014	AKGA
27.906	39.722	-21.20	-4.53	0.71	0.63	0.003	BALI
27.960	40.971	2.72	-0.59	0.65	0.62	-0.001	MAER
28.293	41.475	1.27	-0.67	1.16	1.05	-0.007	YALI
28.365	41.052	-1.60	0.79	1.15	1.06	-0.005	SELP
28.373	40.398	-19.18	-1.24	1.23	1.06	-0.013	YENI
28.671	39.046	-21.14	-6.39	0.71	0.67	-0.004	DMIR
28.779	40.167	-20.40	-2.55	0.93	0.93	0.056	HAGA
28.882	40.481	-18.20	4.92	1.99	1.68	-0.014	FIST
28.923	39.930	-23.43	-0.54	0.96	0.95	0.057	GIRE
29.020	41.104	-2.02	0.06	0.68	0.68	-0.012	ITAY
29.064	41.064	-2.42	0.94	0.61	0.58	0	IKAN
29.102	40.136	-23.43	-3.04	0.71	0.70	-0.001	ULUD
29.106	40.270	-20.83	0.44	0.92	0.92	0.043	DTAS
29.111	40.165	-21.26	-0.75	0.93	0.93	0.056	ZEYA
29.141	40.122	-19.44	-2.33	0.79	0.76	-0.006	ULDA
29.143	40.639	-15.62	1.09	0.71	0.69	0.003	CINA
29.146	40.460	-20.09	1.83	0.92	0.92	0.043	GEML
29.261	40.200	-21.11	-1.34	0.93	0.93	0.051	CATA
29.288	40.485	-15.40	1.47	1.81	1.55	0.006	KUTE
29.423	40.821	-8.85	0.83	0.68	0.68	0.031	GATE
29.451	40.787	-7.50	-3.98	1.40	1.37	0.003	TUBI
29.514	40.164	-21.41	-0.19	0.97	0.95	0.053	HMZA
29.585	40.667	-13.09	1.95	0.94	0.93	0.045	OLUK
29.623	41.179	-0.85	-0.58	1.25	1.11	-0.022	SILE
29.635	40.803	-6.06	1.23	0.94	0.92	0.041	YUHE
29.681	40.362	-19.88	0.62	0.65	0.57	0.009	DERB
29.889	40.066	-20.72	-6.54	1.95	1.80	-0.016	KPKL
29.908	40.438	-17.69	-1.75	0.59	0.59	0.003	IGAZ
29.929	40.425	-17.69	-1.74	0.59	0.59	0.003	IUCK
30.026	40.465	-16.76	-1.68	0.66	0.61	-0.008	MEKE
30.130	40.745	-8.47	-0.65	0.89	0.92	0.003	SISL
30.134	40.690	-12.94	0.02	0.79	0.81	0.010	SMAS
30.637	39.658	-24.01	-1.74	0.97	0.90	0.015	ESKI
30.638	40.614	-13.58	-1.21	0.57	0.58	0.012	KTOP
30.655	40.628	-13.53	-1.27	0.57	0.58	0.012	KKAP
30.679	40.552	-17.01	-0.63	0.67	0.70	0.026	BOZS
30.680	40.538	-17.01	-0.63	0.67	0.70	0.026	AGUZ
30.745	40.652	-11.17	1.11	0.99	1.01	0.079	KMAL
30.761	40.589	-13.06	-1.14	0.78	0.79	0	AGOK
30.804	40.386	-19.55	-1.84	0.63	0.63	0.040	TEBA
30.827	40.735	-7.95	-0.52	0.73	0.74	0.014	KDER
30.862	40.555	-17.20	-0.15	0.96	0.97	0.041	PINA
31.438	40.937	-3.39	0.13	0.55	0.53	0.004	YIG2

Çizelge B.1 : (devam) Deprem öncesi dönem için yatay hız değerleri
(Reilinger ve diğ. 2006)

31.439	40.937	-3.39	0.13	0.55	0.53	0.004	YIGI
31.814	39.564	-20.43	-2.31	0.79	0.68	0.018	SIVR
32.226	41.520	0.49	-0.96	0.87	0.86	-0.012	HALI
32.570	40.881	-6.47	0.27	0.75	0.69	-0.006	ISME
32.759	39.886	-21.39	-1.49	0.55	0.54	-0.006	ANKR

**EK C. 2002-2009 DÖNEMİNE AİT MARMARA BÖLGESİ GPS
NOKTALARINA AİT TEKRARLILIK, İSTASYON BİLGİLERİ
VE YATAY HIZ DEĞERLERİ**

**Çizelge C.1 : Marmara Bölgesi GPS kampanya noktalarına ait tekrarlılık bilgileri
(2002-2009)**

İstasyon Kodu	Boylam (Derece)	Enlem (Derece)	Tekrarlılık sayısı	Gözlem Zaman Aralığı	
				İlk	Son
NALL	31.4598	40.1482	10	2002.401	2009.396
YIGI	31.4388	40.9370	3	2002.401	2005.818
CMLN	30.9164	40.1179	9	2002.401	2009.396
KDER	30.8266	40.7348	9	2002.401	2009.396
TEBA	30.8045	40.3857	8	2002.401	2009.396
AGOK	30.7611	40.5889	9	2002.401	2009.396
AGUZ	30.6804	40.5383	9	2002.401	2009.396
ESKI	30.6370	39.6576	10	2002.401	2009.396
PIRE	30.5952	40.8243	2	2002.401	2003.418
MHGZ	30.5704	40.0279	10	2002.401	2009.396
DGCT	30.4618	40.4779	8	2004.419	2009.396
SEYH	30.4534	40.3506	9	2002.401	2009.396
CALT	30.4045	40.8800	8	2004.419	2009.396
SEFI	30.3252	40.6116	9	2002.401	2009.396
KAZI	30.3034	40.7852	9	2002.401	2009.396
KANR	30.2936	41.0483	9	2002.401	2009.396
KFKT	30.2294	41.1868	8	2004.419	2009.396
SMAS	30.1340	40.6897	9	2002.401	2009.396
AKCO	29.9731	41.0335	9	2002.401	2009.396
IUCK	29.9289	40.4247	3	2002.401	2004.419
IGAZ	29.9080	40.4380	9	2002.401	2009.396
DERB	29.6814	40.3616	8	2002.401	2009.396
SILE	29.6232	41.1795	13	2002.401	2009.396
OLUK	29.5852	40.6671	9	2003.768	2009.396
OVCT	29.5392	40.9797	9	2002.914	2009.396
HMZA	29.5138	40.1638	4	2002.401	2004.840
KRDM	29.3625	41.0171	10	2002.401	2009.396
IBBT	29.3208	40.8660	9	2003.853	2009.396
HART	29.3102	40.9268	9	2003.853	2009.396
KUTE	29.2879	40.4847	13	2002.401	2009.396
KAMT	29.2733	40.8344	9	2003.853	2009.396
ERCT	29.2432	40.3187	11	2002.914	2009.396
YACT	29.2379	40.9167	8	2003.853	2008.398
CINA	29.1431	40.6395	8	2003.768	2009.396

Çizelge C.1 : (devam) Marmara Bölgesi GPS kampanya noktalarına ait tekrarlılık bilgileri (2002-2009)

BLOT	29.0330	39.8992	8	2002.914	2009.396
F083	28.8900	41.0293	1	2009.396	2009.396
FIST	28.8818	40.4806	11	2002.401	2009.396
FLRT	28.7789	40.9748	1	2009.396	2009.396
HLKT	28.7756	41.0214	1	2009.396	2009.396
N103	28.6839	41.0301	3	2007.897	2008.643
N107	28.6718	41.0565	4	2007.897	2009.396
N104	28.6597	40.9854	4	2007.897	2009.396
N108	28.6525	41.0216	4	2007.897	2009.396
OMRT	28.6329	41.1146	1	2009.396	2009.396
N110	28.6311	41.0433	3	2007.897	2008.643
N102	28.6163	41.0258	3	2007.897	2008.643
N101	28.6153	40.9957	4	2007.897	2009.396
N109	28.6063	41.0051	3	2007.897	2008.643
H001	28.5395	40.9887	1	2009.396	2009.396
H009	28.5358	41.0619	1	2009.396	2009.396
KMBT	28.4759	41.0409	1	2009.396	2009.396
LTFY	28.4129	39.9929	2	2002.401	2003.418
YENN	28.3733	40.3979	8	2002.401	2009.396
SELP	28.3653	41.0518	11	2002.401	2009.396
BALI	27.9064	39.7217	7	2004.419	2009.396
HSRT	27.8481	39.8752	2	2008.398	2009.396
KOCB	27.7635	40.0586	6	2004.840	2009.396
HSBT	27.6082	40.1594	2	2008.398	2009.396
GVNT	27.4755	40.2655	2	2008.398	2009.396
ALAN	27.4245	39.7847	9	2002.955	2009.396
KABI	27.3012	40.3810	8	2003.768	2009.396
SVNT	27.2925	39.9351	2	2008.398	2009.396
EGMI	27.2695	39.5766	3	2003.768	2004.840
ASMT	27.2035	40.0545	10	2002.955	2009.396
BKCT	27.0914	40.2034	10	2002.955	2009.396
SEVK	26.8797	40.3958	10	2002.955	2008.398
KVAK	26.8713	40.6008	10	2002.955	2008.398
DOKU	26.7064	40.7393	10	2002.955	2008.398
BGNT	26.5701	40.9324	10	2002.955	2008.398

Çizelge C.2 : 2002-2009 Dönemi MAGNET istasyonlarına ait istasyon bilgileri (station.info)

İstasyon kodu	Mevkii	Gözlem Zaman Aralığı										GPS Anteni Yükseklik		Antene uygulanması gereken offset değerleri (m)		GPS alıcısı kodu	Alıcı yazılım no	GPS anten kodu
		İlk					son					(m)	Ölçme kodu	Kuzey Güney	Doğu Batı			
ALAT	Gönen, Alaattin	2007	333	0	0	0	9999	999	0	0	0	0.1817	DHBGP	0.0000	0.0000	TR5700	2.3	TRMZGP
ATCT	Gönen, Atıcıoba	2007	332	0	0	0	9999	999	0	0	0	0.1839	DHBGP	0.0000	0.0000	TR5700	2.3	TRMZGP
ATHT	Çanakkale, Atikhisar	2004	111	0	0	0	2006	129	0	0	0	0.0945	DHARP	0.0000	0.0000	TRMSSI	7.29	TRMSST
ATHT	Çanakkale, Atikhisar	2006	129	0	0	0	9999	999	0	0	0	0.0945	DHARP	0.0000	0.0000	TRMSSI	7.19	TRMSST
AVCT	İstanbul, Avcılar	2002	64	0	0	0	2004	259	0	0	0	0.0790	DHPAB	0.0000	0.0000	TRMSSI	7.29	TRMDMG
AVCT	İstanbul, Avcılar	2004	259	0	0	0	2004	316	0	0	0	0.0790	DHPAB	0.0000	0.0000	TRMSSE	7.19	TRMDMG
AVCT	İstanbul, Avcılar	2004	316	0	0	0	2007	129	0	0	0	0.0790	DHARP	0.0000	0.0000	TR5700	1.22	TRMDMG
AVCT	İstanbul, Avcılar	2007	129	0	0	0	2007	247	0	0	0	0.0790	DHARP	0.0000	0.0000	TRMSSI	7.19	TRMDMG
AVCT	İstanbul, Avcılar	2007	247	0	0	0	2007	329	5	24	0	0.0790	DHARP	0.0000	0.0000	TRMSSE	7.19	TRMDMG
AVCT	İstanbul, Avcılar	2007	329	5	24	0	2007	329	17	20	0	0.0790	DHARP	0.0000	0.0000	TR5700	2.32	TRMDMG
AVCT	İstanbul, Avcılar	2007	329	17	20	0	2008	109	3	45	0	0.0790	DHARP	0.0000	0.0000	TRMSSE	7.19	TRMDMG
AVCT	İstanbul, Avcılar	2008	109	3	45	0	2008	109	14	50	0	0.0790	DHARP	0.0000	0.0000	TR5700	2.32	TRMDMG
AVCT	İstanbul, Avcılar	2008	109	14	50	0	9999	999	0	0	0	0.0790	DHARP	0.0000	0.0000	TRMSSE	7.19	TRMDMG
BAD1	İstanbul, Büyük Ada	2002	116	0	0	0	2005	347	0	0	0	0.0924	DHPAB	0.0000	0.0000	TRMSSI	7.29	TRMDMG
BAD1	İstanbul, Büyük Ada	2005	347	0	0	0	2007	131	0	0	0	0.0924	DHARP	0.0000	0.0000	TR5700	1.1	TRMDMG
BAD1	İstanbul, Büyük Ada	2007	131	0	0	0	9999	999	0	0	0	0.0924	DHARP	0.0000	0.0000	TRMSSI	7.19	TRMDMG
BOZT	Yalova, Armutlu	2001	85	0	0	0	2006	354	0	0	0	0.0727	DHARP	0.0000	0.0000	TRMSSI	7.29	TRMDMG
BOZT	Yalova, Armutlu	2006	354	0	0	0	2007	39	0	0	0	0.0727	DHARP	0.0000	0.0000	TR5700	2.32	TRMDMG
BOZT	Yalova, Armutlu	2007	39	0	0	0	9999	999	0	0	0	0.0727	DHARP	0.0000	0.0000	TRMSSI	7.19	TRMDMG
CHMT	Gönen, Çobanhamidiye	2007	332	0	0	0	9999	999	0	0	0	0.1686	DHBGP	0.0000	0.0000	TR5700	2.3	TRMZGP
DRGT	İstanbul, Dragos	2003	312	0	0	0	2004	120	0	0	0	0.0773	DHBCR	0.0000	0.0000	TRMSSI	7.29	TRMDMG
DRGT	İstanbul, Dragos	2004	120	0	0	0	2004	252	0	0	0	0.0871	DHARP	0.0000	0.0000	TR5700	1.23	TRMSSE

Çizelge C.2 : (devam) 2002-2009 Dönemi MAGNET istasyonlarına ait istasyon bilgileri (station.info)

DRGT	İstanbul, Dragos	2004	252	0	0	0	2004	316	0	0	0	0.0871	DHARP	0.0000	0.0000	TRMSSE	7.19	TRMSSE
DRGT	İstanbul, Dragos	2004	316	0	0	0	2007	129	0	0	0	0.1633	DHBGP	0.0000	0.0000	TR5700	1.23	TRMSST
DRGT	İstanbul, Dragos	2007	129	0	0	0	2007	150	0	0	0	0.1633	DHBGP	0.0000	0.0000	TRMSSE	7.19	TRMSST
DRGT	İstanbul, Dragos	2007	150	0	0	0	2007	170	0	0	0	0.1633	DHBGP	0.0000	0.0000	TR5700	1.23	TRMSST
DRGT	İstanbul, Dragos	2007	170	0	0	0	2007	320	0	0	0	0.1633	DHBGP	0.0000	0.0000	TRMSSE	7.19	TRMSST
DRGT	İstanbul, Dragos	2007	320	0	0	0	2009	118	0	0	0	0.1633	DHBGP	0.0000	0.0000	TRMSSI	7.19	TRMSST
DRGT	İstanbul, Dragos	2009	118	0	0	0	9999	999	0	0	0	0.1522	DHBGP	0.0000	0.0000	TRMSSI	7.19	TRMSSE
DUMT	Bursa, Orhangazi	1999	294	0	0	0	2002	332	0	0	0	0.0817	DHPAB	0.0000	0.0000	TRMSSI	7.29	TRMDMG
DUMT	Bursa, Orhangazi	2002	332	0	0	0	9999	999	0	0	0	0.0873	DHPAB	0.0000	0.0000	TRMSSI	7.29	TRMDMG
DUM2	Bursa, Orhangazi	2005	273	0	0	0	2006	343	0	0	0	0.0873	DHARP	0.0000	0.0000	TRMSSI	7.29	TRMDMG
DUM2	Bursa, Orhangazi	2006	343	0	0	0	2007	39	0	0	0	0.0873	DHARP	0.0000	0.0000	TR5700	2.24	TRMDMG
DUM2	Bursa, Orhangazi	2007	39	0	0	0	9999	999	0	0	0	0.0873	DHARP	0.0000	0.0000	TRMSSI	7.19	TRMDMG
ERDT	Balıkesir, Erdek	2002	186	0	0	0	2008	120	0	0	0	0.0823	DHPAB	0.0000	0.0000	TRMSSI	7.29	TRMDMG
ERDT	Balıkesir, Erdek	2008	120	0	0	0	9999	999	0	0	0	0.0823	DHPAB	0.0000	0.0000	TR5700	2.32	TRMDMG
KANT	İstanbul, Kandilli	2000	12	0	0	0	2003	324	0	0	0	0.0805	DHPAB	0.0000	0.0000	TRMSSI	7.29	TRMDMG
KANT	İstanbul, Kandilli	2003	324	0	0	0	9999	999	0	0	0	0.0805	DHPAB	0.0000	0.0000	TRMSSI	7.29	TRMDMG
KART	Bursa, Karacabey	2001	157	0	0	0	2006	353	0	0	0	0.0740	DHARP	0.0000	0.0000	TRMSSI	7.29	TRMDMG
KART	Bursa, Karacabey	2006	354	0	0	0	2007	131	0	0	0	0.0740	DHARP	0.0000	0.0000	TR5700	2.24	TRMDMG
KART	Bursa, Karacabey	2007	131	0	0	0	9999	999	0	0	0	0.0740	DHARP	0.0000	0.0000	TRMSSI	7.19	TRMDMG
KRDT	Tekirdağ, Karaidemir	2004	110	0	0	0	2006	128	0	0	0	0.0917	DHARP	0.0000	0.0000	TRMSSI	7.29	TRMSST
KRDT	Tekirdağ, Karaidemir	2006	128	0	0	0	2006	198	0	0	0	0.0917	DHARP	0.0000	0.0000	TRMSSI	7.19	TRMSST
KRDT	Tekirdağ, Karaidemir	2006	198	0	0	0	2006	338	0	0	0	0.0917	DHARP	0.0000	0.0000	TRMSSI	7.29	TRMSST
KRDT	Tekirdağ, Karaidemir	2006	338	0	0	0	2007	17	0	0	0	0.0917	DHARP	0.0000	0.0000	TRMSSI	7.19	TRMSST
KRDT	Tekirdağ, Karaidemir	2007	17	0	0	0	2007	192	0	0	0	0.0917	DHARP	0.0000	0.0000	TRMSSI	7.29	TRMSST
KRDT	Tekirdağ, Karaidemir	2007	192	0	0	0	2008	23	0	0	0	0.0917	DHARP	0.0000	0.0000	TRMSSI	7.19	TRMSST
KRDT	Tekirdağ, Karaidemir	2008	23	0	0	0	9999	999	0	0	0	0.0917	DHARP	0.0000	0.0000	TRMSSI	7.29	TRMSST
MADT	Balıkesir, Marmara A.	1999	254	0	0	0	2002	294	0	0	0	0.0775	DHPAB	0.0000	0.0000	TRMSSI	7.29	TRMDMG
MADT	Balıkesir, Marmara A.	2002	294	0	0	0	2006	340	0	0	0	0.0772	DHARP	0.0000	0.0000	TRMSSI	7.29	TRMDMG
MADT	Balıkesir, Marmara A.	2006	340	0	0	0	2009	65	0	0	0	0.0772	DHARP	0.0000	0.0000	TR5700	2.24	TRMDMG

Çizelge C.2 : (devam) 2002-2009 Dönemi MAGNET istasyonlarına ait istasyon bilgileri (station.info)

MADT	Balikesir, Marmara E.	2009	65	0	0	0	9999	999	0	0	0	0.0772	DHARP	0.0000	0.0000	TR5700	2.32	TRMDMG
MER1	Tekirdağ, Marmara E.	2001	74	0	0	0	2003	342	0	0	0	0.0730	DHPAB	0.0000	0.0000	TRMSSI	7.29	TRMDMG
MER1	Tekirdağ, Marmara E.	2003	342	0	0	0	2004	247	0	0	0	0.0730	DHPAB	0.0000	0.0000	TRMSSE	7.29	TRMDMG
MER1	Tekirdağ, Marmara E.	2004	247	0	0	0	2004	252	0	0	0	0.0730	DHPAB	0.0000	0.0000	TRMSSI	7.29	TRMDMG
MER1	Tekirdağ, Marmara E.	2004	252	0	0	0	2006	90	0	0	0	0.0730	DHPAB	0.0000	0.0000	TRMSSE	7.29	TRMDMG
MER1	Tekirdağ, Marmara E.	2006	90	0	0	0	2006	128	0	0	0	0.0730	DHPAB	0.0000	0.0000	TRMSSI	7.29	TRMDMG
MER1	Tekirdağ, Marmara E.	2006	128	0	0	0	2006	325	0	0	0	0.0730	DHPAB	0.0000	0.0000	TRMSSE	7.29	TRMDMG
MER1	Tekirdağ, Marmara E.	2006	325	0	0	0	2007	192	0	0	0	0.0730	DHPAB	0.0000	0.0000	TRMSSI	7.29	TRMDMG
MER1	Tekirdağ, Marmara E.	2007	192	0	0	0	2008	45	0	0	0	0.0730	DHARP	0.0000	0.0000	TRMSSE	7.19	TRMDMG
MER1	Tekirdağ, Marmara E.	2008	45	0	0	0	9999	999	0	0	0	0.0730	DHARP	0.0000	0.0000	TRMSSI	7.29	TRMDMG
TUBI	Kocaeli, Gebze	2001	200	0	0	0	9999	999	0	0	0	0.0746	DHPAB	0.0000	0.0000	TR4700	1.35	TRMDMG
TYFT	Gelibolu, Tayfur Barajı	2004	110	0	0	0	2005	229	0	0	0	0.0902	DHARP	0.0000	0.0000	TRMSSI	7.32	TRMSST
TYF1	Gelibolu, Tayfur Barajı	2005	229	0	0	0	2005	249	0	0	0	0.0908	DHARP	0.0000	0.0000	TRMSSI	7.29	TRMDMG
TYF1	Gelibolu, Tayfur Barajı	2005	249	0	0	0	2005	298	0	0	0	0.0908	DHARP	0.0000	0.0000	TRMSSI	7.29	TRMDMG
TYF1	Gelibolu, Tayfur Barajı	2005	298	0	0	0	2008	57	0	0	0	0.0908	DHARP	0.0000	0.0000	TRMSSI	7.29	TRMDMG
TYF1	Gelibolu, Tayfur Barajı	2008	57	0	0	0	9999	999	0	0	0	0.0909	DHARP	0.0000	0.0000	TR5700	2.32	TRMDMG
UCG2	Kocaeli, Üçgaziler	2001	127	0	0	0	2004	117	0	0	0	0.0737	DHPAB	0.0000	0.0000	TRMSSI	7.29	TRMDMG
UCG2	Kocaeli, Üçgaziler	2004	117	0	0	0	2004	236	0	0	0	0.0737	DHPAB	0.0000	0.0000	TRMSSE	7.19	TRMDMG
UCG2	Kocaeli, Üçgaziler	2004	236	0	0	0	2004	239	0	0	0	0.0737	DHPAB	0.0000	0.0000	TRMSSI	7.29	TRMDMG
UCG2	Kocaeli, Üçgaziler	2004	239	0	0	0	2004	336	0	0	0	0.0737	DHPAB	0.0000	0.0000	TRMSSE	7.29	TRMDMG
UCG2	Kocaeli, Üçgaziler	2004	336	0	0	0	2007	129	0	0	0	0.0737	DHARP	0.0000	0.0000	TR5700	1.23	TRMDMG
UCG2	Kocaeli, Üçgaziler	2007	129	0	0	0	2007	170	0	0	0	0.0737	DHARP	0.0000	0.0000	TRNTRS	1.1	TRMDMG
UCG2	Kocaeli, Üçgaziler	2007	170	0	0	0	2007	246	0	0	0	0.0737	DHARP	0.0000	0.0000	TRMSSI	7.19	TRMDMG
UCG2	Kocaeli, Üçgaziler	2007	246	0	0	0	2008	43	0	0	0	0.0737	DHARP	0.0000	0.0000	TRMSSE	7.19	TRMDMG
UCG2	Kocaeli, Üçgaziler	2008	43	0	0	0	9999	999	0	0	0	0.0737	DHARP	0.0000	0.0000	TRMSSI	7.29	TRMDMG
ULUT	Bursa, Uludağ	2000	84	0	0	0	2006	342	0	0	0	0.0748	DHARP	0.0000	0.0000	TRMSSI	7.19	TRMDMG
ULUT	Bursa, Uludağ	2006	342	0	0	0	2007	130	0	0	0	0.0748	DHARP	0.0000	0.0000	TR5700	2.24	TRMDMG
ULUT	Bursa, Uludağ	2007	130	0	0	0	2008	87	0	0	0	0.0748	DHARP	0.0000	0.0000	TRMSSI	7.19	TRMDMG
ULUT	Bursa, Uludağ	2008	87	0	0	0	2009	177	0	0	0	0.0748	DHARP	0.0000	0.0000	TR5700	2.32	TRMDMG

Çizelge C.2 : (devam) 2002-2009 Dönemi MAGNET istasyonlarına ait istasyon bilgileri (station.info)

ULUT	Bursa, Uludağ	2009	177	0	0	0	9999	999	0	0	0	0.0839	DHARP	0.0000	0.0000	TR5700	2.32	TRMSSE
YANT	İstanbul, Yandros A.	2004	142	0	0	0	2005	329	0	0	0	0.0856	DHARP	0.0000	0.0000	TRMSSI	7.29	TRMSSE
YANT	İstanbul, Yandros A.	2005	329	0	0	0	2007	360	0	0	0	0.0856	DHARP	0.0000	0.0000	TR5700	2.21	TRMSSE
YANT	İstanbul, Yandros A.	2007	360	0	0	0	9999	999	0	0	0	0.0856	DHARP	0.0000	0.0000	TR5700	2.21	TRMDMG
YENT	Yeniköy	2005	229	0	0	0	2006	221	0	0	0	0.0912	DHARP	0.0000	0.0000	TRMSSI	7.29	TRMSSE
YENT	Yeniköy	2006	221	0	0	0	2008	57	0	0	0	0.0912	DHARP	0.0000	0.0000	TRMSSI	7.29	TRMSST
YENT	Yeniköy	2008	57	0	0	0	2008	78	0	0	0	0.0912	DHARP	0.0000	0.0000	TRMSSE	7.19	TRMSST
YENT	Yeniköy	2008	78	0	0	0	2008	120	0	0	0	0.0912	DHARP	0.0000	0.0000	TRMSSI	7.19	TRMSST
YENT	Yeniköy	2008	120	0	0	0	9999	999	0	0	0	0.0912	DHARP	0.0000	0.0000	TR5700	1.23	TRMDMG

Kullanılan GPS alıcısı kodları

TRMSSI, TRIMBLE 4000SSi
TRMSSE, TRIMBLE 4000SSe
TR4700, TRIMBLE 4700
TR5700, TRIMBLE 5700

Kullanılan GPS anten kodları

TRMSSE, Jeodezik L1/L2, Model No: 22020-00
TRMSST, 4000ST L1/L2 Jeodezik, Model No: 14532
TRMDMG, TRIMBLE L1/L2 Chokering (yansımaya önleyici), Model No: 29659.00
TRMZGP, Zephyr Jeodezik L1/L2

GPS Anteni yükseklik ölçme kodları

DHARP; Nokta merkezinden Antenin Faz merkezine olan dik uzaklık
DHBCR; Nokta merkezinden TRIMBLE Chokering antenin alt yüzeyine olan dik uzaklık
DHBGP; Nokta merkezinden antenin alt yüzeyine olan dik uzaklık

Çizelge C.3 : 2002-2009 yılları arası istasyonlara ait yatay hız değerleri

Boylam (Derece)	Enlem (Derece)	Hız Bileşeni (mm/yıl)		+- (mm/yıl)		RHO	İstasyon kodu
		Doğu Batı	Kuzey Güney	Doğu Batı	Kuzey Güney		
31.495	39.871	-20.15	-5.35	0.21	0.22	-0.069	MIHA
31.460	40.148	-19.86	-5.57	0.26	0.30	-0.160	NALL
31.439	40.937	3.15	-0.98	0.72	0.88	-0.060	YIGI
31.198	41.045	5.73	4.73	2.16	2.52	-0.101	AKKO
30.916	40.118	-20.45	-6.48	0.25	0.27	-0.170	CMLN
30.827	40.735	-5.33	-6.32	0.38	0.44	-0.200	KDER
30.804	40.386	-21.80	-5.09	0.27	0.30	-0.140	TEBA
30.761	40.589	-16.07	-5.91	0.32	0.37	-0.138	AGOK
30.680	40.538	-20.34	-5.90	0.27	0.31	-0.143	AGUZ
30.637	39.658	-20.86	-5.21	0.26	0.29	-0.152	ESKI
30.570	40.028	-20.30	-6.84	0.24	0.26	-0.157	MHGZ
30.462	40.478	-20.75	-6.86	0.38	0.45	-0.145	DGCT
30.453	40.351	-21.58	-6.01	0.24	0.27	-0.147	SEYH
30.405	40.880	5.63	-3.94	0.39	0.46	-0.141	CALT
30.325	40.612	-17.58	-6.60	0.33	0.38	-0.150	SEFI
30.303	40.785	1.18	-2.51	0.28	0.32	-0.145	KAZI
30.294	41.048	8.14	-3.45	0.26	0.29	-0.150	KANR
30.229	41.187	5.90	-2.24	0.42	0.48	-0.153	KFKT
30.134	40.690	-14.49	-4.68	0.32	0.39	-0.143	SMAS
30.130	40.745	2.98	-2.12	2.87	3.34	-0.091	SISL
29.973	41.034	6.82	-4.97	0.25	0.29	-0.143	AKCO
29.962	40.846	5.90	-3.40	0.11	0.11	-0.064	UCG2
29.929	40.425	-19.51	-8.73	1.38	1.58	-0.108	IUCK
29.908	40.438	-19.06	-7.65	0.29	0.34	-0.138	IGAZ
29.681	40.362	-19.63	-8.55	0.27	0.30	-0.166	DERB
29.623	41.179	5.73	-5.72	0.26	0.30	-0.144	SILE
29.585	40.667	-11.59	-7.31	0.34	0.38	-0.175	OLUK
29.539	40.980	6.42	-7.19	0.26	0.30	-0.117	OVCT
29.514	40.164	-18.26	-7.96	1.61	1.77	-0.055	HMZA
29.451	40.787	1.30	-5.16	0.10	0.10	-0.060	TUBI
29.372	40.566	-17.83	-7.38	0.21	0.23	-0.067	DUMT
29.372	40.566	-14.77	-6.47	0.19	0.21	-0.057	DUM2
29.362	41.017	5.79	-7.12	0.26	0.29	-0.140	KRDM
29.321	40.866	2.25	-5.73	0.29	0.33	-0.131	IBBT
29.310	40.927	4.92	-5.99	0.30	0.35	-0.134	HART
29.288	40.485	-16.6	-6.93	0.23	0.25	-0.134	KUTE
29.273	40.834	2.00	-4.59	0.28	0.31	-0.139	KAMT
29.243	40.319	-17.71	-6.52	0.31	0.35	-0.120	ERCT
29.238	40.917	4.91	-6.38	0.38	0.44	-0.132	YACT
29.145	40.909	3.26	-5.36	0.19	0.19	-0.070	DRGT
29.143	40.639	-12.36	-5.18	0.30	0.33	-0.161	CINA
29.131	40.098	-18.82	-8.85	0.11	0.11	-0.079	ULUT
29.118	40.852	2.75	-4.84	0.11	0.11	-0.060	BAD1

Çizelge C.3 : (devam) 2002-2009 yılları arası istasyonlara ait yatay hız değerleri

29.113	40.820	1.97	-3.96	0.17	0.18	-0.051	YANT
29.061	41.061	4.76	-5.83	0.1	0.1	-0.062	KANT
29.033	39.899	-19.02	-7.76	0.37	0.41	-0.109	BLOT
29.019	41.104	4.78	-6.11	0.09	0.09	-0.054	ISTA
28.882	40.481	-15.45	-6.73	0.28	0.30	-0.130	FIST
28.782	40.534	-12.59	-8.26	0.13	0.13	-0.055	BOZT
28.724	40.989	-1.88	-3.95	0.12	0.12	-0.063	AVCT
28.684	41.030	2.06	8.64	2.04	2.42	0.013	N103
28.672	41.057	-4.50	-7.29	1.94	2.47	-0.010	N107
28.660	40.985	4.63	-5.45	1.45	1.74	-0.097	N104
28.652	41.022	5.69	1.13	1.35	1.58	-0.100	N108
28.631	41.043	12.57	-3.21	2.76	3.34	-0.014	N110
28.616	41.026	8.83	1.09	2.40	2.89	-0.002	N102
28.615	40.996	5.68	-4.94	1.89	2.32	-0.086	N101
28.606	41.005	13.67	-8.60	1.91	2.28	0.014	N109
28.373	40.398	-15.70	-8.05	0.34	0.37	-0.173	YENN
28.365	41.052	4.13	-5.18	0.25	0.26	-0.152	SELP
28.333	40.265	-16.13	-8.29	0.10	0.10	-0.058	KART
27.962	40.967	4.26	-4.20	0.10	0.09	-0.059	MER1
27.906	39.722	-17.57	-10.00	0.45	0.48	-0.132	BALI
27.808	40.393	-13.79	-8.90	0.11	0.10	-0.055	ERDT
27.763	40.059	-16.53	-8.24	0.58	0.65	-0.174	KOCB
27.696	40.186	-13.56	-9.64	0.91	0.96	-0.035	ALAT
27.587	40.611	-12.38	-10.02	0.12	0.13	-0.049	MADT
27.563	40.083	-15.85	-11.06	0.87	0.90	-0.042	ATCT
27.424	39.785	-15.27	-11.46	0.33	0.36	-0.131	ALAN
27.301	40.381	-11.98	-10.78	0.30	0.34	-0.156	KABI
27.204	40.054	-14.10	-13.70	0.25	0.28	-0.131	ASMT
27.091	40.203	-12.67	-13.14	0.25	0.28	-0.145	BKCT
26.999	40.951	3.54	-5.88	0.14	0.15	-0.052	KRDT
26.880	40.396	-10.21	-11.77	0.29	0.33	-0.132	SEVK
26.871	40.601	-7.44	-9.50	0.39	0.44	-0.091	KVAK
26.706	40.739	0.54	-6.50	0.33	0.36	-0.124	DOKU
26.587	40.468	-7.75	-12.26	0.21	0.22	-0.051	YENT
26.570	40.932	4.82	-8.62	0.30	0.33	-0.140	BGNT
26.524	40.126	-13.32	-13.21	0.15	0.15	-0.051	ATHT
26.487	40.383	-10.51	-10.57	0.86	1.00	-0.084	TYFT
26.486	40.384	-8.59	-11.59	0.18	0.18	-0.048	TYF1

EK D. BLOK MODELLEME ÇALIŞMALARINA AİT ÇIKTILAR

Çizelge D.1 : r001 modelinde kullanılan bloklar ve düğümlerin koordinatları

Model No r001			
anad (Anadolu bloku)		avra (Avrasya bloku)	
Boylam (°)	Enlem (°)	Boylam (°)	Enlem (°)
32.99665	40.93043	25.15864	39.99092
32.31438	40.84003	25.52811	40.18154
31.95244	40.82270	26.25952	40.42414
30.85156	40.74761	27.49352	40.80028
30.25588	40.73028	28.09923	40.85121
29.74709	40.73489	28.88018	40.88968
29.18654	40.74238	29.18654	40.74238
28.88018	40.88968	29.74709	40.73489
28.09923	40.85121	30.25588	40.73028
27.49352	40.80028	30.85156	40.74761
26.25952	40.42414	31.95244	40.82270
25.52811	40.18154	32.31438	40.84003
25.15864	39.99092	32.99665	40.93043
25.15864	39.00318	32.97792	42.52000
32.92514	39.00318	25.15864	42.52000

Çizelge D.2 : r002 modelinde kullanılan bloklar ve düğümlerin koordinatları

Model No r002					
anad (Anadolu bloku)		avra (Avrasya bloku)		marm (Marmara bloku)	
Boylam (°)	Enlem (°)	Boylam (°)	Enlem (°)	Boylam (°)	Enlem (°)
32.99665	40.93043	25.15864	39.99092	25.15864	39.99092
32.31438	40.84003	25.52811	40.18154	25.52811	40.18154
31.59051	40.68407	26.25952	40.42414	26.25952	40.42414
30.88172	40.56277	27.49352	40.80028	27.49352	40.80028
30.01459	40.41836	28.09923	40.85121	28.09923	40.85121
29.22286	40.41836	28.88018	40.88968	28.88018	40.88968
28.13705	40.41259	29.18654	40.74238	29.18654	40.74238
27.71480	40.12955	29.74709	40.73489	29.74709	40.73489
26.74210	39.56925	30.25588	40.73028	30.25588	40.73028
25.57335	39.39019	30.85156	40.74761	30.85156	40.74761
25.24158	39.22268	31.95244	40.82270	31.95244	40.82270
25.23404	39.00318	32.31438	40.84003	32.31438	40.84003
32.92514	39.00318	32.99665	40.93043	32.31438	40.84003
		32.97792	42.52000	31.59051	40.68407
		25.15864	42.52000	30.88172	40.56277
				30.01459	40.41836
				29.22286	40.41836
				28.13705	40.41259
				27.71480	40.12955
				26.74210	39.56925
				25.57335	39.39019
				25.24158	39.22268

Çizelge D.3 : r003 modelinde kullanılan bloklar ve düğümlerin koordinatları

Model No r003					
anad (Anadolu bloku)		avra (Avrasya bloku)		marm (Marmara bloku)	
Boylam (°)	Enlem (°)	Boylam (°)	Enlem (°)	Boylam (°)	Enlem (°)
32.99665	40.93043	25.15864	39.99092	25.15864	39.99092
32.31438	40.84003	25.52811	40.18154	25.52811	40.18154
31.59051	40.68407	26.25952	40.42414	26.25952	40.42414
30.88172	40.56277	27.49352	40.80028	27.49352	40.80028
30.01459	40.41836	28.09923	40.85121	28.09923	40.85121
29.62249	40.18154	28.88018	40.88968	28.88018	40.88968
28.46129	40.12955	29.18654	40.74238	29.18654	40.74238
27.71480	40.12955	29.74709	40.73489	29.74709	40.73489
26.74210	39.56925	30.25588	40.73028	30.25588	40.73028
25.57335	39.39019	30.85156	40.74761	30.85156	40.74761
25.24158	39.22268	31.95244	40.82270	31.95244	40.82270
25.23404	39.00318	32.31438	40.84003	32.31438	40.84003
32.92514	39.00318	32.99665	40.93043	31.59051	40.68407
		32.97792	42.52000	30.88172	40.56277
		25.15864	42.52000	30.01459	40.41836
				29.62249	40.18154
				28.46129	40.12955
				27.71480	40.12955
				26.74210	39.56925
				25.57335	39.39019
				25.24158	39.22268

Çizelge D.4 : r004 modelinde kullanılan bloklar ve düğümlerin koordinatları

Model No r004							
burs (Bursa bloku)		anad (Anadolu bloku)		avra (Avrasya bloku)		marm (Marmara bloku)	
Boylam (°)	Enlem (°)	Boylam (°)	Enlem (°)	Boylam (°)	Enlem (°)	Boylam (°)	Enlem (°)
28.13705	40.4126	32.99665	40.93043	25.15864	39.99092	25.15864	39.99092
29.22286	40.4184	32.31438	40.84003	25.52811	40.18154	25.52811	40.18154
30.01459	40.4184	31.59051	40.68407	26.25952	40.42414	26.25952	40.42414
29.62249	40.1815	30.88172	40.56277	27.49352	40.80028	27.49352	40.80028
28.46129	40.1295	30.01459	40.41836	28.09923	40.85121	28.09923	40.85121
27.71480	40.1295	29.62249	40.18154	28.88018	40.88968	28.88018	40.88968
		28.46129	40.12955	29.18654	40.74238	29.18654	40.74238
		27.71480	40.12955	29.74709	40.73489	29.74709	40.73489
		26.74210	39.56925	30.25588	40.73028	30.25588	40.73028
		25.57335	39.39019	30.85156	40.74761	30.85156	40.74761
		25.24158	39.22268	31.95244	40.82270	31.95244	40.82270
		25.23404	39.00318	32.31438	40.84003	32.31438	40.84003
		32.92514	39.00318	32.99665	40.93043	31.59051	40.68407
				32.97792	42.52000	30.88172	40.56277
				25.15864	42.52000	30.01459	40.41836
						29.22286	40.41836
						28.13705	40.41259
						27.71480	40.12955
						26.74210	39.56925
						25.57335	39.39019
						25.24158	39.22268

Çizelge D.5 : r002 modeli komut dosyası

```
# 1999 depremleri oncesi modelleme çalışması

# modelleme sırasında yapılan kabuller
FL: +dgt +ddc +wcv +wdr +inf +pen
      dgt: artık yamulma ve dönme değerlerin hesabı
      ddc: faylar boyunca düğümlerdeki phi değerlerinin
      aşağıya doğru azalması
      wcv: modelleme sırasında oluşturulan kovaryans
      matrisin dosyaya yazdırılması
      wdr: modelleme sırasında oluşturulan ikincil matrisin
      dosyaya yazdırılması
      inf: MODL_info. out dosyasının oluşturulması (fay
      parçacıklarına ait detaylar)
      pen: iterasyon sonuçlarının ekrana yazılması

# minimum ve maksimum değerlerin tanımlanması
PM: 6 5 20
PM: 7 25 30
      PM: N minimum değer maksimum değer
      N= 6 (minimum kilitlenme derinliği) 5-20 km
      N= 7 (maksimum kilitlenme derinliği) 25-30 km

# Model dosyalarının isimleri
mo: r002

# PF - parameter dosyası
pf: "r002/pio" 3
      PF: dosya ismi N
      N= 3 (modelleme sırasında dosyadan oku ve dosyaya
      yaz)

# EM - model bölümünün sonu
em:
# GD - Green's fonksiyonlarınınait dosyalar için dizin, eşik değerleri ve
parametreler
gd: grn 5 3 0 1 1 1000.
      GD: dizin ismi - X eşik değeri - W eşik değeri - dx_düğüm -
      x_yakın - x_uzak
      X eşik değeri = fay parçacıklarının fay boyunca uzunluğu
      (km)
      W eşik değeri = fay parçacıklarının aşağıya doğru uzunluğu
      (km)
      dx_düğüm = Green's fonksiyon değerlerinin hesaplanması
      ile tolere edilebilecek yeni düğüm lokasyonu (km)
      x_yakın = aynı Green's fonksiyon değerlerini kullanan
      istasyonların yakınlığı (km)
      x_uzak = herhangi bir düğümden x_uzak değerinden uzak
      noktalar içinGreen's fonksiyon değerlerinin üretilmemesi
      (km)
```

Çizelge D.5 : (devam) r002 modeli komut dosyası

```
# FF - model hesaplamalarında eklenen veya çıkarılan faylar
ff: +1 +2
                                1 ve 2 numaralı faylar model hesaplamalarına
                                katılmıştır.

# NI - iterasyon sayısı
ni: 5

# RE - referans sistemi
RE: avra
                                referans olarak seçilen sistemin tanımı (avra = Avrasya)

# GP - GPS yatay hızlarını içeren dosya
gp: rash "GPS_turkey.dat" 1    1.0  0  0  0
                                GP: isim dosya ismi N F
                                isim = GPS hız dosyası için 4 karakterli bir kod
                                dosya = GPS yatay hızlarını içeren dosya ve dizini
                                N = hız alanı için kullanılacak olan kutup noktası
                                F = ölçek faktörü

# GS – En uygun grid parametrelerinin araştırılması
gs: 50 1 6 2
                                GS: grid adım sayısı - grid adımı - gridleme sayısı -
                                gridleme tipi
                                grid adım sayısı = grid adım sayısının sınırlandırılması
                                grid adımı = parameterlerin araştırılması adımı
                                gridleme sayısı = kaç kere gridleme yapılacağı
                                gridleme tipi = gradyan şeklinde
                                gridleme "simulated annealing" komutundan önce
                                gelmelidir.

# SA - "simulated annealing" kontrol değerleri
sa: 0.0 70 0.0 1.0
                                SA: T I A1 A2
                                T = sıcaklık değeri
                                I = iterasyon sayısı
                                A1, A2 = düğümler için minimum ve maksimum phi
                                değerleri
                                program gs ve sa parametrelerinin tanımlanması ile ters
                                çözüm yapabilmektedir.

# PR - profil tanımı
pr: 1 29.2 39.2 50 0.08 1.0 50
pr: 2 28.1 39.2 50 0.08 -25 50
                                PR: N Xo Yo M dx Az Hwdth
                                N = profil numarası
                                Xo = Başlangıç Boylam değeri (derece)
                                Yo = Başlangıç Enlem değeri (derece)
```

Çizelge D.5 : (devam) r002 modeli komut dosyası

	M = nokta sayısı dX = uzaklık (derece) Az: Azimut (derece, kuzeyden saat açısı yönünde) Hwdth = profil boyunca yarı genişlik (km)
# PO - Bloklar için Euler kutup başlangıç değerleri	
po: 1 0 0 0	
po: 2 30.7 32.6 1.2 (marm)	
po: 3 30.7 32.6 1.2 (anad)	
	PO: N Enlem Boylam Omega
#PI: Ters çözümde dengelemeye girecek blokların Euler kutup numaraları	
PI: 2 3	
	(2 ve 3 numaraları bloklara ait Euler pole değerleri ters çözüme girecek, 1 numara ise sabit alınacak)
#SI - Ters çözümde dengelemeye girecek yamulma hızları	
si: 2 3	
	(2 ve 3 numaraları bloklara ait yamulma hız değerleri ters çözüme girecek, 1 numara ise sabit alınacak)
# BL - Blok bilgileri	
bl: avra 1 1 avr15.blk	
bl: marm 2 2 mar15.blk	
bl: anad 3 3 ana15.blk	
	BL: Blok adı euler kutup no yamulma hız no blok geometrisi Blok adı = 4 karakterli blok ismi (avra, mam, anad) Euler kutup no = blok için PO'da tanımlanan euler kutup değerleri endeksi Yamulma hız no = blok için yamulma hız değerleri endeksi Blok geometrisi = blok geometrisini tanımlayan noktaların koordinatlarını içeren dosya adı
# GR - Grid parametreleri	
GR: 1 25.1 10 0.8 38.1 40 0.1	
	GR: N X_başlangıç X adım sayısı X_adım Y_başlangıç Y adım sayısı Y adım N = Grid endeks X_başlangıç = Başlangıç boylamı X adım sayısı = Adım sayısı X_adım = Adım değeri (derece) Y_başlangıç = Başlangıç enlemi Y adım sayısı = Adım sayısı Y_adım = Adım değeri (derece)

Çizelge D.5 : (devam) r002 modeli komut dosyası

# FA - Fay bilgileri	
FA: kuzeykol 1	
12 16 marm avra 1 1 0	
0.0	
25.52811	40.18154
26.25952	40.42414
27.49352	40.80028
28.09923	40.85121
28.88018	40.88968
29.18654	40.74238
29.74709	40.73489
30.25588	40.73028
30.85156	40.74761
31.95244	40.82270
32.31438	40.84003
32.99665	40.93043
zd: 2 89	
zd: 3 89	
zd: 4 89	
zd: 5 89	
zd: 6 89	
zd: 7 89	
zd: 8 89	
zd: 9 89	
zd: 11 89	
zd: 13 89	
zd: 16 89	
zd: 19 89	
zd: 22 89	
zd: 25 89	
zd: 30 89	
	FA: Fay adı Fay numarası
	Fay boyunca düğüm sayısı (12)
	Fay düzleminden aşağıya düğüm sayısı 16
	Tavan blok (marm)
	Taban blok (avra)
	Fay atım tipi (1 - 3 boyutlu)
	Aşağıya doğru kısıt (aşağıya doğru phi değerinin azalması)
	Ölçek (0 - uygulanmadı)
	ZD: fay yüzeyinde ve düşey yönde düğümlere ait koordinatlar
#FT - Fay düğümlerinin parametre tipi	
FT: 1 2	
	FT: Fay numarası tipi
	Fay numarası = 1
	Tipi = 2 (düğümlerdeki atım değerleri derinliğinin fonksiyonu olarak tanımlanır) Wang ve diğ., (2003)

Çizelge D.5 : (devam) r002 modeli komut dosyası

```
#PN - düğüm-derinlik-profil endeksi
PN: 1 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12
      PN: F I
      F = Fay numarası
      I = düğüm-derinlik-profil endeksi
      (1 numaralı faya ait 12 adet düğüm-derinlik-profil
      değerlerinin olduğunu ve bu değerlerin hepsinin
      birbirinden farklı olduğu belirtilmiştir.)

# PV - düğüm-derinlik-profil parametre değerleri
PV: 1 12
5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5
7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7
25 25 25 25 25 25 25 25 25 25 25 25
      PV: F N
      F = Fay numarası
      N = parametre değerlerinin sayısı
      Başlangıç değerleri (A=5, Z1=7, Z2=25)

# PX - düğüm-derinlik-profil sabit parametreleri
PX: 1 1
      PX : F I I
      F = Fay numarası
      I = sabit alınacak değişken (1=A)

FA: guneykol 2
9 16 marm anad 1 1 0
      0
32.31438 40.84003
31.59051 40.68407
30.88172 40.56277
30.01459 40.41836
29.22286 40.41836
28.13705 40.41259
27.71480 40.12955
26.74210 39.56925
25.57335 39.39019
zd: 2 89
zd: 3 89
zd: 4 89
zd: 5 89
zd: 6 89
zd: 7 89
zd: 8 89
zd: 9 89
zd: 11 89
zd: 13 89
zd: 16 89
zd: 19 89
```

Çizelge D.5 : (devam) r002 modeli komut dosyası

```
zd: 22 89
zd: 25 89
zd: 30 89

FT: 2 2

PN: 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9

PV: 2 9
5 5 5 5 5 5 5 5 5
7 7 7 7 7 7 7 7 7
25 25 25 25 25 25 25 25 25

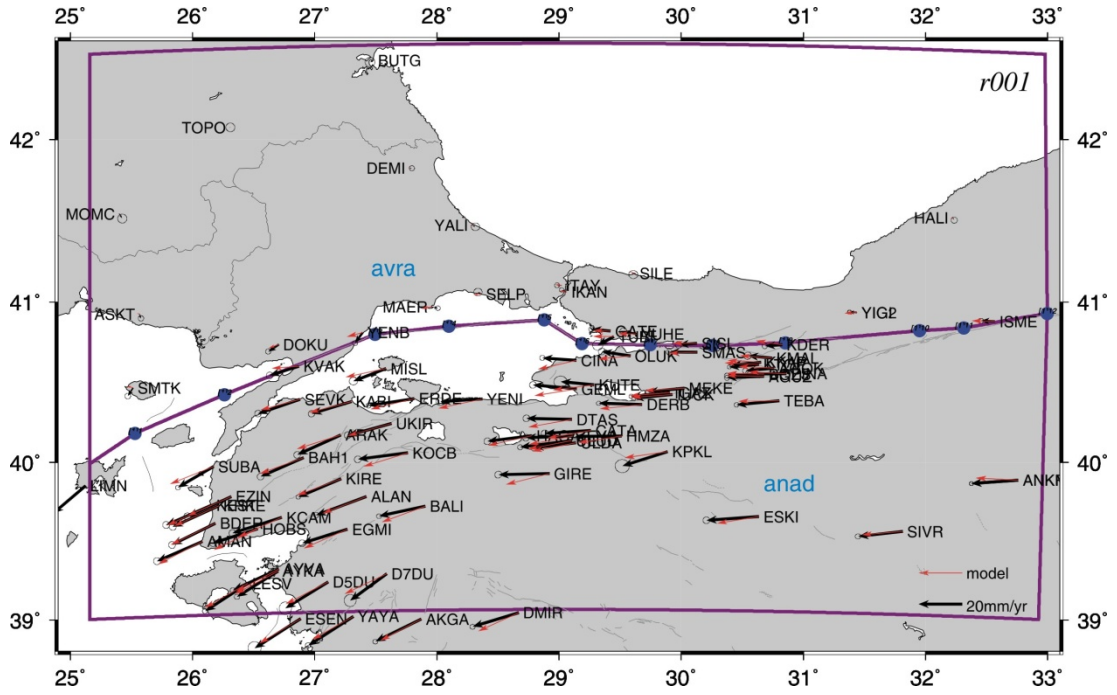
PX: 2 1

# EN - komut dosyasının sonu
en:
```

Çizelge D.6 : r005 modelinde kullanılan bloklar ve düğümlerin koordinatları

Model No r005

refe (Referans bloku)		anad (Anadolu bloku)		avra (Avrasya bloku)		marm (Marmara bloku)	
Boylam (°)	Enlem (°)	Boylam (°)	Enlem (°)	Boylam (°)	Enlem (°)	Boylam (°)	Enlem (°)
30.90000	42.52000	30.90000	40.56277	25.15864	39.99092	25.15864	39.99092
25.15864	42.52000	30.01459	40.84003	25.52811	40.18154	25.52811	40.18154
25.15864	41.90000	29.22286	40.68407	26.25952	40.42414	26.25952	40.42414
30.90000	41.90000	28.13705	40.56277	27.49352	40.80028	27.49352	40.80028
		27.71480	40.41836	28.09923	40.85121	28.09923	40.85121
		26.74210	39.56925	28.88018	40.88968	28.88018	40.88968
		25.57335	39.39019	29.18654	40.74238	29.18654	40.74238
		25.24158	39.22268	29.74709	40.73489	29.74709	40.73489
		25.23404	39.00318	30.25588	40.73028	30.25588	40.73028
		30.90000	39.00318	30.90000	40.74761	30.90000	40.74761
				30.90000	41.90000	30.90000	40.56277
				25.15864	41.90000	30.01459	40.41836
						29.22286	40.41836
						28.13705	40.41259
						27.71480	40.12955
						26.74210	39.56925
						25.57335	39.39019
						25.24158	39.22268



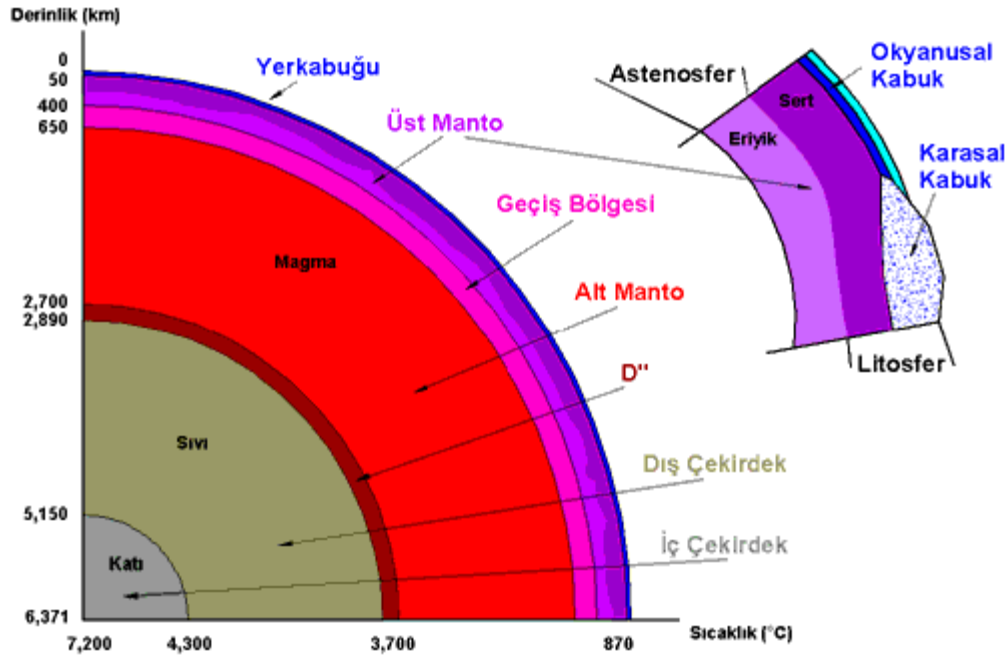
Şekil D.1 : 1999 depremleri öncesi dönem Marmara Bölgesi için iki bloklı model geometrisi (r001). Siyah renkli vektörler GPS veri işlem sonrası hızları (Çizelge B.1), kırmızı renkli vektörler model sonucu elde edilen hızları, mor renkli çizgiler blok sınırlarını, lacivert yuvarlaklar ise fayı tanımlayan düğümleri göstermektedir. (avra = Avrasya bloku, anad = Anadolu bloku)

EK E. TEZ KAPSAMINDA DEĞİNİLEN JEOFİZİKSEL KAVRAMLAR

Tez kapsamında bahsedilen temel jeofiziksel terimler bu bölümde açıklanmıştır.

Yerkürenin Yapısı

Temel tanımlamalara geçmeden önce yeryüzünün yapısına yönelik özellikler, kullandığımız parametreler/terimler bazında ele alınacaktır. Yerküremiz basit bir ifade ile, silikattan oluşmuş rijit bir kabuk (litosfer), yüksek viskoziteli bir manto (astenosfer), akışkan bir dış çekirdek ve katı halde bir iç çekirdekten oluşmaktadır (Şekil E.1). Deprem kırılma kabuk içinde oluşup, ortaya çıkan sismik enerji elastik dalgalar halinde tüm yerküre içinde ilerlemekere ve kırılma sonuncada ortaya çıkan statik yamulmalar mantoya kadar yayılmaktadır (Url-6). Jeodezik çalışmalarda, ölçülen büyüklük (hız veya yer değiştirme) uzun dönem yavaş (ideal durumda statik) deformasyonlar olup, Jeodezik açıdan, deprem davranışlarının incelenmesinde, kabuk ve manto olarak tanımlanan katmanların temel özelliklerinin belirlenmesini sağlamaktadır.

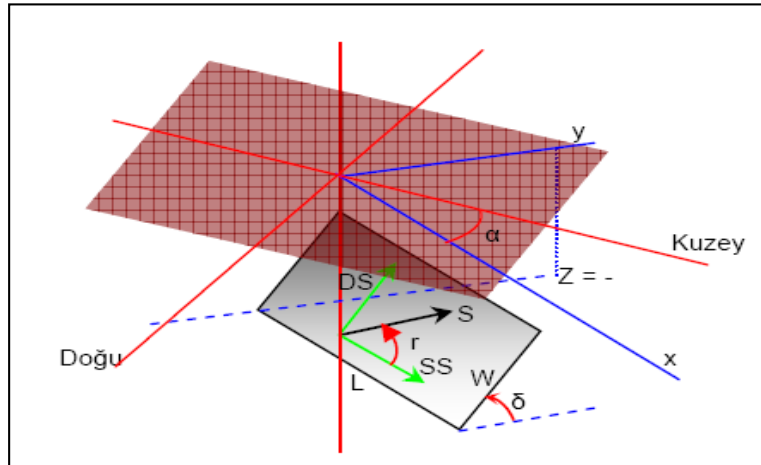


Şekil E.1 : Yerkürenin iç yapısının şematik gösterimi (Url-6)

Deprem kaynaklı yer deşiştirmelerin litosfer (katı) ve astenosferde (yılda cm mertebesinde hareket eden, üst mantodaki litosfere göre daha yumuşak ve akıcı kısım) baskın olarak görölmektedir. Yerkabuğu detayda kırılğan ve sünek iki kısım olarak ele alınmaktadır. Ülkemizde olan depremlerin odak derinliği (depremlerin kırılğan ortamda olduğu varsayılmaktadır) 12-15 km olduğuna göre, sismojenik kalınlık olarak adlandırılan bu kısım tam elastik modellemeye uygun ve kırılğan kısmı oluşturmaktadır. Bu kısım üst manto arasında kalan ve astenosfere göre daha kıvamlı (bir geçiş zonu olarak düşünölebilir), kolaylıkla deforme olabilen ama viskozitesi yüksek (ağdalı) kısım ise sünek kısım oluşturur. Basitleştirilmiş yaklaşımlarda, yüksek viskoziteden dolayı, bu kısım elastik üst kabuğa dahil edilirken, idealde viskozite özelliklerine göre incelenmelidir.

Okada analitik eşitlikleri ve Okada yaklaşımındaki fay geometrisinin tanımlanması

Bölüm 6'da detaylandırılan Okada yaklaşımının 6.5'de verilen matematiksel eşitliğinin analitik gösterimleri bu kısımda verilecektir (Okada, 1985). 6.5 eşitliğinin analitik gösteriminde şekil E.2'de verilen fay düzlemi ve koordinat sistemi esas alınmıştır.



şekil E.2 : Fay geometrisi ve kayma bileşen tanımları (s : kayma vektörü (GPS hız vektörü), δ : eğim açısı (*dip angle*), α : fay doğrultusunun azimutu (*strike*), d : fay düzleminin derinliği (modelleme sonucu kestirilen), L : fay düzleminin uzunluğu, W : fay düzleminin genişliği, SS : fay doğrultusu yönündeki kayma (*strike-slip*), DS : fay eğimi doğrultusunda kayma (*dip-slip*), x, y : fay doğrultusu ve ona dik koordinatlar, r : kayma vektörünün yönü (*rake*)) (Aktuğ ve Çelik, 2008).

6.5 eşitliğinin integrali ile yatay ve düşey atımların matematiksel ifadeleri E.1, E.2, E.3, E.4, E.5, E.6 eşitlikleri ile verilmektedir. Yanal atım için;

$$u_x = -\frac{U_1}{2\pi} \left[\frac{\xi q}{R(R+\eta)} + \tan^{-1} \frac{\xi \eta}{qR} + I_1 \sin \delta \right] \quad (\text{E.1})$$

$$u_y = -\frac{U_1}{2\pi} \left[\frac{y'q}{R(R+\eta)} + \frac{q \cos \delta}{(R+\eta)} + I_2 \sin \delta \right] \quad (\text{E.2})$$

$$u_z = -\frac{U_1}{2\pi} \left[\frac{d'q}{R(R+\eta)} + \frac{q \sin \delta}{(R+\eta)} + I_4 \sin \delta \right] \quad (\text{E.3})$$

eşitlikleri, düşey atım ise;

$$u_x = -\frac{U_2}{2\pi} \left[\frac{q}{R} + I_3 \sin \delta \cos \delta \right] \quad (\text{E.4})$$

$$u_y = -\frac{U_2}{2\pi} \left[\frac{y'q}{R(R+x')} + \cos \delta \tan^{-1} \frac{x'\eta}{(R+\eta)} + I_1 \sin \delta \cos \delta \right] \quad (\text{E.5})$$

$$u_z = -\frac{U_2}{2\pi} \left[\frac{y'q}{R(R+\xi)} + \sin \delta \tan^{-1} \frac{\xi \eta}{qR} - I_5 \sin \delta \cos \delta \right] \quad (\text{E.6})$$

eşitlikleri ile ifade edilmektedir (Aktuğ ve Çelik, 2008).

Reolojik modeller

Jeodezik veriler ışığında ortamın uzun dönem levha hareketlerine veya anlık depremler sonucu oluşan yüklere bağlı, zamanın fonsiyonu olarak tepki vermesi, şekil değiştirmeye zorlanması reolojik olarak ele alınır ve jeodezik veriler bu kapsamda temel veri setini oluşturur.

Doğadan alınan örneklerle uygulanan laboratuardaki yamulma/gerilme analizleri sonucu saptanan değişimlerin, elastik, plastik ve viskoz bileşenler içerdiği görülmektedir. Deneyler, gözlem ve ölçmelerle saptanan bu özelliklerin basit matematiksel modeller ile açıklanabildiği problemlerde, temel girdi zamanın fonsiyonu olarak ölçülen jeodezik değişimlerdir (hız, gerilme, tilt, gravitasyonel alan gibi).

Gerilmeye verilen tepkiye göre farklı reolojik modeller ve bu modelleri açıklayacak basit ideal modeller izleyen kısımda anlatılmıştır.

a) Elastik davranış bir yay veya lastik silgi ile örnekledirilebilir. Yay veya silgiye gerilme uygulanarak ortamda elastik yamulma birikimi sağlanır. Yay veya silgi üzerindeki gerilme kuvveti ortadan kaldırılırsa, zaman içinde hiç bir gecikme

olamadan her iki madde eski haline döner. Elastik ortamda, gerilme yamulma arasında lineer ilişki vardır.

b) Pore elastik davranışlar, sünger örneği ile açıklanabilir. Suyu doymuş bir süngeri sıkıp, sonra bırakırsak, sünger gözeneklerinde bulunan sıvı sebebi ile tam anlamıyla eski haline dönemez. Süngeri sıkarak uyguladığımız gerilmenin elastik olan kısmı değişikliğe neden olan gerilmenin kaldırılması ile ortadan kalkar. Fakat plastik olan kısım süngerin sıvı doygunluğu sebebi ile etkiyen kuvvetin ortadan kalkması ile birden eski haline dönemez. Özellikle fay zonları boyunca bulunan boşluk suyunun, deprem anındaki sıkışma sonucu gözeneği terk etmesi ve zaman içinde geri dönmesi ile bu davranış doğada örneklenebilir. Pore elastik davranışın esas alındığı modelleme çalışmalarında deprem sonrası meydana gelen yer değiştirme farklı iki Poisson oranı (ν) ile oluşturulmuş iki deprem anı modelin farkı olarak ifade edilebilir (Feigl ve Thatcher, 2006).

c) Viskoelastik davranışlar ise bal ve içindeki kaşık ile örneklenebilir. Bal içindeki kaşığın hareketi sürekli, geri dönüşümü olmayan ve ortama uygulanan etkiye gecikmeli (ortamın reolojik özelliklerinin fonksiyonu olarak) tepki veren bir yer değiştirmeye sebep olur. Bu tür yer değiştirmeler sünek alt kabuk ve/veya akıcı üst manto ile ilişkilendirilirler (Feigl ve Thatcher, 2006). Bu durumda gerilme ve yamulma arasında lineer bir ilişkiden sapma olmakta ve viskoz ortamın özelliklerine bağlı olarak bu sapma, Maxwell, Newton, Kelvin veya yüksek mertebeden lineer olmayan davranışlar göstermektedir (Hearn, 2003; Ranalli, 1987; Şekil E.3).

Çoğu yapıda maruz kalınan yükleme ve bu yüklemenin ortadan kalkması anlık olarak gerçekleşen olaylar değildir. Yamulmanın zamana bağlı olarak bir limit değere yaklaşması durumu Kelvin davranışı ile modellenebilir. Kelvin modelinde elastik ve viskoz elemanlar paralel olarak düzenlenmiştir (Şekil E.3a). Kelvin, malzemenin maruz kaldığı yükleme sonrasında viskoz tepki sebebi ile elastik tepkide yaşanan gecikmeyi ifade eder. Kelvin davranışında yamulma-gerilme arasındaki ilişki,

$$\varepsilon = \frac{\sigma_0}{2\mu_K} \left[1 - \exp\left(-\frac{\mu_K}{\eta_K} t\right) \right] \quad (\text{E.7})$$

matematiksel eşitliği ile ifade edilir. Kelvin modeli, Eşitlikte,

μ_K , Kelvin rijitlik sabitini,

η_K , Kelvin viskozite sabitini,

t , zamanı,

σ_0 , ilk gerilmeyi ifade etmektedir.

Maxwell ise elastik ve viskoz elemanların seri bağlanması ile oluşur. Bu modelde elastik ve viskoz tepki birlikte gerçekleşir (Şekil E.3b). Maxwell modelinin matematiksel ifadesi ise,

$$\varepsilon = \frac{\sigma_0}{2\mu_M} + \frac{\sigma_0}{2\eta_M} t \quad (\text{E.8})$$

şeklindedir. Eşitlikte,

μ_M , Maxwell rijitlik sabitini,

η_M , Maxwell viskozite sabitini,

t , zamanı,

σ_0 , ilk gerilmeyi ifade etmektedir.

Kelvin ve Maxwell elemanlarının seri bağlanması ise Burgers modelini oluşturur. Yükleme kaldırıldığında, öncelikle anlık elastik tepki ve elastik tepkiyi izleyen zaman bağımlı (kısa dönem) geçici krip davranışı izlenir. Elastik tepkinin ardından ise uzun dönem lineer viskoz tepki devam eder (Şekil E.3c). Bu model ise,

$$\varepsilon = \frac{\sigma_0}{2\mu_2} + \frac{\sigma_0}{2\mu_1} \left[1 - \exp\left(-\frac{\mu_1}{\eta_1} t\right) \right] + \frac{\sigma_0}{2\eta_2} t \quad (\text{E.9})$$

ile ifade edilir. Eşitlikte;

μ_1 , Kelvin rijitlik sabitini,

μ_2 , Maxwell rijitlik sabitini,

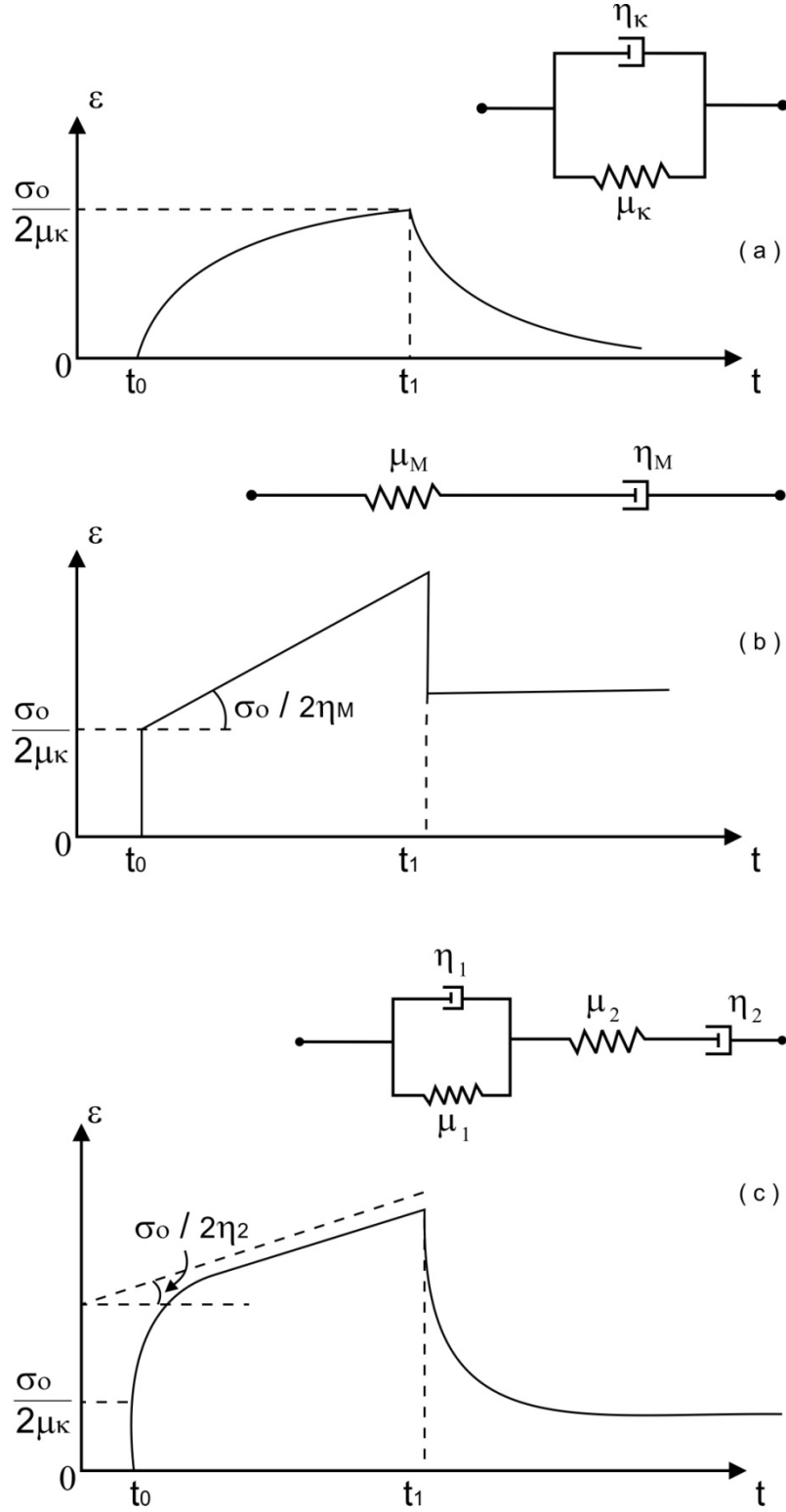
η_1 , Kelvin viskozite sabitini,

η_2 , Maxwell viskozite sabitini,

t , zamanı,

σ_0 , ilk gerilmeyi ifade etmektedir.

Viskoelastik ortam, viskoz ve elastik reolojiden oluşur. Deprem döngüsü için oluşturulan viskoelastik modellerde depremin meydana geldiği elastik bir tabaka ve altında bir veya birden fazla viskoelastik katmanlar kullanılır.



Şekil E.3 : Reolojik modeller ve yamulma-zaman grafikleri (σ_0 = ilk gerilme)
a) Kelvin (η_K = Kelvin viskozite, μ_K = Kelvin rijitlik sabiti), b)
Maxwell (η_M = Maxwell viskozite, μ_M = Maxwell rijitlik sabiti, c)
Burgers (η_1 = Kelvin viskozite, μ_1 = Kelvin rijitlik sabiti, η_2 =
Maxwell viskozite, μ_2 = Maxwell rijitlik sabiti) (Ranalli, 1987).

Relaxation (Rahatlama) model

Relaxation (rahatlama) modeli, zaman bağımlı doğrusal olmayan deformasyonların ortamın reolojik özelliklerine bağlı olarak, basitleştirilmiş fonksiyonlar ile tanımlanmasını sağlar. Modelde kullanılan fonksiyonlar aşağıda sıralanmıştır:

- 1- “*Güç fonksiyonu*” esas alan model, artçı sarsıntıların azalımı ile ilişkilidir ve fay zonu boyunca hareketin sürekli olduğu varsayılır.
- 2- “*Logaritmik fonksiyonu*” esas alan model fay zonu boyunca sürtünmeye bağlı olarak hareketin azalması ile tanımlanır (Marone ve diğ., 1991).
- 3- “*Eksponansiyel fonksiyonu*” esas alan model ile viskoelastik etkiler tanımlanır (Shen ve diğ., 1994; Savage ve Svarc, 1997).

Zaman bağımlı Relaxation (rahatlama) model,

$$\varepsilon = \varepsilon_0 + DR(t, \tau) + \dot{\varepsilon}t \quad (\text{E.10})$$

eşitliği ile ifade edilir.

Eşitlikte,

ε_0 , deprem sonrasında istasyon koordinatı,

D , ortamın reolojik özelliklerine bağlı olarak rahatlama genliği (Ranalli, 1987),

$R(t, \tau)$, Rahatlama modelinin tanımı (güç, logaritmik, eksponansiyel),

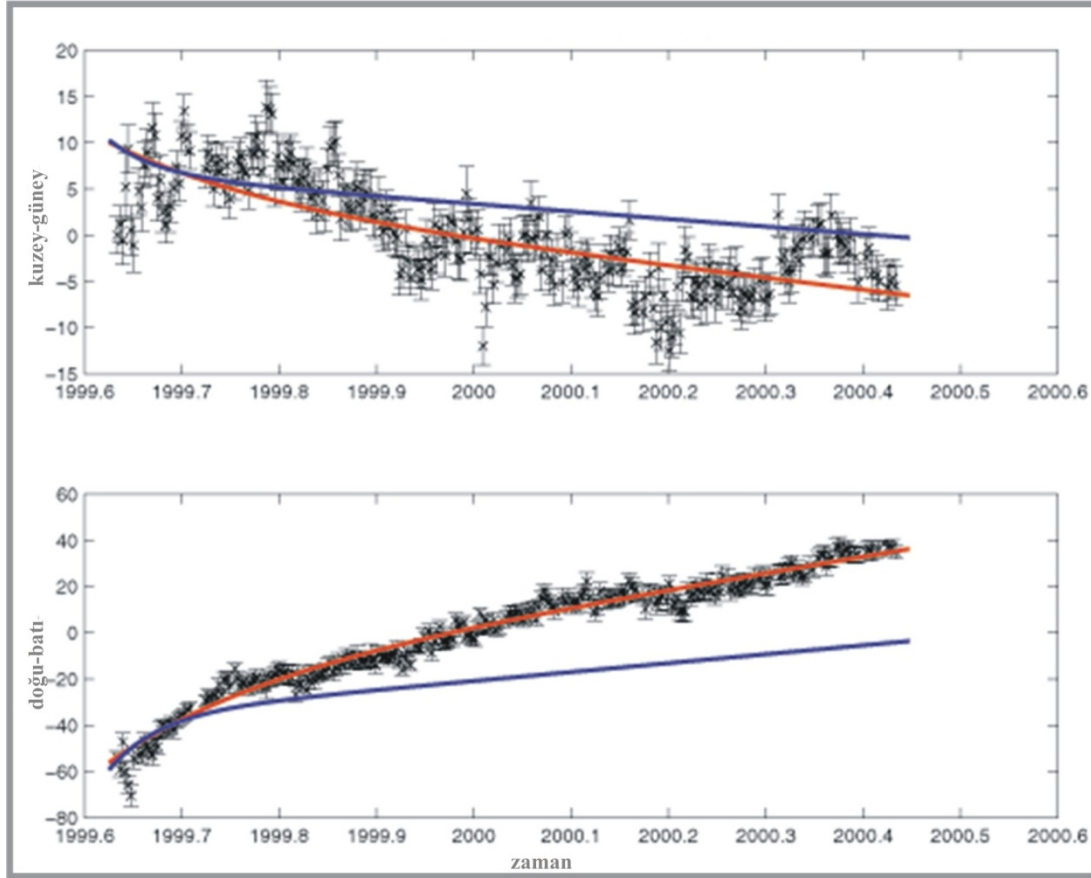
τ , Rahatlama zamanı

$\dot{\varepsilon}$, deprem öncesi lineer, durağan hız ile tanımlanır (Ergintav ve diğ., 2002).

Rahatlama genliği (D), kabuğun ve üst mantonun reolojisine ve gözlem alanının uzaysal boyutunun fiziksel özelliklerine bağlı olup, ortamdaki gerilme boşalımının fonksiyonu ve deprem sonrası ortamın etkisi olarak ifade edilir (Ergintav ve diğ., 2002). Rahatlama zamanı ise yüksek ivmeli deformasyonların azalarak sistemin dengeye gelmesi beklenen zamanı temsil etmektedir. Kabuğun reolojisine bağlı olarak, veride birden fazla rahatlama zamanı saptanabilir. Örneğin, 1999 İzmit depremi için 6.5 yıllık bir zaman aralığında 3 adet rahatlama zamanı kestirilmiştir (Ergintav ve diğ., 2009).

Rahatlama modeli için Ergintav ve diğ., (2002)’de yayınlanmış bir zaman serisi örnek olarak Şekil E.4’te verilmiştir. Şekil E.4’te 1999 İzmit depremi sonrası kurulan

BEST istasyonuna (Bölüm 5.3) ait zaman serisi ve bu zaman serisi ile oluşturulan ekspanansiyel ve logaritmik rahatlama modelleri gösterilmektedir (Bölüm 7.2). Yakın alanda her iki modelin arasında ki ayrımın az olduğu görülmektedir. Uzun dönemdeki farklılık ise uzun dönem hızlara yönelik bir kısıt getirilmemesinden kaynaklanmaktadır. Hızlara kısıt getirildiğinde bu ayrım miktarı doğal olarak azalacaktır.



Şekil E.4 : BEST istasyonuna ait deprem sonrası zaman serisi. Kırmızı renkli eğri ekspanansiyel rahatlama modelini, mavi renkli eğri ise logaritmik rahatlama modelini ifade etmektedir. Uzun dönem hız için, modelleme yapılırken, bilinen bir değer kullanılarak kısıt uygulanmamış ve serbest parametre olarak kestirilmiştir.

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Rahşan ÇAKMAK

Doğum Yeri ve Tarihi: OF 1975

Adres: TÜBİTAK MAM, Yer ve Deniz Bilimleri Enstitüsü Gebze/KOCAELİ

Lisans Üniversitesi: İstanbul Teknik Üniversitesi, Jeodezi ve Fotogrametri
Mühendisliği, 1997

Yüksek Lisans Üniversitesi: İstanbul Teknik Üniversitesi, Jeodezi ve Fotogrametri
Mühendisliği, 2001

Yayın Listesi:

- Ergintav, S., McClusky, S., Hearn, E. H., Reilinger, R. E., **Çakmak, R.**, Herring, T., Özener, H., Lenk, O., and Tari, E., 2009, Seven years of postseismic deformation following the 1999, M=7.4 and M=7.2, Izmit-Düzce, Turkey earthquake sequence, *Journal of Geophysical Research*, doi:10.1029/2008JB006021.
- Ergintav, S., Doğan, U., Gerstenecker, C., **Çakmak, R.**, Belgen, A., Demirel, H., Aydın, C. and Reilinger, R., 2007, A snapshot (2003-2005) of the 3D postseismic deformation for the 1999, Mw= 7.4 Izmit earthquake in the Marmara Region, Turkey, by first results of joint gravity and GPS monitoring. *Journal of Geodynamics*, Vol. 44, pp. 1-18.
- Reilinger, R., McClusky, S., Vernant, P., Lawrence, S., Ergintav, S., **Çakmak, R.**, Özener, H., 2006, GPS constraints on continental deformation in the Africa-Arabia-Eurasia continental collision zone and implications for the dynamics of plate interactions, *Journal of Geophysical Research*, Vol. B05411, p. 111.
- Doğan, U., Ergintav, S., Demirel, H., **Çakmak, R.**, Özener, H., 2003, Estimation of the Time-Dependent Crustal Movements of the İzmit Earthquake, *Journal of Geodynamics*, V. 36, pp. 615-632.
- Ergintav, S., Bürgmann, R., McClusky, S., **Çakmak, R.**, Reilinger, R. E., Lenk, O., Barka, A., Özener, H., 2002, Postseismic Deformation near the İzmit Earthquake (17 August 1999, M 7.5) Rupture Zone, *Bulletin of the Seismological Society of America*, v. 92, n.1, pp. 194-207.
- Reilinger, R. E., Ergintav, S., Burgmann, R., McClusky, S., Lenk, O., Barka, A., Gurkan, O., Hearn, L., Feigl, K., **Çakmak, R.**, Aktug, B., Ozener, H., Toksoz, M. N., 2000, Coseismic and postseismic fault slip for the 17 August 1999, M=7.5, Izmit, Turkey earthquake, *Science*, V. 289, p. 1519-1524.

- Ergintav, S., McClusky, S., Hearn, E., Reilinger, R., **Çakmak, R.**, Özener, H., Tarı, E., Six years of post-seismic deformation for the 1999, M=7.4, and M=7.1, İzmit/Düzce Turkey earthquake sequence, *International Geo-Hazards Research Symposium*, March, 9-11, 2009, İstanbul.
- İnan, S., Ergintav, S., Tüzel, B., İravul, Y., Saatçılar, R., Seyis, C., **Çakmak, R.**, Tan, O., Şimşek, Ş., Ertekin, K., Dikbaş, A., Yörük, A., Yakan, H., Kulak, F., Multi-Disciplinary Earthquakes Researches in Turkey: Geochemical precursors of earthquakes occurring in different tectonic regimes, *International Geo-Hazards Research Symposium*, March, 9-11, 2009, İstanbul.
- Ergintav, S., McClusky, S., Hearn, E., Reilinger, R., **Çakmak, R.**, Özener, H., Tarı, E., Seven years of post-seismic deformation for the 1999, M=7.4, and M=7.1, İzmit/Düzce Turkey earthquake sequence, *62. Türkiye Jeoloji Kurultayı*, April, 13-17, 2009, Ankara.
- Ergintav, S., McClusky, S., Hearn, E., Reilinger, R., **Çakmak, R.**, Özener, H., Tarı, E., Eight years of post-seismic deformation for the 1999, M=7.4, and M=7.1, İzmit/Düzce, Turkey Earthquake sequence, *WEGENER 2008*, Technische Universität Darmstadt, September, 15-18, 2008, Darmstadt.
- Özener, H., Doğru, A., Turgut, B., **Çakmak, R.**, Arpat, E., Ergintav, S., Study on deformation of Eastern Turkey by GPS data, *WEGENER 2008*, Technische Universität Darmstadt, September, 15-18, 2008, Darmstadt.
- Ergintav, S., **Çakmak, R.**, Belgen, A., İnan, S., 1999, M=7.4, ve M=7.1, İzmit/Düzce, Türkiye deprem serisine ait son 7 yıl içinde gözlenen deprem sonrası deformasyonların analizi, *18. Uluslararası Jeofizik Kongre ve Sergisi*, MTA Kültür Merkezi, 14-17 Ekim, 2008, Ankara.
- İnan, S., Ergintav, S., Saatçılar, R., Tüzel, B., İravul, Y., **Çakmak, R.**, Özel, N., Tatar, O., Gürsoy, H., Çetin, H., İmamoğlu, M., Kavak, O., Akçiğ, Z., Ergin, M., Utku, M., Polat, O., Eral, M., Saç, M., Altunel, E., Doğru, M., Aksoy, E., Şimşek, Ş., Önal, A., Önal, A., Eyidoğan, H., Akyüz, S., Kara, V., Bodur, M., Kop, A., Doğan, U., Demirel, H., Türkiye'nin deprem riski yüksek -ancak tektonik rejimleri farklı- bölgelerinde deprem davranışının çok disiplinli yöntemlerle araştırılması Projesi, *18. Uluslararası Jeofizik Kongre ve Sergisi*, MTA Kültür Merkezi, 14-17 Ekim, 2008, Ankara.
- Altın, M., Yavaşoğlu, H., Tarı, E., Baykal, O., **Çakmak, R.**, Erden, T., Ergintav, S., Erturaç, M., İnce, C., Karaman, H., Tarı, U., Tüysüz, O., Yanalak, M. GPS measurements on the Western Marmara segment of North Anatolian Fault, *International Workshop in Comparative Studies of the NAF and the San Andreas Fault*, İTÜ Maslak Campus, 14 August 2006, İstanbul.
- Özener, H., Garagon Doğru, A., Halıcıoğlu, K., Ergintav, S., **Çakmak, R.**, Arpat, E. Deformation kinematics of Eastern North Antolian Fault by geodetic data, *AGU Fall Meeting*, 11-15 December, San Fransisco, CA.
- Ergintav, S., Doğan, U., Gerstenecker, C., Demirel, H., **Çakmak, R.**, Aydın, C., Belgen, A., Tiede, C., Erenoğlu, C., Monitoring of recent crustal movements in the Marmara region, Turkey, using GPS and gravity abservations, *European Geosciences Union General Assembly 2005*, Vienna International Center, 24-29 April 2005, Austria.

- Demirel, H., Ergintav, S., Doğan, U., Gerstenecker, C., Aydın, C., **Çakmak, R.**, Belgen, A., Tiede, C., Long-term crustal deformation monitoring by GPS and gravity in the Marmara region, NW Turkey. *International Symposium on the Geodynamics of Eastern Mediterranean*, Kadir Has Üniversitesi, 15-18 June 2005, İstanbul.
- Ergintav, S., Doğan, U., **Çakmak, R.**, Belgen, A., Tapırdamaz, M. C., The early phase of postseismic crustal deformations following 2002 Afyon Sultandağı (Mw=6.3) and 2003 Bingöl (Mw=6.4) earthquakes by GPS observations, *International Symposium on the Geodynamics of Eastern Mediterranean*, Kadir Has Üniversitesi, 15-18 June 2005, İstanbul.
- İnan, S., Seyis, C., Baş, M., Duran, K., Karaoğlu, H., Karabulut, H., Gümüş, S., Yakan, H., Akar, S., **Çakmak, R.**, Kurt, L., Kafarov, R., Continuous monitoring of spring waters and radon gas activity in the Marmara region (NW Turkey), 4. *Dresden Symposium*, Dresden Blockhaus, 26-30 September 2005, Germany.
- **Çakmak, R.**, Doğan, U., Ergintav, S., Belgen, A., Arslan, N., Aydın, C., İnan, S., Demirel, H., 2003, Monitoring Tectonic Deformations in the Marmara Region by Data Acquired Along Two GPS Profiles, *Workshop on the North Anatolian and East Anatolian and Dead Sea Fault*, ODTU, Ankara, 31 Ağustos - 12 Eylül, 2003.
- Ergintav, S., Reilinger, R., **Çakmak, R.**, McClusky, S., Hearn, E., Lenk, O., Evren, E., Özener, O., Geodetic constraints on the earthquake deformation cycle along the western North Anatolian fault: Implications for earthquake mechanics and seismic hazards, *2003 EGS-AGU-EUG Joint Assembly*, Nice/Fransa, Nisan 2003.
- Ergintav, S., McClusky, S., **Çakmak, R.**, Lenk, O., Özener, H., Evren, E., Hearn, E., Reilinger, R. E., Geodetic Constraints on the Earthquake Deformation Cycle Along the Western North Anatolian Fault: Implications for Earthquake Mechanics, *Workshop on the North Anatolian and East Anatolian and Dead Sea Fault*, ODTU, Ankara, 31 Ağustos - 12 Eylül, 2003.
- İnan, S., Seyis, C., Ergintav, S., Saatçılar, R., Görür, N., Canan, S., Belgen, A., Kafarov, R., **Çakmak, R.**, Karakaş, D., Çetin, S., Akar, S., Kurt, L., Yakan, H., Baş, M., Cuff, K., 2003, A search for possible precursors of earthquake activity in the Marmara region (NW Turkey), *EGS-AGU-EUG Joint Assembly*, Nice, Fransa, Nisan 2003.
- İnan, S., Seyis, C., Görür, N., Ergintav, S., Saatçılar, R., Baş, M., Cuff, K., Karakas, D., Yakan, H., Akar, S., Belgen, A., **Çakmak, R.**, Kurt, L., Canan, S., Kafarov, R., Çetin, S., Radon Gas Activity: A Possible Earthquake Precursor in the Marmara Region (NW Turkey). *1st International Workshop on Earthquake Prediction*, Athens-Greece, 5-7 November, s. 39, 2003.
- Bürgmann, R., Reilinger, R. E., Ergintav, S., Hearn, L., Ayhan, E. M., Barka, A., Lenk, O., **Çakmak, R.**, Gürkan, O., Yalçin, M. N., Modeling Coseismic and Postseismic Fault Slip and Stress Transfer for the Izmit-Düzce Sequence. Integration of Earth Sciences Research on the 1999 Turkish and Greek Earthquakes and Needs for Future Cooperative Research. (NATO Advanced Research Seminar), May 14-17, İstanbul, p. 112, 2000.
- Ergintav, S., Reilinger, R. E., Bürgmann, R., McClusky, S., Heran, L., Barka, A., Lenk, O., **Çakmak, R.**, Gurkan, O., Yalçin, M. N., Veis, G., Geodetic Constraints on Coseismic and Postseismic Fault Slip and Lower Crustal Relaxation for the

Izmit Earthquake, *Integration of Earth Sciences Research on the 1999 Turkish and Greek Earthquakes and Needs for Future Cooperative Research. (NATO Advanced Research Seminar)*, May 14-17, İstanbul, p. 94, 2000.

- Ergintav, S., Bürgmann, R., Reilinger R.E., McClusky, S., Hearn, L., **Çakmak, R.**, Barka, A., Lenk, O., Gurkan, O., The Continuous GPS Monitoring of the İzmit Rupture Zone, *Fault Interaction By Stress Transfer: New Horizons For Understanding Earthquake Occurrence*, June 17-23, Erice/Sicilya-İtalya, 2000.
- Yalçın, M. N., Aktar, M., **Çakmak, R.**, Ergin, M., Ergintav, S., Özalaybey, S., Implications of The İzmit Earthquake (17 August 1999; MW= 7.4) on the Seismotectonics of the Marmara Region, *Geology 2000, Geologische Vereinigung E.v.*, April 14-18, Viyana-Avusturya, p.140, 2000.
- Ergintav, S., Aktug, B., Barka, A., Burgmann, R., **Çakmak, R.**, Gürkan, O., Hearn, E., Herring T., Meteris H., Ocak, M., Reilinger, R., Yalçın, N., Early Observations of Post-Seismic Deformation following the August 17, 199, M=7.4, İzmit, Turkey Earthquake, *AGU 1999 Fall Meeting*, December 13-17, San Francisco, 1999.
- Özkan, A., Tarı, E., **Çakmak, R.**, Ergintav, S., MAGNET Sürekli GPS İstasyonlarının dönemsel etkiler açısından kampanya GPS ölçmelerine katkıları, *12. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, 11-15 Mayıs, 2009, Ankara.
- Ergintav, S., **Çakmak, R.**, Belgen, A., İnan, S., 1999, M=7.4, ve M=7.1, İzmit/Düzce, Türkiye deprem serisini izleyen 7 yıl içinde deprem sonrası deformasyonların analizi, *Aktif Tektonik Araştırma Grubu (ATAG) 12. Çalıştay*, MTA Akçakoca Eğitim ve Dinlenme Tesisleri, 13-14 Kasım, 2008, Düzce.
- Ergintav, S., **Çakmak, R.**, Belgen, A., 17.08.1999 İzmit depremini izleyen 7 yıl içinde oluşan yamulma birikimlerinin güncel jeodezik veriler ile değerlendirilmesi, *Aktif Tektonik Araştırma Grubu (ATAG) 10. Toplantısı*, Dokuz Eylül Üniversitesi, 02-04 Kasım 2006, İzmir.
- Ergintav, S., Doğan, U., Gerstenecker, C., **Çakmak, R.**, Belgen, A., Tiede, C., Demirel, H., Aydın, C. GPS ve gravite gözlemleri yardımı ile Marmara Bölgesindeki üç boyutlu deformasyon değişimlerinin belirlenmesi, *Aktif Tektonik Araştırma Grubu (ATAG) 9. Toplantısı*, Cumhuriyet Üniversitesi, 22-24 September 2005, Sivas.
- **Çakmak, R.**, Ergintav, S., Reilinger, R., McClusky, S., Hearn, E., Meade, B., Lenk, O., Özener, H., Jeodezik Yöntemlerle Marmara Bölgesinde Deprem Döngüsünün izlenmesi, *Aktif Tektonik Araştırma Grubu (ATAG) 8. Toplantısı*, Fırat Üniversitesi, Elazığ, 22-24 Eylül, 2004.
- İnan, S., Seyis, C., Akar, S., **Çakmak, R.**, Gafarov, R., Ergintav, S., Saatçılar, R., Kurt, L., Yakan, H., Yakupoğlu, G., Çeleme, M., Tan, E., Çetin, S., Canan, S., Belgen, A., Baş, M., Duran, K., Karaoğlu, H., Karabulut, H., Gümü, S., Sismik Aktivite Öncesi Kabuktaki Radon Gazı Hareketi: İlişkiyi kontrol eden Parametreler ve Ölçüm Tekniğini Geliştirme Çalışmaları, *Aktif Tektonik Araştırma Grubu (ATAG) 8. Toplantısı*, Fırat Üniversitesi, Elazığ, 22-24 Eylül, 2004.
- **Çakmak, R.**, Ergintav, S., Belgen, A., Canan, S., Kurt, L., Marmara Bölgesi Sürekli GPS Gözlem Ağı (MAGNET)'nın Güncel Durumu, *Tektonik ve Jeodezik Ağlar Çalıştay*, Ekim 10-12, 2002, İznik.

- Doğan, U., Demirel, H., Ergintav, S., **Çakmak, R.**, Ozener, H., Ayhan, E., Reilinger, R. E., Barka, A., 17 Ağustos 1999 İzmit Depremine İlişkin Deformasyon Parametrelerinin Kestirimi, *Tektonik ve Jeodezik Ağlar Çalıştayı*, Ekim 10-12, 2002, İzmit.
- Ergintav, S., **Çakmak, R.**, Bürgmann, R., McClusky, S., Reilinger, R.E, Lenk, O., Barka, A., Özener, H., Marmara Bölgesi'ndeki Lineer Olmayan Zamansal ve Uzaysal Deformasyonların MAGNET ile İzlenmesi, *Tektonik ve Jeodezik Ağlar Çalıştayı*, Ekim 10-12, 2002, İzmit.
- **Çakmak, R.**, Ergintav, S., Burgmann, R., McClusky, S., Reilinger, R. E., Lenk, O., Barka, A., Özener, H., Marmara Bölgesi'nde Yapılan GPS çalışmalarının ve MAGNET'in Son Durumu, *Aktif Tektonik Araştırma Grubu (ATAG) 6. Toplantısı*, MTA, Kasım 21-22, 2002, Ankara.
- İnan, S., Seyis, C., Ergintav, S., Baş, M., Saatçılar, R., Cuff, K., Görür, N., Canan, S., Belgen, A., Karakaş, D., Akar, S., Kurt, L., Kafarov, R., **Çakmak, R.**, Çetin, S., Yakan, H., Marmara Bölgesinde sismik aktivite habercisi olabilecek bazı ön bulguların araştırılması, *Aktif Tektonik Araştırma Grubu (ATAG) 6. Toplantısı*, MTA, Kasım 21-22, 2002, Ankara.
- Yavaşoğlu, H., Baykal, O., Bilgi, S., **Çakmak, R.**, Erden, T., Ergintav, S., İnce, C. D., Karaman, H., Tari, E., Tari, U., Tüysüz, O., Kuzey Anadolu Fayının Orta Anadolu Bölümünün GPS Ölçmeleri ile Güncel Tektonik Özelliklerinin Belirlenmesi, *Aktif Tektonik Araştırma Grubu (ATAG) 6. Toplantısı*, MTA, Kasım 21-22, 2002, Ankara.
- Ergintav, S., Bürgman, McClusky, S., R., **Çakmak, R.**, Reilinger, E. R., Lenk, O., Barka, A., Gurkan, O., 2000, İzmit Depremi (17.08.1999, Mw=7.4) Sonrası Oluşan Zaman Bağımlı Deformasyonların GPS ile izlenmesi. *Aktif Tektonik Araştırma Grubu (ATAG) 4. Toplantısı*, Kasım 16-17, 2000, Eskişehir, p. 16.
- Ergintav, S., **Çakmak, R.**, Burgmann, R., Reilinger, R. E., McClusky, S., Barka, A., Lenk, O., Gurkan, O., Yalcin, M. N., Marmara Bölgesi'ndeki Deprem Riskinin Uydu Destekli Küresel Konumlama Sistemi (GPS) ile İncelenmesi, *Marmara'da Deprem ve Jeofizik Toplantısı (TMMOB Jeofizik Mühendisleri Odası)*, Haziran 28, 2000, İstanbul, p.17.