



TÜRKİYE BİLİMSEL VE
TEKNİK ARAŞTIRMA KURUMU

THE SCIENTIFIC AND TECHNICAL
RESEARCH COUNCIL OF TURKEY

1997-807

**KUZEY ANADOLU FAYI BATI KESİMİNDE
KABUK HAREKETLERİ: JEODEZİK
ÖLÇÜMLER VE JEOFİZİK YORUMLARI**

PROJE NO : İNTAG 910

İnşaat Teknolojileri Araştırma Grubu

Construction Technologies Research Grant Committee

1997-807

**KUZEY ANADOLU FAYI BATI KESİMİNDE
KABUK HAREKETLERİ: JEODEZİK
ÖLÇÜMLER VE JEOFİZİK YORUMLARI**

PROJE NO : İNTAG 910

PROF. DR. S.METE NAKİBOĞLU
DOÇ. DR. MEHMET EMİN AYHAN
COŞKUN DEMİR
ALİ KILIÇOĞLU
İLHAN ŞANLI

ODTÜ
İnşaat Müh. Bölümü

67. sayfa
Ref- 60

AĞUSTOS 1998
ANKARA

ÖNSÖZ

Anadolu plakası ve çevresinde bulunan tektonik plakaların yatay hareketlerini belirlemek amacıyla Global Konumlama Sisteminin(GPS) uluslararası ortak projeler kapsamında ülkemizde kullanıma girmesi 1988 yılında gerçekleşmiştir. Başlangıçta bütünüyle yabancı araştırma kurumlarının (Massachusetts Institute of Technology, A.B.D., Institute für Angewandte Geodesie, Almanya, ETHZ, İsviçre, v.b) kontrolunda yürütülen GPS çalışmaları Türkiye genelinde ve belirli bölgelerde yoğunlaşmış yatay kabuk hareketlerini belirlemeye yönelik ortak projeler gerçekleştirilmiştir. GPS donanım ve yazılımı ile ilgili teknolojinin Türkiye'ye transferinden sonra 1995 yılında Kuzey Anadolu Fayının (KAF) batı kesiminde mevcut triyagülasyon ağı noktalarından sağlam olanlar arasından seçilenlerden oluşan bir GPS ağı ölçülmüştür. Bu ölçüler ve 1992-1998 yılları arasında ulusal ve uluslararası ortak projeler kapsamındaki tekrarlı GPS ölçülerinin birlikte değerlendirilerek KAF'ın batı kesimindeki karmaşık tektonik yapıya sahip bölgede yer kabuğu deformasyonunu incelenmesi bu araştırma projesinin konusunu oluşturmaktadır. Bu projenin hayata geçirilmesi Harita Genel Komutanlığınca triyagülasyon ve GPS ölçülerinin kullanıma sunulması, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Jeodezi Ana Bilim Dalı Öğretim Görevlilerinin gerek GPS ölçülerinin değerlendirilmesi gerekse mekanik modelleme konusundaki bilgi birikimi ve Tübitak'ın finans desteği ile sağlanabilmiştir. Bu araştırma projesine katkıda bulunan kişi, kurum ve kuruluşlar teşekkür ederiz.

İÇİNDEKİLER

| | <u>Sayfa No.</u> |
|--|------------------|
| ÖNSÖZ | I |
| İÇİNDEKİLER | II |
| TABLoların LİSTESİ | III |
| ŞEKİLLERİN LİSTESİ | IV |
| ÖZ | VII |
| ABSTRACT | VIII |
| 1. GİRİŞ | 1 |
| 2. YERSEL VE GPS ÖLÇÜLERİ İLE YATAY DEPLASMAN BELİRLENMESİ | 3 |
| 2.1. Yersel (Triangülasyon) Ağ ve Dengelenmesi | 3 |
| 2.2. GPS Ölçüleri ve Değerlendirme | 12 |
| 2.3. Yersel ve GPS Ölçülerinin Birleştirilmesi | 18 |
| 3. TEKRARLI GPS ÖLÇÜLERİNDEN NOKTA HIZLARININ BELİRLENMESİ | 24 |
| 3.1. GPS Kampanya Ölçüleri | 24 |
| 3.2. Triangülasyon Noktalarında GPS Hızlarının Kestirimi | 27 |
| 4. DEFORMASYON ANALİZİ | 30 |
| 4.1. Inter-sismik Deformasyon analiz modeli | 30 |
| 4.2. KAFZ İsmetpaşa-Adapazarı Arasında İnter-simik Deformasyon | 37 |
| 4.3. Ko-sismik Deplasmanlar | 48 |
| 4.4. KAFZ Batı Ucunda Deformasyon Analizi | 54 |
| 5. SONUÇ VE ÖNERİLER | 61 |
| 6. KAYNAKLAR | 66 |

TABLolarIN LİSTESİ

Tablo 2.1. Her evre ölçü planında bulunan nokta sayısı ve yersel ölçülerin dağılımı

Tablo 2.2. 7 nci poligon noktalarında gerçekleştirilen GPS ölçü planı

Tablo 2.3 : Yersel ve GPS ölçülerinden DYNAP yazılımı ile elde edilen 55 yıllık deplasmanlar (datum noktaları 7084 ve 7213). d_e doğu-batı bileşen, d_n kuzey-güney bileşen.

Tablo 3.1. GPS Kampanyaları. Parantez içindeki değerler değerlendirilen nokta sayılarını göstermektedir.

Tablo-3.2. Tekrarlı GPS ölçülerinden elde edilen hızlar. Datum noktaları 7084 ve 7213. v_e , v_d sırasıyla doğu-batı ve kuzey-güney yönlü deformasyon hızları.

Tablo 4.1. Çalışma bölgesindeki GPS noktalarına ait bilgiler.

Tablo 4.2. Fay hattı tanımlayıcı bilgileri. S_i , fay hattı parçası, (e, n) Lambert düzlem koordinatlarıdır. * Parantez içindekiler fay uzunlukları sonlu alındığındaki değerlerdir.

Tablo 4.3. Fay hattı geometrisi ve uygun rijid hareket hızı. D_i , fay parçası başlangıç noktası derinliğidir. * Fay parçaları sonlu uzunlukta.

Tablo 4.4. Inter-sismik dönemde blokların rijid blok hareketleri ve fay hatları boyunca kaymalar. s_i , S_i fay parçaları boyunca kaymadır. m_r ve s ler mm/yıl birimindedir.

Tablo 4.5. Çalışma bölgesini etkileyen depremler ile ilgili bilgiler . Ambraseys-Zatopek (1969), Ambraseys (1970), McKenzie (1972), Dewey (1976), Jackson-Mckenzie (1944 ; 1988), Barka-Kadinsky (1988), Westaway (1994), Barka(1996), Vakov (1996)'dan derlenmiştir.

Tablo 4.6. Ko-sismik dislokasyon modellemesinde kullanılan fay parametreleri.

Tablo 4.7. Beş ve sekiz fay düzlemlili dislokasyon çözümlerinde bulunan toplam ko-sismik deplasman bileşenleri ve farklar.

Tablo 4.8. Farkların istatistikleri

Tablo 4.9. İsmetpaşa'da asismik kaymanın zamanla değişimi.

Tablo 4.10. Residual deplasmanlar, residual ve ko-sismik deplasman farkı.(metre biriminde)

Tablo 4.11. Ko-sismik modellemede kullanılan değiştirilmiş parametreler.

Tablo 4.12. Residual deplasmanlar, yeni tanımlana fay modeli bulunan ko-sismik residualar ve ko-sismik deplasman farkı.(metre biriminde)

SEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil 2.1. Kuzey Anadolu Fayı batı kesimini kapsayan ve projede değerlendirilen 7 nci poligon ve GPS ağı noktaları. Şekilde kalın çizgiler diri fay izlerini göstermektedir.

Şekil 2.2.a. 7 nci poligonda 1936-1943 yılları arasında gerçekleştirilen yafay doğrultu ve klasis baz ölçüleri. Dolu çizgiler her iki yönde gözlenen doğrultuları, kesikli çizgiler ise tek yönde gözlenen doğrultuları göstermektedir.

Şekil 2.2.b. 7 nci poligonda 1944-1950 yılları arasında gerçekleştirilen yatay doğrultu ve klasik baz ölçüleri.

Şekil 2.2.c. 7 nci poligonda 1951-1956 yılları arasında gerçekleştirilen yatay doğrultu ölçüleri.

Şekil 2.2.d. 7 nci poligonda 1957-1966 yılları arasında gerçekleştirilen yatay doğrultu ölçüleri.

Şekil 2.2.e. 7 nci poligonda 1967-1992 yılları arasında gerçekleştirilen yatay doğrultu ve EDM ölçüleri.

Şekil 2.3.a. 7 nci poligonda tanı dengelemesi ile elde edilen kuzey ve doğu yönünde koordinat standart sapmaları (birimler cm dir).

Şekil 2.3.b. 7 nci poligonda tanı dengelemesi ile elde edilen nokta konum hataları, 1 σ düzeyinde. (birimler cm dir.).

Şekil 2.4. 7 nci poligon noktalarında 1995 yılında gözlenen GPS ağı.

Şekil 2.5. GPS nokta koordinatlarının (kuzey, doğu, yukarı) günlük tekrarlıkları. (cm biriminde).

Şekil 2.6.a. DYNAP yazılımı ile elde edilen deplasmanlar. Güven elipsleri %95 olasılık düzeyindedir. (7214 ve 7135 datum noktası).

Şekil 2.6.b. DYNAP yazılımı ile elde edilen deplasmanlar. Güven elipsleri %95 olasılık düzeyindedir. (7084 ve 7213 datum noktası).

Şekil 2.7.a. FONDA yazılımı ile elde edilen deplasmanlar. Güven elipsleri %95 olasılık düzeyindedir. (7214 ve 7135 datum noktası).

Şekil 2.7.b. FONDA yazılımı ile elde edilen deplasmanlar. Güven elipsleri %95 olasılık düzeyindedir. (7084 ve 7213 datum noktası).

Şekil 2.8.a. GLOBK yazılımı ile elde edilen deplasmanlar. Güven elipsleri %95 olasılık düzeyindedir. (7214 ve 7135 datum noktası).

Şekil 2.8.b. GLOBK yazılımı ile elde edilen deplasmanlar. Güven elipsleri %95 olasılık düzeyindedir. (7084 ve 7213 datum noktası).

Şekil 3.1. 1992-1998 yıllarında gerçekleştirilen GPS ölçü kampanyalarının birleştirilmesi ile elde edilen hız alanı. Güven elipsleri %95 olasılık düzeyindedir.

Şekil 3.2. 1992-1998 yıllarında gerçekleştirilen GPS ölçü kampanyalarının birleştirilmesi ile elde edilen hız alanının çalışma bölgesini kapsayan bölümü. Güven elipsleri %95 olasılık düzeyindedir.

Şekil 3.3. Ölçü noktalarında elde edilen farklar(residual). Güven elipsleri %95 olasılık düzeyindedir.

Şekil 3.4.a. 7 nci poligon ortak (yersel ve GPS) noktalarında interpolate edilen hızlar. Güven elipsleri %95 olasılık düzeyindedir.

Şekil 3.4.b. 7 nci poligon ortak (yersel ve GPS) noktalarında interpolate edilen hızların 7084 - 7213 datumundaki görüntüsü. Güven elipsleri %95 olasılık düzeyindedir.

Şekil 4.1. Blok sınırı civarında inter-sismik dönemde yüzey deplasmanı ve deformasyonu. Şekilde romen rakamlar, I ve II, blokları göstermektedir. Şekiller gevrek bölgede tamamen kilitli (a-i) ve kısmen kilitli(b-i) olan fay civarındaki yüzey deformasyonlarını göstermektedir. Bloklar rijid olarak Δ kadar hareket etselerdi yüzey deplasmanları (a-ii) ve (b-ii)'de gösterildiği gibi olacaktı. s kısmen kilitli gevrek bölgenin asismik kayması, Δ fay hattı boyunca rijid hareket deplasmanı . (a). Gevrek bölge tam kilitli. (b). Gevrek bölge kısmen kilitli ve s kadar asismik kayma (creep) var.

Şekil 4.2. Biri sabit diğeri hareketli iki blok ve iki fay hattı için koordinat sistemleri. S_i , fay hatları, (x_i, y_i) S_i için tanımlanan koordinat sisteminin yatay eksenleri , içi dolu kareler hızı bilinen ölçü noktasıdır.

Şekil 4.3. Okada(1985) dislokasyon modeli parametreleri ve fay geometrisi.

Şekil 4.4. $\delta = 90^\circ$ için fay geometrisi.

Şekil 4.5. Çalışma bölgesinde tekrarlı GPS ölçüleri ile hızları bulunan noktalar ve hızları.

Şekil 4.6. İnter-sismik deformasyon analizinde oluşturulan fay düzlemi modeli. 1, .. , 7 fay düzlemlerinin numarası, p_i , $i = 1, \dots, 7$ fay düzlemi başlangıç noktaları.

Şekil 4.7. Kestirilen parametreler ile ölçü noktalarında hesaplanan hızlar;(a) 4 blok, 7 fay, sonsuz uzunluk;(b) 4 blok, 7 fay, sonlu uzunluk; (c) 3 blok, 5 fay, sonsuz uzunluk; (d) 3 blok, 5 fay, sonlu uzunluk.

Şekil 4.8. Hesaplanan değerlerin ölçü değerlerinden farkları;(a) 4 blok, 7 fay, sonsuz uzunluk;(b) 4 blok, 7 fay, sonlu uzunluk; (c) 3 blok, 5 fay, sonsuz uzunluk; (d) 3 blok, 5 fay, sonlu uzunluk.

Şekil 4.9. 1994-1997 yıllarında proje bölgesi ve çevresinde mikro depremlerin dağılımı (Deprem Araştırma Dairesi, 1998).

Şekil 4.10. Fay düzlemlerinin geometrisi, bölge içinde dağılımı ve deprem episenturlarının şematik gösterimi. Episentırlar; AB Abant, AD Adapazarı, Ba Bartın, BG Bolu-Gerede, KR Kurşunlu, MU Mudurnu. Fay düzlemleri; 1 Bolu-Gerede doğu fay düzlemi, 2 Bolu-Gerede batı fay düzlemi, 3 Abant fay düzlemi, 4 Mudurnu doğu fay düzlemi, 5 Mudurnu batı fay düzlemi, 6 Adapazarı fay düzlemi, 7 Bartın fay düzlemi, 8 Kurşunlu fay düzlemidir.

Şekil 4.11. Toplam ko-sismik deplasmanlar: (a) Bolu-Gerede, Abant, Mudurnu, Adapazarı, Bartın ve Kurşunlu depremlerini temsil eden sekiz fay düzlemi ile çözüm sonuçları; (b) Bolu-Gerede, Abant ve Mudurnu depremlerini temsil eden beş fay düzlemi ile çözüm sonuçları.

Şekil 4.12. (a) Residual deplasman, (b) Residual ile ko-sismik deplasman farkı (5 düzlem), (c) Residual ile ko-sismik deplasman farkı (8 düzlem). (metre biriminde).

Şekil 4.13. (a) Yeni tanımlanan fay parametreleri ile hesaplanan ko-sismik deplasmanlar, (b) Residual ve yeni hesaplanan ko-sismik deplasman farkları. (metre biriminde).

ÖZ

Kuzey Anadolu Fay zonu(KAFZ)'nun batı kesiminde güncel yatay kabuk hareketlerini incelemek amacıyla, 1940 yılında kurulan triyagülasyon ağı'nın 25 ortak noktasını kapsayan bölümü 1995 yılında GPS ile bir kez daha gözlenmiştir. GPS ölçüsü yapılan noktaların oluşturduğu ağ, Anadolu ve Avrasya tektonik plakaları sınır bölgesinde yaklaşık $25 \times 10^3 \text{ km}^2$ genişliğinde bir alanı kapsar. GPS ağı fidutial ağ stratejisi izlenerek ITRF94 koordinat sisteminde, duyarlı yörünge bilgileri ile Asya ve Avrupa'da seçilen 7 IGS istasyonundaki eşzamanlı ölçüler kullanılarak dengelenmiştir. GPS ile bulunan yatay koordinatların tekrarlılıkları 15 mm 'nin altındadır. Triyagülasyon ölçüleri GPS ile aynı koordinat sisteminde ve iki noktanın GPS koordinatları sabit tutularak dengelenmiştir. Dengeli triyagülasyon ve GPS koordinatları karşılaştırılarak belirlenen görelî deplasmanların büyüklükleri 3 m ile birkaç cm arasında değişmektedir. Belirlenen deplasmanların doğruluğu 25 cm civarında olup bu hata çoğunlukla triyagülasyon ağı ölçülerinden kaynaklanmaktadır. Kestirilen deplasmanlar Anadolu plakasının rijid blok hareketinden anlamlı olarak farklılık gösteren batıya doğru hareketini ortaya çıkarmaktadır. Bu görelî deplasmanlar, rijid blok hareket ve ko-sismik ve/veya asismik bileşenlerden oluşan plaka sınırı deformasyonlarının bir kombinasyonu olarak düşünülebilir.

Triyagülasyon noktaları ile çakışık olmayan, çalışma bölgesinde dağılmış 40 noktadan oluşan bir GPS ağı uluslararası ortak projeler kapsamında 1992-1998 yıllarında ölçülmüş ve yukarıda açıklanan duyarlı konumlama tekniği kullanılarak yeniden değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme sonunda bulunan hız alanı katı blok hareket ve asismik deformasyonun toplam etkisini ortaya koymaktadır. Ölçü dönemi içinde fay kırığı oluşturacak büyüklükte önemli depremler vuku bulmadığından ko-sismik deformasyon sözkonusu değildir. Bulunan hız alanı, bir elastik yarı-uzay'da ters dislokasyon varsayılarak en küçük karelerle ters çözüm uygulanarak modellenmiştir. Ters çözümde Anadolu plakasının Avrasya plakasına göre hızı için en iyi kestirim değeri 25 mm/yıl bulunmuştur. Çalışma bölgesinin batısında yer alan Armutlu bloğunun Anadolu plakası ile birlikte hareket ettiği gözükmekte, ancak bölgenin ortasında bulunan Almacık bloku yaklaşık 15 mm/yıl hızda rijid hareket yaparken aynı zamanda yavaş biçimde saat yönünde dönme hareketi sergilemektedir. İsmetpaşa - Bolu fay parçası ve KAFZ'nun Sapanca-İzmit arasında uzanan kuzey kolu sırasıyla 7.6 ve 14 mm/yıl anlamlı asismik kayma göstermektedir. Mudurnu vadisi ve Mekece - İznik doğrultusunda uzanan güney kol boyunca fayların kilitli olduğu gözükmektedir.

Triyagülasyon ve GPS ölçüleri ile 1940-1995 arasında bulunan deplasmanlar 1992-1998 arasındaki GPS hızları ile birlikte değerlendirilerek çalışma bölgesinde 1940-1995 arasında toplam ko-sismik deplasman hesaplanmıştır. Hesaplanan bu ko-sismik deplasmanlar, 1944 Bolu-Gerede($M_s = 7.6$), 1957 Abant ($M_s = 7.1$) ve 1967 Mudurnu ($M_s = 7.2$) depremlerinden kaynaklanan kuramsal ko-sismik deplasmanlar ile karşılaştırılmıştır. Hesaplanan ve kuramsal ko-sismik deplasman farkları sistematik karakterde olup Gerede yakınında metre değerine ulaşmaktadır. Bu durumu yalnızca ölçü hataları ile açıklamak olanaklı olmayıp elastik deformasyon kuramının bölgeye uymaması ve/veya fay kırıkları ile ilgili değerlerin gerçeğinden daha küçük ölçülmüş olabileceğinin bir göstergesi olarak düşünülebilir.

ABSTRACT

Contemporary horizontal crustal motion in the western part of the North Anatolian Fault Zone (NAFZ) is investigated utilizing 25 common points of a triangulation network established in 1940s and a GPS network observed in 1995. The common network, extending about 25×10^3 km², covers the boundary zone of the Anatolian and Eurasian tectonic plates. The GPS network is adjusted on the ITRF94 reference frame using precise orbital information and simultaneous observations to 7 precisely known IGS stations in Europe and Asia within the fiducial network strategy. The repeatabilities of the horizontal coordinates are below about 15 mm. The triangulation observations are also adjusted on the same datum by holding the GPS coordinates of two stations as fixed. A comparison of triangulation and GPS coordinates yields the relative displacements in the area ranging from 3.0 m to a few cm with uncertainties of about 25 cm emanating predominately from the triangulation errors. The estimates reveal a westward drift of the Anatolian plate which deviates significantly from a rigid body motion. The relative displacements may be viewed as a combination of rigid body motion and plate boundary deformations which may incorporate co-seismic and/or aseismic components.

A cooperative international GPS network covering the same area with 40 different stations observed annually from 1992 to 1998 is re-processed using the precise positioning techniques outlined above. The resulting velocity field reveals the combined effects of rigid body motion and aseismic deformation but no co-seismic deformation as there were no major earthquakes, resulting in fault rupture in the region during this period. The resulting velocity field is modeled using a least squares inversion assuming screw dislocations in an elastic half-space. The best estimate of the velocity of Anatolia relative to Eurasia is found to 25 mm/yr Armutlu Block in the west of the area appears to be moving together with Anatolia, but Almacik Block in the center of the region exhibits a rigid translation of about 15 mm/yr superposed onto a slow clockwise rotation. The fault segments Ismetpasa- Bolu and Iznik- Sapanca exhibit significant aseismic creep with rates of 7.5 and 14 mm/yr respectively. The Mudurnu Valley and Mekece - Iznik segments of the fault appear to be locked.

The triangulation - GPS displacement field is combined with the 1992-1998 GPS velocities to yield estimates of total co-seismic creep between 1940 and 1995. These estimates are compared with the theoretical estimates of the combined co-seismic displacements due to 1944 Bolu-Gerede ($M_s = 7.6$), 1957 Abant ($M_s = 7.1$) and 1967 Mudurnu Valley ($M_s = 7.2$) earthquakes. The discrepancies show some systematic character and reach nearly a meter around Gerede. These can not be explained solely by the observation errors, and they may be indicative of the limitations of elastic dislocation theory for the region and/or considerable underestimation of fault ruptures.

GİRİŞ

Anadolu plakasının hareket ve deformasyonunu belirleyen en önemli etken Arap ve Afrika plakalarının Avrasya'ya göre kuzey batı ve kuzey yönlerinde hareketleridir (McKenzie, 1970; Jackson ve McKenzie, 1988; Reillinger v.d., 1997). Arap plakasının bu hareketi ve Güney Doğu Anadolu Bindirme Zonu boyunca bindirmesi sonucu Anadolu plakası Kuzey Anadolu (KAFZ) ve Doğu Anadolu (DAFZ) fay zonları boyunca yanal hareketlerle batıya doğru hareket ile bu sıkışma zonundan uzaklaşmaktadır. Bu fay zonlarının doğusunda kalan blok ise oluşan yoğun sıkışmayı kısmen kuzey- kuzey doğu yönünde hareket ve kısmen de aynı yönde kılma ile karşılamaktadır (Reillinger v.d., 1997).

Afrika plakasının hareketinin etkisi ise daha ziyade Batı Anadolu ve Ege'de görülmektedir. Helen Afrika plakası Helen Arki ve muhtemelen de Kıbrıs Arki boyunca daha hafif kıtasal litosferden oluşan Avrasya ve Anadolu plakalarının altına batmaktadır. Afrika plakasının Helen Arki boyunca batma hızı, Afrika ve Avrasya plakalarının yaklaşma hızından daha büyük ve Helen Arki'nin da Avrasya'ya göre güney yönünde hareketli olması Ege'de Ark Gerisi Havzası (Back Arc Basin) oluşturmaktadır (Jackson ve McKenzie, 1988; Wdowinski v.d., 1989; LePichon v.d., 1995; Reillinger v.d., 1997). Bu nedenlerle Batı Anadolu'da güney batı ve Ege'de ise güney yönünde bir gerilme ve esneme görülmektedir.

Tektonik plakaların rijid bloklar olarak hareket etmedikleri ve deformasyona da uğradıkları artık bilinmektedir. Yoğun ve güçlü okyanus litosferi plakasının deformasyonu sadece plaka sınırı bölgesi içinde kalmakta, buna karşılık Avrasya ve Anadolu plakaları gibi kıta litosferi plakalarının deformasyon davranışları tam olarak bilinmemektedir. Kıtasal litosferin deformasyon davranışını izah için önerilen Mikro-plaka ve Sürekli Ortam görüşlerinden hangisinin geçerli olduğu bilinmemektedir. Bu sorunun cevabı ise plakaları hareket ettiren kuvvetlerin anlaşılması bakımından büyük önem taşımaktadır. Kıtasal plaka deformasyonunu belirlemek için en uygun yöntem bölgesel fakat seyrek jeodezik ağları lokal ve yoğun ağlarla birleştirmek olarak gözükmektedir.

Günümüzde Çok Uzun Bazlı Entereferometre (Very Long Baseline Interferometry, VLBI), Uydu Laser Mesafe Ölçümü (Satellite Laser Ranging, SLR) ve Global Konumlama Sistemi (Global Positioning System, GPS) gibi hassas uzay jeodezik yöntemlerle yatay kabuk hareketleri doğrudan gözlenebilmektedir. Bu tekniklerle elde edilen hassas fakat kısa süreli kapsayan kinematik bilgiler çok daha uzun süreli jeolojik verileri tamamlamaktadır. Bu uzay jeodezik yöntemlerle yatay koordinatlarda 10^{-8} düzeyinde bağıl konumlama hassasiyeti elde edilebilmektedir. Bunlardan GPS ekonomik, pratik ve hızlı bir teknik olması nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır. Anadolu plakasının Avrasya'ya göre bağıl hareketi SLR (Noomen v.d. (1994)) ve GPS (Reillinger v.d., 1997) teknikleriyle ana hatlarıyla belirlenmiştir. SLR çalışmaları Anadolu plakası üzerinde bulunan sadece 3 nokta içerdiğinden detaylı bilgi içermemektedir. Reillinger v.d. (1997) nin 62 nokta içeren GPS çalışmaları ise Anadolu plakasının Avrasya'ya göre rijit hareket hızını ($\phi = 29.4^\circ$, $\lambda = 32.8^\circ$) kutbu etrafında ve 1.16 ± 0.08 o/My (milyon yıl) olarak belirlemiştir. Bu açısal hız Anadolu'nun Avrasya'ya göre KAFZ boyunca doğrusal hızını 26 ± 2 mm/yıl olarak vermektedir. Yine bu çalışmada Batı Anadolu ve Ege'nin plaka hareketine ilave olarak kuzey-güney doğrultusunda 14 ± 5 mm/yıl hızında bir esneme sergilediğini göstermektedir. Bu tür geniş kapsamlı fakat plaka deformasyonu detaylarını içermeyen çalışmalar daha yoğun lokal çalışmalarla tamamlanabilir.

Ana hatları çizilen bu genel görünüm içerisinde KAFZ Anadolu ve Avrasya tektonik plakalarının sınır bölgesini teşkil eden, genelde sağ yanal atılımlı yaklaşık 1000 km uzunluğunda bir fay zonudur (Barka- Kadinsky-Cade, 1988). Bu fay zonu 26.12.1939 Erzincan depremi ($M=7.9$) ile başlayan ve zamanla batıya geçerek 22.7.1967 Mudurnu Vadisi ($M=7.1$) depremi ile batıya ulaşan bir seri büyük depremlere sahne olmuştur. Anadolu plakasının Avrasya plakasına göre KAFZ boyunca yaklaşık batı yönünde hareketi bu depremselliğin esas nedenidir. Fay zonu boyunca meydana gelen bu depremlerdeki ko-sismik kaymaların doğudan batıya gidildikçe azalmakta olduğu bilinmektedir. KAFZ boyunca fay hattındaki ani yön değişiklikleri ve ofsetler gibi geometrik faktörlerin de etkisiyle kompleks bir deformasyon paterni görülmektedir. Anadolu plakasının göreceli hareketi sadece sözü edilen bu ko-sismik atılımlarla değil asismik kayma (fault creep) olarakta sağlanmaktadır. Fay zonunun pek çok kesiminde her iki deplasman tipi bir arada görülebilmektedir. Ko-sismik atılımların büyük olduğu kesimlerde plaka hareketinden artta kalan kısmın asismik fay kayması şeklinde oluşması bekleneceğinden KAFZ doğu kısımlarında fayın kilitli olacağı ve dolayısıyla asismik kaymaların küçük olacağı düşünülebilir. Arap plakasının bindirme etkisiyle doğuda oluşan sıkışma kuvvetinin de katkısıyla fay friksiyonunun daha yüksek olacağı aşikardır. Bu genel davranış içerisinde fay geometrisinden kaynaklanan lokal farklılıklar da gözlenmektedir.

Yukarda da belirtildiği gibi batıya gidildikçe Anadolu plakasının stres rejimi değişmekte, Batı Anadolu ve Ege'de çekme kuvveti esas olmaktadır. Bu değişikliğin Orta - Batı Anadolu arasında bir geçiş zonu içinde yavaş bir şekilde gerçekleşmesi gerekir. Bu proje kapsamındaki çalışma alanı KAFZ'nun bahsedilen bu geçiş zonunu kapsayan $29^{\circ}30'$ ve $33^{\circ}30'$ boylamları arasında , yani yaklaşık Adapazarı - İsmetpaşa arasında, kalan batı kesimidir.

Bu projenin amacı KAFZ'nun batı kesiminde Avrasya ve Anadolu plaka sınır bölgesinde yatay kabuk hareketlerini belirlemek ve bu hareketlerden bölge deformasyonu hakkında ip uçları elde edebilmektir. Projede kullanılan jeodezik veriler şunlardır: a) 1939 -1944 yılları arasında bölgede triangulasyon yöntemiyle tesis edilen ve 7nci poligon olarak tanımlanan yersel ağın ölçümleri , b) 7nci poligonun 30 noktası alınarak 1995 yılında Harita Genel Komutanlığı tarafından kurulan 32 noktalı GPS ağının gözlemleri, c) Amerika'nın MIT, Almanya'nın IfaG ve İsviçre'nin ETHZ kuruluşlarınca tesis edilen ve 1990 - 1995 yılları arasında yıllık aralıklarla gözlenen GPS ağları gözlemlerinin Harita Genel Komutanlığı'na yeniden değerlendirilmesiyle elde edilen ve çalışma bölgesini kapsayan 40 noktalık ağıdır.

Proje raporu 5 bölümden oluşmaktadır. İkinci bölümde yersel ve GPS ağları gözlemlerinin değerlendirilmesi ile bölgede 55 yılda meydana gelen toplam deplasmanlar elde edilecektir. Üçüncü kısımda 1990 - 1995 arasını kapsayan GPS gözlemleri değerlendirilecek ve bölgede bu peryottaki ortalama yatay hızlar hesaplanacaktır. Dördüncü kısımda toplam deplasmanlar ve yatay hızlar kullanılarak plaka sınır deformasyonları ve plaka hareketini izah edebilen mekanik modeller geliştirilecektir. Beşinci bölümde ise bu projede elde edilen sonuçlar özetlenmektedir.

2. YERSEL VE GPS ÖLÇÜLERİ İLE YATAY DEPLASMAN BELİRLENMESİ

2.1. YERSEL (TRIYANGÜLASYON) AĞI VE DENGELENMESİ

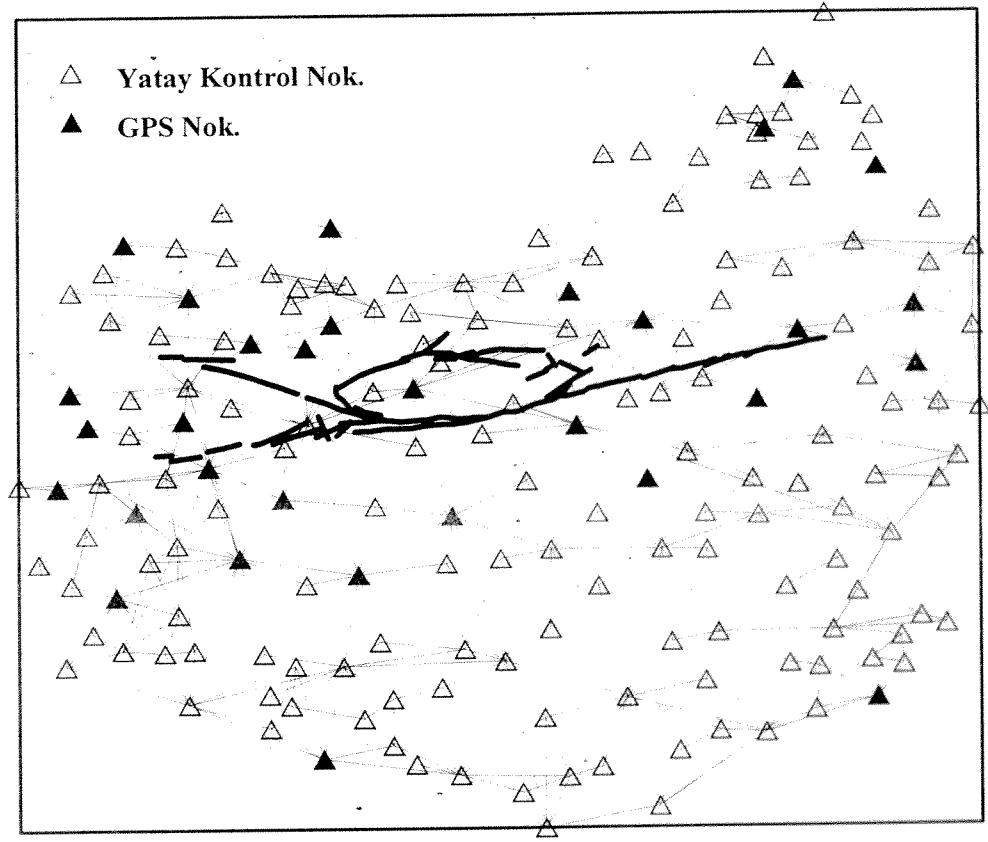
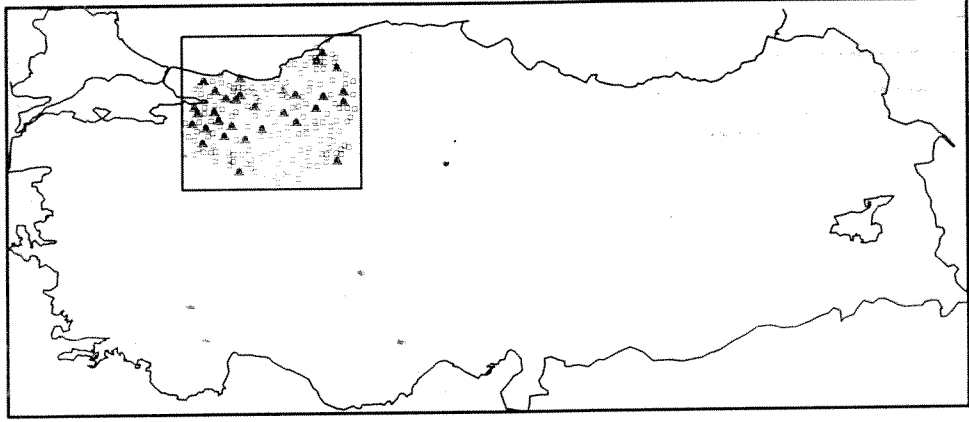
Bu proje kapsamındaki çalışma bölgesi, bu bölgeyi kapsayan Türkiye I nci Derece Yatay Kontrol (Nirengi) Ağı ve Kuzey Anadolu Fay Zonunun bölgedeki parçası Şekil-2.1'de gösterilmektedir. Şekil-2.1'deki fay izleri Şaroğlu v.d. (1992), Barka (1992) 'den elde edilmiştir.

7 nci poligonda 1939-1992 yılları arasında gerçekleştirilen bütün yersel ölçüler (doğrultu, baz, astronomik azimut, EDM); Harita Genel Komutanlığınca(HGK) yürütülmekte olan Yatay Kontrol Ağının iyileştirilmesi projesi kapsamında daha önceden düzenlenmiş ve bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Öncelikle yersel ölçüler içinde kaba hatalı olanların (nokta numarası, ölçü değeri vb. hatalı yazılması) belirlenmesi için tüm ölçüler ED-50 datumunda birlikte dengelenerek, ölçüler ile yaklaşık koordinatlardan elde edilen hesap değerleri arasındaki kapanmalar incelenmiş ve büyük kapanma(w) veren ölçüler ($w > 200''$) ölçü karnelerinden kontrol edilmiş ve hataları belirlenenler düzeltilmiştir.

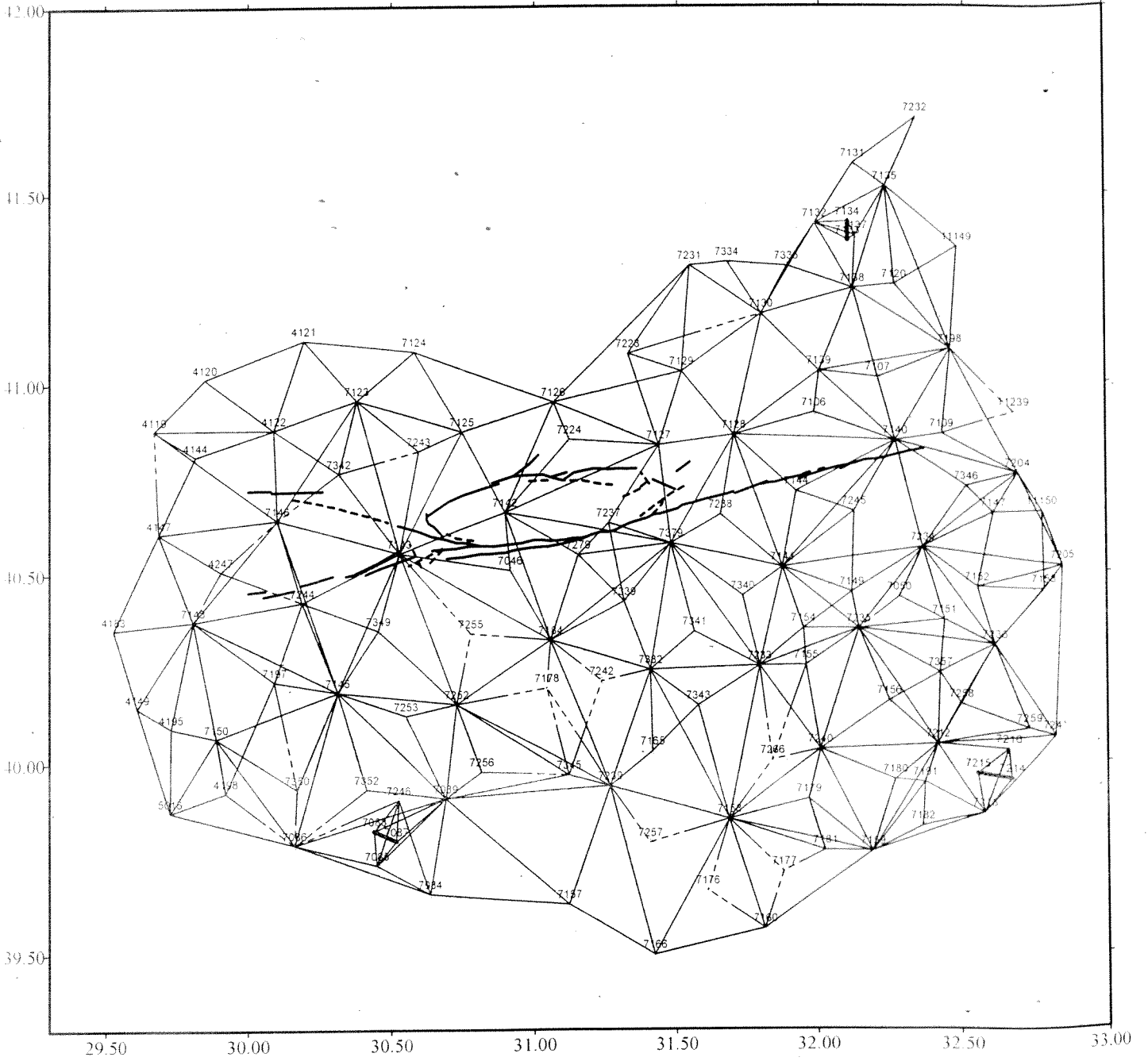
Daha sonra Kuzey Anadolu Fay Zonu(KAFZ)'nun 7 nci poligonunu içeren bölümünde gözlem süresi içinde meydana gelen ve yarattığı ko-sismik deplasmanın gözlemleri etkiliyebileceği değerlendirilen büyük depremler (Şiddeti > 6.0) gözönünde tutularak yersel ölçüler farklı evrelere ayrılmıştır. Bu amaçla bölgedeki depremler ile ilgili bilgiler derlenmiş olup bunlar Tablo 4.5'de verilmektedir. Tablo 4.5'de verilen büyük depremler gözönünde bulundurularak yersel ölçüler beş evreye (1936-1943, 1944-1950, 1951-1956, 1957-1966, 1967-1992) ayrılmış ve ölçüler bu periyotlara göre gruplandırılmıştır. Ölçü karnelerinde ölçü zamanı bulunmayan ölçüler değerlendirilmeye alınmamıştır. Sözü edilen 5 evreye ilişkin doğrultu ölçü planları sırasıyla Şekil 2.2.a-e'de verilmektedir. Her evreye ilişkin ölçü planları oluşturulurken, noktada ölçü yok ise en az üç dış noktadan bu noktaya ölçü olması kistası esas alınmıştır. Belirlenen kistası sağlamayan noktalar ölçü planından çıkarılmıştır. Dolayısıyla aynı bölgede, deprem zamanlarını (evre başlangıç ve sonları) içeren ardışık yıllarda yapılan ölçülerden bir bölümü değerlendirme dışı bırakılmıştır. Tablo 2.1'de oluşturulan ölçü planlarına göre ölçülerin dağılımı verilmektedir. Tablo 2.1'nin 6 ncı ve son satırında tüm periyotları kapsayan dönemde 7 nci poligonda bugüne kadar yapılan tüm ölçüler yer almaktadır. 6 ncı satır ile 5 evreye ilişkin diğer ilk 5 satırda verilen değerlerin toplamı arasındaki farklılık yukarıda sözü edilen nedenlerle ölçü planlarına dahil edilemeyen ölçülerden kaynaklanmaktadır.

Tablo 2.1. Her evre ölçü planında bulunan nokta sayısı ve yersel ölçülerin dağılımı

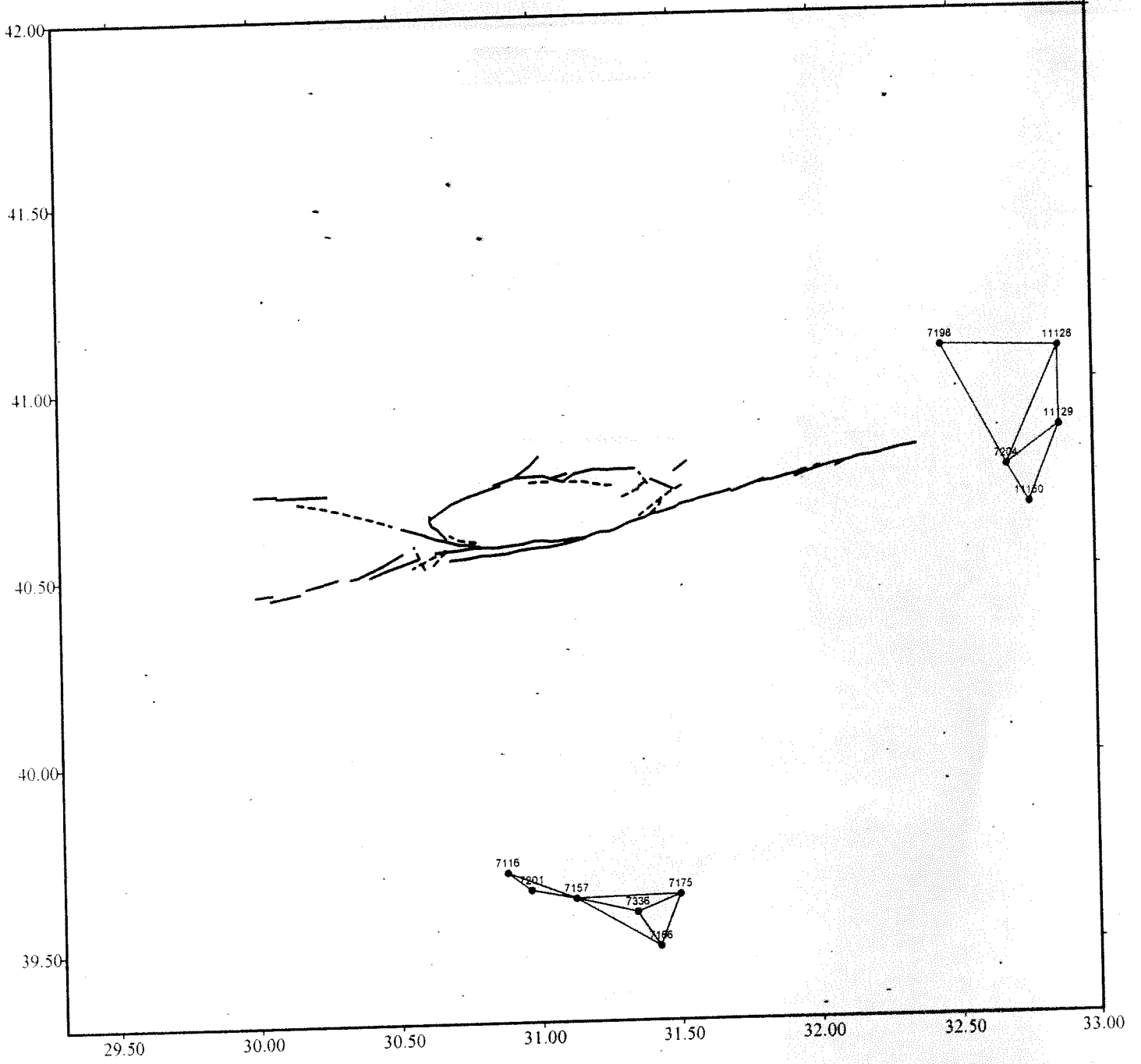
| Ölçü Evresi | Nokta Sayısı | Doğrultu | Klasik Baz | EDM | Astronomik Azimut |
|-------------|--------------|----------|------------|-----|-------------------|
| 1936-1943 | 126 | 1015 | 3 | - | 2 |
| 1944-1950 | 68 | 361 | - | - | 1 |
| 1951-1956 | 11 | 33 | - | - | - |
| 1957-1966 | 81 | 515 | - | - | - |
| 1967-1992 | 81 | 373 | - | 23 | 3 |
| 1936-1992 | 199 | 2405 | 4 | 28 | 11 |



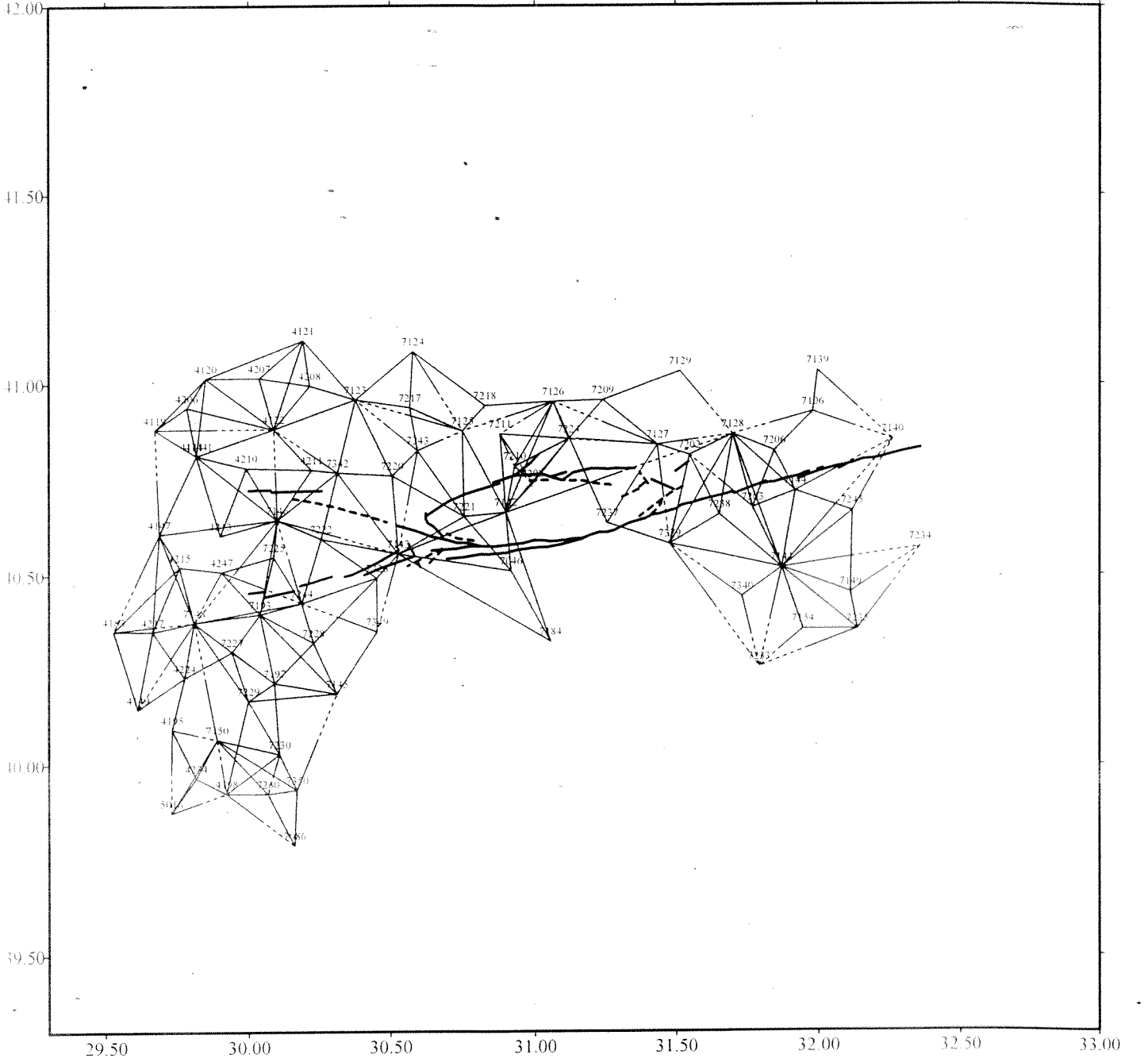
Şekil-2.1:Kuzey Anadolu Fayı batı kesimini kapsayan ve projede değerlendirilen 7 nci poligon ve GPS ağı noktaları. Şekilde kalın çizgiler diri fay izlerini göstermektedir.



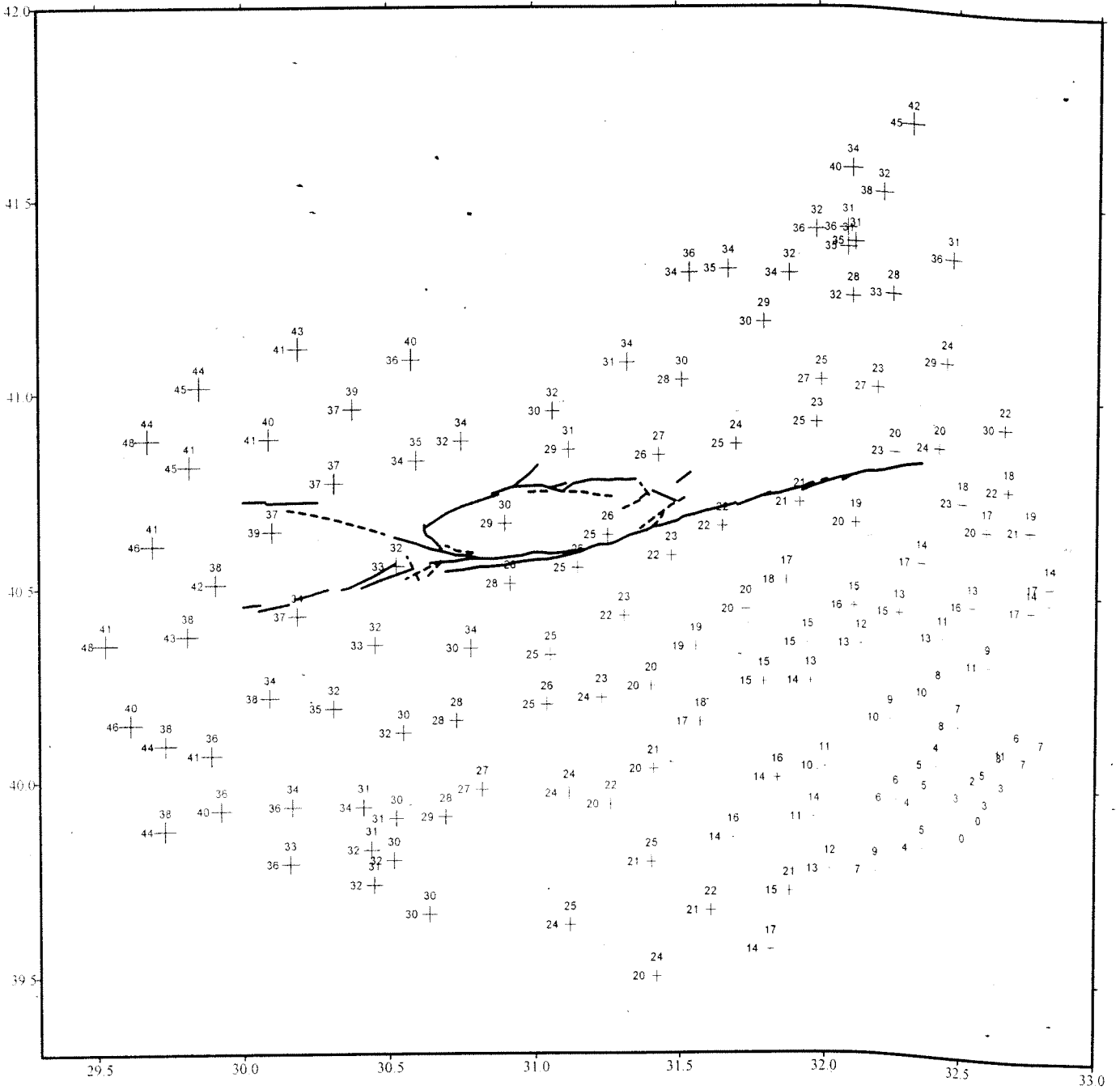
Şekil-2.2a : 7 nci poligonda 1936-1943 yılları arasında gerçekleştirilen yatay doğrultu ve klasik baz ölçüleri. Dolu çizgiler her iki yönde gözlenen doğrultuları, kesikli çizgiler ise tek yönde gözlenen doğrultuları göstermektedir.



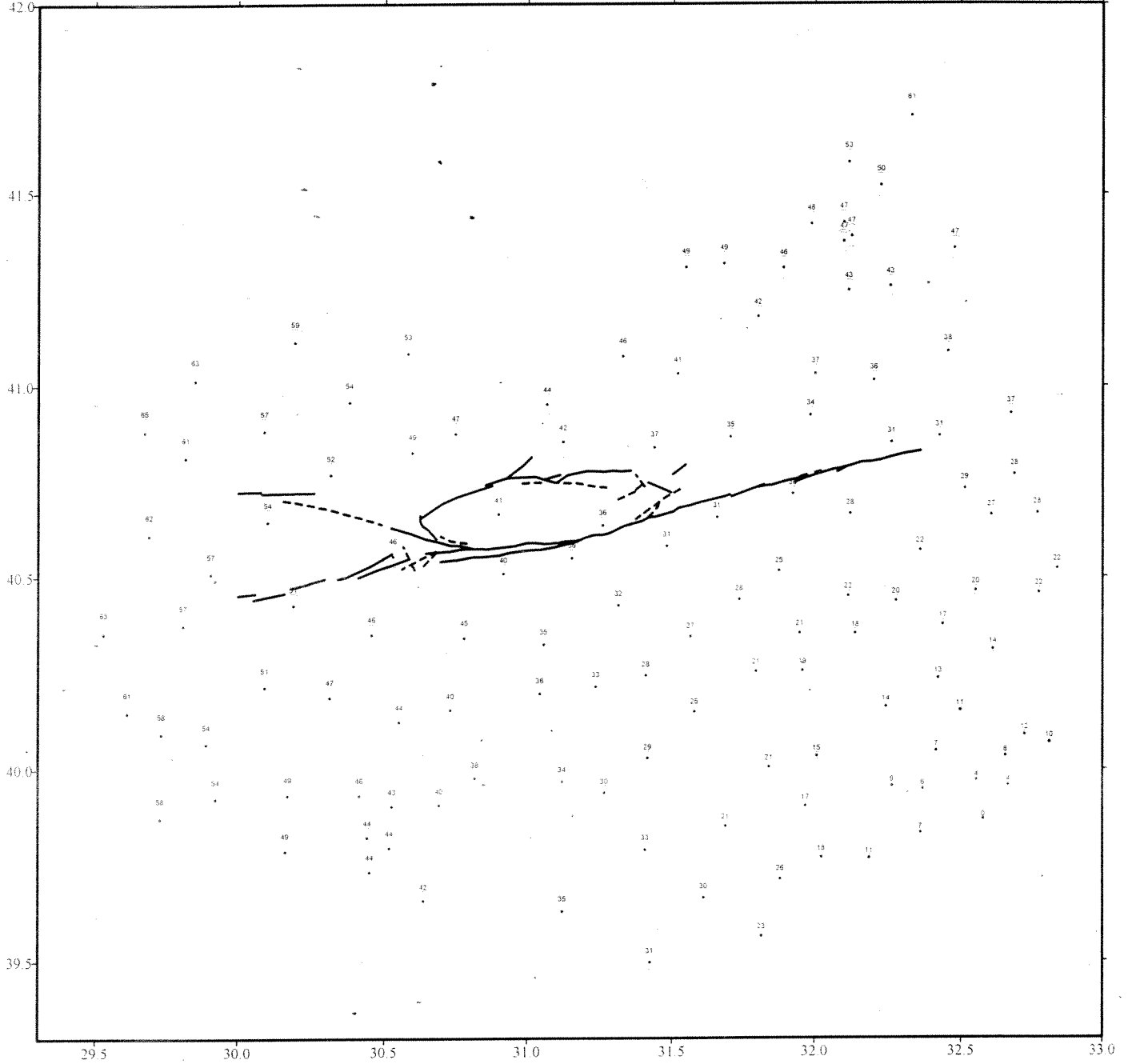
Şekil-2.2c :7 nci poligonda 1951-1956 yılları arasında gerçekleştirilen yatay doğrultu ölçüleri.



Şekil-2.2d :7 nci poligonda 1957-1966 yılları arasında gerçekleştirilen yatay doğrultu ölçüleri.



Şekil-2.3a : 7 nci poligon tanı dengemesi ile elde edilen kuzey ve doğu yönünde koordinat standart sapmaları (birimler cm. dir.)



Şekil-2.3b : 7 nci poligon tanı dengelemesi ile elde edilen nokta konum hataları, 1 σ düzeyinde (birimler cm. dir.)

Şekil 2.2.a-e'de gösterilen doğrultu ölçü planları incelendiğinde, 1 nci evre (1936-1943) ölçü planı dışındaki diğer evre ölçülerin deformasyon analizi irdelemesine ışık tutacak nitelikte güçlü bir geometrik yapıya ve fazla ölçü sayısına sahip olmadığı görülmektedir. Türkiye Ulusal Yatay Kontrol Ağının iyileştirilmesi kapsamında yapılan çalışmalar özellikle tahrip nokta ihyasına yönelik olduğundan, yapılan ölçüler diğer bir evre ölçü niteliğinde uygun geometriye sahip değildir. Bu nedenle, bu proje kapsamında; yalnızca 1 nci evre ölçülerin değerlendirilmede esas alınması, diğer evre ölçülerin bu aşamada değerlendirme dışı bırakılması öngörülmüştür.

Ölçüler arasındaki uyumsuz olanları belirlemek, ölçülerin duyarlıklarını araştırmak ve 7 nci poligon noktalarının ITRF94 sisteminde yaklaşık koordinatlarının belirlenmesi amacıyla minimum zorlamalı tanı dengelemesi yapılmıştır. Tanı dengelemesinde sonraki bölümde açıklanan DYNAP (Drew ve Snay 1989) yazılımı kullanılmış olup bu dengelemede; iki boyutlu ağın datumunu belirleyen iki öteleme parametresi Meşedağ noktasının ITRF94 sistemindeki koordinatları hatasız alınarak ve ağı dönüklük ve ölçeği ise azimut ve baz ölçüleriyle tanımlanmıştır.

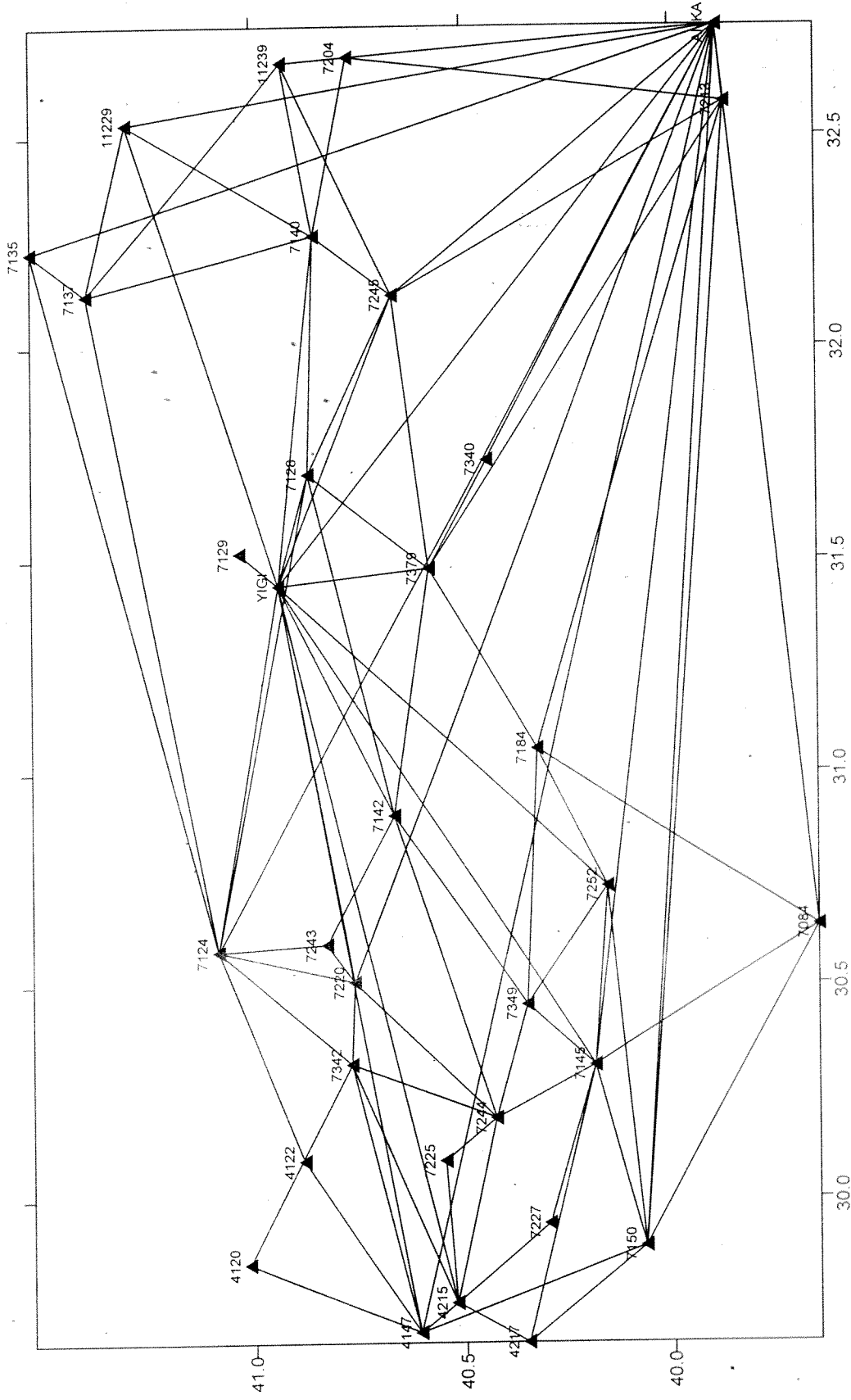
Bir noktadaki doğrultular parçalı olarak ölçülmüş ise yapılan her grup doğrultu ölçüsü ayrı ayrı dengelemeye dahil edilmiş ve ölçüler için apriori standart sapma olarak istasyon dengelemeleri sonrasında elde edilen değerler (0.1" - 0.4" arasında değişmektedir) alınmıştır. Dengelemede doğrultu ölçüleri için varyans faktörü 14 olarak belirlenmiştir. Klasik bazlar ve azimut ölçüleri için apriori standart sapma olarak ölçülerden elde edilen sırasıyla 1-2 mm ve 0.4" -0.5" arasındaki değerler alınmıştır.

1 nci evre yersel ölçülerinin tanı dengelemesi sonucunda uyumsuz ölçüleri ortaya çıkarmak için "Pope test yöntemi (Tau testi)" uygulanmış ve bu test sonucunda 25 doğrultu ölçüsü ve 2 azimut ölçüsü %95 güven düzeyinde uyumsuz olarak belirlenerek atılmıştır. Nokta koordinatlarının dengeleme sonrası hesaplanan standart sapmaları; hatasız alınan Meşedağ noktasından uzaklaştıkça artarak en uç noktalarda enlemde ± 44 cm, boylamda ± 48 cm değerlerine ulaşmakta, ortalama olarak her iki koordinat için ortalama ± 25 cm. olmaktadır (Şekil 2.3.a,b). Buradan, 250 km uzunluğundaki yersel ağı 2 ppm gibi oldukça iyi sayılabilecek doğruluk kriterine sahip olduğu söylenebilir.

1 nci evre yersel ölçüler ile GPS ölçüleri arasında yaklaşık 50 yıl, KAF kuşağında yıllık deformasyon hızının 1-2 cm, bölgede meydana gelen depremler ile 3-4 m deplasmanlar olduğu dikkate alınır, birbirinden çok farklı nitelikte ve doğrulukta olan yersel ve GPS ölçülerinin sözkonusu deformasyonların ortaya çıkarılmasında büyük önem taşıdığı değerlendirilmektedir.

2.2. GPS ÖLÇÜLERİ VE DEĞERLENDİRME

7 No'lu Poligon zincirinin seçilen 31 I ve II nci derece yatay kontrol noktası ile birlikte Yığılca Uydu Laser İstasyonundan (SLR) oluşan toplam 32 noktada, 2 Temmuz-20 Ağustos 1995 tarihleri arasında Harita Genel Komutanlığı'na ait 5 TRIMBLE 4000 SSE alıcısı ile GPS ölçüleri yapılmıştır. GPS ölçü planı Tablo 2.2 'de verilmekte, gözlenen noktalar ve bazlar Şekil 2.4 'de gösterilmektedir. Bu noktalarda TRIMBLE 4000 SSE GPS alıcıları ile her bir oturumda 8 saat süreyle 30 sn aralıkla eşzamanlı ölçü yapılmıştır. Kampanya sırasında



Şekil-2.4 : 7 nei poligon noktalarında 1995 yılında gözlenen GPS ağı.

meteorolojik parametreler ölçülmemiştir. Ölçülere hergün 06:00 (UT) 'de başlanmış ve 14:00 (UT) 'de bitirilmiştir. Kullanılan antenler 4000ST L1/L2 GEOD ve TR GEOD L1/L2 GP olmak üzere iki tiptir. Bu noktalara ek olarak, Türkiye çevresinde uygun dağılımdaki International GPS Service for Geodynamics (IGS) 'e dahil, sürekli GPS ölçüsü yapılan 6 IGS noktasına (Ankara, Kitab, Zimmerwald, Wettzell, Matera ve Onsala) ait GPS ölçüleri temin edilmiş ve 38 noktalı bir GPS kampanyası oluşturulmuştur (Kılıçoğlu, 1997).

IGS yüksek doğruluklu GPS uydu yörüngeleri ve yer dönme parametrelerini düzenli bir şekilde sunmak, Uluslararası Yer-Dönme Servisi (International Earth Rotation Service-IERS) tarafından oluşturulan ve sürekli geliştirilen IERS Yersel Referans Ağı (IERS Terrestrial Reference Frame-ITRF) 'nı coğrafi olarak genişletmek ve yer kabuğu hareketlerini izlemek amacıyla oluşturulmuştur (Mueller, 1993). Şu anda 7 Analiz Merkezi tarafından bağımsız olarak hesaplanan-yörünge bilgileri ve yer dönme parametreleri(ERP) birleştirilerek, IGS yörüngesi ve IGS yer dönme parametreleri olarak yayınlanmaktadır (IGS, 95).

7nci Poligon GPS kampanyası ile eş zamanlı toplanan Ankara dışındaki diğer 5 IGS noktasındaki GPS ölçüleri (global ölçüler), Scripps Yörünge ve Sabit Ağ Merkezi (Scripps Institution of Oceanography-SIO, Scripps Orbit And Permanent Array Center-SOPAC) ile Güney Kaliforniya'daki Sabit GPS Jeodezik Ağı (Permanent GPS Geodetic Array -PGGA) yardımıyla oluşturulan arşivden temin edilmiştir.

IGS noktalarının doğruluğu ve güvenilirliği ile ilgili IERS tarafından yapılan sınıflandırmaya göre Matera, Wettzell, Onsala ve Zimmerwald A sınıfı noktalar, Ankara ve Kitab C sınıfı noktalar. A sınıfı noktalarda GPS yanısıra SLR, VLBI, DORIS veya LLR'dan en az biri ile daha ölçü yapılmış olması ve iki yöntemle bulunan koordinatlar arasındaki farkların 2 cm'den az olması gereklidir. C sınıfı noktalarda yalnızca GPS ile bulunan nokta koordinatları 3 cm'den küçük standart sapmalarla bilinmektedir. Bu IGS noktalarının ve bunlara ek olarak kampanyada yer alan YIGILCA noktasının 1993.0 epokunda ITRF94 koordinat sisteminde koordinatları, ITRF94 hız modeli doğrulukları ile birlikte Boucher vd.,(1995) 'de verilmektedir. Kampanyanın gerçekleştirildiği 0808-0815 nci GPS haftalarında GPS uydu yörüngeleri ITRF93 koordinat sisteminde ve ölçü epokunda verilmektedir. Bu nedenle değerlendirmede kullanılacak IGS nokta koordinatlarının ITRF93 koordinat sisteminde hesaplanması gerekmektedir. Nokta koordinatlarının ITRF94 koordinat sisteminden ITRF93 koordinat sistemine dönüşümü Boucher vd.,(1994)'de verilen koordinat ve hızlar ile McCarthy, (1996)'de verilen dönüşüm parametre ve eşitlikleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

GPS ölçü değerlendirme çalışmaları Harita Genel Komutanlığı Jeodezi Dairesi Başkanlığı'nda bulunan BERNESE V4.0 (Rothacher ve Mervart, 1996) ve GAMIT 9.6 (King ve Bock ,1997) GPS değerlendirme yazılımları kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Şanlı, 1997, Kılıçoğlu, 1997). Her iki değerlendirme yazılımı ile genel olarak aşağıda açıklanan değerlendirme stratejisi uygulanmıştır.

Tablo 2.2. 7 nci poligon noktalarında gerçekleştirilen GPS ölçü planı

| TARİH | 1. EKİP | 2. EKİP | 3. EKİP | 4. EKİP | 5. EKİP |
|------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 02.07.1995 | 4147 | 4215 | 4217 | 7227 | YIGILCA |
| 03.07.1995 | 7225 | 4215 | 7244 | 7227 | YIGILCA |
| 04.07.1995 | 4147 | 4215 | 7342 | 7225 | YIGILCA |
| 06.07.1995 | 7220 | 7244 | 7342 | 7225 | YIGILCA |
| 07.07.1995 | 7220 | 7244 | 7142 | 7349 | YIGILCA |
| 09.07.1995 | 7220 | 7243 | 7142 | 7128 | YIGILCA |
| 11.07.1995 | 7124 | 7243 | 7137 | 7128 | YIGILCA |
| 13.07.1995 | 11229 | 7140 | 7137 | 7128 | YIGILCA |
| 14.07.1995 | 11229 | 7140 | 11239 | 7204 | YIGILCA |
| 15.07.1995 | 7204 | 7140 | 7245 | 7128 | YIGILCA |
| 16.07.1995 | 7379 | 7142 | 7245 | 7128 | YIGILCA |
| 18.07.1995 | 7379 | 7142 | 7184 | 7349 | YIGILCA |
| 19.07.1995 | 7252 | 7145 | 7184 | 7349 | YIGILCA |
| 20.07.1995 | 7227 | 7145 | 7244 | 7349 | YIGILCA |
| 22.07.1995 | 7227 | 7145 | 4217 | 7150 | - |
| 23.07.1995 | 7252 | 7145 | 7084 | 7150 | - |
| 25.07.1995 | 7252 | 7184 | 7084 | 7213 | - |
| 26.07.1995 | 7379 | 7184 | 7340 | 7213 | - |
| 28.07.1995 | 7379 | 7245 | 7340 | 7213 | - |
| 30.07.1995 | 7204 | 7245 | 11239 | 7213 | - |
| 31.07.1995 | 7204 | - | 11239 | 7213 | - |
| 02.08.1995 | 7135 | 7137 | 11239 | 11229 | - |
| 04.08.1995 | 7135 | 7137 | 7124 | 11229 | - |
| 05.08.1995 | 7135 | 7124 | - | - | - |
| 07.08.1995 | 7220 | 7124 | 7342 | 7243 | - |
| 08.08.1995 | 4122 | 7124 | 7342 | 4120 | - |
| 09.08.1995 | 4122 | 7124 | 7342 | 4120 | - |
| 10.08.1995 | 4122 | 4147 | 7342 | 4120 | - |
| 12.08.1995 | 7150 | 4147 | 4217 | 4120 | - |
| 14.08.1995 | 7150 | 7213 | 7084 | - | - |
| 19.08.1995 | 7379 | 7142 | YIGILCA | 7129 | - |
| 20.08.1995 | - | 7142 | YIGILCA | 7129 | - |

Öncelikle tüm noktalara ait GPS ölçüleri, anten yükseklikleri ARP'den (Antenna Reference Point) olacak şekilde RINEX formata, daha sonra da BERNESE/GAMIT formatına dönüştürülmüştür. Antenlerdeki L1 ve L2 faz merkez kayıklıkları ile yükseklik açısı ve azimuta bağlı faz merkez kayıklıklarından kaynaklanan düzeltmelerin hesaplanması amacıyla Rothacher ve Mader(1996) 'de yayınlanan tablo değerleri kullanılmıştır.

IGS Merkez Bürosundan elde edilen birleştirilmiş yörünge (IGS sonuç yörünge) bilgilerinden (*.sp3) BERNESE/GAMIT formatında standart yörünge, bir günlük (24 h) yaylar kullanılarak oluşturulmuştur. Her gün için ayrı bir yayda hesaplamalar yapılmış ve tüm kampanya için 32

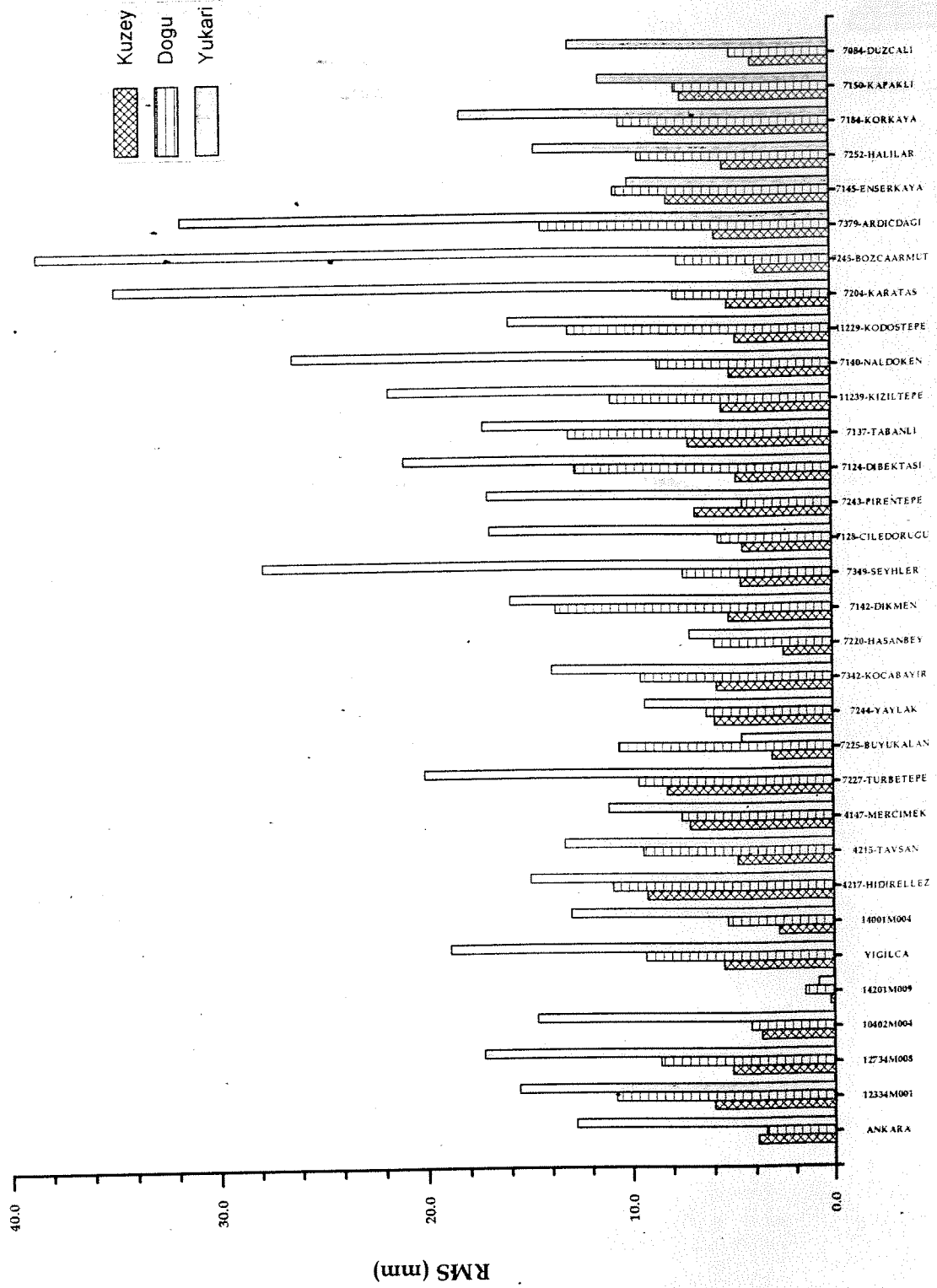
adet yay oluşturulmuştur. Yer Dönme Parametreleri (Earth Rotation Parameters, *.erp) olarak IGS tarafından hesaplanan birleştirilmiş değerler (IGS sonuç yer dönme parametreleri) kullanılmıştır. Uydu yörüngeleri ile yer dönme parametreleri BERNESE ile değerlendirmede hatasız, GAMIT ile değerlendirmede çok sıkı zorlamalı alınmıştır.

Taşıyıcı dalga faz kesikliği (cycle slip-ambiguity) analizi, üçlü fark ölçüleri kullanılarak yapılmış ve taşıyıcı dalga faz kesikliğinin olduğu yerlerde yeni bir faz başlangıç belirsizliği parametresi tanımlanmıştır. Ayrıca kısa süre devam edip kesilen ölçü grupları atılarak ölçülerin olabildiğince kaba hatalardan temizlenmesine çalışılmıştır. Devamlılığı 10 dakikadan az olan ölçüler ambiguity parametresi sayısının artması nedeniyle değerlendirmeden çıkarılmıştır. Cycle slip analizinin olası en iyi koordinatlarla yapılması amacıyla iteratif bir yol izlenerek nokta koordinatları iyileştirilmiştir. Ambiguity çözümü: BERNESE ile iki yöntemle gerçekleştirilmiştir. IGS istasyonları arasındaki uzun bazlarda Quasi Ionosphere Free (QIF) seçeneği ve diğer bazlarda SIGMA seçeneği uygulanmıştır. QIF seçeneğinde L1 ve L2 ölçüleri kullanılmış ve ikili fark ölçüleriyle ambiguity parametreleri çözülmüştür. SIGMA seçeneğinde önce L5 lineer kombinasyonu ile L5 (Wide Lane) ambiguity'leri ve daha sonra L5 ambiguity'leri sabit tutularak L3 lineer kombinasyonu ile L1 ve L2 için ambiguity çözülmüştür. GAMIT ile ambiguity çözümü LC_HELP seçeneğiyle gerçekleştirilmiştir. LC_HELP iteratif bir yöntem olup burada izlenen yol; L3 lineer kombinasyonu ile bütün parametrelerin hesaplanması, hesaplanan jeodezik parametrelerin sabitlenerek L5 (WL) ambiguity çözümü, WL sabitlenerek narrow-lane (NL) ambiguity çözümü, WL ve NL sabitlenerek LC çözümü ve jeodezik parametrelerin hesaplanması olarak ifade edilebilir. Her iki yazılımla yukarıda açıklanan şekilde çözülebilen ambiguity bilinmeyenleri (tam sayı) sonraki adımlarda bilinen (sabit) olarak alınmış, çözülemeyen ambiguity bilinmeyenleri (gerçek sayı) ise bilinmeyen olarak modelde bırakılmıştır.

Tüm kampanya ölçüleri için faz ölçüleri kullanılarak hesaplanan iyonosfer modeli katsayıları, L5 ambiguity çözümünde bilinen olarak alınmıştır. Tüm değerlendirmelerde her nokta için iki saatte bir adet troposfer parametresi tanımlanmış olup tüm çözümlerde bilinmeyen parametre olarak modele dahil edilmiştir.

BERNESE ile bir güne ilişkin ölçülerin değerlendirilmesi sonucunda, bilinmeyen parametrelere ilişkin normal denklemler elde edilmekte olup günlük normal denklemlerin birleştirilmesi, ayrıntılı matematik modeli Brockman(1996)'da verilen ADDNEQ yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. GAMIT yazılımı ile bir güne ilişkin ölçülerin değerlendirilmesi sonucunda ise bilinmeyenler ve ilgili kovaryans matrisi elde edilmekte olup bu sonuçların birleştirilmesinde Kalman filtrelemesi tekniğine dayanan GLOBK yazılımı kullanılmıştır (Herring, 1997).

Her güne ilişkin ölçülerin BERNESE/GAMIT ile değerlendirilmesinde, nokta koordinatları haricindeki diğer bilinmeyenler (ambiguity, troposfer parametreleri, yer dönme parametreleri vb.) elemine edilerek tüm nokta koordinatları için tanımlanan 1 m apriori standart sapma ile gevşek zorlamalı (serbest) çözüm yapılmıştır. Tüm günlere ilişkin serbest çözümler tamamlandıktan sonra; kampanya çözümü, günlük serbest çözümlerin 5 IGS noktası ITRF94 koordinatlarına sıkı zorlama ile tanımlanan datumda birleştirilmesiyle yapılmış ve nokta koordinatları elde edilmiştir.



Şekil-2.5 : GPS nokta koordinatlarının (kuzey, doğu, yukarı) günlük tekrarlıkları (birimler mm. dir).

Bulunan koordinatların duyarlılığının bir göstergesi olarak kuzey, doğu ve yukarı koordinatlarındaki tekrarlılıklar hesaplanmış ve Şekil-2.5'te gösterilmektedir. Tekrarlılık analizi IGS noktalarından sadece Wettzel/Almanya noktası için tanımlanan sıkı zorlama ile gerçekleştirilmiş ve diğer IGS noktaları yatay konumları ortalama 5 mm, 7 nci poligon GPS noktalarının yatay konumları ise ortalama 10 mm duyarlılıkla belirlenmiştir. Düşey konumlarda ise beklenildiği gibi duyarlılıklar daha düşük olup ortalama olarak yaklaşık 20 mm mertebesinde olup birkaç noktada 30 mm'nin üzerinde değer almaktadır.

Her iki yazılım ile aynı strateji izlenerek yapılan değerlendirme sonucunda elde edilen koordinatlar karşılaştırılmış ve farkların 1-2 cm düzeyinde olduğu bulunmuştur. Bu farklılığın büyüklüğü salt GPS ölçüleri ile ilgili yapılacak çalışmada önemli gibi görünmesine rağmen, yersel ölçülerle karşılaştırmada bunun önemli olmadığı değerlendirilmiş ve sonuç olarak yersel ölçülerle birleştirmede; GPS ölçülerinin BERNESE yazılımı ile değerlendirilmesiyle elde edilen sonuçların kullanılması esas alınmıştır.

2.3. YERSEL VE GPS ÖLÇÜLERİNİN BİRLEŞTİRİLMESİ

7 nci poligon bir yatay kontrol ağıdır ve noktaların elipsoid veya ortometrik yükseklikleri hassas olarak mevcut değildir. GPS ağı 3 boyutlu bir ağ olmakla beraber düşey konum duyarlılığı yatay konuma kıyasla 2-4 kat düşüktür. Bu iki ağın karşılaştırılması ile ancak yatay kabuk hareketleri ortaya çıkarılabilir. Bölge tektoniği gözönünde bulundurulduğunda yatay hareketlerin daha belirgin olduğu bilinmektedir. Bu nedenle, 7 nci poligonda, GPS ölçüsü yapılan noktalar haricindeki diğer noktalarda elipsoid yüksekliği yeterli doğrulukta bilinmediğinden, GPS baz vektör bileşenleri, noktaların elipsoid üzerindeki izdüşümleri arasındaki vektörler olacak şekilde indirgenmiştir. Bu işlem, sadece yatay hız alanı belirlenmesinin amaçlandığı bu çalışmada herhangi bir olumsuzluk oluşturmamaktadır.

Yersel ve GPS ölçülerinin birleştirilmesi amacıyla üç boyutta dengeleme imkan sağlayan Drew ve Snay (1989) tarafından geliştirilen DYNAP, Dong (1993) tarafından geliştirilen FONDA ve Herring (1997) tarafından geliştirilen GLOBK yazılımları kullanılmıştır. DYNAP yazılımı, birlikte indirgeme yöntemi uygulanarak değişik evrelerdeki ölçüleri birlikte değerlendirmekte, bölge homojen strain özellikleri gösteren alt bölgelere ayrılarak her alt bölgedeki strain parametreleri belirlendikten sonra, nokta hızları, strain parametreleri yardımıyla konumların lineer fonksiyonu olarak dolaylı hesaplanmaktadır. Bu yöntemdeki dar boğaz homojen deformasyon karakterli alt bölgelerin her alt bölgede en az 3 nokta bulunacak şekilde belirlenmesidir. Yaklaşık 2×10^4 km² büyüklüğünde ve oldukça kompleks deformasyon karakteristiği sergilenen bölgede sadece 31 tekrarlı nokta bulunduğundan bu şartın sağlanması güçtür. FONDA yazılımı, ayrıntılı matematik formülasyonu Hein (1986) ve Collier vd. (1988)'de verilen yerin şekli ve gravite alanına ilişkin ölçülerin zaman parametresi ile birlikte 4 boyutlu bütünleşik jeodezi kapsamında değerlendirmesine imkan sağlamaktadır (Dong, 1988). Bu yazılımda yukarıda sözü edilen homojen deformasyon karakterli alt bölge belirlenmesi gibi bir koşul olmadan değişik türden geometrik ve fiziksel jeodezik (yersel, GPS, gravite vb.) ölçüler yermerkezli üç boyutlu jeodezik bir koordinat sisteminde birlikte değerlendirilerek zamana bağlı nokta koordinatları ile birlikte nokta hızları doğrudan hesaplanmaktadır. Nokta koordinatlarındaki hareketlerin lineer, episodik ve/veya stokastik modellendirilmesi de mümkündür. Ancak bu proje kapsamında yalnızca iki farklı evrede ölçü bulunması, noktaların zaman içerisindeki davranışları konusunda doğrudan bir sonuç elde

etme imkanı vermemektedir. GLOBK yazılımı ise Kalman Filtreleme tekniğini kullanarak GPS, VLBI vb. değerlendirme çözümlerinin birleştirilmesi amacıyla hazırlanmış olup girdi olarak farklı çözümlere ait parametreler (nokta koordinatları, uydu ve yer dönme parametreleri vs.) ve bunlara ilişkin kovaryans matrislerini kabul eder. Yersel ve GPS ölçülerinin ayrı ayrı değerlendirilmesi sonucunda elde edilen çözümler de Kalman Filtreleme tekniğine dayanan GLOBK ile birleştirilmektedir. Bu yazılımda da yukarıda ifade edilen şekilde parametrelerin lineer, episodik ve stokastik değişimleri incelenebilmektedir.

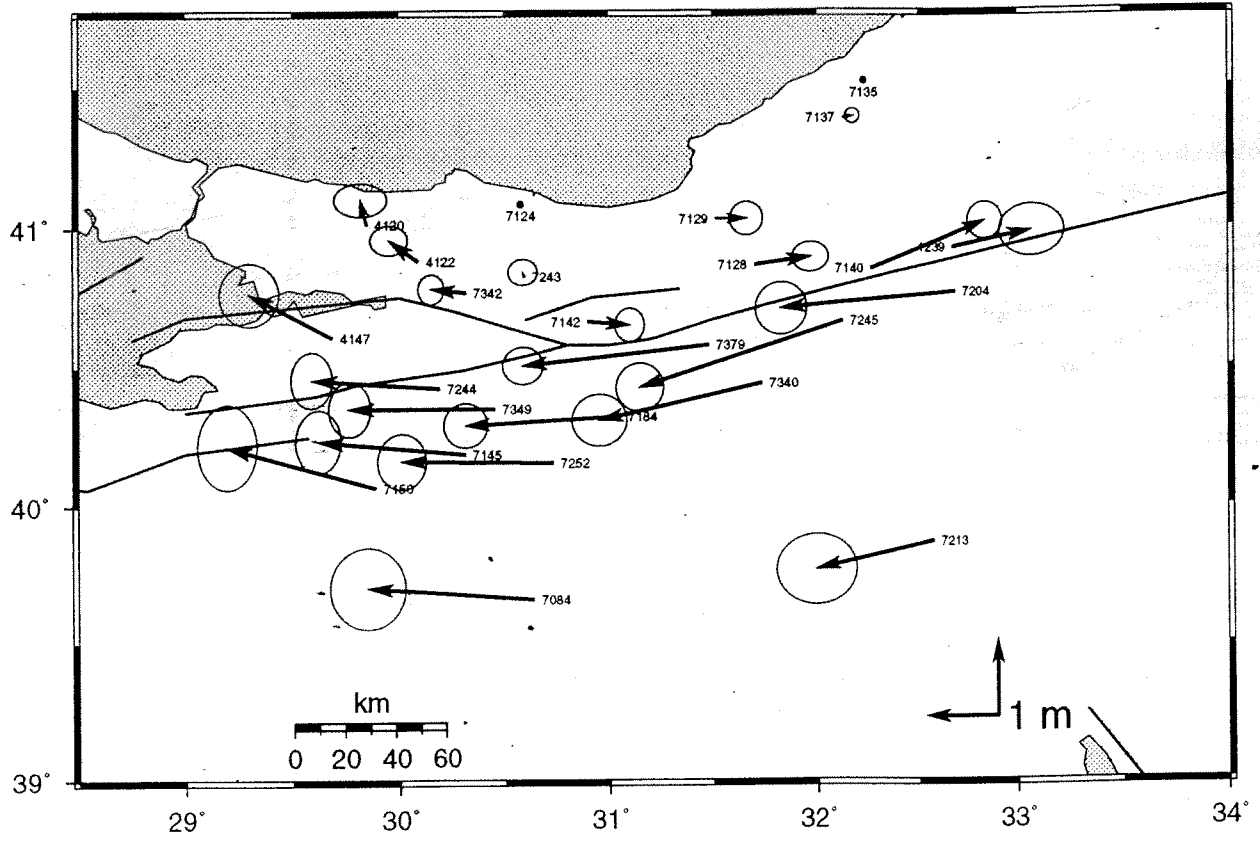
Değerlendirmede; datum tanımının tek nokta, azimut ve baz ölçüleriyle yapılması durumunda yersel ağı dönüklüğünün tam olarak kontrol edilemediği belirlenmiş ve bu nedenle datum tanımının birbirlerine göre hareket etmediği kabul edilebilecek iki veya üç nokta ile gerçekleştirilmesi yolu benimsenmiştir. Datum tanımı amacıyla iki veya üç noktalı değişik kombinasyonlar fay zonunun kuzeyinde (7124-7135), (7124-7135-4120), (7135-4120) ve güneyinde (7084-7213) yeralan ikili nokta kombinasyonlarının GPS ile bulunan koordinatları bilinen seçilerek uygulamalar yapılmıştır (Şekil 2.2.a). Burada sadece fayın kuzeyinde yer alan noktalar ile oluşturulan kombinasyonlar arasında uygun olan 7124-7135 ve fayın güneyindeki 7084-7213 nokta çiftlerinin datumu belirlediği çözümler ele alınmaktadır.

Yersel ve GPS ölçülerinin DYNAP yazılımı ile birlikte dengelenmesinde uygun netice alınamamıştır. Gerek alt homojen deformasyon bölgelerinin uygun şekilde belirlenememesi, gerekse bölgedeki ortak noktalar arasındaki boşluklar nedeniyle alt bölgelerin yeteri sayıda nokta içermemesinin uygun çözüm elde etmeye imkan vermediği tespit edilmiştir. Bu nedenle DYNAP yazılımı ile yersel ölçülerin ayrı olarak dengelenmesi ve GPS değerlendirilmesi sonucunda elde edilen koordinatlar ile karşılaştırılmasıyla nokta hızlarının hesaplanması gerçekleştirilmiştir. Yukarıda ifade edilen iki farklı datuma göre elde edilen yer değiştirme miktarları Şekil 2.6.a, b 'de verilmektedir. Bu çözümlerde datum tanımında kullanılan noktaların GPS ölçüleri ile bulunan koordinatları ve hızları (sıfır olarak alındı) hatasız alınmıştır.

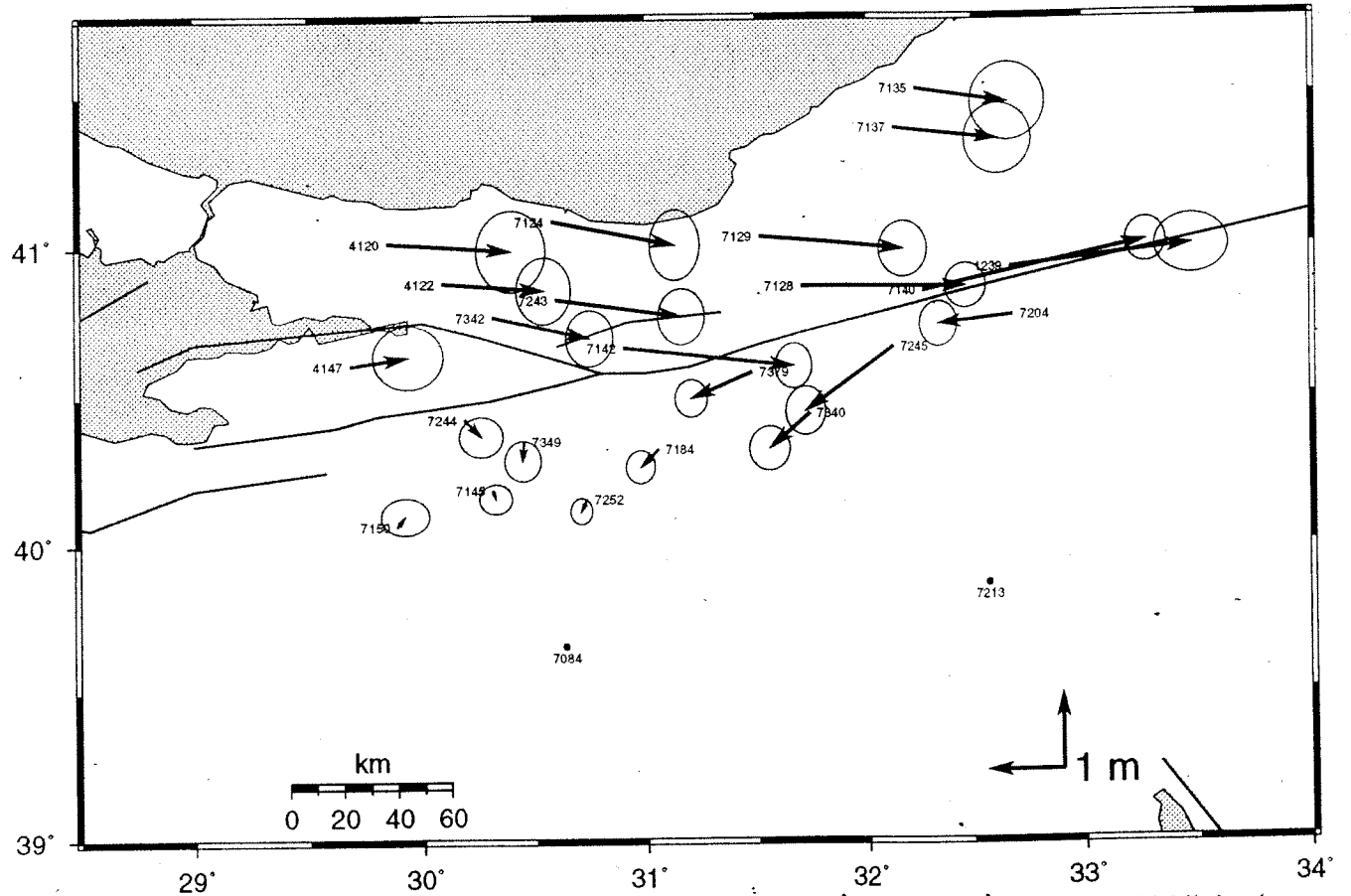
Yersel ve GPS ölçüleri (baz vektör bileşenleri) birlikte FONDA yazılımı ile de iki datumda (7124-7135 ve 7084-7213) değerlendirilmiş olup bu çözümlere ilişkin elde edilen yer değiştirme miktarları Şekil 2.7.a, b 'de verilmektedir. Bu değerlendirmelerde datum noktalarının koordinat ve yerdeğiştirmeleri için 1 mm zorlama uygulanmıştır. Ayrıca GLOBK yazılımı ile değerlendirmek amacıyla yersel ve GPS ölçüleri FONDA ile ayrı ayrı değerlendirilerek her iki evre için gevşek zorlamalı çözümler elde edilmiştir. GPS ölçülerinin değerlendirilmesi ile noktaların dengeli koordinatları elde edildiğinden burada GPS ölçülerinin dengelenmesinden kastedilen, çözüm sonuçlarını GLOBK formatına dönüştürmek amacıyla yapılan bir işlem olarak ifade edilebilir.

Her iki evrede koordinatlar için 100 m hızlar için-1 m zorlama uygulanarak elde edilen gevşek zorlamalı çözümler bu kez GLOBK yazılımı ile sözkonusu iki farklı datumda birleştirilmiş ve elde edilen çözümler Şekil 2.8.a, b 'de gösterilmektedir. Bu birleştirme çözümlerinde datum noktalarına ilişkin koordinat ve yerdeğiştirmeler için 0.1 mm zorlama uygulanmıştır.

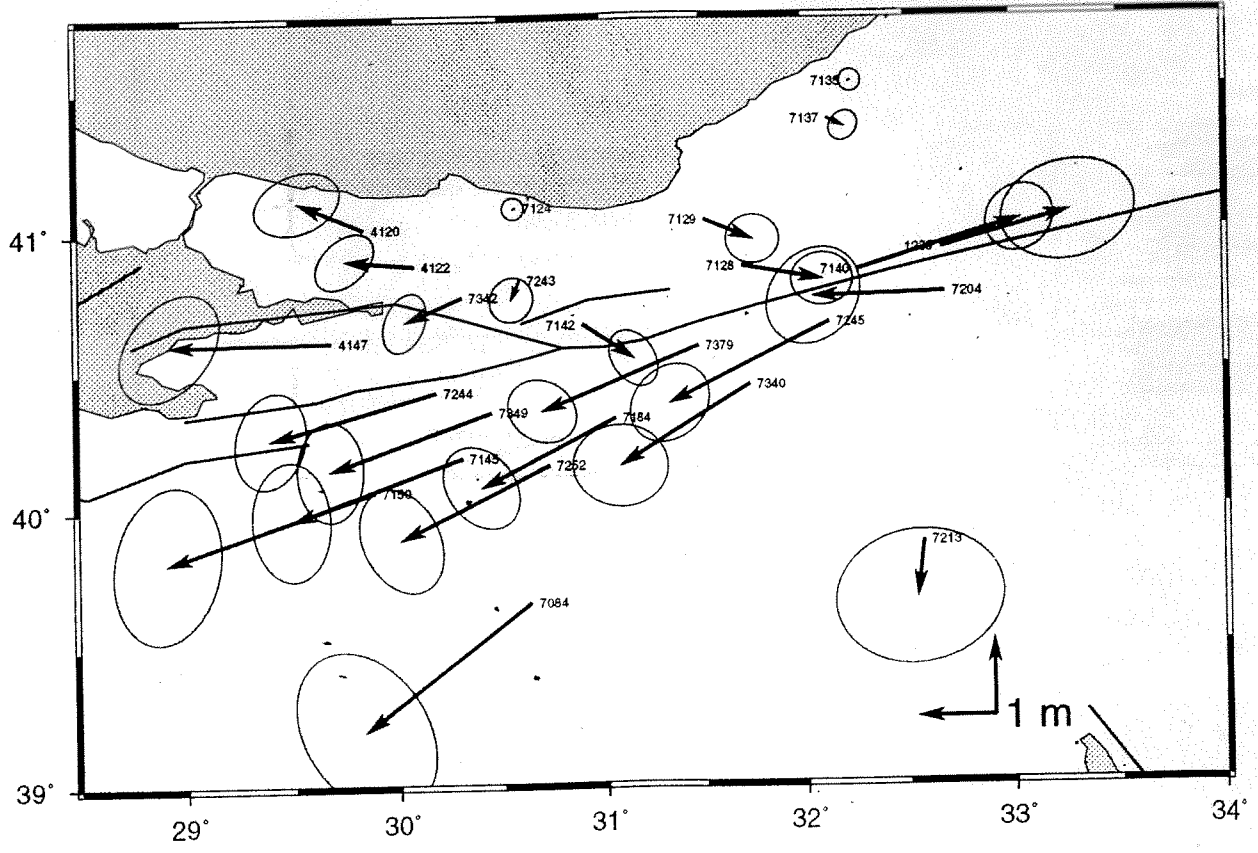
Şekil 2.6, 2.8 'de, 55 yıllık sürede oluşan yerdeğiştirme miktarları incelendiğinde fay zonunun kuzeyindeki 7124 ve 7135 noktaları ile tanımlanan datumda elde edilen çözümlerin birbirinden önemli sistematik farklılıklar gösterdiği görülmektedir. Bu datum üzerindeki



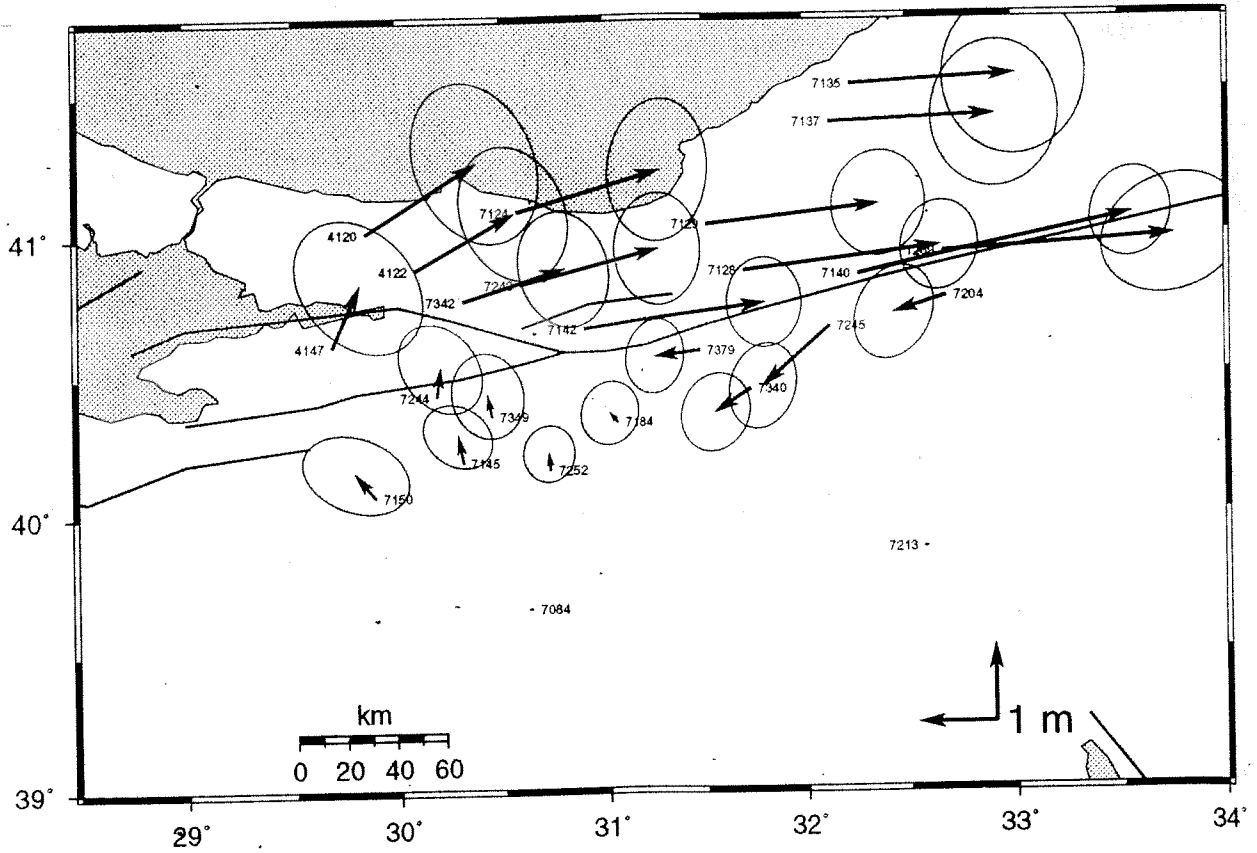
Şekil-2.6a : DYNAP yazılımı ile elde edilen yer değiştirme miktarları. Güven elipsleri %95 ihtimal düzeyindedir (7214 ve 7135 datum noktası).



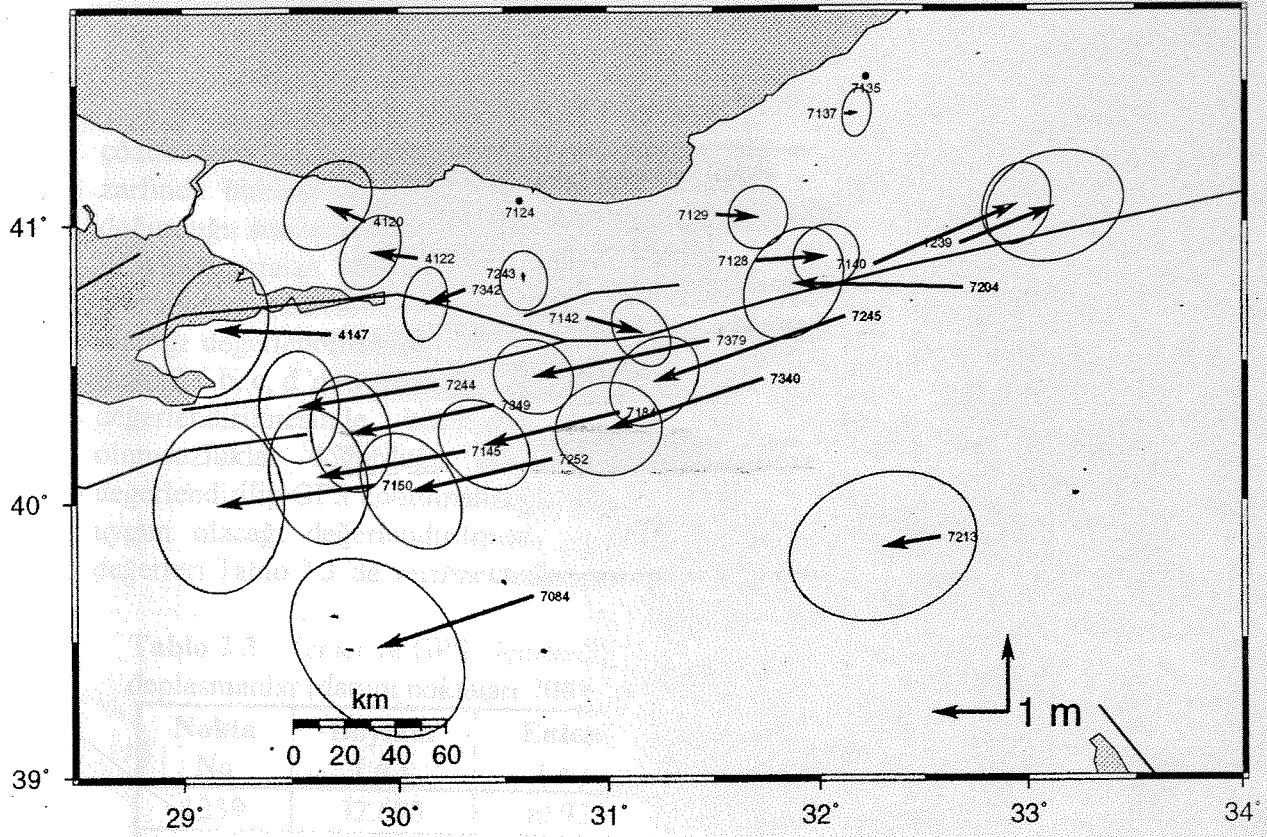
Şekil-2.6b: DYNAP yazılımı ile elde edilen yer değiştirme miktarları. Güven elipsleri %95 ihtimal düzeyindedir (7084 ve 7213 datum noktası).



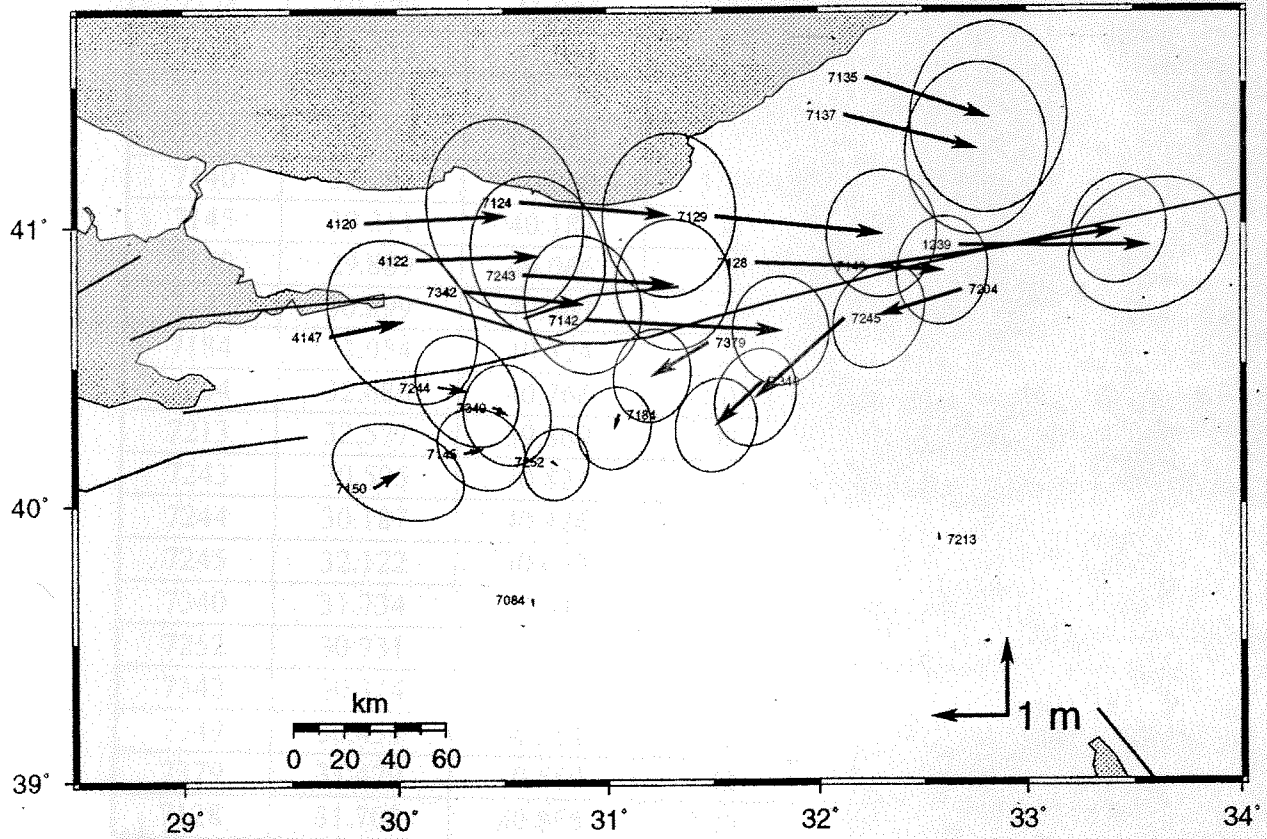
Şekil-2.7a: FONDA yazılımı ile elde edilen yer değiştirme miktarları. Güven elipsleri %95 ihtimal düzeyindedir (7214 ve 7135 datum noktası).



Şekil-2.7b: FONDA yazılımı ile elde edilen yer değiştirme miktarları. Güven elipsleri %95 ihtimal düzeyindedir (7084 ve 7213 datum noktası).



şekil-2.8a: GLOBK yazılımı ile elde edilen yer değiştirme miktarları. Güven elipsleri %95 ihtimal düzeyindedir (7214 ve 7135 datum noktası).



şekil-2.8b: GLOBK yazılımı ile elde edilen yer değiştirme miktarları. Güven elipsleri %95 ihtimal düzeyindedir (7084 ve 7213 datum noktası).

çözümlerin incelenmesinden sabit olarak alınan iki noktanın geçen yaklaşık 55 yıl süre zarfında birbirlerine göre hareket etmediği önkabulünün geçerli olmasının büyük kuşku doğurduğu sonucuna varılmaktadır. Fay zonunun güneyinde ve faydan yaklaşık 120-150 km uzaklıkta yeralan 7084 (Eskişehir) ve 7213 (Ankara) noktalarına dayalı olarak elde edilen çözümlerin incelenmesinden, bu noktaların datum tanımında kullanılmasının daha uygun olacağı değerlendirilmiştir. Bu şekilde tanımlanan datumda her üç yazılımla elde edilen ve Şekil 2.6.b, c, d 'de verilen yer değiştirmeler incelendiğinde, yersel ve GPS ölçülerinin birlikte değerlendirilmesinde, birbirinden çok farklı nitelikte ve doğrulukta olan ölçülerin olumsuzluklar doğurduğu görüldüğünden, yersel ölçülerin DYNAP ile ayrı olarak değerlendirilip GPS koordinatlarıyla karşılaştırmasıyla elde edilen deplasmanları esas almanın uygun olacağı değerlendirilmiştir. Şekil 2.6.b 'de gösterilen bu deplasmanların sayısal değerleri Tablo 2.3 'de verilmektedir.

Tablo 2.3 : Yersel ve GPS ölçülerinden DYNAP yazılımı ile elde edilen 55 yıllık deplasmanlar (datum noktaları 7084 ve 7213). d_e doğu-batı bileşen, d_n kuzy-güney bileşen.

| Nokta No | Boylam (o) | Enlem (o) | d_e (m) | d_n (m) | σ_e (m) | σ_n (m) |
|----------|------------|-----------|-----------|-----------|----------------|----------------|
| 1239 | 32.673 | 40.926 | 2.41 | .27 | $\pm .20$ | $\pm .16$ |
| 4147 | 29.688 | 40.607 | .75 | .11 | .19 | .17 |
| 4120 | 29.849 | 41.014 | 1.64 | -.11 | .19 | .22 |
| 4122 | 30.088 | 40.880 | 1.36 | -.10 | .15 | .18 |
| 7084 | 30.637 | 39.658 | .00 | .00 | .00 | .00 |
| 7124 | 30.579 | 41.085 | 1.66 | -.32 | .14 | .19 |
| 7129 | 31.515 | 41.031 | 1.96 | -.17 | .14 | .15 |
| 7135 | 32.226 | 41.520 | 1.31 | -.18 | .21 | .21 |
| 7137 | 32.124 | 41.389 | 1.48 | -.15 | .19 | .19 |
| 7140 | 32.263 | 40.850 | 3.03 | .63 | .11 | .12 |
| 7145 | 30.311 | 40.187 | .04 | -.12 | .09 | .08 |
| 7150 | 29.889 | 40.066 | .10 | .13 | .13 | .10 |
| 7142 | 30.899 | 40.663 | 2.30 | -.25 | .10 | .12 |
| 7184 | 31.054 | 40.324 | -.24 | -.24 | .08 | .09 |
| 7204 | 32.686 | 40.766 | -1.05 | -.11 | .11 | .12 |
| 7213 | 32.577 | 39.869 | .00 | .00 | .00 | .00 |
| 7243 | 30.595 | 40.824 | 1.70 | -.23 | .13 | .15 |
| 7244 | 30.187 | 40.426 | .22 | -.23 | .12 | .11 |
| 7245 | 32.122 | 40.663 | -1.21 | -.84 | .11 | .13 |
| 7340 | 31.734 | 40.441 | -.53 | -.46 | .11 | .12 |
| 7252 | 30.731 | 40.155 | -.07 | -.16 | .06 | .07 |
| 7342 | 30.314 | 40.766 | 1.30 | -.28 | .13 | .15 |
| 7349 | 30.453 | 40.351 | -.02 | -.26 | .10 | .11 |
| 7379 | 31.479 | 40.580 | -.82 | -.34 | .09 | .10 |
| 7128 | 31.702 | 40.865 | 2.29 | .00 | .12 | .12 |

3. TEKRARLI GPS ÖLÇÜLERİNDEN NOKTA HIZLARININ BELİRLENMESİ

3.1. GPS KAMPANYA ÖLÇÜLERİ

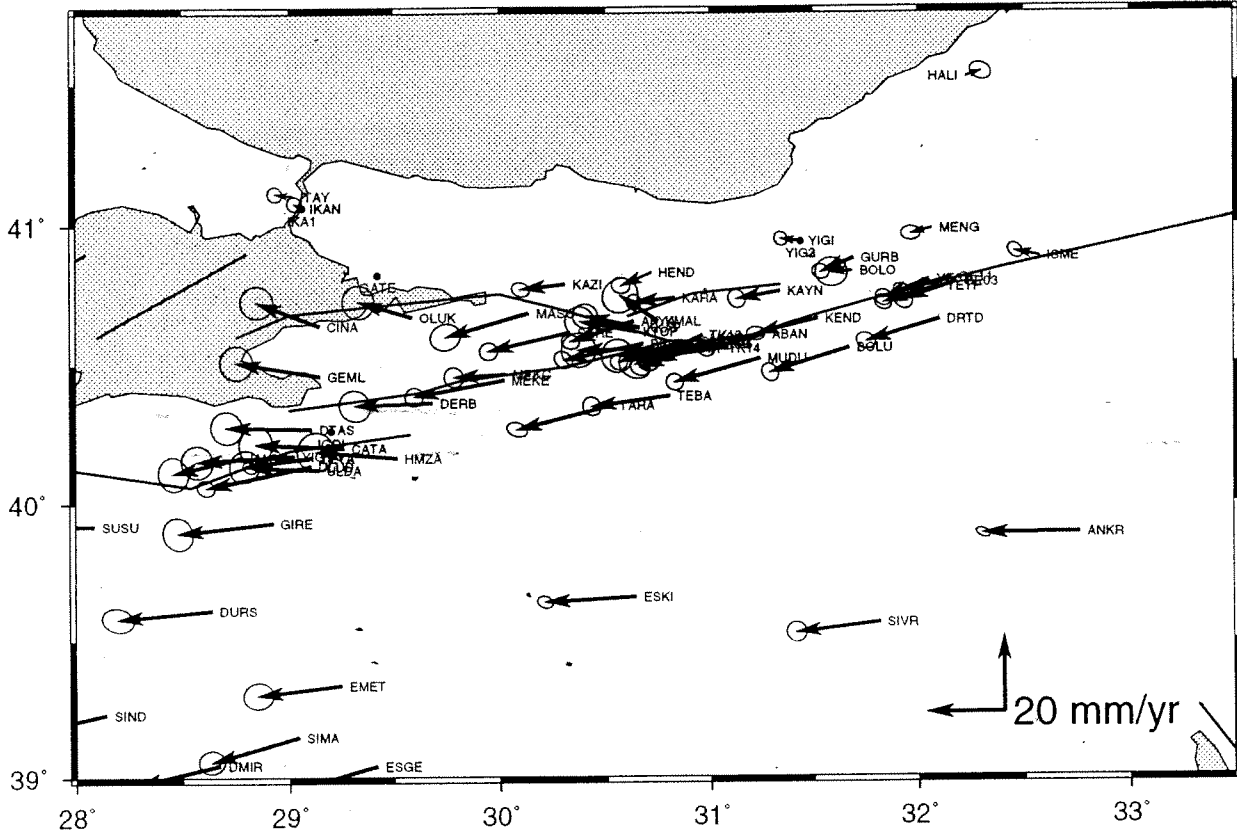
Türkiye'de 1992 yılından itibaren Harita Genel Komutanlığının kendi olanakları ve değişik Uluslararası kuruluşlarla ortaklaşa gerçekleştirdiği GPS ölçü kampanyalarının birleştirilmesi ve Türkiye'nin hız alanının belirlenmesi çalışması gerçekleştirilmiştir (Demir ve Kılıçoğlu, 1998). Bu birleştirme çalışmasına Tablo 3.1 'de verilen ve 1998 den önce tamamlanmış olan bütün kampanyalar dahil edilmiştir.

Tablo 3.1. GPS Kampanyaları. Parantez içindeki değerler değerlendirilen nokta sayılarını göstermektedir.

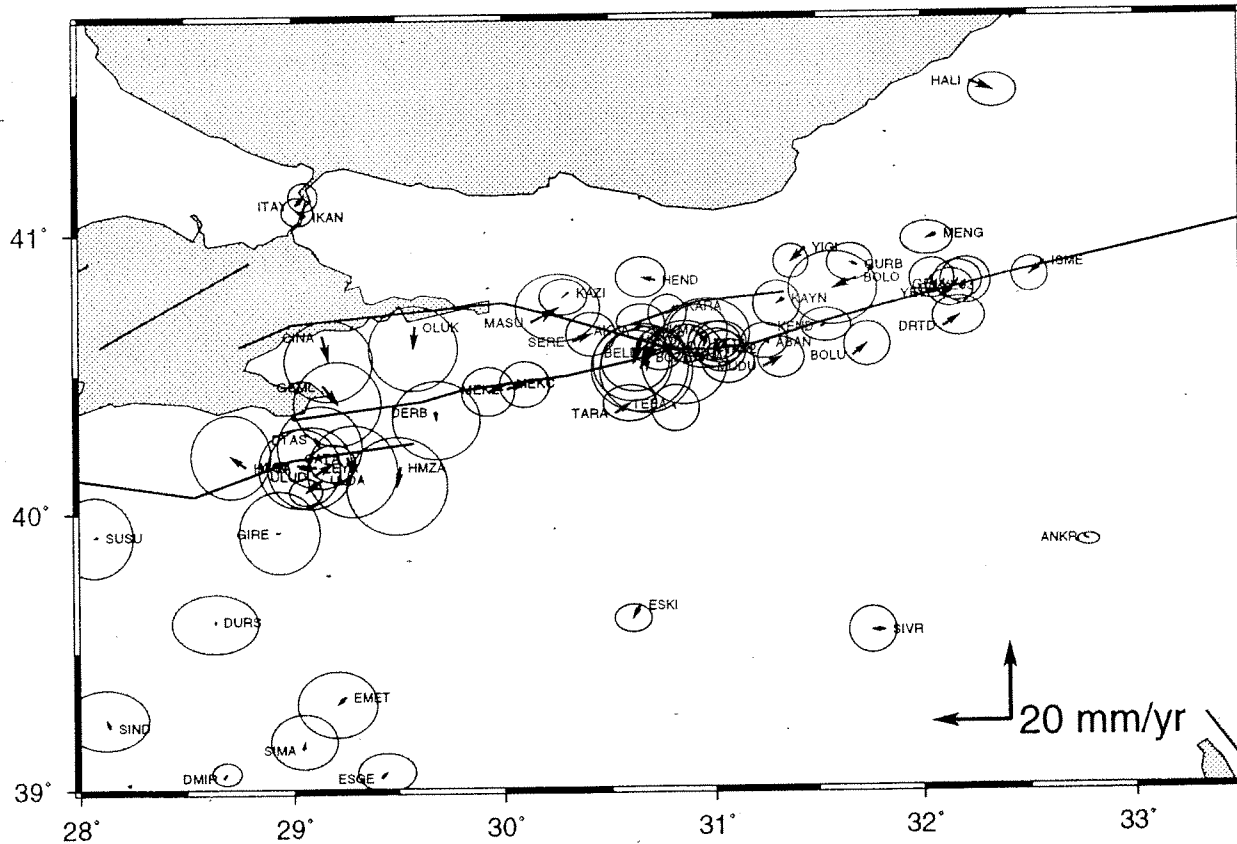
| Kamp.\Yıl | 1992 | 1993 | 1994 | 1995 | 1996 | 1997 | Açıklama |
|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--|
| MIT | X (29) | | X (65) | | X (79) | | MIT/ABD ile Türkiye kampanyası |
| NAFZ | X (30) | X (31) | | X (38) | | | IfAG/Almanya ile Kuzey Anadolu Fay Zonu kampanyası |
| MARM | X (51) | | X (57) | | X (17) | | ETHZ/İsviçre ile Marmara bölgesi kampanyası |
| AEGEAN | X (38) | X (38) | X (26) | | | | IfAG/Almanya ile Batı Anadolu kampanyası |
| MARE | | | | X (10) | | | HGK Mareograf kampanyası |
| EUVN | | | | | | X (15) | HGK Avrupa Birleşik Düşey Ağı Kampanyası |

Tablo 3.1 'deki GPS kampanyaları ayrı ayrı BERNESE 4.0 yazılımı ile değerlendirilmiş olup değerlendirmede mümkün olduğunca Altbölüm 2.2' de ifade edilen strateji izlenmiştir. Bir GPS ölçü kampanyasının değerlendirilmesinde günlere ilişkin GPS ölçülerinin ayrı ayrı değerlendirilmesi ile her gün için bir normal denklem sistemi elde edilmiştir. Günlük normal denklem sistemi, faz başlangıç belirsizliği parametresi ve troposfer parametreleri elemine edilmiş, yalnızca koordinat bilinmeyenlerini içeren, nokta koordinatları için 20 m koşul uygulandığı gevşek zorlamalı olarak elde edilmiştir. Ayrıca her kampanya çözüm sonuçları, çözümden bağımsız değişim formatında (SINEX-Solution Independent Exchange Format) elde edilmiştir.

GPS kampanyalarının ADDNEQ ve GLOBK yazılımları ile ayrı ayrı birleştirilmesi ve yapılan birleştirmenin kontrolü amaçlanmıştır. Koordinat ve hız çözümleri arasındaki farkların incelenmesinden her iki yazılım ile elde edilen sonuçlar arasındaki farkların ihmal edilecek düzeyde (1-2 mm) olduğu belirlenmiştir. Tekrarlı GPS ölçülerinden yararlı Türkiye'nin tamamının hız alanı belirlendiği bu çalışma daha sonra GPS ölçü değerlendirilmesi henüz tamamlanmış olan 21 noktalı KKGa kampanyasının da dahil edilmesiyle geliştirilmiştir. Bu kampanyada, KKTC 'deki noktalar ile birlikte Türkiye'den Ankara sabit GPS istasyonu ve iki SLR noktasında GPS gözlemi yapılmıştır. KKGa kampanyasının da katkısının sağlanması düşüncesiyle bu kampanya genel çözümlere dahil edilmiştir. Yapılan bu birleştirme



Şekil-3.2:1992-1998 yıllarında gerçekleştirilen GPS ölçü kampanyalarının birleştirilmesi ile elde edilen hız alanının çalışma bölgesini kapsayan bölümü. Güven elipsleri %95 ihtimal düzeyindedir.



Şekil-3.3: Ölçü noktalarında elde edilen farklar (residual). Güven elipsleri %95 ihtimal düzeyindedir.

sonucunda, Avrasya plakasına göre Türkiye'nin hız alanı Şekil 3.1 'de, bu hız alanının, proje çalışma bölgesindeki görüntüsü Şekil 3.2 'de gösterilmektedir.

3.2. TRİYANGÜLASYON NOKTALARINDA GPS HIZLARININ KESTİRİMİ

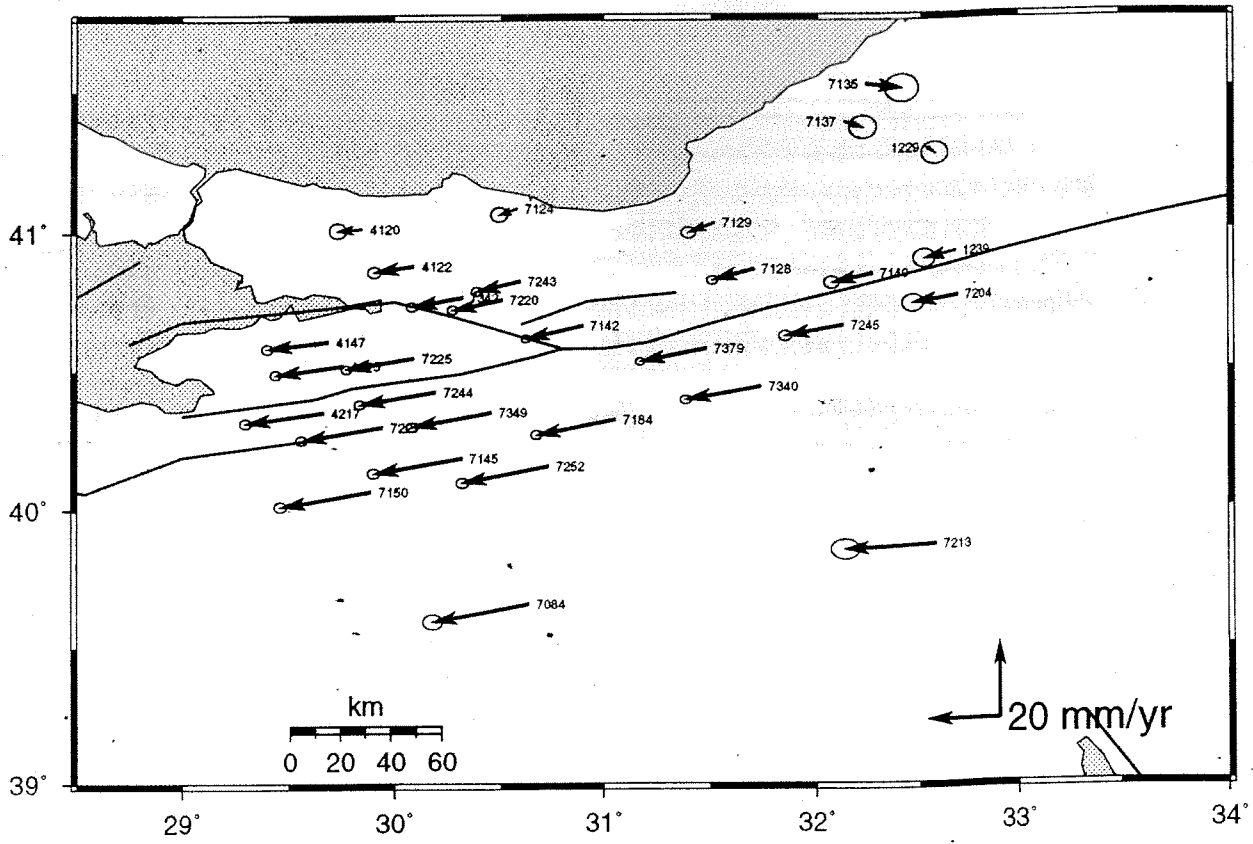
Tekrarlı GPS ölçülerinin birleştirilmesi sonucunda 7 nci poligon bölgesinde bulunan noktalardaki hızlar Şekil 3.2 'de verilmiş olup bu birleştirmede hızları bulunan noktalar, proje kapsamındaki ortak yersel ve GPS ölçülerinin yapıldığı noktalar ile çakışık değildir. Bu nedenle, bu hız alanından yararlar proje kapsamındaki ortak noktalardaki hızların kestirilmesi düşünülmüştür. Bu amaçla, Margrave ve Nyland (1980) 'de verilen polinomsal yaklaşım kullanılarak hız vektörlerinin kuzey ve doğu bileşenleri için

$$v_d = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^i a_{ij} x^{i-j} y^j, \quad v_k = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^i b_{ij} x^{i-j} y^j \quad (3.1)$$

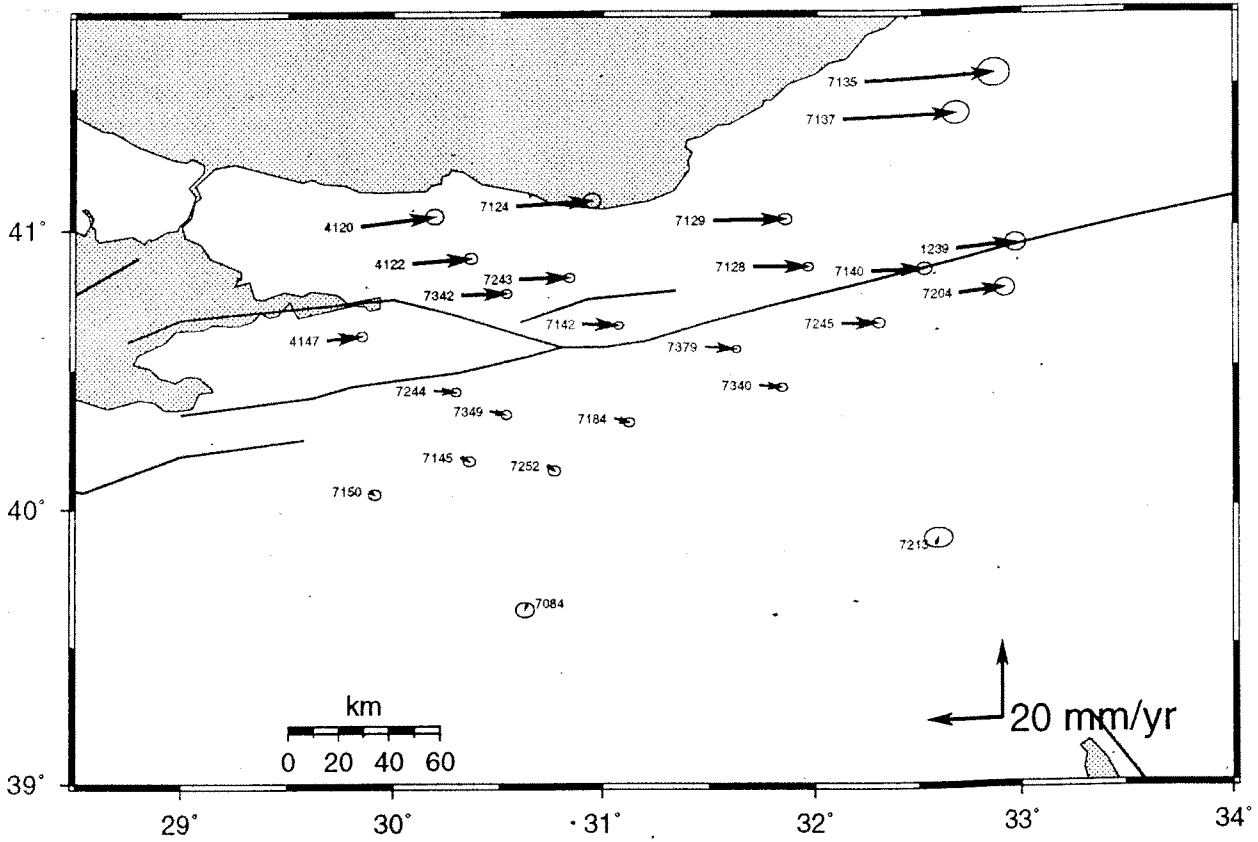
şeklinde ayrı ayrı yüzey geçirilmiştir. Bu eşitlikte; a_{ij} ve b_{ij} polinom katsayılarını, v_d ve v_k sırasıyla doğu ve kuzey yönünde hızlar, x ve y ise ölçü noktalarının ağırlık merkezine göre ötelenmiş Lambert koordinatlarını temsil etmektedir. Her bileşen için ayrı ayrı $n=1, 2, 3$ alınarak yapılan dengelemede $n=2$ ile elde edilen çözümün uygun olduğu bulunmuştur. Sözkonusu hızlara 2 nci derece yüzey geçirilerek, ölçü noktalarında elde edilen farklar (residual) Şekil 3.3 'de, ortak noktalarda konumlara bağlı olarak kestirilen hızlar Şekil 3.4.a 'da ve 7084-7213 datumuna dönüştürülmüş görüntüsü Şekil 3.4.b 'de gösterilmekte, ayrıca kestirilen hızların 7084-7213 datumuna göre değerleri Tablo 3.2 'de verilmektedir. Kestirilen hızlara ilişkin standart sapmalar, polinom katsayıları ve ilgili kovaryans matrisinden yararlar hata yayılma yasası ile hesaplanmıştır.

Tablo-3.2. Tekrarlı GPS ölçülerinden elde edilen hızlar. Datum noktaları 7084 ve 7213. v_e ve v_d sırasıyla doğu-batı ve kuzey-güney yönlü deformasyon hızları.

| Nokta No | Boylam (°) | Enlem (°) | v_e (mm/yıl) | v_d (mm/yıl) | σ_e (mm/yıl) | σ_d (mm/yıl) |
|----------|------------|-----------|----------------|----------------|---------------------|---------------------|
| 4147 | 29.688 | 40.607 | 9.25 | .98 | .60 | ± .52 |
| 7244 | 30.187 | 40.426 | 5.64 | -.48 | .57 | .47 |
| 7342 | 30.314 | 40.766 | 12.21 | .45 | .58 | .48 |
| 7142 | 30.899 | 40.663 | 9.73 | -.43 | .51 | .41 |
| 7349 | 30.453 | 40.351 | 4.37 | -.92 | .60 | .49 |
| 7128 | 31.702 | 40.865 | 14.34 | -.01 | .58 | .47 |
| 7243 | 30.595 | 40.824 | 13.44 | .28 | .60 | .49 |
| 7124 | 30.579 | 41.085 | 20.44 | 1.26 | .96 | .79 |
| 7137 | 32.124 | 41.389 | 30.24 | 1.35 | 1.54 | 1.20 |
| 1239 | 32.673 | 40.926 | 16.42 | 1.16 | 1.23 | .99 |
| 7140 | 32.263 | 40.850 | 14.23 | .47 | .83 | .67 |
| 7204 | 32.686 | 40.766 | 12.58 | 1.12 | 1.20 | .95 |
| 7245 | 32.122 | 40.663 | 9.97 | .12 | .70 | .55 |
| 7379 | 31.479 | 40.580 | 8.08 | -.57 | .49 | .40 |
| 7145 | 30.311 | 40.187 | 2.34 | -1.17 | .65 | .53 |
| 7252 | 30.731 | 40.155 | 1.88 | -1.35 | .68 | .55 |
| 7184 | 31.054 | 40.324 | 3.88 | -1.08 | .60 | .49 |
| 7150 | 29.889 | 40.066 | 1.39 | -1.06 | .67 | .55 |
| 7084 | 30.637 | 39.658 | -.66 | -1.72 | 1.03 | .81 |
| 7213 | 32.577 | 39.869 | .66 | 1.72 | 1.57 | 1.07 |
| 7340 | 31.734 | 40.441 | 5.74 | -.51 | .59 | .46 |
| 7135 | 32.226 | 41.520 | 35.13 | 1.74 | 1.89 | 1.48 |
| 4122 | 30.088 | 40.880 | 15.12 | 1.27 | .71 | .60 |
| 4120 | 29.849 | 41.014 | 18.90 | 2.42 | .95 | .83 |
| 7129 | 31.515 | 41.031 | 18.72 | .34 | .76 | .60 |



Şekil-3.4a : 7 nci poligon ortak(yersel ve GPS) noktalarda predikte edilen hızlar. Güven elipsleri %95 ihtimal düzeyindedir.



Şekil-3.4b: 7 nci poligon ortak(yersel ve GPS) noktalarda predikte edilen hızların 7084-7213 datumundaki görüntüsü. Güven elipsleri %95 ihtimal düzeyindedir.

BÖLÜM 4. DEFORMASYON ANALİZİ

Bir deprem periyodu sismik aktivite yönü ile dört dönemi kapsar; pre-sismik, ko-sismik, post-sismik ve inter-sismik (asismik) . Dört dönemin herbirinde farklı özellikte olan yerkabuğu deformasyonlarını jeodezik, jeofizik ve jeolojik verilerinden belirlemek olanaklıdır (Segall and Davis,1997). Çalışma bölgesi seçilen KAFZ İsmetpaşa- Adapazarı bölgesi 1943 - 1968 arasında önemli depremlerin etkisi altında kaldığından, 2 nci bölümde incelenen 1940 - 1995 yıllarını kapsayan 55 yıl periyodlu triyangülasyon ve GPS ölçülerinden bulunan toplam deplasman değerleri deprem periyodunun dört aşamasındaki etkileri içerir. Bu nedenle toplam deplasmanın her dönemden kaynaklanan bileşenlerine ayrılması önem kazanır. Bu ise uygun verilerin değerlendirilmesi ile olanaklıdır. Pre-sismik dönem deplasmanları küçük olduğundan bu çalışmada ele alınmamıştır. Inter-sismik dönem deplasmanlarını belirlemeye en uygun yöntemler uzay jeodezisine dayalı olup bu çalışmada Global Konumlama Sistemi (GPS) ölçüleri kullanılmıştır. Yeryüzü noktalarında hızın biliniyor olması durumunda inter-sismik yerkabuk deformasyonlarını modellemeye uygun bir model Altbölüm 4.1.'de verilmektedir. Üçüncü bölümde 1992-1998 yılları arasında Türkiyenin tamamında yapılan tekrarlı GPS ölçüleri topluca değerlendirilerek deformasyon hızları hesaplanan noktalardan seçilenler çalışma bölgesinde inter-sismik yerkabuğu deformasyonlarını belirlemek amacıyla altbölüm 4.2'de değerlendirilmektedir. 1940 - 1995 yılları arasında çalışma bölgesinde gerçekleşen büyüklüğü altı ve daha fazla depremlerin post-sismik dönemine ait jeodezik ölçü mevcut olmayıp yalnızca bazılarında ait odak mekanizması çözümleri vardır (Jackson ve McKenzie 1984, Pınar v.d.,1996). Bu nedenle post-sismik dönemdeki deplasmanlar bu çalışmada ele alınmamıştır. Ko-sismik deplasmanları belirlemeye uygun veri deprem sonucu oluşan fay düzlemi geometrisi ile ilgili odak mekanizması çözümleri ve arazi gözlemlerine dayalı jeolojik veriler olup bu verilerden yararlı hesaplanan toplam ko-sismik deplasmanlar altbölüm 4.3'de ele alınmaktadır. Altbölüm 4.4'de ise Triyangülasyon ve GPS ölçüleri ile bulunan deplasmanlar, ko- sismik ve inter-sismik dönemlerdeki deplasmanlar ile birlikte değerlendirilerek bölgede yerkabuğunun deformasyonu incelenmektedir.

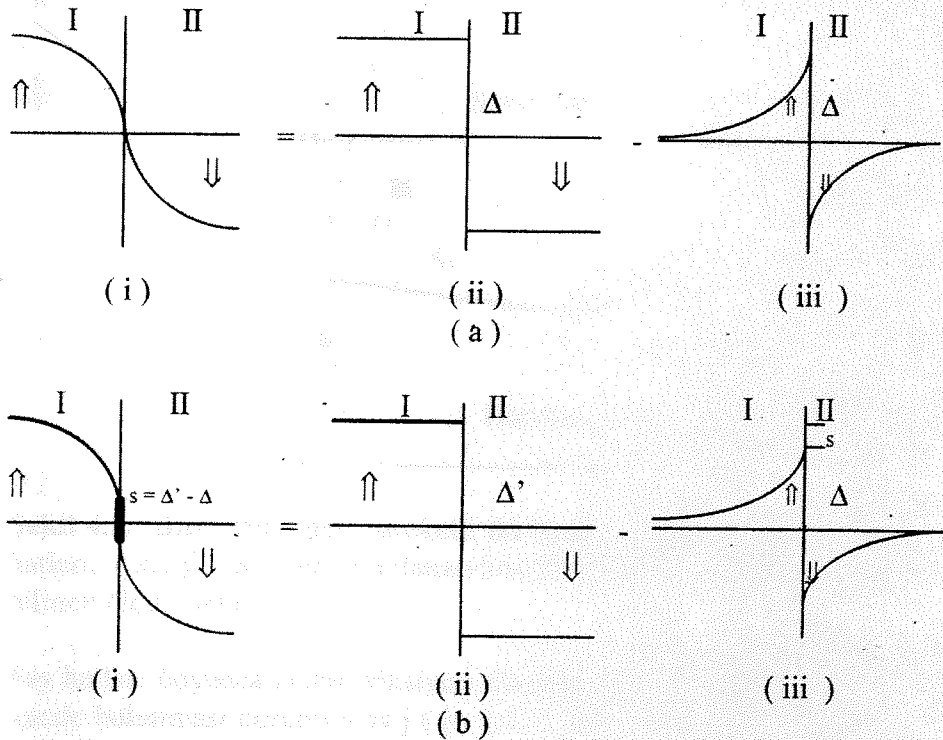
4.1. İNTER-SİSMİK DEFORMASYONLARIN MODELLENMESİ

Çalışma bölgesinde yerkabuğu deformasyonlarını incelemek amacıyla basit bir elastik yarı-uzay(half-space) blok modeli öngörülmüştür. Bu modelde yer, düşey düzlemlerle ayrılan birbiri ile temasta, uzunluğu ve derinliği sonsuz büyük kabul edilen elastik bloklardan oluşmaktadır. Bloklar elastik, homojen ve isotropik olmakla beraber aşağı litosfer ve astenosfere karşılık gelen derin bölgelerin artan ısı ve basınç etkisi ile sünümlü(ductile) davrandığı, buna karşılık kabuğa tekabül eden sıg ve soğuk bölgenin ise gevrek(brittle) davrandığı varsayılabilir. Gevrek bölge inter-sismik dönemde tamamen veya kısmen kilitli olup fay hattı boyunca asismik kayma (creep) da olabilir. Sünümlü bölge fay sınırlarına paralel, tekdüze ve görelî rijid hareket göstermektedir. Sünümlü bölgenin görelî hareketi sonucunda üstteki gevrek bölgede biriken tektonik stress sınır noktaya ulaştığında fay kırığı oluşmakta ve biriken stress boşalmaktadır. Sonrasında stress birikimi birsonraki fay kırığı oluşana kadar devam etmekte ve bir deprem periyodu tamamlanmaktadır.

Inter-sismik dönemde, blok sınırlarına yakın bölgelerde yerkabuğu deformasyonu sünümlü bölgenin rijid hareketi ve tam veya kısmen kilitli gevrek bölge etkisinin toplamı olarak modellenebilir. Şekil 4.1 'de iki blok için gösterildiği gibi, kilitli bölgenin yüzey

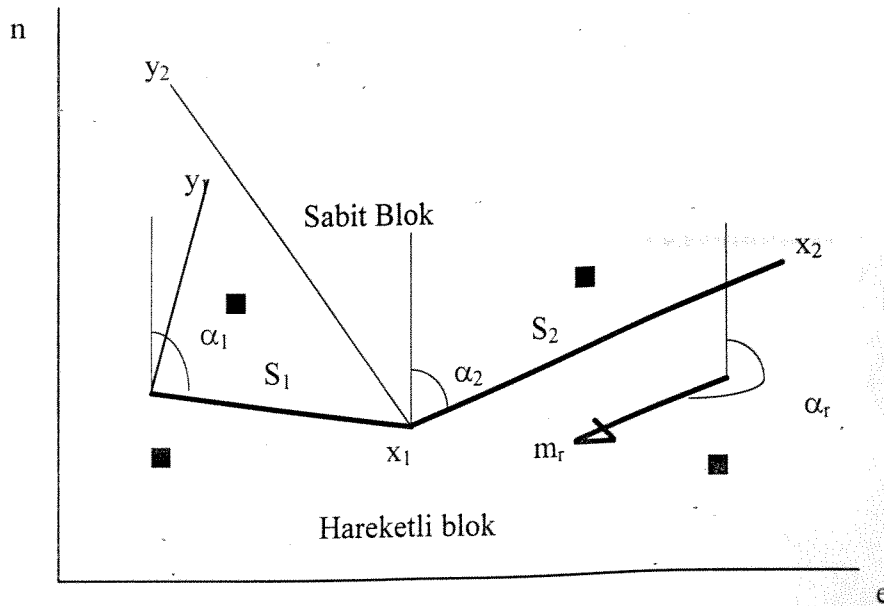
deformasyonları üzerindeki etkisi fay düzlemi üzerinde negatif elastik dislokasyonun yolaçtığı deformasyon olarak modellenebilir. Böylece inter-sismik yer kabuğu deformasyonu sınımlı bölgenin rijid blok hareketi ve gevrek bölgenin fay düzlemi boyunca negatif dislokasyonu ve kısmen kayması sonucu oluşmaktadır (Matsu'ura v.d., 1986).

Fay hattının doğrultu değiştirmesi ve ikiden fazla blok olması durumunda düşey fay düzlemi farklı uzunluk, doğrultu, derinlik ve kayma değerlerine sahip dikdörtgen parçalara ayrılır. Bu dikdörtgen parçalar boyunca gevrek ve sınımlı bölgelerde kayma tekdüze varsayılarak gevrek ve sınımlı bölgelerin ortalama kayma hızları yeryüzü noktalarının hızlarından belirlenebilir. Yeryüzü yakınında gevrek bölgelerin tam kilitli olması durumunda sınımlı bölgenin rijid blok hareketi, gevrek bölgenin negatif dislokasyon hareketine eşit olur (Şekil 4.1.a). Sınımlı bölgenin rijid hareketi, kısmi kilitli gevrek bölgelerin sürtünmesi sonucu özellikle yeryüzüne yakın kesimlerde genellikle engellenir. Böylece gevrek ve sınımlı bölgeler farklı hızda kayma gösterir ve aradaki kayma farkı dikdörtgen fay düzlem parçası için bir tekdüze dislokasyon olarak modellenir(Şekil 4.1.b).. Benzer bir model Savage v.d.(1979)'de verilmektedir.



Şekil 4.1. Blok sınırı civarında inter-sismik dönemde yüzey deplasmanı ve deformasyonu. Şekilde romen rakamlar, I ve II, blokları göstermektedir. Şekiller gevrek bölgede tamamen kilitli (a-i) ve kısmen kilitli(b-i) olan fay civarındaki yüzey deformasyonlarını göstermektedir. Bloklar rijid olarak Δ kadar hareket etselerdi yüzey deplasmanları (a-ii) ve (b-ii)'de gösterildiği gibi olacaktı. s kısmen kilitli gevrek bölgenin asismik kayması, Δ fay hattı boyunca rijid hareket deplasmanı. (a). Gevrek bölge tam kilitli. (b). Gevrek bölge kısmen kilitli ve s kadar asismik kayma (creep) var.

Yukarıda genel hatları ile verilen modeli formülize etmek için n_b sayıda bloğun $\alpha_i, = 1, \dots, n_b$ azimutlu n_b sayıda fay hattı boyunca hareket ettiği düşünülün. Bu bloklardan biri hareketsiz diğerleri ise m_r göreli rijid hareket göstermekte, fay hatları yeryüzü yakınında kısmi kilitli ve s kadar kaymakta ve bloklar üzerinde n_n sayıda hızı (v^0) bilinen ölçü noktası bulunsun. Fay hatları farklı doğrultuda olduğundan hareketli blokların α_r azimutlu referans doğrultusu boyunca rijid hareket yaptığı varsayılın. Referans doğrultusu fay hattı doğrultularından birine paralel olarak seçilebilir. Dislokasyon modelleri genellikle fay hattı doğrultusuna paralel ve dik eksenlere sahip özel koordinat sistemleri ((x, y, z)); x , fay doğrultusuna paralel yatay eksen, y , faya dik yatay eksen, z , x ve y eksenlerine dik aşağı veya yukarı yönlü eksen) kullanılarak formülize edildiğinden fay hattı sayısı kadar koordinat sistemi sözkonusudur. Koordinat sistemlerindeki farklılığı gidermek amacıyla bir (e, n) düzlem koordinat sistemi tanımlanır. Bu koordinat sisteminde e yatay eksen (doğu-batı), n düşey eksen (kuzey-güney) dir. Şekil 4.2 'de iki blok ve iki fay hattı için tanımlı koordinat sistemleri arasındaki ilişki gösterilmektedir.



Şekil 4.2. Biri sabit diğeri hareketli iki blok ve iki fay hattı için koordinat sistemleri. S_i , fay hatları, (x_i, y_i) S_i için tanımlanan koordinat sisteminin yatay eksenleri , içi dolu kareler hızı bilinen ölçü noktasıdır.

Fay hatları boyunca hiçbir friksiyon olmadığında yani hareketli blokların göreli rijid hareket içinde bulunması durumunda j ($j= 1,2,\dots, n_b$) bloku üzerindeki i ($i= 1,2,\dots, n_n$) noktasının sabit bloka göre hız bileşenleri

$${}_i v_e^f = {}_j m_r \sin \alpha_r \quad (4.1)$$

$${}_i v_n^f = {}_j m_r \cos \alpha_r \quad (4.2)$$

${}_j m_r$ ise j inci bloğun α_r azimutu doğrultusunda göreli rijid hareketidir. Blokların n_b sayıda fay parçası boyunca rijid hareketi sonucu ölçü noktalarında oluşan hareketin hızı matris gösteriminde

$$v^f = R m \quad (4.3)$$

ile yazılabilir. Burada R, ölçü noktalarının hangi blok üzerinde bulunduğunu ifade eden bir alt matris ile hareket yönlerinin sinüs ve kosinüslerinden oluşan bir matristir. Her satırı ölçü noktalarından birinde hız bileşenine karşılık gelmektedir. Ölçü noktasında bilinen v_e ve v_n bileşenlerine karşılık gelen satırlarda nokta hangi blok üzerinde ise satırın o elemanı sırasıyla $\sin\alpha_r$ ve $\cos\alpha_r$ diğer elemanları ise sıfır olmaktadır. Her ölçü noktası için iki satır yazılacağından R matrisi $(2 \cdot n_n \times n_b - 1)$ boyutlu bir matristir.

$$m = [{}_1m_r \ {}_2m_r \ \dots \ {}_{nb}m_r]^t \quad (4.4)$$

Hareketli blok sünümlü bölgesinin rijid hareketi sonucu oluşan asismik hızın, fay hattına paralel bileşeni (v_l) ve dik bileşeni (v_t)

$${}_k v_t = {}_j m_r \sin(\alpha_k - \alpha_r) \quad , k = 1, \dots, ns \quad (4.5.a)$$

$${}_k v_l = \Delta_k = {}_j m_r \cos(\alpha_k - \alpha_r) \quad (4.5.b)$$

ile bulunabilir. Bu çalışmada görelî rijid hareket sonucu oluşan asismik hızın yalnızca faya paralel bileşeni gözönünde tutulmuş ve yanal atılımlı faylarda faya dik bileşenin küçük olduğu varsayılarak ihmal edilmiştir. Gerçekte bloklar serbest olarak rijid şekilde hareket etmemektedir. Şekil 4.1.b'de gösterildiği gibi bu rijid hareketin sadece s kadar bir kısmı fay boyunca kayma olarak gerçekleşmekte geriye kalan kısım ise fay boyunca birikmektedir. Biriken bu kısım ko-sismik elastik dislokasyon olarak modellenebileceğinden bu "ko-sismik dislokasyon" diye adlandırılacaktır. Şekil (4.1.b) yardımıyla "k" ncı fay hattı boyunca biriken "ko-sismik dislokasyon (Δ_k)",

$$\Delta_k = \Delta_k' - s_k \quad (4.6.a)$$

veya

$$\Delta_k = {}_j m_r \cos(\alpha_k - \alpha_r) - s_k \quad (4.6.b)$$

olur. Fay hattı iki hareketli blok (j ve t inci bloklar) arasında tanımlı ise hareketli blokların görelî rijid hareketleri cinsinden ko-sismik dislokasyon

$$\Delta_k = ({}_j m_r - {}_t m_r) \cos(\alpha_k - \alpha_r) - s_k \quad (4.6.c)$$

ile tanımlanır. $(n_b - 1)$ sayıda hareketli blok ve n_s sayıda fay hattı olması durumunda tüm faylardaki dislokasyonlar matris gösterimde

$$\Delta = F m - s \quad (4.7)$$

ile yazılır. Burada

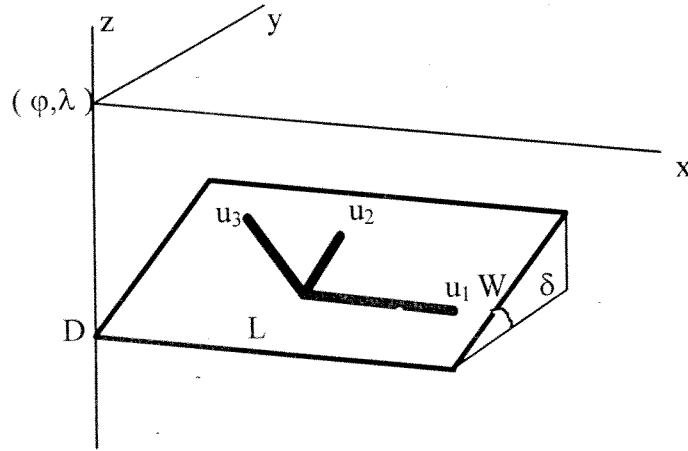
$$\Delta = [\Delta_1, \Delta_2, \dots, \Delta_{ns}]^t \quad \text{bilinmeyen dislokasyon vektörü} \quad (4.7.a)$$

$$m = [{}_1m_r, {}_2m_r, \dots, {}_{nb}m_r]^t \quad \text{bilinmeyen görelî rijid hareket vektörü} \quad (4.7.b)$$

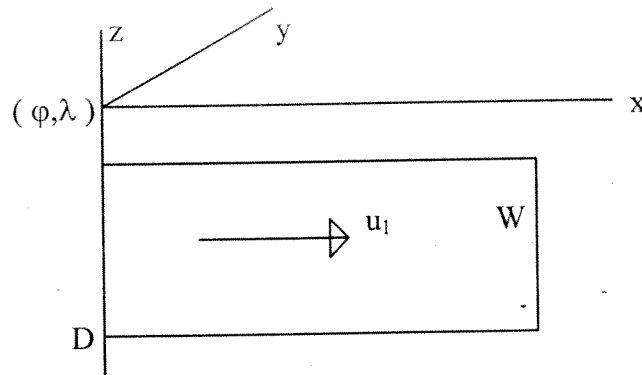
$$s = [s_1, s_2, \dots, s_{ns}]^t \quad \text{bilinmeyen fay kayma vektörüdür.} \quad (4.7.c)$$

F ise $n_s \times (n_b+1)$ boyutlu bir matris olup her satırı bir fay hattına karşılık gelmekte, fay hattına komşu hareketli blokların karşılık geldiği satır elemanı + veya - işaretli olarak $\cos(\alpha_k - \alpha_r)$ değerine eşit, satırın diğer elemanları ise sıfırdır.

Inter-sismik dönemde yerkabuk deformasyonu Şekil 4.1’de gösterildiği gibi rijid hareket ve fay hattı boyunca Δ ko-sismik dislokasyon veren dislokasyon etkisinin negatifi ile ifade edilmekte idi. Rijid hareket daha önce modellendiğinden, bu aşamada Δ ko-sismik dislokasyon ve uygun bir dislokasyon modeli ile ölçü noktalarında dislokasyon hızlarını belirlemektir. Bu amaçla Okada (1985)’ de verilen dislokasyon modeli seçilmiştir. Dislokasyon modeli daha önce açıklanan ve blokların gevrek bölgesini oluşturan dikdörtgen fay düzlemi boyunca uygulanmaktadır. Okada dislokasyon modelinde fay düzlemi geometrisi; fay uzunluğu (L), fay düzlemi genişliği (W), fay başlangıç noktası koordinatları (φ, λ), fay başlangıç noktası derinliği (D), fayın doğrultusu (α), fay düzleminin eğimi (δ) ve fay düzlemi boyunca kayma bileşenleri (u_1, u_2, u_3) ile tanımlanmaktadır (Şekil 4.3). Fay düzlemi eğim açısı 90° olduğunda fay düzlemi üzerindeki noktalarda $u_1 = u_x, u_2 = u_z$ ve $u_3 = -u_y$ olmaktadır ((u_x, u_y, u_z) kayma bileşenleri fay düzlemine özel tanımlanan (x, y, z) koordinat sistemindedir (Şekil 4.4)).



Şekil 4.3. Okada(1985) dislokasyon modeli parametreleri ve fay geometrisi.



Şekil 4.4. $\delta = 90^\circ$ için fay geometrisi.

u_1 yerine bilinmeyen Δ_k alındığında ($x, y, z = 0$) koordinatlı bir noktada dislokasyondan kaynaklanan u_x, u_y deformasyon hızları aşağıdaki formüller ile hesaplanabilir.

$$u_x = \Delta_k f_x(\xi, \eta) \quad (4.8)$$

$$u_y = \Delta_k f_y(\xi, \eta) \quad (4.9)$$

$$f_x(\xi, \eta) = f_x(x, D) - f_x(x, D - W) - f_x(x - L, D) + f_x(x - L, D - W) \quad (4.10)$$

$$f_x(\xi, \eta) = - \frac{1}{2\pi} \left\{ \frac{\xi y}{r(r+y)} + \tan^{-1} \frac{\xi \eta}{y r} - \frac{\mu}{2(\lambda+\mu)} \frac{\xi y}{(r+\eta)^2} \right\} \quad (4.11)$$

$$f_y(\xi, \eta) = f_y(x, D) - f_y(x, D - W) - f_y(x - L, D) + f_y(x - L, D - W) \quad (4.12)$$

$$f_y(\xi, \eta) = - \frac{1}{2\pi} \left\{ \frac{y^2}{r(r+\eta)} - \frac{\eta}{2(\lambda+\mu)} (\ln(r+\eta) + \frac{\eta}{r+\eta} + \frac{y^2}{(r+\eta)^2}) \right\} \quad (4.13)$$

Burada $r^2 = \xi^2 + \eta^2 + y^2$, λ ve μ elastik yarı uzayın inkompressibilitesi ve rijiditesidir. Yukarıda verilen u_x , u_y hızları α azimutlu fay hattına özel tanımlanan (x, y) yatay koordinat sisteminde olup (e, n) koordinat sistemindeki hızlar

$$v_e = u_x \sin \alpha - u_y \cos \alpha \quad (4.14.a)$$

$$v_n = u_x \cos \alpha + u_y \sin \alpha \quad (4.14.b)$$

ile bulunur. Bu formüller incelendiğinde bir ölçü noktasında v_e , v_n dislokasyon hızlarının; ölçü noktasının x, y koordinatları yanısıra fayın başlangıç noktası koordinatları (ϕ, λ) , D , L , W , α_k ve Δ_k parametrelerinin fonksiyonu olduğu görülmektedir. Bu formüller kullanılarak bir fay hattı için tanımlanan dislokasyon modelinden yararlanarak tüm ölçü noktalarında dislokasyondan doğan deformasyon hızları hesaplanır. Dislokasyon modeli iki bloğu birbirinden ayıran, Δ_k ko-sismik dislokasyon tanımlanan her fay hattı için ayrı ayrı uygulanır. Eğer nb (ikiden fazla) sayıda blok ve aralarında ns sayıda fay hattı parçası tanımlı ise, her fay parçası için farklı bir Δ_k ile bir dislokasyon modeli oluşturulur ve her birinin ölçü noktalarındaki dislokasyon hızı belirlenip toplanarak ölçü noktalarında $(nb+1)$ blok ve ns fay parçasının toplam dislokasyon hızı hesaplanır. Böylece i nci ölçü noktasında toplam dislokasyon hızı v^d bileşenleri;

$$i v_e^d = \sum_{k=1}^{ns} k v_e^d \quad (4.15.a)$$

$$i v_n^d = \sum_{k=1}^{ns} k v_n^d \quad (4.15.b)$$

ile bulunur. Her fay parçası için Δ_k bilinmeyen alınırsa ns sayıda ölçü noktası için dislokasyondan kaynaklanan hızlar matris gösterimi ile

$$v^d = G \Delta \quad (4.16)$$

$$G = \begin{bmatrix} {}_1f_x(\xi, \eta)_1 \text{Sin}\alpha_1 - {}_1f_x(\xi, \eta)_1 \text{Cos}\alpha_1 & \dots & {}_1f_x(\xi, \eta)_{ns} \text{Sin}\alpha_{ns} - {}_1f_x(\xi, \eta)_{ns} \text{Cos}\alpha_{ns} \\ {}_1f_x(\xi, \eta)_1 \text{Cos}\alpha_1 + {}_1f_x(\xi, \eta)_1 \text{Sin}\alpha_1 & \dots & {}_1f_x(\xi, \eta)_{ns} \text{Cos}\alpha_{ns} + {}_1f_x(\xi, \eta)_{ns} \text{Sin}\alpha_{ns} \\ {}_2f_x(\xi, \eta)_1 \text{Sin}\alpha_1 - {}_2f_x(\xi, \eta)_1 \text{Cos}\alpha_1 & \dots & {}_2f_x(\xi, \eta)_{ns} \text{Sin}\alpha_{ns} - {}_2f_x(\xi, \eta)_{ns} \text{Cos}\alpha_{ns} \\ {}_2f_x(\xi, \eta)_1 \text{Cos}\alpha_1 + {}_2f_x(\xi, \eta)_1 \text{Sin}\alpha_1 & \dots & {}_2f_x(\xi, \eta)_{ns} \text{Cos}\alpha_{ns} + {}_2f_x(\xi, \eta)_{ns} \text{Sin}\alpha_{ns} \\ \vdots & \dots & \vdots \\ {}_{nn}f_x(\xi, \eta)_1 \text{Sin}\alpha_1 - {}_{nn}f_x(\xi, \eta)_1 \text{Cos}\alpha_1 & \dots & {}_{nn}f_x(\xi, \eta)_{ns} \text{Sin}\alpha_{ns} - {}_{nn}f_x(\xi, \eta)_{ns} \text{Cos}\alpha_{ns} \\ {}_{nn}f_x(\xi, \eta)_1 \text{Cos}\alpha_1 + {}_{nn}f_x(\xi, \eta)_1 \text{Sin}\alpha_1 & \dots & {}_{nn}f_x(\xi, \eta)_{ns} \text{Cos}\alpha_{ns} + {}_{nn}f_x(\xi, \eta)_{ns} \text{Sin}\alpha_{ns} \end{bmatrix} \quad (4.17)$$

(2 . nn x ns) boyutlu bir matristir. G matrisi elemanları tanımında kullanılan ${}_i f_x(\xi, \eta)_k$, ${}_i f_y(\xi, \eta)_k$ fonksiyonlarının solundaki indis nokta numarası sağındaki indis ise fay numarasıdır.

Buna göre ölçü noktalarında (e,n *) koordinat sisteminde v° ölçülen hızlar, v^r görelî rijid hareket hızı ve v^d dislokasyon hızı cinsinden

$$v^{\circ} = v^r - v^d$$

ifade edilebilir. v^r , v^d ve Δ 'nin (4.3), (4.16), (4.7.a) eşitliklerindeki tanımları (4.18)'de yerine konulursa

$$v^{\circ} = R m - G [F m - s] \quad (4.19.a)$$

veya

$$v^{\circ} = [R - G F] m + G s \quad (4.19.b)$$

veya

$$X = \begin{bmatrix} m \\ s \end{bmatrix} \quad (4.20.a)$$

$$A = [(R - G F) \mid G] \quad (4.20.b)$$

matris tanımları ile en küçük kareler yöntemiyle dolaylı dengeleme için fonksiyonel model

$$v^{\circ} = A X \quad (4.21)$$

şeklinde elde edilir. Ölçülerin rasgele hataları r ile gösterilip j nci hareketli plakanın görelî rijid hareketi de biliniyorsa koşul olarak tanımlanarak

$$v^{\circ} + r = A X \quad (4.22.a)$$

$${}_j m_r = e m \quad e = [0 \ 0 \ \dots \ 1 \ \dots \ 0] \quad (1 \times ns + nb) \quad (4.22.b)$$

1 2 ... j ...

ile düzeltme ve koşul denklemleri tanımlanır. Ölçülerin kovaryans matrisi $C_{||}$ olmak üzere en küçük kareler dengelemesinin bilinen algoritması ile bilinmeyenler çözülür.

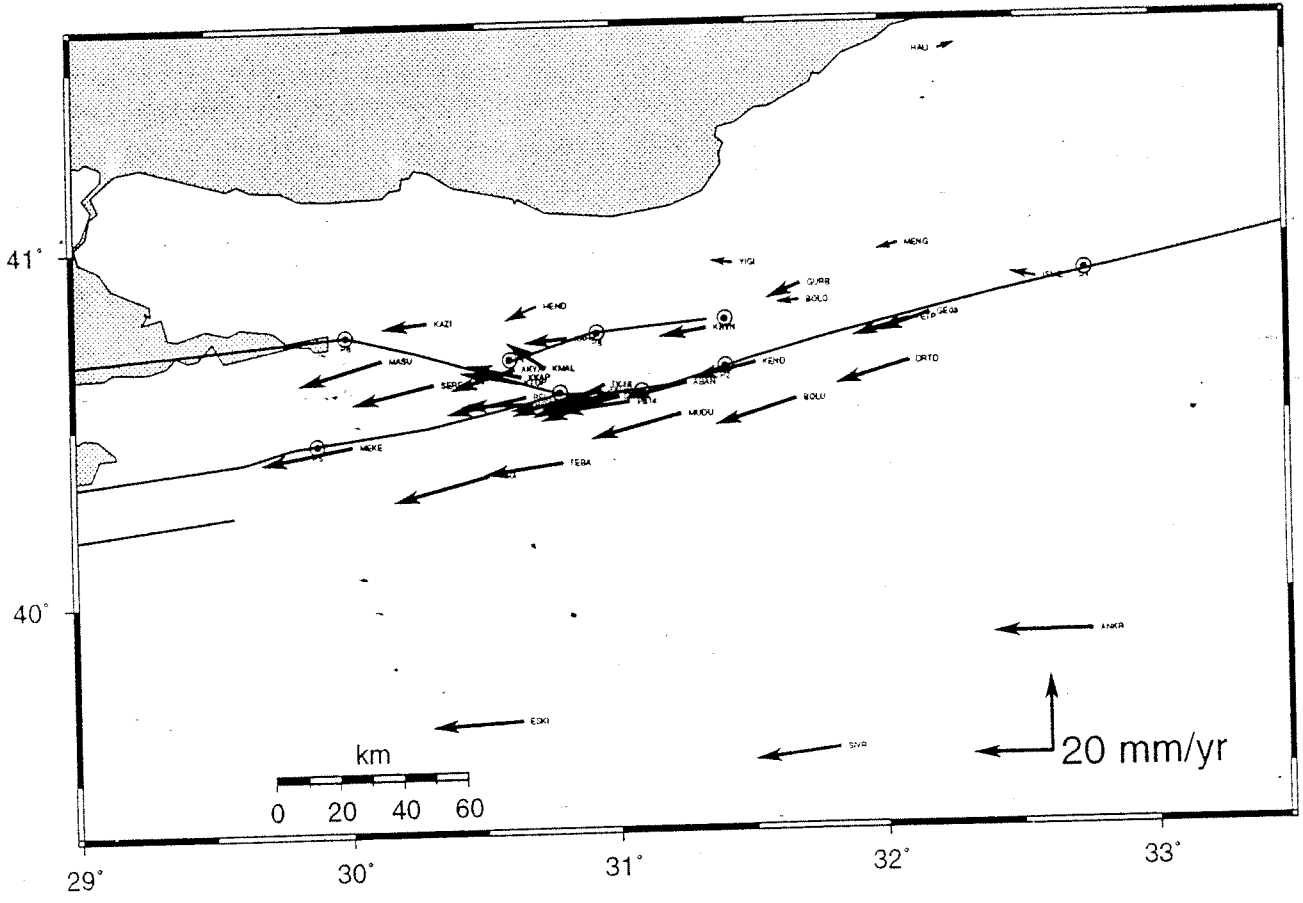
4.2.KAFZ İSMETPAŞA-ADAPAZARI ARASINDA İNTER-SİSMİK DEFORMASYON MODELLEME

KAFZ'nun İsmetpaşa - Adapazarı arasında kalan parçasını kapsayan yaklaşık $39.5^\circ < \varphi < 41.75^\circ$ ve $29.75^\circ < \lambda < 33^\circ$ enlem ve boylamları ile sınırlı çalışma bölgesinde inter-sismik deformasyon analizi Altbölümde 4.1'de verilen yöntem ile yapılacaktır. Üçüncü bölümde 1992 - 1998 yılları arasındaki tekrarlı GPS ölçülerinin topluca değerlendirilmesi ile yatay hız bileşenleri hesaplanan ve çalışma bölgesine giren noktalar arasından seçilen 40 noktanın yatay hız bileşenleri ölçü olarak kullanılmıştır. Ölçü noktalarının ismi, enlem ve boylamı, doğu-batı ve kuzey-güney yönlü yatay hızları doğrulukları ile birlikte Tablo 4.1'de verilmekte ve hızlar grafik olarak Şekil (4.5)'de gösterilmektedir.

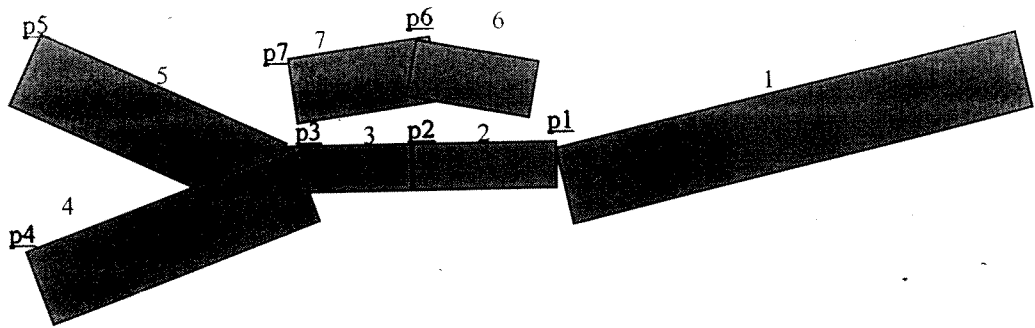
Tablo 4.1. Çalışma bölgesindeki GPS noktalarına ait bilgiler.

| Nokta | Blok | λ (°) | φ (°) | v_e (mm/yıl) | v_n (mm/yıl) | σ_e (mm/yıl) | σ_n (mm/yıl) |
|-------|------|---------------|---------------|----------------|----------------|---------------------|---------------------|
| BOLU | 2 | 31,671 | 40,554 | -21,33 | -6,38 | $\pm 0,93$ | $\pm 0,94$ |
| KEND | 2 | 31,519 | 40,658 | -16,75 | -3,82 | 1,02 | 0,71 |
| YIGI | 1 | 31,439 | 40,937 | -5,37 | 0,62 | 0,74 | 0,74 |
| KAYN | 3 | 31,336 | 40,757 | -11,65 | -1,99 | 0,96 | 0,97 |
| ABAN | 2 | 31,261 | 40,604 | -15,79 | -3,93 | 0,95 | 0,75 |
| MUDU | 2 | 31,24 | 40,517 | -22,98 | -6,04 | 0,95 | 0,87 |
| TK14 | 2 | 31,053 | 40,554 | -18,49 | -2,36 | 1,06 | 0,94 |
| TK05 | 2 | 31,017 | 40,568 | -18,58 | -3,89 | 0,96 | 0,87 |
| TK02 | 2 | 31,015 | 40,581 | -16,95 | -3,86 | 1,01 | 0,82 |
| TK01 | 2 | 31,006 | 40,581 | -16,96 | -5,61 | 1,06 | 0,83 |
| TK12 | 2 | 31 | 40,571 | -19,08 | -6,13 | 1,05 | 0,88 |
| TK16 | 3 | 30,961 | 40,602 | -14,5 | -6,68 | 1,21 | 1,11 |
| AKCO | 3 | 30,951 | 40,591 | -17,67 | -6,89 | 1,73 | 1,48 |
| DOKC | 2 | 30,869 | 40,577 | -17,35 | -5,2 | 0,92 | 0,81 |
| PINA | 2 | 30,862 | 40,555 | -17,34 | -1,92 | 1,72 | 1,76 |
| KARA | 1 | 30,827 | 40,735 | -11 | -1,08 | 0,79 | 0,82 |
| TEBA | 2 | 30,804 | 40,386 | -20,88 | -2,7 | 0,98 | 1 |
| KMAL | 3 | 30,745 | 40,652 | -10,03 | 6,73 | 1,93 | 1,86 |
| HEND | 1 | 30,714 | 40,828 | -8,11 | -3,48 | 1,02 | 0,87 |
| BOZT | 2 | 30,679 | 40,552 | -17,38 | -0,18 | 1,85 | 1,82 |
| BELD | 4 | 30,672 | 40,572 | -20,98 | -4,14 | 0,98 | 0,9 |
| KKAP | 3 | 30,655 | 40,628 | -14,29 | 3,17 | 1,36 | 1,29 |
| KTOP | 4 | 30,638 | 40,614 | -14,8 | 2,69 | 1,57 | 1,61 |
| ESKI | 2 | 30,637 | 39,658 | -23,87 | -1,29 | 0,82 | 0,66 |
| AKYA | 3 | 30,628 | 40,651 | -16,69 | -5,28 | 0,97 | 0,76 |
| TARA | 2 | 30,524 | 40,354 | -24,71 | -6,42 | 1,08 | 0,79 |
| SERE | 4 | 30,325 | 40,612 | -21,04 | -4,85 | 0,98 | 0,93 |
| KAZI | 1 | 30,303 | 40,785 | -11,39 | -1,33 | 0,94 | 0,77 |
| MASU | 4 | 30,133 | 40,682 | -21,67 | -6,2 | 1,63 | 1,42 |
| MEKE | 2 | 30,02 | 40,443 | -23,7 | -4,29 | 0,98 | 0,99 |

Deformasyon analizi yapılabilmesi için öncelikle çalışma bölgesi içinde blokların ve bunlar arasındaki fay geometrilerinin doğru olarak tanımlanması gerekir. Çalışma bölgesine İsmetpaşa yakınında yaklaşık 255° azimutunda doğrultusunda giren KAFZ'u, Abant Gölüne kadar doğrultusunu koruyarak gelmekte, buradan itibaren doğrultusu yavaşça değişerek 90° 'ye ulaşmakta ve 31.85° boylamına kadar ilerlemektedir. Bu noktada iki kola ayrılmakta, kuzey kol Sapanca-İzmit doğrultusunu izlerken güney kol Mekece-İzmit-Gemlik doğrultusunda uzanmaktadır. Bunun yanısıra bölge içinde Düzce fayı yer almakta ve bu da Akyazı-Hendek-Düzce-Kaynaşlı doğrultusunda uzanmaktadır (Şekil 4.6)(Ambraseys ve Zatopek 1969, Ambraseys 1970, Barka ve Kadinsky-Cade 1988, Şaroğlu v.d. 1988, Barka 1992). KAFZ'nun uzanışı dikkate alınarak bölge içinde dört blok ve yedi fay hattı tanımlanmıştır.(1) Avrasya bloku; KAFZ'u ve Düzce fayının kuzeyinde kalan Avrasya plakasının parçasıdır,(2) Anadolu bloku; KAFZ ve Mekece-İzmit-Gemlik uzanımının güneyinde kalan Anadolu plakası parçasıdır,(3) Armutlu bloku; KAFZ'nun 31.00° boylamından itibaren kuzey ve güney kolları arasındadır ve (4) Almacık bloku; Düzce fayı ile KAFZ'u arasındadır. Avrasya bloku sabit diğer bloklar hareketli varsayımı ile Anadolu bloğunun görelî rijid hareketi $1m_r$, Almacık bloğunun görelî rijid hareketi $2m_r$ ve Armutlu bloğunun görelî rijid hareketi $3m_r$ ile gösterilecektir. Fay hatları tanımlanırken özellikle depremler sırasında oluşan yer kabuğu kırıklarına itibar edilmiştir. Sapanca-İzmit doğrultusunu izleyen KAFZ'u kuzey kolu boyunca uzanan fay kırığı 31° batısında sedimanter basın altından geçtiği için tam belirgin değildir. Ayrıca Düzce fay hattının KAFZ'u ile bağlantıları da açıkça belirlenememiştir. Bu durum gözönünde tutularak dört blok arasında yedi fay hattı tanımlanmış olup fay hatları başlangıç noktasının enlemi ve boylamı Tablo 4.2'de verilmekte, fay hatlarının bölge içinde dağılımları ise Şekil 4.6'de gösterilmektedir. Çalışma bölgesinde $\phi_0 = 40.5^\circ$, $\lambda_0 = 31.38^\circ$ enlem ve boylamlı nokta başlangıç noktası seçilerek elipsoidin düzleme tek paralelli Lambert açılı koruyan izdüşüm sistemi koordinat sistemi, (e,n) koordinat sistemi olarak seçilmiştir. Fay hattı başlangıç noktasının Lambert düzlem koordinatları ile uzunluk ve azimutları Tablo 4.2'de verilmektedir. Bölge içinde yer kabuğunu oluşturulan blokların elastik half space özelliğini sağlamak amacıyla S_1 , S_4 ve S_5 fay parçalarının uzunlukları 1000 km seçilmiştir. Çalışma bölgesinin boyutları düşünüldüğünde uçtaki fay parça uzunluklarını 1000 km almak blok yatay uzunluklarının sonsuz uzunlukta olma özelliğini sağlamaya yeterli bir büyüklüktür. Uçtaki fay parçalarının uzunlukları gerçek uzunlukları alınarak da deneme yapılmış ve sonuçların önemli ölçüde etkilenmediği aşağıda gösterilmektedir. Referans doğrultusu α_r İsmetpaşa ile Abant Gölü arasında tanımlı fay hattının doğrultusuna eşit seçilmiştir ($\alpha_r = 255.50925^\circ$).



Şekil 4.5. Çalışma bölgesinde tekrarlı GPS ölçüleri ile hızları bulunan noktalar ve hızları.



Şekil 4.6. İnter-sismik deformasyon analizinde oluşturulan fay düzlemi modeli. 1, .. , 7 fay düzlemlerinin numarası, p_i , $i = 1, \dots, 7$ fay düzlemi başlangıç noktaları.

Tablo 4.2. Fay hattı tanımlayıcı bilgileri. S_i , fay hattı parçası, (e,n) Lambert düzlem koordinatlarıdır. * Parantez içindekiler fay uzunlukları sonlu alındığındaki değerlerdir.

| Fay hattı | Başlangıç Nok. φ (°) | Başlangıç Nok. λ (°) | Başlangıç Nok. e (km) | Başlangıç Nok. n (km) | Uzunluk (km) | Azimuth (°) |
|-----------|------------------------------|------------------------------|-------------------------|-----------------------|-----------------------|-------------|
| S_1 | 40.6500 | 31.4083 | 2.394 (2.394) | 16.658 (16.658) | 1000.000 (116.75)* | 75.50925 |
| S_2 | 40.5830 | 31.1000 | -23.707 (-23.707) | 9.255 (9.255) | 27.130 (27.130) | 74.16457 |
| S_3 | 40.5830 | 30.8000 | -49.107 (-49.107) | 9.378 (9.378) | 25.400 (25.400) | 90.27924 |
| S_4 | (40.4467) | (29.8900) | -1032.581 (-126.404) | -171.671 (-4.851) | 1000.000 (78.596) | 79.56911 |
| S_5 | (40.7500) | (30.0000) | -1010.528 (-116.546) | 284.460 (28.674) | 1000.000 (70.145) | 105.96688 |
| S_6 | 40.7500 | 30.9383 | -37.304 (-37.304) | 27.856 (27.856) | 39.854 (39.854) | 84.85814 |
| S_7 | 40.6783 | 30.6130 | -64.847 (-64.847) | 20.082 (20.082) | 28.618 (28.618) | 74.23808 |

Avrasya bloku sabit ve diğer üç blok hareketlidir. Anadolu plakasının Avrasya plakasına göreli hareketi ile ilgili jeodezik, jeolojik ve jeofizik yöntemlere dayalı olarak 0.5 cm/yıl ile 3.9 cm/yıl aralığında değerler verilmektedir (Şengör v.d. 1985, Jackson-McKenzie 1988, Barka 1992, Jackson 1993, Westaway 1994, Barka-Reilinger 1997, McClusky vd. 1998). Bu çalışmada GPS ile bulunan hızlar ölçü olarak kullanıldığından McClusky v.d. (1998) 'de verilen 22-24 mm/yıl değeri güvenilir bir değer olarak alınabilir. Ancak Şekil 4.5 'de nokta dağılımı incelenirse Anadolu plakasının rijid sayılabilecek bölgesinde KAFZ'nundan yaklaşık 200 -250 km uzaklıkta üç nokta (ESKI, ANKA,SIVR) ve Avrasya plakası üzerinde yeterli derinlikte dağılmış noktalar bulunmaktadır. Bu nedenle çalışma bölgesindeki ölçülere uyan Anadolu plakasının Avrasya plakasına göre rijid hareket hızını belirleyip koşul olarak vermek uygun olacaktır. Önceki bölümde verilen yöntem her fay parçasının geometrisini tanımlayan D, W parametrelerinin de bilinmesini gerektirmektedir. Çalışma bölgesinde sismojenik zon kalınlığı ile ilgili ayrıntılı çalışma bulunmamaktadır. Pınar v.d. (1996) tarafından 1967 Mudurnu depremi ile ilgili yapılan araştırmada sismojenik zon kalınlığının minimum 10 km olduğu belirtilmektedir. Ayrıca Canitez (1973) bölgedeki deprem derinliğinin 25 km'den daha fazla olmadığını ifade etmektedir. Ancak bu değerlerin kabul edilebilirliği tartışmalıdır. Yeryüzü noktalarında ko-sismik ve inter-sismik hızların bilinmesi durumunda fay geometrisini tanımlayan parametreleri kestirmeye uygun değişik yöntemler uygulanmaktadır (Savage v.d.1979, Ward v.d. 1989, Du v.d. 1992, Williams v.d. 1993, Hudnut v.d. 1996, Bennet v.d. 1996,1997, Shen v.d. 1996). Bu çalışmada , önceki altbölümde verilen yöntem uygulanarak bulunan r residual vektörü, C_{11} kovaryans matrisi olup ölçüler korelasyonsuz ve hızlar için varyans $\sigma_v^2 = 0.1 \text{ mm}^2$ ve birbirine eşit, koşul alınacak rijid hareket değeri m_r için varyans $\sigma_m^2 = 0.001 \text{ mm}^2$ alınarak tanımlanmış ve f serbestlik derecesi olmak üzere,

$$\sigma^2 = \frac{r^t C_{11} r}{f} \quad (4.23)$$

eşitliği ile tanımlanan varyans faktörü ölçüt seçilmiş ve yinelemeli bir algoritma izlenerek en küçük varyans faktörü veren fay geometrisi parametreleri ile birlikte rijid hareket değeri aranmıştır. Hesaplamalarda $W = D$ alınmış, D için 10 km ile 25 km arasında m_r için ise 15 mm/yıl - 30 mm/yıl aralığı kullanılmıştır. Dört blok ve yedi fay parçasının yanısıra Almacık bloku Avrasya blokuna dahil edilerek üç blok ve beş fay parçası ile de ayrıca hesaplama yapılmıştır. En küçük varyans faktörünü sağlayan en uygun parametreler Tablo 4.3'de verilmektedir. Belirlenen fay derinlikleri gözönünde tutularak oluşturulan fay parçaları grafik olarak Şekil 4.6' da gösterilmektedir. Uçta yeralan fay parça uzunluklarının sonlu ve sonsuz alınması durumunda bulunan görelî rijid blok hızları 25 mm/yıl ile 27 mm/yıl arasında değişmektedir. Anadolu Plakasının Avrasya Plakasına göre rijid hareket hızı GPS ve Uydu Laser Ölçme (SLR) ölçüleri ile Oral vd.(1995)'de 25 mm/yıl, McClusky vd (1998) 'de 22 - 24 mm/yıl, Smith vd. (1994)'de 32 mm/yıl ve Le Pichon vd. (1995)'de 28 mm/yıl verilmektedir. Diğer çalışmalarda bulunan değerler bu çalışmada Anadolu plakasının rijid kesiminde ve Avrasya plakasının yeteri derinliğinde GPS nokta hızlarından yararlı bulunan değerler ile uyumlu görülmektedir.

Tablo 4.3. Fay hattı geometrisi ve uygun rijid hareket hızı. D_i , fay parçası başlangıç noktası derinliğidir. * Fay parçaları sonlu uzunlukta.

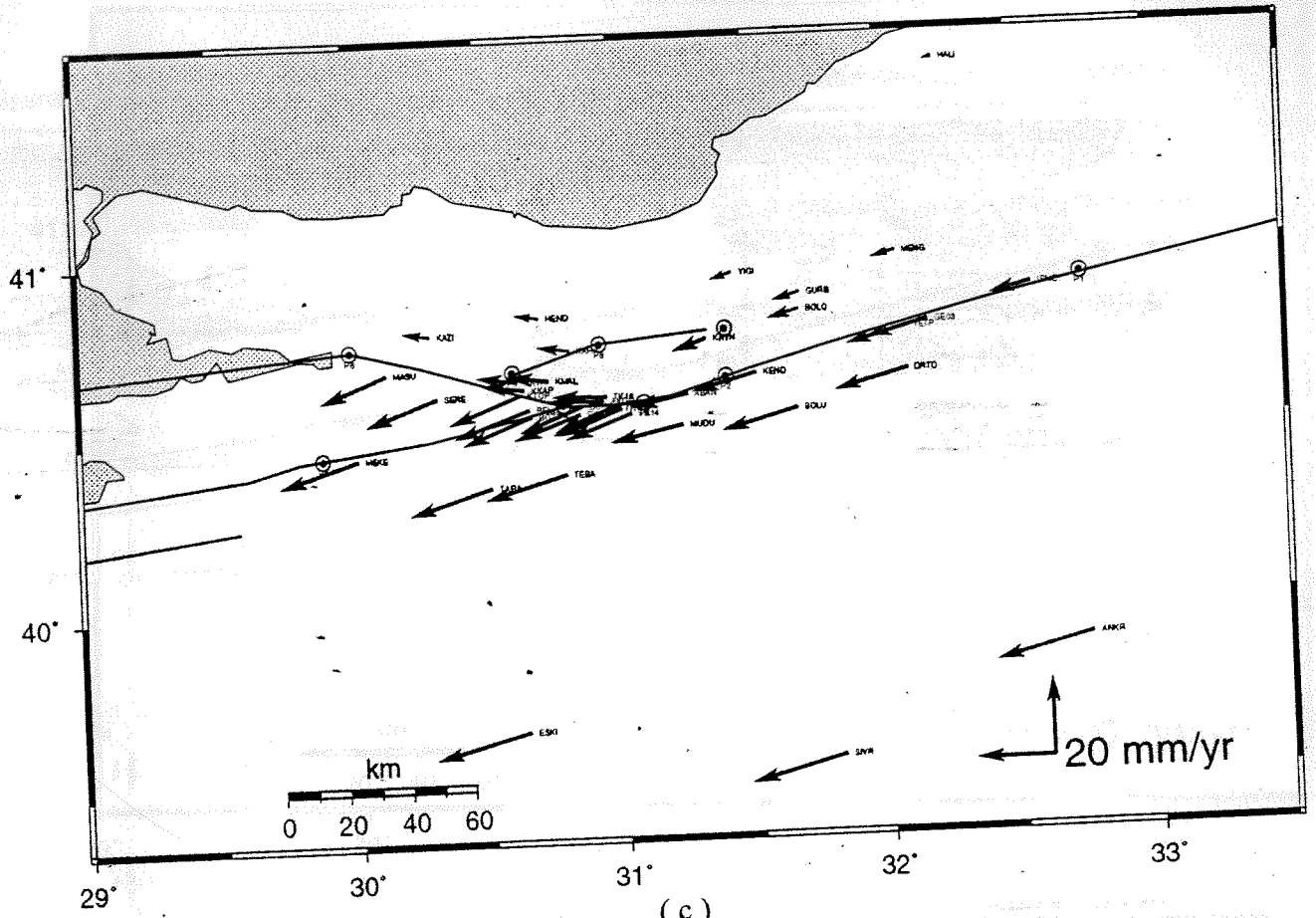
| Sıra No. | Blok Sayısı | Fay Sayısı | m_r mm/yıl | D_1 km | D_2 km | D_3 km | D_4 km | D_5 km | D_6 km | D_7 km |
|----------|-------------|------------|--------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 1 | 4 | 7 | 25 | 23 | 10 | 10 | 19 | 22 | 19 | 22 |
| 2* | 4 | 7 | 25 | 23 | 10 | 10 | 19 | 21 | 19 | 23 |
| 3 | 3 | 5 | 27 | 24 | 24 | 24 | 24 | 18 | -- | -- |
| 4* | 3 | 5 | 27 | 24 | 24 | 24 | 24 | 16 | -- | -- |

Tablo 4.2 ve 4.3 'de verilen fay geometrisini tanımlayıcı parametreler(ϕ , λ , α , L , D , W) ve Anadolu blokunun Avrasya Blokuna göre rijid hareket değerleri kullanılarak altbölüm 4.1 'de verilen yöntem ile diğer blokların görelî hareketleri m_r ve fay hatları boyunca asismik kaymalar s_i , dört seçenek ile ayrı ayrı hesaplanmış olup sonuçlar Tablo 4.4.'de verilmektedir. Bu dört çözüme ait kestirilen parametreler kullanılarak hesaplanan hızlar Şekil 4.7.'de, ölçülen ve hesaplanan hız farkları ise Şekil 4.8.'de verilmektedir. Tablo 4.4.'de verilen dört çözüm karşılaştırıldığında 4 blok, 7 faylı çözümlerin 3 blok, 5 faylı çözümlere göre varyans faktöründe yaklaşık % 35 oranında iyileşme olduğu görülmektedir. Buradan Almacık blokunun Avrasya blokunun bir parçası gibi değilde bağımsız bir blok gibi davrandığı anlaşılmaktadır. En küçük varyans faktörü 4 blok, 7 fay ve sonsuz uzunluk için elde edildiğinden bu çözümde bulunan görelî rijid blok hareketi ve asismik kayma bilinmeyenlerinin kestirilen değerleri incelenecektir. Anadolu plakasının görelî rijid hareketi olan m_r beklenildiği gibi 25 mm/yıl bulunmuştur. Anadolu ve Avrasya blokları arasında tanımlı S_1 fay parçasının 7.472 ± 2.751 mm/yıl batı yönünde kayması Barka(1992)' belirtilen İsmetpaşa'da ölçülen 11 mm/yıl 'lık asismik kayma değeri ile uyumludur. S_1 fay parçasının kısmen kilitli, fay boyunca belirgin kayma ve biriken yıllık deplasmanın ise 17 mm civarında olduğu gözükmektedir. Almacık blokunun batı yönde görelî rijid hareketi $2m_r=15.756 \pm 2.626$ mm/yıl, istatistik olarak da anlamlı olmasına karşılık beklenmeyen bir sonuçtur. Bu bloku güneyden sınırlayan S_2 , S_3 fayları boyunca kaymalar istatistik olarak anlamsız olup kilitli oldukları ve bu faylar boyunca stress birikiminin devam ettiği anlaşılmaktadır. Almacık blokunu kuzeyden sınırlayan S_6 ve S_7 fay parçalarının iki ucu açıktır. Akyazı yakınında ve Bolu'nun doğusunda S_6 ve S_7 'nin KAFZ ile nerede ve nasıl birleştiği tam olarak

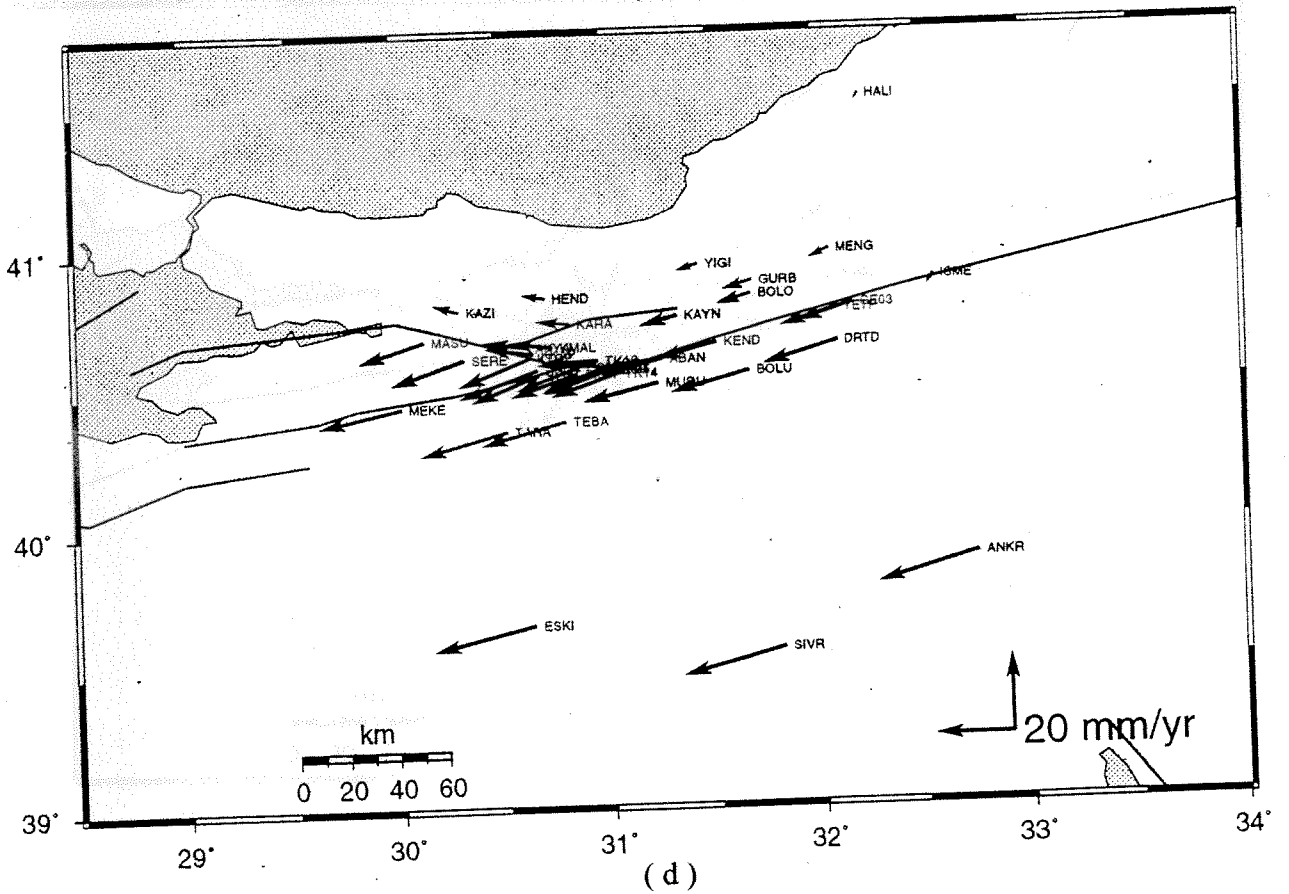
belirlenemediğinden S_6 'nın doğu ucu ve S_7 'nin batı ucu açık bırakılmıştır. Bu fay uçlarının modelde açık olması deformasyonun açık uçların çevresinde tekil olmasına yol açmaktadır. S_6 boyunca doğu yönlü 2.247 mm/yıllık kayma istatistik olarak anlamsızdır. Ancak S_7 için bulunan istatistik olarak da anlamlı olan 7.675 mm/yıl mertebesindeki doğu yönlü hareket bu blokun davranışı konusunda önemli ipucu vermektedir. Almacık bloku içine dağılmış altı ölçü noktası, hesaplanan değerleri daha da anlamlı duruma getirmektedir. ${}_2m_r + s_6 \cos(\alpha_r - \alpha_6) + s_7 \cos(\alpha_r - \alpha_7) = 25.646$ mm/yıl olup bu da ${}_1m_r = 25.000$ mm/yıl değeri ile uyşunludur. Bir diğer deyişle Anadolu plakasının bir parçası gibi davranan Almacık bloku 15.756 mm/yıl hızda Avrasya blokuna göre batı yönünde hareket etmekte geri kalan yaklaşık 9mm/yıl mertebesinde hız Düzce fayı boyunca sağa yönlü kayma olarak tamamlanmaktadır. Almacık blokunun güneyinde bulunan S_2 , S_3 fayları kilitli olmasına karşılık kuzeyindeki S_6 , S_7 fayları kısmi kilitli olup doğu yönünde kayma göstermesi Almacık blokunun saat yönünde döndüğü sonucunu vardiirmektedir. Şengör v.d. (1985) ve Sarıbudak v.d. (1990) 'jeolojik ve paleomanyetik bulgulara dayanarak bu blokun saat yönünde döndüğü bu çalışmada bulunan sonuçlara uymaktadır. Armutlu blokunun Avrasya blokuna göre rijid hareketinin batı yönünde 22.461 ± 2.989 mm/yıl ve bu blokun Anadolu bloku ile arasında yer alan S_4 fayı boyunca kayma olmayıp kilitli bulunması bu blokun Anadolu Plakası ile birlikte hareket ettiğinin bir ifadesidir. Dolayısıyla S_4 fayının tamamen kilitli ve bu fay boyunca stress birikiminin gözardı edilebilecek kadar küçük olduğu söylenebilir. Buna karşılık Armutlu blokunun Avrasya bloku ile ara sınırı olan S_5 boyunca 13.954 ± 3.135 mm/yıl mertebesinde doğu yönünde asismik kayma bulunmaktadır. ${}_3m_r$ yaklaşık olarak ${}_1m_r$ 'e eşit varsayılabilir(25.00 mm/yıl ≈ 22.461 mm/yıl). Yılmaz v.d.(1991) ve Neugebauer v.d.(1997), 1985 - 1991 yılları arasında büyüklüğü 4.2 ve daha küçük mikro depremlerin çalışma bölgesinde dağılımı incelenmiş ve KAFZ'nun Sapanca-İzmit kuzey uzanımı boyunca ve bu uzanımın kuzeyinde yoğun sismik aktivite belirlenmiştir. Şekil 4.9'de Deprem Araştırma Dairesi tarafından bölgede işletilmekte olan sismogramlarda 1994 - 1997 yılları arasında kaydedilen beş ve aşağı büyüklüklü mikro depremlerin dağılımı gösterilmektedir. Bu şekilden de S_5 fayı boyunca ve lokal olarak kuzeyinde yoğunlaşma görülmekte olup S_5 boyunca bu çalışmada bulunan 13.954 mm/yıl büyüklüğündeki kaymanın bir bölümünün mikro depremler ile alındığı kalan kısmının ise kısmen kilitli S_5 boyunca asismik kayma biçiminde gerçekleştiği gözükmektedir.

Tablo 4.4. Inter-sismik dönemde blokların rijid blok hareketleri ve fay hatları boyunca kaymalar. s_i , S_i fay parçaları boyunca kaymadır. m_r ve s ler mm/yıl birimindedir.

| Para- metre | 4 blok, 7 fay Sonsuz Uzunluk | 4 blok, 7 fay Sonlu Uzunluk | 3 blok, 5 fay Sonsuz Uzunluk | 3 blok, 5 fay Sonlu Uzunluk |
|----------------|---------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|
| ${}_1m_r$ | 25.000 \pm 0.032 | 25.000 \pm 0.032 | 27.000 \pm 0.032 | 27.000 \pm 0.032 |
| ${}_2m_r$ | 15.756 \pm 2.626 | 15.719 \pm 2.695 | 20.072 \pm 2.911 | 20.921 \pm 2.870 |
| ${}_3m_r$ | 22.461 \pm 2.989 | 22.679 \pm 2.965 | - | - |
| s_1 | -7.472 \pm 2.751 | -7.284 \pm 2.831 | -5.292 \pm 2.725 | -5.148 \pm 2.809 |
| $-s_2$ | 1.369 \pm 6.573 | 1.424 \pm 6.572 | 2.066 \pm 5.684 | 1.933 \pm 5.684 |
| s_3 | -0.639 \pm 2.632 | -0.718 \pm 2.635 | -1.541 \pm 2.468 | -1.687 \pm 2.467 |
| s_4 | 0.039 \pm 2.866 | 0.309 \pm 3.062 | 2.250 \pm 2.661 | 3.461 \pm 2.856 |
| s_5 | -13.954 \pm 3.135 | -13.697 \pm 3.380 | -4.507 \pm 2.621 | -2.894 \pm 2.855 |
| s_6 | 2.247 \pm 6.042 | 2.120 \pm 6.049 | - | - |
| s_7 | 7.675 \pm 4.194 | 7.609 \pm 4.168 | - | - |
| σ^2 | 0.7337 | 0.7525 | 1.1256 | 1.1323 |

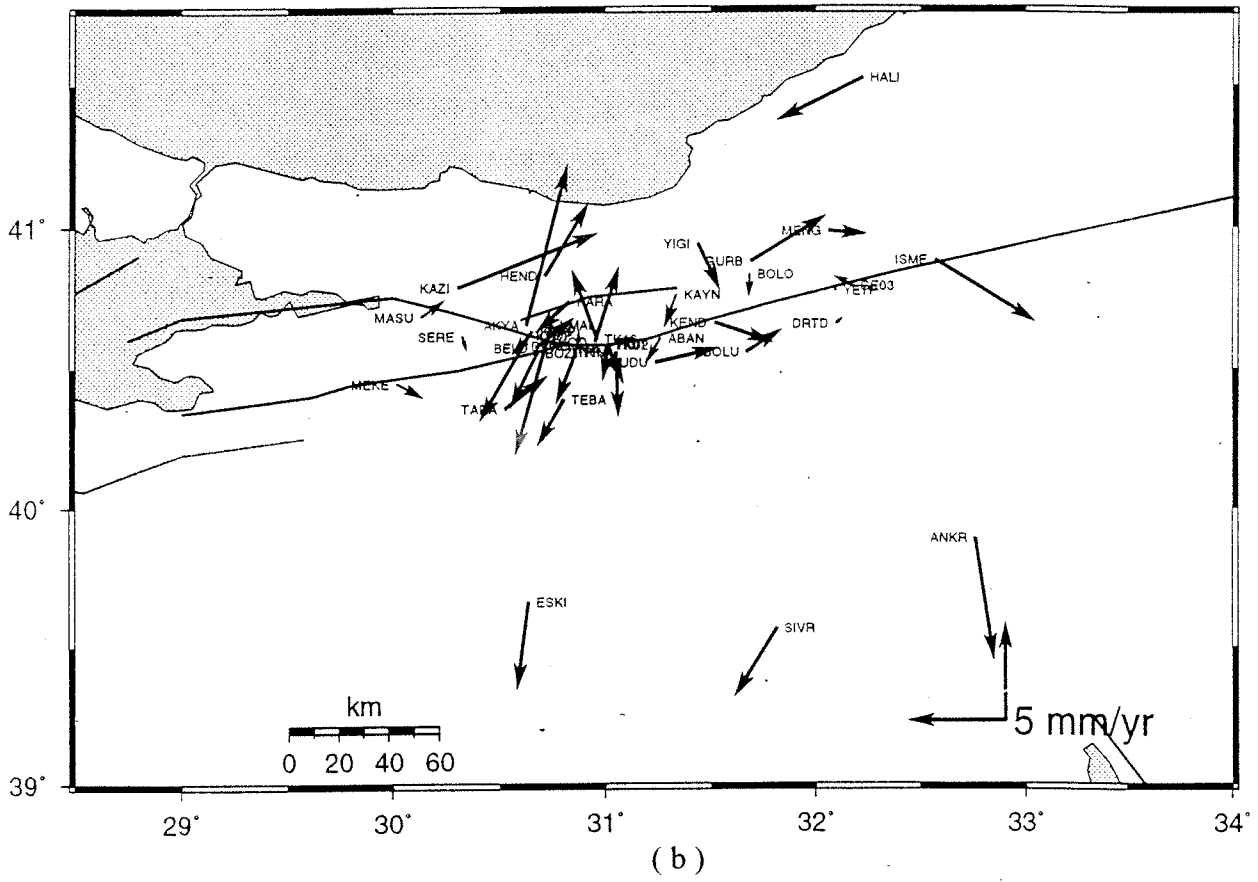
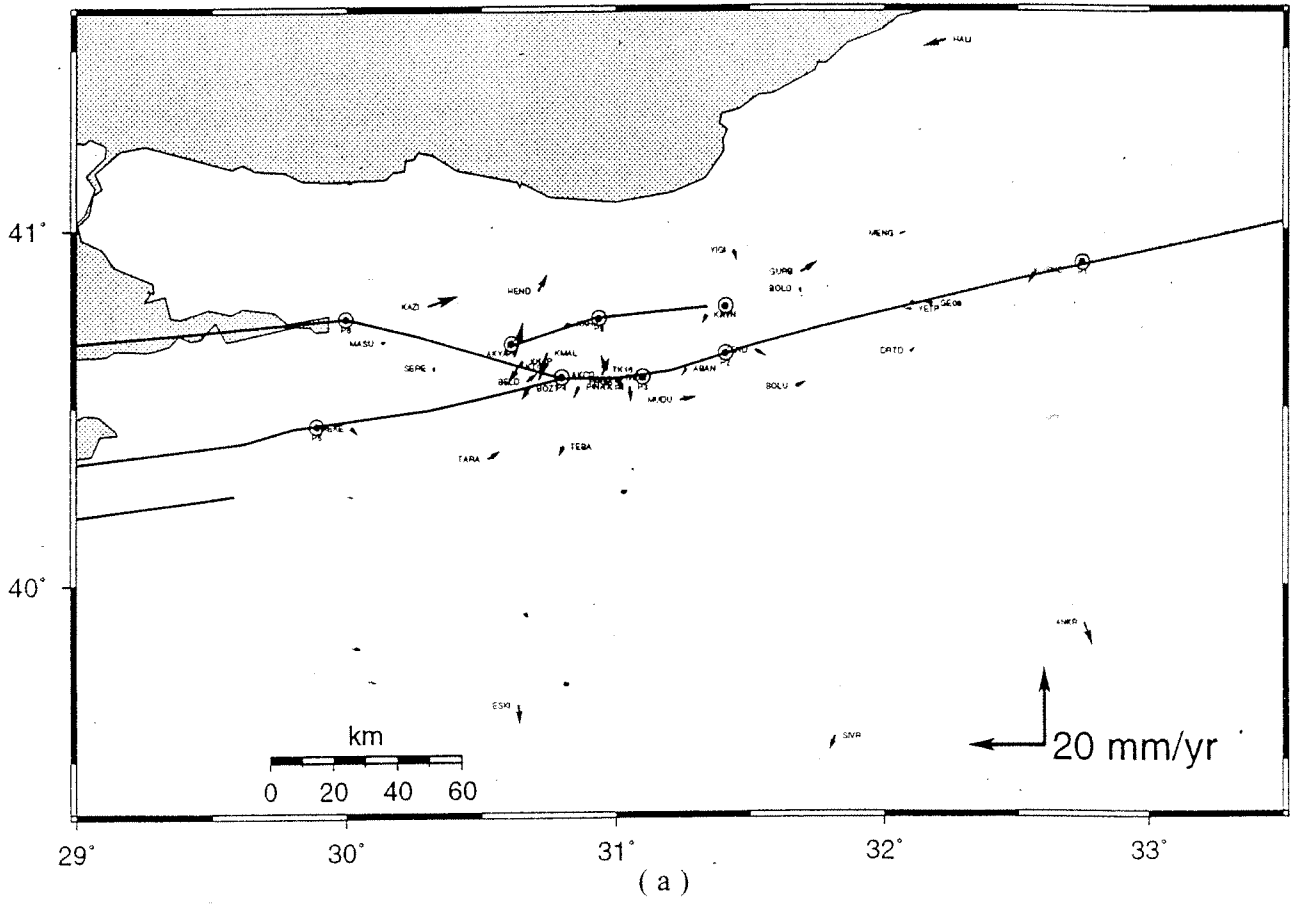


(c)



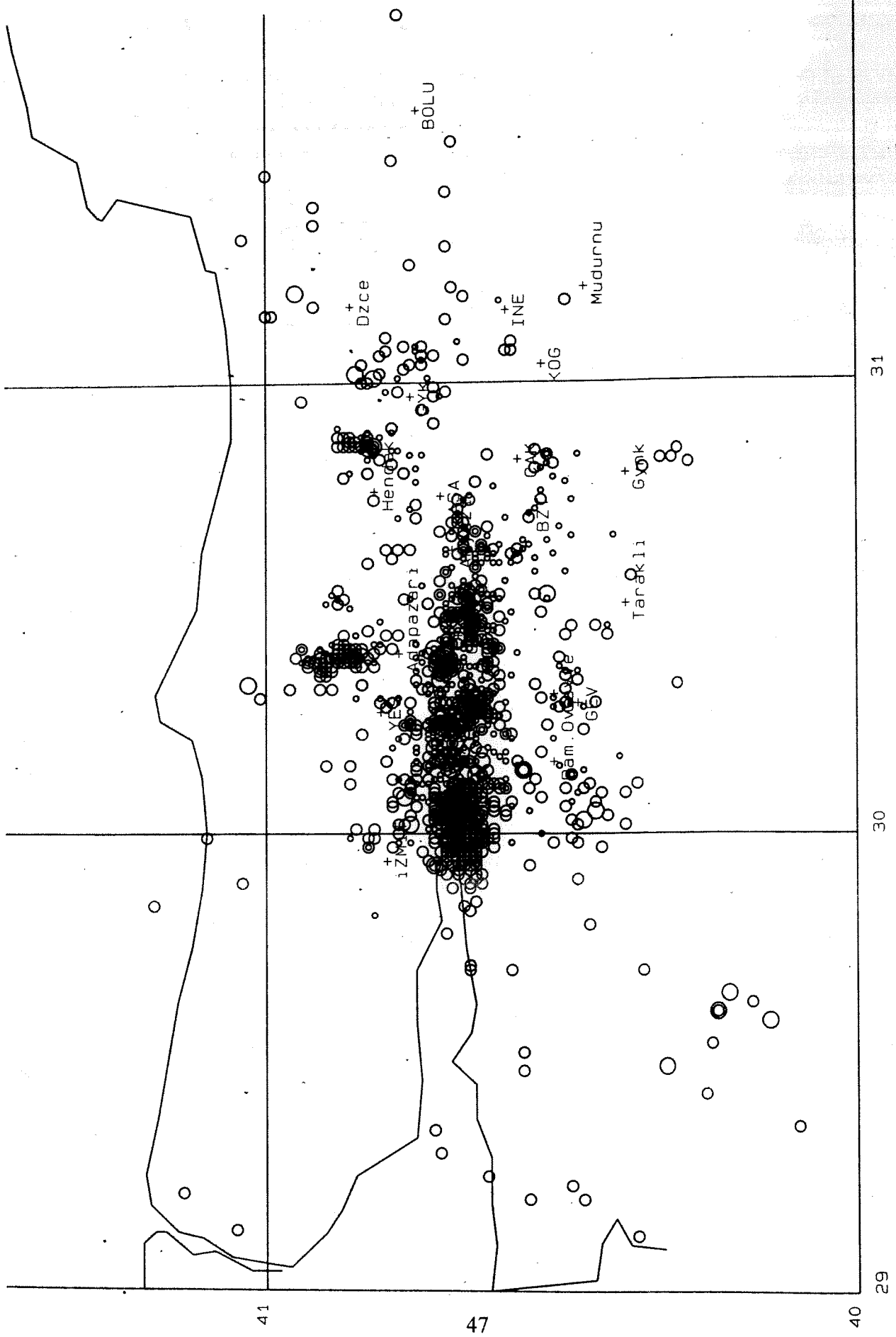
(d)

Şekil 4.7. (Devam)



Şekil 4.8. Hesaplanan değerlerin ölçü değerlerinden farkları;(a) 4 blok, 7 fay, sonsuz uzunluk;(b) 4 blok, 7 fay, sonlu uzunluk; (c) 3 blok, 5 fay, sonsuz uzunluk; (d) 3 blok, 5 fay, sonlu uzunluk.

1994-1997 YILLARINDA 40.00-41.44 N ve 29.00-31.82 E ARASINDAKI BOLGENIN SISMASITESI (m >= 1.0)



Magnitud --> \bullet < 1 \circ < 2 \circ < 3 \circ < 4 \circ < 5

Şekil 4.9. 1994-1997 yıllarında proje bölgesi ve çevresinde mikro depremlerin dağılımı (Denrem Araştırma Dairesi, 1998).

4.3. KO-SİSMİK DEPLASMANLAR

Triangülasyon ve GPS ölçüleri ile bulunan 55 yıl periyodlu toplam deplasmanlar, 1940 - 1995 yılları arasında çalışma bölgesini etkileyen depremler sonucu oluşan ko-sismik deplasmanları da içerir. Bu çalışmada sadece büyüklüğü altı ve daha fazla olan depremlerin ko-sismik etkileri modellenmekte olup 1940-1995 yılları arasında çalışma bölgesinde vuku bulan depremler ile ilgili bilgiler Tablo 4.5'de verilmektedir. Deprem sırasında oluşan fay kırığının uzunluğu, doğrultusu ve kaymaları (u_1 , u_2) ile bilgiler daha çok arazide jeolojik ve jeomorfolojik çalışmalar ile belirlenir. Fay düzlemi ve deprem episentürünü tanımlayan parametreler ile depremin büyüklük ve sismik momenti bilgileri cisim ve yüzey dalgalarından yararlanarak odak mekanizması çözümleri ile de bulunur. Bazı bilgiler, örn. fay doğrultusu, bu iki yolla ayrı ayrı bulunup doğruluğu kontrol edilir. Ancak fay hattı boyunca asismik kaymalar genellikle depremin hemen sonrasında arazide ölçülür. Ölçülen bu değerlerin deprem sırasında oluşan gerçek kaymalara karşılık gelip gelmediği konusu kuşkuludur. Genellikle fay bir çizgi halinde olmayıp genişliği birkaç yüz metreden birkaç kilometreye varan bir zona yayılmıştır. Ayrıca fay zonları içinde toplam kayma fay hattında hemen deprem sonrasında oluşan kayma en az iki kat daha fazla olabilmektedir (Ambraseys, 1970). Depremden yıllar sonra arazide kaymaların ölçülmesi hendek açma gibi güvenilir yöntemlerin yanısıra çoğunlukla depremi yaşamış insanların tariflerine dayandığından kuşku ile karşılaşılır. Bunun yanısıra özellikle tarihi büyük depremler ile ilgili yeterli sayı ve sıklıkta sismolojik kayıt olmadığından odak mekanizması çözümleri ile bulunan değerlerin doğrulukları da genellikle düşüktür. Değişik araştırmacılar tarafından farklı yöntemler ile belirlenen değerler arasında önemli farklar olduğu gözönünde tutularak Tablo 4.5'de bazı parametreler için tek bir değer yerine bir aralık verilmiştir.

Tablo 4.5 incelendiğinde Adapazarı ve Bartın depremleri ile oluşan fay kırığı ve fay düzlemi geometrisi ile ilgili uzunluk(L), derinlik(D), genişlik(W), doğrultu(α), eğim(δ), fay hattı boyunca yatay ve düşey ko-sismik kayma (u_1 , u_2) bilgilerinin bulunmadığı gözükmektedir. İnter-sismik deformasyonların bir önceki bölümde incelenmesinde Adapazarı çevresinde gevrek bölge kalınlığı 22 km civarında bulunmuştur. Bartın çevresinde ise böyle bir bilgi elde edilememiştir. Bu nedenle Jackson ve McKenzie(1988)'de ortalama sismojenik zon kalınlığı olarak önerilen 15 km Adapazarı ve Bartın depremleri için episentir derinliği alınabilir. Barka ve Kadinsky-Cade(1988), Adapazarı depremi sonucunda oluşan bir fay kırığından söz etmemekte, Düzce fayının Akyazı ile Düzce doğrultusunda uzanan, sağa yanal atımlı yaklaşık 25 km uzunluğundaki parçasını ve KAFZ'nun Sapanca-İzmit kolunun Adapazarı depreminden etkilediğini belirtmektedir. Bu çalışmada Adapazarı depreminin Düzce fayının Akyazı - Düzce doğrultusundaki parçasını etkilediği kabul edilmiş ve fay doğrultusu Şaroğlu v.d. (1988)'de verilen harita üzerinden yaklaşık 60° okunmuş, eğim açısı ise 90° alınmıştır. Deprem büyüklüğü M_s , sismik moment M_0 ve fay parametreleri L ve u_1 arasında aşağıdaki ampirik ilişkiler bulunmaktadır

$$\log M_0 = 9.05 + 1.5 M_s \quad \text{Westaway (1994)} \quad (4.24)$$

$$\log L = -2.162 + 0.562 \cdot M_s \quad \text{Vakov (1996)} \quad (4.25)$$

$$L = \sqrt{\frac{M_0 \sin \delta}{\alpha' \mu W}} \quad \text{Curtis v.d. (1997)} \quad (4.26)$$

Tablo 4.5. Çalışma bölgesini etkileyen depremler ile ilgili bilgiler . Ambraseys-Zatopek (1969), Ambraseys (1970), McKenzie (1972), Dewey (1976), Jackson-Mckenzie (1944 ; 1988), Barka-Kadinsky (1988), Westaway (1994), Barka(1996), Vakov (1996)'dan derlenmiştir.

| No. | Tarih | Adı | φ o | λ o | M_s | M_0 10^{18} Nm | L km | α o | δ o | u_1 m | u_2 m | D km | W km |
|-----|------------|-------------|----------------|----------------|----------|-----------------------|----------|---------------|---------------|------------|------------|---------|---------|
| 1 | 20.06.1943 | Adapazarı | 40.83° | 30.48° | 6.3-6.5 | 4 | | | | | | | |
| 2 | 01.02.1944 | Bolu-Gerede | 41.10° | 33.22° | 7.3-7.6 | 43.1-100 | 165-190 | 75 | 90 | 1.0-3.5RL | 1.0N | | 20 |
| 3 | 13.08.1951 | Kurşunlu | 40.8° | 33.2° | 6.5-6.9 | 30-40 | 25-40-62 | | | 0.8RL | | | |
| 4 | 26.05.1957 | Abant | 40.61° | 30.85° | 6.2-7.1 | 40 | 30-50 | 78-87 | 78 | 1.4-1.6RL | 0.4-0.55 | | 15 |
| 5 | 22.07.1967 | Mudurnu | 40.57° | 30.80° | 6.9-7.25 | 40-44.5 | 80 | | 93 | 1.4-1.9RL | 1.25N | | 20 |
| 6 | 03.09.1968 | Bartın | 41.77° | 32.50° | 6.5-6.6 | 1.9-6 | | 28 | 38 | | | 5 | |

φ , λ ; episentür enlem ve boylamı, M_s deprem büyüklüğü, M_0 sismik moment, L gözlenen kırık uzunluğu, α kırık doğrultusunun azimutu, δ fay düzleminin eğim açısı, u_1 fay boyunca gözlenen yatay deplasman (RL sağa yanal atım, LL sola yanal atım), u_2 fay boyunca gözlenen düşey deplasman (N kuzey tarafa çökme), D episentür derinliği, W fay düzleminin genişliği.

$$u_1 = \frac{M_0}{\mu \cdot L \cdot W} \quad \text{Curtis v.d.(1997)} \quad (4.27)$$

Burada W fay düzleminin genişliğini, μ ise babuğun rijiditesini göstermektedir. α' ise çalışma bölgesindeki büyük depremlerde gözlenen (u_1 / L) değerlerinin ortalaması olup $\alpha' = 3 \cdot 10^{-5}$ olarak alınmıştır. Rijidite için ise $3 \cdot 10^{10}$ Pa (Pascal) nominal değeri kullanılmıştır.

$M_s = 6.5$ olan Adapazarı depremi için; sismik moment (4.24) eşitliğinden $M_0 = 6.3 \times 10^{18}$ Nm bulunmuş, fay uzunluğu (4.25) eşitliği ile 16.5 km, (4.26) eşitliği ile 30.9 km hesaplanmış ancak Barka-Kadinsky-Cade(1988)'de verilen 25 km değeri de gözönünde tutularak $L = 30$ km alınmıştır. Fay boyunca yatay deplasman (4.26) ve (4.27) formülleri ile $\cong 0.8$ m bulunmuştur.

Bartın depreminde $M_s = 6.6$ olup M_0 değeri Tablo 4.5'de $6 \cdot 10^{18}$ Nm ve (4.24) eşitliği ile $8.9 \cdot 10^{18}$ Nm bulunmuş ve bu değer kullanılmıştır. Fay kırığının uzunluğu ise (4.25) ve (4.26) formülleri ile sırasıyla 15.8 km ve 35.3 km bulunmuş ve $L \cong 30$ km alınmış, fay kırığı boyunca yatay kayma (4.27) formülü ile $\cong 0.77$ m bulunmuştur. Bartın depreminde oluşan fay eğim açısı 38° olan bindirme fayı olduğundan fay boyunca düşey kayma değerinin bilinmesi önem kazanmaktadır. Ancak bu fay boyunca düşey kaymanın belirlenmesine yönelik bir bilgi elde edilememiştir.

Yukarıda incelenen altı depremin neden olduğu toplam ko-sismik deplasmanın ölçü noktalarındaki değerleri bölüm 4.2'de açıklandığı gibi Okada (1985) elastik dislokasyon modeli ile hesaplanabilir. Okada dislokasyon modelinin parametreleri; fay düzlem geometrisini belirleyen $\phi, \lambda, L, D, W, \alpha, \delta, u_1, u_2$ olmak üzere dokuz parametredir. Eğer bloklar arasında ns adet fay düzlemi varsa bu fay düzlemlerini tanımlayan toplam $9 \times ns$ adet parametrenin bilinmesi gerekir. Bu durumda (e_i, n_i) koordinatlı bir noktada toplam ko-sismik deplasman bileşenleri ;

$$d_e(e_i, n_i) = \sum_{k=1}^{ns} k d_i^e \quad (4.28.a)$$

$$d_n(e_i, n_i) = \sum_{k=1}^{ns} k d_i^n \quad (4.28.b)$$

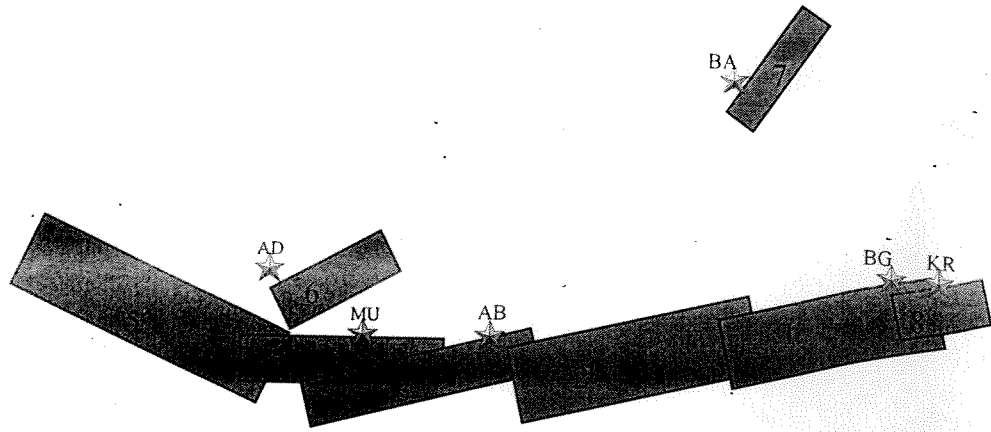
olur. Burada ($k d_i^e, k d_i^n$), k ncı fay düzlemi boyunca dislokasyonun i nci noktada yarattığı ko-sismik deplasman bileşenleri olup Bölüm 4.2'de açıklandığı gibi hesaplanır.

Bu formüller ile çalışma bölgesine giren ölçü noktalarında toplam deplasman bileşenlerini hesaplamak için öncelikle fay düzlemleri ve parametreleri uygun olarak tespit edilmelidir. Bolu-Gerede depreminde oluşan fay kırığı boyunca yatay ve düşey kaymalar genel olarak doğudan batıya doğru artmakta, İsmetpaşa yakınında bindirme(overstep) bulunmaktadır. Bu nedenle Bolu-Gerede depremi fay kırığı biri İsmetpaşa'nın doğusunda diğeri batısında uzanan iki fay düzlemi ile temsil edilecektir. Abant deprem kırığı; doğu ucunda Bolu-Gerede fay kırığınının batı ucunu temsil eden fay düzlemi ile kısa bir bindirme, batı ucunda ise Mudurnu depremi fay kırığınının doğu ucunu temsil eden fay düzlemi ile yaklaşık 25 km lik bindirme yapmaktadır. Mudurnu deprem kırığı 31° boylamında yön değiştirmekte ve fay hattı boyunca

yatay ve düşey kaymalar değişmektedir. Bu nedenle Mudurnu depremi fay kırığı 31° boylamının doğu ve batı yönünde uzanan bindirmeli iki fay düzlemi ile temsil edilecektir. Adapazarı, Kurşunlu ve Bartın depremleri ise birer fay düzlemi ile temsil edilmektedir (Ambraseys 1970, Barka ve Kadinsky-Cade 1988, Şaroğlu vd 1988, Barka 1996). Fay düzlemlerinin başlangıç nokta derinliği ortalama sismojenik zon kalınlığı olan 15 km ve güvenilir veri olmadığı durumda eğim açısı 90° alınmış, fay doğrultusu ve fay uzunlukları Tablo 4.5'deki değerler gözönünde tutularak fay düzleminin başlangıç ve son noktalarının enlem ve boylam değerlerinden yararlı hesaplanmıştır. Fay hatları boyunca yatay ve düşey kaymalar Tablo 4.5'den alınmış, bu tabloda olmayan kaymalar için yukarıda hesaplanan değerler kullanılmıştır. Tanımlanan toplam sekiz fay düzlemine ilişkin parametreler Tablo 4.6'da verilmekte ve fay düzlemleri grafik olarak Şekil 4.10'da gösterilmektedir.

Tablo 4.6. Ko-sismik dislokasyon modellemesinde kullanılan fay parametreleri.

| Fay No. | ϕ (o) | λ (o) | α (o) | δ (o) | L (km) | D (km) | W (km) | u_1 (m) | u_2 (m) |
|---------|------------|---------------|--------------|--------------|--------|--------|--------|-----------|-----------|
| 1 | 40.82 | 32.54 | 74.67 | 90 | 66 | 15 | 15 | -1.5 | 1.0 |
| 2 | 40.62 | 31.36 | 77.93 | 90 | 113 | 15 | 15 | -3.5 | 1.0 |
| 3 | 40.53 | 30.78 | 75.77 | 90 | 55 | 15 | 15 | -1.6 | 0.4 |
| 4 | 40.57 | 30.60 | 85.80 | 90 | 48 | 15 | 15 | -1.9 | 1.0 |
| 5 | 40.71 | 29.76 | 99.88 | 90 | 88 | 15 | 15 | -0.7 | 1.0 |
| 6 | 40.83 | 30.38 | 60.00 | 90 | 30 | 15 | 15 | -0.8 | 0.0 |
| 7 | 41.79 | 32.31 | 28.00 | 38 | 30 | 15 | 24.36 | -0.77 | 1.0 |
| 8 | 41.90 | 33.20 | 75.00 | 90 | 25 | 15 | 15 | -0.8 | 0.0 |



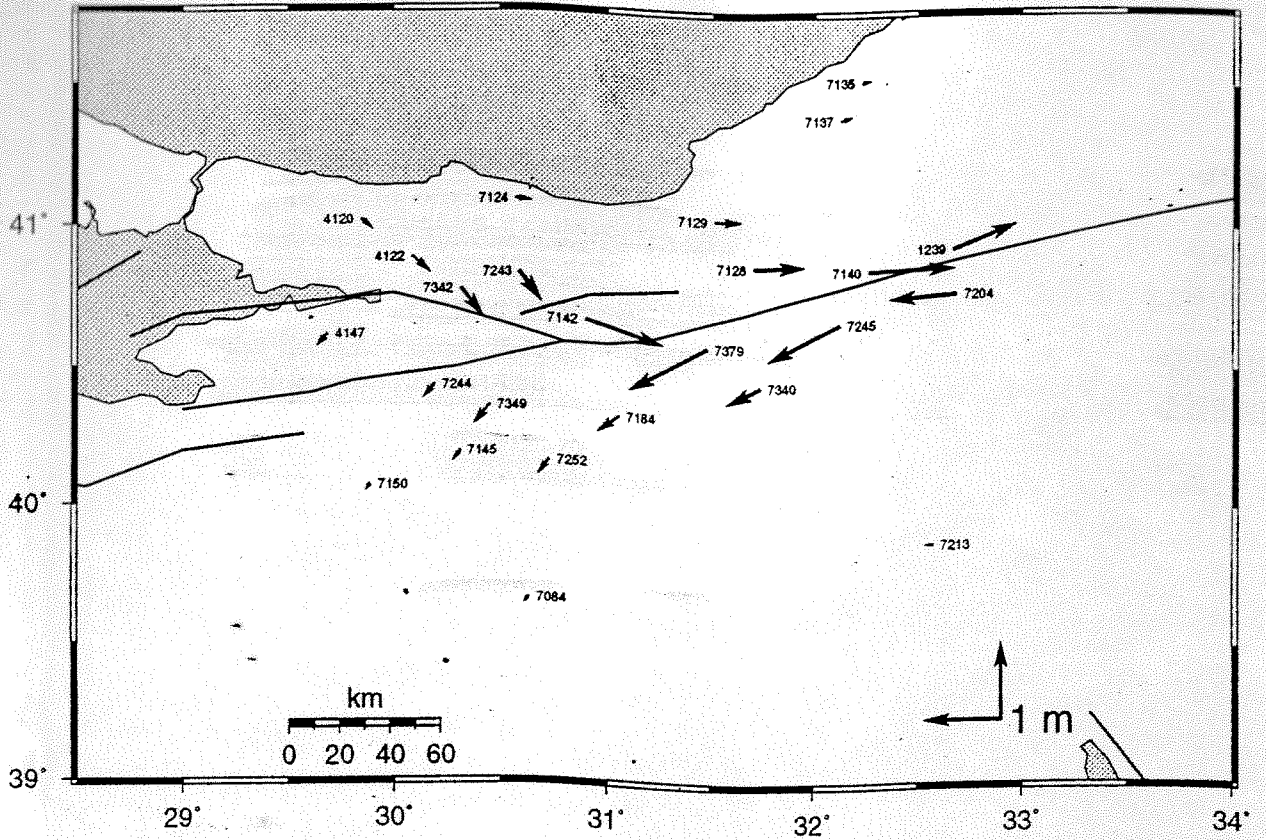
Şekil 4.10. Fay düzlemlerinin geometrisi, bölge içinde dağılımı ve deprem episentrlarının şematik gösterimi. Episentrlar; AB Abant, AD Adapazarı, Ba Bartın, BG Bolu-Gerede, KR Kurşunlu, MU Mudurnu. Fay düzlemleri; 1 Bolu-Gerede doğu fay düzlemi, 2 Bolu-Gerede batı fay düzlemi, 3 Abant fay düzlemi, 4 Mudurnu doğu fay düzlemi, 5 Mudurnu batı fay düzlemi, 6 Adapazarı fay düzlemi, 7 Bartın fay düzlemi, 8 Kurşunlu fay düzlemidir.

Tablo 4.5'de odak mekanizması çözümleri ve arazide jeolojik ölçülerle bulunan deprem bilgilerine dayalı olarak Tablo 4.6'daki sekiz fay düzlemi geometri tanımlayıcı parametreleri

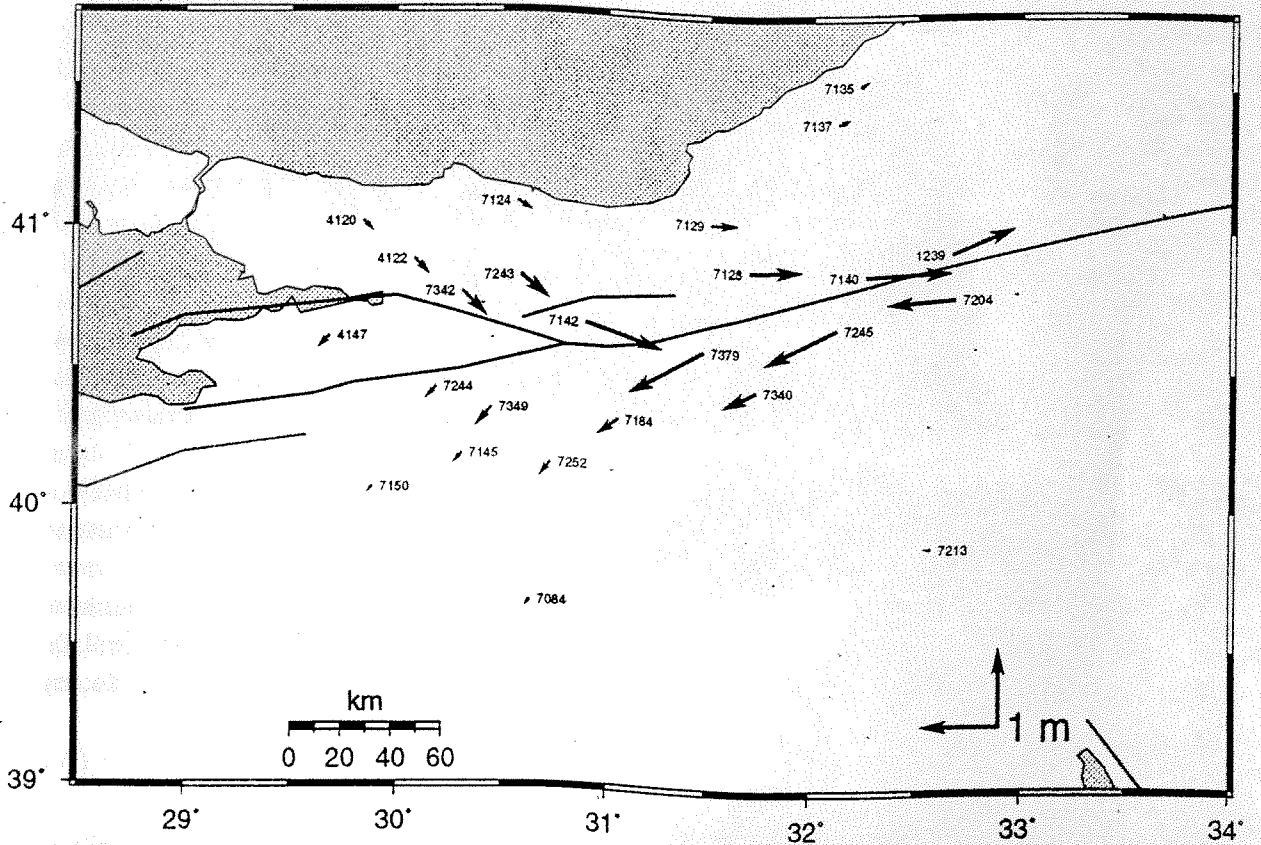
belirlenmiş ve Okada dislokasyon modelinde kullanılmıştır. İkinci bölümde sözedilen yedinci poligonun 1940 ve 1995 yıllarındaki triyagülasyon ve GPS ölçüsü ile deplasmanları hesaplanan 25 triyagülasyon noktasında toplam ko-sismik deplasman bileşenleri bulunmuştur. Bu hesaplamalarda Tablo 4.6'da tanımlanan sekiz fay düzleminin yanısıra bir de yalnızca KAFZ'nu izleyen 1-5 fay düzlemleri, diğer bir deyişle yalnızca Bolu-Gerede, Abant ve Mudurnu depremleri gözönünde tutularak, toplam ko-sismik deplasman bileşenleri hesaplanmıştır. Sekiz ve beş fay düzlemlerli dislokasyon modellemesinde 25 triyagülasyon noktasında hesaplanan toplam ko-sismik deplasmanlar Şekil 4.11'da gösterilmekte, deplasmanların bileşenleri ve modeller arasındaki farklar ise Tablo 4.7'de verilmektedir. Sekiz ve beş fay düzlemlerli çözümlerde bileşenlerin farklarına ilişkin istatistikler ise Tablo 4.8'de verilmektedir. Bu istatistikler ve toplam ko-sismik deplasman bileşenlerinin büyüklükleri gözönünde tutulduğunda, beş ve sekiz fay düzlemlerli dislokasyon çözümleri arasında anlamlı bir fark olmadığı görülmektedir. Bunun anlamı çalışma bölgesindeki toplam ko-sismik deplasmanlar temel olarak Bolu-Gerede, Abant ve Mudurnu depremlerinden kaynaklanmaktadır. Ko-sismik deplasmanların doğruluğu fay düzlemi geometrisini tanımlayan parametrelerin hatalarına ve Okada dislokasyon modelindeki varsayımlara bağlıdır.

Tablo 4.7. Beş ve sekiz fay düzlemlerli dislokasyon çözümlerinde bulunan toplam ko-sismik deplasman bileşenleri ve farklar.

| Nok.No. | d_e (5 fay) | d_e (8 fay) | Fark(d_e) | d_n (5 fay) | d_n (8 fay) | Fark(d_n) |
|---------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 1239 | 0,807 | 0,8187 | -0,0117 | 0,3332 | 0,3245 | 0,0087 |
| 4120 | 0,1095 | 0,1326 | -0,0231 | -0,1169 | -0,1232 | 0,0063 |
| 4122 | 0,1762 | 0,2242 | -0,048 | -0,1897 | -0,1985 | 0,0088 |
| 4147 | -0,1411 | -0,1341 | -0,007 | -0,1463 | -0,1464 | 0,0001 |
| 7084 | -0,0465 | -0,0464 | -0,0001 | -0,0655 | -0,0692 | 0,0037 |
| 7124 | 0,1719 | 0,1849 | -0,013 | -0,1137 | -0,0182 | -0,0955 |
| 7128 | 0,6674 | 0,6655 | 0,0019 | 0,0149 | 0,0132 | 0,0017 |
| 7129 | 0,3325 | 0,33 | 0,0025 | 0,004 | 0,0041 | -1E-04 |
| 7135 | 0,092 | 0,1083 | -0,0163 | 0,059 | 0,0186 | 0,0404 |
| 7137 | 0,1291 | 0,1379 | -0,0088 | 0,0561 | 0,0377 | 0,0184 |
| 7140 | 1,1239 | 1,1288 | -0,0049 | 0,0381 | 0,0332 | 0,0049 |
| 7142 | 1,0288 | 1,0077 | 0,0211 | -0,2935 | -0,2843 | -0,0092 |
| 7145 | -0,1051 | -0,1047 | -0,0004 | -0,1208 | -0,1303 | 0,0095 |
| 7150 | -0,0514 | -0,0513 | -1E-04 | -0,0627 | -0,0675 | 0,0048 |
| 7184 | -0,2695 | -0,271 | 0,0015 | -0,1958 | -0,1997 | 0,0039 |
| 7204 | -0,8844 | -0,883 | -0,0014 | -0,055 | -0,0605 | 0,0055 |
| 7213 | -0,0748 | -0,0775 | 0,0027 | 0,0092 | 0,0045 | 0,0047 |
| 7243 | 0,3559 | 0,2761 | 0,0798 | -0,2932 | -0,3666 | 0,0734 |
| 7244 | -0,1317 | -0,1331 | 0,0014 | -0,1401 | -0,1573 | 0,0172 |
| 7245 | -0,9595 | -0,9617 | 0,0022 | -0,4538 | -0,4572 | 0,0034 |
| 7252 | -0,1291 | -0,1287 | -0,0004 | -0,1745 | -0,1821 | 0,0076 |
| 7340 | -0,4271 | -0,4324 | 0,0053 | -0,2096 | -0,2123 | 0,0027 |
| 7342 | 0,3064 | 0,3013 | 0,0051 | -0,3114 | -0,3774 | 0,066 |
| 7349 | -0,201 | -0,2004 | -0,0006 | -0,2254 | -0,2407 | 0,0153 |
| 7379 | -1,0211 | -1,0275 | 0,0064 | -0,5691 | -0,5705 | 0,0014 |



(a)



(b)

Şekil 4.11. Toplam ko-sismik deplasmanlar: (a) Bolu-Gerede, Abant, Mudurnu, Adapazarı, Bartın ve Kurşunlu depremlerini temsil eden sekiz fay düzlemi ile çözüm sonuçları; (b) Bolu-Gerede, Abant ve Mudurnu depremlerini temsil eden beş fay düzlemi ile çözüm sonuçları.

Tablo 4.8. Farkların istatistikleri

| İstatistikler | Fark(d _e) (metre) | Fark(d _n) (metre) |
|----------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Ortalama | -0.0002 | 0.0081 |
| Standart Sapma | ±0.0210 | ±0.0291 |
| Minimum | -0.0480 | -0.0955 |
| Maximum | 0.0798 | 0.0734 |

4.4. KAFZ BATI UCUNDA DEFORMASYON ANALİZİ

1939-1943 arasındaki yersel ölçüler ve 1995 yılındaki GPS ölçülerinden yararlı yedinci poligonun 25 noktasında yaklaşık 55 yıl intervalli deplasmanlar ikinci bölümde belirlenmiştir. Yersel ölçülerle bulunan nokta koordinatlarının doğruluğu yaklaşık ±25 cm, GPS noktalarında yatay koordinat doğruluğu yaklaşık ±1-2 cm olduğu düşünülürse yersel ve GPS koordinatlarının farkı ile belirlenen deplasmanların doğruluğu ± 25 cm civarında olmaktadır. Belirlenen bu deplasmanlar aslında 1940 - 1995 yılları arasında deprem periyodunun dört dönemindeki deformasyonların etkisini kapsar. Ancak bu çalışmada yalnızca inter-sismik ve ko-sismik deplasmanlar dikkate alınacaktır.

Inter-sismik deformasyon hızlarının modellenmesi ve ko-sismik deplasmanlar, sırasıyla Altbölüm 4.2 ve 4.3'de incelenmiştir. Altbölüm 4.2'de inter-sismik deformasyon belirlenirken kullanılan 40 GPS noktası 1992 - 1998 dönemini kapsar. Bölüm 2'de 55 yıllık deplasmanların hesabında kullanılan yedinci poligonun 25 triyagülasyon noktası bu 40 adet GPS noktası ile çakışık değildir. Bu nedenle 25 triyagülasyon noktasında inter-sismik deformasyon hızları, çalışma bölgesine giren ve GPS hızları bilinen noktalardan yararlı sözkonusu üçüncü bölümde yaklaşık ± 2 mm/yıl doğrulukta interpolate edilmiştir. Ayrıca 1992-1998 döneminde belirlenen inter-sismik deformasyon hızlarının 1940-1995 yılları arasında zamana bağlı olarak değişip değişmediği bilinmemektedir. Wdowinski(1998) özellikle plaka kenarlarında inter-sismik deformasyonun zamana göre değiştiğini belirtmektedir. İsmetpaşa'da devam eden asismik kaymanın 1944 - 1982 yılları arasındaki değişimi Tablo 4.9'de özetlenmektedir (Ambraseys ,1970, Dewey 1976, Barka ve Kadinsky-Cade 1988). San Andreas fayında asismik kayma logaritmik olarak zamanın fonksiyonu biçiminde azalmaktadır (Dewey, 1976). Tablo 9'da verilen değerler ve bölüm 4.2'de S₁ boyunca bulunan 7.6mm/yıl değerindeki asismik kayma da gözönünde tutulduğunda İsmetpaşa çevresinde inter-sismik deformasyon hızının zamanın fonksiyonu olarak değiştiği anlaşılmaktadır. Zamanın değişgeni gibi gözükten asismik kayma hızındaki bu değişiklikler tamamen veya kısmen gözlem hatalarından ve/veya gözlem yöntemlerindeki farklılıklardan kaynaklanıyor olabilir. Eğer bu zamana bağlı davranış gerçek ise bu kayma hızı, fay davranışı viskoelastik kabul ederek yaklaşık olarak

$$s'(t) = c \exp(-\mu (t - t_0) / \eta) \quad (4.29)$$

olarak yazılabilir. Burada t₀ faydaki kaymanın başlangıç epoku, μ ve η fay yüzeyinde efektif rijidite ve viskozite değerleri, s' asismik kayma hızı ve c ise sabittir. Buradan t_i ve t_j zamanları için

$$s'(t_i) / s'(t_j) = \exp\{-\mu (t_i - t_j) / \eta\} \quad (4.30)$$

yazılır ve efektif viskozite çekilirse

$$\eta = -\mu (t_i - t_j) \ln [s'(t_i) / s'(t_j)] \quad (4.31)$$

olur. Tablo 4.9'daki değerlerle $\mu = 3 \times 10^{10}$ Pa kullanıldığında fay kesiminde efektif viskozite 5×10^{18} ile 8×10^{19} Pa.sn arasında elde edilir. Bu değerler, eğer gerçek ise, fayın bölgede çok düşük viskoziteli bir dirençsiz zon (weakness zone) oluşturduğunu göstermektedir. Bu değerler 15 ila 80 yıl arasında bir Maxwell relaxation zamanı ima etmektedir.

Bölüm 4.2'de S_1 , S_5 ve S_7 boyunca farklı değerlerde asismik kayma bulunmuştur. Tablo 4.9'daki değerler incelendiğinde 1944-1972 arasında 58 cm ve 1973 - 1995 arasında Barka ve Kadinsky-Cade(1988)'de verilen 1.1 cm/yıl değeri ile 25 cm olmak üzere toplam asismik kayma 83 cm olmaktadır. Asismik kayma hızı 1.1cm/yıl ve sabit kabulü ile 1944-1995 arasında toplam-asismik kayma 56 cm olmakta ve arada yaklaşık 27 cm fark oluşmaktadır. KAFZ'u boyunca zamanın fonksiyonu olarak değişen asismik kayma konusunda ayrıntılı bir araştırma yoktur. Bu nedenle ve yukarıda özetlenen mekanik yorumlarla 1992-1998 yıllarındaki tekrarlı GPS ölçülerinden yararlı ölçü noktalarında bulunan inter-sismik deformasyon hızlarının 1940-1995 yılları arasında değişmediği varsayılacaktır. Bu varsayımdan kaynaklanan hata asismik kayma olan fay yakınında 30 cm ve faydan uzaklaştıkça azalacaktır.

Tablo 4.9. İsmetpaşa'da asismik kaymanın zamanla değişimi.

| Yıllar | Asismik Kayma Hızı (cm/yıl) | Asismik Deplasman (cm) |
|-------------|-----------------------------|------------------------|
| 1944 -1950 | 4.3 | 30 |
| 1957 - 1969 | 2.0 | 24 |
| 1969 - 1971 | 1.0 | 2 |
| 1971 - 1972 | 2.1 | 2 |

GPS ölçü noktalarından interpolasyon ile yedinci poligonun 25 noktasında 1-2 mm/yıl doğrulukta bulunan asismik deformasyon hızları 55yıl (=1995-1940) ile çarpılarak her noktada 1940-1995 dönemindeki toplam inter-sismik deplasman bulunur. Bulunan bu değerlerin doğruluğu maximum 15 mm (= (2 mm/yıl) $\sqrt{55}$ yıl) dir.

Yersel ve GPS ölçüleri ile bulunan 1940-1995 yılları arasındaki deplasmandan yukarıda bulunan inter-sismik deplasmanlar çıkarılarak elde edilen residual deplasmanlar Şekil 4.11.a'da gösterilmekte ve Tablo 4.10'da sayısal değerleri verilmektedir. Residual deplasmanların doğruluğu yaklaşık ± 25 cm (= $\sqrt{25^2 + 1.5^2}$) dir. Residual deplasmanlar normal koşullarda bölgede oluşan depremlerden kaynaklanan ko-sismik deplasmanlara karşılık gelir. Bölüm 4.3'de büyüklüğü altı ve daha büyük depremlerin etkileri sekiz ve beş fay düzlemi ile modellenmiş ve ko-sismik deplasmanlar hesaplanmıştır. Dolayısıyla residual ve hesaplanan ko-sismik deplasmanların hata sınırı içinde birbiri ile uyumlu olması beklenir. Residual deplasmanların doğruluğu yaklaşık ± 25 cm olmasına karşılık ko-sismik deplasmanlar doğruluğu hakkında elde net bilgi yoktur. Bu nedenle farklara ait doğruluğun alt sınırının ± 25 cm olduğu söylenebilir. Residual ve hesaplanan ko-sismik deplasman farkları Şekil 4.11.b-c' de gösterilmekte sayısal değerleri ise Tablo 4.10'da verilmektedir.

Tablo 4.10. Residual deplasmanlar, residual ve ko-sismik deplasman farkı.(metre biriminde)

| Nokta | d_e (residual) | d_n (residual) | Fark (d_e) 5 fay | Fark (d_n) 5 fay | Fark (d_e) 8 fay | Fark (d_n) 8 fay |
|-------|---------------------|---------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 1239 | 1,5069 | 0,2062 | 0,6999 | -0,127 | 0,6918 | -0,12 |
| 4120 | 0,6005 | -0,2431 | 0,491 | -0,1262 | 0,4679 | -0,1198 |
| 4122 | 0,5284 | -0,16985 | 0,3522 | 0,0198 | 0,3043 | 0,0287 |
| 4147 | 0,24125 | 0,0561 | 0,3823 | 0,2024 | 0,3754 | 0,2026 |
| 7084 | 0,0363 | 0,0946 | 0,0828 | 0,1601 | 0,0827 | 0,1637 |
| 7124 | 0,5358 | -0,3893 | 0,3639 | -0,2756 | 0,3509 | -0,3709 |
| 7128 | 1,5013 | 0,00055 | 0,8339 | -0,0144 | 0,8361 | -0,0133 |
| 7129 | 0,9304 | -0,1887 | 0,5979 | -0,1927 | 0,6008 | -0,1931 |
| 7135 | -0,62215 | -0,2757 | -0,7142 | -0,3347 | -0,7266 | -0,3051 |
| 7137 | -0,1832 | -0,22425 | -0,3123 | -0,2803 | -0,3194 | -0,2667 |
| 7140 | 2,24735 | 0,60415 | 1,1235 | 0,566 | 1,1191 | 0,5696 |
| 7142 | 1,76485 | -0,22635 | 0,736 | 0,0672 | 0,7572 | 0,0579 |
| 7145 | -0,0887 | -0,05565 | 0,0164 | 0,0651 | 0,016 | 0,0747 |
| 7150 | 0,02355 | 0,1883 | 0,0749 | 0,251 | 0,0748 | 0,2558 |
| 7184 | -0,4534 | -0,1806 | -0,1839 | 0,0152 | -0,1822 | 0,019 |
| 7204 | -1,7419 | -0,1716 | -0,8575 | -0,1166 | -0,8585 | -0,1123 |
| 7213 | -0,0363 | -0,0946 | 0,0385 | -0,1038 | 0,0414 | -0,0995 |
| 7243 | 0,9608 | -0,2454 | 0,6049 | 0,0478 | 0,6848 | 0,1213 |
| 7244 | -0,0902 | -0,2036 | 0,0415 | -0,0635 | 0,0429 | -0,0462 |
| 7245 | -1,75835 | -0,8466 | -0,7988 | -0,3928 | -0,7963 | -0,3903 |
| 7252 | -0,1734 | -0,08575 | -0,0443 | 0,0888 | -0,0446 | 0,0963 |
| 7340 | -0,8457 | -0,43195 | -0,4186 | -0,2223 | -0,4131 | -0,2201 |
| 7342 | 0,62845 | -0,30475 | 0,3221 | 0,0066 | 0,3272 | 0,0727 |
| 7349 | -0,26035 | -0,2094 | -0,0594 | 0,016 | -0,0599 | 0,0314 |
| 7379 | -1,2644 | -0,30865 | -0,2433 | 0,2604 | -0,2367 | 0,2616 |

Tablo 4.10'dan farkların RMS değeri 5 ve 8 fay düzlemleri için aynı bulunmuştur , ± 0.40 m . Şekil 4.11.b ve c ile Tablo 4.10'da 5 ve 8 düzlemleri çözümlerde bulunan ko-sismik deplasmanlar incelendiğinde bu iki çözüm hemen hemen birbirine özdeş gözükmektedir. Bu durum Adapazarı, Bartın ve Kurşunlu depremlerinin bölge içinde önemli bir etkiye sahip olmadığı biçiminde yorumlanabilir. Bunun yanısıra Şekil 4.11.b-c'deki farklar incelendiğinde, bölge içinde sistematik dağıldıkları, özellikle Bolu-Gerede, Adapazarı ve Mudurnu depremlerinde, modellenemeyen ko-sismik deformasyon kaldığı izlenimi vermektedir. Doğu-batı ve kuzey-güney yönlü deplasman farkları için maximum değer sırasıyla 1.12m ve 0.57m bulunması da bu izlenimi desteklemektedir. Bu duruma açıklık getirmek amacıyla, fayın başlangıç nokta koordinatları ve derinliği, fayın doğrultusu, uzunluğu, eğim açısı ve deprem sonrası arazi gözlemleri ile belirlenen fay kırığı boyunca kayma değerleri değiştirilerek sayısal uygulama yapılmıştır. Sayısal uygulamada yalnızca Bolu-Gerede, Abant ve Mudurnu depremlerinde oluşan 1-5 nci fay düzlemleri gözönünde bulundurulmuştur. Bu beş fayın geometrisini tanımlayan en küçük varyans faktörünü veren değerleri Tablo 4.11'de verilmektedir. Yeni tanımlanan fay modeli ile yeniden hesaplanmış ko-sismik deplasmanlar ile residual ve ko-sismik deplasman farklarının sayısal değerleri Tablo 4.12'de verilmekte, grafik olarak da Şekil 4.12'de gösterilmektedir. Tablo 4.12'den

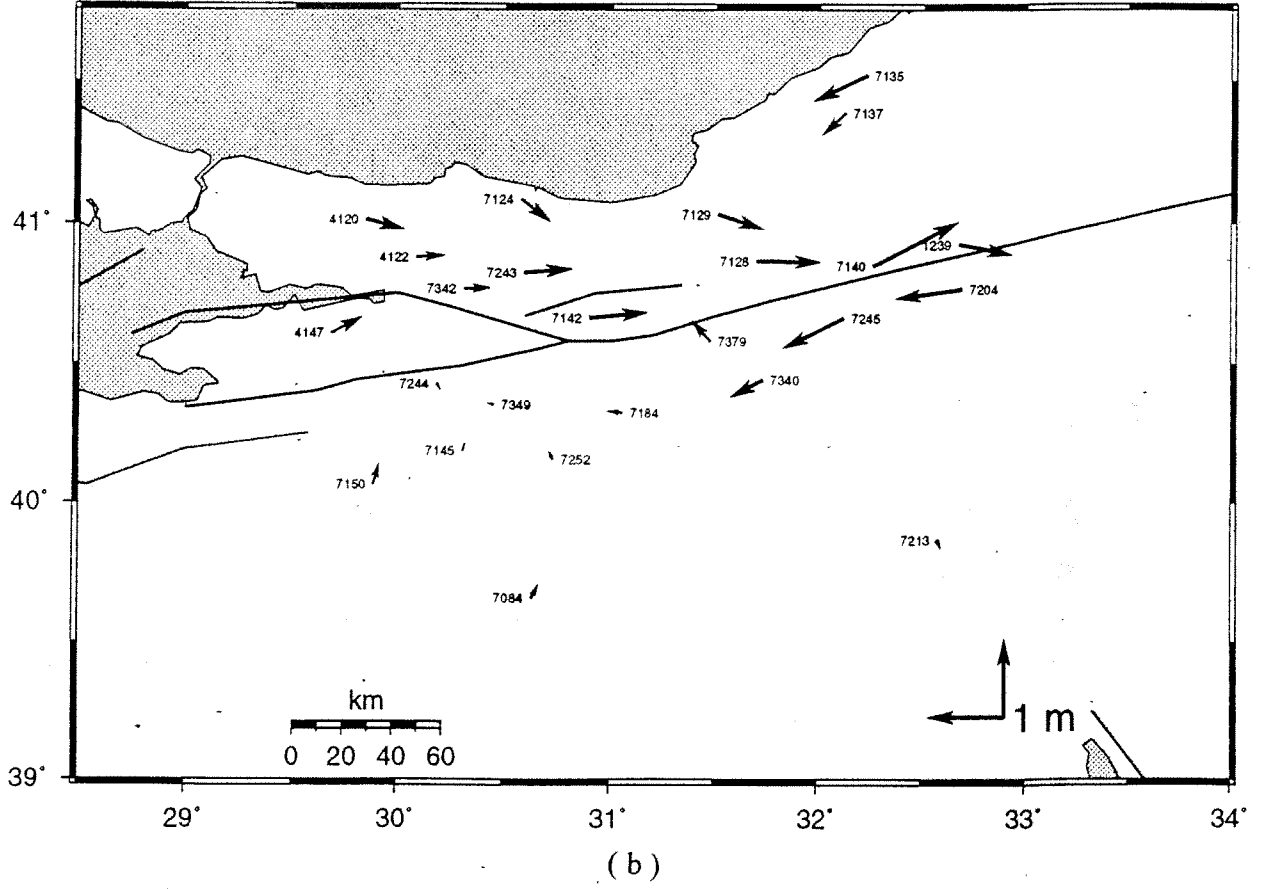
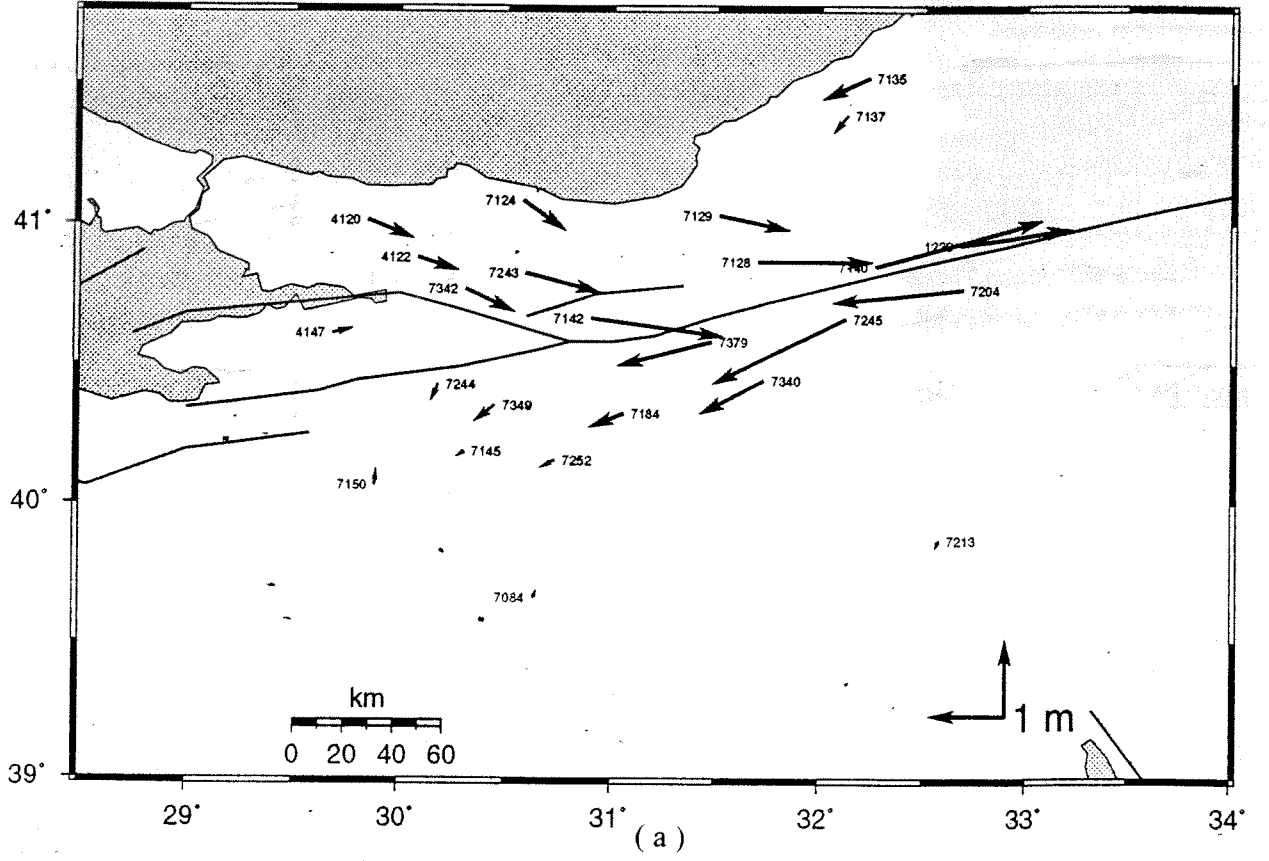
farkların rms değeri ± 0.26 m bulunmuş olup Tablo 4.6'da verilen fay modelleri ile yapılan ko-sismik hesabına göre %35 iyileşme sağlanmıştır. Bunun yanı sıra Şekil 4.12.b incelendiğinde residual ile ko-sismik deplasman farklarının hemen hemen rasgele dağıldığı gözükmektedir. Ayrıca doğu-batı, kuzey-güney farkların maximum değerleri de sırasıyla 0.78m ve 0.55m bulunmuş olup özellikle doğu-batı bileşenlerinin uygun modellendiği gözükmektedir. Sayısal uygulama sonuçları, bölgede gerçekleşen depremler ve fay modelleri ile ilgili parametrelerini yeniden gözden geçirmenin uygun olacağını göstermektedir.

Tablo 4.11. Ko-sismik modellemede kullanılan değiştirilmiş parametreler.

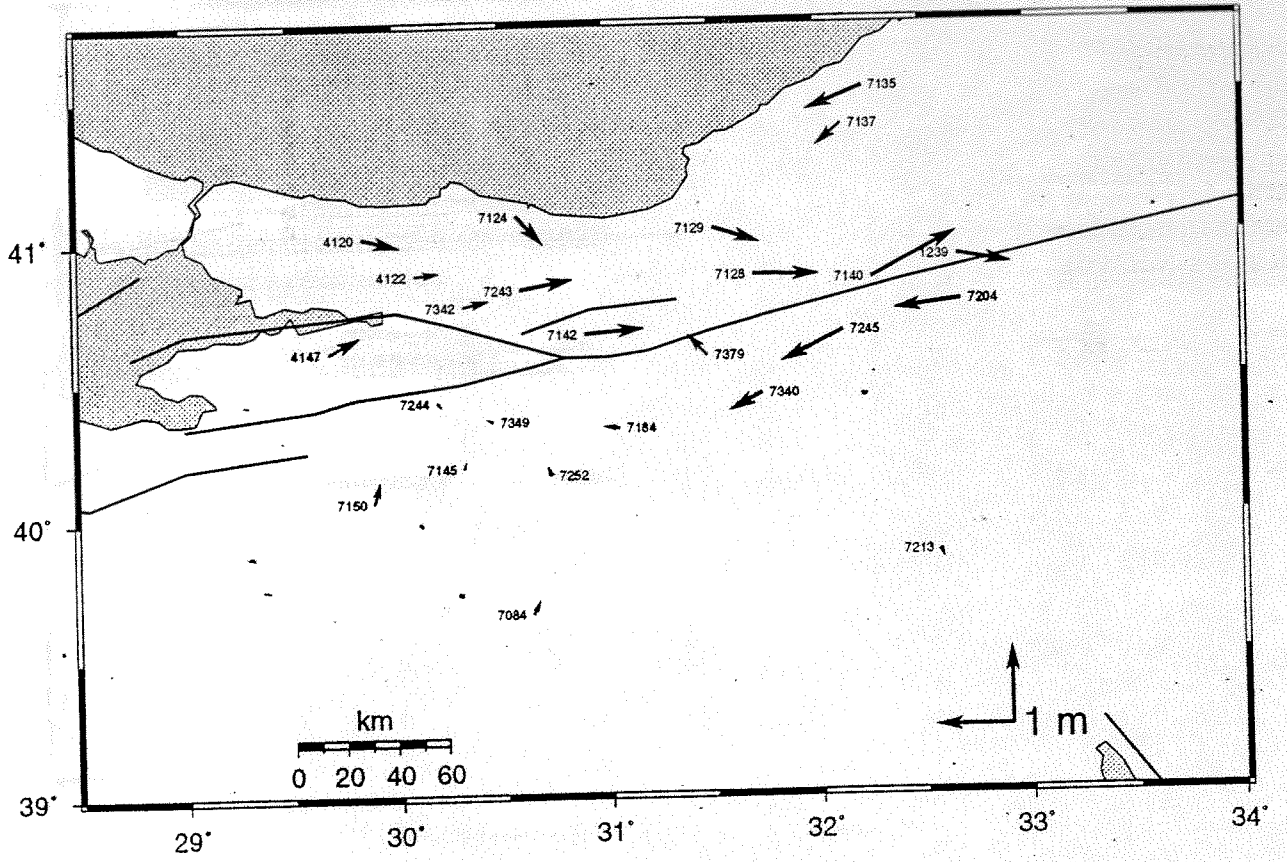
| Fay No. | ϕ (o) | λ (o) | α (o) | δ (o) | L (km) | D (km) | W (km) | u_1 (m) | u_2 (m) |
|---------|------------|---------------|--------------|--------------|--------|--------|--------|-----------|-----------|
| 1 | 40.82 | 32.54 | 74.67 | 90 | 66 | 19 | 19 | -1.5 | 1.0 |
| 2 | 40.64 | 31.52 | 75.93 | 90 | 106 | 20 | 20 | -6.0 | 1.0 |
| 3 | 40.53 | 30.78 | 75.77 | 90 | 55 | 17 | 17 | -1.75 | 0.4 |
| 4 | 40.57 | 30.60 | 85.80 | 80 | 48 | 17 | 17.2 | -2.5 | 1.0 |
| 5 | 40.71 | 29.76 | 99.88 | 90 | 88 | 21 | 21 | -1.0 | 1.0 |

Tablo 4.12. Residual deplasmanlar, yeni tanımlana fay modeli bulunan ko-sismik residuallar ve ko-sismik deplasman farkı.(metre biriminde)

| Nokta | d_e (residual) | d_n (residual) | d_e (ko-sismik) | d_n (ko-sismik) | Fark(d_e) | Fark(d_n) |
|-------|------------------|------------------|-------------------|-------------------|---------------|---------------|
| 1239 | 1,5069 | 0,2062 | 1,4474 | 0,7647 | 0,0595 | -0,5585 |
| 4120 | 0,6005 | -0,2431 | 0,1841 | -0,2003 | 0,4164 | -0,0428 |
| 4122 | 0,5284 | -0,16985 | 0,2877 | -0,2974 | 0,2407 | 0,1275 |
| 4147 | 0,24125 | 0,0561 | -0,22 | -0,2193 | 0,4612 | 0,2754 |
| 7084 | 0,0363 | 0,0946 | -0,0734 | -0,0971 | 0,1097 | 0,1917 |
| 7124 | 0,5358 | -0,3893 | 0,2847 | -0,1835 | 0,2511 | -0,2058 |
| 7128 | 1,5013 | 0,00055 | 1,2157 | -0,1044 | 0,2856 | 0,1049 |
| 7129 | 0,9304 | -0,1887 | 0,632 | -0,1241 | 0,2984 | -0,0646 |
| 7135 | -0,62215 | -0,2757 | 0,1619 | 0,1228 | -0,7841 | -0,3985 |
| 7137 | -0,1832 | -0,22425 | 0,2352 | 0,1085 | -0,4184 | -0,3328 |
| 7140 | 2,24735 | 0,60415 | 2,1397 | 0,3164 | 0,1076 | 0,2878 |
| 7142 | 1,76485 | -0,22635 | 1,4243 | -0,3683 | 0,3406 | 0,142 |
| 7145 | -0,0887 | -0,05565 | -0,1558 | -0,171 | 0,0671 | 0,1153 |
| 7150 | 0,02355 | 0,1883 | -0,082 | -0,1001 | 0,1056 | 0,2884 |
| 7184 | -0,4534 | -0,1806 | -0,3584 | -0,1888 | -0,095 | 0,0082 |
| 7204 | -1,7419 | -0,1716 | -1,543 | -0,2431 | -0,1989 | 0,0715 |
| 7213 | -0,0363 | -0,0946 | -0,1241 | 0,0002 | 0,0878 | -0,0948 |
| 7243 | 0,9608 | -0,2454 | 0,5445 | -0,436 | 0,4163 | 0,1906 |
| 7244 | -0,0902 | -0,2036 | -0,2269 | -0,2109 | 0,1367 | 0,0073 |
| 7245 | -1,75835 | -0,8466 | -1,6756 | -0,7491 | -0,0827 | -0,0975 |
| 7252 | -0,1734 | -0,08575 | -0,1792 | -0,2111 | 0,0058 | 0,1253 |
| 7340 | -0,8457 | -0,43195 | -0,6124 | -0,6196 | -0,2333 | 0,1877 |
| 7342 | 0,62845 | -0,30475 | 0,4766 | -0,4293 | 0,1518 | 0,1245 |
| 7349 | -0,26035 | -0,2094 | -0,2928 | -0,3053 | 0,0325 | 0,0959 |
| 7379 | -1,2644 | -0,30865 | -0,9621 | -0,8678 | -0,3023 | 0,5592 |

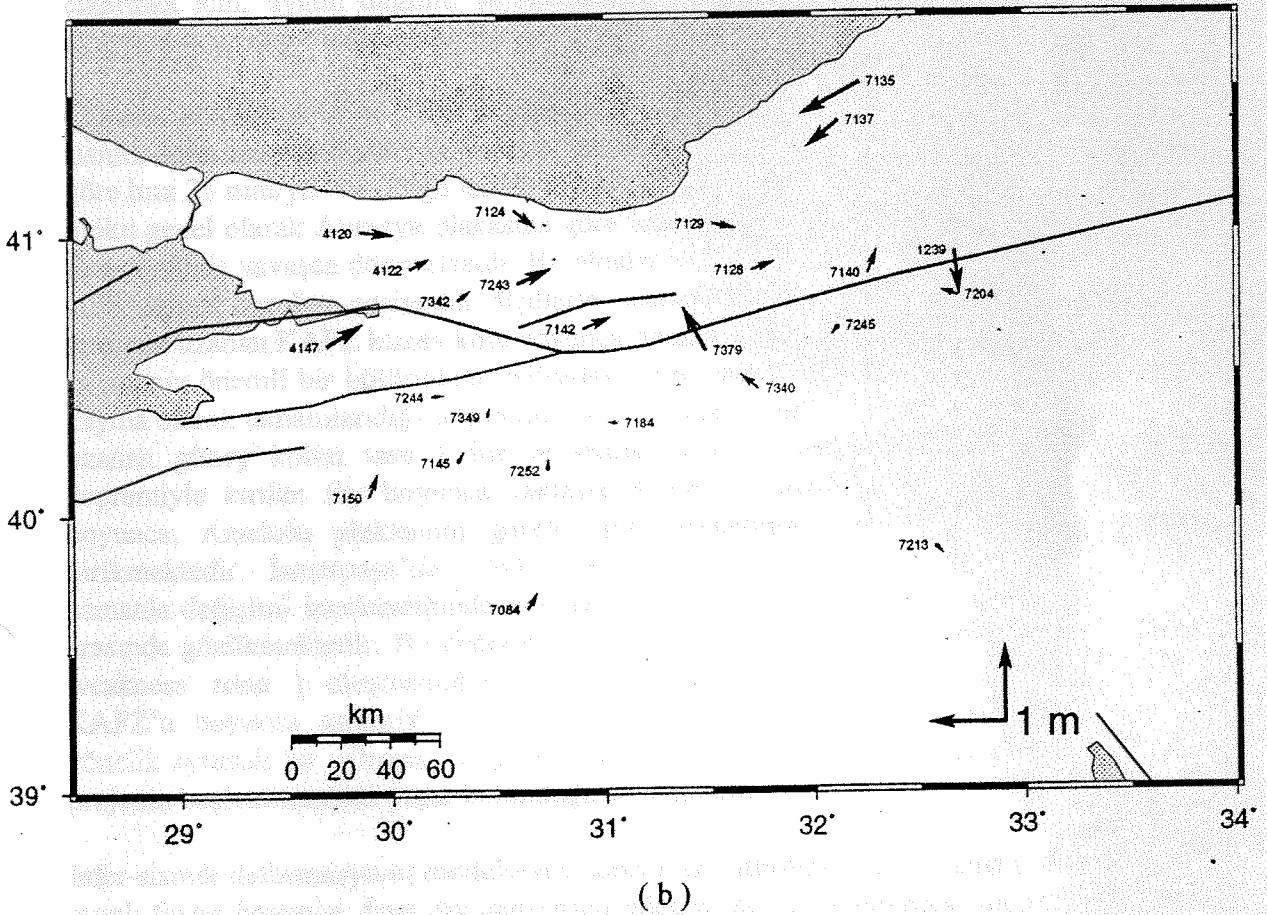
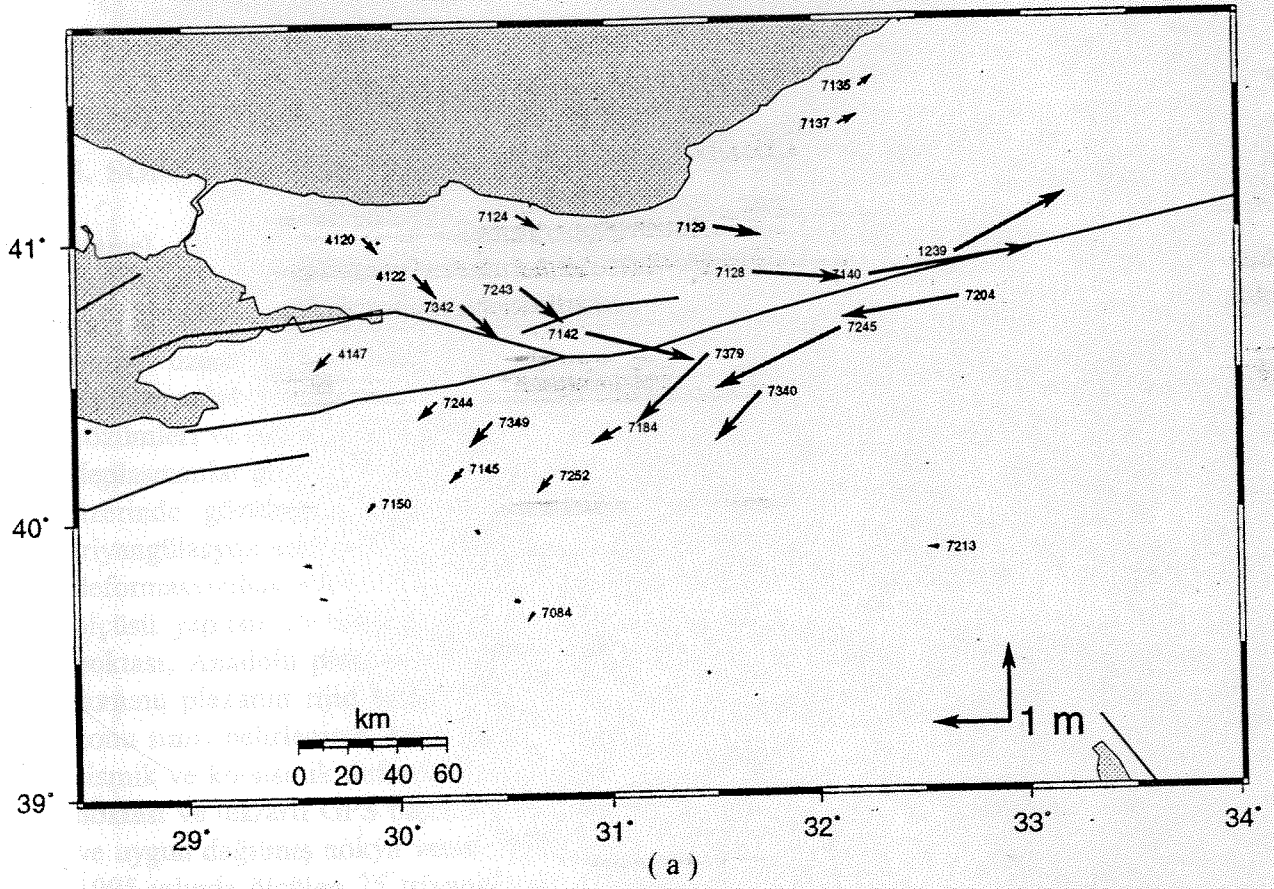


Şekil 4.12. (a) Residual deplasman, (b) Residual ile ko-sismik deplasman farkı (5 düzlem), (c) Residual ile ko-sismik deplasman farkı (8 düzlem). (metre biriminde).



(c)

Şekil 4.12. (Devam)



Şekil 4.13. (a) Yeni tanımlanan fay parametreleri ile hesaplanan ko-sisimik deplasmanlar, (b) Residual ve yeni hesaplanan ko-sismik deplasman farkları. (metre biriminde).

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yersel ve GPS ölçüleri ile KAFZ çevresinde dağılmış 25 triyagülasyon noktasında belirlenen, 1940 - 1995 yıllarını kapsayan 55 yıl intervalli deplasmanların en büyüğü Gerede yakınındaki 7140 nolu noktada doğu-batı yönünde 3.03 m ve kuzey - güney yönünde 0.63 m olmak üzere 3.09 m dir. Bu noktanın çevresindeki noktalarda 2 - 3 m büyüklüğünde deplasmanlar bulunmaktadır. Bölgedeki inter-sismik deformasyon hızı, odak mekanizması çözümleri ve arazi gözlemleri ile oluşturulan fay modelinden hesaplanan kuramsal ko-sismik deplasmanlar gözönünde tutulduğunda, bu büyüklükte deplasmanlar hesaplanması beklenenin üzerinde gözükmektedir. Bunun yanısıra Almacık ve Armutlu blokları üzerinde birer triyagülasyon noktası (sırasıyla 7142 ve 7147) bulunduğundan, bu iki bloğun uzun dönemli deformasyonları hakkında doyurucu bilgi elde edilmemiştir. Ayrıca gerek 1995 yılında GPS ölçüsü yapılan 25 triyagülasyon noktası gerekse 1992-1998 döneminde ölçülen 40 GPS noktası, Anadolu plakası içinde uygun dağılımda olmadığından, plaka kenarı deformasyon zonunu plakanın rijid bölümünden ayırmak olanaklı olmamıştır. Plaka kenarı deformasyon zonu sınırı belirlenirse, buna karşılık gelen sismojenik kabuk kalınlığı da belirlenir ve inter-sismik ve ko-sismik deformasyon modellemede koşul olarak kullanılabilir. 25 triyagülasyon noktası ve tekrarlı GPS ölçüsü bulunan 40 nokta birbiri ile çakışık olmadığından, çok sayıda ve uygun dağılmış nokya verisi ile çalışmayı engellemektedir. Yukarıda belirtilen nedenlerle, 1995 yılında ölçülen 25 triyagülasyon noktasına ek olarak, bölgedeki deformasyonu ortaya çıkarmak için, uygun dağılım ve sayıda triyagülasyon noktasını kapsayan yeni bir GPS ağının oluşturulup ölçülmesine ihtiyaç duyulmaktadır.

Çalışma bölgesindeki 40 GPS noktasında, 1992-1998 yıllarındaki ölçülerden bulunan inter-sismik deformasyon hızları ile yapılan analiz sonunda, Anadolu plakasının Avrasya plakasına göre hızı 25 mm/yıl ve bölge içinde fay derinliği 10 - 23 km arasında bulunmuştur. Almacık bloku genel olarak Avrasya plakasına göre batı yönde rijid hareket gösterirken aynı zamanda saat yönünde yavaşça dönmektedir. Bu bloğun hareketini daha iyi incelemek amacıyla özel bir GPS ağının kurulup periyodik ölçülerle izlenmesinde yarar bulunmaktadır. Sapanca-İzmit arasında uzanan KAFZ kuzey kolu boyunca önemli miktarda asismik kayma belirlenmiştir. Bu kaymanın önemli bir bölümünün bölgedeki miro depremlerle alındığı arta kalan kısmının ise kayma olarak tamamlandığı düşünülmektedir. Buna karşılık Mekece - İznik - Gemlik arasında uzanan güney kolun tam kilitli ve stress birikimi olmadığı bulunmuştur. Bolu-Gerede depremiyle kırılan fay boyunca yaklaşık 8 mm/yıl asismik kayma belirlenmiştir. Bu fay boyunca, Anadolu plakasının görelî rijid hareketinden arta kalan yaklaşık 17 mm/yıl birikmektedir. İsmetpaşa'da 1944 yılından bugüne kadar belirlenen asismik kaymanın zamanla değişimi incelendiğinde, bu fay kesiminde efektif viskozite 5×10^{18} ile 8×10^{19} Pa arasında gözükmektedir. Bu değerler fayın bölgede çok düşük viskoziteli bir dirençsiz zone (weakness zone) oluşturduğunu göstermektedir. Önemli değerlere ulaşmasına rağmen KAFZ'u boyunca asismik kaymayı, GPS, kriptometre, strainmetre v.b. ölçülerle izlemeye yönelik ayrıntılı bir çalışma bugüne kadar yapılmamıştır. Bu ihtiyacı gidermek amacıyla bir projenin başlatılmasında yarar bulunduğu söylenebilir.

İnter-sismik deformasyonu modellemek amacıyla Altbölüm 4.2'de geliştirilen modelde, yanal atımlı faylar boyunca, faya dik doğrultulu bileşen ihmal edilebilecek küçüklükte varsayılarak yalnızca fay doğrultusundaki bileşen gözönünde tutulmuştur. Ancak çalışma bölgesinde

residual hızların kuzey - güney yönünde sistematik dağılım göstermesi, inter-sismik modellemede faya dik yöndeki bileşenlerin de dikkate alınmasının gerekli olduğunu ifade etmektedir. Bunun yanısıra fay modelini tanımlayan parametreleri, inter-sismik deformasyon hızlarından belirlemek için en küçük varyans faktörünü veren en küçük kareler algoritması yanısıra diğer yöntemlerin de uygulanmasında yarar bulunmaktadır.

1940-1995 yılları arasında triyngülasyon ve GPS ölçüleri ile bulunan deplasmanlardan, zamandan bağımsız ve sabit varsayılan inter-sismik GPS deformasyon hızları ile hesaplanan aynı dönemi kapsayan inter-sismik deplasmanlar çıkarılarak bulunan residual deplasmanlar, ko-sismik deplasmanlar ile uyuşmamaktadır. Farklar bölge içinde sistematik dağılmakta, büyüklük olarak da beklenenin üzerinde çıkmaktadır. Bu beklenmeyen farkların kaynağını belirleyebilmek amacıyla, odak mekanizması çözümleri ve arazi gözlemleri ile belirlenen fay modeli parametreleri değiştirilerek kuramsal ko-sismik deplasmanlar yeniden bulunmuştur. Yeni bulunan ko-sismik deplasmanlar residual deplasmanlar ile karşılaştırıldığında rms değerinde % 35 iyileşme sağlandığı ve farkların hemen hemen rasgele dağıldığı bulunmuştur. Bu durumda, odak mekanizması çözümü ve arazi gözlemleri ile belirlenen fay modeli parametrelerini yeniden gözden geçirmekte yarar bulunduğu ifade edilebilir.

6. KAYNAKLAR

- Ambraseys N.N., Zapotek A., The Mudurnu valley, West Anatolia, Turkey, earthquake of 22 July 1967. Bull. Seis. Soc. Am. 59,2,521-589, (1969).
- Ambraseys N.N., Some characteristic features of the Anatolian fault zone. Tectonophysics, 9, 143-165, (1970).
- Barka A.A., Kadinsky-Cade K., Strike-slip fault geometry in Turkey and its influence on earthquake activity. Tectonics, 7, 663-684, (1988).
- Barka, A. A., The North Anatolian fault zone. Annales Tectonica, Special Issue-Supplement to Volume VI, 164-195, (1992).
- Barka, A.A., Slip distributions along the North Anatolian Fault associated with the large earthquakes of the period 1936 to 1967. Bull. Seis. Soc. Am., Vol. 86, No. 5, pp. 1238-1254, (1996).
- Barka, A. A., Reilinger R., Active tectonics of the Eastern Mediterranean region: deduced from GPS, neotectonic and seismicity data. Annali di Geofisica, XL, 3, 587-609, (1997).
- Bennett R. A., Rodi W., Reilinger R.E., Global positioning system constraints on fault slip rates in southern California and northern Baja, Mexico. JGR, 101, B.10, 21943-21960, (1996).
- Bennet, R. A., Wernicki B.P., Davis J.L., Elosegui P., Show J.K., Abolins M.J., House M.A., Stirewaly G.L., Terrill D.A., Global positioning system constraints on fault slip rates in the Death Valley region, California and Nevada. GRL, 24, 23, 3073-3076, (1997).
- Brockmann E., Combination of Solutions for Geodetic and Geodynamic Applications of the Global Positioning System (GPS), Ph.D. Dissertation, Astronomical Institute, University of Berne, (1996).
- Boucher, C., Altamimi Z., Duhem L., Results and Analysis of the ITRF93. IERS Technical Note 18. Observatoire de Paris, (1994).
- Boucher, C., Altamimi Z., Feissel M., Sillard P., Results and Analysis of the ITRF94. IERS Technical Note 20. Observatoire de Paris, (1995).
- Canitez, M., Yeni kabuk hareketlerine ilişkin çalışmalar ve Kuzey Anadolu Fay problemi. Kuzey Anadolu Fayı ve Deprem Kuşağı Sempozyumu. MTA, Ankara, (1973).
- Collier P.A., Eissfeller B., Hein G.W., Landau H., On a four dimensional integrated geodesy. Bull. Geod. 62:71-91, (1988).
- Curtis A., England P., Davies R., Local and regional components of western Aegean deformation extracted from 100 years of geodetic displacement measurements. Geophys. J. Int., 130, 623-629, (1997).

Demir C., Kılıçoğlu A., Türkiye'de 1992-1997 yılları arasında gerçekleştirilen G Kampanyalarının Birleştirilmesi. Hrt. Gn. K.lığı, İç Rapor No.:JEOF-98-4, (1998).

Dewey J. W., Seismicity of northern Anatolia, Bull. Seism. Soc. Am., 66,3,843-868, (1976

Drew, A.R. and Snay R.A., DYNAP: A Software for estimating crustal deformation from geodetic data, Tectonophysics, No. :162, pp. 331-343, (1989).

Dong, D., The horizontal velocity field in Southern California from a combination of terrestrial and space geodetic data, Ph.D. Thesis, Massachusetts Institute of Technology Cambridge, (1993)

Dong, D., Herring T.A., King R.W., Estimating regional deformation from a combination of space and terrestrial geodetic data. Journal of Geodesy. 72:200-214, (1998).

Du, Y., Aydın A., Segall P., Comparison of various inversion techniques as applied to the determination of a geophysical deformation model for the 1983 Borah Peak earthquake. B Seis. Soc. Am., 82. 4, 1840-1866, (1992).

Frey Mueller, King J. M. E., Segall P., The co-seismic slip distribution of the Lander earthquake. Bull. Seis. Soc. Am., 84,3, 646-659, (1994).

Hein G.W., Integrated geodesy state-of-the-art. (Ed. H.Sunkel, Lecture Notes in Earth Science. Vol.7, Springer, Berlin Heidelberg New York, 505-548.), (1986).

Herring, T. A., GAMIT/GLOBK Kalman Filter VLBI and GPS Analysis Program; Vers 4.1. Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, (1997).

Hudnut K.W., v.d.: Co-seismic displacements of the 1992 Larders earthquake sequence. B Seis. Soc. Am. 84, 3, 625-645, (1994).

Hudnut K. W., v.d., Co-seismic displacements of the 1994 Northridge, California, Earthquake. Bull. Seis. Soc. Am., 86, 1B, S19-S36, (1996).

IGS : IGS Terms of Reference. International GPS Service for Geodynamics, Resou Information, pp: 5-8. International Association of Geodesy, International Union of geodesy and Geophysics, July 1995, (1995).

Jackson J., McKenzie, D., Active tectonics of the Alpine-Himalayan Belt between western Turkey and Pakistan. Geophys. J. R. astr. Soc., 77, 185-264, (1984).

Jackson J., McKenzie D., The relationship between plate motions and seismic moment tensors, and the rates of active deformation in the Mediterranean and Middle East. Geophysical Journal, No.93, pp. 45-73, (1988).

Jackson. J., Rates of active deformation in the eastern Mediterranean. In: *Recent Evolution and seismicity of the Mediterranean region*, Eds.. E. Boschi et al., Kluwer Academic Publishers, 53-64, (1993).

King R.W., Bock Y., Documentation for GAMIT GPS analysis program : GAMIT Release 9.6, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, (1997).

Kılıçoğlu A., 7 nci Poligon 1995 GPS Kampanyası Değerlendirme Sonuçları. Hrt. Gn. K.lığı İç Rapor, (1997).

Le Pichon, Chamot-Rooke X. M., Lallement S., Noomen R., Veis G., Geodetic determination of the kinematics of central Greece with respect to Europe. Implications for eastern Mediterranean's tectonics. *JGR*, 100, B7, 12675-12690, (1995).

Margrave F., Nyland E., Strain from repeated geodetic surveys by generalized inverse methods. *Can.J.Earth.Sci.* 17. pp-1020-1030, (1980).

Matsu'ura M., Jackson D.D., Cheng A., Dislocation model for aseismic crustal deformation at Hollister, California. *JGR*, 91, B12, 12661-12674, (1986).

McCarthy D.D., IERS Conventions, IERS Technical Note 21, July 1996, Observatoire de Paris, (1996).

McClusky S., v.d., GPS constraints on crustal movements and deformations in the Eastern Mediterranean (1988-1997): Implications for plate dynamics. Draft, (1998).

Mueller I.I., The International GPS Service for Geodynamics : An Introduction. Proceedings of the 1993 IGS Workshop. AIUB, Berne, (1993).

Neugebauer J., Löffler M., Berckhemer H., Yatman A., Seismic observations at an overstep of the western North Anatolian Fault (Abant-Sapanca region, Turkey). *Geol. Rundsch.*, 86, 93,-102, (1997).

Okada, Y., Surface deformation due to shear and tensile faults in a half-space. *Bull. Seis. Soc. Am.*, 75, 4, 1135-1154, (1985):

Oral M. B., Reilinger R.E., Tobsöz M.N., King R.W., Barka A.A., Kınık İ., Lenk O., Global Positioning System offers evidence of plate motions in Eastern Mediterranean. *EOS*, 9-12, (1995).

Pınar A., Honkura Y., Kikuchi M., A rupture model for the 1967 Mudurnu Valley, Turkey earthquake and it's implication for seismotectonics in the western part of the North Anatolian Fault Zone. *GRL*, 23, 1, 29-32, (1996).

Reilinger, R. E., McClusky S.C., Oral M.B., King R.W., Toksöz M.N., Barka A.A., Kınık I., Lenk O., Şanlı I., Global Positioning System measurements of present-day crustal movements in the Arabia-Africa-Eurasia plate collision zone. *JGR*, 102, B5, 9983-9999, (1997).

Rothacher M., Mader G., E-Mail message about phase center corrections. Bernese Software Electronic Mail System, Message Number 006. AIUB, Berne, (1996).

Rothacher M., Mervart L. (Eds), Bernese GPS Software Version 4.0. AIUB. Berne, (1996).

Saribudak M., Sanver M., Şengör A. M. C. , Görür N., Palaeomagnetic evidence for substantial rotation of the Almacik flake within the North Anatolian Fault Zone. *Geophys. J. Int.*, 102(3): 563-568, (1990).

Savage J.C., Prescott W. H., Lisowski M., King N., Geodolite measurements of deformation near Hollister, California, 1971-1978. *JGR*, 84, B13, 7599-7615, (1979).

Segall P., Davis J.L., GPS applications for geodynamics and earthquake studies. *Ann. Rev. Earth Planet. Sci.*, 25, 301-336, (1997).

Shen Z. K., Ge B.X., Jackson D.D., Potter D., Cline M., Sung L-Yu, Northridge Earthquake rupture models based on the Global Positioning System measurements. *Bull. Seis. Soc. Am.*, 86, 1B, S37-S48, (1996).

Smith D.E., Kolenkiewicz R., Robbins J.W., Dunn P.J., Torrence M.H., Horizontal crustal motion in the Central and Eastern Mediterranean inferred from Satellite Laser Ranging measurements. *GRL*, 21, 18, 1979-1982, (1994).

Şanlı I., 7 nci poligon GPS ölçülerinin GAMIT/GLOBK yazılımları ile değerlendirilmesi ve BERNESE yazılımı ile elde edilen sonuçlarla karşılaştırılması, Hrt. Gn K.lığı İç Rapor, No.: Uzaytek-97-5, (1997).

Şaroğlu F., Emre Ö., Kuşçu I., Türkiye Diri Fay Haritası, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara, (1988).

Şengör, A. M.C., The North Anatolian transform fault its age offset and tectonic significance. *J. Geol. Soc.*, London, 136, 269-282, (1979).

Şengör A. M. C., Görür N., Şaroğlu F., Strike-slip faulting and related basin formation in zone of tectonic escape: Turkey as a case study, in *Strike-Slip Faulting and Basin Formation*, Spec. Publ. 37, edited by K. Biddle and N. Christie Blick, Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Tulsa, Okla., (1985).

Vakov A.V., Relationships between earthquake magnitude, source geometry and slip mechanism. *Tectonophysics*, 261, 97-113, (1996).

Wards K. W. v.d., Fault parameters and slip distribution of the 1915 Avezzano, Italy, earthquake derived from geodetic observations. *Bull. Seis. Soc. Am.* 79, 3, 790-710, (1989).

Wdowinski S., O'Connell R., England P., Continuum model of Continental deformation above subduction zones: Application to the Andes and the Aegean. *JGR*, 94, 10331-10346, (1989).

Wdowinski Ş., A theory of intraplate tectonics. *JGR*, Vol. 103, B3, 5037-5059, (1998).

Westaway R. C., Present-day kinematics of the Middle East and Eastern Mediterranean. JGR, 99, B6, 12071-12090, (1994).

Williams C. R., Arnadottir T., Segall P., Coseismic deformation and dislocation models of the 1989 Loma Prieta earthquake derived from Global Positioning System measurements. JGR, 98, B3, 4567-4578, (1993).

Yılmaz R., Yatman A., Demirtaş R., Özdemir S., Bayülke H., Demir M., Fenerci C., Kuzey Anadolu Fay Zonunun batı kesiminde (Mudurnu vadisi) mikrodepremi çalışmaları. Deprem Araştırma Bülteni, 69, 5-112, (1991).