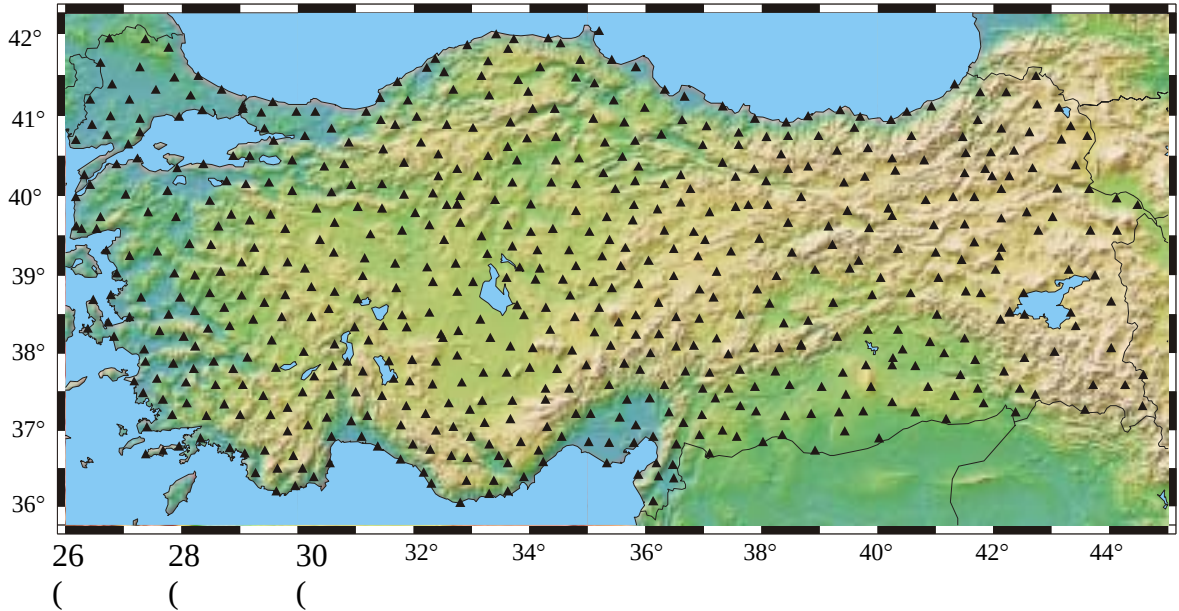


HARİTA DERGİSİ

TÜRKİYE ULUSAL TEMEL GPS AĞI-1999 (TUTGA-99A)



Harita Genel Komutanlığı

Mayıs 2002

Özel Sayı : 16



HARİTA DERGİSİ

Mayıs 2002

Yıl : 69 Özel Sayı : 16

Yönetim Kurulu

Müh.Alb. Erol ERKAYA
Müh.Alb. A. İlker ARISOY
Müh.Alb. Zeki YEŞİL
Müh.Yzb. Hadi BARUT

Bilimsel Danışmanlar

Prof.Dr. Onur GÜRKAN (BÜ)
Prof.Dr. Hayrettin GÜRBÜZ (HÜ)
Prof.Dr. Yetkin GÜNGÖR (AÜ)
Doç.Dr. Ferruh YILDIZ (SÜ)
Doç.Dr. Ali DOĞANAKSOY(ODTÜ)
Doç.Dr.Bnb. Muzaffer KAHVECİ (HGK)

Adres

Harita Genel Komutanlığı
Harita Dergisi Yönetim Kurulu Başkanlığı
Cebeci / 06100 ANKARA

Tel : (312) 5952120

Fax: (312) 3201495

email : haritadergisi@hgk.mil.tr

Hazırlayan

Harita Genel Komutanlığı
Jeodezi Dairesi Başkanlığı

Baskı

Harita Genel Komutanlığı Matbaası
ANKARA

ISSN 1300 – 5790

Harita Genel Komutanlığının Kuruluşunun 107'nci yılı anısına...

TÜRKİYE ULUSAL TEMEL GPS AĞI-1999A (TUTGA-99A)

TURKISH NATIONAL FUNDAMENTAL
GPS NETWORK-1999A
(TFGN-99A)

Yazarlar

Mehmet Emin AYHAN
Coşkun DEMİR
Onur LENK
Ali KILIÇOĞLU
Bahadır AKTUĞ
Mehmet AÇIKGÖZ
Orhan FIRAT
Yavuz Selim ŞENGÜN
Ayhan CİNGÖZ
Mehmet Ali GÜRDAL
Ali İhsan KURT
Mustafa OCAK
Ali TÜRKEZER
Hasan YILDIZ
Nuh BAYAZIT
Mustafa ATA
Yalkın ÇAĞLAR
Ali ÖZERKAN

ÖNSÖZ

Global Konumlama Sistemi (GPS)'nin üç boyutta konum belirleme olanağını ülke genelinde etkin kullanmak ve ülkemizdeki tektonik plaka hareketleri ve depremler sonucu oluşan konum değişikliği nedenleriyle güncel jeodezik gereksinimleri büyük ölçüde karşılayamayan Türkiye Ulusal Yatay Kontrol Ağı yerine kullanmak amacıyla; Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı-1999 (TUTGA-99) 1997-1999 yılları arasında yapılan çalışmalarla kurulmuştur. Ancak 17 Ağustos 1999 İzmit, $M_w=7.5$, 12 Kasım 1999 Düzce, $M_w=7.2$ ve 6 Haziran 2000 Çerkeş/Çankırı, $M_w=6.1$ depremleri, deprem bölgesinde yer alan TUTGA-99 nokta konumlarında GPS ve geometrik nivelman ölçü duyarlılığının çok üzerinde değişikliğe neden olmuştur. Özellikle bu depremlerin etkilerini belirlemek amacıyla 2000 ve 2001 yıllarında GPS ve geometrik nivelman ölçüleri yapılmış, bu ölçüler dahil edilerek TUTGA-99 güncellenmiş ve Türk Haritacılık tarihinde önemli aşamalardan biri olan Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı-1999A (TUTGA-99A) oluşturulmuştur.

Ülkemizde yaklaşık 70 yıl önce başlatılan temel haritacılık çalışmaları; TUTGA-99A ile zaman kavramının göz önünde bulundurulduğu yeni ve çağdaş bir döneme girmiştir. Harita Genel Komutanlığının 107 nci Kuruluş Yılı etkinlikleri kapsamında TUTGA-99A'yı tanıtmak amacıyla Harita Dergisinin bu Özel Sayısı çıkarılmıştır.

Dursun BAK
Tümgeneral
Harita Genel Komutanı

SUMMARY

TURKISH NATIONAL FUNDAMENTAL GPS NETWORK –1999A (TFGN-99A)

In Turkey, studies on the fundamental geodetic networks were started in 1932 in the context of monumentation, horizontal and vertical angle, baseline and astronomical measurements for the establishment of First-Order Horizontal Control Network, and Antalya Tide-Gauge station was established in 1936 in order to define the vertical datum. First-Order Horizontal Control Network, completed in early 1950's, was adjusted in 1954 by adopting Meşedağ site as origin, and Turkish National Datum-1954 (TND-54) was defined. Distortions are anticipated at the TND-54 sites since some of the corrections were not accordingly applied to the angle, baseline and astronomical measurements because of having not been established the gravity network, the lack of deflections of vertical and geoid, and due to the uncertainties in the definition of vertical datum at the very beginning. Investigations of the TND-54 positional errors reveal accuracy of 1-2 ppm, which is usual for terrestrial geodetic networks (HGK, 1988; Nakiboğlu et al., 1998). The transformation of the TND-54 into European Datum-1950 (ED-50), using common sites located in Bulgaria and Greece, led to systematical distortions as well (AMS, 1954; Gürkan, 1979; Sarbanoğlu et al.1979).

Turkey, as being located in the collision zone between the African, Arabian and Eurasian plates, faces horizontal and vertical crustal movements, which well go beyond the usual geodetic accuracy. Due to the inter-seismic tectonic plate motions, recent GPS studies have revealed positional changes of about 2-3 cm/yr in site coordinates depending on their location in terms of magnitude and direction (Reilinger et al. 1997; McClusky et al. 2000; Ayhan et al. 2001a). Total displacement of $\pm 1-1.5$ meters which varies regionally should be expected at the TND-54 sites due to the inter-seismic tectonic plate motions. Moreover, in every 1-2 years, an earthquake of $M_w \geq 6$ is experienced in Turkey, in particular within the North Anatolian Fault Zone (NAFZ), the East Anatolian Fault Zone (EAFZ), Aegean Graben System and East Anatolia. Lateral co-seismic displacements, which are largest near surface rupture and decreasing gradually at distance on both sides of the surface rupture with a total magnitude of $\pm 2-3$ meters (Barka, 1996; Reilinger et al., 2000; Ayhan et al., 2001a), emerge during the earthquakes. Besides during the first three months after the earthquakes, post-seismic displacements of $\pm 5-10$ cm are observed in a similar manner of co-seismic deformation (Reilinger et al. 2000; Bürgmann et al. 2002). In the light of these evaluations, it is considered that the TND-54 sites experienced horizontal displacements of $\pm 3-5$ meters at most, varying on magnitude and direction with respect to region, due to inter-seismic, co-seismic and post-seismic crustal movements. Vertical displacements are mostly caused by co-seismic deformation, and they amount to about 1-3 meters around the surface rupture and gradually decrease at distances away from the rupture (Ayhan et al. 2001a).

Considering the reasons stated above, it is evaluated that the TND-54 does not meet the practical requirements due to regional and local horizontal and vertical displacements in the NAFZ, the EAFZ, Aegean and East Anatolia regions. Actually General Command of Mapping (GCM) carried out triangulation, baseline, TRANSIT Doppler and leveling surveys in the 1970 and 1980's in order to get rid of the effect of regional and local displacements but all these activities have not been brought to a conclusion. However, the obtained accuracy of about 0.1–0.01 ppm from GPS surveys has caused the regional and local changes in existing

National Geodetic Fundamental Networks to become more apparent and a requirement for a new national geodetic network has emerged. It was considered that new geodetic network should be in a three dimensional geocentric coordinate system, at a specific time (epoch), having three coordinates (Cartesian (X,Y,Z) or geodetic (latitude, longitude, ellipsoidal height)), associated velocities ((V_x, V_y, V_z) or (V_ϕ, V_λ, V_h)), orthometric height (H) and geoidal height (N) at each station. Stations of the new network should be homogeneously distributed as much as possible across the country, having easy access with no inter-station visibility requirement, and the network has to be suitable for geodetic positioning, navigational and geodynamical purposes, provided with appropriate transformation to/from National Fundamental Control Network in ED-50, based on GPS technology.

The new fundamental geodetic network, which meets the requirements above and the activities pertaining to the observations and data processing completed during the years 1997–1999, is called **T**urkish National **F**undamental **G**PS **N**etwork **1999** (TFGN-99) and consists of five main elements listed below,

- * GPS Network having stations with coordinates at 1998.0 epoch in International Terrestrial Reference Frame-1996 (ITRF-96).
- * TFGN-99 Velocity Field.
- * Coordinate transformation between TFGN-99 and ED-50.
- * Turkish National Vertical Control Network-1999 (TVCN-99), with the Helmert Orthometric height known at each station.
- * Turkish Geoid -1999 (TG-1999).

Detailed information about five elements of the TFGN-99 can be found in Ayhan et al. (2001b). The TFGN-99 sites in the Marmara region and surrounding areas, observed in 1997, were subject to co-seismic horizontal and vertical displacements due to the 1999 İzmit (17 August 1999, İzmit, $M_w=7.5$), the 1999 Düzce (12 November 1999, Düzce, $M_w=7.2$) and the 2000 Çerkeş/Çankırı (6 June 2000 Çerkeş/Çankırı $M_w=6.1$) earthquakes. The İzmit earthquake affected a large area and displacements up to 2-2.5 meters were detected by processing pre-earthquake and post-earthquake GPS survey data (Reilinger et al., 2000). The horizontal displacements were in east direction on the north side of the surface rupture while they are in west direction on the south side, which in turn produces a relative motion of 4-5 meters. The İzmit and Düzce earthquakes caused large displacements horizontally as well as vertically. As a consequence of these earthquakes, there were changes in the latitude, longitude, ellipsoidal height, orthometric height, gravity and inter-seismic velocities of the TFGN-99 stations in this region. Therefore, among the elements of the TFGN, the GPS network, the TVCN-99 and the transformation between the TFGN-99 and ED-50 lost validity to some extent and redefinition requirement has been arisen. With this aim, GPS surveys at 159 sites, and 1300 km. en-route leveling and gravity revision measurements were carried out in the region subject to the earthquakes in 2000. Additionally, new surveys were performed in other regions in order to improve GPS/leveling geoid and the coordinate transformation between the TFGN-99 and ED-50 in 2000 and 2001. Then, the TFGN-99 was updated and it is called as the TFGN-99A.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No.
ÖNSÖZ	i
SUMMARY	ii
İÇİNDEKİLER	iv
1. GİRİŞ	1
2. GPS ÇALIŞMALARI	5
a. TUTGA-99 Çalışmaları	5
b. Marmara Depremleri Sonrası GPS Çalışmaları (TUTGA-99A)	12
3. TUTGA-99A KOORDİNATLARI VE HIZ ALANININ GÜNCELLENMESİ	21
a. Genel Tektonik Yapı	21
b. TUTGA-99 Nokta Koordinatları ve Depremler Öncesi TUTGA-99 İnter- Sismik Hız Alanı	22
c. Depremler Sonrası TUTGA-99 İnter-Sismik Hız Alanı	26
d. İzmit, Düzce ve Çerkeş Depremleri Ko-Sismik Yer Değiştirmelerinin Belirlenmesi	30
4. TUTGA-99A İLE ED-50 ARASINDA KOORDİNAT DÖNÜŞÜMÜ	36
5. 2000 YILI NİVELMAN YENİLEME ÖLÇÜLERİ İLE TUDKA-99'UN GÜNCELLENMESİ	43
6. TÜRKİYE JEOİDİ-1999 (TG-99) 'UN GÜNCELLENMESİ	47
a. Türkiye Jeoidi-1991 (TG-91)	47
b. GPS/Nivelman Jeoidi.	47
c. Güncellenmiş Türkiye Jeoidi –1999 (TG-99A)	49
	50
7. TUTGA-99A'NIN NOKTA SIKLAŞTIRMA AMACIYLA KULLANIMI	55
8. SONUÇ VE ÖNERİLER	58
TEŞEKKÜR	60
KAYNAKLAR	61

1. GİRİŞ

Ülkemizde temel jeodezik ağlarla ilgili çalışmalar, I nci Derece Yatay Kontrol Ağı kapsamında nokta tesisi, yatay açı, düşey açı, baz ve astronomik ölçüler ile 1932 yılında başlamış ve düşey datumu belirlemek amacıyla 1936 yılında Antalya mareograf istasyonu kurulmuştur. 1950'li yılların başlarında oluşturulan I nci Derece Yatay Kontrol Ağı, Meşedağ noktası başlangıç alınarak 1954 yılında dengelenmiş ve Türkiye Ulusal Datumu-1954 (TUD-54) tanımlanmıştır. Başlangıçta çekül sapması ve jeoidin bilinmemesi, gravite ağının oluşturulmaması ve düşey datum tanımındaki belirsizlik nedenleriyle; açı, baz ve astronomik ölçülere düzeltmeler tam olarak getirilememiş ve 786 noktalı TUD-54'de bozulmalar oluşmuştur. TUD-54 konum hataları irdelenmiş ve yersel ölçülere dayalı jeodezik temel yatay kontrol ağlarından beklenen 1-2 ppm doğruluğu sağladığı belirlenmiştir (HGK, 1988; Nakiboğlu vd., 1998). Ayrıca Bulgaristan ve Yunanistan'da bulunan sekiz ortak nokta kullanılarak yapılan TUD-54'den Avrupa Datumu-1950 (ED-50)'ye dönüşüm sistematik bozulmalara neden olmuştur (AMS, 1954; Gürkan, 1979; Sarbanoğlu vd. 1979).

Afrika ve Arap plakalarının Avrasya plakası ile çarpışma bölgesinde yer alan Türkiye'de, güncel jeodezik ölçü doğruluğunun çok üzerinde büyüklüğe ulaşan yatay ve düşey yerkabuğu hareketleri meydana gelmektedir. Son yıllarda yapılan GPS ölçüleri, deprem öncesi (inter-sismik) tektonik plaka hareketleri nedeniyle nokta konumlarında büyüklük ve yönü bölgeden bölgeye değişen yatay yönde 2-3 cm/yıl mertebesinde değişiklik olduğunu göstermektedir (Reilinger vd., 1997; McClusky vd., 2000; Ayhan vd., 2001a). İnter-sismik tektonik plaka hareketleri nedeniyle, TUD-54 nokta konumlarında, toplam $\pm 1-1.5$ metre mertebesinde yer değiştirmeler beklenmelidir. Bunun yanı sıra, Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ), Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ), Ege Graben Sistemi ve Doğu Anadolu başta olmak üzere ortalama her 1-2 yılda bir $M_w \geq 6$ büyüklüğünde deprem olmakta, deprem anındaki (ko-sismik) hareketler nedeniyle deprem yüzey kırığının yakın çevresinde en büyük, uzaklaştıkça azalan, kırığın her iki tarafında farklı yönde toplam $\pm 2-3$ metre yer değiştirmeler meydana gelmektedir (Barka, 1996; Reilinger vd., 2000; Ayhan vd., 2001a). Ayrıca depremlerin hemen sonrasında ilk üç ay boyunca etkili olan artçı depremler ko-sismik hareketlere benzer nitelikte $\pm 5-10$ cm mertebesinde deprem sonrası (post-sismik) yatay konum değişikliğine neden olmaktadır (Reilinger vd., 2000; Bürgmann vd., 2002). Sonuç olarak inter-sismik, ko-sismik ve post-sismik yerkabuğu hareketleri nedeniyle; TUD-54 noktalarında büyüklük ve yönü bölgeden bölgeye değişen en çok $\pm 3-5$ metre mertebesinde yatay konum değişikliği olduğu düşünülmektedir. Düşey konum değişiklikleri daha çok deprem sırasında oluşmakta olup deprem yüzey kırığı çevresinde 1-3 metre değerlerine ulaşmakta, yüzey kırığından uzaklaştıkça azalmaktadır (Ayhan vd., 2001a).

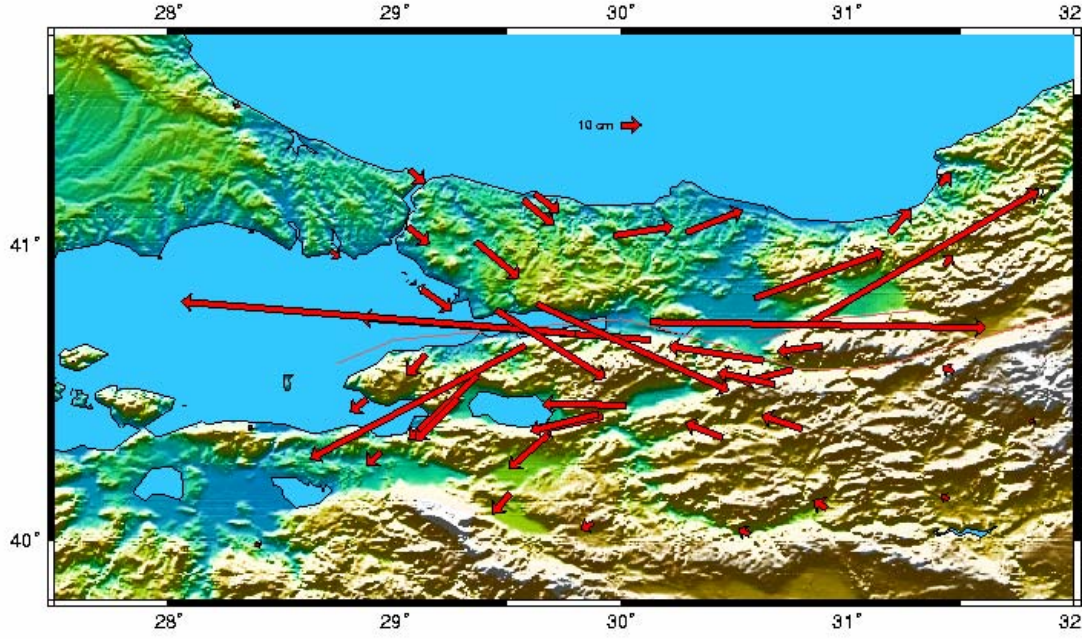
Yukarıda belirtilen nedenlerle halen kullanımda olan Ulusal Temel Yatay Kontrol Ağı noktalarında bölgesel ve yerel nitelikte yatay konum değişiklikleri ile KAFZ, DAFZ, Ege Bölgesi ve Doğu Anadolu Bölgesindeki noktalarda yüksekliklerin değiştiği ve pratik kullanım ihtiyaçlarına cevap vermekten uzaklaştığı değerlendirilmektedir. Yatay Kontrol Ağındaki bölgesel ve yerel konum değişikliklerini belirlemek amacıyla, 1970 ve 1980'li yıllarda, Harita Genel Komutanlığınca, açı, kenar, TRANSIT Doppler ve geometrik nivelman ölçüleri yapılmıştır. Uydu jeodezisine dayalı Global Konumlama Sisteminin (GPS) 1980'li yılların sonlarından itibaren jeodezide yaygın kullanılması, GPS ile 0.1-0.01 ppm doğruluğa ulaşılması, mevcut Ulusal Temel Yatay Kontrol Ağındaki bölgesel ve yerel değişikliklerin

daha belirgin duruma gelmesini sağlamış ve yeni bir jeodezik temel ağ oluşturulması ihtiyacı doğmuştur. Yeni kurulacak jeodezik temel ağın; GPS teknolojisine dayalı, üç boyutlu jeosentrik koordinat sisteminde, belirli bir zamanda (epok), her noktasında koordinat ((X,Y,Z) veya (enlem, boylam, elipsoid yüksekliği)), hız ((V_x, V_y, V_z) veya (V_ϕ, V_λ, V_h)), ortometrik yükseklik (H) ve jeoid yüksekliği (N) bilinen, ülke yüzeyine olabildiğince homojen dağılmış, ulaşımı kolay ve birbirini görme zorunluluğu olmayan noktalardan oluşan, jeodezik konum belirleme, navigasyon ve jeodinamik amaçlarla kullanıma uygun, ED-50 datumundaki Ulusal Temel Yatay Kontrol Ağı ile arasında dönüşümü sağlanan bir ağ olması öngörülmüştür. Bu özellikleri sağlayan, ölçme ve değerlendirme çalışmaları 1997–1999 yıllarında tamamlanan jeodezik temel ağ, Trkiye Ulusal Temel GPS Ağı 1999 (TUTGA-99) ismi ile anılmakta olup aşağıdaki beş ana elemandan oluşur;

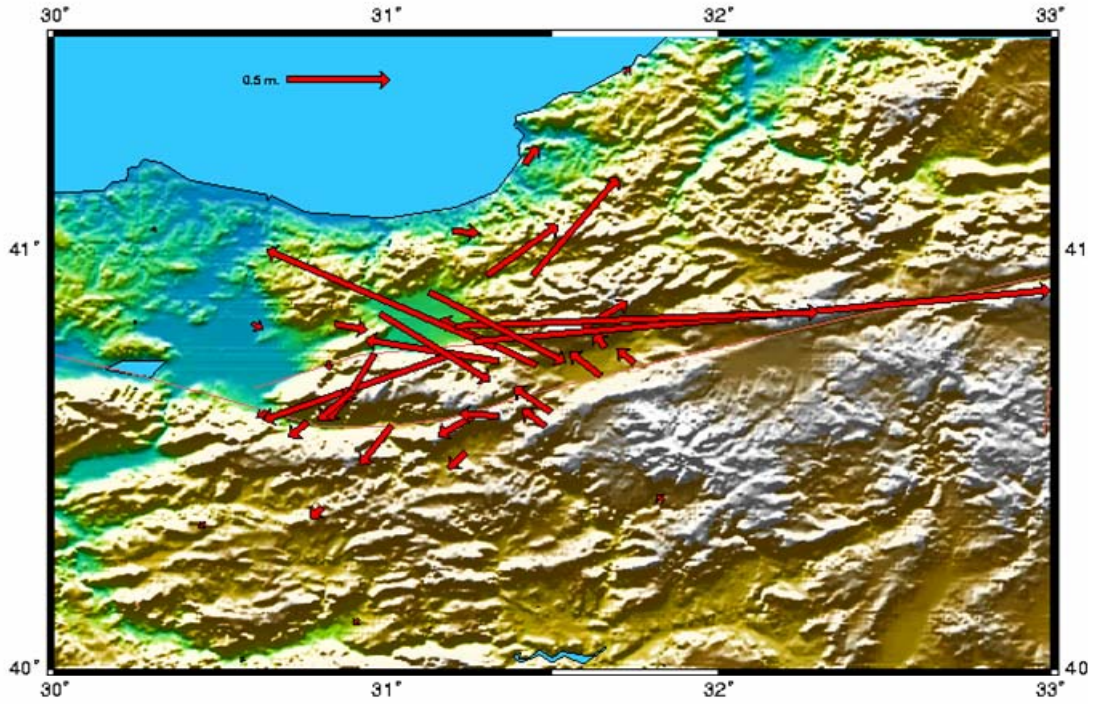
- (a) Uluslararası Yersel Referans Sistemi-1996 (ITRF-96)'da, 1998.0 epoklu koordinatları bilinen GPS Ağı.
- (b) TUTGA-99 Hız Alanı.
- (c) TUTGA-99 ile ED-50 arasında Koordinat Dönüşümü.
- (d) Her noktasında Helmert Ortometrik Yüksekliği bilinen Türkiye Ulusal Düşey Kontrol Ağı-1999 (TUDKA-99).
- (e) Türkiye Jeoidi-1999 (TG-1999).

TUTGA-99'un bu beş elemanı Ayhan vd.(2001b)'de ayrıntılı olarak açıklanmaktadır. TUTGA-99 kapsamında 1997 yılında ölçülen Marmara Bölgesi ve çevresinde yer alan noktalar, 17 Ağustos 1999 İzmit ($M_w=7.5$), 12 Kasım 1999 Düzce ($M_w=7.2$) ve 6 Haziran 2000 Çerkeş/Çankırı ($M_w=6.1$) depremleri ile oluşan ko-sismik yerkabuğu hareketleri nedeniyle yatay ve düşey yönde yer değiştirmiştir. Şekil-1.1 de verilen eş şiddet haritasında gösterildiği gibi İzmit depreminde oldukça geniş bir bölgenin etkilendiği anlaşılmaktadır. Bu bölgede deprem öncesinde tesis edilen GPS noktalarında İzmit Depremi sonrasında yapılan ölçüler ile 2-2.5 metre mertebesinde yatay yer değiştirmeler belirlenmiş (Şekil-1.2) (Reilinger vd., 2000) olup yatay yer değiştirmelerin deprem yüzey kırığının kuzeyinde doğu yönünde, güneyinde ise batı yönünde olduğu ve noktaların birbirine göre 4-5 metre hareket ettiği anlaşılmaktadır. Şekil-1.3'te ise Düzce depreminde oluşan yine aynı mertebeden yatay yer değiştirmeler gösterilmektedir. İzmit ve Düzce depremlerinde yatay yönlü yer değiştirmelerin yanı sıra noktaların düşey yönde hareket ettiği de görülmüştür. Depremler sonucunda bu bölgede yer alan TUTGA-99 noktalarında; enlem, boylam, elipsoid yüksekliği, ortometrik yükseklik, gravite ve inter-sismik hızlarda değişiklik olduğu düşünülmektedir. Böylece TUTGA-99'un beş ana elemanından, GPS Ağı, TUTGA-99 Hız Alanı, TUDKA-99 ve TUTGA-99'dan ED-50'ye Koordinat Dönüşümü güncelliğini yitirmiş ve yenilenme ihtiyacı doğmuştur. Bu durum göz önünde tutularak 2000 yılında depremden etkilenen bölgede toplam 159 noktada GPS ölçüsü, 1300 km nivelman yenileme ölçüsü ve nivelman noktalarında gravite ölçüsü yapılmıştır. Buna ek olarak koordinat dönüşümünde kullanmak ve GPS/nivelman jeoidi belirlemek amacıyla diğer bölgelerde 2000 ve 2001 yıllarında yeni ölçüler de yapılmıştır. Böylece yeni ölçülerle TUTGA-99'un güncellenme ihtiyacı doğmuş ve güncellenmiş TUTGA-99, TUTGA-99A kısaltması ile tanımlanmıştır.

İkinci bölümde TUTGA GPS kampanyaları ve 2000 – 2001 yıllarında yapılan yeni GPS kampanya çalışmaları, üçüncü bölümde 1992-2001 yılları arasında gerçekleştirilen GPS kampanyalarının birleştirilmesi, TUTGA-99A nokta koordinatlarının hesabı, depremler öncesi ve sonrası inter-sismik hız alanı ile depremlerde oluşan ko-sismik yer değiştirmeler konu



Şekil-1.2: 17 Ağustos 1999, $M_w=7.5$, İzmit depreminde oluşan yatay yer değiştirmeler.



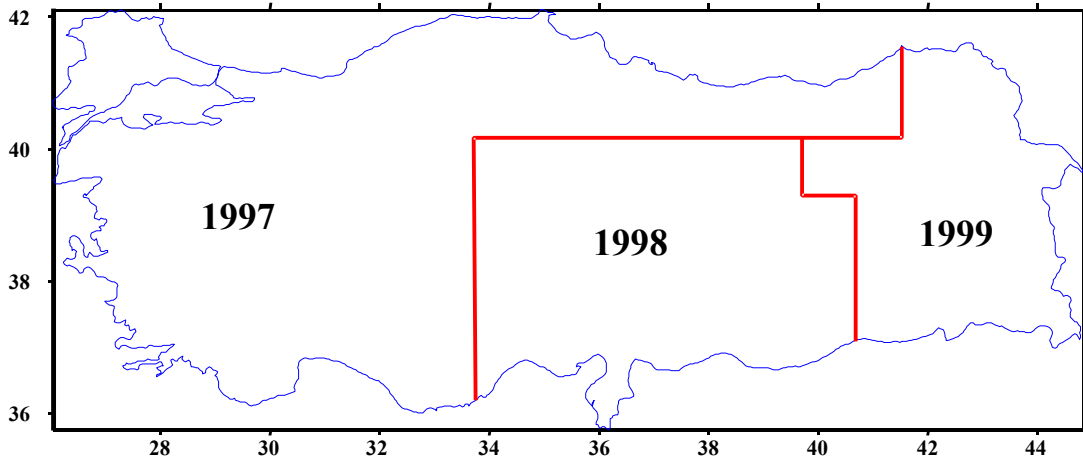
Şekil-1.3: 12 Kasım 1999, $M_w=7.2$, Düzce depreminde oluşan yatay yer değiştirmeler.

2. GPS ÇALIŞMALARI

a. TUTGA-99 Çalışmaları

Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı tanım olarak; ITRF (International Terrestrial Reference Frame) koordinat sisteminde 1-3 cm doğruluğunda, üç boyutlu koordinatları (X, Y, Z) ve bu koordinatların zamana bağlı değişimleri (hızları; V_x , V_y , V_z) ile uygun yükseklik sisteminde yükseklik (H) ve jeoid yüksekliği (N) bilinen, nokta aralığı 25-50 km jeoidin hızlı değişim gösterdiği bölgelerde 15 km olan olabildiğince homojen dağılımda 594 noktadan oluşan ağıdır.

TUTGA çalışmalarında Türkiye üç bölgeye ayrılmış, her bölgedeki çalışma farklı yılda olmak üzere 1997, 1998 ve 1999 yıllarında yapılmıştır. 1997 yılında, Marmara, Ege, Batı Akdeniz, Karadeniz ve İç Anadolu Bölgeleri, 1998 yılında, İç Anadolu, Doğu Akdeniz, Doğu Anadolu ve Güneydoğu Anadolu bölgeleri, 1999 yılında ise Doğu ve Güneydoğu Anadolu Bölgeleri çalışılmıştır. Yıllara göre çalışma bölgeleri Şekil-2.1’de gösterilmektedir.



Şekil-2.1: Yıllara göre gerçekleştirilen TUTGA çalışmaları.

TUTGA çalışmaları planlama, arazi çalışmaları ve ölçüleri değerlendirmek olmak üzere üç aşamada gerçekleştirilmiş olup her aşamada yapılan çalışmalar aşağıda açıklanmaktadır.

(1) Planlama Çalışmaları

Türkiye Ulusal Temel GPS Ağını oluşturan noktalar üç grupta toplanmakta olup, bu noktalar ve nitelikleri aşağıdadır :

- Eski noktalar : Daha önceden tesis edilmiş noktalar olup, I ve II nci Derece Yatay Kontrol Ağı ile I ve II nci Derece Düşey Kontrol Ağı noktalarından seçilenler, SLR (Satellite Laser Ranging) noktaları ve mevcut GPS noktalarından (jeodinamik noktalar) uygun dağılımı sağlayanlardır.
- Yeni noktalar: Proje kapsamında yeni tesis edilen aralarındaki uzaklıkları tek ve çift frekanslı GPS alıcıları ile nokta sıklaştırması ve DGPS uygulamaları için 25-50 km, jeoidin hızlı değiştiği bölgelerde 15 km seçilen noktalardır.

- Global noktalar: TUTGA'nın ITRF referans sisteminde tanımını gerçekleştirmek amacıyla Türkiye ve yakın çevresinde, Avrupa ve Asya'da uygun dağılımdaki IGS (International GPS Service) noktalarıdır.

Yukarıda eski noktalar arasında ifade edilen jeodinamik noktalar; Harita Genel Komutanlığının yurtiçi ve yurtdışı kuruluşlar ile gerçekleştirdiği WEGENER/MEDLAS Projesi kapsamında tesis edilen SLR noktaları (Ankara, Yozgat, Melengiçlik, Yığılca) ile Türkiye Ulusal Jeodezi ve Jeofizik Birliği (TUJJB), MIT (Massachusetts Institute of Technology, ABD), BKG (Bundesamt für Kartographie and Geodäsie, eski adı IfAG, Almanya) ve ETHZ (Technical Institute of Zurich, İsviçre)'nin ortaklaşa gerçekleştirdiği jeodinamik projeler kapsamında tesis edilen GPS noktalarıdır. Bu noktaların dışında Türkiye Ulusal Sabit GPS İstasyonları Ağı (TUSAGA) noktalarından Ankara, Diyarbakır ve Gebze-TUBİ (Bu istasyon TÜBİTAK-MAM tarafından çalıştırılmaktadır) noktaları da projeye dahil edilmiştir.

Eski ve yeni noktalar 1/100000'lik pafta taksimatı bulunan 1/1000000 ölçekli Türkiye haritası üzerine yerleştirildikten sonra noktaların genel dağılımı, topoğrafik detaylarla birlikte incelemek ve keşif faaliyetlerinde kullanmak üzere 1/100000 ölçekli paftalara aktarılmıştır.

(2) Arazi Çalışmaları

Arazi çalışmaları kapsamında noktaların keşif ve seçimi, yer noktası inşaatı ve GPS ölçüsü yapılmıştır. Keşif ve yeni nokta yeri seçiminde, her mevsimde ulaşılabilir, yerleşim yerlerine yeterince yakın, bölgenin gelişmesi göz önünde bulundurularak tahrip edilmeyecek, jeolojik olarak sağlam zeminde, pilye yapımına elverişli, uydu görünürlüğünü etkileyecek engel ve uydu gözlemlerini engelleyebilecek manyetik dalga kaynaklarından (TV vericisi vb.) yeterince uzakta noktalar seçilmesine dikkat edilmiştir. Yeni nokta yerleri seçilirken eski noktaların da keşifleri yapılmış, tahrip olduğu yerine yedekleri kullanılmıştır. Arazide yerleri seçilen ve keşifleri yapılan yeni noktalarda standart pilye yer işareti tesis edilmiştir (Lenk, 1997). Her yıl ayrı ayrı yapılan keşif ve inşaat tarihleri Tablo 2.1'de gösterilmektedir.

TUTGA noktaları fiziksel yeryüzünde belirlendikten sonra her yıl için ayrı ölçü planı hazırlanmıştır. Ölçü planı hazırlanırken ana bölge ve alt bölgeler tanımlanmıştır. Ana bölgeler topografik yapı, baz uzunluğu, noktalar arasında ulaşım ve ardışık bölgelerde ortak noktalar planlanarak düzenlenmiştir. Ana bölgeler alt bölgelere ayrılmış olup alt bölgeler komşu noktalarda aynı tip alıcılarla ölçü yapılması ve alt bölgeler arası ulaşım dikkate alınarak oluşturulmuştur. Ana ve alt bölgelerde sabit (ortak) nokta seçilirken, bir alt bölgede ölçü yapan alıcılardan alt bölge merkezine yakın olanı 'alt bölge sabit noktası', alt bölgeler ve ana bölgeler arasında sürekli gözlem yapılan noktaların TUSAGA (Türkiye Ulusal Sabit GPS İstasyon Ağı) istasyonu olmasına dikkat edilmiştir. Her noktada bağımsız ölçü grubu (oturum) sayısı 2'dir ve GPS ölçüleri gündüz yapılmıştır. GPS ölçüleri görelî statik ölçü metodu kullanılarak gerçekleştirilmiş olup, ölçü tarihleri Tablo-2.1'de, kullanılan alıcı tipleri ve sayıları Tablo-2.2'de, farklı yıllarda ölçülen toplam 594 noktanın niteliklerine göre dağılımı Tablo-2.3'de ve ülke genelinde dağılımları Şekil-2.2'de gösterilmektedir. GPS ölçülerinde uygulanan parametreler ise Tablo-2.4'de verilmektedir. Ayrıca, Düşey Kontrol Ağı'na yakın yeni ve eski noktalara geometrik nivelman ölçüleri ile bağlantı sağlanmıştır.

Tablo-2.1: TUTGA kapsamında keşif, inşaat ve ölçü tarihleri

Yıl	Keşif ve İnşaat Tarihleri	Ölçü Tarihleri	Nokta Sayısı
1997	2 Haziran –14 Temmuz 42 Gün	12 Ağustos-10 Kasım 46 Gün	296
1998	15 Mayıs-13 Haziran 24 Haziran-2 Ağustos 60 Gün	16-22 Haziran 4 Ağustos-3 Kasım 55 Gün	207
1999	Her noktanın gözleminden Üç gün önce gerçekleştirilmiştir.	28 Haziran-20 Ağustos 21 Gün	91

Tablo-2.2: GPS gözlemlerinde kullanılan alıcı tipleri ve sayılarının yıllara göre dağılımı

Alıcı Tipleri	Anten Modeli	1997	1998	1999
TRIMBLE 4000 SSE	TRIMBLE L1/L2 GEOD TRIMBLE L1/L2 COMP W GP	8	7	6
TRIMBLE 4000 SSI	DORNE MARGOLIN TRIM	-	-	6
ASHTECH Z-SURVEYOR	ASHTECH MARINE L1/L2 700C	-	5	3
LEICA SYSTEM 300	LEICA AT 302	9	-	-
TURBO ROGUE SNR8000	DORNE MARGOLIN T	1	1	2
TOPLAM		18	13	17

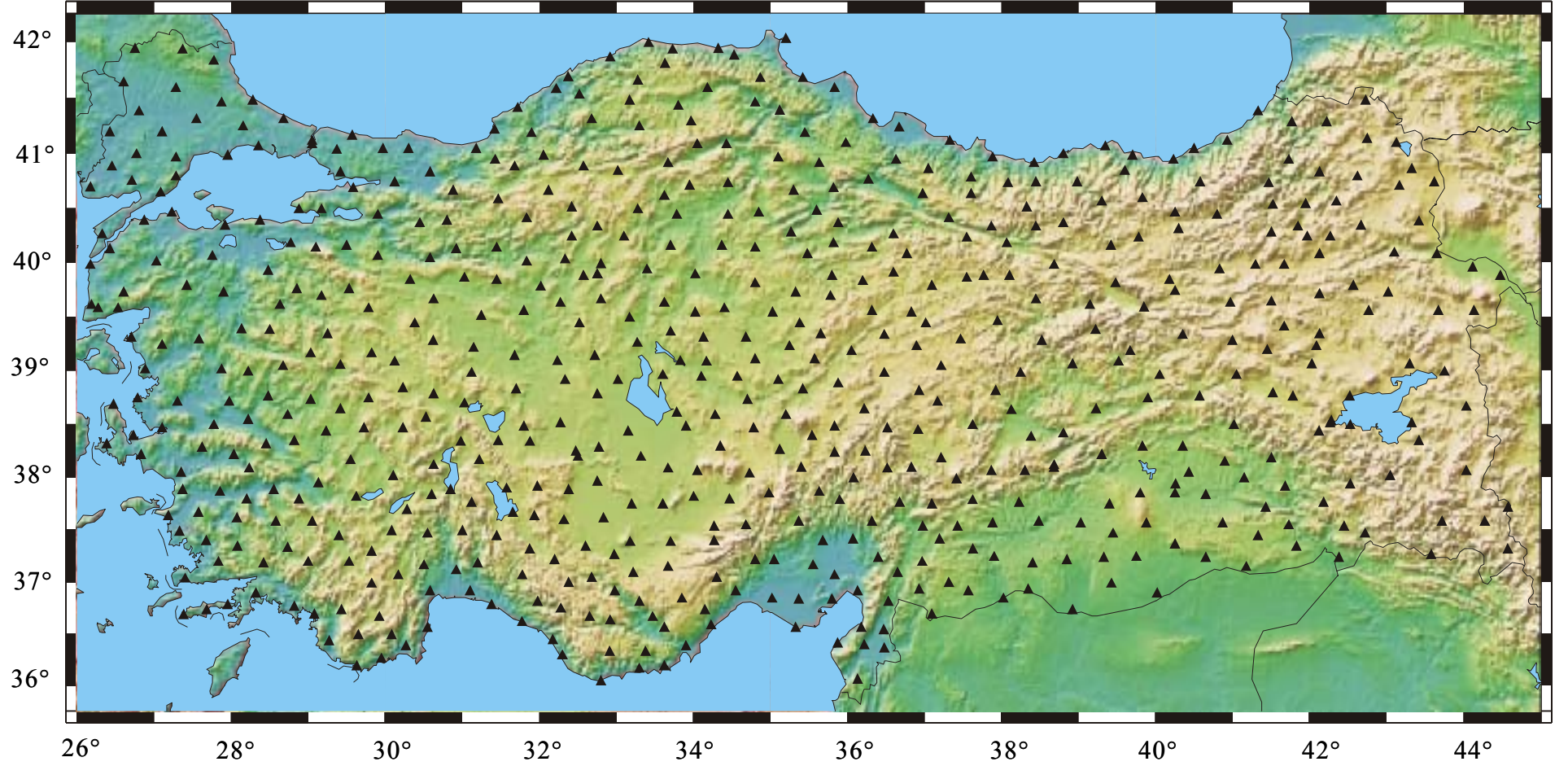
Tablo-2.3: Yıllara göre TUTGA nokta özellikleri

Yıl	Yeni Noktalar	Mevcut (Eski) Noktalar			Nivelman Bağlantıları		
		Yatay Kontrol	Düşey Kontrol	Jeodinamik	Yeni Nokta	Yatay Kont.	Jeodinamik
1997	103	50	-	38	74	11	20
1998	109	33	1	10	46	3	5
1999	57	8	-	5	19	-	2
Toplam	269	91*	1	53	139	14	27

*16 nokta aynı zamanda jeodinamik çalışmalar kapsamında ölçülmüştür.

Tablo-2.4: GPS ölçü parametreleri

Parametre	Kriter
Ölçü Süresi	7 saat (yerel noktalar) 12 saat (alt bölge sabit noktası) 24 saat (sabit istasyonlar; ana bölge ve TUSAGA)
Ölçü Tekrarı	2 gün/nokta 3-7 gün/nokta (alt bölge sabit noktası)
Uydu Yükseklik Açısı Sınırı	15 derece
Veri Toplama Sıklığı	30 saniye
Gözlenecek En Az Uydu Sayısı	1
Meteorolojik Gözlemler	Günlük ölçü başlangıcı ve bitiminde
Nivelman Bağlantı Ölçüleri	Gidiş-Dönüş ölçü farkı $\pm 6\sqrt{K}$ mm. K: nivelman mesafesi (km.)



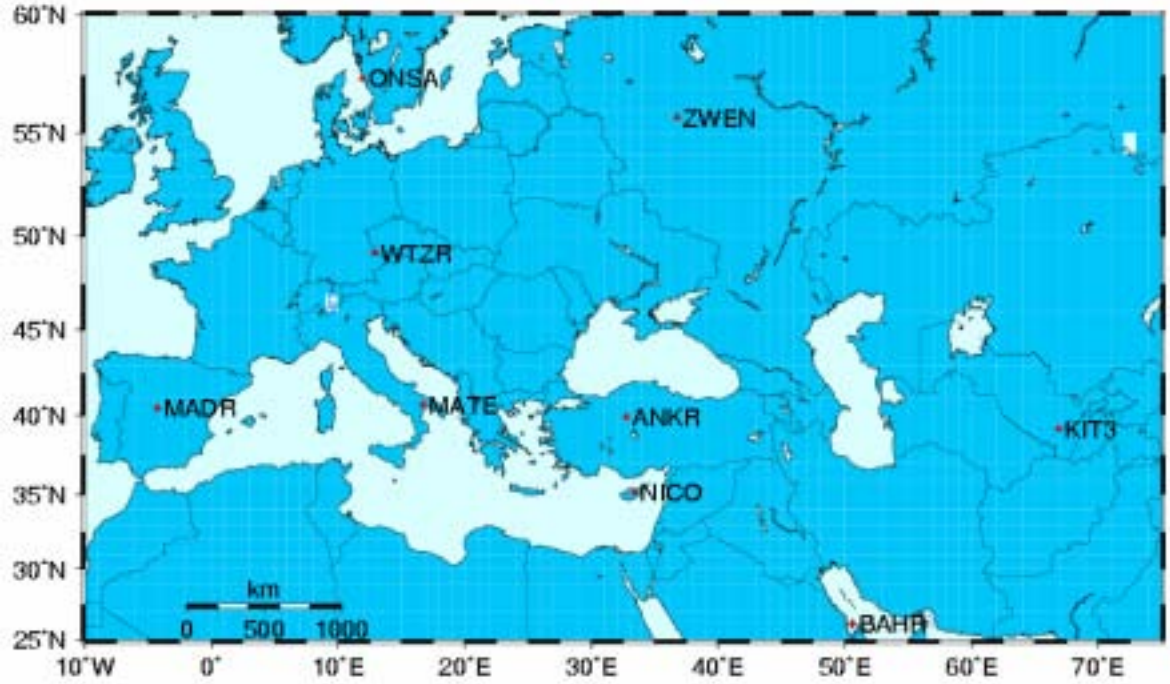
Şekil-2.2: Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı-1999 (TUTGA-99) Noktalarının dağılımı

(3) Hesaplama Çalışmaları

TUTGA noktalarında yapılan GPS ölçüleri BERNESSE V4.0 (Rotacher ve Mervart, 1996) ve GLOBK V10.03 (Herring, 1997) yazılımları ile değerlendirilmiştir. GPS oturumlarındaki ölçülerin değerlendirilmesi ve yıllık çözümler BERNESSE V4.0 yazılımı, bu çözümlerin birleştirilmesi, nokta koordinat ve hızlarının hesaplanması ise GLOBK V10.03 yazılımı ile yapılmıştır. TUTGA'yı ITRF referans sisteminde tanımlamak amacıyla Türkiye ve yakın çevresinde Avrupa ve Asya'da uygun dağılımdaki dokuz IGS (International GPS Service) noktası hesaplamalara dahil edilmiştir (Şekil-2.3).

BERNESSE V4.0 yazılımı ile değerlendirme için öncelikle GPS ölçüleri RINEX (Receiver Independent Exchange Format) formata dönüştürülmüş, bu aşamada anten yükseklikleri anten faz merkezinden (ARP; Antenna Reference Point) itibaren hesaplanmıştır. ARP noktasına indirgeme, Tablo-2.2'de belirtilen anten modelleri için ayrı ayrı yapılmıştır. ABD'de bulunan SIO (Scripps Institute of Oceanography)'ya bağlı SOPAC (Scripps Orbit and Permanent Array Center) arşivinden alınan IGS global izleme ağı noktalarına ait veriler RINEX formatta olup anten yükseklikleri kontrol edilerek kullanılmıştır. Yukarıda ifade edilen GPS alıcı anten tipleri için mevcut ARP değerleri, IGS Merkezi Büro (IGSCB) ve CODE (Center for Orbit Determination in Europe) tarafından yayınlanan değerler ile karşılaştırılıp doğrulandıktan sonra kullanılmıştır. Hesaplamalarda IGS duyarlı yörünge bilgisi (SP3; Standard Product 3) ve yer dönüklük parametreleri (ERP; Earth Rotation Parameters) kullanılmış olup uydu yörüngeleri, ERP ve uydu saat katsayıları bilinen olarak alınmıştır (Ayhan vd. 2001b). IGS noktalarının koordinat ve hızları ise IERS koordinat çözümlerinden alınmıştır (Boucher vd, 1995; 1998). 1997 yılı ölçüleri değerlendirilirken ITRF94 (1994.0) koordinat çözümü, 1998 ve 1999 yıllarına ait ölçüler değerlendirilirken ise ITRF96 (1997.0) koordinat çözümü kullanılmıştır. BERNESSE V4.0 ile değerlendirmede ilk önce GPS alıcıları için alıcı saat hataları hesaplanmış, 1 μ s'n doğrulukta bilinmesi gereken alıcı saat katsayıları kod ölçüleri kullanılarak en küçük kareler yöntemiyle yinelemeli olarak her epok için bulunmuştur (Rothacher ve Mervart, 1996). Bu aşamada yeni noktaların 10-50 m doğrulukla yaklaşık nokta konumları hesaplanmıştır.

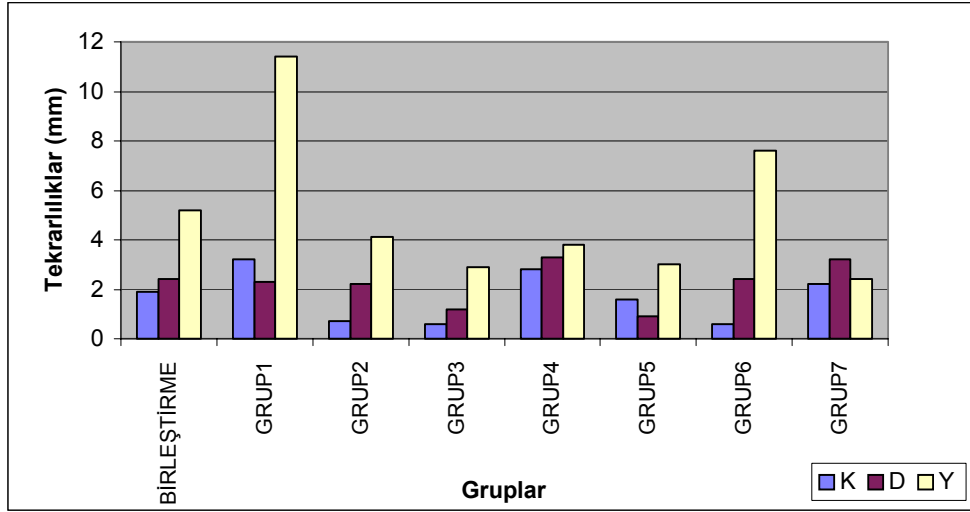
Bu işlemten sonra GPS oturumundaki nokta sayısının bir noksanı sayıda bağımsız baz (tekli-ölçü farkları olarak) seçilmiş, baz seçimi sırasında, baz uçlarındaki noktalarda uzun süreli ölçü olması ve aynı tip alıcı kullanılması ilkesine bağlı kalınmıştır. Bazlar seçildikten sonra, her baz ölçüsü ayrı ayrı işlemten geçirilerek faz kayıklıkları (cycle slip) ve kaba hatalı ölçüleri belirlemek için veri temizleme çalışması yapılmıştır. Bu aşamada otomatik olarak yumuşatma (smoothing) yapılarak faz kayıklığı olmayan veri gruplarını belirlemek amacıyla ikili ölçü farkları taranmış, daha sonra üçlü ölçü farkları ile faz kayıklıkları ve diğer kaba hatalı ölçüler belirlenmiştir. Oluşturulan bazlardan yararlı her GPS oturumu için küresel harmoniklerin kullanıldığı bölgesel tabaka iyonosfer modeli hesaplanmış (Wild, 1994) ve bu model başlangıç faz belirsizliklerinin (ambiguity) çözümünde kullanılmıştır. Faz belirsizlikleri QIF (Quasi Ionosphere Free) çözüm yöntemi ile her baz için ayrı ayrı çözülmüştür. QIF için L1 ve L2 frekansındaki ölçüler kullanılmış, her epokta kullanılan göreceli iyonosferik etki parametreleri yine epok bazında yok edilmiştir. QIF ile yerel bazlar için (45-500 km) %85-90, global bazlar için (1700-2800 km) %70 oranında faz belirsizliği bilinmeyi çözülmüştür. Faz belirsizlikleri çözüldükten sonra her baz için ikili ölçü farkları



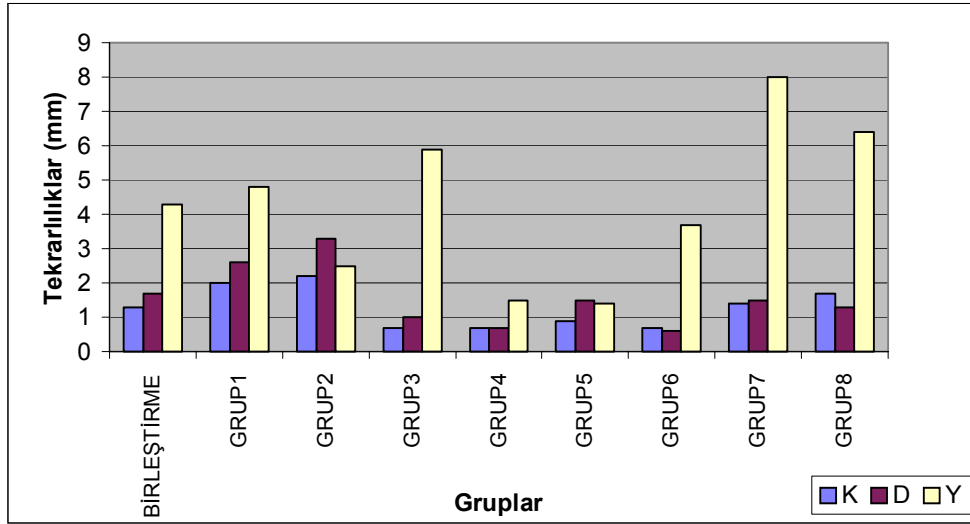
Şekil-2.3: Hesaplamalarda kullanılan IGS noktaları (Global Noktalar).

arasında matematiksel korelasyon dikkate alınıp GPS oturumundaki nokta ve ölçüler dengelenmiş ve her GPS oturumu için serbest koşullu normal denklemler oluşturulmuştur. İkili faz farkı ölçülerinin kullanıldığı parametre tahmini aşamasında L1 ve L2 taşıyıcı dalga fazlarının iyonosferden bağımsız L3 doğrusal kombinasyonu kullanılmıştır. Troposferik etki nokta ve zamana bağımlı olarak en küçük kareler yöntemi ile hesaplanmış, bu hesaplamalarda Saastamonien apriori standart troposfer modeline dayalı zenit gecikme bilinmeyenleri tanımlanmıştır. Hesaplamalar sırasında uygulanan ölçütler Tablo-2.5’de verilmektedir (Lenk ve Demir, 2000).

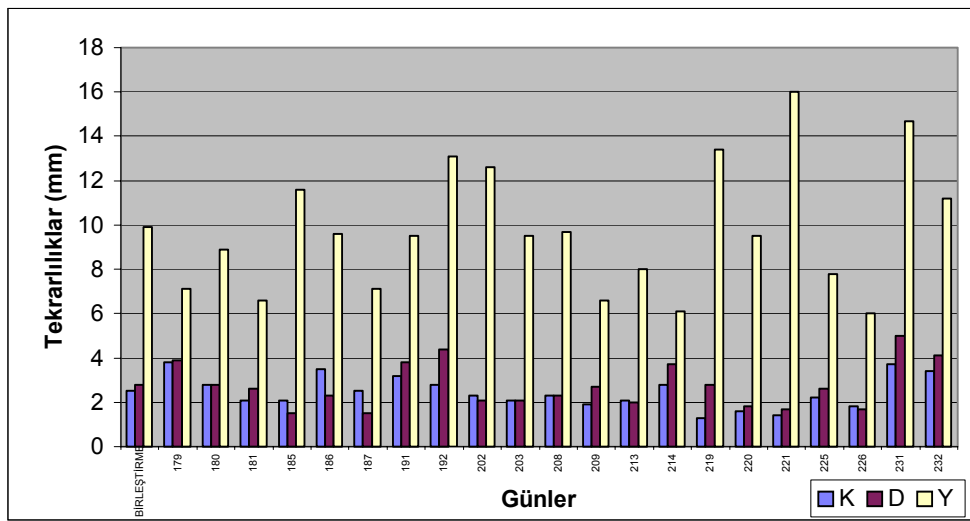
GPS oturumlarına ait bu normal denklemler BERNESE V4.0 yazılımı ile birleştirilerek o yıla ait serbest koşullu normal denklem elde edilmiştir. Söz konusu birleştirmelere ait tekrarlılık diyagramları 1997, 1998 ve 1999 yılı çalışmaları için sırasıyla Şekil 2.4 (a), (b) ve (c)’de verilmektedir. Yıllık birleştirmede, seçilen IGS noktaları koordinatlarına sıkı koşul uygulanarak nokta tekrarlılıkları kontrol edilmiş, uyuşumsuz çıkan noktalar tekrar işlem den geçirilmiştir. Ayrıca çözümlerin doğruluğunu kontrol için IGS noktalarından seçilenlerin koordinatlarına sıkı koşul uygulanarak, diğer IGS noktalarının koordinatları kontrol edilmiş, farkların kabul edilebilir seviyede (2-3 cm) olduğu görülmüştür.



(a)



(b)



(c)

Şekil-2.4: (a) 1997 , (b) 1998 , (c) 1999 yıllarına ait tekrarlılık diagramları. (K: Kuzey-Güney D: Doğu-Batı Y: Yukarı-Aşağı)

Tablo-2.5: Bernese V4.0 ile yapılan GPS ölçülerinin değerlendirilmesinde kullanılan kriterler

Modeller	Değerlendirme Değerleri
Yörünge	IGS Birleştirilmiş Yörünge (final)
Yer Dönme Parametreleri	IGS Yer Dönme Parametreleri (final)
Uydu Saatleri	IGS Uydu Saatleri (final)
Troposfer	Saastamoinen Modeli 2-Saatlik Zenit Gecikme Parametreleri Önsel Ağırlıklar: 5.00 M (Mutlak); 1.00 M (Görelî)
Iyonosfer	Yerel Faz Verisi ile Tek Katmanlı Model
Alıcı Saatleri	Her Epok için Kod Verisi Çözümü
Anten Faz Merkezleri	IGS Faz Merkezi Tanımlamaları
Faz Tamsayı Bilinmeyenleri Çözümü	QIF Algoritması
Ağırlıklandırma Stratejisi	İkili Fark Gözlemleri :1-2 cm Yükseklik Açısından Bağımsız Ağırlıklandırma Stratejisi

b. Marmara Depremleri Sonrası GPS Çalışmaları (TUTGA-99A)

(1) GPS Kampanyaları

Ülkemizde 1999 ve 2000 yılında meydana gelen $M_w \geq 6$ büyüklüğündeki depremler 1997 ve 1998 yıllarında ölçüsü yapılan özellikle Batı ve Orta Anadolu kesimindeki TUTGA-99 noktalarında konum değişikliği yaratmış olup, TUTGA-99'u güncellemek amacıyla deprem bölgesinde tekrarlı GPS ölçüsü yapılarak ağıdaki değişimlerin saptanması gerekmiştir. Bu amaçla 2000 ve 2001 yıllarında özellikle Marmara Bölgesi, Kuzey Anadolu Fay zonunun batı ve orta kesimi, Çankırı-Çerkeş-Amasya, Batı Akdeniz ve Afyon-Bolvadin bölgesini içerecek şekilde Ege Bölgesinde ve Doğu Anadolu Bölgesinde GPS ölçüleri yapılmıştır. Söz konusu GPS ölçüleri planlanırken, o bölgelerdeki TUSAGA noktalarının yanı sıra TÜBİTAK-MAM Marmara Sabit GPS Ağı (MAGNET) noktaları da dikkate alınmıştır.

Ayhan vd. (2001b)'de öngörülen hedefleri gerçekleştirmek üzere, TUTGA-99'un üç veya dört yılda bir yeniden ölçülmesi çalışmaları, 17 Ağustos 1999 İzmit $M_w=7.5$, 12 Kasım 1999 Düzce $M_w=7.2$, 6 Haziran 2000 Çerkeş $M_w=6.1$ ve 15 Aralık 2000 Bolvadin $M_w=5.8$ depremlerinde meydana gelen konum değişimlerini belirlemek amacıyla gerçekleştirilen GPS çalışmalarıyla birleştirilerek yürütülmüştür. Harita Genel Komutanlığı tarafından yürütülen projeler kapsamında TÜBİTAK-MAM, Massachusetts Teknoloji Enstitüsü/ABD, BÜ Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırmaları Enstitüsü ve İTÜ Avrasya Yer Bilimleri Enstitüsü ile ortaklaşa Mart 2000-Ekim 2001 döneminde toplam 12 GPS kampanyası gerçekleştirilmiştir. GPS kampanyalarında kullanılan alıcılar ve anten bilgileri ile GPS ölçü parametreleri sırasıyla Tablo-2.2 ve Tablo-2.4'de, ölçülen nokta sayısı, kullanılan alıcı sayısı ve tipleri, ölçü süresi, oturum sayısı, çalışma bölgesi ve ölçü tarihleri Tablo-2.6'da verilmektedir.

Marmara bölgesinde meydana gelen İzmit ve Düzce depremleri sonrasında oluşan yerkabuğu deformasyonunu gelecekteki deprem riskleri açısından incelemek amacıyla, Marmara bölgesinde yaklaşık 150x200 km.lik bölgede jeodezik, jeofizik ve jeolojik etkilerin de değerlendirileceği bir proje başlatılmıştır. Söz konusu çalışma Harita Genel Komutanlığı, TÜBİTAK-MAM, Massachusetts Teknoloji Enstitüsü/ABD, BÜ Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırmaları Enstitüsü ve İTÜ Avrasya Yer Bilimleri Enstitüsünün katılımı ile projelendirilmiştir. 2000, 2001 ve 2002 yıllarında katılımcı kuruluşlar tarafından ortalama altı aylık aralıklarla toplam yedi GPS kampanyası öngörülmüş, Postsismik-1, Postsismik-2, Postsismik-3 ve Postsismik-4 adı altında dört kampanya 2000 ve 2001 yıllarında gerçekleştirilmiştir. Ortalama 43 noktadan oluşan söz konusu GPS kampanyalarında ölçülen noktaların dağılımı Şekil-2.5’de gösterilmektedir. Ulusal Temel Yatay Kontrol Ağında oluşan bölgesel ve yerel nitelikli deformasyonları gidermek, 1932 yılından bugüne kadar geçen süre içinde, deprem-anı, deprem sonrası ve inter-sismik yer kabuğu hareketlerini belirlemek için, 1995 yılında yedinci ve sekizinci I nci Derece Nirengi Ağı Poligon bölgelerinde yapılan çalışma (Nakiboğlu vd. 1998) dışında bir çalışma yapılmamıştır. 2-20 Eylül 2000 tarihleri arasında Marmara, Kuzey Ege, Kuzey Batı İç Anadolu ve Batı Karadeniz bölgelerinde TUTGA-99, Yatay Kontrol Ağı noktaları ve jeodinamik GPS noktalarını kapsayan toplam 159 noktalı Jeodef GPS kampanyası gerçekleştirilmiştir. Bu kampanyadaki noktaların dağılımı Şekil-2.6’da gösterilmektedir.

Harita Genel Komutanlığı ve Massachusetts Teknoloji Enstitüsü, Batı Akdeniz ve Güney Ege bölgesindeki tektonik aktiviteyi incelemek ve 1997 sonrası dönemde TUTGA-99 noktalarındaki değişimleri belirlemek amacıyla, Eylül 2000 ayında, TUTGA-99 ve jeodinamik noktaların 20’sinde GPS ölçüsü yapmıştır. Ayrıca bu bölgenin doğusunda Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti (KKTC) ile 2001 yılında yapılan ortak çalışma kapsamında yedi noktada GPS ölçüsü yapılmıştır. Bunların dışında Tapu Kadastro Genel Müdürlüğü (TKGM) tarafından Temmuz 2000 ayında, KAF’nın Adapazarı çevresinde kalan bölümünde, İzmit Körfezinin kuzey ve güneyinde seçilen 11 adet I ve II nci derece yatay kontrol noktasını kapsayan GPS kampanyası yapılmıştır. 6 Haziran 2000 tarihinde $M_w=6.0$ büyüklüğünde meydana gelen Çankırı/Çerkeş depreminin bölgede mevcut TUTGA-99 ve Yatay Kontrol Ağı noktaları üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla GPS kampanyaları gerçekleştirilmiştir. $32^0 - 34^0$ boylamları ve $39^0 - 42^0$ enlemleri ile sınırlı bölgede gerçekleştirilen Çerkeş-2 GPS kampanyasında toplam 14 noktada, Çerkeş-3 GPS kampanyasında ise 35 noktada ölçü yapılmıştır. Aralık 2000’de Afyon-Bolvadin bölgesinde meydana gelen depremde, TUTGA-99 ve Yatay Kontrol Ağı noktalarındaki değişimleri ortaya çıkarmak ve bu bölgedeki tektonik aktiviteyi incelemek amacıyla, toplam 35 adet noktada GPS ölçüsü gerçekleştirilmiştir. Bu kampanyalarda ölçülen noktaların dağılımı Şekil-2.7’de topluca gösterilmektedir.

Marmara depremleri sonrası yapılan bu çalışmalara ek olarak Azerbaycan Ulusal Temel GPS Ağının TUTGA99’a bağlantıları kapsamında Doğu Anadolu bölgesinde TUTGA99, TUDKA-99 ve Yatay Kontrol Ağından seçilen toplam 13 noktada GPS ölçüsü gerçekleştirilmiştir.

Tablo-2.6: Deprem sonrası gerçekleştirilen kampanyalara ilişkin bilgiler

Özellikler Kampanyalar	Nokta Sayısı	Kullanılan Alıcı Tipi	Alıcı Sayısı	Ölçü Süresi (h)	Ölçü Grubu Sayısı	Bölge	Tarihleri (Başlangıç, Bitiş)
Postsismik-1	42	Trimble	5	10	1	Marmara	23.03.2000 02.04.2000
Postsismik-2	42	Trimble Ashtech	9	10	2	Marmara	15.08.2000 31.08.2000
Postsismik-3	37	Trimble	5	10	1	Marmara	29.03.2001 07.04.2001
Postsismik 4	43	Trimble	7	10	1	Marmara	21.10.2001 30.10.2001
D.Anadolu	13	Trimble	3	10	2-3	Doğu Anadolu	12.05.2000 25.05.2000
TKGM	11	Ashtech	5	3-4	1-2	Adapazarı	11.07.2000 13.07.2000
Jeodef	159	Trimble Ashtech	9	10	2 1*	Marmara Ege İçanadolu	02.09.2000 30.09.2000
Batı Akdeniz	20	Trimble Ashtech	9	8	2	Batı Akdeniz	12.10.2000 19.10.2000
Çerkeş 2	14	Trimble Ashtech	9	8	2	Çankırı Çerkeş	04.10.2000 08.10.2000
KKTC Bağlantı	7	Trimble	2	10	2-3	Akdeniz	17.05.2001 23.05.2001
Çerkeş 3	35	Trimble Ashtech	9	8	2	Çankırı Çerkeş	07.07.2001 15.07.2001
Bolvadin	25	Trimble Ashtech	9	8	2	Afyon Bolvadin	20.07.2001 24.07.2001

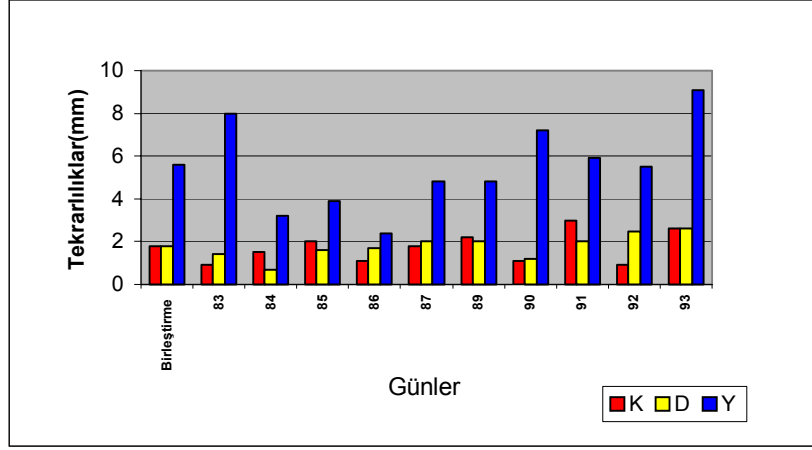
* Bu kampanyaya dahil tüm yatay kontrol ağı noktalarında bir gün ölçü yapılmıştır.



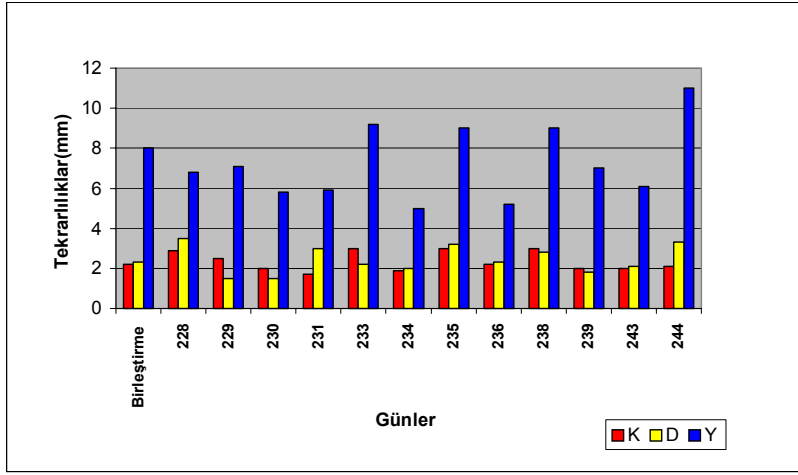
Şekil-2.7 :Bati Akdeniz (yeşil),TKGM (kırmızı), Afyon-Bolvadin (siyah), Çerkeş-2,3 (siyah) ve KKTC (kırmızı) bağlantılı GPS kampanyalarında ölçü yapılan noktalar.

(2) GPS Hesaplamaları

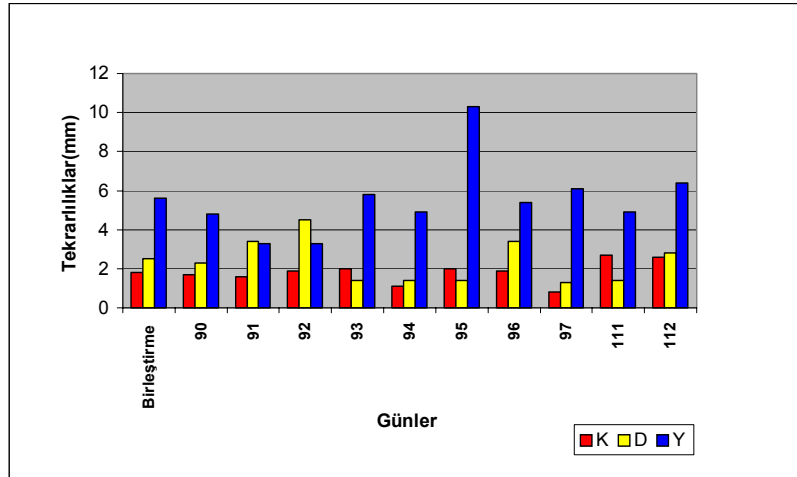
İzmit, Düzce, Çerkeş/Çankırı ve Bolvadin Depremleri sonrası yapılan GPS ölçüleri BERNESE V4.02 (Rothacher ve Mervart, 1996) ve GLOBK V10.03 (Herring, 1997) yazılımları ile değerlendirilmiştir. GPS oturumlarındaki gözlemlerinin değerlendirilmesi ve yıllık çözümler BERNESE V4.02 yazılımı, bu çözümlerin birleştirilerek nokta koordinat ve hızlarının hesaplanması ise GLOBK V10.03 yazılımı ile yapılmıştır. Deprem sonrası GPS ölçülerini ITRF96 referans sisteminde değerlendirmek amacıyla Türkiye ve yakın çevresinde, Avrupa ve Asya'da bulunan IGS noktaları arasından uygun dağılımda olanlar seçilmiş ve hesaplamalara dahil edilmiştir (Şekil 2.3). BERNESE V4.02 yazılımı ile GPS kampanyaları değerlendirilirken Bölüm 2'de verilen strateji izlenmiş, her oturumda oluşturulan serbest koşullu normal denklemler BERNESE V4.02 yazılımı ile birleştirilerek depremler sonrası kampanyalar için serbest koşullu normal denklem elde edilmiştir. Söz konusu günlük birleştirmelere ait tekrarlılık diyagramları sırasıyla Şekil 2.8- 2.11'de verilmektedir. Yıllık birleştirmeler sonucunda bazı IGS noktalarının koordinatlarına sıkı koşul uygulanarak tüm nokta tekrarlıkları kontrol edilmiş, uyuşumsuz çıkan noktalar tekrar işlem den geçirilmiştir. Ayrıca yıllık bazda gerçekleştirilen hesaplamalarda, elde edilen çözümlerin doğruluklarını kontrol etmek için IGS noktalarından bazılarının koordinatlarına sıkı koşul uygulanmış, diğer IGS noktalarının koordinatları hesaplanarak farkların kabul edilebilir seviyede (2-3 cm) olduğu görülmüştür (Ocak, 2001,2002; Şengün, 2001a,b,2002; Kurt, 2001a;b; Açıkgöz, 2001).



(a)

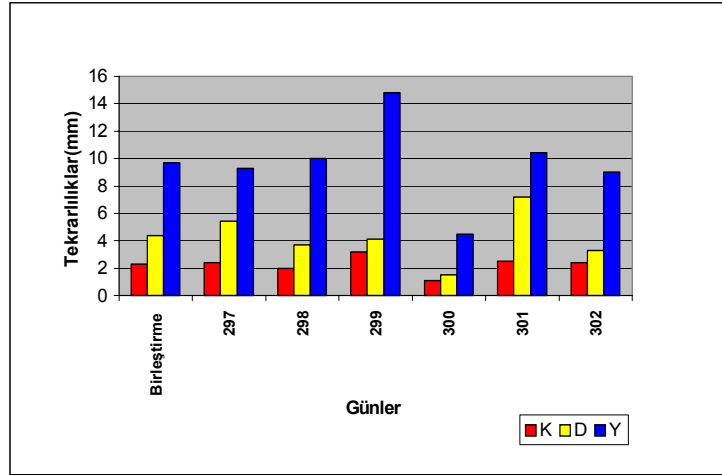


(b)

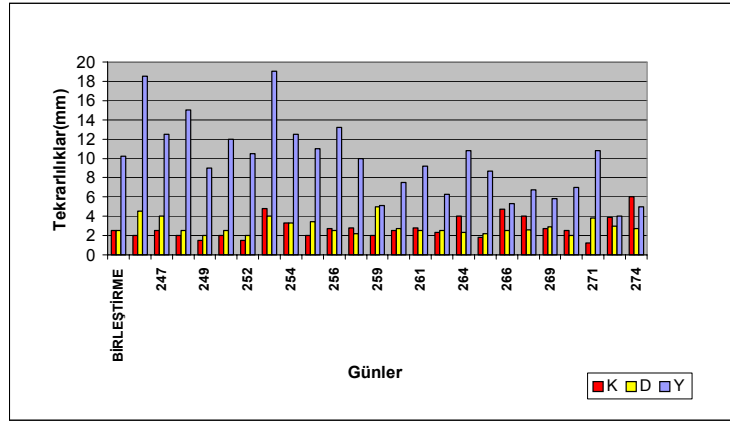


(c)

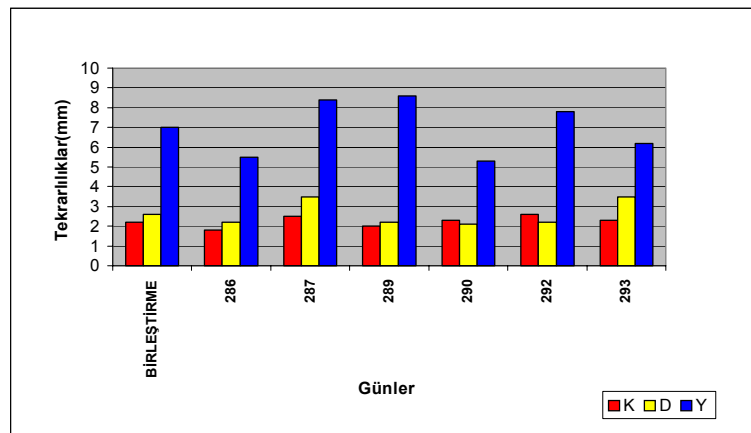
Şekil-2.8: (a) Postsismik-1 , (b) Postsismik-2 , (c) Postsismik-3 kampanyalarına ait günlük tekrarlılık diagramları. (K: Kuzey- Güney D: Doğu-Batı Y: Yukarı-Aşağı)



(a)

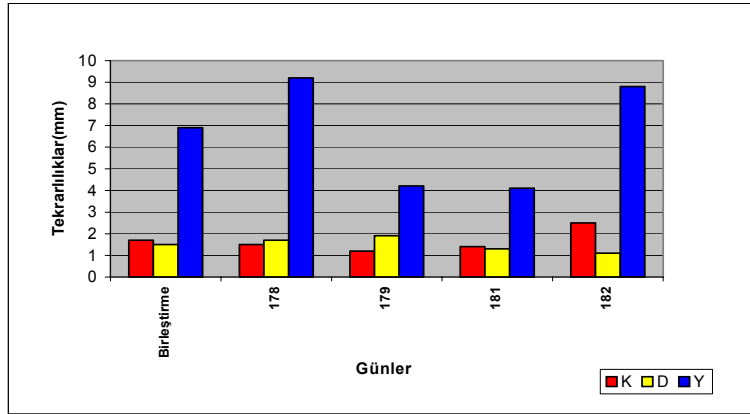


(b)

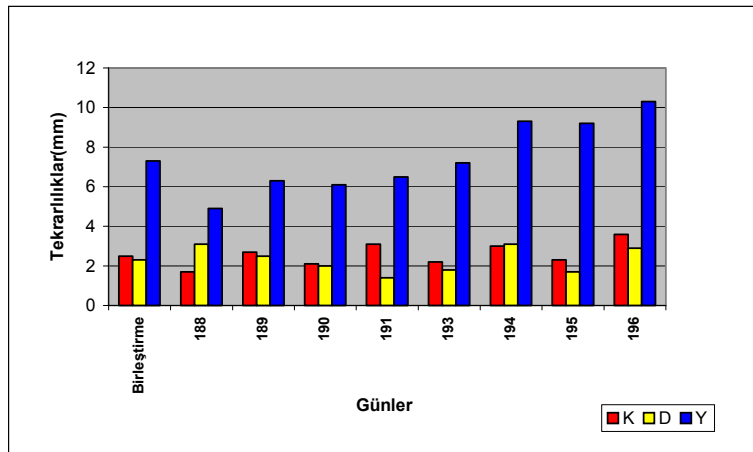


(c)

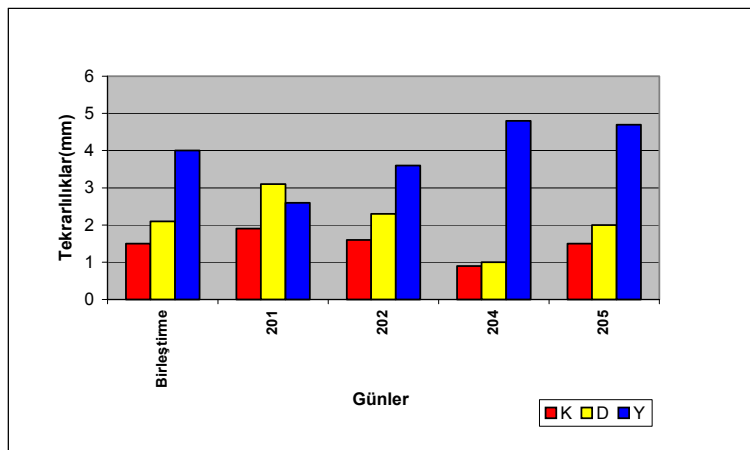
Şekil-2.9: (a) Postsismik-4 , (b) Jeodef , (c) Batı Akdeniz kampanyalarına ait günlük tekrarlılık diagramları. (K: Kuzey- Güney D: Doğu-Batı Y: Yukarı-Aşağı)



(a)

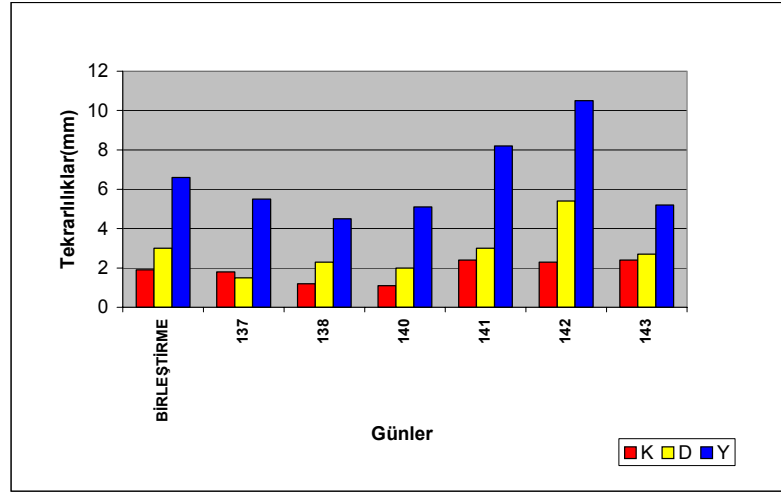


(b)

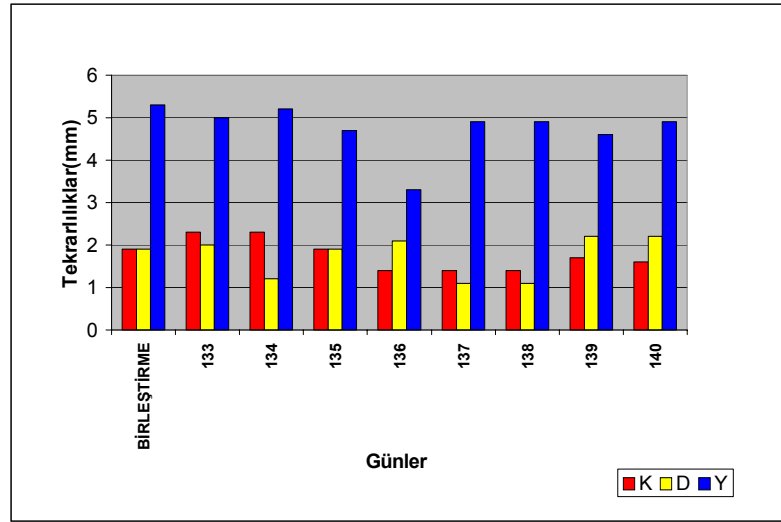


(c)

Şekil-2.10: (a) Çerkeş - 2, (b) Çerkeş - 3 , (c) Bolvadin kampanyalarına ait günlük tekrarlılık diagramları. (K: Kuzey- Güney D: Doğu-Batı Y: Yukarı-Aşağı)



(a)



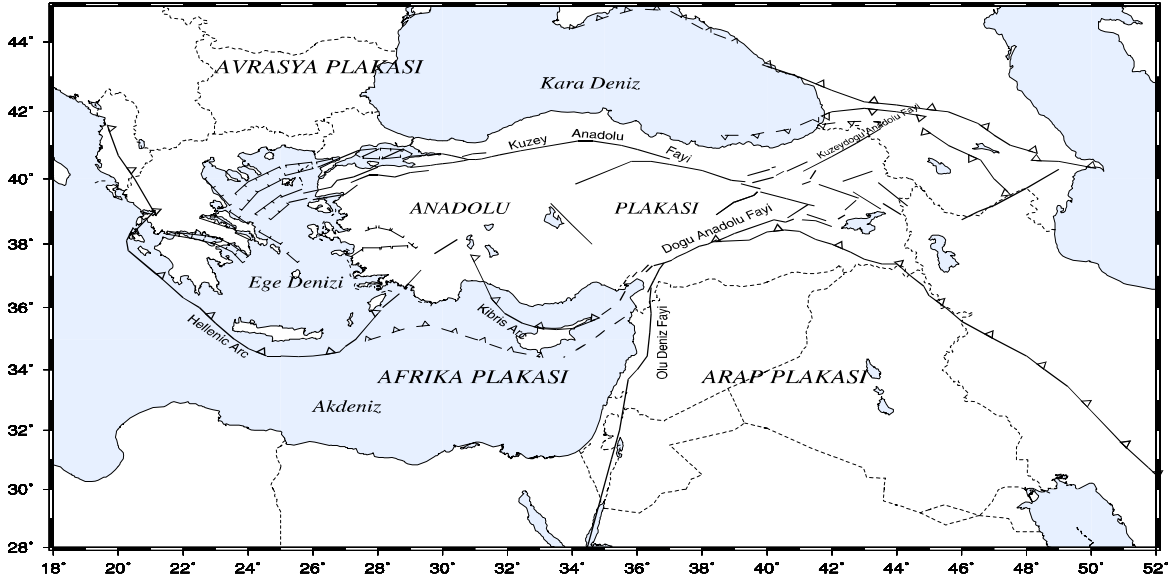
(b)

Şekil-2.11: (a) KKTC , (b) Doğu Anadolu kampanyalarına ait günlük tekrarlılık diagramları.
(K: Kuzey- Güney D: Doğu-Batı Y: Yukarı-Aşağı)

3. TUTGA-99A KOORDİNATLARI VE HIZ ALANININ GÜNCELLENMESİ

a. Genel Tektonik Yapı

Türkiye, Afrika ve Arap tektonik plakalarının Avrasya tektonik plakası ile çarpışma bölgesinde yer almakta olup, bölgedeki tektonik plaka sınırları, yanal atımlı ve normal faylar ile bindirme bölgeleri genel hatlarıyla Şekil-3.1’de gösterilmiştir. Bölgedeki tektonik plaka hareketleri; Arap plakasının Avrasya plakasına göre kuzey-kuzeybatı doğrultusunda 15-20 mm/yıl hızla hareketi sonucu, Doğu Anadolu Bölgesinin sıkışması ve Anadolu plakasının 20-25 mm/yıl hızla batıya hareket edip saat yelkovanı tersinde dönmesi, Afrika plakasının 5-10 mm/yıl hızla kuzey yönünde hareketi sonucu Anadolu plakasının altına dalması ve Helenik Yay boyunca çekilme nedeniyle Ege bloğunun kuzey-güney yönünde genişlemesi biçiminde özetlenebilir (McKenzie, 1972; Jackson ve McKenzie, 1988; McClusky vd., 2000).



Şekil-3.1: Türkiye ve çevresinin basitleştirilmiş tektonik haritası. Düz çizgi; yanal atımlı fay, taraklı çizgi; normal fay, üçgenli çizgi; bindirme bölgesi (üçgeni içermeyen alta dalan plaka), (McClusky vd, 2000).

Yukarıda açıklanan bölgenin karmaşık tektonik yapısı ve yer değiştirmelerin büyüklüğü göz önüne alındığında, TUTGA-99 nokta koordinatlarının zamana bağlı değişimlerini yüksek doğrulukta belirlemenin, ağı yaşatmak ve iyileştirmek için son derece önemli olduğu anlaşılmaktadır. Nokta koordinatlarındaki zamana bağlı değişimler, genel olarak tektonik plakaların inter-sismik, ko-sismik ve post-sismik deformasyonlarından kaynaklanır. İzmit , Düzce, Çerkeş ve Bolvadin depremleri öncesinde tanımlanan TUTGA-99 nokta koordinatları, 1998.0 epöğunda inter-sismik hızları ile birlikte yayınlanmıştır (Ayhan, vd., 2001b). Depremlerde oluşan ko-sismik ve post-sismik etkiler nedeniyle TUTGA-99 nokta koordinatları ve deprem öncesi TUTGA-99 inter-sismik hız alanının deprem sonrasında değişikliğe uğradığı düşünülmektedir. TUTGA-99 nokta koordinatları ile inter-sismik hız alanını güncelleştirmek amacıyla depremlerin etkilediği bölgelerde yeni GPS ölçü kampanyaları gerçekleştirilmiş olup bu kampanyaların ayrıntıları Bölüm 2.b’de verilmektedir. TUTGA-99’un Marmara Bölgesindeki bölümünü güncelleştirmek için nokta koordinatlarını

değiştiren sözü edilen üç farklı etkinin modellenmesi gerekmektedir. Bu bölümde, TUTGA-99'un depremler öncesi inter-sismik hız alanının modellenmesi, depremler sonrası hız alanının değişmesi nedeniyle TUTGA-99A'nın oluşturulmasında esas alınan deprem sonrası inter-sismik hız alanı ile deprem anı ve sonrasında oluşan ko-sismik ve post-sismik etkilerin modellenmesi konuları açıklanmaktadır.

b.TUTGA-99 Nokta Koordinatları ve Depremler Öncesi TUTGA-99 İnter-sismik Hız Alanı

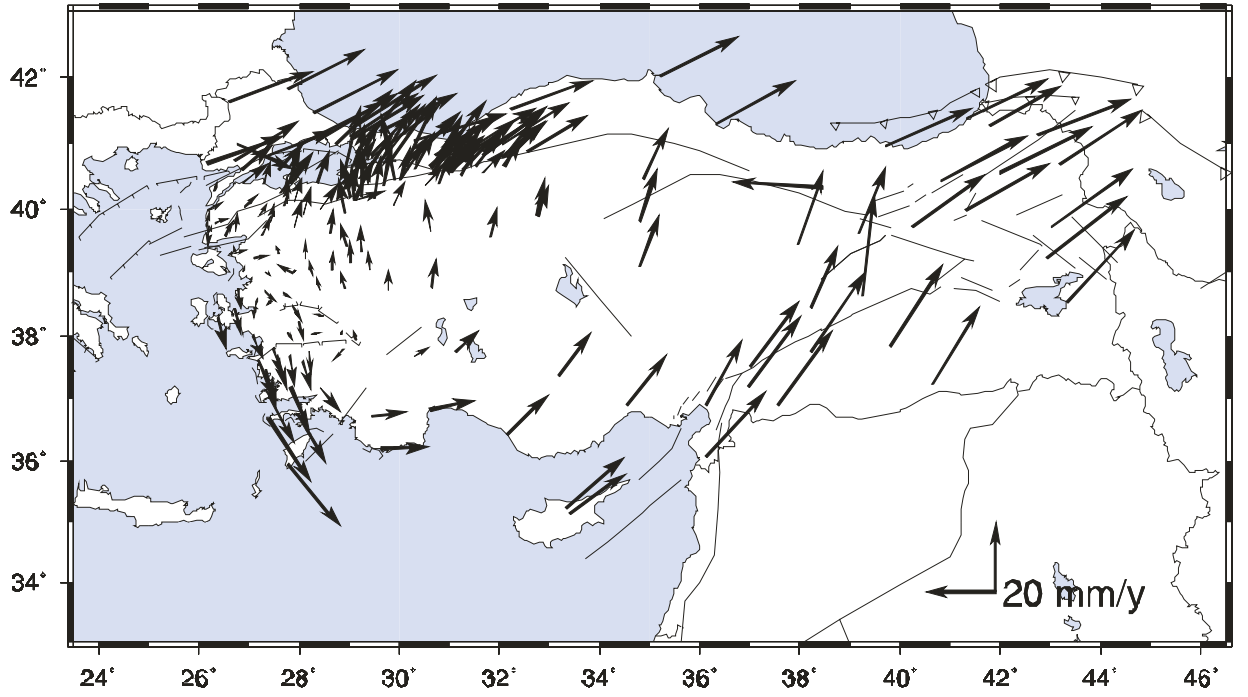
TUTGA-99'u oluşturan GPS kampanya ölçüleri 1997, 1998 ve 1999 yıllarında tamamlanmıştır. Ülkemizdeki tektonik aktivite, nokta koordinatlarının belirli bir epokta, zamana bağlı değişimleri (hızları) ile birlikte tanımlanmasını gerektirdiğinden, ağın büyük bölümünün ölçüldüğü 1997 ve 1998 yıllarının yaklaşık ortası olan 1998.0 tarihi, TUTGA-99 için referans epoğu kabul edilmiştir. 1992-1999 (depremler öncesi) yıllarında ölçülen GPS kampanyalarının değerlendirilmesi 2nci bölümde açıklanan stratejiye uygun olarak BERNESE V4.0 yazılımı ile yapılmış, günlük GPS ölçüleri ayrı ayrı değerlendirilmiş ve her gün için bir normal denklem elde edilmiştir. Günlük normal denklemlerde, faz başlangıç belirsizliği ve troposfer parametreleri elimine edilmiş, nokta koordinatları için 5 m koşul (gevşek zorlama) tanımlanmıştır. Günlük normal denklemlerin birleştirilmesiyle kampanya için koordinat bilinmeyenlerini içeren gevşek zorlamalı normal denklemler elde edilmiştir. Daha sonra bu normal denklemler diğer GPS değerlendirme yazılımları ile kullanılabilme üzere yazılımdan bağımsız değişim formatına (SINEX) dönüştürülmüştür (Kahveci,1997 ; Kahveci vd., 1999; Kılıçoğlu, 1998; Ocak, 1997; 1998; Türkezer, 1997; 1998). TUTGA-99 GPS kampanyaları ile birlikte 1992-1999 yılları arasında Harita Genel Komutanlığının çeşitli yurt dışı kuruluşlarla yürüttüğü jeodinamik amaçlı ortak projeler ve Harita Genel Komutanlığının kendi projeleri kapsamında ölçüsü yapılan Ayhan vd. (2001b)'de ayrıntısı verilen toplam 23 GPS kampanyası GLOBK yazılımı ile birleştirilerek, TUTGA-99 nokta koordinatları ve inter-sismik hızları belirlenmiştir. Yatay ve düşey inter-sismik hız alanları sırasıyla Şekil-3.2 ve Şekil-3.3'te verilmiştir. Kalman Filtrelemesi yöntemini kullanan GLOBK yazılımı ile farklı epoklarda elde edilen nokta koordinatları, noktaların inter-sismik hızları kullanılarak 1998.0 epoğuna kaydırılmıştır. Bu GPS kampanyalarında toplam 171 noktada periyodik ölçü yapılmış olup bu noktalardan 96 tanesi aynı zamanda TUTGA-99 noktasıdır. Bu 96 nokta dışında kalan 498 TUTGA-99 noktasının hızları 171 noktadaki inter-sismik hızlardan yararlarla ağırlıklı ortalama yöntemi ile interpolate edilmiştir (Demir ve Açıkgöz, 2000). Bu yöntemde p hesap noktasındaki $\hat{V}_p$ hız bileşeni, ölçü noktalarındaki V_i hız değerlerinden yararlar,

$$\hat{V}_p = \sum_{i=1}^m w_i V_i / \sum_{i=1}^m w_i \quad (i = 1, \dots, m; \quad m, \text{ hesaplamada kullanılan ölçü nokta sayısı})$$

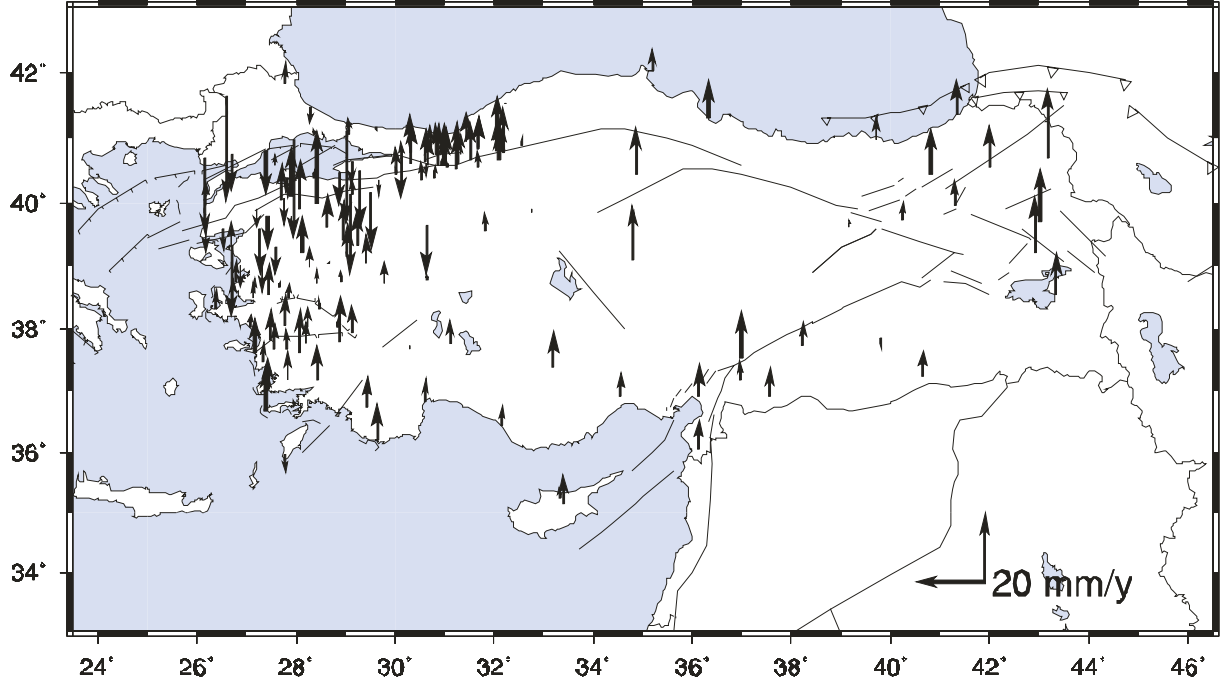
(3.1)

eşitliği ile hesaplanmıştır. Burada w_i ağırlık fonksiyonu olup, hesap noktası ile ölçü noktası arasındaki uzaklığa d_i bağlıdır ve

$$w_i = 1/d_i^k \quad (3.2)$$



Şekil-3.2: TUTGA-99 ölçü noktalarından periyodik GPS ölçüsü bulunanlarda ITRF96 sisteminde hesaplanan deprem öncesi (inter-sismik) yatay hız alanı.



Şekil-3.3: TUTGA-99 ölçü noktalarından periyodik GPS ölçüsü bulunanlarda ITRF96 sisteminde hesaplanan deprem öncesi (inter-sismik) düşey hız alanı.

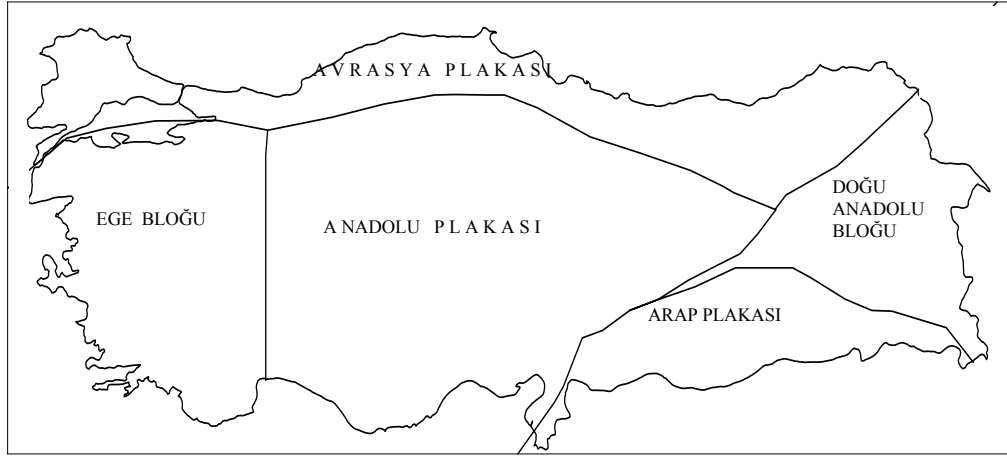
fonksiyonu ile tanımlanır (Echstein, 1989). k , ağırlık fonksiyonu bilinmeyişi olup, ölçü noktalarında kestirim yapılarak, kestirim ve ölçü değeri karşılaştırılarak belirlenmiştir. n adet ölçü noktasında bilinen (V_i) ve kestirim ($\hat{V}_i$) değeri yardımıyla hesaplanan,

$$rms = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (V_i - \hat{V}_i)^2} \quad (3.3)$$

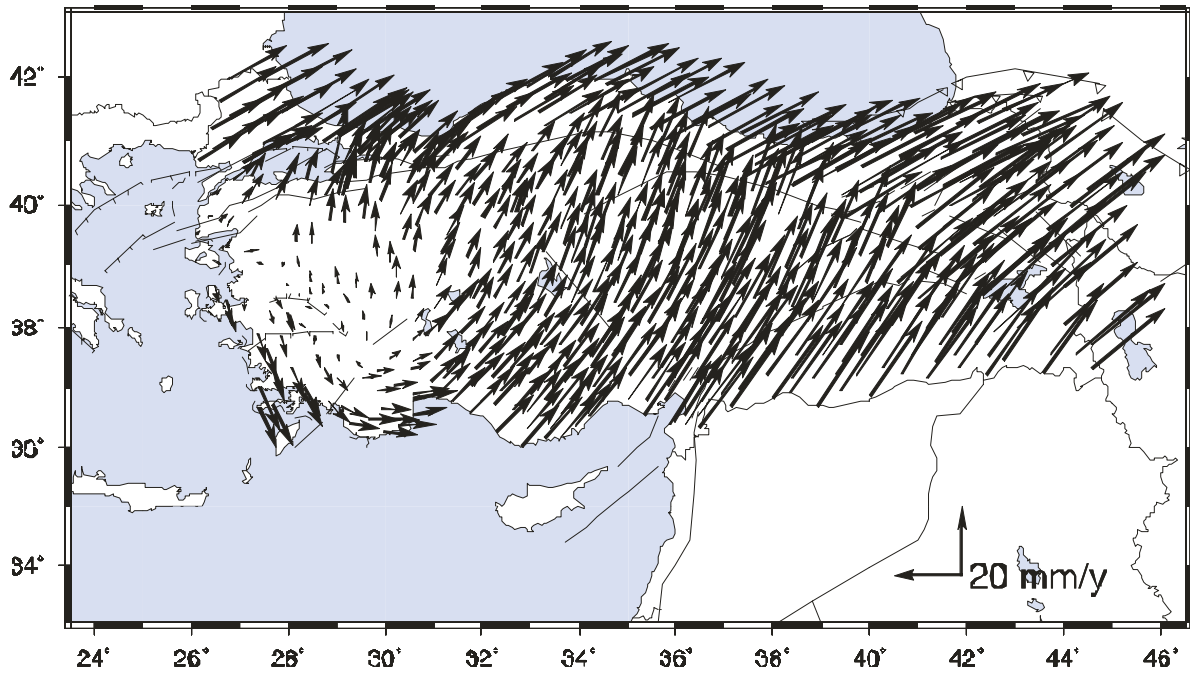
değerini minimum yapan k değerinin en uygun değeri olarak seçilmesi öngörülmüş, k için 1 ile 4 arasında değeri alınarak yapılan uygulamalarda birbirine çok yakın sonuçlar bulunmuş ve $k=1$ alınmıştır. Ayrıca, kestirimde tüm ölçü noktalarının kullanılması yerine, bölgedeki nokta dağılımına bağlı olarak en uygun sonuç veren, hesap noktasının yakın çevresindeki 4 ile 8 arasında değeri sayıda ölçü noktası kullanılmıştır. Ağırlıklı ortalama yöntemi tektonik plaka hareketleri açısından genel olarak birbirinden farklılık gösteren beş tektonik alt bölgede ayrı ayrı uygulanmış (Şekil-3.4), bu tektonik alt bölgelerdeki nokta sayıları Tablo-3.1’de verilmiştir. Ölçü kümesi içinde kaba hatalı olan ölçüleri belirlenmek amacıyla; ölçü ve hesap değeri arasındaki farklardan ± 3 rms değerini aşanlar mutlak değeri olarak en büyüktür başlamak üzere yinelenmeli olarak atılmıştır. Bu işlem hız bileşenleri (V_X, V_Y, V_Z) için ayrı ayrı yapılmış, hız bileşenlerinden biri kaba hatalı bulunan nokta ölçü kümesinden çıkarılmıştır. Bu yöntemde kestirilen büyüklüklerin hataları olarak tektonik alt bölgelerde ölçü noktalarında kestirimden hesaplanan rms değeri alınmıştır (Tablo-3.1). Hızları bilinmeyen TUTGA-99 noktaları ile bir kez GPS ölçüsü yapılan noktalarda yatay ve düşey hızlar kestirilmiş olup sırasıyla Şekil-3.5 ve Şekil-3.6’da gösterilmektedir.

Tablo-3.1: Ağırlıklı ortalama ile tektonik alt bölgelerde kestirilen deprem öncesi hızların rms değeri (mm/y)

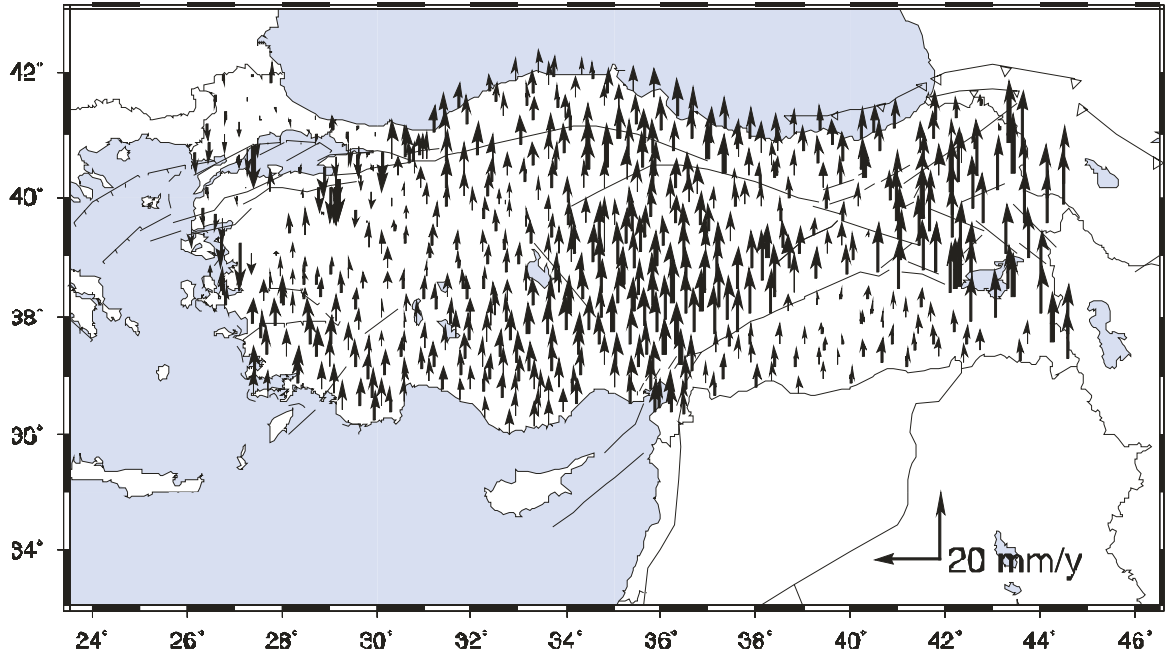
Hız Bileşenleri	Arap Plakası	Avrasya Plakası	Doğu Anadolu Bloku	Anadolu Plakası	Ege Bloku
V_X	± 3.52	± 4.41	± 3.11	± 5.66	± 5.03
V_Y	± 3.19	± 5.83	± 2.74	± 4.64	± 3.35
V_Z	± 3.14	± 5.05	± 4.52	± 4.96	± 4.35
Nokta Sayısı	7	48	4	53	109



Şekil-3.4: Ağırlıklı ortalama yönteminin ayrı ayrı uygulandığı tektonik alt bölgeler



Şekil-3.5: ITRF96 sisteminde TUTGA-99 noktalarında kestirilen deprem öncesi yatay hızlar.



Şekil-3.6: ITRF96 sisteminde TUTGA-99 noktalarında kestirilen deprem öncesi düşey hızlar.

c. Depremler Sonrası TUTGA-99 İnter-sismik Hız Alanı

İzmit, Düzce, Çerkeş/Çankırı ve Bolvadin depremleri sonrası gerçekleştirilen GPS kampanyalarını birleştirip deprem sonrası nokta koordinatlarını elde etmek mümkün olmakla birlikte, depremlerden etkilenen bölgenin dışında kalan diğer bölgelerde depremler sonrası ölçülen tüm tekrarlı ölçüleri kullanılabilmek amacıyla, 1992-2001 yılları arasında gözlenen toplam 35 GPS kampanyası birlikte değerlendirilerek birleştirilmiştir. Bu birleştirmeye, özellikle İzmit ve Düzce depremleri hemen sonrasında gerçekleştirilen GPS ölçüleri, ölçülerdeki post-sismik etkiler nedeniyle dahil edilmemiştir. Tablo-3.2’de birleştirmeye dahil edilen kampanyalar listelenmiştir.

GPS değerlendirme yazılımları nokta koordinatlarının duyarlılığı için çok iyimser değerler verdiği için uygulamada elde edilen varyanslar, yazılıma bağlı olarak bir ölçek faktörü ile çarpılarak kullanılır (BERNESE yazılımı için bu sayı genelde 100 seçilmektedir) (Brockmann, 1996). BERNESE ile elde edilen çözümlere ilişkin kovaryans matrisleri birleştirmeden önce 50-100 arasında değişen ölçek faktörü ile ölçeklendirilmiştir. Deprem öncesi ve deprem sonrasını kapsayan 1992-2001 yılları arasındaki tüm kampanyaları birlikte değerlendirmek için depremlerin etkilediği bölgelerdeki nokta isimleri değiştirilerek farklı nokta tanımlamaları yapılmıştır.

Depremlerin etkilediği bölge, deprem episentri merkez olmak üzere uygun yarıçaplı bir dairenin içi olarak öngörülmüş ve sözü edilen dairelerin yarıçapları yinelemeli olarak belirlenmiştir. Başlangıçta her deprem için olası en büyük yarıçaptan başlayarak, birleştirme sonucu aynı nokta için deprem öncesi ve deprem sonrası elde edilen koordinatlar aynı epöğe kaydırıldığında elde edilen farkın <1cm olması durumunda, bunun ölçü hatalarından kaynaklandığı ve bu noktanın depremden etkilenmediği kabul edilerek söz konusu nokta

dışarıda kalacak şekilde yarıçap küçültülmüştür. Bu işlem nokta koordinatlarında deprem öncesi ve deprem sonrası değerleri arasındaki farklar <1 cm olana kadar devam edilmiş, Bolvadin depreminde önemli yatay hareketler tespit edilmediğinden, İzmit depremi için 240 km, Düzce depremi için 200 km ve Çerkeş/Çankırı depremi için 100 km yarıçaplı dairelerin içi, depremlerin etkilediği bölgeler olarak belirlenmiştir. Sözü edilen bölgeler Şekil-3.7’de gösterilmektedir.

Tablo- 3.2: Birleştirmeye dahil edilen GPS Kampanyaları.

Yıl Kamp.	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	Açıklama
MIT	(29)*		(65)		(79)		(64)				MIT/ABD, HGK: Türkiye
NAFZ	(34)	(35)		(38)		(39)					IfAG/Almanya, HGK: KAFZ.
MARM	(51)		(57)		(17)						ETHZ/İsviçre, HGK, İTÜ: Marmara Bölgesi
WETR	(42)	(41)	(26)			(44)					IfAG/Almanya, HGK: Batı Anadolu
MARE				(10)							HGK: Mareograf
EUVN						(15)					HGK: Avrupa Birleşik Düşey Ağı (EUVN)
KTGA							(30)			(30)	HGK:KKTC Temel GPS Ağı
MARS							(50)	(38)			HGK, İTÜ, BÜ, TÜBİTAK-MAM: Marmara
TUTGA						(302)	(225)	(106)			HGK: TUTGA
POST									(55) (57)	(65) (54)	HGK,B.Ü.,TUBİTAK-MAM, İTÜ, MIT/ABD: Post-Sismik
AZER									(84)		HGK:Azerbaycan Temel GPS Ağı (Türkiye Bölümü)
TKGM									(23)		HGK,TKGM: Marmara
JEOD									(164)		HGK:Jeodezik Deformasyon Ağı, Batı Türkiye
BAK									(35)		HGK: Batı Akdeniz GPS Ağı
CERK									(31)	(44)	HGK: Cerkes GPS Ağı
BOLV										(35)	HGK: Bolvadin GPS Ağı

* (Parantez içindeki değerler, nokta sayısını gösterir)

GPS kampanyalarını birleştirmeden önce tüm kampanyalara ilişkin çözümlerin uzun dönemli tekrarlılık analizi yapılmış ve uyuşumsuz noktalar araştırılmıştır. Bunun için her kampanyada ölçülen en az bir ortak noktanın bulunması gerekmektedir. Mevcut kampanyalarda birden fazla ortak nokta bulunduğundan, öncelikle bütün kampanyalar için GLOBK V10.03 yazılımı ile uzun periyotlu tekrarlılık analizi uygulanmış ve noktaların davranışları incelenmiştir. Bu inceleme sonucunda; kampanya çözümlerinde tek anlamlı numaralama ve isimlendirme sağlanacak şekilde gerekli düzeltmeler yapılmıştır. Örnek olarak depremler öncesi ve depremler sonrası periyodik ölçü bulunan KDER noktasına ilişkin uzun dönemli tekrarlılık analizi Şekil-3.8’de verilmektedir

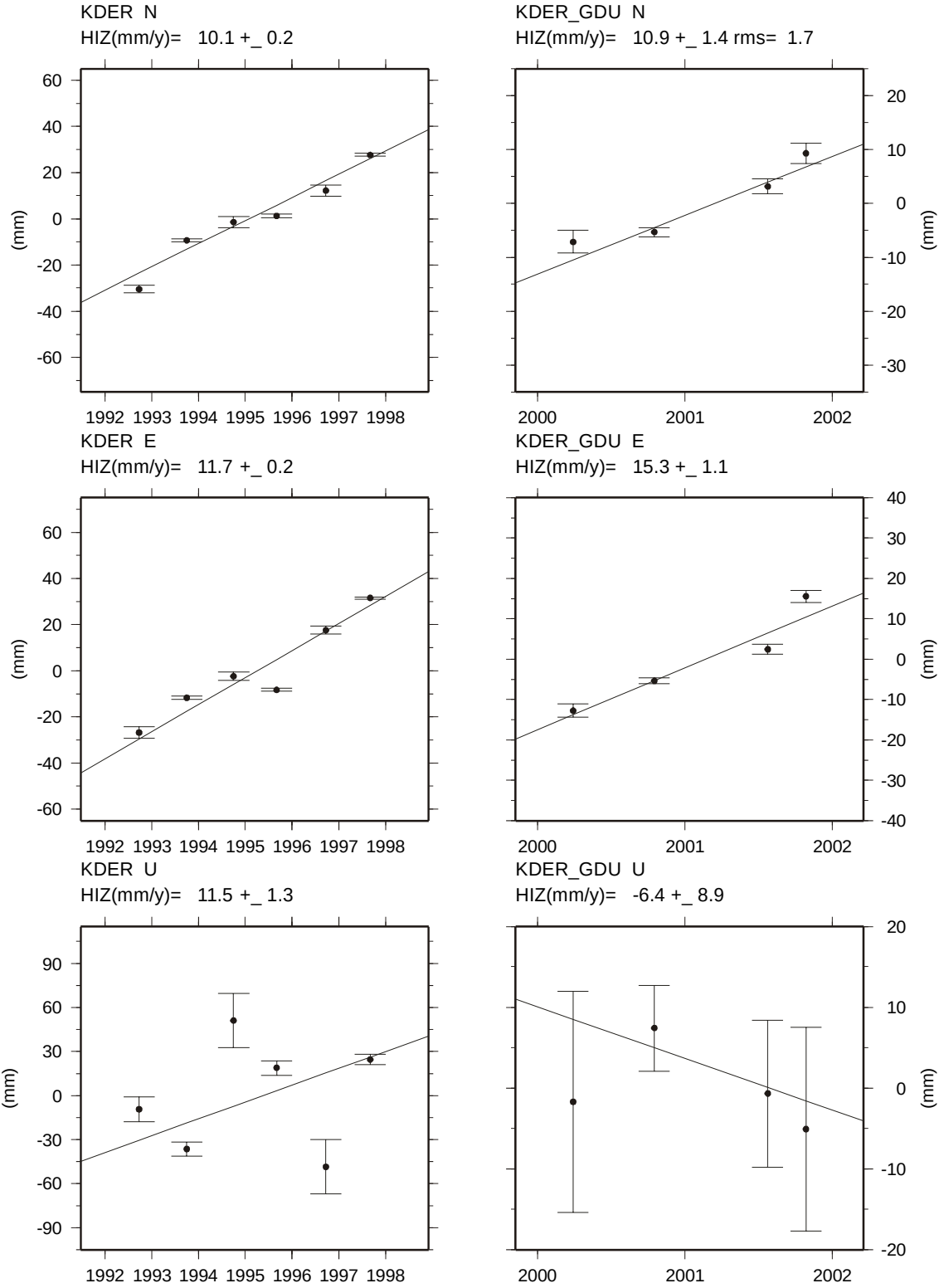
Kampanyaları GLOBK yazılımı ile birleştirirken, aynı yıl içinde ölçülen ve aralarında zaman farkı kısa olan (3 aydan daha az) kampanyalar birleştirilip yıllık çözümler elde edilmiş, aynı yıl ölçülen ve ölçü zamanları arasında 3 ay veya daha fazla zaman farkı olan GPS kampanyaları birleştirmede ayrı kampanyalar olarak alınmıştır. Tablo-3.3’de yıllık bazda birleştirilen ve dengelemeye ayrı ayrı dahil edilen kampanyalar verilmektedir.



Şekil-3.7: İzmit,Düzce ve Çerkeş depremlerin etkilediği bölgeler

Tablo-3.3: Yıllık bazda birleştirilen ve ayrı olarak genel birleştirmeye dahil edilen kampanyalar (GR:Grup)

Genel Birleştirmede Kampanyalar	Yer	Alan	Yıllık Birleştirmeye Dahil Edilen Kampanyalar
YIL_1992.SNX			WETR92+MIT92+ MARM92+NAFZ92
YIL_1993.SNX			WETR93+NAFZ93
YIL_1994.SNX			WETR94+MIT94+MARM94
YIL_1995.SNX			NAFZ95+MARE95
YIL_1996.SNX			MIT96+MARM96
YIL_1997.SNX			WETR97+NAFZ97
EUVN97.SNX			-
TUTGA97.SNX			TUTGA GR1+GR2+GR3+GR4+GR5+GR6+GR7
KTGA_1998.SNX			-
YIL_1998.SNX			MIT98+MARS98
TUTGA98_GR1.SNX			-
TUTGA98.SNX			TUTGA GR2+GR3+GR4+GR5+GR6+GR7+GR8
TUTGA_1999.SNX			TUTGA GR1+GR1+GR3+GR4+GR5
MARS99.SNX			-
POST00_1.SNX			-
AZER00.SNZ			-
YIL_2000.SNZ			TKGM + POST2 + JEODEF + BAAK + CERK2
YIL_2001.SNZ			POST3 + KKTC + CERK3 + BOLV
POST01_4.SNX			-



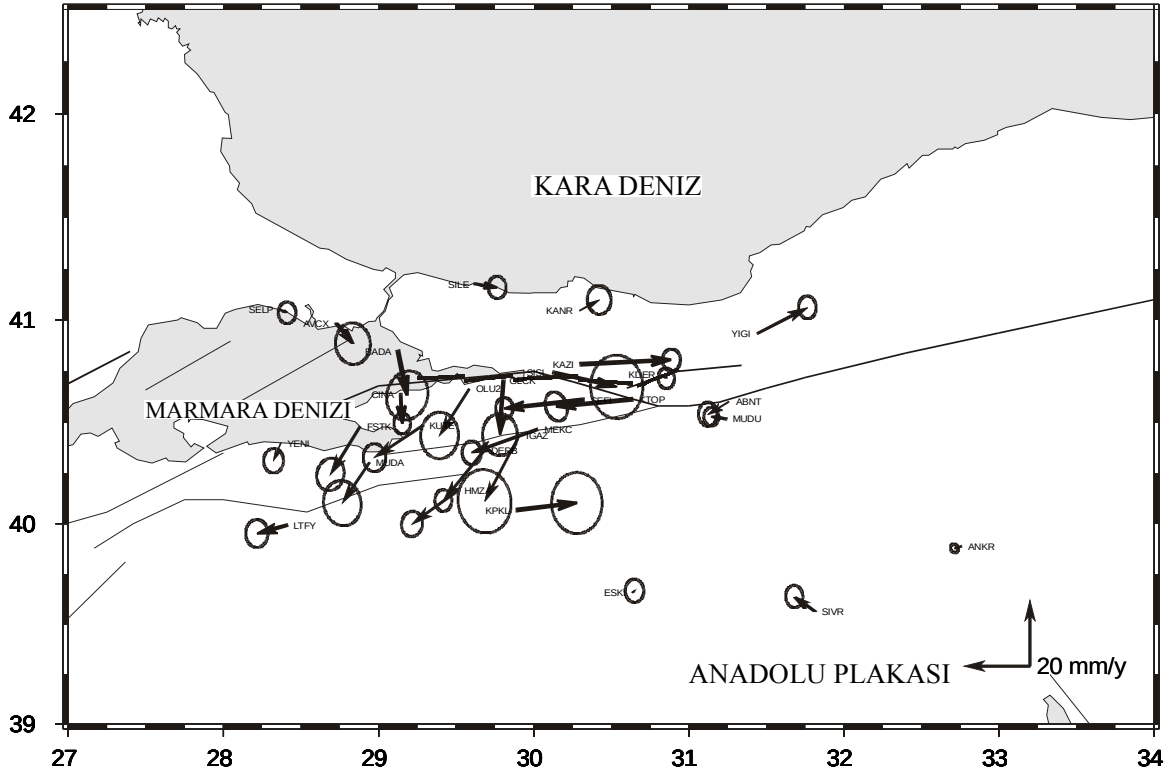
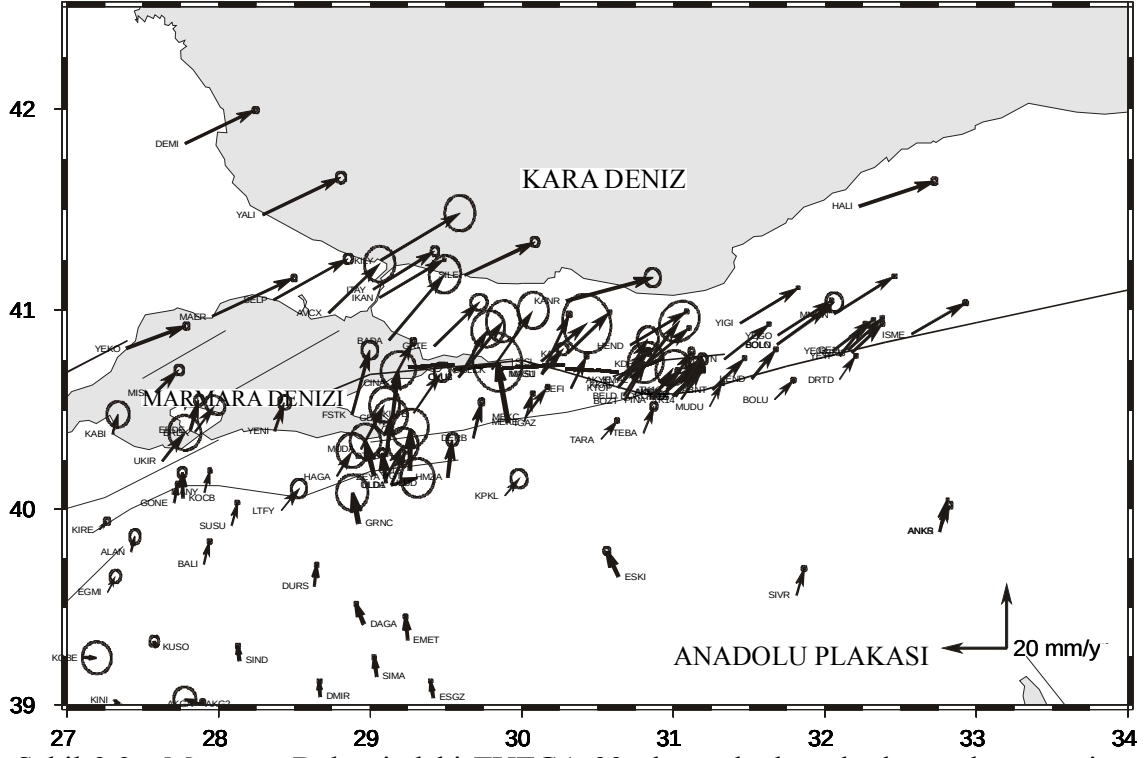
Şekil-3.8: Depremler öncesi ve sonrası uzun dönemli tekrarlık analizi. KDER deprem öncesi nokta, KDER_GDU ise depremlerle konumu değişen noktadır. N; kuzey-güney bileşeni, E;doğu-batı bileşeni, U; yükseklik bileşenidir

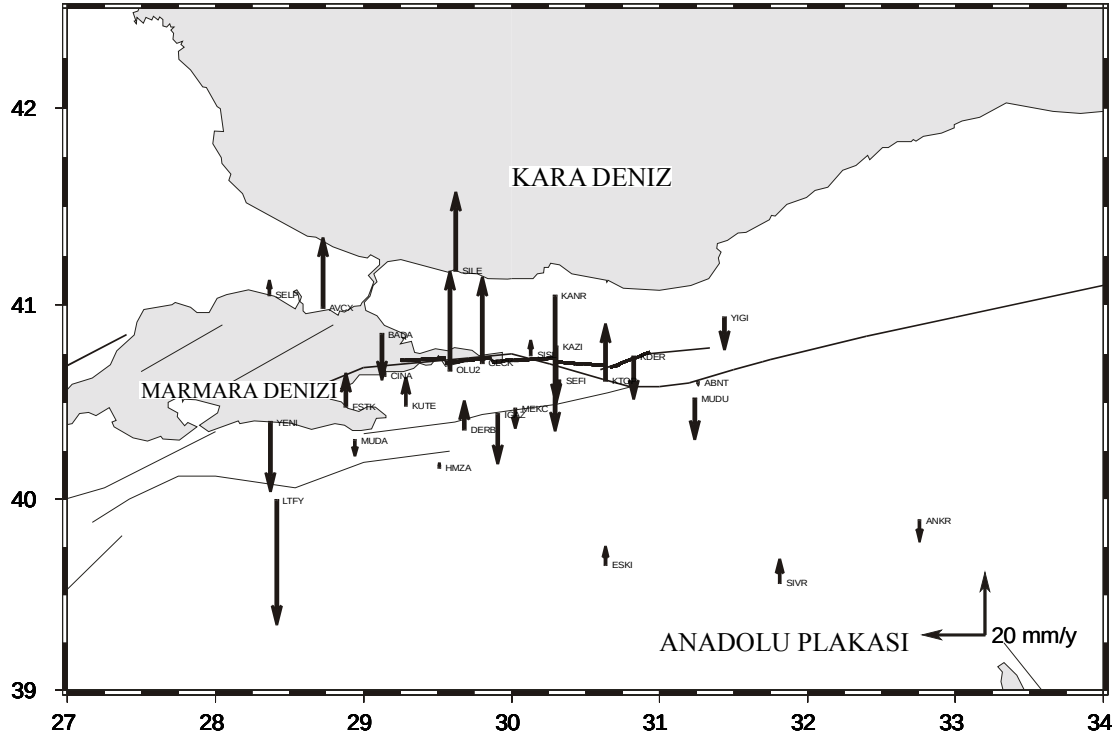
Yapılan birleştirme sonucunda; depremlerin etkilediği bölgelerde aynı nokta için deprem öncesi ve deprem sonrası iki farklı koordinat ile deprem öncesi ve deprem sonrasında birden fazla periyot ölçülen noktalarda hızlar hesaplanmıştır. Deprem sonrası GPS kampanyaları yaklaşık bir yıllık kısa bir dönemi kapsamakla birlikte, nokta hızları kendi aralarında belirgin bir uyum içinde olup, deprem öncesi ve sonrası yatay ve düşey inter-sismik hızlar birbirinden farklıdır. Marmara bölgesindeki deprem öncesi ve deprem sonrası yatay inter-sismik hızlar Şekil-3.9 ve 3.12’de gösterilmektedir. Ortak noktalarda yapılan karşılaştırmada deprem öncesi ve sonrası yatay ve düşey hızlar arasındaki farklar Şekil-3.10 ve 3.11’de gösterilmektedir. Şekil-3.10 incelendiğinde, depremler sonrasında oluşan post-sismik deformasyon nedeniyle inter-sismik yatay hız alanının değiştiği anlaşılmaktadır.

TUTGA-99 koordinatları 1998.0 epoğunda tanımlanmış olmasına rağmen, depremlerle koordinatı değişen ve depremler sonrası ölçülen noktalar için koordinatlar 2000.45 epoğunda hesaplanmıştır. Ancak depremlerin etkilediği bölgelerde herhangi bir noktanın depremler öncesi ve sonrası koordinatlarını hesaplamak için uygun modellerin tanımlanması gerekmektedir. GLOBK ile birleştirmede nokta koordinatları ölçülerin ağırlıklı ortalama epoğunda hesaplandığından, depremlerin etkilediği bölgelerde deprem öncesi koordinatları 1998.0 epoğuna, deprem sonrası koordinatları ise 2000.45 epoğuna kaydırmak gerekir, bunun için de deprem öncesi ve deprem sonrası inter-sismik hız alanlarının bilinmesine ihtiyaç vardır. Marmara bölgesindeki depremler sonrası inter-sismik hız alanını modellemek amacıyla, bu bölgede yer alan ve depremler sonrası tekrarlı ölçülerle GPS hızı hesaplanan toplam 61 nokta kullanılmıştır. 61 noktada bilinen hız bileşenlerinin (V_x, V_y, V_z) her biri için ayrı ayrı en küçük eğrilik (minimum curvature) yöntemi uygulanarak, ölçü noktalarını sınırlayan bölgede oluşturulan 3’x3’ lık grid köşelerinde değerleri bulunmuştur. Daha sonra bu bölge içinde yer alan diğer TUTGA-99 noktaları ve tek epok GPS ölçüsü bulunan noktalarda deprem sonrası hızlar 3’x3’ grid köşe değerlerinden interpolate edilmiştir. Deprem sonrası post-sismik etkiler nedeniyle Yalova-Akyazı arasında kalan yüzey kırığı parçası hızların gridlenmesinde koşul olarak alınmıştır. Depremler sonrası hız alanının belirlenmesinde kullanılan hız noktaları depremlerin etkilediği tüm bölgeyi içermediğinden sadece ölçü noktalarının sınırladığı alan içinde kalan noktalarda hız kestirimi yapılmış, bu noktaların dışında kalan bölgede deprem öncesi hız alanının geçerli olduğu kabul edilmiştir. Deprem sonrası tekrarlı ölçülerle sınırlı alan içinde kestirilen TUTGA-99A hız alanına ilişkin yatay hızlar Şekil-3.12’de düşey hızlar ise Şekil-3.13’de gösterilmektedir.

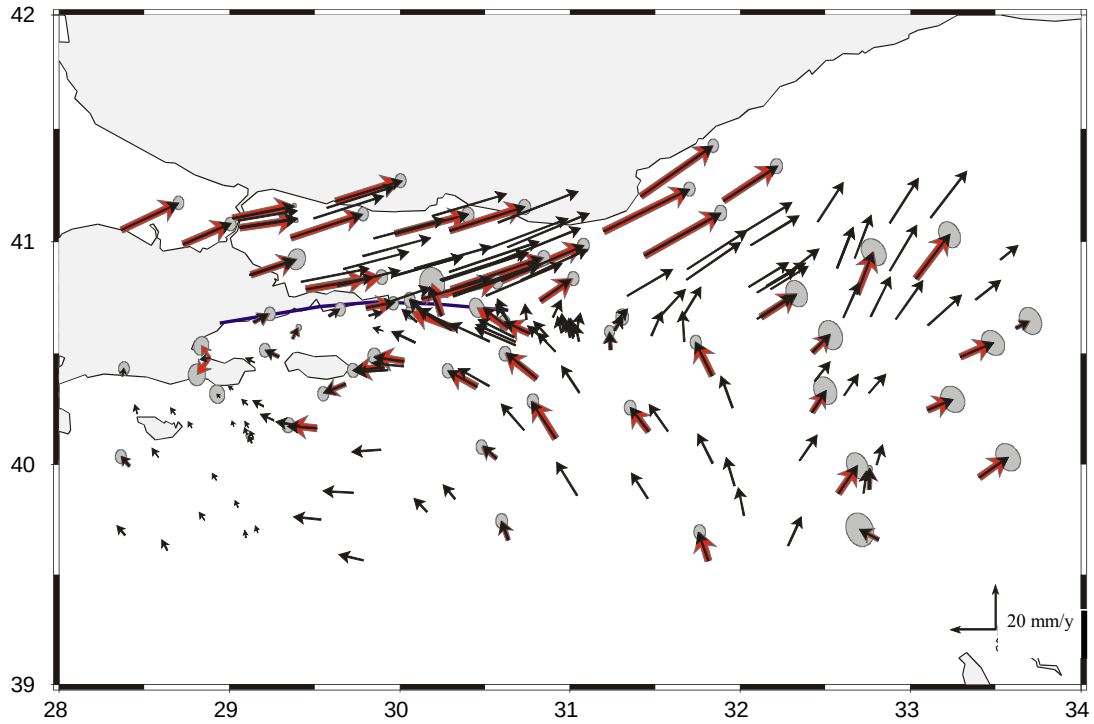
d. İzmit, Düzce ve Çerkeş/Çankırı Depremleri Ko-sismik Yer Değiştirmelerin Belirlenmesi

Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı’nın tamamlanmasından çok kısa bir zaman sonra meydana gelen İzmit Depremi, yaklaşık 3 ay sonra onu izleyen Düzce Depremi ve bu bölgeye yakın sayılabilecek Çerkeş/Çankırı Depremi, TUTGA-99 nokta koordinatlarında birkaç metreye varan ko-sismik yer değiştirmelere neden olmuştur. İzmit ve Düzce Depremleri daha önceden yoğun GPS çalışmalarının yapıldığı bir bölgede meydana gelmiştir (Reilinger vd. 2000; Ayhan vd. 2001a). Ancak 06 Haziran 2000 Çerkeş/Çankırı Deprem bölgesinde, deprem öncesine ait olarak 1997 yılında TUTGA-99 kapsamında tesis edilen noktalarda ölçüler bulunmaktadır. İzmit Depremi öncesinde gerçekleştirilen tekrarlı GPS ölçüleri, deprem öncesi inter-sismik hız alanının yanı sıra, İzmit ve Düzce depremleri sonrasında yapılan yoğun GPS ölçüleri ile birlikte değerlendirilerek bu depremlerin ko-sismik ve post-sismik etkilerinin belirlenmesinde kullanılmıştır. Ancak söz konusu depremler çok geniş bir alanda etkili olmuş,

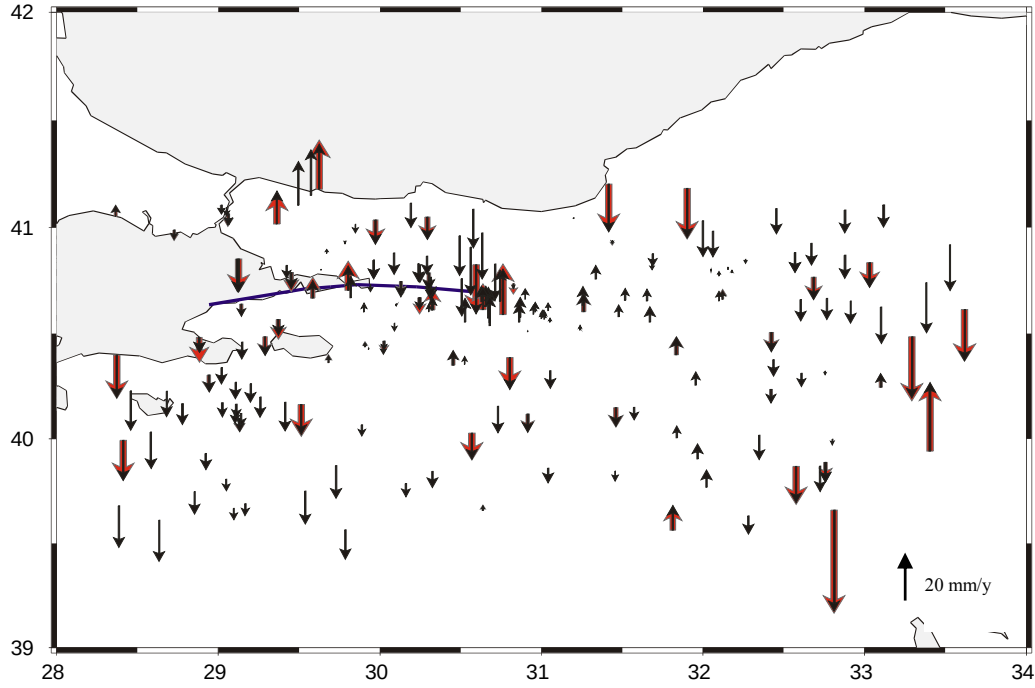




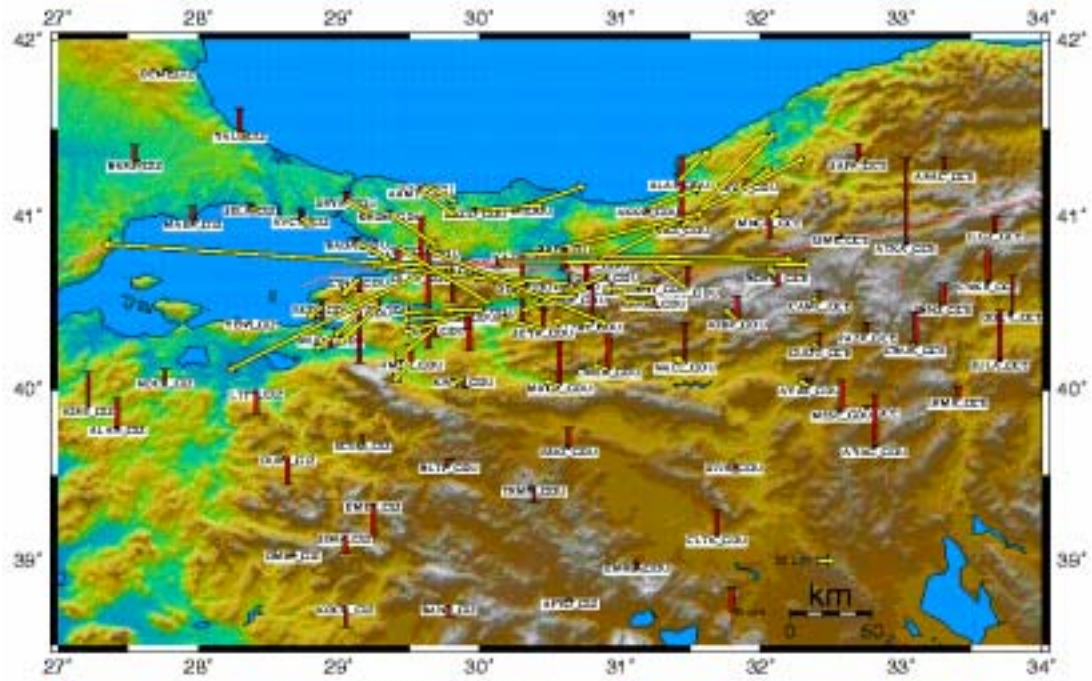
Şekil-3.11: Marmara Bölgesi depremler sonrası ve öncesi düşey inter-sismik hız alanları farkı



Şekil-3.12: ITRF96 sisteminde hesap noktalarında kestirilen deprem sonrası yatay inter-sismik hız alanı. Kırmızı renkli vektörler ölçü, siyah renkli vektörler ise hesaplanan yatay hızlardır. %95 güven elipsi kullanılmıştır. Mavi renkli fay parçası en küçük eğrilik yöntemiyle interpolasyonda koşul olarak dikkate alınmıştır.



Şekil-3.13: ITRF96 sisteminde hesap noktalarında kestirilen deprem sonrası düşey intersismik hız alanı. Kırmızı renkli vektörler ölçü, siyah renkli vektörler ise hesaplanan düşey hızlardır.



Şekil-3.14: 1999.62 ile 2000.45 epokları arasında ölçülen yer değiştirmeler. Sarı renkli oklar yatay hareketleri, kırmızı renkli düşey çizgiler düşey hareketleri gösterir.

bölgedeki TUTGA-99 noktalarının tamamında deprem sonrası ölçü yapılamamış ve oluşan ko-sismik ve post-sismik deformasyonu modellemek yoluna gidilmiştir. İzmit, Düzce ve Çerkeş/Çankırı Depremlerine ait ko-sismik ve post-sismik yer değiştirmeler birbirlerini etkilediğinden, bu yer değiştirmelerin topluca değerlendirilmesi yoluna gidilmiştir. Bu amaçla; deprem sonrası GPS ölçüleri ile bulunan deprem sonrası inter-sismik hızlar kullanılarak, mevcut deprem sonrası nokta koordinatları 6 Haziran 2000 epoguna (2000.45) kaydırılmıştır. Benzer işlem deprem öncesine ait mevcut GPS noktaları için de uygulanmış ve deprem öncesi ölçülerden elde edilen inter-sismik hızlar ile deprem öncesi GPS nokta koordinatları 17 Ağustos 1999 epoguna (1999.62) kaydırılmıştır. Deprem öncesi ve deprem sonrası epoklarda ait koordinatları bilinen 91 nokta bulunmaktadır. Söz konusu noktalarda elde edilen yer değiştirmeler Şekil-3.14'te gösterilmekte olup, bu yer değiştirmeler, İzmit, Düzce ve Çerkeş Depremlerinin ko-sismik ve post-sismik etkileri ile iki epok arasındaki inter-sismik hızlardan (1999.62-2000.45) kaynaklanan etkileri içermektedir.

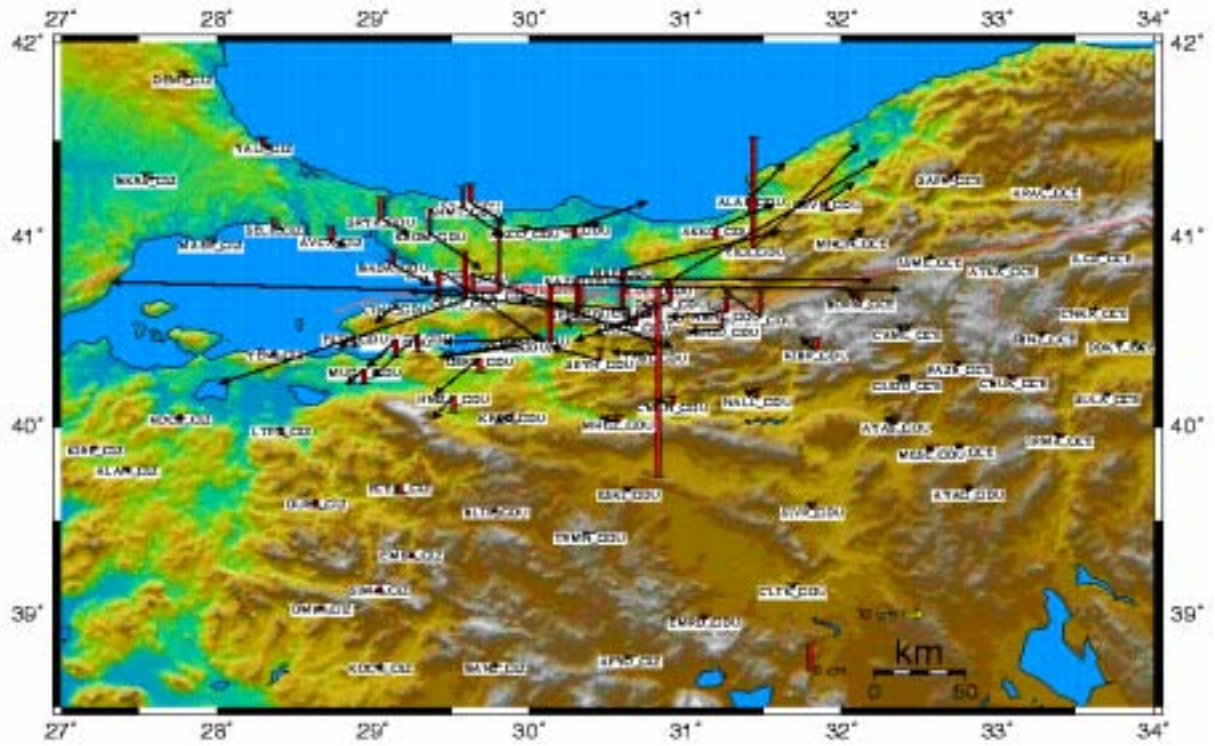
Depremler öncesi ve sonrası koordinatlar ile elde edilen yer değiştirme değerleri ($\hat{d}_{ölçü}$), deprem sonrası ölçülmeyen noktalarda ko-sismik ve post-sismik yer değiştirmelerin interpolasyonunda kullanılmıştır. Bu interpolasyon işlemi üç aşamada uygulanmıştır. Birinci aşamada Reilinger v.d. (2000) ve Ayhan v.d. (2001a)'da verilen İzmit ve Düzce depremleri fay düzlemi parametreleri elastik yarı-uzay dislokasyon modelinde (Okada, 1985) kullanılıp ko-sismik yer değiştirmeler modellenmiş ve ölçü noktalarında d_{model} hesaplanmıştır (Şekil 3.15). İkinci aşamada ölçü noktalarında ölçülen ve modellenen toplam yer değiştirmelerin (ko-sismik + post-sismik) farkları ($\hat{d}_{fark} = \hat{d}_{ölçü} - d_{model}$) elde edilmiş olup bu farklar Şekil-3.16'da, farklara ilişkin istatistikler Tablo 3.4'de verilmektedir. Hesaplanan bu farklar bölgede oluşturulan 2.8' x 4.2' grid köşelerinde en küçük eğrilik yöntemi ile interpolate edilmiştir. Üçüncü aşamada ise toplam yerdeğiştirme değeri bilinmeyen noktalarda 1998.62 ile 2000.45 arasındaki dönemde oluşan toplam yerdeğiştirme (ko-sismik + post-sismik) değeri ($\hat{d}_{ölçü}$); bu noktanın enlemi ve boylamı kullanılarak, birinci aşamada geliştirilen dislokasyon modelinden yararlanla d_{model} değeri ve sonra da ikinci aşamadaki grid veriden yararlanla ölçü ve model farkı değeri $\hat{d}_{fark}$ hesaplandıktan sonra ;

$$\hat{d}_{ölçü} = d_{model} + \hat{d}_{fark} \quad (3.4)$$

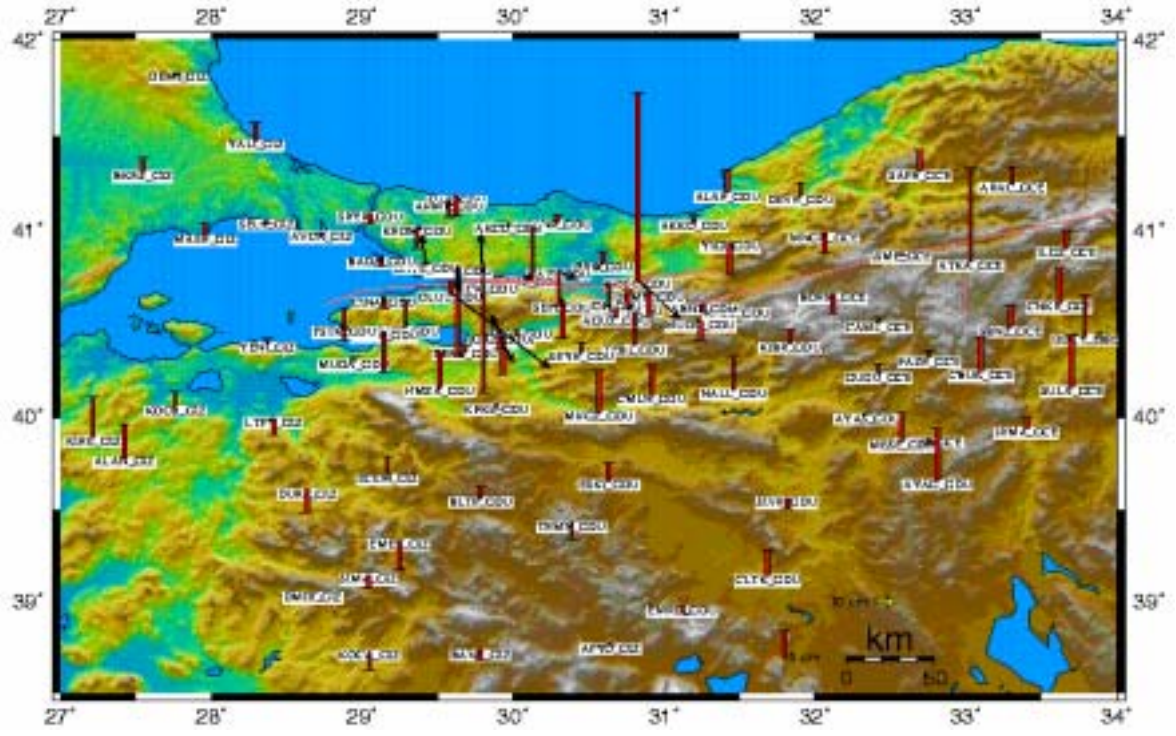
eşitliği ile bulunur. İnterpolasyon işlemi ölçü noktalarında test edilmiş olup karşılaştırmada bulunan istatistikler Tablo-3.4'de verilmektedir. En küçük eğrilik yöntemi uygulanırken bu yöntemde kullanılan 'sınır gerilimi ve 'iç gerilim' değerleri 0.2 değerinden itibaren 0'a kadar alınarak uygulama yapılmış ve bunların değerleri arasındaki farkların ihmal edilebilir mertebede olduğu tespit edilmiştir. 'Sınır gerilimi' ve 'iç gerilimi' değerleri 0.2, 'yalınsama faktörü' 1 olarak alınmış ve gridleme işlemi sırasında İzmit ve Düzce depremlerinde oluşan yüzey kırıkları koşul alınarak interpolasyon uygulanmıştır.

Tablo-3.4: Ölçü-model farkları (d_{fark}) ve bu farkların grid veriden enterpole edilenlerden olan farklara ($\hat{d}_{\text{fark}}$) ait istatistikler (metre)

İstatistikler	$d_{\text{fark}} = \hat{d}_{\text{ölçü}} - d_{\text{model}}$			$d_{\text{fark}} - \hat{d}_{\text{fark}}$		
	Doğu -Batı	Kuzey -Güney	Yukarı	Doğu- Batı	Kuzey- Güney	Yukarı
Minimum	-0,130	-0,272	-0,203	-0,016	-0,118	-0,033
Maksimum	0,275	0,320	0,354	0,148	0,081	0,155
Ortalama	0,005	0,005	0,011	0,002	-0,002	0,002
Standart Sapma	$\pm 0,043$	$\pm 0,065$	$\pm 0,064$	$\pm 0,017$	$\pm 0,018$	$\pm 0,019$
rms	$\pm 0,043$	$\pm 0,066$	$\pm 0,064$	$\pm 0,018$	$\pm 0,019$	$\pm 0,019$



Şekil-3.15: İzmit ve Düzce depremlerinin model ko-sismik etkilerini içeren yer değiştirme değerleri



Şekil-3.16: Ölçü ve model yer değiştirmeleri arasındaki farklar. Sarı renkli oklar yatay hareketleri, kırmızı renkli düşey çizgiler düşey hareketleri gösterir.

4. TUTGA-99A İLE ED-50 ARASINDA KOORDİNAT DÖNÜŞÜMÜ

TUTGA-99 ile ED-50 arasındaki dönüşüm, I ve II nci derece yatay kontrol noktalarından TUTGA-99 noktaları ile çakışık 97 noktanın enlem ve boylam farkları gridlenip elde edilen dönüşüm dosyalarından yararlanarak herhangi bir noktada enlem ve boylam farkı interpolate edilerek sağlanmıştır (Ayhan v.d.,2001b). Oluşturulan dönüşüm dosyalarının doğruluğunu irdelemek amacıyla plaka içi deformasyonlardan en az düzeyde etkilenen Ankara çevresinde, depremlerin etkili olduğu Kuzey Anadolu Fay Zonunun batısında Sapanca bölgesinde, ayrıca Antalya çevresinde test çalışmaları yapılmıştır. Yapılan test çalışmaları sonucunda; Ankara ve Antalya bölgesinde enlem ve boylamda 5-25 cm, Sapanca bölgesinde ise boylamda 3-5 m'ye varan farklı sonuçlar bulunmuştur (Gürdal v.d.,2001). Özellikle mevcut nokta dağılımının yeterli olmaması ve ülke tektonik yapısının dikkate alınmaması, ED-50 nokta koordinatlarını önemli oranda değiştiren depremlerin yaşandığı fay yakını bölgelerde büyük farklar bulunmasına neden olmaktadır. Bu nedenle; depremler sonrasında gerçekleştirilen GPS ölçü kampanyalarında Yatay Kontrol Ağının I ve II nci derece noktalarından seçilenler ile değişik projeler kapsamında I ve II nci derece yatay kontrol noktalarında GPS ölçüleri yapılarak TUTGA-99A ve ED-50 koordinatı bilinen ortak nokta sayısı 220'ye çıkarılmıştır. Gerek nokta sayısının önemli oranda artması, gerekse fay hatlarının dikkate alınması zorunluğu, koordinat dönüşümünün uygun algoritmalar ile yenilenmesini gerektirmiştir. Koordinat dönüşümünde kullanılan 220 ortak noktanın dağılımı Şekil-4.1'de gösterilmekte olup, noktaların 35° boylamının batısında yoğunlaştığı, doğusunda ise sayı, sıklık ve dağılım olarak yetersiz kaldığı görülmektedir.



Şekil-4.1: TUTGA-99A ve ED-50 koordinatları bilinen ortak noktalar. Kırmızı daireler dönüşümde kullanılan ortak noktalar, mavi kareler enlem dönüşümünde uyumsuz bulunup kullanılmayan noktalardır.

TUTGA-99A ve ED-50 sistemlerinde ortak noktaların koordinatları arasındaki farkları doğuran geometrik ve fiziksel nedenler Ayhan v.d. (2001b)'de incelenmiş olup aşağıda verilmektedir.

Geometrik nedenler:

(1) TUTGA-99A, üç boyutlu jeosentrik ITRF96 koordinat sisteminde, GRS-80 elipsoidine göre tanımlı, halen kullanılmakta olan ED-50 ise Uluslararası elipsoid ve jeosentrik olmayan üç boyutlu koordinat sistemine sahip olup koordinat sistemleri arasında kayıklık, dönüklük ve ölçek farkı ile elipsoid boyutlarından kaynaklanan farklar mevcuttur (Rapp, 1976).

(2) Ulusal Temel Yatay Kontrol (Nirengi) Ağı hesaplanırken yersel ölçülere uygun indirgemelerin getirilmemesi, uygulanan dengeleme yöntemi ve koordinat sistemi tanımı ağı tamamını etkileyen bozukluklara neden olmuştur (AMS, 1954, Gürkan,1979; Sarbanoğlu vd., 1979). Tokyo Datumunda yapılan uygulamada jeoidin ihmal edilmesi nedeniyle 2-6 ppm, çekül sapmaları nedeniyle indirgemelerin yapılmaması ise 1-2 ppm mertebesinde sistematik bozukluk yaratmaktadır (Komaki, 1989). Yersel ölçülere getirilecek indirgemeler Müller (1974), Vanicek ve Krakiwsky (1986), Sideris (1990)'de verilmekte olup Kanada Temel Ağındaki etkileri Thomson vd. (1974)'de incelenmiştir.

(3) TUD-54'ün ED-50'ye dönüşüm yöntemi ve bu dönüşümde kullanılan Yunanistan ve Bulgaristan sınırları içindeki sekiz ortak noktanın dağılımı sistematik bozucu etkilere neden olmuştur (Gürkan, 1979; Sarbanoglu vd., 1979).

Fiziksel nedenler:

(1) Ulusal Temel Yatay Kontrol (Nirengi) Ağı ölçülerinin yapıldığı 1932 ile 1991 yılları arasında, KAFZ, DAFZ, Ege Graben Sistemi ve Doğu Anadolu Bölgesinde büyüklüğü $M_w \geq 6.0$ olan çok sayıda deprem olmuş, bu depremler sırasında $\pm 2-3$ metre yatay, ± 3 metre düşey yönlü konum değişiklikleri (ko-sismik) meydana gelmiş ve Ulusal Temel Yatay ve Düşey Kontrol Ağı noktalarında bölgesel ve yerel nitelikli bozulmalar olmuştur.

(2) Tektonik plaka hareketleri nedeniyle $\pm 1-1.5$ metre büyüklüğündeki inter-sismik yatay yer değiştirmeler sonucu bölgesel karakterli ancak tektonik yapının karmaşık olduğu bölgelerde yerel özellikte konum bozuklukları beklenmektedir.

Fiziksel nedenlerin NAD-83 (Kuzey Amerika Datumu-1983) ve Tokyo Datumu üzerindeki etkileri Snay (1999) ile Murakami ve Ogi (1999)'da belirtilmektedir.

İki koordinat sisteminin yalnızca geometrik nedenlerle birbirinden farklılaşması durumunda üç boyutta benzerlik dönüşümü uygulanabilir. Ancak geometrik nedenlere ek olarak fiziksel nedenlerin de bulunması durumunda iki sistem arasındaki dönüşümü üç boyutta benzerlik dönüşümü ile modellemek olanaklı değildir. Nitekim Dünya Jeodezik Sistemi-1984 (WGS-84) ile NAD-83 arasındaki dönüşüm için üç boyutlu benzerlik dönüşümüne ek olarak çok değişkenli seriler (DMA, 1987), NAD-27 ile NAD-83 arasında dönüşüm için kriging yöntemi (Dewhurst, 1990) önerilmiştir.

TUTGA-99A ve ED-50 arasındaki dönüşümü modellemek için öncelikle geometrik nedenlerin etkin olduğu varsayılarak yapılan üç boyutlu benzerlik dönüşümünde koordinatları bilinen 220 nokta kullanılmıştır. Ortak noktaların TUTGA-99A koordinatları 2000.45 epoğuna kaydırılmış ve Marmara Bölgesini etkileyen depremlerde oluşan yer değiştirmeler de dikkate alınmıştır. Ortak noktalarda ED-50 sisteminde elipsoid yükseklik (h_{ED-50}) değeri,

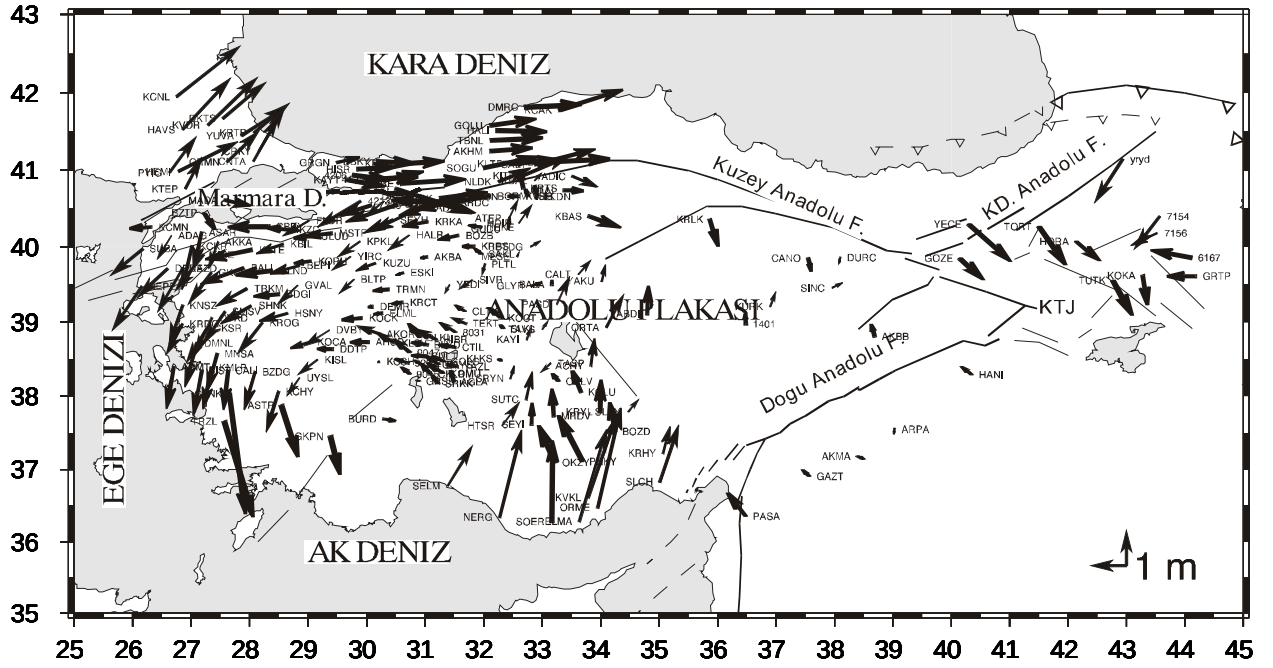
$$h_{ED-50} = H + N_A \quad (5.1)$$

ile hesaplanmıştır. Burada H normal ortometrik yükseklik, N_A astrojeodezik jeoid yüksekliğidir. Yatay Kontrol Ağındaki noktaların yükseklikleri; normal ortometrik sisteminde değerleri bilinen I veya II nci derece düşey kontrol noktalarına dayalı olarak çoğunlukla trigonometrik nivelman yöntemiyle belirlenmiş olup ± 1 metre ve daha iyi doğrulukta olduğu değerlendirilmektedir. Türkiye'ye dağılmış 200 astronomi noktasının ED-50 datumundaki astrojeodezik çekül sapması bileşenleri, gravimetrik ve ortometrik düzeltmeler gözönünde bulundurularak, astrogravimetrik nivelman yöntemiyle değerlendirilmiş ve Türkiye Astrojeodezik Jeoidi-1994 (TAG-94) hesaplanmıştır. TAG-94'ün iç doğruluğu ± 52 cm olup değişik amaçlarla kullanılmak üzere 3'x3' grid köşelerinde jeoid yükseklikleri hesaplanmıştır (Ayhan ve Alp, 1995). Dönüşümde kullanılan noktalarda astrojeodezik jeoid yükseklikleri, grid köşelerinde bilinen TAG-94 değerlerinden yararlı ağırlıklı ortalama yöntemiyle kestirilmiştir.

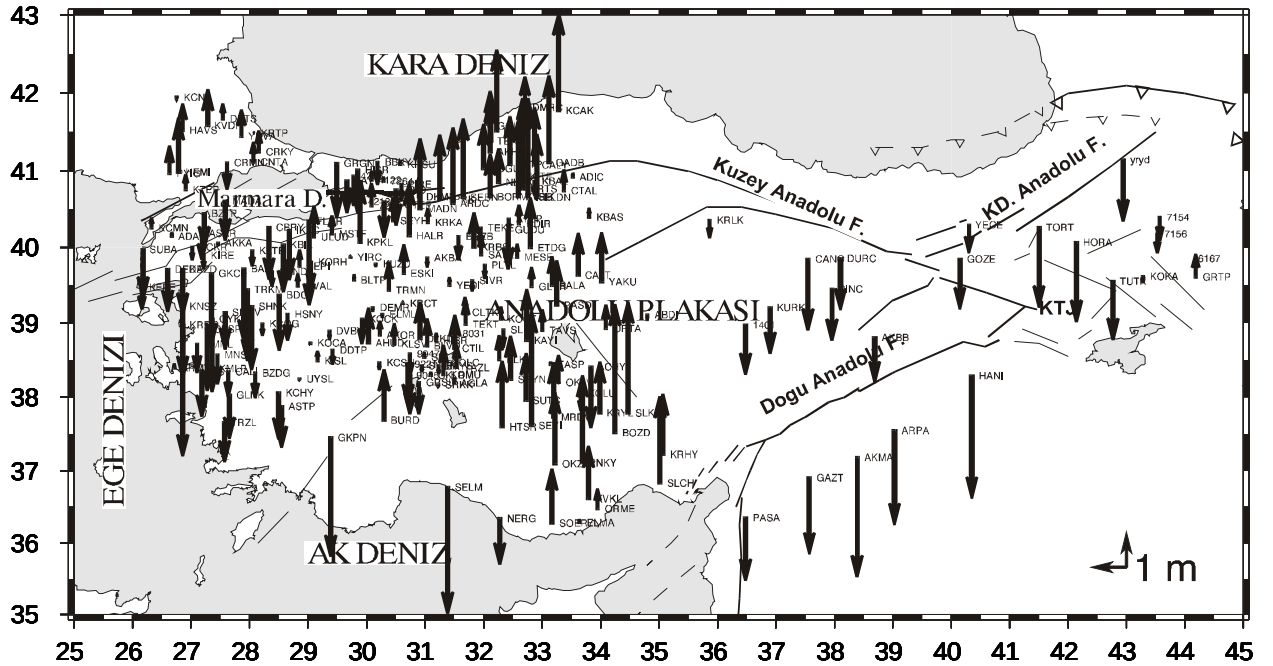
Her iki sistemde koordinatları bilinen toplam 220 ortak noktanın kartezyen dik koordinatları (X,Y,Z) kullanılarak,

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{TUTGA-99A} = \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix} + (1 + \Delta S) \begin{bmatrix} 1 & -R_Z & R_Y \\ R_Z & 1 & -R_X \\ -R_Y & R_X & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{ED-50} \quad (5.2)$$

eşitliği ile dönüşüm parametreleri hesaplanmıştır. Burada, ΔX , ΔY ve ΔZ ötelemeler, R_X , R_Y ve R_Z dönüklükler, ΔS ise ölçek farkıdır. Dönüşümde GPS koordinatları için ± 1 cm, ED-50 koordinatları için ise ± 1 m önsel standart sapma öngörülmüş, Malys (1988)'de verilen modele uygun hazırlanan yazılım kullanılmıştır (Kılıçoğlu, 1994; Ayhan ve Kılıçoğlu, 1995b). Nokta kümesi içinde uyuşumsuz olanlar yinelemeli olarak belirlenmiş ve dönüşüm parametrelerinin istatistiksel anlamlılıkları irdelenmiştir. Bu işlem sonunda; çoğunluğu tektonik plaka sınırlarına yakın bölgelerde yer alan sekiz nokta uyuşumsuz bulunarak çıkarılmış ve dönüşümde toplam 212 ortak nokta kullanılmıştır. Belirlenen dönüşüm parametreleri Tablo 4.1'de verilmekte, ED-50 koordinatları için hesaplanan yatay ve düşey düzeltmeler sırasıyla Şekil-4.2 ve Şekil-4.3'de gösterilmektedir. Şekil-4.2'de verilen yatay koordinatlara gelen düzeltmeler incelendiğinde, özellikle KAFZ'nun batı bölümünde fayın her iki tarafında ters yönde olmaları ve Ege Bölgesinde kuzey güney yönlü genişleme rejimine paralel düzeltme değerleri bu bölgelerdeki depremler ve tektonik hareketlerin etkilerini göstermektedir. Bu durum, başlangıçtaki "iki sistem arasındaki farklar geometrik nedenlerden kaynaklanmaktadır" öngörüsünün geçerli olmadığını ve geometrik ilişkiyi yansıtan bir yöntemle modellemenin yapılamayacağını ortaya koymaktadır.



Şekil-4.2: ED50 ile TUTGA99A arasındaki üç boyutlu benzerlik dönüşümünde, ED50 yatay koordinatlarına (enlem, boylam) gelen düzeltmeler.



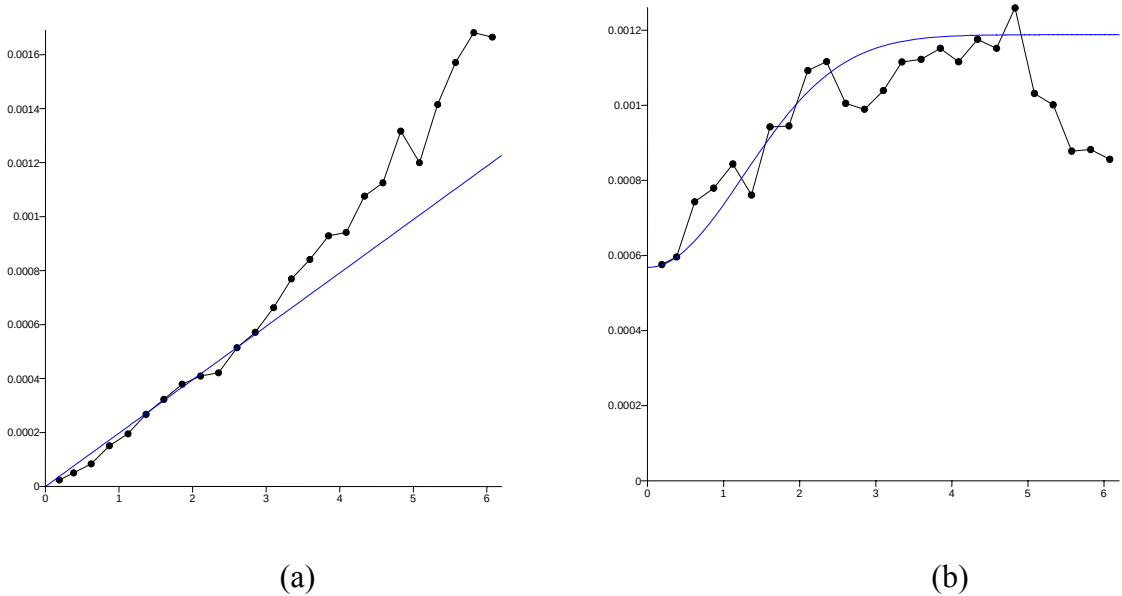
Şekil-4.3 : ED50 ile TUTGA99A arasındaki üç boyutlu benzerlik dönüşümünde, ED50 dikey koordinatlarına (yükseklik) gelen düzeltmeler.

Tablo-4.1: ED-50'den TUTGA-99A'ya Dönüşüm Parametreleri

ΔX (metre)	ΔY (metre)	ΔZ (metre)	R_X (saniye)	R_Y (saniye)	R_Z (saniye)	ΔS (ppm)
- 84.83 $\pm 0.97^*$	-103.97 ± 1.40	-127.45 ± 0.98	-0.1714909 ± 0.047476	- -	0.3995087 ± 0.042233	1.0454368 ± 0.194402

* : standart sapma

TUTGA-99A ve ED-50 arasındaki farklılığın geometrik nedenlere ek olarak fiziksel nedenlerden kaynaklandığı öngörülerek, bu iki sistem arasındaki dönüşümün; önce ortak noktalarda enlem ve boylam farklarının ($\Delta\varphi = \varphi_{TUTGA99A} - \varphi_{ED50}$; $\Delta\lambda = \lambda_{TUTGA99A} - \lambda_{ED50}$) Kriging yöntemi ile gridlenmesi, bu grid veriden yararlanarak herhangi bir noktada farkların interpolasyonu ve dönüşümün yapılması olmak üzere üç aşamada yapılması düşünülmüştür (Dewhurst, 1990; Murakami ve Ogi, 1999). Gridleme enlem ve boylam farkları için ayrı ayrı uygulanmıştır. İlk aşamada Kriging'den önce bir trend düzlemi belirlenip ölçülerden çıkarılarak boylam farkları için Gauss fonksiyonu ve enlem farkları için doğrusal bir fonksiyon variogram modeli olarak seçilmiş, model variogram fonksiyonlarının parametreleri deneysel variogram değerlerine uygun olarak belirlenmiştir (Kitanidis, 1997, Golden Software, 1999). Enlem ve boylam farkları için elde edilen deneysel ve model variogram fonksiyonları Şekil-4.4'de gösterilmekte, model variogram fonksiyonlarının parametreleri Tablo-4.2'de verilmektedir. İkinci aşamada model variogram fonksiyonları kullanılarak $35^{\circ}.7-42^{\circ}.25$ enlemleri ve $25^{\circ}.6-44^{\circ}.95$ boylamları ile sınırlı bölgede $3' \times 3'$ ($\Delta\hat{\varphi} \times \Delta\hat{\lambda}$) ile oluşturulan grid köşelerinde enlem ve boylam farkları ($\Delta\hat{\varphi}, \Delta\hat{\lambda}$) hesaplanmıştır. Boylam farklarının hesaplanmasında 220 ortak noktanın tamamı kullanılırken, enlem farklarının hesaplanmasında enlemleri uyumsuz bulunan beş nokta değerlendirme dışında tutulmuştur.



Şekil-4.4 :Variogram modelleri. Düz mavi model variogram, siyah noktalı deneysel variogramdır. Düşey eksen s_n^2 biriminde variogram değeri, yatay eksen derece biriminde noktalar arası uzaklığı gösterir. (a) Enlem farkları için belirlenen doğrusal variogram modeli. (b) Boylam farkları için belirlenen Gauss variogram modeli.

Tablo-4.2: Enlem ve boylam farkları için hesaplanan variogram parametreleri

Farklar	Model Variogram					İsotrop Olmama	
	Tip	Ölçek	Uzunluk	Eğim	Hata Varyansı	Oran	Doğrultu *
Enlem Farkları	Lineer	-	-	0.0001898	0	2.0	170.3 °
Boylam Farkları	Gauss	± 0.00062	1.85 ⁰	-	0.000568 (sn) ²	1.489	165.3 °

* Doğrultu, doğudan itibaren saat istikametinin tersi yönündedir.

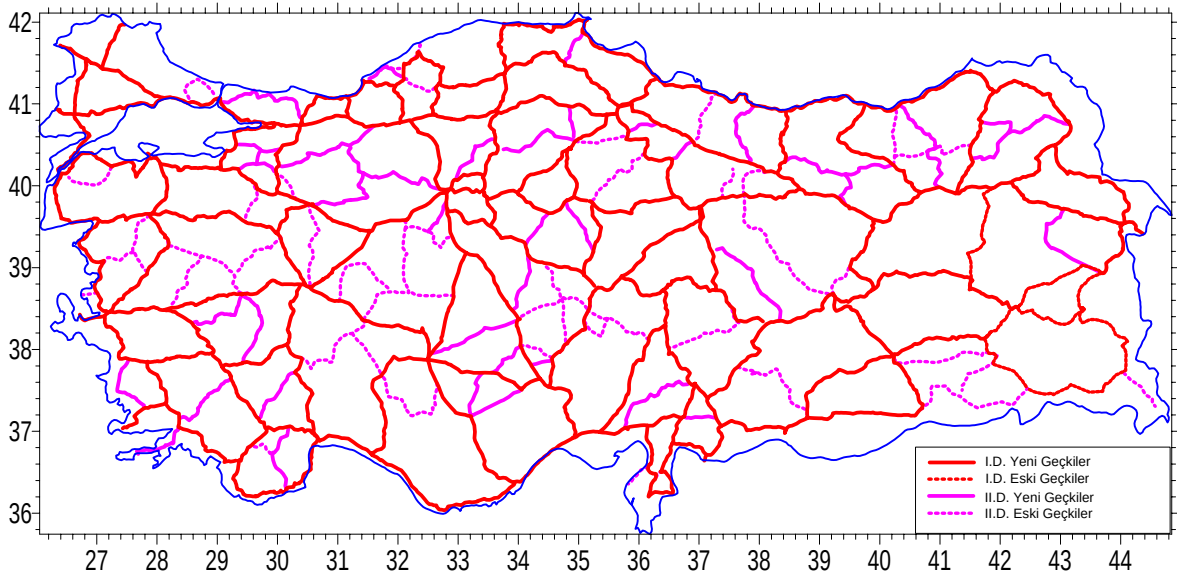
Ürettikleri depremler ile noktaların boylamlarında büyük değişikliklere yol açan KAFZ'nun 35° boylamı batısında kalan bölümü, boylam farklarının gridlenmesinde göz önünde bulundurulmuştur. Söz konusu depremlerin noktaların enlemleri üzerindeki etkisinin az olduğu değerlendirilerek, enlem farklarının gridlenmesinde faylar dikkate alınmamıştır. Hesaplanan enlem farkları ($\Delta\phi$) Şekil-4.5'de ve boylam farkları ($\Delta\lambda$) ise Şekil-4.6'da gösterilmektedir. Uygulanan yöntemi test etmek için ölçü noktalarındaki enlem ve boylam farkları grid veriden interpolate edilerek ölçüler ile karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmada bulunan farkların istatistik değerleri Tablo-4.3'de verilmektedir. Dönüşüm sonucunda ölçü noktalarında elde edilen düzeltmeler incelendiğinde; Türkiye genelinde enlem ve boylam değerlerinin sırasıyla -6 cm ile +4 cm ve -25 cm ile +25 cm arasında değiştiği, ancak fay hatlarına yakın bölgelerde büyüdüğü görülmektedir. Üçüncü aşamada dönüşümün nasıl yapılacağı konusu ise yedinci bölümde açıklandığından burada değinilmeyecektir. Nokta sayısının artması ve fay hatlarının tanımlanması ile, TUTGA-99A ve ED-50 arasındaki dönüşümde, özellikle fay hatlarına yakın bölgelerde önemli oranda iyileştirme sağlanmıştır. Ancak fay hatlarına yakın bölgelerde ve 35° boylamının doğusunda dönüşümün doğruluğunu daha fazla artırmak için ek noktalarda ölçüler yapılması gerekmektedir.

Tablo-4.3: Grid Dosyası ile Yapılan Dönüşümden Sonra Enlem ve Boylam Farklarına Gelen Düzeltmelerin İstatistik Değerleri.

	Enlem Farkı (TUTGA99-ED50)	Boylam farkı (TUTGA99-ED50)
Dönüşümde Kullanılan Nokta Sayısı	215	220
Minimum Düzeltme (")	-0.0022	-0.0559
Maksimum Düzeltme (")	0.0029	0.0651
Ortalama (")	0.00002	-0.00005
Standart Sapma (")	± 0.0006	± 0.0122
rms (")	± 0.0006	± 0.0122

5. 2000 YILI NİVELMAN YENİLEME ÖLÇÜLERİ İLE TUDKA-99'UN GÜNCELLENMESİ

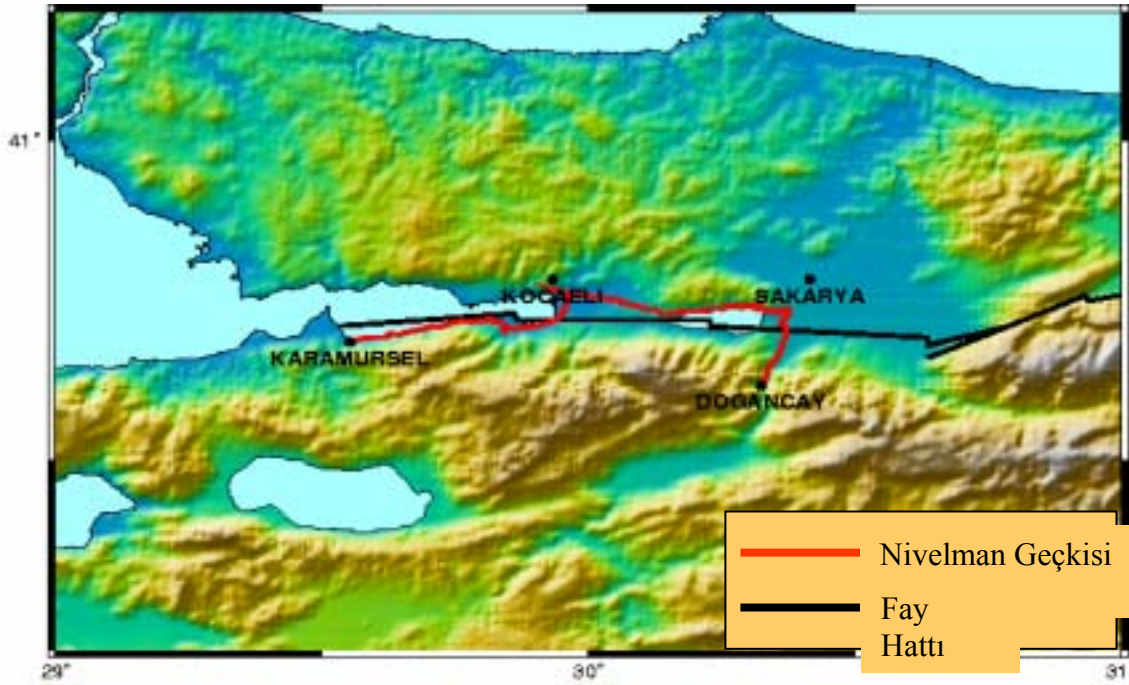
Türkiye Ulusal Düşey Kontrol Ağı-1999 (TUDKA-99); daha önce belirlenen TUDKA-92 'ye (Ayhan ve Demir, 1992) yeni ölçüler dahil edilerek geliştirilen nivelman ağı dengelenerek oluşturulmuştur. TUDKA-99, 1970-1993 yıllarında ölçülen 151 adet I nci derece ve 41 adet II nci derece geçki ile 1970 yılından önce ölçülen 7 adet I nci derece ve 44 adet II nci derece geçki olmak üzere toplam 29316 km uzunluğunda, 243 geçki ve 25680 noktadan oluşur (Şekil-5.1) (Demir, 1999). TUDKA-99 tek anlamlı ve tam diferansiyel olan jeopotansiyel sayılar ile dengelenmiş ve Düzenlenmiş Potsdam Gravite Datumundaki (International Gravity Standardization Network 1971-IGSN71'e yakın) gravite değerleri kullanılmıştır. TUDKA-99 için düşey datum, Antalya mareograf istasyonunda 1936-1971 yıllarında ölçülen anlık deniz seviyesi değerlerinin aritmetik ortalaması ile tanımlanmış olup, tüm noktalarda jeopotansiyel sayı ve Helmert ortometrik yükseklik hesaplanmıştır. Nokta duyarlıkları başlangıç noktası Antalya mareograf istasyonundan uzaklaştıkça artmak üzere $\pm 0.3 - 9$ cm dir.



Şekil-5.1:Türkiye Ulusal Düşey Kontrol Ağı-1999(TUDKA-99).

17 Ağustos 1999 İzmit depremi hemen sonrasında, Kasım 1999 ayında TUDKA-99 nokta yüksekliklerinde meydana gelen düşey deformasyonları belirlemek amacıyla Hersek-Karamürsel-Gölcük-İzmit-Adapazarı-Arifiye-Doğançay arasında yaklaşık 110 km nivelman yenileme ölçüsü yapılmıştır (Şekil-5.2). Deprem öncesi ve deprem sonrası geometrik nivelman ölçüleri, en batı uçta Hersek bölgesinde yer alan 5-DN-38 noktasına göre karşılaştırılmış ve +8 cm ile -52 cm arasında düşey yer değiştirmeler saptanmıştır (Şekil-5.3). Söz konusu bölgelerde belirlenen düşey deformasyonun büyüklüğü ve daha sonra meydana gelen Düzce depreminin de etkisiyle oluşan düşey deformasyon göz önüne alındığında, depremlerin oluşturduğu düşey deformasyonun çok geniş alana yayıldığı ve daha geniş bir bölgede nivelman yenileme ölçülerinin gerektiği ortaya çıkmıştır. Bu nedenle, Mayıs-Eylül 2000 aylarında, Bursa-İstanbul-İzmit-Adapazarı-Zonguldak-Düzce-Bolu bölgelerini kapsayan alanda toplam 1300 km uzunluğunda Şekil-5.4'de gösterilen 14 adet I ve II nci derece TUDKA geçki ölçüsü yenilenmiş, geometrik nivelman ölçüleri ile birlikte düşey kontrol

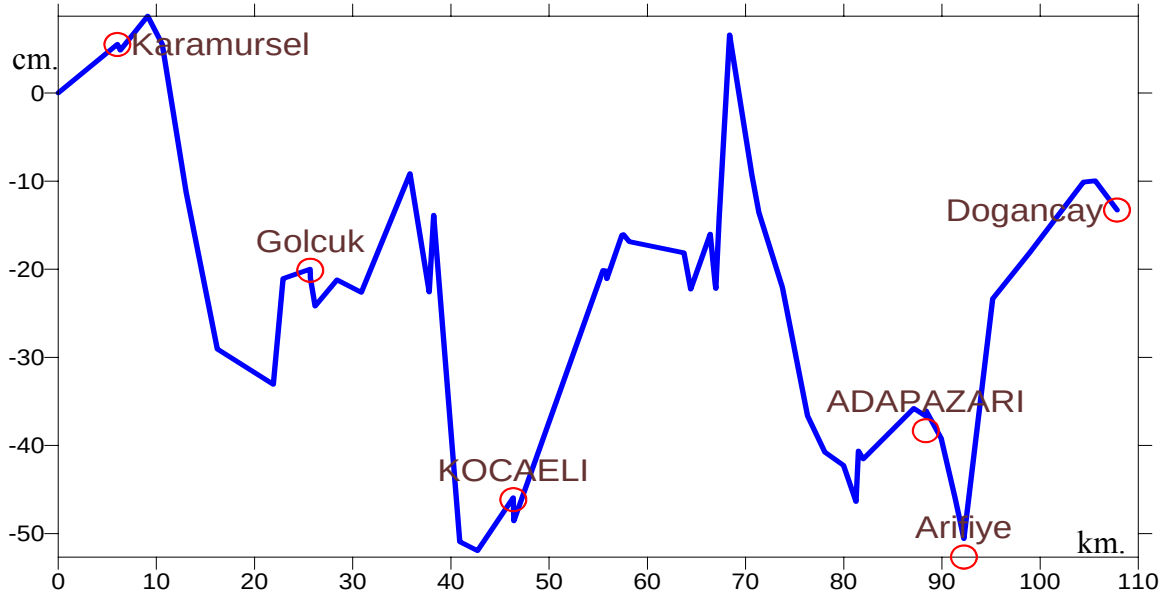
noktalarında gravite de ölçülmüştür. Geometrik nivelman ölçüleri, gravite ölçüleri ile birleştirilerek düşey kontrol noktaları arasındaki jeopotansiyel sayı farkları hesaplanmış, jeopotansiyel sayı farkları ile oluşturulan nivelman ağı, öncelikle uyuşumsuz ölçü olup olmadığını belirlemek amacıyla, ağı en güneyinde ve deprem merkezlerinden en uzakta bulunan DUG-18(Bursa) nolu düğüm noktasının TUDKA-99 jeopotansiyel sayısı bilinen alınarak dengelenmiş ve uyuşumsuz ölçü olmadığı belirlenmiştir. Daha sonra, depremler sonrasında yükseklik değişimi ihmal edilecek düzeyde olan (9 mm.) DUG-18 (Bursa) ve DUG-21 (Yeniçağa) düğüm noktalarının TUDKA-99 jeopotansiyel sayıları hatasız alınarak ağ dengelenmiştir. Bu dengeleme sonucunda tüm noktaların jeopotansiyel sayıları ile birlikte Helmert ortometrik yükseklikleri hesaplanmış, nokta yükseklikleri standart sapmaları hatasız alınan noktalardan itibaren artmak üzere $\pm 0 -1.8$ cm arasında bulunmuştur. Bu dengelemeye Kasım 1999’da ölçülen 110 km lik bölüm dahil edilmemiştir.



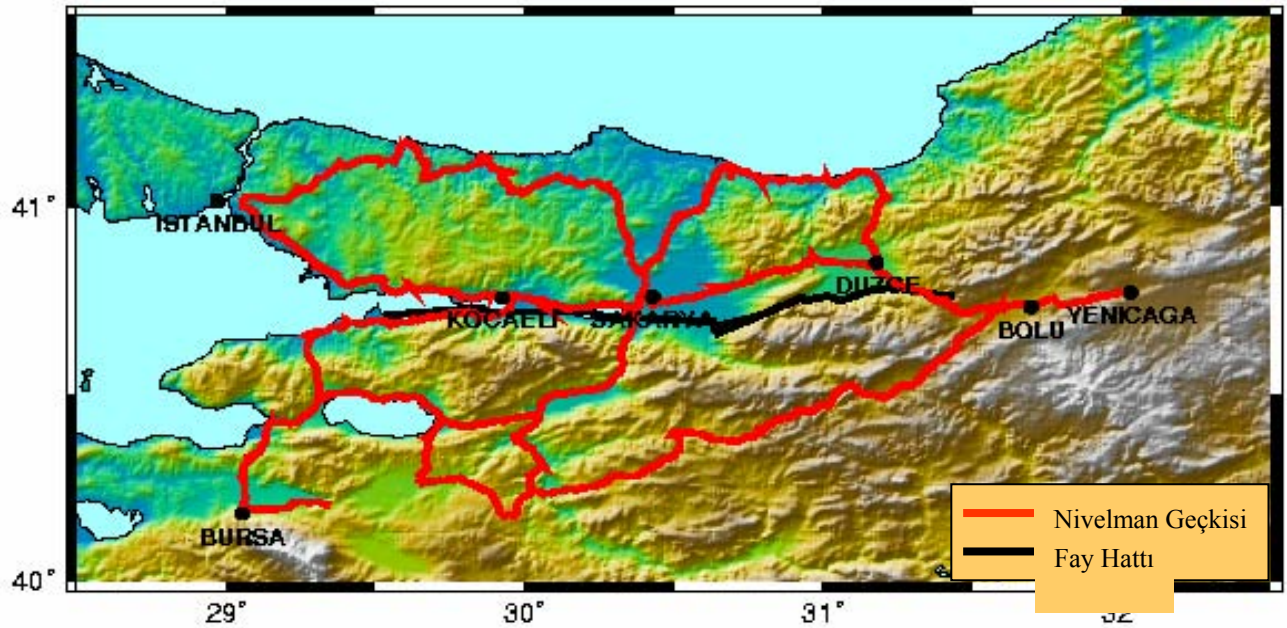
Şekil-5.2: Kasım 1999’da ölçüsü tekrarlanan nivelman geçkileri.

İzmit ve Düzce depremlerinde oluşan düşey yer değiştirmeleri (ko-sismik atılım) belirlemek amacıyla, TUDKA-99 ve ölçüsü yenilenen geçkilere ait ortak 619 noktanın deprem öncesi ve sonrası ortometrik yükseklik farkları hesaplanarak karşılaştırılmıştır. TUDKA-99 ölçüleri 1974, 1977, 1980 ve 1987 olmak üzere dört farklı zamanda gerçekleştirilmiş olup, küçük olduğu öngörülen deprem öncesi düşey inter-sismik hız alanı yüksek doğrulukta bilinmediğinden, ortometrik yüksekliklerin karşılaştırmasında göz ardı edilmiştir. Buna göre bölgede -52.7 ile $+28.8$ cm arasında değişen toplam 80 cm civarında düşey yer değiştirme meydana gelmiştir. Depremlerden kaynaklanan düşey deformasyonun vektörel gösterimi Şekil-5.5’de verilmektedir. İzmit ve Düzce Depremleri sonrasında, Kuzey Anadolu Fayının batı kesiminde; Gölcük bölgesinde $+20$ cm, bu bölgenin hemen doğusunda, İzmit körfezinin başladığı bölgede ve fayın kuzeyinde -20 cm büyüklüğünde düşey deformasyon gözlenmektedir. Adapazarı civarında -32 cm, Adapazarı ile Hendek arasında kalan bölgede fay hattı üzerinde -40 cm’ ye varan deformasyon bulunmuştur. Fay hattı

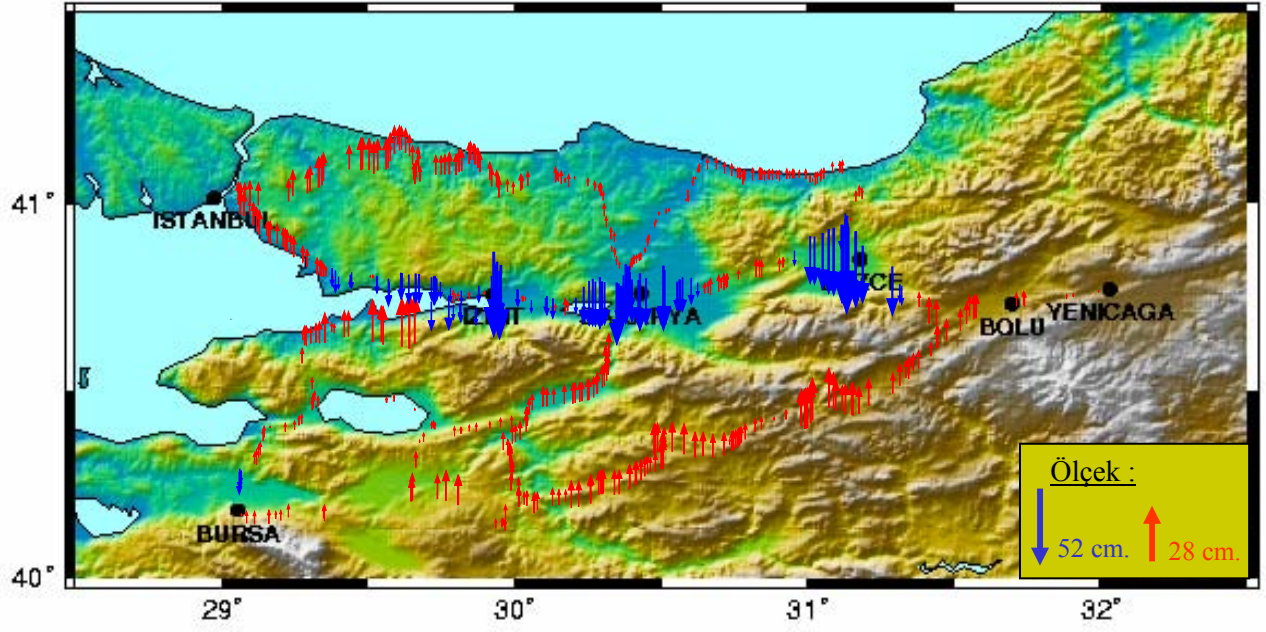
üzerindeki en belirgin düşey deformasyon, Düzce'nin güneybatısında Melen Gölü civarında ölçülmüş olup -52 cm' ye ulaşmaktadır. Genel anlamda, fay hattı boyunca fayın kuzeyinde çökme şeklinde ve fay hattının yaklaşık 30 km kuzey ve güneyini içine alan koridorda düşey yönlü hareket olduğu, bu bölge dışına çıkıldığında ise, fay hattından uzaklaştıkça düşey hareketlerin azaldığı ve yükselme şeklinde olduğu gözlenmektedir.



Şekil-5.3 : Kasım 1999 ölçüleri ile TUDKA-99 ölçüleri arasındaki düşey deformasyon. (Karamürsel'in batısındaki 5-DN-38 nolu nivelman noktasına göre hesaplanmıştır).



Şekil-5.4: 2000 yılında ölçülen TUDKA-99 geçkileri.



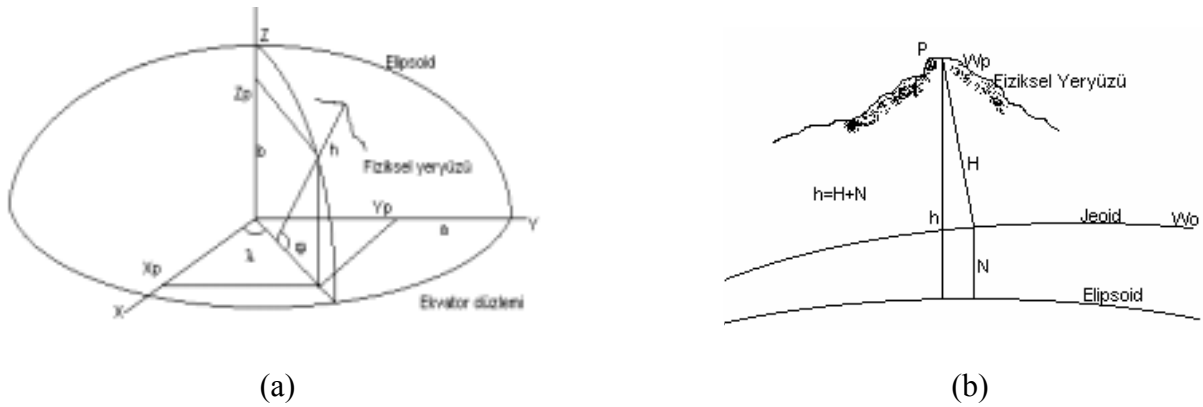
Şekil-5.5: İzmit ve Düzce depremleriyle oluşan düşey deformasyon. Mavi renkli aşağı yönlü vektörler çökme, kırmızı renkli yukarı yönlü oklar yükselmeyi göstermektedir.

6. TÜRKİYE JEODİ – 1999 (TG-99) GÜNCELLENMESİ

Önceki bölümlerde açıklanan TUTGA-99A noktalarında, üç boyutlu yermerkezci koordinat sistemi olan ITRF96'da, GRS80 başlangıç elipsoidine göre elipsoid yüksekliği (h) bilinmektedir. P noktasından elipsoid yüzeyine inilen dikin uzunluğu olan elipsoid yüksekliği (h_p) elipsoidin boyutları ve datum tanımı ile ilişkili geometrik bir değerdir (Şekil-6.1a). Uygulamada kullanılan TUDKA-99 ortometrik yükseklikleri (H) geometrik nivelman ve gravite ölçüleri ile hesaplanmış olup elipsoid yüksekliği ile arasında,

$$h_{TUTGA99A} = H_{TUDKA99} + N \quad (6.1)$$

ilişkisi mevcuttur (Şekil-6.1b). Burada N, jeoid ile elipsoid arasındaki yükseklik farkı olan jeoid yüksekliğidir. Elipsoid yüksekliği ve ortometrik yükseklik arasında dönüşümün yapılabilmesi için, TUTGA-99A ve TUDKA-99 ile uyumlu jeoid yüksekliği bilinmelidir. Türkiye için farklı yöntemler ile jeoid belirleme çalışmaları yapılmış olup bunlardan en uygun doğrulukta olanı Ayhan (1993)'de verilen Türkiye Jeoidi-1991(TG-91)'dir. Ancak TG-91 ile yapılan uygulamalarda bu jeoidin GPS/Nivelman jeoid yüksekliklerine göre kayık ve eğimli olduğu, yerel farklılıklar gösterdiği belirlenmiş ve geliştirilme ihtiyacı doğmuştur. Bu amaçla Yıldırım (2001)'de TG-91 ve 187 noktada bilinen GPS/Nivelman jeoid yükseklikleri En Küçük Karelerle Kolokasyon (EKKK) yöntemi ile birleştirilerek, Türkiye Jeoidi-1999 (TG-99) hesaplanmış ve bu jeoid TUTGA-99 tanımında kullanılmıştır (Ayhan v.d. 2001c). 2001 yılında yapılan ölçüler ile GPS/Nivelman jeoid yüksekliği bilinen yeni noktalar tesis edilmiş ve TG-99'un güncelleştirilmesi ihtiyacı doğmuştur. Aşağıda öncelikle TG-91 kısaca tanıtılmakta, yeni noktalar eklenerek güncelleştirilen Türkiye GPS/Nivelman Jeoidi hakkında açıklama yapılmakta ve daha sonra da TG-99 'un güncelleştirilmesi ile elde edilen Türkiye Jeoidi-1999A (TG-99A) verilmektedir.



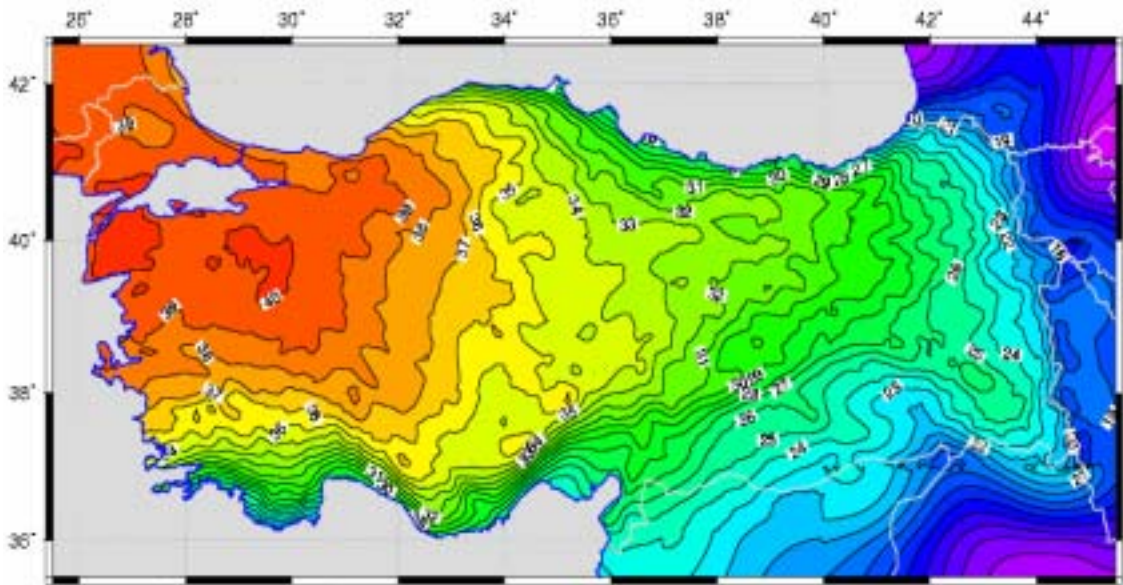
Şekil-6.1 : (a) Üç boyutlu dik koordinat sistemi ve elipsoid. (b) Elipsoid yüksekliği (h), jeoid yüksekliği (N) ve ortometrik yükseklik (H) arasındaki ilişki

a. Türkiye Jeoidi – 1991 (TG-91)

Türkiye Jeoidi–1991 (TG-91) adı ile bilinen gravimetrik jeoid, GPM2-T1 yer potansiyel modeli katsayıları, topoğrafik yükseklikler ve gravite ölçüleri değerlendirilerek hesaplanmıştır (Ayhan, 1993). Mevcut yer potansiyel modellerinin oluşturulmasında Türkiye'deki gravite ölçüleri kullanılmadığından, GPM2 yer potansiyel modeli Türkiye'deki gravite ölçüleri ile

geliştirilip GPM2-T1 modeli oluşturulmuştur. Ulusal Gravite Kütüğü (UGK), düzenlenmiş Potsdam gravite datumunda, 34.5° - 42.5° enlem ve 25.5° - 45.0° boylamları arasında kalan bölgede, 3-5 km sıklıkla 62250 nokta gravite ölçüsünü kapsamakta, komşu ülkeler ve denizler için gravite ölçüleri bulunmamaktadır. Topoğrafik yükseklik olarak Türkiye ve yakın çevresindeki kara alanlarını kapsayan bölgede, 15"x20" (450 x 450 m) grid köşelerinde yükseklikler 1/25000 ölçekli haritalar üzerinden sayısallaştırılmış, ayrıca topoğrafik indirgemelerde kullanılmak amacıyla 5'x5', 15'x15' ve 30'x30' grid hücrelerinde ortalama yükseklikler hesaplanmıştır. Türkiye Jeoidi-1991 (TG-91); yer potansiyel modeli, topoğrafik yükseklikler ve nokta gravite ölçülerinin "kaldır-yerine koy" (remove-restore) tekniği ve EKKK yöntemiyle değerlendirilmesiyle GRS-80 elipsoidine göre belirlenmiştir. 1° x 1° boyutlu alt bölgelerde, 3'x3' grid köşelerinde GEOCOL yazılımı (Tscherning vd., 1994) ile jeoid yükseklikleri hesaplanmış ve bu alt bölgeler birleştirilerek tüm Türkiye için TG-91 jeoid yüksekliği grid kütüğü oluşturulmuştur. Enlem ve boylamı bilinen herhangi bir noktada jeoid yüksekliğini interpolate etmek için değişik yöntem ve yazılımlar mevcuttur (Tscherning vd., 1994; Ulubay, 1990).

Şekil-6.2'de gösterilen TG-91 jeoidi yaklaşık jeosentrik olup global koordinat sistemlerinde (örn. ITRF96) tanımlanan jeosentrik (mutlak) jeoid ile arasında kayıklık ve eğim olması beklenmektedir. GPS ile global jeosentrik bir koordinat sisteminde hesaplanan elipsoid yüksekliklerini (6.1) eşitliği ile ortometrik yüksekliğe dönüştürmek için TG-91 jeoid yüksekliklerini doğrudan kullanmak uygun olmamakta, TG-91'in kayıklık ve eğimini belirlemek ve Demirkol (1999)'un Antalya ve çevresinde gösterdiği yerel bozuklukları gidermek ihtiyacı duyulmaktadır. Bu amaçla Türkiye'yi kapsayan bölgede GPS/nivelman jeoid yüksekliklerini belirlemek ve GPS/nivelman jeoidi ile TG-91 arasındaki sistematik farkı belirleyip TG-91'i mutlak jeoidine dönüştürmek gerekir. Bunun yanı sıra GPS ile elde edilen elipsoid yükseklikleri ve TG-91 jeoidinden yararlanla ortometrik yükseklik hesaplamak için değişik yöntemler de mevcut olup mühendislik uygulamalarında kullanılmaktadır (Ayhan ve Kılıçoğlu, 1995a).



Şekil-6.2 : TG-91 Jeoid Modeli (m)

b. GPS/Nivelman Jeoidi

GPS/nivelman jeoid yüksekliklerini belirlemek için, 1991-2001 yılları arasında jeoidin hızlı değiştiği bölgelerde daha sık olmak üzere uygun dağılımda 197 TUTGA-99A noktası seçilmiş, geometrik nivelman ölçüleriyle Türkiye Ulusal Düşey Kontrol Ağı-1999 (TUDKA-99) 'na bağlanmış ve ortometrik yükseklikleri belirlenmiştir. Seçilen bu noktaların dışında Türkiye'nin değişik bölgelerinde gerçekleştirilen mühendislik uygulamalarında tesis edilen 122 GPS/nivelman noktası bulunmakta olup, hesaplanan jeoidin dış kontrolü amacıyla kullanılmıştır.

GPS noktalarının TUDKA-99'a nivelman bağlantısı yapılırken, arazide bulunan en az iki TUDKA-99 noktası arasındaki yükseklik farkı kontrol ölçüleri ile test edilmiş, daha sonra GPS noktasına kadar geçki boyunca gidiş-dönüş şeklinde geometrik nivelman ölçüsü yapılmıştır. Ölçülerde gidiş-dönüş farkının $6\sqrt{S}$ mm'den (S, km biriminde nivelman geçki uzunluğu) küçük olması öngörülmüş, geçki boyunca yaklaşık birer kilometre aralıkta nokta inşa edilmiştir (HGK, 1992). Helmert ortometrik yüksekliğini hesaplamak için nivelman geçkisi boyunca tesis edilen nivelman noktalarında gerçek gravitenin bilinmesi gerekir. TUDKA-99 noktalarında gerçek gravite değeri belirli olmakla birlikte geçki boyunca yeni tesis edilen ara noktalarda ve TUTGA-99A noktalarında bilinmemektedir. Bu noktalarda gravite ölçüsü ekonomik olmadığından, gravite değerleri Ulusal Gravite Kütüğünde yer alan gravite ölçü noktalarından yararlanarak, ortometrik yükseklik hesabı için yeterli doğrulukta (± 3 mGal) interpolate edilmiştir. Bu amaçla, noktaların enlem ve boylamları 1/25000 ölçekli haritalardan saniye doğruluğunda sayısallaştırılmış ve Ayhan ve Alp (1988)'de verilen yöntem ile gravite interpolasyonu yapılmıştır. GPS noktalarında Helmert ortometrik yüksekliği hesaplanırken, önce TUDKA-99 noktasından GPS noktasına kadar olan geçki boyunca jeopotansiyel sayı farkı(ΔC),

$$\Delta C = \sum_{k=1}^{K-1} \frac{g_k + g_{k+1}}{2} \Delta n_k \quad (6.2)$$

ile bulunmuştur. Burada; K, TUDKA-99 noktasından GPS noktasına kadar olan noktaların sayısı, Δn_k , ardışık iki ara nokta arasında geometrik nivelman ile bulunan yükseklik farkı, g, noktalardaki gerçek gravitedir. Daha sonra P, TUDKA-99 noktasının jeopotansiyel sayısı C_p 'den yararlanla TUTGA-99A noktasının jeopotansiyel sayısı, C ,

$$C = C_p + \Delta C \quad (6.3)$$

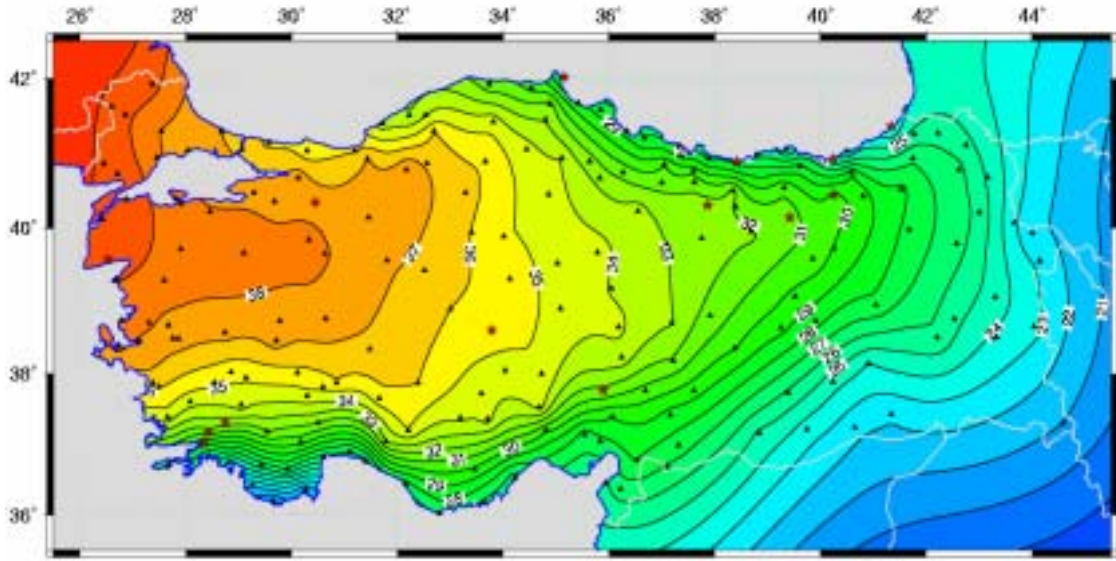
Helmert ortometrik yüksekliği, H,

$$H = \frac{C}{g + 0.0424H} \quad (6.4)$$

ve GPS noktasının elipsoid yüksekliği h olmak üzere GPS/Nivelman jeoid yüksekliği N_{GPS}

$$N_{GPS} = h - H \quad (6.5)$$

ile hesaplanmıştır. 197 GPS noktasından yararlanarak hesaplanan Türkiye GPS/Nivelman Jeoidi Şekil-6.3'de verilmektedir.



Şekil-6.3: Türkiye GPS/Nivelman jeoid modeli (m). Kırmızı yıldızlar 2001 yılında ölçülen yeni noktalar, siyah üçgenler TG-99 hesabında kullanılan noktalardır.

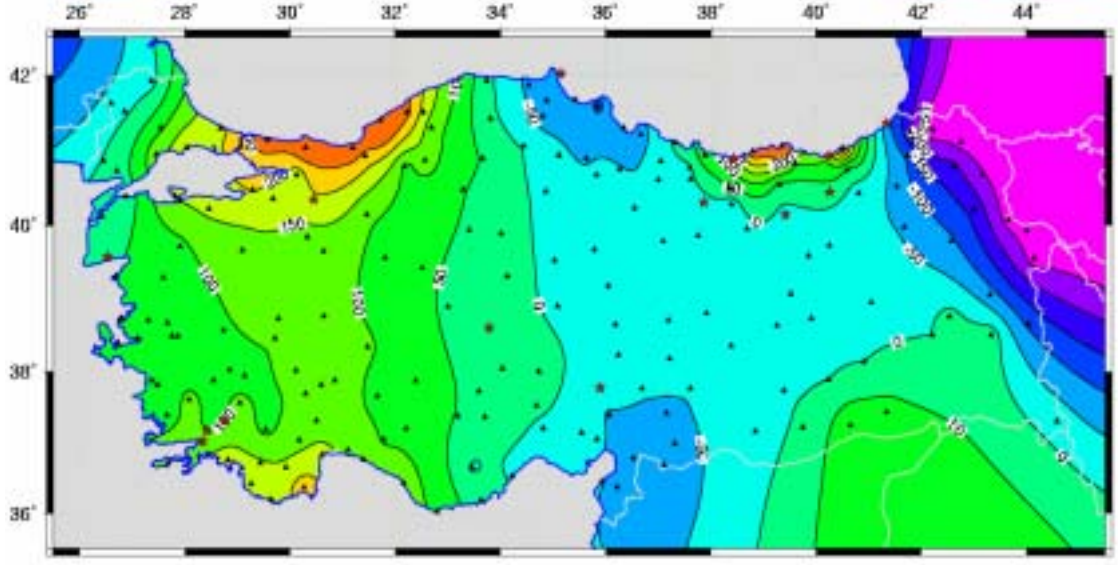
c. Güncellenmiş Türkiye Jeoidi – 1999 (TG-99A)

TG-91 ve GPS/Nivelman jeoidini birleştirmek için öncelikle GPS/Nivelman jeoid yüksekliği bilinen 197 noktada TG-91 jeoid yükseklikleri, TG-91 grid kütüğünden (3'x3') interpolate edilmiştir. GPS/Nivelman jeoid yüksekliği bilinen noktalar yeterli sıklıkta olmadığından, TG-91 referans yüzeyi alınmış ve GPS/Nivelman jeoidi ile arasındaki farklar modellenerek herhangi bir noktada farkların interpolasyonu öngörülmüştür.

TG-99'un oluşturulmasında 187 nokta kullanılmış olup artık ölçüler EKKK yöntemi ile modellenmiştir. 2001 yılında bu 187 noktadan üçünde kontrol ölçüsü yapılmış ve 10 adet yeni GPS/Nivelman jeoid yükseklik noktası tesis edilerek nokta sayısı 197'ye çıkarılmıştır. Noktaların TUTGA-99A koordinatları ile söz konusu 197 noktada TG-91 jeoid yükseklikleri (N_{TG91}) 3'x3' grid kütüğünden hesaplanmış ve

$$\delta N = N_{TG91} - N_{GPS} \quad (6.6)$$

ile ortak noktalardaki jeoid yükseklik farkları, δN , bulunmuştur. Şekil-6.4'de gösterilen bu farklar TG-91 ile GPS/Nivelman jeoidinin birleştirilmesinde ölçü olarak kullanılacak olup istatistikleri Tablo-6.1'de verilmektedir. Şekil-6.4'de verilen δN değerlerinin incelenmesinde TRBL isimli noktadaki değer büyük ve uyuşumsuz çıkmış ve bu nokta çıkarılarak uygulamalarda 196 nokta kullanılmıştır.



Şekil-6.4 : TG-91 – GPS/Nivelman Jeoid Yükseklik Farkları (Ölçü) (cm)

δN farklarını gösteren harita (Şekil-6.4) incelendiğinde doğu-batı yönünde bir eğim görülmekte olup bu sistematik etkinin (trend) iki boyutlu bir polinom,

$$t_i = a_0 + a_1\lambda_i + a_2\varphi_i + a_3\lambda_i^2 + a_4\varphi_i^2 + a_5\lambda_i\varphi_i + a_6\lambda_i^3 + a_7\varphi_i^3 + a_8\lambda_i^2\varphi_i + a_9\lambda_i\varphi_i^2 + \dots \quad (6.7)$$

ile modellenmesi öngörülmüştür. Burada;

t_i : i noktasındaki trend değeri

a_j : bilinmeyen parametreler [$j = 0: n-1$; parametre sayısı],

ile tanımlıdır. Yukarıda verilen modelde 1 parametrelili çözüm ortalama düzlem, 4 parametrelili çözüm bilineer yüzey, 6 parametrelili çözüm kuadratik yüzey ve 10 parametrelili çözüm 3ncü dereceden bir yüzeydir. Bu çalışmada (6.7) eşitliğinde 1, 4, 6 ve 10 parametrelili modeller alınarak rasgele dağılmış 196 noktadaki fark ölçüleri için en küçük karelerle çözüm yapılmış, her noktada hesaplanan trend değerleri(t_i) fark ölçülerinden çıkarılarak,

$$dN_i = \delta N_i - t_i \quad (6.8)$$

artık ölçüler (dN) hesaplanmıştır. Bu 196 noktada hesaplanan trend ve artık ölçülere (dN) ilişkin istatistikler Tablo-6.1'de verilmektedir. Tablo-6.1 incelendiğinde; parametre sayısı arttıkça daha anlamlı bir trend çıkmakta ve artık ölçülerin rms değerinin azaldığı anlaşılmaktadır. Farklı sayıda parametre ile yapılan çözümler arasında belirgin bir fark olmadığından 6 parametrelili trend kullanılmıştır.

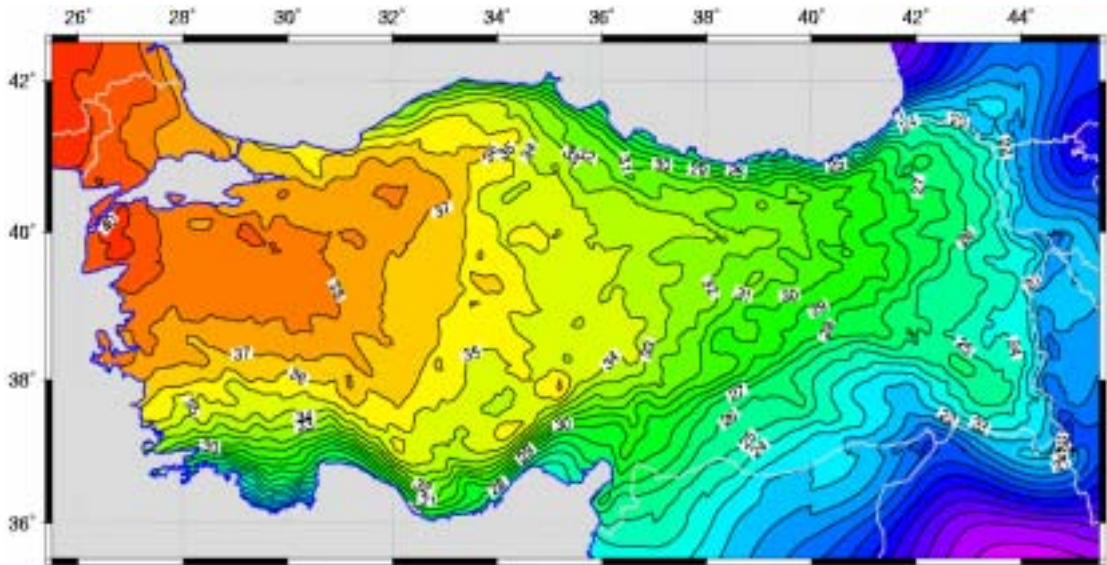
Tablo-6.1: Ölçü noktalarında farklar (δN), trend (t) ve artık ölçülere (dN) ilişkin istatistikler (cm).

	δN	1 par. çözüm (ortalama yüzey)		4 par. çözüm (bilineer yüzey)		6 par. çözüm (kuadratik yüzey)		10 par. çözüm (3° polinom)	
		t	dN	t	dN	t	dN	t	dN
Minimum	377.4	37.8	339.5	144.1	409.1	118.7	409.0	195.6	444.6
Maksimum	-289.5	37.8	-327.4	-106.1	-196.2	-145.8	-173.8	-221.6	-194.6
Ortalama	37.3	37.8	-0.6	34.2	3.1	33.2	4.1	32.7	4.6
Standart Sapma	112.1	0	112.1	69.7	88.6	72.3	87.2	82.2	80.3
rms	117.9	37.8	111.9	77.4	88.4	79.4	87.1	88.2	80.2

Artık ölçülerin modellenmesinde, en küçük eğrilik yöntemi kullanılarak, 35°-43° enlemleri ve 25°-46° boylamları ile sınırlı bölgede, 3'x3' grid köşelerinde artık ölçüler hesaplanmıştır (Smith and Wessel, 1990). Güncellenmiş Türkiye Jeoidi-1999, Türkiye Jeoidi-1999A (TG-99A) olarak isimlendirilecek olup herhangi bir noktada TG-99A jeoid yükseklik değeri (N_{TG99A}), o noktadaki TG-91 jeoid yüksekliği (N_{TG91}), trend (t) ve artık ölçü (dN) olmak üzere,

$$N_{TG99A} = N_{TG91} - t - dN \quad (6.9)$$

ile bulunmaktadır. TG-91 jeoid yükseklikleri, trend ve artık ölçü değerleri aynı (3'x3') grid köşe noktalarında belirli olduğundan bu üç grid veri (6.9) eşitliğinde verildiği gibi birleştirilerek Güncellenmiş Türkiye Jeoidi-1999 (TG-99A) hesaplanmıştır (Şekil-6.5). TG-99A; gravimetrik jeoid (TG-91) ile GPS/Nivelman jeoidinin birleştirilmesi ile elde edilmiş olup GPS ile hesaplanan elipsoid yüksekliklerinden ortometrik yüksekliklerin hesaplanması için (6.1) eşitliğinde doğrudan kullanılabileceği değerlendirilmektedir.



Şekil-6.5 : Güncelleştirilmiş Türkiye Jeoidi - 1999 (TG-99A) (m)

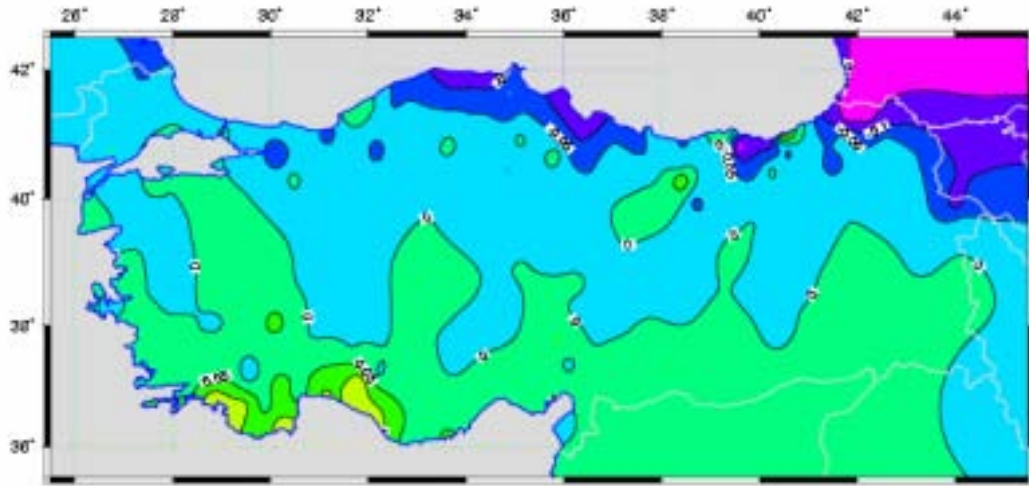
TG-99A'nın kontrolü amacıyla; GPS/Nivelman jeoid yüksekliği bilinen 196 ölçü noktası ve bu noktaların dışında oluşturulan GPS/Nivelman jeoid yüksekliği bilinen 122 kontrol noktasında yapılan karşılaştırmaya ek olarak, TG-99 jeoidi ile karşılaştırılmış olup bu karşılaştırmalarda elde edilen istatistikler Tablo-6.2'de verilmektedir.

Tablo-6.2 : TG-99A'nın kontrolü için yapılan sayısal karşılaştırmada bulunan istatistikler(cm)

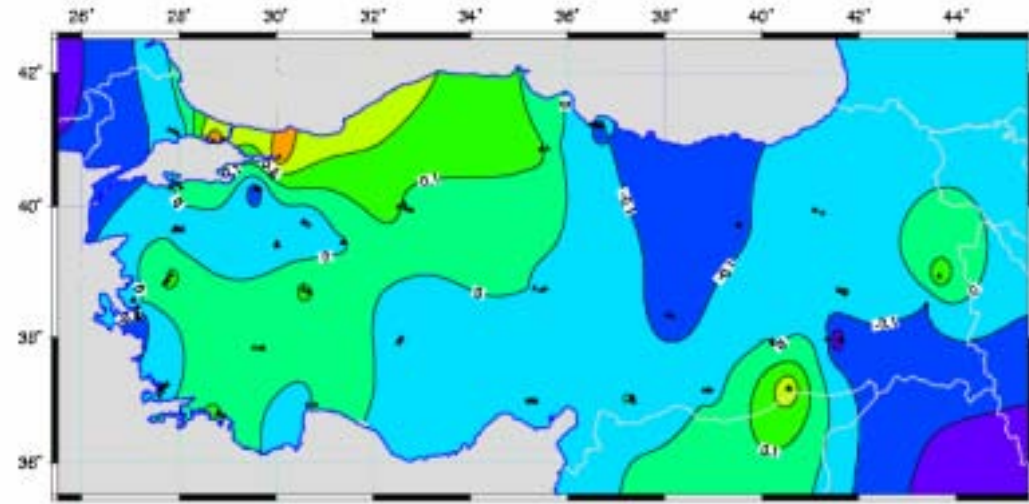
	196 noktada	122 noktada	Karşılaştırma (TG99A-TG99)		
			196 noktada	122 noktada	(3'x3') grid köşelerinde
Minimum	-17.8	-33.1	-258.2	-21.0	-388.0
Maksimum	16.4	34.5	59.3	35.7	362.0
Ortalama	-0.6	1.6	-4.6	0.1	-9.3
Standart Sapma	± 5.6	± 11.0	± 29.6	± 10.3	± 50.1
rms	± 5.7	± 11.2	± 30.0	± 10.3	± 51.0

GPS/Nivelman jeoid yüksekliği ölçülen 196 noktada TG-99A jeoid yüksekliği interpolasyonla hesaplanmış olup ölçü ve hesap değerleri arasındaki farklar Şekil-6.6'da gösterilmektedir. Farkların ortalaması -0.6 cm ve standart sapması ± 5.6 cm bulunmuş olması TG-99A jeoid modelinin kendi içinde uyumlu olduğunu göstermektedir. GPS/Nivelman jeoid yüksekliği bilinen 122 test noktasında hesaplanan ve ölçülen jeoid yükseklikleri arasındaki farkların ortalaması 1.6 cm ve standart sapması ± 11.0 cm'dir (Şekil-6.7). TG-99 ve TG-99A'nın 196 noktada yapılan karşılaştırmada elde edilen farklar Şekil-6.8'de verilmekte olup, farkların özellikle Doğu Karadeniz Bölgesinde anlamlı değerlere ulaştığı, diğer bölgelerde ise ± 10 cm olduğu anlaşılmaktadır.

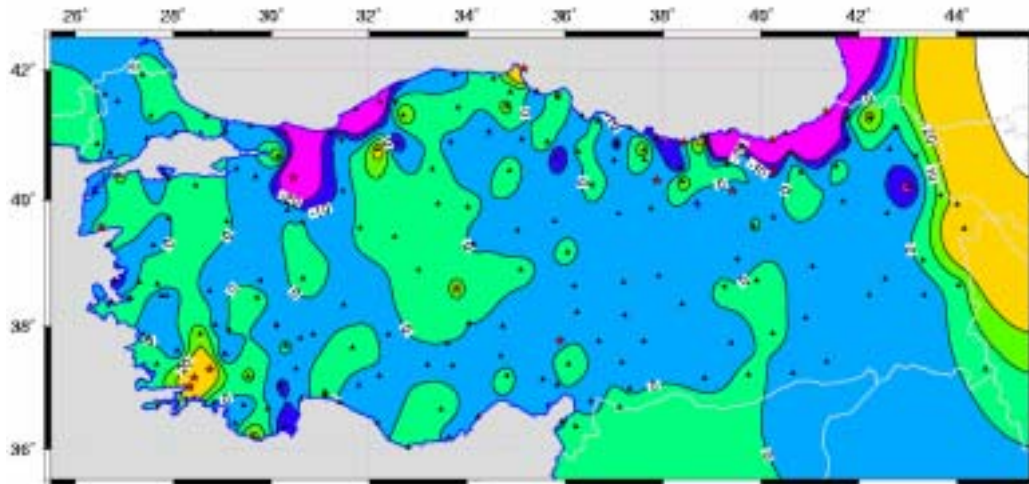
Yapılan bu karşılaştırmalarda elde edilen sonuçlar incelendiğinde, TG-99A'nın yaklaşık 5 cm iç duyarlığa ve 15 cm doğruluğa sahip olduğu, orta ve küçük ölçekli (1/25000 ve daha küçük) çalışmalarda doğrudan kullanılabileceği, 1:5000 ve daha büyük ölçekli harita üretiminde ise 4-6 nokta ile oluşturulacak yerel GPS/Nivelman jeoid yükseklikleri ile kontrol edilerek doğrudan ve/veya geliştirilerek kullanılabileceği değerlendirilmektedir.



Şekil-6.6: TG99A İç Kontrol (196 noktada) (Birim: cm)



Şekil-6.7: GPS/Nivelman jeoid yüksekliği bilinen 122 test noktasında bulunan farklar (Birim:cm)



Şekil-6.8: TG99A – TG99 jeoid yükseklik farkları (196 noktada) (Birim:cm)

7. TUTGA-99A' NIN NOKTA SIKLAŞTIRMA AMACIYLA KULLANIMI

TUTGA-99 oluşturulduktan sonraki dönemde, nokta koordinatlarında değişikliğe neden olan İzmit, Düzce ve Çerkeş/Çankırı depremlerinin ko-sismik ve post-sismik etkiler nedeniyle, depremlerden etkilenen bölge içindeki TUTGA-99 noktalarında birkaç metreye ulaşan yatay ve düşey yer değiştirmeleri meydana gelmiş, bölgenin “deprem öncesi inter-sismik hız alanı (V_X, V_Y, V_Z)” değişikliğe uğramıştır. TUTGA-99’un yaşatılması ve iyileştirilmesi kapsamında, deprem bölgesinde bulunan TUTGA-99 noktalarında; 2000.45 epöğündeki koordinatlar, 1999.62 ile 2000.45 yılları arasında oluşan ko-sismik, post sismik ve inter-sismik etkiler ile oluşan “toplam deformasyon (d_X, d_Y, d_Z)” ve 2000.45 yılı sonrası için geçerli inter-sismik hız bileşenleri (V'_X, V'_Y, V'_Z) tekrarlı GPS gözlemleri ile hesaplanmıştır. GPS ölçüleri ile TUTGA-99A’ya dayalı yeni nokta oluştururken, nokta koordinatlarında zamana bağlı değişimlerin dikkate alınması gerekir. GPS ölçmeleri ile bir (T) anında koordinatları bulunan yeni noktayı TUTGA-99A’ya dayalı olarak belirlemek için, zaman boyutu dikkate alınarak TUTGA-99A’nın referans epöğuna ($T_0=1998.0$) kaydırmak gerekir. Epok kaydırma işlemi, yeni noktanın depremlerden etkilenen bölge içinde olup olmadığına göre farklılık gösterir.

Depremlerden etkilenmeyen bölgedeki yeni bir noktanın, T_0 referans epöğunda TUTGA-99A sistemindeki koordinatlarını belirlemek için en az bir TUTGA-99A noktası dayanak noktası seçilir. Bu noktanın T_0 referans epöğündeki koordinatları ölçü epöğuna (T)

$$\begin{bmatrix} X(T) \\ Y(T) \\ Z(T) \end{bmatrix}_{\text{TUTGA-99A}} = \begin{bmatrix} X(T_0) \\ Y(T_0) \\ Z(T_0) \end{bmatrix}_{\text{TUTGA-99A}} + (T - T_0) \cdot \begin{bmatrix} V_X \\ V_Y \\ V_Z \end{bmatrix}_{\text{TUTGA-99A}} \quad (7.1)$$

ile dönüştürülür. Bu eşitlikte, $((X(T_0), Y(T_0), Z(T_0)))$ ve $((X(T), Y(T), Z(T)))$, TUTGA-99A noktasının sırasıyla referans epöğü ve T ölçü epöğündeki jeodezik dik koordinatlarıdır. Yeni noktalardaki GPS ölçmeleri, TUTGA-99A noktasının T ölçü epöğündeki koordinatları ile değerlendirilir ve T anındaki koordinatları $\{X(T), Y(T), Z(T)\}$ hesaplanır (Gurtner, 1993). Daha sonra, yeni noktaların (T) anındaki koordinatları, interpolasyon ile hesaplanan inter-sismik hızları $((V_X, V_Y, V_Z)_{\text{MODEL}})$ ile,

$$\begin{bmatrix} X(T_0) \\ Y(T_0) \\ Z(T_0) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X(T) \\ Y(T) \\ Z(T) \end{bmatrix} + (T_0 - T) \begin{bmatrix} V_X \\ V_Y \\ V_Z \end{bmatrix}_{\text{MODEL}} \quad (7.2)$$

T_0 referans epöğuna indirgenir.

Depremlerden etkilenen bölgede bulunan bir yeni noktanın T ölçü epoğundaki koordinatlarını T_0 epoğuna kaydırmak için ise aşağıdaki işlem adımları izlenir;

a. TUTGA-99A dayanak noktalarının $T_2=2000.45$ epoğundaki koordinatları ($X(T_2)$, $Y(T_2)$, $Z(T_2)$), noktaların deprem sonrası inter-sismik hızı (V'_X , V'_Y , V'_Z) yardımıyla,

$$\begin{bmatrix} X(T) \\ Y(T) \\ Z(T) \end{bmatrix}_{\text{TUTGA-99A}} = \begin{bmatrix} X(T_2) \\ Y(T_2) \\ Z(T_2) \end{bmatrix}_{\text{TUTGA-99A}} + (T - T_2) \cdot \begin{bmatrix} V'_X \\ V'_Y \\ V'_Z \end{bmatrix}_{\text{TUTGA-99A}} \quad (7.3)$$

(T) ölçü anına ($(T - T_2) > 0$ olmak üzere) kaydırılır. TUTGA-99A noktalarına dayalı olarak yeni noktalarda T ölçü anındaki GPS ölçüleri değerlendirilir ve koordinatları hesaplanır.

b. Yeni noktaların T anında hesaplanan koordinatlar interpolasyon ile bulunan deprem sonrası inter-sismik hızları $\{(V'_X, V'_Y, V'_Z)_{\text{MODEL}}\}$ yardımıyla T_2 epoğuna kaydırılır. Yeni noktaların T_2 epoğundaki koordinatları, interpolasyonla hesaplanan toplam deformasyon düzeltmesi $\{(d_X, d_Y, d_Z)_{\text{MODEL}}\}$ ile deprem öncesi zamana ($T_1=1999.62$) ve daha sonra da T_1 epoğunda bulunan bu koordinatlar, interpolasyonla hesaplanan deprem öncesi inter-sismik hız bileşenleri $\{(V_X, V_Y, V_Z)_{\text{MODEL}}\}$ ile T_0 epoğuna kaydırılır. Burada sözü edilen üç düzeltme, (7.4) eşitliğinde sırasıyla iki, üç ve dördüncü toplam terimlerle ifade edilmektedir.

$$\begin{bmatrix} X(T_0) \\ Y(T_0) \\ Z(T_0) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X(T) \\ Y(T) \\ Z(T) \end{bmatrix} + (T_2 - T) \begin{bmatrix} V'_X \\ V'_Y \\ V'_Z \end{bmatrix}_{\text{MODEL}} + \begin{bmatrix} -d_X \\ -d_Y \\ -d_Z \end{bmatrix}_{\text{MODEL}} + (T_0 - T_1) \cdot \begin{bmatrix} V_X \\ V_Y \\ V_Z \end{bmatrix}_{\text{MODEL}} \quad (7.4)$$

Yukarıda açıklanan her iki durumu daha iyi açıklamak için deprem bölgesi dışında yer alan Ankara SLR İstasyonunun (ANKS) T_0 epoğundaki koordinatlarını, $T=2001.25$ epoğuna kaydırmak için hazırlanan sayısal örnek Tablo-7.1'de, İzmit ve Düzce depremlerinden etkilenen Kandilli Rasathanesi noktası (KANR)'nın $T=2001.82$ epoğundaki koordinatlarını, T_0 epoğuna kaydırmak için hazırlanan sayısal örnek ise Tablo-7.2'de verilmektedir.

Tablo-7.1: ANKS noktasının T_0 epoğundaki koordinatlarının $T=2001.25$ anına kaydırılması (m).

$X(T_0)$	$Y(T_0)$	$Z(T_0)$	$T-T_0$ (yıl)	V_X	V_Y	V_Z	$X(T)$	$Y(T)$	$Z(T)$
4121948.5956	2652187.9602	4069023.6762	3.25	-0.0070	-0.0016	0.0072	4121948.5733	2652187.9550	4069023.6996

Tablo-7.2: KANR noktasının T=2001.82 epoğundaki koordinatlarının T_0 epoğuna kaydırılması (m). ($T - T_2 = 1.37$, $T_1 - T_0 = 1.62$)

X(T)	Y(T)	Z(T)	V'_X	V'_Y	V'_Z	X(T ₂)	Y(T ₂)	Z(T ₂)
4159424.4578	2429943.7027	4166577.6974	-0.0503	0.0079	-0.0200	4159424.5267	2429943.6919	4166577.7248
			d _X	d _Y	d _Z	X(T ₁)	Y(T ₁)	Z(T ₁)
			-0.2576	0.2637	0.0937	4159424.7843	2429943.4282	4166577.6311
			V _X	V _Y	V _Z	X(T ₀)	Y(T ₀)	Z(T ₀)
			-0.0167	0.0214	0.0064	4159424.8115	2429943.3934	4166577.6207

Yeni bir noktanın T_0 epoğuna indirgenmiş jeodezik dik koordinatları ($X(T_0)$, $Y(T_0)$, $Z(T_0)$), Heiskanen ve Moritz (1967), Bowring (1975) veya Borsowsky (1989)'da verilen yöntemlerden biri kullanılarak jeodezik enlem ($\phi(T_0)$), boylam ($\lambda(T_0)$) ve elipsoid yüksekliğine ($h(T_0)$) dönüştürülebilir.

1998.0 epoğunda TUTGA-99A enlem ve boylamı ($\phi_{TUTGA99A}$, $\lambda_{TUTGA99A}$) bilinen yeni noktaların, ED-50 datumundaki enlem ve boylamlarını (ϕ_{ED50} , λ_{ED50}) hesaplamak için; dördüncü bölümde açıklanan enlem ve boylam farklarına ilişkin koordinat dönüşüm dosyalarından yararlanılır. ED-50 datumunda koordinatları hesaplanacak noktalar için, koordinat dönüşüm dosyalarından “enlem ve boylam farkı ($\Delta\hat{\phi}$, $\Delta\hat{\lambda}$)” hesaplanır ve

$$\begin{aligned}\phi_{ED50} &= \phi_{TUTGA99A} + \Delta\hat{\phi} \\ \lambda_{ED50} &= \lambda_{TUTGA99A} + \Delta\hat{\lambda}\end{aligned}\tag{7.5}$$

eşitliği ile noktanın ED-50 datumundaki enlem ve boylamı (ϕ_{ED50} , λ_{ED50}) bulunur.

Altıncı bölümde belirtilen doğruluk kriterleri yeterli olan çalışmalarda yeni noktaların ortometrik yüksekliği (H); nivelman ölçüsü yapmadan noktaların konumuna bağlı olarak hesaplanan TG-99A jeoid yüksekliği (N_{TG-99A}) ve GPS ölçüleriyle bulunan elipsoid yüksekliğinden yararlar,

$$H = h(T_0) - N_{TG-99A}\tag{7.6}$$

eşitliği ile hesaplanır. Daha yüksek doğruluk gerektiren çalışmalarda (10 cm'nin altında); çalışma alanı içinde yeterli sayıda noktanın TUDKA-99'a geometrik nivelman bağlantısı yapılır ve bu noktalarda GPS/Nivelman jeoidi (yerel jeoidi) belirlenir. Bu değerler ile TG-99A yerel olarak geliştirilir, yeni noktalar ve ortometrik yüksekliği bilinen noktalardan oluşan ağ dengelemesi ile yeni noktalarda ortometrik yükseklik hesaplanır.

8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı-1999A (TUTGA-99A); ITRF96 koordinat sisteminde, 1998.0 epogunda, GRS-80 elipsoidine göre, TG-99A jeoidi ve TUDKA-99'a dayalı, ED-50 ile arasında koordinat dönüşümü tanımlı bir jeodezik ağıdır. Marmara Bölgesini etkileyen 17 Ağustos 1999 İzmit ($M_w = 7.5$), 12 Kasım 1999 Düzce ($M_w = 7.2$) ve 6 Haziran 2000 Çerkeş/Çankırı ($M_w = 6.1$) depremleri, TUTGA-99 nokta konumlarında değişikliğe neden olmuş ve TUTGA-99'un beş elemanı güncelliğini yitirmiştir. 2000-2001 yıllarındaki çalışmalarla; Ankara-Kastamonu-Zonguldak-İstanbul-Edirne-İzmir arasında kalan bölgede TUTGA-99 noktaları ile I ve II nci derece yatay kontrol noktalarından seçilen toplam 159 noktada GPS ölçüsü, İzmit ve Düzce depremlerinde oluşan yüzey kırığını çevreleyen bölgede toplam 1300 km I ve II nci derece nivelman geçkisinde nivelman ve gravite yenileme ölçüsü, Güney-Batı Anadolu, Doğu Anadolu, Bolvadin, Afyon ve Çerkeş/Çankırı bölgelerinde ve GPS/Nivelman jeoid yüksekliği belirlemek ve koordinat dönüşümünde kullanmak için ülke genelinde dağılmış noktalarda GPS ölçüsü yapılmış, bu ölçüler ile TUTGA-99'un beş elemanı yeniden tanımlanarak TUTGA-99A oluşturulmuştur.

Bir noktanın herhangi bir andaki koordinatlarını bulmak için inter-sismik hız alanı ve depremler nedeniyle oluşan konum değişimlerini doğru olarak belirlemek gerekir. TUTGA-99 hız alanı hesaplanırken 96 noktada hızlar ölçülmüş, geri kalan 498 noktada ise interpolasyon ile bulunmuştur. Depremler sonrasında yapılan GPS ölçüleri, Marmara Bölgesinde inter-sismik hız alanının değiştiğini göstermiş ve TUTGA-99A için ayrı bir inter-sismik hız alanı tanımlanmıştır. Ayrıca, 1999.62 ile 2000.45 yılları arasında depremlerden kaynaklanan toplam yer kabuğu değişimleri hesaplanmış ve deprem öncesi ve sonrasında herhangi bir zamanda nokta koordinatını hesaplamak olanaklı duruma gelmiştir. Ancak interpolasyon ile bulunan inter-sismik hızların doğruluğu, uygulanan yöntem, hızı bilinen noktaların dağılımına ve hız ölçülerinin doğruluğuna bağlıdır. Bu nedenle hızı bilinen nokta dağılımı yeterli olmayan bölgeler ile aktif ve karmaşık deformasyona sahip bölgelerden başlamak üzere, TUTGA-99A'nın ikinci periyot ölçüsünün 2004 yılından önce ve üçüncü periyot ölçünün ise 2008 yılına kadar tamamlanması gerektiği değerlendirilmektedir. Marmara Bölgesindeki depremler sonrası dönemde hızı ölçülen 61 GPS noktası depremlerden etkilenen tüm bölgeyi kapsamadığından, ölçü noktaları dışında kalan bölgede deprem öncesi hız alanının geçerli olduğu kabul edilmiştir. 2000 yılında yapılan Jeodef GPS kampanyasında İzmir-Edirne-Zonguldak-Kastamonu-Ankara ile sınırlı bölgede yeralan yaklaşık 80 nokta ölçülmüş, ancak bu noktalarda ikinci bir kez GPS ölçüsü yapılamamıştır. Bölgedeki deprem sonrası inter-sismik hız alanını ayrıntılı olarak belirlemek için, Jeodef GPS kampanyasında ölçülen yaklaşık 80 noktanın en az bir kez daha ölçülmesinin gerekli olduğu değerlendirilmektedir. Büyüklüğü $M_w \geq 6.0$ olan depremler yatay ve düşey konum değişikliğine neden olmakta, ülkemizde ortalama 1-2 yılda bir bu büyüklükteki depremlerde yatay koordinatlarda $\pm 2-3$ metre, yüksekliklerde ise ± 3 metre mertebesinde değişiklik beklenmektedir. Bu yer değiştirmeleri izlemek amacıyla her deprem sonrasında, depremin etkilediği bölgedeki TUTGA-99A noktalarında GPS ölçüsü, TUDKA-99 geçkileri boyunca hassas nivelman ve gravite ölçüsü yapılması gerekmektedir.

TUTGA-99A nokta koordinatlarının belirli bir zaman noktasındaki değerleri, inter-sismik, ko-sismik ve post-sismik yer kabuk hareketlerinin ülke genelinde modellenmesi ile olanaklıdır. Benzer tektonik aktiviteye sahip olan ABD' de NAD-83 nokta koordinatlarının herhangi bir andaki değerini bulmak için tüm depremler modellenmiş ve nokta koordinatları

zamana bağılı olarak verilmektedir (Smith ve Milbert, 1999; Snay, 1999). Günümüzde haritacılık uygulaması değişmiş ve zaman parametrelili haritacılık gündeme gelmiş olup, ülkemizde de TUTGA-99 ve TUTGA-99A ile zaman değişkenli haritacılık başlatılmıştır.

TUTGA-99A ve TUDKA-99 ile uyumlu TG-99A jeoidi, TG-91 ve 197 noktada bilinen GPS/Nivelman jeoid yüksekliklerinden yararlı hazırlanmıştır. TG-91 hesaplanırken özellikle çevre denizler ve komşu ülkelerde topoğrafya ve gravite ölçüleri değerlendirmeye katılmamıştır. Ancak, TG-91 in hesaplandığı 1991 yılından bugüne kadar geçen zaman içinde, çevre denizlerde yeni gravite, batimetre ve uydu altimetre verileri, komşu ülkeler için de topoğrafya ve gravite verileri elde edilmiştir. Bu verilerin dahil edilmesi ile yeni Türkiye Jeoidi hesaplama çalışmaları devam etmekte olup 2002 yılı ve sonrasında yeni ölçüler ile hesaplanacak GPS/Nivelman jeoid yükseklikleri de kullanılarak yeni bir TG-yy'nin hesaplanmasına ihtiyaç bulunmaktadır.

TUTGA-99A ve ED-50'de koordinatı bilinen ortak noktaların 35⁰ boylamı batısında yoğun doğusunda ise seyrek olması, ülke genelinde iki sistem arasındaki koordinat dönüşümü doğruluğunu azaltmaktadır. Bu nedenle nokta dağılımı yetersiz olan bölgelerde mevcut I ve II nci derece yatay kontrol noktalarından seçilenlerde GPS ölçüsü yapılması ve koordinat dönüşümü hesabının yenilenmesi gerekmektedir.

Bir noktanın WGS-84 (Dünya Jeodezik Sistemi – 1984) koordinatları; NIMA (National Image Processing and Mapping Agency) tarafından geliştirilen nokta konumlama yöntemi uygulandığında ± 30 cm , ABD Savunma Bakanlığı'nın global sabit GPS ağı noktalarının tamamını kapsayan özel değerlendirme yöntemleri ile ise ± 5 cm doğrulukta hesaplanabilir. Ancak bu doğrulukların elde edilmesi için gerekli verilerin NIMA dan temini ve özel yazılımlar ile hesaplamaların yapılması, herhangi bir kullanıcı için oldukça zor olup uygulamada birkaç santimetre doğrulukta WGS-84 koordinatlarının doğrudan belirlenmesi olanaklı görülmemektedir (NIMA 1997). ITRF koordinat sistemleri, Dünya Jeodezik Sistemi–1984(WGS-84)'den farklı olmasına karşılık, global anlamda birkaç santimetre içinde uyumlu oldukları NIMA(1997)'da belirtilmektedir. Bu nedenle haritacılık amaçlı jeodezik uygulamalarda, TUTGA-99A koordinatları WGS-84 koordinatları olarak alınabilir.

Depremlerde oluşan konum değişiklikleri, yükseklik ağıının güncelleştirilme ihtiyacı, yeni belirlenecek hız alanı, jeoid, koordinat dönüşümü ve GPS nokta koordinatları kümesi; TUTGA-99A'nın belirli aralıklarla güncelleştirilip, yeni TUTGA-yy'nin hazırlanmasını, diğer bir tanımlama ile yeni bir Türkiye Ulusal Jeodezik Datumu (TUJD) 'nun tanımlanmasını gerektirmektedir.

TEŞEKKÜR

Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı-1999 (TUTGA-99)'un 1997-1999 yılları arasında kurulmasına sağladıkları destek ve katkıları için Harita Genel Komutanlığı ve Tapu Kadastro Genel Müdürlüğüne; depremler sonrası TUTGA-99'un güncelleştirilmesi amacıyla yapılan ölçme ve değerlendirmelerde sağladıkları değerli katkıları için başta Harita Genel Komutanlığı olmak üzere TÜBİTAK-MAM Yer ve Deniz Bilimleri Araştırma Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ) Avrasya Yer Bilimleri Enstitüsü, Boğaziçi Üniversitesi (BÜ) Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü ve Massachusetts Institute of Technology (MIT)'ne; Türkiye Ulusal Yatay Kontrol Ağı'nın Kocaeli ve Adapazarı bölgelerinde yer alan belirli noktalarda yapmış oldukları GPS ölçülerini sağlayan Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğüne; Afyon, Bolvadin ve Çankırı bölgelerinde yapılan çalışmaların jeolojik değerlendirmelerinden dolayı Prof.Dr. Ali Koçyiğit'e teşekkürlerimizi sunarız.

KAYNAKLAR

- /1/ Açıkgöz, M. : 2000 yılı Çerkeş-2 Kampanyası Ölçülerinin Değerlendirme Sonuçları. HGK İç Rapor No: UZAYTEK-01-06, 2001a.
- /2/ Açıkgöz, M. : 2001 yılı K.K.T.C Kampanyası Ölçülerinin Değerlendirme Sonuçları. HGK İç Rapor No: UZAYTEK-01-07, 2001b.
- /3/ AMS (Army Map Service) : The Adjustment of the First-Order Triangulation of Turkey, Vol. 1, AMS TS No. 6576 1954.
- /4/ Ayhan, M.E., O.Alp : Serbest Hava Anomali Kestirim Yöntemleri ve Yöntemlerin Karşılaştırılması. Harita Dergisi, Sayı 101, HGK, Ankara 1988.
- /5/ Ayhan, M.E., C. Demir : Türkiye Ulusal Düşey Kontrol (Nivelman) Ağı-1992 (TUDKA-92). Harita Dergisi, sayı 109, ss: 22-44, 1992.
- /6/ Ayhan, M.E. : Geoid determination in Turkey (TG-91). Bull. Geodesique, 67,10-22 1993.
- /7/ Ayhan, M.E.,A.Kılıçoğlu : Ankara GPS Test Ağında GPS Baz vektörlerinin Üç Boyutta nokta Sıklaştırmaları. Türk Haritacılığının 100. yılı TUJJB ve TUFUAB Kongreleri Bildiri Kitabı, 1-5 Mayıs, Ankara, 1995a.
- /8/ Ayhan, M.E.,A.Kılıçoğlu : Global Konumlama Sistemi (GPS) Baz vektörlerinin Benzerlik ve Afın Dönüşümü ile Üç Boyutta Nokta Sıklaştırmaları. Türk Haritacılığının 100. yılı TUJJB ve TUFUAB Kongreleri Bildiri Kitabı, 1-5 Mayıs, Ankara, 307-320, 1995b.
- /9/ Ayhan, M.E.,O. Alp : Türkiye Astro-jeodezik Jeoidi-1994 (TAG-94). Türk Haritacılığının 100. yılı TUJJB ve TUFUAB Kongreleri bildiri Kitabı, 1-5 Mayıs, Ankara, 294-306, 1995.
- /10/ Ayhan, M.E.,
R.Bürgmann,
S. McClusky, O. Lenk,
B. Aktuğ, E. Herece,
R.E. Reilinger : Kinematics of the Mw = 7.2, 12 November 1999, Düzce, Turkey Earthquake. Geophysical Research Letters, 28, 2, 367 – 370, 2001a.

- /11/ Ayhan, M.E., O. Lenk, C. Demir, A. Kılıçoğlu, M.Kahveci, A.Türkezer, M.Ocak, M.Açıkgöz, A.Yıldırım, B.Aktuğ, Y.S.Şengün, A.İ.Kurt, O.Fırat : Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı-1999 (TUTGA-99), Teknik Rapor, Hrt.Gn.K.lığı, Ankara, 2001b.
- /12/ Ayhan, M.E., C. Demir, O. Lenk, A. Kılıçoğlu, Y. Altınır, S. Ergintav, A.Barka, H. Özener : Inter-seismic GPS Strain Accumulation in the Marmara Sea Region, Bull. Seismol. Soc. Am. (Baskıda), 2002.
- /13/ Barka, A. : Slip distribution along the North Anatolian fault associated with the large earthquakes of the period 1939 to 1967, Bull. Seismol. Soc. Am., 86, 1238 – 1254, 1996.
- /14/ Boucher, C., Z.Altamimi, M.Feissel, P.Sillard : Results and Analysis of the ITRF94. IERS Technical Note 20. Observatoire de Paris, 1995.
- /15/ Boucher C., Z. Altamimi, M.Feissel, P.Sillard : Results and Analysis of the ITRF96, IERS Technical Note 20, 1998.
- /16/ Borsowsky, K.M. : Accurate Algorithms To Transform Geocentric Coordinates To Geocentric Coordinates. Bull. Geod., 63, 1, 50 – 56, 1989.
- /17/ Bowring, B.R. : Transformation From Spatial To Geographic Coordinates. Survey Review, XXIII, 181, 323 – 327, 1975.
- /18/ Brockmann, E. : Combination of Solutions for Geodetic and Geodynamic Applications of the Global Positioning System (GPS), Ph.D.Dissertation, Astronomical Institute, University of Berne, Switzerland, 1996.
- /19/ Bürgman, R., M. E. Ayhan, E. J. Fielding, T. J. Wright, S.McClusky, B. Aktuğ, C. Demir, O. Lenk, A. Türkezer : Deformation During the 12 November 1999, Düzce, Turkey Earthquake, from GPS and InSAR data, Bull. Seismol. Soc. Am. (Baskıda), 2002.
- /20/ Demir, C. : Türkiye Ulusal Düşey Kontrol Ağı-1999 (TUDKA-99)'un Dengelenmesi. HGK İç Rapor No: Jeof-99-2, Jeodezi Dairesi Başkanlığı, Ankara, 1999.
- /21/ Demir, C., M.Açıkgöz : Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı (TUTGA) noktalarında uzun periyotlu (inter-sismik) hızların kestirilmesi, Harita Dergisi, No. 123, 2000.

- /22/ Demirkol, Ö. : Türkiye Ulusal Düşey Kontrol Ağı Datum Probleminin Çözümüne Yönelik Kara ve Deniz Gravite Ölçülerine Dayalı Jeoid Belirleme. YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, 1999.
- /23/ Dewhurst, W.T. : The Application of Minimum Curvature-Derived Surfaces in the Transformation of Positional Data From the North American Datum of 1927 to the North American Datum of 1983, NOAA Tech. Mem. NOS NGS-50,1990.
- /24/ DMA(Defence Mapping Agency) : World Geodetic System 1984: Its definition and relationships with local geodetic systems, DMA TR 8350.2, 1987.
- /25/ Echstein, B. : Evaluation of Spline and Weighted Average Interpolation Algorithms, Computer & Geosciences , Vol.15. No.1, pp.79-84, 1989.
- /26/ Golden Software : SURFER 7, Users Guide: Contouring and 3D surface mapping for scientists and engineers, Colorado, USA, 1999.
- /27/ Gurtner, W. : The Use of IGS Products For Densifications of Regional/Local Networks. EUREF Symposium. 17-19 May, Budapest, 1993.
- /28/ Gürkan, O. : Astrojeodezik Ağların Deformasyonu ve Türkiye I.Derece Triangülasyon Ağı, KTÜ, 1979.
- /29/ Gürdal,M.A., Y.S.Şengün, M. Açıkgoz, O. Fırat. : ED50-WGS84 Datum Dönüşümünün Harita Üretimlerinde Kullanılması ve Revizyon Çalışmalarının GPS İle Yapılması. Harita Genel Komutanlığı, Jeodezi Dairesi Başkanlığı, Teknik Rapor No.:JEO-2001-1, Ankara, 2001.
- /30/ Heiskanen, W., H. Moritz : Physical Geodesy. Freeman, London, 1967.
- /31/ Herring, T. A. : GAMIT/GLOBK Kalman Filter VLBI and GPS Analysis Program; Version 4.1. Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, 1997.
- /32/ HGK : Türkiye Birinci Derece Yatay Kontrol Ağının 1954 Yılı Dengelemesine Göre Konum Hataları, Bilimsel Rapor No:1, Harita Genel Komutanlığı, Ankara, 1988.
- /33/ HGK : Nivelman Çalışmaları Teknik Talimatı, HGK:MST/125-10, HGK, Ankara, 1992.

- /34/ Jackson, J. ve McKenzie, D. P : The Relationship Between Plate Motions and Seismic Moment Tensors, and the Rates of Active Deformation in the Mediterranean and Middle East, Geophys. J. R. Astr. Soc., 93:45-73, 1988.
- /35/ Kahveci, M. : SLR-MAREOGRAF Noktalarında 1995 Yılında Yapılan GPS Ölçülerinin Değerlendirme Sonuçları. HGK İç rapor No:UZAYTEK-97-2, 1997.
- /36/ Kahveci,M., A.Türkezer, M.Ocak : Processing Results of the Turkey Subnetwork of the EUVN97 GPS Campaign. BKG, Band 7, EUREF Publ., No.7/11, 149-169, 1999.
- /37/ Kılıçoğlu, A. : 3 Boyutta Benzerlik Dönüşümü Parametrelerinin Hesaplanması. HGK İç rapor No:JEOf-94-1, 1994.
- /38/ Kılıçoğlu, A. : Marmara Bölgesinde 1992-1994-1996 Yıllarında Yapılan GPS Ölçülerinin Değerlendirilmesi ve Birleştirilmesi HGK İç rapor No: JEOf-98-3, 1998.
- /39/ Kitanidis, P.K. : Introduction to Geostatistics. Cambridge University Press 1997.
- /40/ Komaki, K : The Readjustment Of the Meiji First Order Triangulation Network by The Projection Methods. Bull. of the Geographical Surv. Ins., Vol. XXIX, Part 2, 1989.
- /41/ Kurt, A.İ. : 2001 yılı Çerkeş-3 GPS Kampanyası Ölçülerinin Değerlendirme Sonuçları. HGK İç rapor No: UZAYTEK-01-08, 2001a.
- /42/ Kurt, A.İ. : 2000 yılı Batı Akdeniz GPS Kampanyası Ölçülerinin Değerlendirme Sonuçları HGK İç Rapor No: UZAYTEK-01-03, 2001b.
- /43/ Lenk, O. : Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı (TUTGA) Teknik Esasları, HGK İç Rapor, Ankara, 1997.
- /44/ Lenk, O., C. Demir : Turkish National Fundamental GPS Network (TNFG), EUREF 2000 Sempozyumu, Tromso, 2000.
- /45/ Malys, S. : Dispersion And Correlation Among Transformation Parameters Relating Two Satellite Reference Frames. Department of Geodetic Sciences and Surveying, Ohio State University, Report No.392, Columbus, 1998.
- /46/ McClusky S., vd. : GPS Constraints on Crustal Movements and Deformations in the Eastern Mediterranean (1988-1997): Implications for

Plate Dynamics. JGR.Vol.105, No.B3, 5695-5719, 2000.

- /47/ McKenzie, D. P. : Active Tectonics of the Mediterranean Region, Geophys. J. R. Astr. Soc., 30, 109-185, 1972.
- /48/ Murakami, M., Ogi, S. : Realization of the Japanese Geodetic Datum 2000 (JGD2000). Bull. of the Geographical Survey Institute. Vol. 45, 1999.
- /49/ Müller, I. : Review Of Problems Associated With Conventional Geodetic Datums. Canadian Surv., 28, 5, 514 – 523, 1974.
- /50/ Nakiboğlu, M., M.E Ayhan, C. Demir, A.Kılıçoğlu, , İ. Şanlı : Kuzey Anadolu fayı batı kesiminde kabuk hareketleri: Jeodezik ölçümler ve jeofizik yorumları, TÜBİTAK, İNTAG 910, 1998.
- /51/ NIMA (National Imaginary and Mapping Agency) : World Geodetic System 1984: Its definition and relationships with local geodetic systems, NIMA TR8350.2, 1997.
- /52/ Ocak, M. : 1996 yılı MIT-TUJJB GPS Kampanyası Ölçülerinin Değerlendirme Sonuçları. HGK İç Rapor No : UZAYTEK-97-3, 1997.
- /53/ Ocak, M. : 1998 yılı MIT GPS Kampanyası Ölçülerinin Değerlendirme Sonuçları. HGK İç Rapor No: UZAYTEK-98-3, 1998.
- /54/ Ocak, M. : 1999 yılı TUTGA GPS Kampanyası Ölçülerinin Değerlendirme Sonuçları. HGK İç Rapor No: UZAYTEK-00-3, 2000.
- /55/ Ocak, M. : 2000 yılı JEODEF GPS Kampanyası Ölçülerinin Değerlendirme Sonuçları. HGK İç Rapor No: UZAYTEK-01-04, 2001.
- /56/ Ocak, M. : 2001 yılı Bolvadin GPS Kampanyası Ölçülerinin Değerlendirme Sonuçları. HGK İç Rapor No: UZAYTEK-02-01, 2002.
- /57/ Okada, Y. : Surface Deformation Due to Shear And Tensile Faults İn A Half-Space. Bull. Seismol. Soc. Am. Vol.75, 1135-1154, 1985.
- /58/ Rapp, R.H. : Geometric Geodesy Vol. II (Advanced Techniques), OSU (Lecture Notes), 1976.

- /59/ Reilinger, R. E., S. Ergintav, R. Bürgmann, S. McClusky, O. Lenk, A. Barka, O. Gürkan, L. Hearn, K.L. Feigl, R. Cakmak, B. Aktug, H. Ozener, M.N. Toksöz : Coseismic And Postseismic Fault Slip For The 17 August 1999, M=7.5, İzmit, Turkey Earthquake, Science, 289, 1519 – 1524, 2000.
- /60/ Reilinger, R. E., S. C. McClusky, M. B. Oral, R. W. King, M. N. Toksoz, A.A. Barka, İ. Kınık, O. Lenk, İ. Şanlı : Global Positioning System Measurements of Present day Crustal Movements in the Arabia-Africa-Eurasia Plate Collision Zone, JGR, Vol. 102, No. B5, 9983-9999, 1997.
- /61/ Rothacher M., L. Mervart : Bernese GPS Software Version 4.0. AIUB, Berne, 1996.
- /62/ Sarbanoğlu, H., M.E. Ayhan, K. Kenan : Yatay Kontrol Verileri Kullanarak Türkiye Ulusal Datumu İle Avrupa Datumu 1950 Arasında Üç Boyutta Benzeşim Dönüşümünün Uygulanması Ve Yapılmış Olan Dönüşümle Karşılaştırma. HYTO, Ankara. (Arş. Çalışması) 1979.
- /63/ Sideris, M.G. : The Role Of the Geoid in One-Two- And Three Dimensional Network Adjustments. CISM Jou. ACSGC, 44(1), 9-18, 1990.
- /64/ Smith, D.A., D.G. Milbert : The GEOID96 High-Resolution Geoid Height Model for the United States. Journal of Geodesy, 73, 219 – 236, 1999.
- /65/ Smith, W. H. F, P.Wessel : Gridding With Continuous Curvature Splines İn Tension. Geophysics, 55, 293-305, 1990.
- /66/ Snay, R. A. : Using the HTDP Software to Transform Spatial Coordinates Across Time And Between Reference Frames, Surv., And Land Inf. Sys., 59(1), 15 – 25, 1999.
- /67/ Şengün, Y. S. : 2000 yılı Postsismik-1 GPS Kampanyası Ölçülerinin Değerlendirme Sonuçları. HGK İç Rapor No: UZAYTEK-01-09, 2001a.
- /68/ Şengün, Y. S. : 2000-2001 yılları Postsismik-2,3 GPS Kampanyaları Ölçülerinin Değerlendirme Sonuçları. HGK İç Rapor No: UZAYTEK-01-01, 2001b.
- /69/ Şengün, Y. S. : 2001 yılı Postsismik-4 GPS Kampanyaları Ölçülerinin Değerlendirme Sonuçları. HGK İç Rapor No: UZAYTEK-

02-03, 2002.

- /70/ Thomson, D.B., M.M.Nassar, C.L.Merry, : Distortions Of Canadian Geodetic Networks Due To The Neglect Of Deflections Of The Vertical And Geoidal Heights. Canadian Surv., 28, 5, 598 – 605, 1974.
- /71/ Tscherning, C.C., P.Knudsen, R.Forsberg : Description of the GRAVSOFr Package. Geophysical Institute, University of Copenhagen, Technical Report, 1991, 2.Ed. 1992, 3. Ed. 1993, 4. Ed. 1994.
- /72/ Törkezer, A. : MIT92 Kampanyası Değerlendirme Sonuçları. HGK İ Rapor No:UZAYTEK-97-5, 1997.
- /73/ Törkezer, A. : KKTC98 Kampanyası Değerlendirme Sonuçları. HGK İ Rapor No:UZAYTEK-98-2, 1998.
- /74/ Ulubay, A. : Bi Kbik Spline Fonksiyonları İle Jeoid Yksekliklerinin Prediksiyonu. Harita Yksek Teknik Okulu, HGK, (Bitirme Tezi), Ankara 1990.
- /75/ Vanicek, P., E.J. Krakiwsky, : Geodesy : The Concepts. North Holland Publising Co., Amsterdam, 1986.
- /76/ Wild, U. : Ionosphere and Geodetic Satellite Systems, Permanent GPS Tracking Data for Modelling and Monitoring. Geodetisch-Geophysikalische Arbeiten in der Schweiz, Band 48, 1994.
- /77/ Yıldırım, A. : Türkiye Mutlak Jeoidinin (TG-2000) Belirlenmesi. HGK İ Rapor NO:JEOf-NİV-1-02, Ankara, 2000.