175260

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BURDUR FETHİYE FAY ZONU TEKTONİK HAREKETLERİNİN GPS İLE BELİRLENMESİ

DOKTORA TEZİ

Yük.Müh. Saffet ERDOĞAN
(501002310)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 9 Mayıs 2005
Tezin Savunulduğu Tarih : 26 Eylül 2005

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Muhammed ŞAHİN (İTÜ)**

Diğer Jüri Üyeleri **Prof. Dr. Okan TÜYSÜZ (İTÜ)**

Doç. Dr. Semih ERGİNTAV (TÜBİTAK MAM)

Prof. Dr. Rasim DENİZ (İTÜ)

Doç. Dr. Haluk ÖZENER (BÜ)

EYLÜL 2005

ÖNSÖZ

Çalışmam süresince benden yardımlarını esirgemeyen, her konuda destek olan ve önümü açan tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Muhammed ŞAHİN' e, tezimin arazi çalışmalarında yardımlarını esirgemeyen arkadaşlarım Yrd. Doç. Dr. Mevlüt GÜLLÜ, Yrd. Doç. Dr. Tamer BAYBURA, Araştırma Görevlileri İbrahim TİRYAKİOĞLU, A. Okan ERDOĞAN, Fatih TAKTAK, Ali Kazım TELLİ, Hakan YAVAŞOĞLU, Turan ERDEN, Serdar BİLGİ, Himmet KARAMAN ve Gürsel RÜZGAR' a, teşekkür etmeyi bir borç bilirim.

Ayrıca tezimin TÜBİTAK projesi olarak hazırlanmasında görüş ve desteklerini esirgemeyen değerli hocalarım Doç. Dr. Ergin TARI, Prof. Dr. Okan TÜYSÜZ ve Doç. Dr. Semih ERGİNTAV' a ayrıca teşekkür ederim.

Yine Karedeniz Teknik Üniversitesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümündeki GPS aletleriyle Projeye ve arazi çalışmalarına destek veren Doç. Dr. Ertan GÖKALP ve Araştırma Görevlisi Yüksel BOZ' a teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca daima bana maddi ve manevi destek olan sevgili aileme şükranlarımı sunarım.

Mayıs 2005 Saffet ERDOĞAN

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR v
TABLO LİSTESİ vi
ŞEKİL LİSTESİ vii
SEMBOL LİSTESİ ix
ÖZET x
SUMMARY xi

1. GİRİŞ 1

2. TEKTONİK HAREKETLERİNİN BELİRLENMESİNDE KULLANILAN JEODEZİK YÖNTEMLER 3
2.1. Giriş 3
2.2. Yersel Yöntemler 4
2.3. Uzaysal Yöntemler 5
2.3.1. VLBI 6
2.3.2. SLR 8
2.3.3. Küresel Konumlama Sistemi 10

3. TEKTONİK HAREKETLERİN BELİRLENMESİNDE GPS'İN KULLANILMASI 23
3.1. Giriş 23
3.2. GPS Verilerinin Değerlendirilmesi 26
3.3. GAMIT 27
3.4. GLOBK 30

4. GLOBAL LEVHA TEKTONİĞİ VE TÜRKİYEYİ ETKİLEYEN LEVHA HAREKETLERİ 32
4.1. Genel Bilgi 32
4.2. Levha Tektoniği 34
4.2.1. Diverjan Levha Sınırlarındaki Jeolojik Olaylar 36
4.2.2. Konverjan Levha Sınırındaki Jeolojik Olaylar 37
4.2.3. Transform Faylı Sınırlardaki Jeolojik Olaylar 38
4.3. Depremlerin Oluşumu ve Faylar 38
4.3.1. Faylar 39
4.4. Türkiye ve Çevresindeki Tektonik Yapı 41
4.4.1. Türkiye'nin Deprem Aktivitesi 42
4.4.2. Başlıca Deprem Bölgeleri 43
4.4.3. Batı Anadolu'nun Tektoniği 45
4.4.4. Burdur Fethiye Fay Zonu 46
4.4.5. Burdur Fethiye Fay Zonunda Meydana Gelen Depremler 47

5. UYGULAMA **50**
5.1. Çalışmanın Amacı 50
5.2. İstikşaf Ve GPS Ölçmeleri 50
5.2.1. Birinci Kampanya Ölçmeleri 52
5.2.2. İkinci Kampanya Ölçmeleri 52
5.2.3. Üçüncü Kampanya Ölçmeleri 53
5.2.4. Dördüncü Kampanya Ölçmeleri 54
5.3. Kampanya GPS Verilerinin Değerlendirilmesi 55

6. GPS VEKTÖRLERİNİN JEOLOJİK OLARAK YORUMLANMASI VE SONUÇLAR **74**
KAYNAKLAR **83**
EKLER **90**
ÖZGEÇMİŞ **115**

KISALTMALAR

EDM	: Elektronik Uzaklık Ölçer
VLBI	: Very Long Baseline Interferometry
SLR	: Satellite Laser Ranging
LLR	: Lunar Laser Ranging
GPS	: Global Positioning System
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
S/A	: Selective Availibity
HUAM	: Uydu- Alıcı mesafesi
DOP	: Dilution of precision
IGS	: International GPS Service for Geodynamics
IGSCB	: IGS Central Bureau
TEC	: Total electron content
KD	: Kuzey doğu
GB	: Güney batı
KB	: Kuzey batı
GD	: Güney doğu
M	: Magnitüt
GEONET	: GPS Earth Observation Network
IAG	: International Association of Geodesy
JPL	: Jet Propulsion Laboratory
GIPSY	: GPS-Inferred Positioning System
RINEX	: The Receiver Independent Exchange Format
MIT	: Massachusetts Institute of Technology
FAGS	: The Federation of Astronomical and Geophysical Data Analysis Service
MAM	: Marmara Araştırma Merkezi
İTÜ	: İstanbul Teknik Üniversitesi
AKÜ	: Afyon Kocatepe Üniveritesi
KTÜ	: Karadeniz Teknik Üniversitesi
UT	: Universal Time
POD	: Precision Orbit Determination
Nrms	: Normalized Root Mean Square
Wrms	: Weighted Root Mean Square

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2.1	GPS Hata Kaynaklarının Değerleri	18
Tablo 5.1	Burdur Fethiye Fay Zonu GPS Noktalar	51
Tablo 5.2	Birinci GPS Kampanyasında Kullanılan Donanımlar ve IGS Kodları	52
Tablo 5.3	İkinci GPS Kampanyasında Kullanılan Donanımlar ve IGS Kodları	53
Tablo 5.4	Üçüncü GPS Kampanyasında Kullanılan Donanımlar ve IGS Kodları	53
Tablo 5.5	GPS Ölçü Noktaları ve Ölçü Tarihleri	55
Tablo 5.6	Değerlendirmeye Katılan IGS Noktaları	56
Tablo 5.7	Avrasya'yı Temsil Eden Noktalar	62
Tablo 5.8	Avrasya'yı Temsil Eden Noktalar	63
Tablo 5.9	Avrasya'yı Temsil Eden Noktalar	63
Tablo 5.10	Avrasya'yı Temsil Eden Noktalar	64
Tablo 5.11	Avrasya'yı Temsil Eden Noktalar	64
Tablo 5.12	IGS Noktalarının Karşılaştırılması	67

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1 : Yakın Alan Jeodezi Teknikleri 5
Şekil 2.2 : VLBI İstasyonları 6
Şekil 2.3 : VLBI Çalışma Prensibi 7
Şekil 2.4 : SLR Uyduları 9
Şekil 2.5 : SLR Uydusu Çalışma Anı 9
Şekil 2.6 : Blok II GPS Uydusu 11
Şekil 2.7 : Kontrol Bölümü 12
Şekil 2.8 : Tekli Fark Yöntemi 16
Şekil 2.9 : Çiftli Fark Yöntemi 17
Şekil 3.1 : IGS İstasyonlarının Konumları 25
Şekil 4.1 : Yerkürenin Katmanlı İç Yapısı 33
Şekil 4.2 : Dünyamızın Dış Kısmındaki Katmanlar 34
Şekil 4.3 : Dünyamızın Tektonik Levha Yapısı 35
Şekil 4.4 : Başlıca Levha Sınırı Tipleri 36
Şekil 4.5 : Diverjant Levha Sınırlarında Transform Faylı Sınırların Oluşumu 37
Şekil 4.6 : Faylanma Aşamaları 39
Şekil 4.7 : Fayların Gelişimi 40
Şekil 4.8 : Horst ve Graben Yapısı 41
Şekil 4.9 : Türkiye ve Çevresinin Tektonik Durumu 41
Şekil 4.10 : Türkiye Sismisite Haritası 45
Şekil 4.11 : Burdur Fethiye Fay Zonunun Komşu Levhalara Göre Konumu 47
Şekil 4.12 : Bölgede Son Yüzyılda Meydana Gelen Depremler 48
Şekil 4.13 : Bölgenin Ana Tektonik Yapısı 49
Şekil 5.1 : GPS Noktaları 51
Şekil 5.2 : Yeni Eklenen GPS Noktaları 54
Şekil 5.3 : Üçüncü Adım: Referans Sisteminin Tanımı 59
Şekil 5.4 :Ölçü Noktalarına Ait Tekrarlılık Çizimleri Ve Nrms Ve Wrms Değerleri 60
Şekil 5.5 : Altamimi'nin (2002) Noktaları Kullanılarak, Burdur Fethiye GPS Ağına Ait ITRF00 Sisteminde Avrasya Plakasına Göre Hız Vektörleri 65
Şekil 5.6 : GAMIT GLOBK Noktaları Kullanılarak Burdur Fethiye GPS Ağına Ait ITRF00 Sisteminde Avrasya Plakasına Göre Hız Vektörleri 66
Şekil 5.7 : Yavaşoğlu (2003) Noktaları Kullanılarak Elde Edilen Burdur Fethiye GPS Ağına Ait ITRF00 Sisteminde Avrasya Plakasına Göre Hız Vektörleri 67
Şekil 5.8 : Mc Clusky ve Diğerlerinin (2000) Kullandığı Noktalarla Burdur Fethiye GPS Ağına Ait ITRF00 Sisteminde Avrasya Plakasına Göre Hız Vektörleri 68

Sayfa No

Şekil 5.9 : Erdoğan (2005) Kullandığı Noktalarla Burdur Fethiye GPS Ağına Ait ITRF00 Sisteminde Avrasya Plakasına Göre Hız Vektörleri 69

Şekil 5.10 : SOPAC tarafından yayınlanan IGS İstasyonlarına ait hız vektörleri..... 69

Şekil 5.11 : Burdur Fethiye GPS Ağı Noktalarına ait 2004-2005 Yılı Kampanyalarından Elde Edilen Hız Vektörleri..... 70

Şekil 5.12 : Burdur Fethiye GPS Ağı Noktalarına ait 2003-2005 Yılı Kampanyalarından Elde Edilen Hız Vektörleri..... 71

Şekil 5.13 : Burdur Fethiye GPS Ağına Ait ITRF00 Sisteminde Avrasya Plakasına Göre Bağıl Hız Vektörleri..... 72

Şekil 5.14 : Burdur Fethiye GPS Ağına Ait noktaların Avrasya Plakasına Göre(2005) hızları, Mc Clusky ve diğerlerinin (2000) Anadolu'nun Kinematiği için hesapladıkları Euler Pole ile hız değerleri ve bu hız değerlerinin farkları..... 73

Şekil 6.1. : Burdur Fethiye Fay zonunda yer alan GPS noktalarında ITRF00 Sisteminde Avrasya Plakasına Göre Hız Vektörleri..... 75

Şekil 6.2 : Burdur Fethiye Fay Zonunda Yer Alan Faylar..... 76

Şekil 6.3 : Anadolu'nun Kinematiği 77

Şekil 6.4 : Anadolu'nun Blok Modeli..... 78

Şekil 6.5 : 1 Ekim 1995 Dinar ve 12 Mayıs 1971 Burdur Depremleri Fay Çözümleri..... 79

Şekil 6.6 : 1908-1996 yılları arasında meydana gelen depremlerin çözümleri..... 79

Şekil 6.7 : Burdur Fethiye GPS Ağına Ait noktaların Avrasya Plakasına Göre (2005) hızları, Mc Clusky ve diğerlerinin (2000) Anadolu'nun Kinematiği için hesapladıkları Euler Pole ile hız değerleri ve bu hız değerlerinin farkları..... 80

Şekil 6.8 : Anadolu Levhası etrafındaki Bağıl Blok Hareketleri..... 81

SEMBOL LİSTESİ

D	: Mesafe
c	: Hız (Işık Hızı)
t_g	: Lazer ışınının gönderim zamanı
Δt	: Zaman(gecikme zamanı)
t_d	: Lazer ışınının dönüş zamanı
f_0	: Temel frekans
t_k	: k alıcısı tarafından üretilen zaman
t^p	: Uydu tarafından gönderilen nominal zaman
I_k^p	: İyonosferik gecikme
T_k^p	: Troposferik gecikme
ρ_k^p	: Uydu ile alıcı arasındaki toposentrik mesafe
Φ_A^k	: A noktasından k uydusu için t anında ölçülen faz
ρ_A^k	: A'dan k'ya geometrik uzaklık
N_A^k	: Başlangıç tam sayı bilinmiyeni
Φ^k	: Uydu saat hatası
Φ_A	: Alıcı saat hatası
r	: Serbestlik derecesi
σ	: Belirsizlik
af_0	: Saat eğilim katsayısı
T_{GD}	: Gurup gecikmesi

BURDUR FETHİYE FAY ZONU TEKTONİK HAREKETLERİNİN GPS İLE BELİRLENMESİ

ÖZET

Günümüzde, küresel ölçekte, birbirine benzer özellikler gösteren levhalar üzerinde seçilen noktalar üzerinde deformasyon ölçümleri yapılabilmektedir. Bu tür ölçümlerin hedefleri, gerilim birikimlerinin ortaya çıkarılmasını sağlamak ve bu birikme üzerinde litosferin ve de diğer kuvvetlerin nasıl bir etki yaptıklarının belirlenmesini sağlamaktır. Bunun sağlanması için yapılan ölçümlerin güvenirliğinin oldukça yüksek olması gerekmektedir. Belli aralıklarla tekrarlanan GPS gözlemlerinin değerlendirilmesi sonucu noktaların ilk ölçme anından, son ölçmelerin yapıldığı tarihe kadar olan yer değiştirmeleri belirlenmekte ve hız vektörleri ve yer değiştirmeleri yardımıyla bölgede gerilimlerin hesaplanması sağlanmaktadır. Bu çalışmalar da tektonik hareketlerin zamana bağımlı hareketlerini anlama ve deprem riskini kestirme açısından oldukça büyük önem taşımaktadır.

Burdur Fethiye fay zonu Türkiye'nin güneybatısında tektonik olarak oldukça aktif bir bölgede yer almaktadır. Tarihi kayıtlara göre bölge birçok defa depremlerle yıkıma uğramıştır. Afyon ve çevresinde 20. yy' ın başından bu yana magnitüdü 5 den büyük 35 deprem kaydedilmiştir. Yine Burdur ve Fethiye arasında kalan bölgede magnitüdü 5 ila 7 arasında 7 büyük deprem oluşmuştur. Bunlar; 3 Kasım 1914 (M. 7.0) Burdur, 7 Ağustos 1925 (M. 6.0) Dinar, 25 Nisan 1957 Fethiye (M 7.1), 12 Mayıs 1971 Burdur (M. 6.2), 1 Ekim 1995 Dinar (M. 6.1), 15 Aralık 2000 Akşehir (M. 5.9), 3 Şubat 2002 Çay (M. 6.0) depremleridir.

Tezin konusu olan "Burdur Fethiye fay zonu tektonik hareketlerinin belirlenmesi" adlı çalışma, TÜBİTAK tarafından Araştırma projesi olarak kabul edilmiş ve kabul edilen bu proje kapsamında İstanbul Teknik Üniversitesi, Afyon Kocatepe Üniversitesi ve Karadeniz Teknik Üniversitelerince desteklenmiştir. Projenin amacı GPS ölçüleri yardımıyla bölgedeki tektonik hareketlerin belirlenmesidir. Bu amaçla, bölgeyi karakterize eden 10 noktada 4 periyotluk GPS ölçümü yapılmıştır. İlk periyot Ağustos 2003'te, ikinci periyot Mart 2004'de, üçüncü periyot Eylül 2004'de ve 4.periyot ölçümlerde Ağustos 2005'te yapılmıştır. İlk 2 periyot 12 şer saatlik ölçülerle, 3. ve 4. periyotlar ise 8 er saatlik 3 tekrarlı ölçümle 30 sn lik ölçü aralıklarıyla yapılmıştır. 3. periyotta ağa 6 yeni nokta daha ilave edilmiştir. Ölçüler GAMIT/GLOBK yazılım takımı kullanılarak değerlendirilmiştir.

Tezin ilk bölümünde, çalışmaya giriş yapılmış, ikinci bölümde tektonik hareketlerin belirlenmesinde kullanılan başlıca jeodezik yöntemler anlatılmıştır. Üçüncü bölümde ise tektonik hareketlerin belirlenmesinde GPS' in kullanımı anlatılmıştır. Dördüncü bölümde global levha tektoniği hakkında bilgi verilmiş ve Türkiye'yi etkileyen tektonik hareketler irdelenerek, Ülkemizdeki 2 ana aktif fay sistemi olan Kuzey ve Doğu Anadolu fayları ile Batı Anadolu Graben sistemi kadar iyi bilinmeyen Burdur Fethiye fay zonu tektonik yapısı ve sismisitesi hakkında bilgi verilmiştir. Söz konusu bölge son 30 yıllık dönemde çalışılmış ve haritalanmış olmasına karşılık, bu çalışmaların tamamı bölgenin paleotektonik yapısına yönelik olarak yapılmakla kalmıştır. Beşinci bölümde de uygulama çalışması ve çalışmadaki GPS ölçülerinin analizi yapılmıştır. Altıncı ve son bölümde çalışma ile ilgili jeolojik yorumlar yapılarak öneriler sunulmuştur.

DETERMINATION OF THE TECTONİC MOVEMENTS ALONG THE BURDUR FETHİYE FAULT ZONE WITH GPS MEASUREMENTS

SUMMARY

Today globally measurements are being made on the chosen points of plates that show similar characteristics. The aims of these measurements are to reveal the forced accumulations and on these accumulations how lithosphere and other forces make an impact. To accomplish this, the reliability of the measurements must be considerably good. With the evaluation of the results of the repeated periodical observations, place alterations were determined from the dates of the first measurement to the last measurement. And as mentioned above with the help of velocity vectors and place alterations the tensions in the area were computed. This is very important for the understanding of the tectonic movements being dependent on time and to be able to estimate an earthquake risk.

Afyon, Burdur and Fethiye region, southwest of Turkey is located on a tectonically active area. According to historical recordings, the region was destructed by earthquakes many times. In Afyon region more than 35 earthquakes occurred, whose magnitudes are more than 5, from the beginning of the 20th century. Seven earthquakes recorded which magnitudes are between 5.0 and 7.0 over the last 90 years in the region between Burdur and Fethiye (October 3 1914 Burdur, M. 7.0, August 7 1925 Dinar, M. 6.0, April 27 1957 Fethiye, M 7.1, May 12 1971 Burdur, M. 6.2, October 1 1995 Dinar, M. 6.1, December 15 2000 Akşehir, M. 5.9, February 3 2002 Çay, M. 6.0 earthquakes).

The topic of this thesis, "Monitoring of Deformations Along Burdur Fethiye Fault Zone With GPS", founded by The Scientific and Technical Research Council of Turkey (TUBITAK), Istanbul Technical University (ITU), Karadeniz Technical University (KTU) and Afyon Kocatepe University (AKU). The aim of project is to determine tectonic movements of the study area. To determine tectonic characteristic of the region, a network having ten sites is established. First and second campaigns were carried out with in August 2003 and March 2004. The duration of measurement in each day was about 12 hours. After first two periods, our network is extended with six new points. Then the third campaign was performed with 16 sites at two stages in 6 days in September 2004. The duration of measurement in each day was about 8 hours. The last campaign was performed August 2005. The GPS measurements for four campaigns are processed by using GAMIT/GLOBK software package.

In thesis, first chapter gives an introduction to the study. The second chapter explains mainly the space geodetic techniques used for determinations of plate tectonics. The third chapter explain how GPS can be used for tectonic movements In the fourth chapter global and local plate tectonics affecting Turkey are overviewed.. The fifth chapter explains and analysis the GPS measurements collected during the fieldwork under the project of "Determining Tectonic Movements on Burdur Fethiye Fault Zone". Finally the chapter six gives geological interpretations and suggestions.

1. GİRİŞ

Bilim adamları ilk yüzyıllardan bu yana depremlerin nedenlerini merak etmiş ve araştırmışlardır. 18. yy'da, ilk olarak İsviçreli matematikçi Leonhard Euler, kutup civarlarındaki hareketlenmeyi tarif eden küresel geometri teoremini kullanarak, litosferin hareketini açıklamıştır **(Witchayangkoon, 2000)**. 1908–1917 yılları arasında, Alman yerbilimci Alfred Wegener ise kıtaların kayması teorisini ileri sürmüştür **(Witchayangkoon, 2000)**. O da zamanının diğer bilim adamları gibi, kıtaların kırılmakta, kaymakta ve sonunda tekrar birbirleriyle birleşmekte olduğunu öne sürmüştür. Daha sonra ortaya atılan levha tektoniği teorisinde, yerkürenin manto üzerinde serbest şekilde hareket eden ve levhalara bölünmüş olan litosferle ilişkili olduğu ortaya atılmıştır. Levha tektoniği hipotezi, dünyanın dinamik hareketlerini yorumlamak için geliştirilmişti. Lambeck 1989 yılında levha tektoniği hipotezi ile ilgili genel olarak kabul gören şu önermelerini sunmuştur **(Segall ve Davis, 1997)**;

- Levha hareketleri milyonlarca yıldır ya da daha uzun bir süredir aynı hareketi sürdürme halindedir. Bu hareket, jeolojik gözlemlerle tespit edilmiş olmakla birlikte, son zamanlardaki pek çok yeryüzü ölçmeleri ile de ortaya konmuştur. Günümüz levha hareketleri de ortalama olarak milyonlarca yıl öncekilere benzemektedir.
- Bütün levha hareketlenmeleri levha sınırlarında oluşur. Yeryüzü ölçme teknikleri komşu levhalar arasındaki hareketlenmelerin nasıl meydana geldiğini gözlemlemek için geliştirilmiştir. Sınırlarından uzak noktalar düşünüldüğünde, levhalar birbirlerine doğru başka yere sapmaksızın hareket eden katı kütleler olarak gözlemlenmektedir. Bu gözlem, levha sınırlarındaki hareketlenmelerle karşılaştırıldığında deformasyonların çok daha küçük olduğunu ya da bu sapmaların milyonlarca yılın ortalaması alındığında, oldukça küçük kaldığını göstermektedir.

Dünya tarihi boyunca tektonik hareketler hep karmaşık bulunmuştur. Yeryüzünü ölçme bilgisi, levhaların incelenmesi üzerinde önemli bir rol oynamaktadır. Buna göre, levha ve fay hareketleri yüzünden Litosfer parçalarında deformasyon meydana gelmektedir. Bu deformasyon sonucunda levha ve fayların iki taraflarındaki noktalar birbirine göre hareket etmekte, hatta bu hareketin miktarı yıllık 100 mm'ye kadar

çıkabilmektedir **(Herring, 1999).** Birkaç yıllık süren araştırmalar sonucunda bir nokta üzerinde deformasyon olduğunun belirlenmesi, bu bölgede gerilim olduğunun ve bölgenin tektonik anlamda aktif olduğunun habercisi anlamına gelmektedir. Bu gibi durumlarda meydana gelen deformasyon birikimleri genellikle depremlerle sonuçlanmaktadırlar. Jeodezik ve jeofizik ölçmeler sonucu bu depremlerin önceden tahmin edilebilmeleri tüm bilimsel çalışmaların genel hedefini oluşturmaktadır.

Tektonik hareketlerin jeodezik yöntemlerle belirlenmesinde önceleri klasik yersel ölçme teknikleri ile yürütülen çalışmalar, teknolojinin gelişmesi ile EDM, VLBI, SLR gibi ölçme teknikleri ile gelişme ve genişleme imkânı bulmuştur. Bunlara paralel olarak, kullanım kolaylığı, her türlü hava şartlarında ve gece-gündüz kullanım imkânı ve maliyetlerindeki düşüşler ile beraber GPS, tektonik hareketlerin belirlenmesinde sıkça kullanılmaya başlanmıştır. Belli aralıklarla tekrarlanan GPS gözlemlerinin değerlendirilmesi sonucu noktaların ilk ölçme anından son ölçmelerin yapıldığı tarihe kadar olan yer değiştirmeleri belirlenmekte ve hız vektörleri ve yer değiştirmeleri yardımıyla bölgedeki deformasyonların hesaplanması sağlanmış olmaktadır **(Yavaşoğlu, 2003)**. Bu da tektonik hareketlerin zamana bağımlı hareketlerini anlama ve deprem riskini kestirme açısından oldukça önemli bir çalışma olmaktadır. Bu çalışmada GPS ölçme tekniği kullanılarak, çalışma bölgesi olan Burdur Fethiye fay zonundaki tektonik hareketler belirlenmiştir.

2. TEKTONİK HAREKETLERİNİN BELİRLENMESİNDE KULLANILAN JEODEZİK YÖNTEMLER

2.1. Giriş

Jeodezi, hem dünyanın genel şekli hem de yüzeyi ile ilgili ölçmeleri içine alan bir bilim dalıdır. İnsanoğlunun yeryüzünü doğru bir şekilde ölçmek amacıyla yaptığı denemelerin tarihi ilk gelişmiş uygarlıklara kadar dayanmaktadır. Mısırlılar ve Babilliler büyük çaplı mimari ve mühendislik işleri için ölçümler yapmışlardır. Jeodezinin babası olarak kabul edilen Eratosthenes, İsa'dan önce 276–195 yılları arasında yaşamış ve Dünya'nın yarıçapının 6267 km olması gerektiğini hesaplamıştır. Ölçüm tekniklerinin prezisyonu ve doğruluğu, insanlığın elde etme arzusunu geliştirmiştir. Jeodezik yöntemler ile yapılan ve sonucunda tektonik hareketler ile jeodezik ölçmeler arasında ilişki kurulan ilk tektonik çalışma, 1892 yılında Tapanuli-Sumatra depreminde yapılmıştır. Deprem öncesi yapılan açı ölçmeleri ile deprem sonrasında yapılan açı ölçmelerinin tutarsızlığı sonucunda çalışmayı yapan J.J.A. Müller bu farklılığın depreme bağlı olarak oluştuğunu belirlemiştir **(Yeats ve diğerleri, 1997).**

Günümüzde kullanılan çoğu jeodezik çalışma için, Dünya'nın topoğrafyasının zamana bağlı olarak hareketsiz olduğu kabul edilmektedir. Bu bağlamda, konum ve yükseklik bir kez doğru olarak belirlendiğinde, insan ömrü boyunca pek fazla değişime uğramamaktadır. Tektonik hareketler üzerine yapılan çalışmalar Dünya yüzeyindeki farkına varılmayan değişimlerin jeodezi ile ölçülmesine dayanır ki sonuçta bulunan anlamlı değişimler tektonik aktiviteyi işaret etmektedir. Günümüzde kullanılan bazı jeodezik ölçümlerin doğruluğu öyle üst seviyededir ki tektonik olarak aktif olan bölgelerdeki küçük deformasyonlar bile tespit edilebilmektedir. Bunun için bütün jeodezik ölçme teknikleri aynı temel adımları takip eder. Yapılan bir seri ölçüm ile bir kontrol noktaları ağı içindeki bağıl konumlar belirlenir. Yeterli uzunlukta bir süre boyunca bir jeodezik ağın yeniden ölçülmesi, eğer bir hareket meydana gelmişse, bu hareketin yönü ve büyüklüğünün tahmin edilmesinde rol oynayacaktır. Yeni tektonik hareketlerin tespiti için gerekli olan süre ölçüm tekniğinin doğruluğu ve hareketin oranının bir fonksiyonudur **(Keller ve Pinter, 1996).**

Jeodezinin tektonik uygulamalar için kullanımı yakın-alan ve uzak-alan yöntemleri olmak üzere 2 bölüme ayrılır. Uzak-alan jeodezisi; özellikle herhangi bir faydan olan

uzun mesafelerin ölçülmesi temeline dayanır. Bölgesel nivelman ağları bölgesel tektonik deformasyonların tespitine elverişlidir ki bunlar bazen bilim adamlarını daha önceden varlıklarını bilmedikleri aktiviteler konusunda uyarırlar. Orta New Mexico'daki Rio Grande riftini çaprazlama geçen bölgesel nivelman ağının bir ayağı buna bir örnektir. 1911 ve 1951 yılları arasındaki ölçümler de tektonik aktiviteden kaynaklanan 20 cm'lik bir düşey hareket tespit edilmiştir **(Keller ve Pinter, 1996).** Bunun aksine, yakın-alan jeodezisi aktif ya da aktif şüphesi uyandıran öğelerden metreden birkaç km'ye kadar olan mesafelerdeki yakın çevre ölçümlerini içerir. Litosfer üzerindeki farklı levhalara yerleştirilmiş olan noktalar arasındaki bağıl hareketlerin ölçülmesinde etkili olan birkaç uzak-alan tekniği bulunmaktadır. Levhaların arasındaki yavaş hareketin zamana bağlı olarak kayda değer ölçüde düzenli olduğu görülmektedir.

Modern jeodezicilerin kullandığı teknoloji, Eratosthenes, Mısırlı araştırmacılar ve Müller'den bu yana çok büyük değişime uğramıştır. Şu anki son durumu yansıtan teknikler 2 bölüme ayrılmıştır. Bunlar;

1. Yersel Yöntemler,
2. Uzaysal Yöntemler' dir.

2.2. Yersel Yöntemler

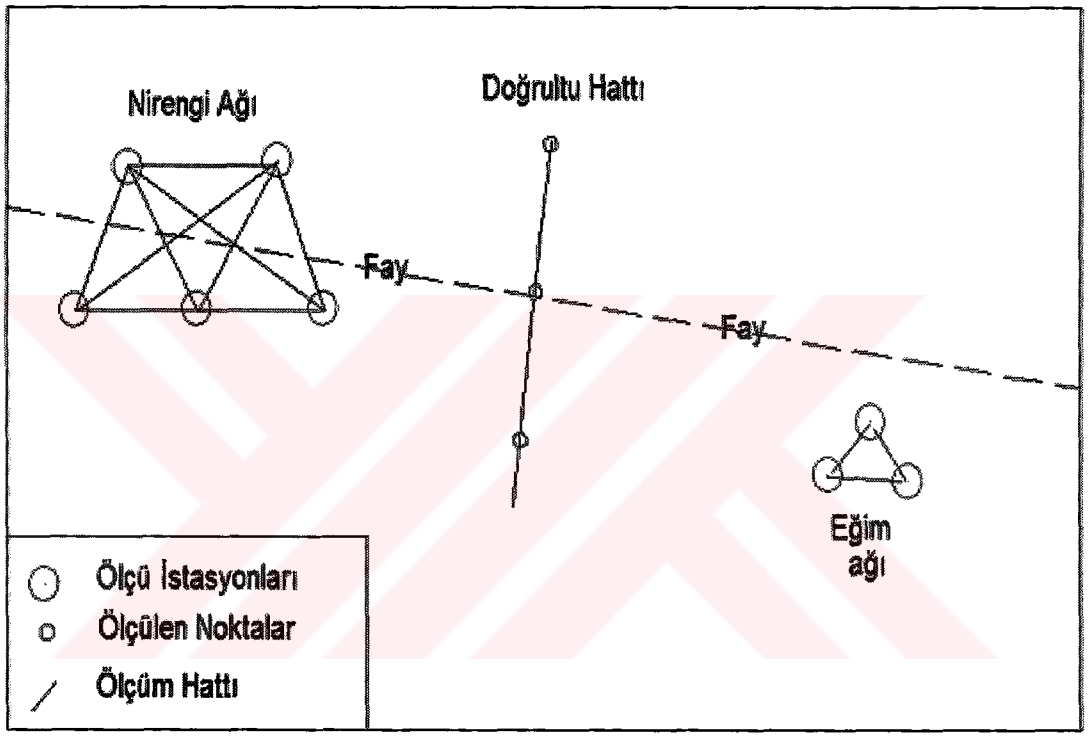
Fayların yakın çevrelerinde ya da jeolojik yapılardaki fay hareketleri, zemindeki yukarı ya da aşağı yönde hareketler, eğim ya da aktif fayın gelişimi, yakın-alan jeodezik ölçümler ile takip edilebilir. Bazı yaygın yakın-alan teknikleri Şekil 2.1'de gösterilmiştir.

Doğrultu ya da Nivelman Hatları; Ölçüm aletinin kilitlendiği bir doğrultuda ve fay alanını boydan boya geçen bir sabit noktalar hattını tek bir baz olarak kullanır. Bu hat boyunca tüm rölatif hareketler belirlenebilir. Doğrultulama, noktaların rölatif konumlarındaki değişimlere, nivelman hatları ise noktaların yüksekliklerinde olan değişimlere karşı duyarlıdır.

Nirengi ağları; Fayın her iki yanına da birkaç nokta yerleştirilir. Noktaların düzeni biri birine bağlanacak kapalı alanlar şekilde ayarlanır. Böylece her bir noktanın konumu diğerlerine göre rölatif olarak bilinebilir. Noktalar arasındaki baz hatlarının uzunlukları ve oryantasyonlarının tekrarlı bir şekilde ölçülmesi ağın presizyonununun fay boyunca artmasını sağlar.

Kuru-eğim ağları; Bu noktalar genellikle fayın bir ya da diğer tarafına yerleştirilmiş eşkenar üçgenler şeklinde düzenlenir. Noktaların rölatif yüksekliklerine ait herhangi bir değişim zeminin eğimini gösterir.

Bugün yüksek presizyonlu ölçümlerin pek çoğu elektronik uzaklık ölçerler (EDM) ile yapılmaktadır. Bu sistemler uzakta bir yerde yerleştirilmiş bir yansıtıcıya lazer ışını gönderip bu ışının geri yansımasını tespit etme prensibine göre çalışır. Işının gönderilmesi ve yansımasının tespit edilmesi arasında geçen süre aralığı ile lazer kaynağı ve yansıtıcı arasındaki mesafe belirlenir. Kullanılan ekipmana göre EDM sistemleri daha kısa mesafelerde çok daha iyi doğruluk değerleri elde edilebiliyor olsa da 10–20 km ya da daha uzun mesafelere kadar ölçüm yapabilirler. En iyi şartlarda, 1–35 km'lik baz hatlarında bir EDM kullanılarak 3–8 mm arasında ölçüm doğruluğu elde edilebilmiştir **(Keller ve Pinter, 1996)**. Bu doğruluk değerine, her bir noktada sıcaklık ölçümleri ve bir uçak ile nem ölçümleri yapılarak ulaşılmıştır.



Şekil 2.1 Yakın Alan Jeodezi Teknikleri **(Keller ve Pinter, 1996)**

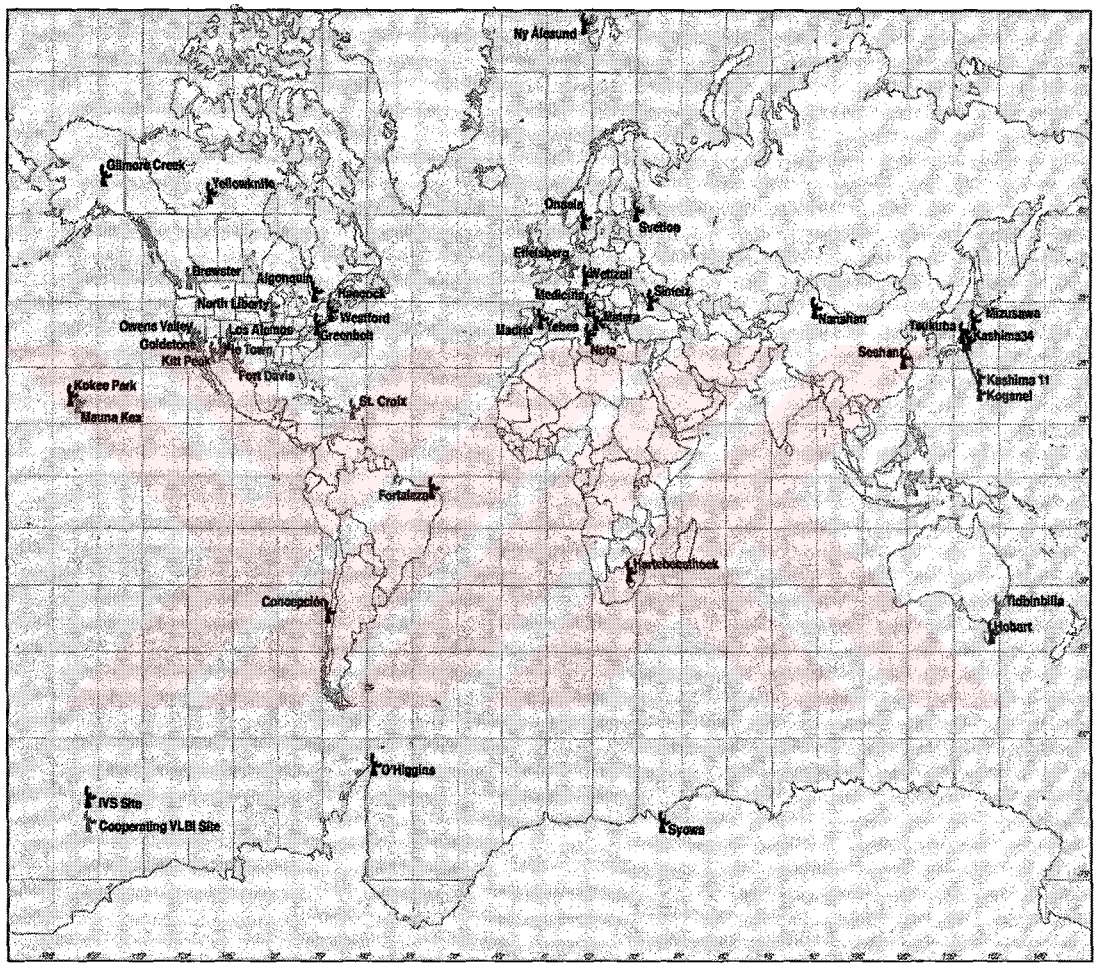
2.3. Uzaysal Yöntemler

Yersel yöntemler temelleri yüzlerce hatta bin yıla dayanan eski teknoloji ürünü yöntemlerdir. Uzaysal yöntemler ise sınırları ve uygulamaları sürekli artan yeni teknolojilerdir. Farklı tekniklerin her biri ihtiyaç duyulan donanım, potansiyel doğruluk ve muhtemel uygulamaları açısından sürekli bir değişim içerisindedir.

2.3.1. Çok Uzun Baz İnterferometrisi (VLBI)

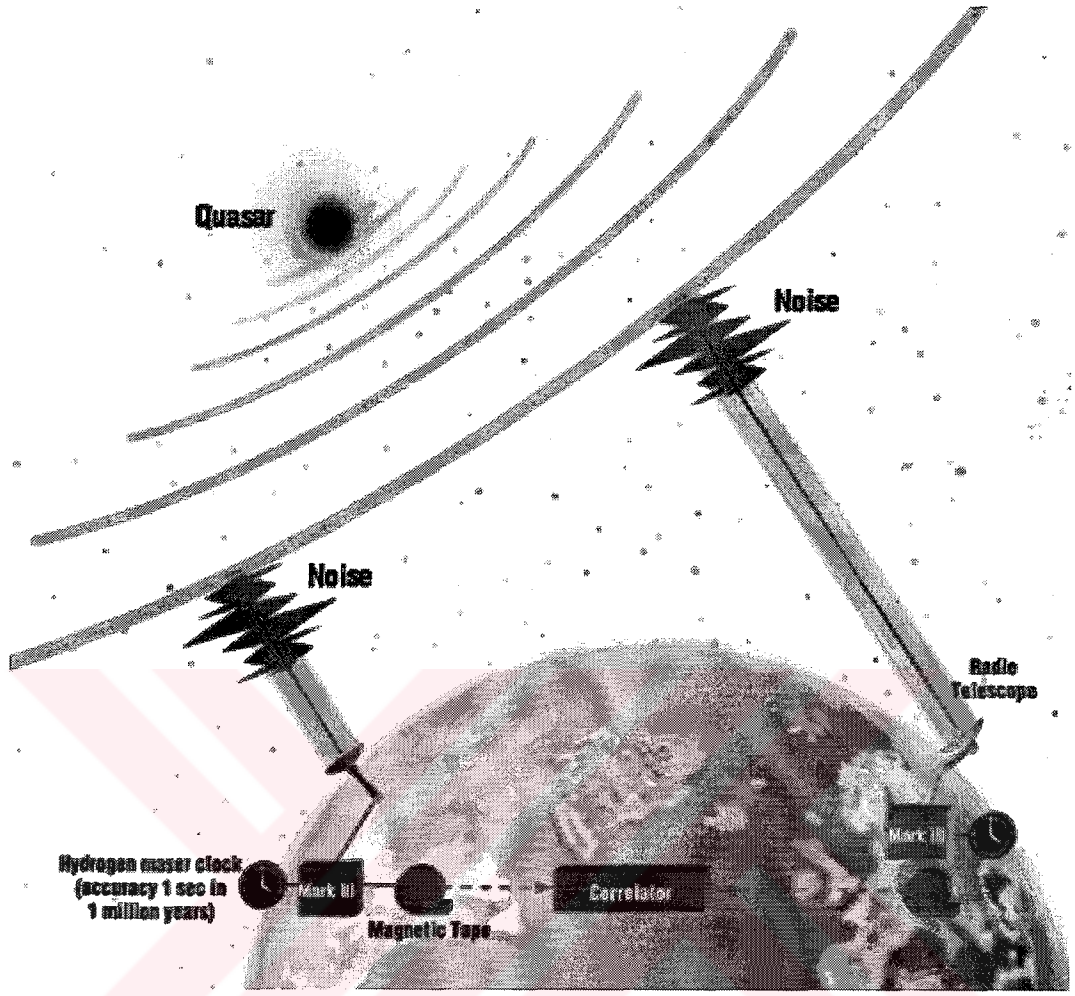
VLBI ölçmeleri 1977 yılında NASA tarafından başlatılmıştır. 1990 yılına gelindiğinde küresel bir ağ haline dönüşen VLBI, şu anda dünya üzerinde değişik ülkelere

dağılmış sabit ve gezici olmak üzere birçok istasyondan oluşmaktadır (Şekil 2.2) **(Yeats ve diğ., 1997, Murray, 1991).** VLBI tekniği ile dünya yüzeyinde birbirlerinden yüzlerce kilometre uzaklıktaki noktalarda yıldızları gözlemleyerek mm mertebesinde prezisyonla konum belirlenebilir. Dünyadan bu kadar uzakta olmalarına rağmen yıldızlar gökteki en istasyonvari ışık kaynaklarıdır. Geceleri gökyüzünde yer alan yıldızlar gibi yakın gök cisimleri konumlarını pek çok teleskopun fark edilebileceği bir oranda değiştirirler. Gözlemlerde ışık kaynağı olma açısından, yıldızlar daha çok tercih edilirler. Zira bunların, görünen ışığın frekansından daha yüksek frekanstaki radyo dalgaları dünya atmosferinden geçerken değişikliğe uğramaz.



Şekil.2.2 VLBI İstasyonları (http://ivscc.gsfc.nasa.gov/stations/ns-map.html)

Dünya üzerindeki radyo teleskopları yıldızların konumlarını takip edebilir ve gönderdikleri sinyalleri görüntüleyebilirler. Her bir kayıt istasyonu, bu bilgiyi ve tam kendilerine ulaştıkları anı yüksek doğrulukta ve atomik saatlerle kalibre ederek kaydeder. Herhangi bir yıldız için, bütün teleskoplardan tespit edilen radyo sinyali diğerlerinden biraz önce kaydedilmiş noktalarınki hariç benzerdir. Herhangi iki alıcı arasındaki gecikme zamanı bunların aralarındaki yıldız yönünde paralel olan mesafe ile ilişkilidir (Şekil 2.3).



Şekil 2.3 VLBI Çalışma Prensibi (International VLBI Service for Geodesy and Astrometry)

Burada;

D: Mesafe,

c: Hız(Işık Hızı),

Δt: Zaman (gecikme zamanı)

Mesafe= (ışık hızı)*(gecikme zamanı)

$$D = c \cdot \Delta t \qquad (2.1)$$

dir.

Bu yöntem şu anda en doğru sonuçları veren uzay-bazlı jeodezik tekniktir. Buna ek olarak, VLBI yersel değil göksel bir referans sisteminde ölçüm yaptığından Dünyanın dönme oranı ve dönme ekseni oryantasyonu gibi faklı bilgilerin de elde edilmesini destekler.

VLBI tekniğinin en büyük dezavantajı sıradan bir jeodezicinin ne kolaylıkla elde edebileceği, nede kolayca yanında taşıyabileceği bir teknik olmasıdır. Yine de, mevcut VLBI istasyonlarının görüntülenmesi Dünya yüzeyindeki deformasyon oranı ve şekli için oldukça yüksek doğrulukta uzaysal bir çatının sağlanması demektir. VLBI ölçümleri tektonik hareket ve sismik deformasyonlar üzerine birkaç çalışmada başarı ile uygulanmıştır **(Keller ve Pinter, 1996)**.

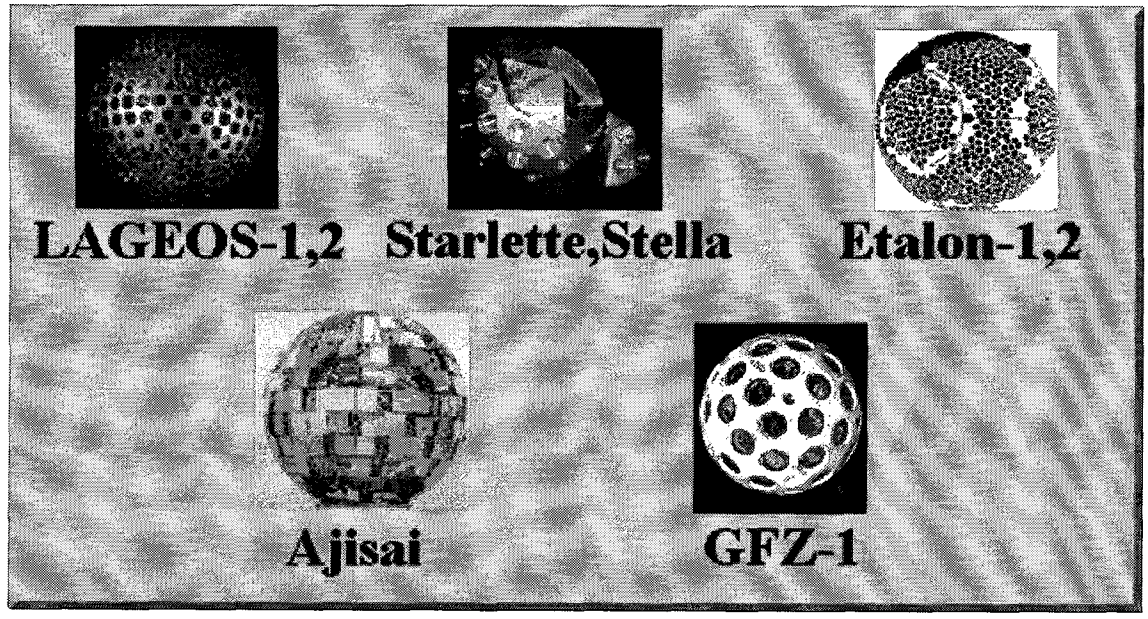
2.3.2. Yapay Uydulara Lazer Ölçümü (SLR)

1976'da Amerika Birleşik Devletleri ilk kez tamamen jeodinamik amaçlı LAGEOS uydusunu fırlatmıştır. LAGEOS uydusu yer konumlarının hassas bir şekilde belirlenmesinde bir referans olarak kullanıldığı laser ranging amaçlı uydulardan günümüzde birkaç örneği olanlardan ilki olmuştur. Daha sonraları da EXPLORER-B, STARLETTE, AJISAI ve ETALON uyduları da SLR ölçmeleri için yörüngeye oturtulmuştur (Şekil 2.4).

SLR yönteminde yer istasyonları uydu konumlarını ve yörüngelerini gönderilen lazer ışınları ile takip ederler. İstasyon ve uydu arasındaki mesafe gönderilen lazer ışını ($t_{gönderilen}$) ve bunun takip edilen yansıması ($t_{Alınan}$) arasındaki zamanın atmosferden geçen ışık hızı ile (c) çarpımının yarısı ile ölçülür;

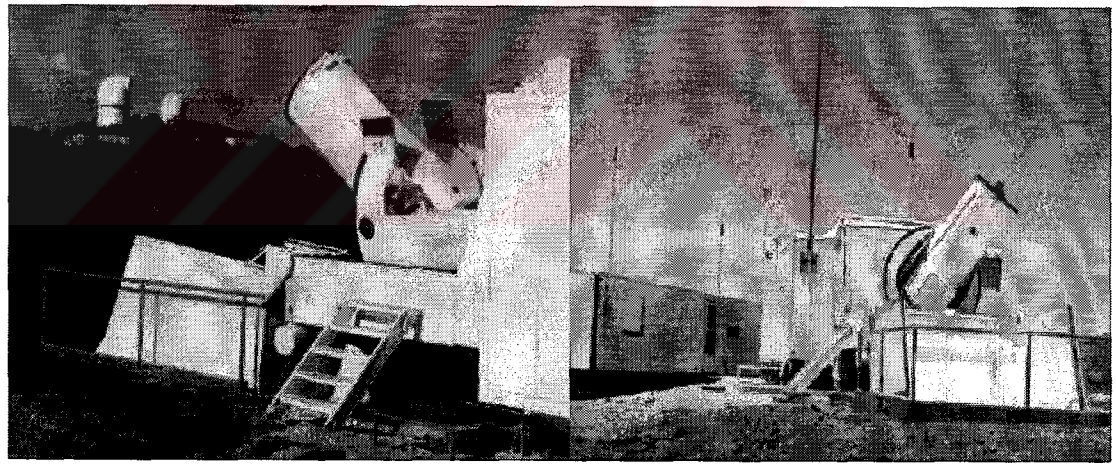
$$\text{Mesafe} = \frac{1}{2}(t_{Gönderilen} - t_{Alınan}) \qquad \textbf{(2.2)}$$

Yer istasyonunda üç çeşit veri kaydedilir. Bunlar uyduya olan mesafe, uyduların gökyüzündeki konumu ve gözlemlerin zamanıdır. Bir SLR yer istasyonunda kayıtlı veriyi kullanmanın iki yolu vardır. Bunlardan birincisi; kaydı, aynı lazer-ranging uydusunu aynı anda takip eden başka bir yer istasyonundaki veri ile karşılaştırmaktır. Bu yöntemde, iki nokta arasındaki rölatif konum büyük bir doğrulukla elde edilebilir. SLR alanları için geçerli olan ikinci yöntem ise, uydu yörüngesinin bir modelini hesaplayabilmek için dünya üzerindeki bütün diğer istasyonların ölçümlerini bir aylık periyotlarla kullanmaktır. Bu model efemeris olarak da bilinmektedir. Bütün uyduların yörüngeleri neredeyse dairesel ya da ovaldir. Fakat jeoid üzerinde küçük değişimleri takip ederler. Buna ek olarak, yörüngeler Güneş'in ışımaları ve atmosferin en yüksek kalıntılarına takılmalar gibi bazı faktörlere karşı duyarlıdır. LAGEOS uydusu bu yörüngesel değişimleri minimize edecek şekilde tasarlanmıştır; yoğun ve neredeyse küreseldir ve atmosferle olan münasebetini minimize etmek için yörüngesi oldukça yüksekte (6000 km) tutulmuştur.



Şekil 2.4 SLR Uyduları (http://home.lanet.lv/~iga/satellites.html)

Bütün yer ölçümleri uydunun yörüngesindeki gerçek konumuna birkaç santimetre içinde yaklaşacak bir efemerisi elde etmek için yapılır. Tek bir yer istasyonu da kendi konumunu modele göre rölatif olarak benzer doğrulukta belirleyebilir.



Şekil 2.5 SLR Çalışma Anı (http://home.lanet.lv)

SLR ile belirlenmiş yersel noktaların doğruluğu ± 2–3 cm kadardır. SLR ölçümleri artan bir kompakt ve taşınabilirlikteki ekipmanlarla yapılır. NASA'nın taşınabilir Laser Ranging Sistemi (TLRS–2) birkaç genişçe sandıkta paketlenmiştir. Yine de, SLR tekniğinin en zayıf noktası müsait hava şartlarına ihtiyaç duymasıdır. Diğer uzaya dayalı jeodezik ölçüm yöntemleri hava şartları nasıl olursa olsun çalışabilir, ancak bulutlu bir gün SLR'nin çalışmamasına neden olabilir (Şekil 2.5).

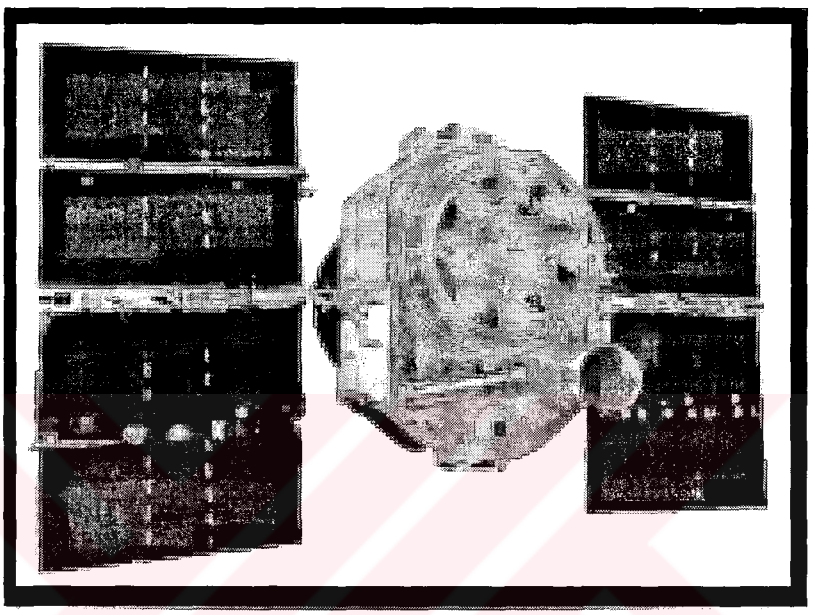
Bazı SLR uygulamalarında lazer ışınlarını yansıtıp jeodezik zemin istasyonuna geri döndüren çok farklı türde uydular kullanılmaktadır. Ayna şeklindeki bu yansıtıcılar Apollo 11, 14, 15 ve iki Sovyet Ay aracı tarafından yerleştirilmiştir. Lunar Laser Ranging (LLR)'de de SLR'nin temel prensipleri uygulanır. SLR jeodezisi gibi, bir yer istasyonunun konumu levha hareketlerinin ölçülmesi ile hassas bir biçimde belirlenebilir. Ancak VLBI tekniğinde olduğu gibi, LLR yer istasyonları da özel teleskop ekipmanları nedeniyle kısıtlıdırlar. Toplam üç LLR tesisi bulunmaktadır; McDonald (Texas), Halea Kalai (Hawai) ve Grasse (Fransa) dadır. LLR Dünya-Ay sistemi hakkında yeni bilgiler gösterir. Örneğin, Dünya yüzeyinde meydana gelen gel-git'lerin Ay'ın yılda 3.7 cm/yıllık bir oranla kaymasına yol açtığı gibi. Bunun da ötesinde, LLR Ay yörüngesini M.Ö 1400 yıl önceki dahi güneş tutulmasını hesaplayabileceğimiz şekilde anlayabilmemizi sağlamıştır. Ay ile ilgili son zamanlarda bulunan yeni keşifler üzerine yapılan bazı tartışmalar ile birlikte, LLR'nin kapasitesini iki katı doğruluğa çıkarma planları oluşmuştur **(http://home.lanet.lv/~iga).**

2.3.3. Küresel Konum Belirleme Sistemi (GPS)

Günümüzde en çok gelecek vaat eden uzaysal jeodezik ölçme tekniğidir. Navigation Satellities Timing and Ranging GPS (NAVSTAR GPS) programı, TRANSIT ve diğer navigasyon sistemlerindeki yetersizlikleri gidermek ve akla gelebilen her hız ve dinamikteki araçların yeterli doğrulukta anlık konum belirleme gereksinimini karşılayabilmek amacıyla Amerika Birleşik Devletleri (ABD) Savunma Dairesi tarafından 1973 yılında başlatılmıştır. Sistem 28 Haziran 1983 tarihinden itibaren sivil kullanıcıların kullanımına açılmıştır **(http://gps.losangeles.af.mil).** GPS, uydu sinyallerini kullanarak dünyanın her yerinde, her türlü hava şartlarında ortak bir referans sisteminde (WGS84), kesintisiz, anında ve yüksek doğrulukta konum, hız ve zaman belirlemeye yarayan navigasyon sistemidir. Sistem 3 ana bölümden oluşur. Uzay bölümü GPS uydularından oluşur. GPS uyduları teknolojik gelişmelere göre farklı elektronik özelliklere ve ömürlere sahip olarak 4 farklı kategoride üretilmiştir. Blok I uyduları 1978–1985 yılları arasında fırlatılan ve beklenenden çok daha uzun süre hizmet veren deneme amaçlı 11 uydudan oluşur. Bu uydular ekvatorla 63° açı yapan 2 ayrı yörünge düzleminde bulunaktadır. Blok II ve Blok IIA uydularından ilki 14 Şubat 1989 yılında fırlatılmıştır. Geliştirme amaçlı olarak 28 adet fırlatılan Blok II ve Blok IIA uydusu ekvator düzlemiyle 55 derecelik açı yapan 6 ayrı yörünge üzerinde hareket etmektedir (Şekil 2.6). Bu yörünge düzlemleriyle ekvator düzleminin ara kesitleri arasında 60 derecelik açı bulunmaktadır. Blok IIR uyduları ise belli bir program dâhilinde Blok IIA uyduları ile değiştirilmek üzere 22 Temmuz 1997 yılından itibaren fırlatılmaya başlanmıştır. 2005 yılı itibariyle 10 adet Blok IIR uydusu değiştirilmek amacıyla fırlatılmış bulunmaktadır. Bunun yanında 2006

yılından itibaren sivil kullanıcılar için yeni bir sinyal (L5) içeren yeni kuşak Blok IIF uydularının fırlatılması planlanmıştır **(http://gps.losangeles.af.mil)**.

Uyduların yerden yükseklikleri yaklaşık 20.162,61 km'dir. Bu yüksekliğin sebebi GPS uydularının atmosferde sürüklenmemesi gerektiğindendir. Böylece uyduların yörüngeleri kesin olarak belirlenebilir. GPS Uydularının ortalama dönüş zamanlan 11 saat 58 dakikadır ve bir noktanın ufku üzerinde 5 saat kalırlar. Bu dağılımdan amaç, dünyanın herhangi bir yerinden en az 4 uydunun görülebilmesidir.



Şekil 2.6 Blok II GPS Uydusu (http://gps.losangeles.af.mil/space/current-sats/block2a.htm)

İçinde sinyal gönderici, sinyal kaydedici, anten, osilatör ve mikro işlemci bulunan uydular ortalama 430 kg. ağırlığındadır. Dünyanın her yerinden ufkun 15° üstünden en az 4, en fazla 10 uyduyu gözlemek mümkündür. Uydular her biri 7.2 m^2 lik iki güneş kollektörü ile elektrik enerjisini sağlar. Güneş enerjisi panellerinin yüzeyi güneşe dik gelecek şekilde tutulur. Uydunun güneşi görmemesi durumunda enerji sağlamak için uyduda 3 tane nikel-kadmiyum pil bulunur. Zaman ise 2 tane rubidyum 2 tane sezyum atomik saat ile belirlenir.

GPS uydularının yüksek duyarlıklı osilatörleri frekansı 10.23 Mhz olan temel bir sinyal üretirler. Her uydu bu temel frekans üzerinden, farklı bir matematiksel modele uygun olarak Pseudo Random Noise (PRN) adı verilen kodlar üretirler. Uydular, yörüngelerdeki pozisyonları, katalog numaraları, fırlatma sıraları veya en çok kullanıldığı gibi PRN numaraları ile tanımlanırlar.

İkinci bölüm olan kontrol bölümü ekvatora yakın ve uygun geometride dağılmış olan, çok hassas atomik saatlere sahip alıcılarla donatılmış, konumu iyi bilinen 5 sabit izleme istasyonundan oluşur. Bu istasyonlar;

Colorado Springs (USA-Ana kontrol noktası),

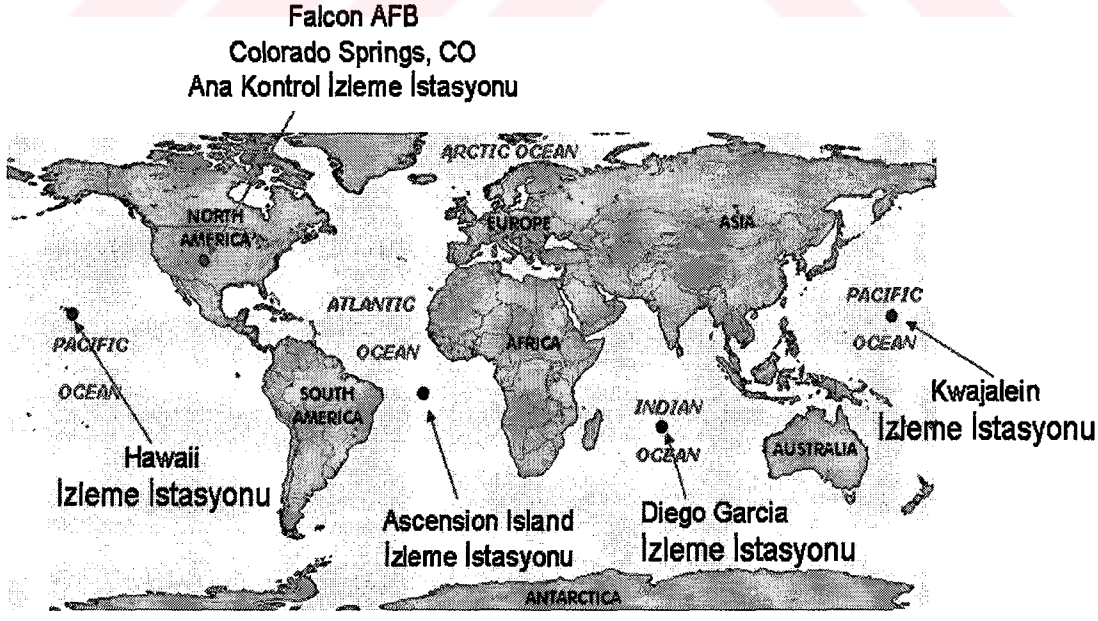
Diego Garcia (Hint Okyanusu-İzleme istasyonu-Yükleme istasyonu),

Ascension Island (Güney Atlantik-İzleme istasyonu-Yükleme istasyonu),

Kwajalein (Pasifik Marshall adaları-İzleme istasyonu-Yükleme istasyonu),

Hawaii (İzleme istasyonu) dir (Şekil 2.7).

Bu istasyonların amacı uyduların sağlıklı biçimde çalıştıklarının kontrol edilmesi, toplanan sinyallerin değerlendirilmesi, uydu yörüngelerinin belirlenmesi, uydu saatleri düzeltmelerinin hesaplanması ile hesaplanan yörünge, saat vb. bilgilerin uydulara yüklenmesidir. Tüm istasyonlarda toplanan uydu sinyallerinden, iyonosferik ve meteorolojik verilerin de kullanılması ile filtrelenerek hesaplanan uydu alıcı uzaklıkları doğrudan Ana Kontrol İstasyonuna gönderilir. Burada tüm istasyonlardan gelen veriler topluca değerlendirildikten sonra hesaplanan bir sonraki periyoda ait yörünge ve saat bilgileri uydulara yüklenmek üzere 3 yükleme istasyonuna gönderilir. Tahmin edilen bu değerler üç yükleme istasyonu tarafından S bandında 8 saatte bir gönderilir ve L1, L2 taşıyıcı dalgalarına uydu mesajları (navigasyon) olarak modüle edilirler. Güneş panelleri ile toplanan enerji ile uydu yörüngelerindeki manevraların yaptırılması da kontrol bölümünün görevleri arasındadır **(http://gps.losangeles.af.mil)**.



Şekil 2.7 Kontrol Bölümü (www.cnr.umn.edu)

Son kısım ise kullanıcı kısmıdır. GPS sistemleri askeri ve sivil kuruluşlardaki çok farklı disiplinler tarafından kullanılmaktadır. Bu disiplinlerdeki kullanım amaçlarına göre kullanıcı kısmı çok çeşitli elektronik özelliklere sahip alıcılardan oluşur. Bir alıcı genel olarak GPS sinyalini algılayıp yükselten bir anten, duyarlı bir saat, mikro işlemci, kullanıcı ile ara kesit ve güç kaynağından oluşur. Çeşitli amaçlara göre üretilmiş farklı tipte antenler (monopol, dipole, quadripal, microstrip, choke ring) mevcuttur. Her amaca uygun en iyi anten tipi yoktur. Alıcılar tek veya çok kanallı olabilir. Kanal sayısı arttıkça alıcı daha hızlı ve duyarlı konumlama olanağı sağlar. Az kanallı ucuz alıcılar farklı uyduları hızlı tarama yöntemleri ile izlerler. Elektronik yapılarına göre antenler C/A Kod, P kod ile L1, L2 taşıyıcı fazların çeşitli kombinasyonlarına erişecek yapıda üretilmektedir.

GPS uyduları osilatörlerince üretilen 10.23 Mhz'lik temel frekansın 154 ve 120 katları alınarak 19.05 cm ve 24.45 cm dalga boyundaki L1 ve L2 taşıyıcı sinyalleri üretilir. Bu iki farklı frekansın seçimi ve kullanılmasındaki temel amaç, iyonosferin göstereceği farklı geciktirmenin yok edilmesi ya da iyi modellendirilmesidir. GPS uyduları C/A kod ve P kod olmak üzere 2 farklı navigasyon bilgisi üretir. P kod 10.23 Mhz. frekansında ve yaklaşık 30m dalga boyunda, C/A kod ise 1.023 Mhz frekansında ve yaklaşık 300m dalga boyundadır. C/A ve P kod ile L1 ve L2 taşıyıcıları zaman bakımından senkronize edilmişlerdir. P koda ilişkin bilgiler, L1 ve L2 taşıyıcısı üzerinde +1 ve -1 faz modülasyon durumları şeklinde yüklenir. Oluşan kodlar kısaca P1 ve P2 olarak adlandırılır. C/A kod ise yalnızca L1 üzerinden yüklenir. Taşıyıcı faz ile sinyalin yönü aynı ise +1, ters yönlü ise -1 durumu elde edilmektedir. C/A kod her 1/1000 saniyede, P kod ise 266 günde bir tekrarlanır. P kodun 7 günlük bölümleri ayrı uydularca yayınlanır. Her uydu kendi kod bölümünü haftalık periyotlarla (Cumartesi 0^h UT) yenileyerek GPS zamanını ve PRN numarasını belirlemiş olur.

L1 ve L2 taşıyıcıları ile C/A ve P kodlarından başka üçüncü tip bir yayın, saniyede 50 Hz frekansındaki navigasyon mesajıdır. Toplam 1500 bit uzunluğunda ve 5 alt bölümden oluşan mesajın birinci alt bölümünde uydu saat hataları için polinom katsayıları, ikinci ve üçüncü alt bölümünde uydu efemeris bilgileri yer alır. Dördüncü ve beşinci alt bölümlerdeki bilgiler her mesajda değişir ve 12.5 dakikada yayımlanır. Bu alt bölüm içindeki birçok bilgi askeri amaçlar için öngörülmüştür. İyonosfer ve uydu almanak bilgileri bu alt bölümlerde yer alır **(http://gps.losangeles.af.mil)**.

GPS zamanı, ana kontrol istasyonunda atomik saatlere dayalı olarak belirlenir. Zaman, GPS hafta numarası ve o hafta başından itibaren geçen saniye ile tanımlanır. GPS zamanının başlangıcı 6 Ocak 1980 günü 0^h (Universal Coordinated Time UTC) anıdır.

GPS ölçümlerinin iki önemli tipi vardır. Bunlar pseudo uzaklıkları ve taşıyıcı fazlardır. Pseudo uzaklık teknikleri genellikle navigasyon amaçlı kullanılır. Yüksek hassasiyetli ölçmelerde taşıyıcı faz kullanılır. Fazlarda pratikte orjinal taşıyıcı faz gözlemlerinin belirli kombinasyonlarının işlemden geçirilmesi yaygın olmuştur. Bunlar tekli, ikili ve üçlü farklardır. Bu kombinasyonların yapılmasının sebebi sırasıyla uydu saat hatası, alıcı saat hatası ve tamsayı faz belirsizliğinin giderilmesidir.

Pseudo (kod ölçüsü) uzaklık, uydu anteniyle alıcı anteni arasında ölçülen mesafedir. Sinyallerin iletim zamanı uydular tarafından ve alıcı tarafından üretilen belirleyici sahte rast gele kodlar olan PRN kodlarının korelasyonuyla ölçülür. Alıcıdaki kod izleme devresi maksimum korelasyon oluşuncaya kadar PRN kodunun içteki kopyasını değiştirir. Korelasyon oluştuğunda zaman ötelemesi yani zaman farkı belirlenir. Bu zaman farkı ışık hızıyla çarpılarak pseudo uzaklık bulunur. Uydu ve alıcı saatinde kaçınılamayan saat hataları ve sinyaldeki gecikmeler ölçülen uzaklığın hatalı olmasına sebep olacaktır. Pseudo uzaklık ölçümü P veya C/A kodu ile yapılabilir. Troposferik ve iyonosferik yayılım gecikmesi ölçülen pseudo uzaklığı direkt olarak etkileyen büyüklüklerdir.

t_k : k alıcısı tarafından üretilen zaman,

t^p : Uydu tarafından gönderilen nominal zaman,

I_k^p : İyonosferik gecikme,

T_k^p : Troposferik gecikme,

ρ_k^p : Uydu ile alıcı arasındaki toposentrik mesafedir,

dt_k: Alıcı zaman farkı,

dt^p : Uydu zaman farkı,

olmak üzere;

Pseudo uzaklık ölçümünün genel ifadesi;

$$[t_k + dt_k - f\,(t^p + dt^p)]^*c = \rho_k^p + I_k^p + T_k^p \qquad \textbf{(2.3)}$$

Gerçek pseudo uzaklığı;

$$P_k^p = (t_k - t^p)\cdot c \qquad \textbf{(2.4)}$$

elde edilir.

Pseudo ölçmeleri, navigasyon, araç izleme vb. amaçlar için kullanılır. Faz gözlemleri GPS ölçmelerinde en çok kullanılan gözlemlerdir. Faz gözlemleri, taşıyıcı dalganın, P ve C/A kodları yerine, modüle edilmemiş (L1 ve L2) halinde yapılmaktadır. Bu

gözlemlerde kod bilgisi kullanılmadığı için seçici doğruluk erişiminden (selective availability-S/A) etkilenmemektedir. Taşıyıcı dalga fazı da pseudorange gözlemlerinde olduğu gibi aynı şekilde elde edilmektedir. Yani, uydudan yayınlanan fazın benzeri alıcı içinde de üretilmekte ve bunlar arasında korelasyon sağlanmaktadır. Başka bir deyişle, faz gözlemi, t zamanında uydudan yayınlanan sinyalin (L1, L2) taşıyıcı fazı ile t_R zamanında alıcı tarafından üretilen referans sinyalin fazı arasındaki fark olarak tanımlanabilir.

Uydular konum belirlemek amacı ile dünyaya sürekli olarak sinyaller gönderirler. Alıcı açıldıktan sonra sürekli faz üretmeye başlar. Alıcı sinyaller, uydudan gelen sinyalin tam devri ile birlikte sayılmaya başlanır ve uydu görüntüden çıkıncaya dek sayılır. Uydu ve alıcı sinyalin birlikte sayılmaya başlanmasından önceki uydu sinyalinin tam devir sayısı bilinmez ve bu tamsayı faz belirsizliği olarak adlandırılır. Eğer çeşitli engellerden dolayı uydu sinyali bloke edilmezse, bir uydu ve alıcı için tamsayı faz bilinmeyeni sabittir. Faz ölçmeleri de saatlerin tam olarak senkronize olmamasından dolayı saat hatası ile yüklüdür. Ayrıca düzenli ve rast gele hata kaynakları vardır. Faz ölçmeleri haritalama işleri, deformasyon ve deprem izleme vb, amaçlar için kullanılır. En genel şekliyle faz denkleminin matematiksel modeli aşağıdaki biçimde verilmiştir.

$$\Phi_A^k(t) = -\frac{f}{c}\rho_A^k(t) + N_A^k + \Phi^k(t) - \Phi_A(t) + \text{diğer hatalar} \qquad \textbf{(2.5)}$$

Φ_A^k : A noktasından k uydusu için t anında ölçülen faz,

ρ_A^k : A'dan k'ya geometrik uzaklık,

N_A^k : Başlangıç tam sayı faz bilinmeyeni,

Φ^k : Uydu saat hatası,

Φ_A : Alıcı saat hatası,

f : Frekans,

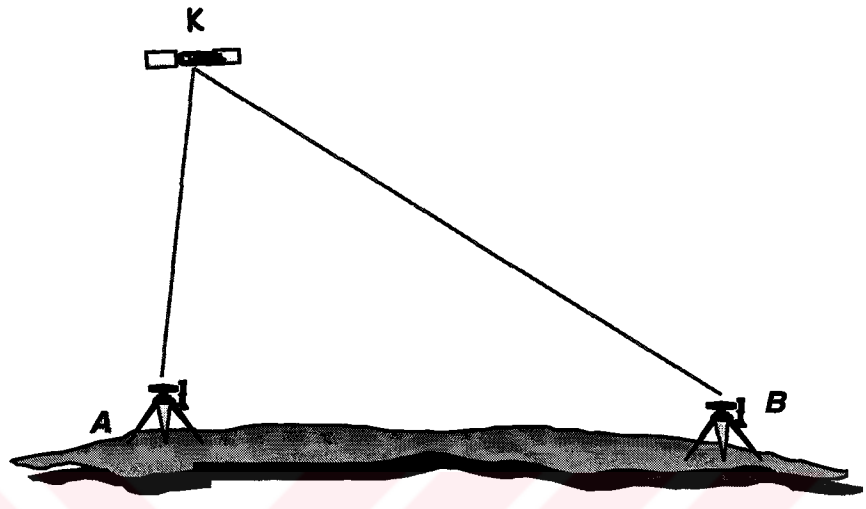
c : Işığın boşluktaki hızı,

Diğer hatalar: Troposferik refraksiyon + İyonosferik refraksiyon + Gürültü + Değişik yüzeyden yansıma + anten faz merkezi kayıklığı vb. dir.

Kod ve faz gözlemlerinden yararlanılarak oluşturulan farklar yardımıyla alıcı saati hataları, uydu saati hataları ve faz başlangıç belirsizliği gibi birçok ortak hata kaynağı giderilmektedir. Gözlem fark kombinasyonları farklı şekillerde oluşturulabilmektedir. Bunlar genel olarak; alıcılar arasında, uydular arasında veya L1 ve L2 frekansları arasında yapılmaktadır. Bu konuda yalnızca jeodezik amaçlı

olarak kullanılan faz gözlemleri arasındaki fark kombinasyonlarını açıklamak gerekirse;

Tekli farklar denince, iki farklı alıcı noktasında aynı uyduya eş zamanlı olarak yapılan faz gözlemleri arasındaki farklar anlaşılmaktadır (Şekil 2.8).



Şekil 2.8 Tekli Fark Yöntemi (Özkan, 2004)

A noktasından k uydusu için t anında ölçülen faz;

$$\Phi_A^k(t) = -\frac{f}{c}\rho_A^k(t) + N_A^k + \Phi^k(t) - \Phi_A(t) + \text{diğer} \qquad (2.6)$$

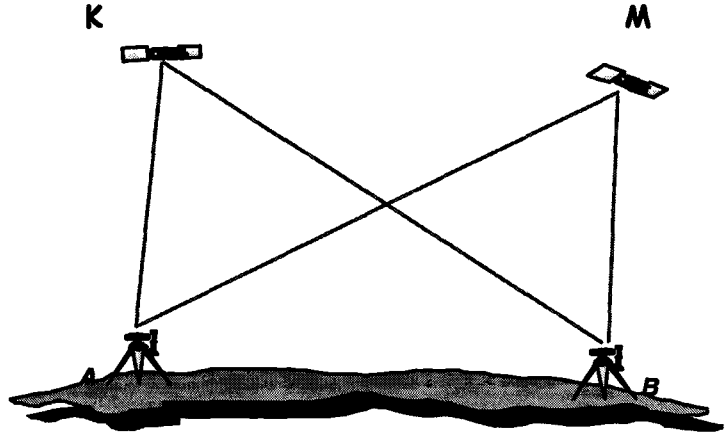
B noktasından k uydusu için t anında ölçülen faz;

$$\Phi_B^k(t) = -\frac{f}{c}\rho_B^k(t) + N_B^k + \Phi^k(t) - \Phi_B(t) + \text{diğer} \qquad (2.7)$$

Bağıntı 2.7 ve 2.6 arasında fark alınmasıyla tekli fark yöntemiyle uydu saatlerindeki hatalar giderilmektedir.

$$\Phi_{AB}^k(t) = -\frac{f}{c}\rho_{AB}^k(t) + N_{AB}^k + \Phi^k(t) - \Phi_{AB}(t) + \text{diğer} \qquad (2.8)$$

İkili farklar kısaca, iki tekli farkın farkı olarak tanımlanabilir. Başka bir deyişle aynı epokta iki farklı uydu için oluşturulan tekli farklar arasındaki farktır (Şekil 2.9).



Şekil 2.9 Çiftli Fark Yöntemi (Özkan, 2004)

K uydusu için tekli fark;

$$\Phi_{AB}^{k}(t) = -\frac{f}{c}\rho_{AB}^{k}(t) + N_{AB}^{k} + \Phi_{AB}(t) \text{ + diğer hatalar} \quad (2.9)$$

M uydusu için tekli fark;

$$\Phi_{AB}^{m}(t) = -\frac{f}{c}\rho_{AB}^{m}(t) + N_{AB}^{m} + \Phi_{AB}(t) \text{ + diğer hatalar} \quad (2.10)$$

İkili fark;

$$\Phi_{AB}^{km}(t) = -\frac{f}{c}\rho_{AB}^{km}(t) + N_{AB}^{km} \text{ + diğer hatalar} \quad (2.11)$$

dir.

Bu yöntemle uydu ve alıcı saati hatalarının her ikisi birden giderilmektedir. Genellikle GPS ölçülerini değerlendirme yazılımlarında temel gözlem eşitliği olarak kullanılmaktadır. Bu yöntemle ayrıca kısa baz uzunluklarında troposferik ve iyonosferik etkiler de giderilmektedir **(Özkan, 2004)**.

GPS sistemi bugüne kadar geliştirilmiş yüksek doğruluklu global bir konum belirleme ve navigasyon sistemi olmasına karşın, diğer sistemlerde olduğu gibi, bazı zayıf tarafları da vardır. Başka bir deyişle, GPS ölçülerinden elde edilen sonuçları da etkileyen bazı rastlantısal ve sistematik sapmalar söz konusudur. Bu sapmalar GPS'in birçok kullanım alanı için fazla önemli bir sakınca oluşturmamakla beraber özellikle yüksek doğruluk isteyen çalışmalarda bunların davranışı ve büyüklüğünün çok iyi değerlendirilmesi ve kontrol altında tutulması gerekir. Bu sapmalar çok farklı şekillerde olmakla beraber genel olarak uydulardan kaynaklanan hatalar, alıcı donanıma bağlı hatalar ve ortam etkilerine bağlı hatalar olarak sınıflandırılabilir.

Uyduyla ilgili hatalar, uydu saat hatası ve uydu yörünge hatasını içerir. Atmosferle ilgili hatalar, iyonosferik gecikme hatası ve troposferik gecikme hatasından oluşmaktadır. Alıcıyla ilgili hatalar ise alıcı saat hatası, çoklu-yol ve alıcı gürültü hatalarından meydana gelir. Bu hatalar arasında iyonosferik gecikme hatası SA sistemi kapatıldıktan sonra meydana gelen en büyük hata kaynağıdır **(Gao ve Liu, 2002)**. Normal iyonosferik koşullar altında, iyonosferik gecikmenin GPS sinyali üzerindeki etkisi, birkaç metreden onlarca metreye yayılabilir. Ancak bu değer, sert iyonosfer fırtınaları sırasında 100 m'yi aşabilir **(Gao ve Liu, 2002)**. Tablo 2.1 her hata kaynağının tipik değerlerini göstermektedir **(Skone, 1998)**.

Tablo 2.1 GPS Hata Kaynaklarının Büyüklükleri (Skone, 1998)

Hata türü	Hatanın büyüklüğü (m)
İyonosfer	5,0
Troposfer	0,5
SV saat ve yörüngesi	5,0
Alıcı kaynaklı	1,5
Çoklu-yol	1

Genellikle bu hata kaynakları, uygun prosedürler ve modeller uyarlanarak düzeltilebilir ya da indirgenebilir. Örneğin iyonosferik hata, iyonosferik modeller kullanılarak minimize edilebilir; Klobuchar modeli **(Klobuchar, 1987)**, ızgara-modeli **(Skone, 1998, Liao, 2000)**, tomografik model **(Hernández-Pajares ve diğerleri, 1999; Liu ve Gao, 2001)**. Farklı iyonosferik modeller, farklı özelliklere sahiptir ve farklı modelleme doğrulukları oluşturur. Diğer hata kaynaklarının çoğu da matematiksel olarak modellenip asgari seviyeye indirgenebilir. Troposferik gecikme hatası da belli modeller kullanılarak etkili bir şekilde düzeltilebilir **(Hopfield, 1969; Saastamoinen, 1973; Lanyi, 1984)**. Çoklu-yol hatası (multipath); GPS alanının, alıcısının ve anteninin dikkatli seçimiyle en aza indirilebilir **(Langley, 1989)**. Sonraki alt bölümlerde, her bir hata kaynağının sebepleri açıklanacaktır.

Yörünge Hatası

Kontrol biriminden çıkan ve kontrol biriminin gözlemleme istasyonlarına ait dört yer anteni tarafından indirilen navigasyon mesajları, geçmişteki takip sonuçlarına dayalı tahmin sonuçlarıdır. Dolayısıyla, navigasyon mesajlarıyla hesap edilen GPS uydu konumları, gerçek konumlarından daha farklıdır. Konumlar arasındaki bu ayrıma

yörünge hatası adı verilir. SA kapatılmadan önce yörünge hatasına, uydunun navigasyon mesajına bilerek yerleştirilen "epsilon" adında bir hata da dâhil idi. Bu nedenle uydu yörünge hatası çok daha yüksekti. Şimdi ise yayın yörüngesinin doğruluk oranı 2 m civarındadır **(http://igscb.jpl.nasa.gov)**. IGS'in sağladığı işlem-sonrası yörünge verisi kullanılarak, yörünge hatası büyük oranda azaltılabilir. Şu anda, son IGS yörüngelerinin 5 cm'lik doğruluk değerine sahip olduğu belirtilmektedir. **(http://igscb.jpl.nasa.gov)**.

Uydu saat hatası

Bütün GPS uyduları, GPS sinyallerinin oluşumu için atom saatiyle donatılmış olsa da, atom saatinin performansı, tutarsızlığı nedeniyle, GPS frekans standardında bir hataya neden olur. Bu hata, uydu yayınından gönderilen katsayılarla giderilebilir. Bu katsayılar, GPS kontrol segmenti tarafından yüklenir; her bir setin beli bir süre boyunca geçerli kaldığı uyduya, aslında pek çok farklı katsayı seti yüklenir **(Spilker, 1996)**. Saat hatası, Δt_{sv}, bağıntı (2.12) ile hesaplanabilir **(Spilker, 1996)**.
Burada;

af_0 :Saat eğilimi katsayısı,

af_1 :Saat kayması katsayısı,

af_2 :Saat kayma oranı katsayısı,

t :Uydu saati zamanı,

t_{oc} : Düzeltme için referans saat,

Δt_R :Kullanıcılar için düzeltme,

olmak üzere;

$$\Delta t_{sv} = af_0 + af_1 (t-t_{oc}) + af_2 (t-t_{oc})^2 + \Delta t_R \qquad \textbf{(2.12)}$$

olur.

Burada belirtilmelidir ki; şayet kullanıcılar, navigasyon ve konumlama için tek frekanslı bir GPS alıcı kullanıyorlarsa (L1 ya da L2), uydu saatinin düzeltmesi uygun bir şekilde değiştirilmelidir. Çünkü GPS kontrol birimi tarafından hesaplanan saat eğilim katsayısı af_0, grup gecikmesi T_{GD} hesabının yapıldığı çift-frekanslı ölçümlere dayanmaktadır. T_{GD} göz önüne alındığında, L1 ve L2 ölçümleri için saat hatasının düzeltmesi (2.13) ve (2.14) denklemleriyle verilmiştir;

$\Delta t_{SV,L1}$: L1 uydu saat düzeltmesi

$\Delta t_{SV,L2}$, : L2 uydu saat düzeltmesi

T_{GD} : Uydulardan gelen navigasyon mesajlarındaki grup gecikmesi olmak üzere,

$$\Delta t_{sv,L1} = \Delta t_{sv} - T_{GD} \quad (2.13)$$

$$\Delta t_{sv,L2} = \Delta t_{sv} - \gamma_{GD} \quad (2.14)$$

olur.

İyonosfer Hatası

İyonosfer, atmosferin büyük miktarda serbest elektronun yer aldığı en üst katmanıdır. GPS sinyalleri yoğun elektronlar içinden yayıldığında, önemli ölçüde gecikmeye uğrarlar. Bu hataya iyonosfer hatası adı verilir. Ölçüm alanındaki bu iyonosferik etki, 1 m ile 100 m arasında olabilmektedir **(Wells ve diğerleri, 1987)**. İyonosferik gecikme, iyonosferik çeşitlilik nedeniyle gün boyunca değişiklik gösterebilir. İyonosferin bu özelliği, bu katmanın modellenmesini zorlaştırır. İyonosfer, GPS frekanslarını dağıtıcı bir alandır; yani kırılma oranı sinyal frekansının bir fonksiyonudur. Dolayısıyla ölçülerde çift-frekanslı GPS alıcıları kullanılması iyonosferik hatayı belirlemede avantajlı olabilmektedir. İyonosferik gecikme, toplam elektron içeriği ile doğru, iyonosfere yayılan elektromanyetik dalga frekansının karesi ile ters orantılıdır. TEC, GPS uydusundan gözlemciye 1 m²'lik bir kesitle uzanan bir sütundaki elektron sayısı olarak tanımlanır **(Klobuchar, 1996)**. Matematiksel olarak, ilk sıradaki kırılma oranında bulunan, pseudorange ve taşıyıcı faz ölçümlerindeki iyonosferik gecikme bağıntı 2.15 ile belirlenir.

$$\Delta l_i = \frac{40.3 TEC}{f_i^2} \quad (2.15)$$

Frekans-içi eğilimler hesaba alınmadan, pseudorange ölçümleri hem L1 hem de L2'de bulunduğu zaman, TEC direk olarak bağıntı 2.16 ile belirlenebilir **(Klobuchar, 1996)**. Burada;

$f_i (i=1, 2)$: L1 veya L2 sinyalindeki GPS frekansı,

$\Delta l_i (l=1, 2)$: L1 veya L2 sinyalindeki iyonosferik gecikme, olmak üzere

$$TEC = f_1^2 f_2^2 (P_1 - P_2) \quad (2.16)$$

dir.

Burada yukarıda tanımlanan P_i (i=1, 2) L1 ve L2'deki pseudorange ölçümleridir. Bu formül tarafından belirlenen TEC gürültüye sahip olsa da, yine de TEC'i ve bu sayede $\Delta l_i (i=1, 2)$ olan iyonosferik gecikmeyi bulmanın en doğru yolu budur.

Troposfer hatası

Troposfer, Dünya yüzeyi ile 9-16 km yüksekliğe yayılan, atmosferin alt tabakasıdır. GPS uydusundan alınan bir sinyal, kullanıcıya Dünya yüzeyi üzerinden ya da yakınından ulaştığı için, atmosfer tarafından kırılır. Atmosferik kırılma, ışının gerçek yoluna (biraz bükülmüş olan) ve yolu üzerindeki gazların kırılma oranına bağlı olarak bir kırılmaya neden olur **(Spilker, 1996)**. Troposferik gecikme hatasının büyüklüğü, tepe noktasında 2–3 m civarındadır; tipik bir tepe noktası değeri ise 2,5 m'dir. Troposferik gecikme hatası, iki bölüm içinde sınıflandırılabilir. Kuru atmosfer etkisi ve ıslak atmosfer ya da su buharı etkisi. Gecikmeye yol açan kuru atmosfer etkisi, toplam hatanın %90'ını, su buharı etkisiyse %10'unu oluşturur. Kuru atmosferin tepe noktadaki gecikmesi 2–3 m'ye tekabül eder ve yerel sıcaklık ve atmosferik basınca göre tahmin edilebilecek oranda çeşitlilik gösterir **(Spilker, 1996)**. Troposferik gecikmenin su buharı etkisi zaman içinde çeşitlilik gösterir. Örneğin; birkaç saat içinde %10–20 ve yüzey nem ölçümleriyle bile bunun tahmin edilebilirlik oranı azdır **(Spilker, 1996)**. Buna kıyasla kuru gecikme nedeni birkaç saat içinde % 1'lik bir çeşitlilik gösterir. Troposferik gecikme hatası, iyonosferik gecikme hatasından küçük olsa da, yere ve zamana göre su buharının gösterdiği çeşitlilik nedeniyle ıslak etkiyi modellemek oldukça zordur. Dolayısıyla modelleme hatasının ilk nedeni, troposferik ıslak gecikme modelinin kötü performansıdır. Dolayısıyla modellenmeyen fark, tepe noktasında 3 cm'dir **(Mendes, 1999)**. Saastamoinen (1973) ve Hopfield'e (1969) ait modeller de dâhil olmak üzere, troposferik hatayı düzeltmeye yönelik çeşitli modeller bulunmaktadır.

Alıcı saat hatası

GPS yayılım alanının ölçümü, gönderilen ve alınan GPS sinyalleri arasındaki zaman aralığının ölçülmesidir. Yani, GPS sinyalinin ulaştığı zamanı kesin olarak ölçmek için, alıcının içinde bir saat bulunmalıdır. Büyük ebatları ve pahalılıkları nedeniyle, bütün alıcılarda atom saatinin bulunması gerçekçi değildir. Bu nedenle birçok alıcı, genellikle küçük ve ucuz olan ve az enerji sarf eden kuvartz kristal osilatörle donatılmıştır. Yeterli sayıda GPS uyduları takip edildiğinde, alıcı saat hatası belirlenebilir ve alıcı saati, GPS zamanına senkronize edilebilir. Bu senkronizasyon, SA kod açıkken 0,1 mikro saniyelik hata oranı getirmekteydi. SA kod kapalıyken ise 0,01 mikro saniyelik bir hata oranını meydana getirir. Alıcı saat hataları, farklı yöntemler kullanarak giderilebilir ya da koordinat parametreleriyle birlikte bir bilinmeyen olarak hesaplanabilir.

Çoklu yol hatası (Multipath)

Bir sinyalin alıcı antenine iki ya da daha fazla yoldan ulaştığı durum çoklu yol olarak adlandırılmaktadır. Geniş yansıtıcı yüzeylerin bulunduğu çevrelerde, çoklu yol özellikle dikkat çeker. Yansıyan dolaylı sinyallerin antene doğru giden GPS sinyallerine karışmasını engellemek için, bir yer düzlemi, antenin vazgeçilmez bir parçası olarak kabul edilir **(Langley, 1998)**. Teorik azami çoklu yol'un etkisi, P-kodu için 15 m, C/A ölçümleri üzerinde ise 150 m civarındadır **(Bishop ve diğerleri, 1985)**. Çoklu yol'un taşıyıcı faz ölçümleri üzerindeki etkisi, 5 cm veya daha küçüktür **(Seeber, 1993)**. Çoklu yol etkisi şu üç yolla giderilebilir;

1) Yansıyan engellerden kurtulmak için anten yerinin dikkatli seçimi,

2) Dikkatle tasarlanmış antenlerin (kapalı halkalı) ya da graund plane'lerin kullanımı,

3) GPS alıcılarının, özel sinyal işletim teknikleriyle kullanımı **(Langley, 1998)**.

Yukarıdaki önlemlerin birleşimiyle, çoklu yol etkisi azami seviyede engellenebilir ve böylelikle pseudorange ile taşıyıcı faz ölçümlerinde en iyi sonuçlar elde edilebilir.

Alıcı Gürültüleri (Noise)

Alıcılardaki gürültü, GPS alıcılarının niteliğine ilişkin iyi bir göstergedir. GPS alıcılarındaki hem kod hem de taşıyıcı faz ölçümlerinde gürültü vardır. Ancak taşıyıcı faz ölçümlerindeki gürültü, kod ölçülerindeki gürültü'den daha düşüktür. Bu nedenle iyonosferik modellemede, GPS çıkışlı TEC verilerindeki gürültü seviyesini düşürmek amacıyla, kod ölçümlerini düzeltmek için taşıyıcı faz ölçümleri kullanılmaktadır.

Yukarıda anlatılan tüm jeodezik tekniklerin işlerlik ve uygulanabilirliği ihtiyaç duyulan ekipman, elde edilen doğruluk ve bu doğruluğun elde edilebileceği mesafelere bağlıdır. Yersel teknikler kullanılarak yapılan ölçümler 4 km'nin altındaki bütün baz uzunluk ölçümleri için en yüksek doğruluktaki ölçümlerdir. Uzaysal tekniklerden VLBI, oldukça büyük zahmetli ve karmaşık donanım ihtiyacı nedeniyle en kullanışlısı olmasa da en doğru olanıdır. SLR tekniğinin doğruluğu donanım fiyatı ve ideal olmayan hava şartlarındaki kısıtlılıklarla dengededir. Doğruluk, maliyet ve mobilite açısından bugün en iyi denge yakında pek çok jeodezik ve diğer uygulamalarda da standart olacak olan GPS'tedir.

3. TEKTONİK HAREKETLERİN BELİRLENMESİNDE GPS'İN KULLANIMI

3.1. Giriş

Dünya üzerindeki noktaların konumlarında yerkabuğu hareketlerinden dolayı ve yer kabuğundaki deformasyondan dolayı bir miktar değişim olur. Öyle ki bir bölgedeki bir noktanın hareketi 100 mm/yıl olabilmektedir. Birkaç yılın üzerinde yapılan araştırmalar sonucunda bir nokta üzerinde meydana gelen deformasyon bu bölgede gerilim olduğunun habercisidir. Bu gibi durumlarda meydana gelen birikmeler genellikle depremlerle sonuçlanırlar. Günümüzde küresel bir ölçekte birbirine benzer özellikler gösteren levhalar üzerinde seçilen noktalar üzerinde ölçümler yapılabilmektedir. Bu tür ölçümlerin hedefleri, deformasyon birikmelerinin ortaya çıkarılmasını sağlamak ve bu birikme üzerinde litosferin ve de diğer kuvvetlerin nasıl bir etki yaptıklarının belirlenmesini sağlamaktır. Bunun sağlanması için yapılan ölçümlerin güvenirliğinin oldukça iyi olması gerekmektedir. Bir bölgeye ait deformasyonun analizinde bu bölgede ilk yapılmış olan ölçülerin 5–10 mm/yıl presizyonla ölçülmüş olması yeterlidir. Büyük depremlerden sonra meydana gelen konum değişikliği bazen metrelerce olabilmektedir. Bu gibi durumların ortaya çıkarılabilmesi için 100 mm presizyonla ölçüm yapmak bile yeterli olabilmektedir **(Herring, 1999)**.

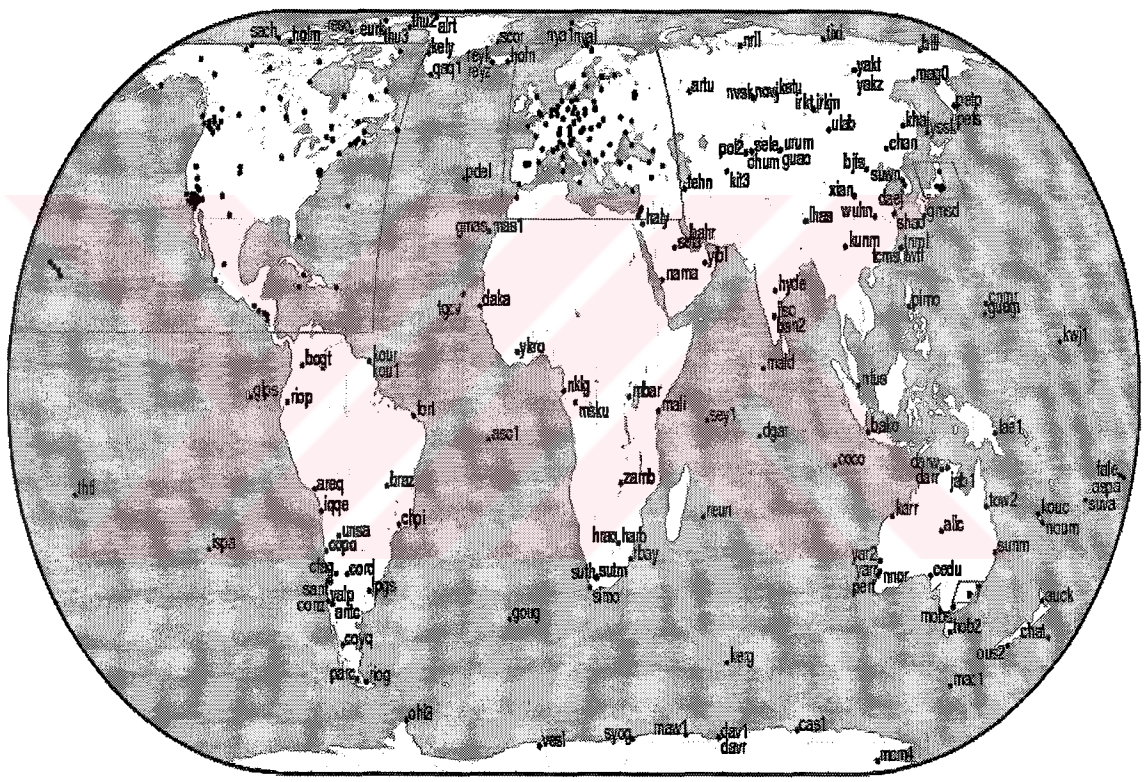
Levha tektoniği, dünya yüzeyindeki deformasyonun, en iyi rijit levhalar arasındaki bağıl hareketler ile tanımlandığını göstermektedir. Levhalar arasındaki bu bağıl hareketler milyonlarca veya daha fazla yıllar boyunca oluşan hareketlerin tahminlerine dayanarak ortaya konmaktadır. Böyle büyük zaman aralıkları için yapılan saptamalar ile GPS ve diğer uzay teknikleri kullanılarak yapılan; kısa süreli denebilecek ancak bir kaç yıllık gözlemler ile ortaya konan hareketler birbirleri ile genel olarak çakışmaktadır. Bu anlamda, GPS ve diğer uzaysal ölçme teknikleri, levha tektoniği alanında eskiden beri var olan modelleri geliştirmek görevini üstlenmiş durumdadırlar. Bunun yanında GPS yardımı ile daha önceden klasik jeodezi yardımıyla ortaya konamayan küresel levha dönüş hareketlerini de içeren referans sistemleri belirlenebilmektedir. Bu amaçla yapılan çalışmalarda GPS verilerinin analizinin yorumunda öncelikle analizin yapıldığı bölgenin jeolojik ve tektonik özellikleri dikkate alınır. Bunun için bölgenin içinde bulunduğu jeolojik levha ve faylara ilişkin ilgili sismisite, paleosismisite, paleomanyetizma vb. bilgiler, GPS analizi sonucunda elde edilen bilgilerle birlikte değerlendirilir. Global olarak yapılan

analizlerden elde edilen ilgili levhaya ve komşu levhalara ilişkin hareket bilgileri, çalışmaya konu bölgenin güncel tektonik bilgilerinin yorumlanması için önemli ipuçları sağlamaktadır **(Yavaşoğlu, 2003)**.

Teknolojinin gelişimi ile doğru orantılı olarak düşen fiyatlar sayesinde GPS'in kullanımı artmış ve dolayısıyla kullanım alanları da artmıştır. Özellikle, 1980'lerden itibaren, depremlere neden olan aktif kırık sistemleri boyunca deprem öncesinde (interseismic/preseismic), deprem sırasında (coseismic) ve deprem sonrasında (postseismic) meydana gelen deformasyonların belirlenmesinde, GPS etkin biçimde kullanılmaya başlanmıştır. Tektonik hareketlerin zamana bağlı değişimleri GPS ile çok rahat izlenebilmektedir. Bölgede meydana gelen deformasyonların dinamik etmenlerle birleştirilip bir model oluşturulması aşamasında GPS önemli rol oynar. GPS'in bu tür kullanımı için blokların hepsini temsil edecek şekilde bir ağ tasarımı yapılır. Bu ağın kurulması için ilk önce yeryüzüne yayılmış ve koordinatı çok uzun süreler boyunca ölçülen noktalardan da faydalanır. Daha sonra yerel çalışma için fayın yakın ve uzak çevresine yeteri kadar GPS noktası tesis edilir. Buralarda gözlemler belli aralıklarla veya sürekli olarak yapılır. Tesis edilen bu noktalarda yapılan ölçmeler arasındaki farklara bakarak o zaman içindeki yer değiştirmeler belirlenir. Hesaplanan yer değiştirme vektörleri ile bölgede oluşan gerilme ve sıkışma miktarları tahmin edilebilir. Dolayısı ile olası bir deprem konusunda bilgilenme mümkün olabilmektedir **(Rüzgar, 2004)**.

GPS ile tektonik hareketler belirlenmeye çalışıldığında, bu hareketlerin daha anlamlı yorumlanabilmesi için bölgeyi geniş bir biçimde kapsayan çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır. Bunun için yeryüzüne tesis edilmiş, küresel anlamda, birçok ağ bulunmaktadır. 1990'dan önceki ölçüm işlemleri alıcıların azlığı ve sabit istasyonlar şeklinde oldukları için bu güne göre çok daha masraflıydı. Fakat 1990'dan sonra alıcıların fiyatlarının düşmesi ve gerekli parametrelerin kolay ulaşılabilir hale gelmesi ile GPS'in küresel anlamda verimliliği artmıştır. Böylelikle ilk GPS ağı 1993 yılında Japonya'da tesis edilmiştir. GPS Earth Observation Network (GEONET) adlı bu ağ COSMOS ve GRAPES adlı 2 farklı ağı teşkil eden 25 km aralıklı 1200 istasyondan oluşur. Japonya'daki volkanik ve tektonik hareketleri izlemek üzere kurulan bu ağ istasyon sayısı itibariyle dünyadaki en büyük GPS ağıdır. Bu ağa benzer olarak kurulan ağlardan; REGAL Fransa Alplerindeki hareketleri takip etmek üzere, FINNREF Finlandiya'daki kabuk hareketlerini takip etmek üzere, GEODAF İtalya'daki kabuk hareketlerini takip etmek üzere, GILNET İsrail'deki kabuk hareketlerini incelemek üzere, MAGNET Kuzey Anadolu Fay Zonunun batı bölümündeki hareketleri takip etmek üzere kurulmuştur. Bu ağlardan en büyüğü ise IGS (International GPS Services for Geodynamics) ağıdır. IGS Uluslararası Jeodezi Birliğince (IAG) 1993 yılında tesis edilmiş ve 1994 yılında aktif olarak çalışmaya

başlamıştır. Çalışma sistemi ve teknoloji kullanımı bakımından büyük bir kapasiteye sahip olan IGS, GPS istasyonlarından aldığı sürekli verileri değerlendirerek eş zamanlı olarak internet üzerinde yayınlanmasını sağlayan bir sisteme sahiptir. Kullanıcı dostu bir ara yüze sahip olan web sitesinde istenilen verilere kolayca ulaşılabilmektedir. IGS ürünleri ITRF sisteminin iyileştirilmesi ve geliştirilmesi, yer dönme parametrelerinin belirlenmesi, deniz seviyesindeki ve buzullardaki değişimlerin izlenmesi, uydu yörünge bilgilerinin hesaplanması ve atmosferdeki su buharı değişimlerinin belirlenmesi için yeterli doğrulukta üretilirler. IGS, 2005 yılı itibariyle 350'nin üstünde GPS istasyonuna sahiptir (Şekil 3.1). Bu istasyonlardan elde edilen veriler ondan fazla olan veri işlem merkezlerinde değerlendirilmektedir. Ayrıca IGS bünyesinde üç global veri merkezi, yedi büyük analiz merkezi ve birkaç tane de yerel analiz merkezi bulunmaktadır **(http://igscb.jpl.nasa.gov)**.



Şekil 3.1 IGS İstasyonlarının Konumları
(http://igscb.jpl.nasa.gov/network/complete.html)

IGS tarafından yayınlanan arşiv bilgileri sayesinde bölgesel ağlar IGS'in ağına bağlanarak yüksek doğruluklarla bölgesel ağın istasyon noktalarına ait koordinatlar ve bu noktalara ait hızlar elde edilmektedir. IGS'in ağına ait istasyonların yatay hızları yıllık 5 mm'nin altında bir doğrulukta bulunabilmekte ve bu bilgiler sadece uydu yörünge bilgilerini elde etmekte değil, ayrıca yeryüzü dinamiği için de kullanılabilmektedir. Yeryüzü dinamiği çalışmalarında istasyonların ağ içindeki hareketleri, ağın yöneltilmesindeki temel değişikler ve ağın ötelenmesi gözaltına

alınan temeller arasındadır **(http://igscb.jpl.nasa.gov)**. Ülkemizde de IGS ağına bağlı noktalar bulunmaktadır. Bunlar Ankara (ANKR), İstanbul (ISTA), Diyarbakır (DYR2), Trabzon (TRAB), Mersin (MERS) ve Gebze (TUBI)'de bulunmaktadır.

3.2. GPS Verilerinin Değerlendirilmesi

Günümüzde GPS verilerini değerlendiren birçok yazılım mevcuttur. Bu yazılımları ticari yazılımlar ve bilimsel yazılımlar olarak iki guruba ayırmak mümkündür. Ticari yazılımlar genellikle GPS alıcıları ile birlikte satılan ticari firmaların kendileri tarafından üretilen ve pazarlanan yazılımlardır. THALES-ASHTECH firmasına ait ASHTECH Office Suit, Trimble firmasına ait Trimble Geomatic Office ve SKIPRO gibi yazılımlar bu tür yazılımlara örnek olarak verilebilir. Bu yazılımlarla her türlü jeodezik GPS ölçmeleri değerlendirilebilmekte fakat yüksek presizyon isteyen jeodezik GPS ölçümlerinin değerlendirilmesinde Üniversiteler ya da Teknoloji Enstitülerince geliştirilmiş bilimsel yazılımlar kullanılmaktadır. Çünkü ticari yazılımlar kullanım kolaylığı ve kullanıcının daha az zamanda daha çok şey üretmesini sağlarken, aynı zamanda yazılımın çalışma prensibi bakımından bilinmeyenlerle dolu olmaları nedeni ile birer kara kutudurlar. Bu nedenle ticari yazılımlar bilimsel çalışmalar için ciddi sakıncalar doğurabilmektedirler. Tektonik hareketlerden, deformasyon ölçümlerine kadar yüksek presizyon isteyen birçok jeodezik ölçmelerde kullanılan bilimsel yazılımlara örnek olarak, BERNESE, GAMIT/GLOBK, GIPSY/OASIS gibi yazılımlar verilebilir. Bu tür yazılımlar genellikle kaynak kodlu GPS yazılım paketlerindendir. Bunlardan GIPSY (GPS-Inferred Positioning System), 1985 yılında Jet Propulsion Laboratory (JPL) tarafından geliştirilmiştir. Yazılım birbirinden bağımsız 2 kısımdan oluşmaktadır. İlk kısım uzay araçları için geliştirilen yörünge belirleme yazılımından oluşur. İkinci kısım ise yerkabuğu dinamiği ve radyo dalgaları gecikmeleri modellemelerini kapsayan VLBI jeodezik yazılımından oluşur. Daha sonraları bu iki sisteme Kalman Filtreleme ile parametre tahmini ve interaktif veri editleme özellikleri eklenmiştir. Bu arada yazılıma ilave özellikler eklenerek modüler hale getirilmiş ve OASIS adını almıştır **(http://www.unavco.org)**. Diğer bir yazılım olan BERNESE yazılımı biraz daha karmaşık bir sistemdir. Sadece ölçüm işlemini değil aynı zamanda bir gökyüzü cismi olarak GPS uydularının davranışları ve dünyanın bir gezegen oluşu gibi etmenlere bağlı olarak pek çok fiziksel etkiyi modeller. Aşağıda bu modellemeler verilmiştir.

- GPS uydularının içinde radyasyon baskısı gibi ataletsiz kuvvetleri de barındıran yörüngesel hareketleri,
- Güneş, ay ve diğer büyük gezegenler gibi gökyüzü cisimlerinin etkileri,
- GPS uydularının davranışlarının ölçülere etkisi,

- GPS saatlerinin davranışlarından kaynaklanan etkiler,
- Kutup hareketleri ve bir günün uzunluğu gibi dünya dönüş parametreleri,
- Yeryüzü dalgaları (gel-git), okyanus dalgaları ve ana karanın bunlara elastik tepkileri,
- Anten tipinin hata yayılımına etkileri,
- İyonosfer ve doğal atmosferin yayılım etkileridir **(Vermeer, 2002)**.

Yapılan bu çalışmada verilerin değerlendirilmesi Massachusetts Institute of Technology tarafından geliştirilen GAMIT/GLOBK yazılım takımı kullanılarak yapılmıştır. Bu yazılım takımı unix sistemi üzerinde çalışmaktadır. Yazılımda, girdi olarak değişik alıcılardan elde edilen ham verilerin, alıcıdan bağımsız olması için RINEX (The Receiver Independent Exchange Format) formatına dönüştürülmesi gerekmektedir. Verileri RINEX formatına çevirmek için geliştirilmiş birçok programcık bulunmakta ve bunların büyük bir çoğunluğu ticari yazılımlar içine modül olarak yerleştirilmektedir. Bu çalışmada verilerin formatını değiştirirken TEQC ve ASHTECH Office Converter programı kullanılmıştır. TEQC çok kullanılan, alıcı verilerinin RINEX formatına çevrilmesini sağlayan bir programdır. Hem unix hem de windows sürümü bulunan bu program, çalıştırılması ve öğrenilmesi kolay bir yapıya sahiptir. Diğer programlardan olan en büyük farkı ise değişik alıcıların içindeki ham verinin direk olarak RINEX'e çevrilmesini sağlar. Diğer programlar ile alıcının içindeki verilerin alıcıya ait aktarma sistemi kullanılarak bilgisayara aktarılır, daha sonra bu verilerin formatı değiştirilerek RINEX'e dönüştürülür. ASHTECH Office Converter THALES ASHTECH firmasının yazılımı olup Windows ortamında çalışmaktadır. Kullanıcı ara yüzü çok kolay olmakla beraber TEQC yazılımına göre iki kat daha fazla işlem kalabalıklığına ve dolayısıyla daha fazla zaman kaybına neden olabilmektedir. TEQC ile RINEX formatına dönüştürülen veriler ilk olarak GAMIT yazılımıyla değerlendirilir ve daha sonra ise değerlendirme sonucu ortaya çıkan işlenmiş veriler GLOBK aşamasında kalman filtresi uygulanarak değişik amaçlı çözümler gerçekleştirilir.

3.3. GAMIT

Massachusetts Institute of Technology (MIT) tarafından yazılan ve halen geliştirilmekte olan GAMIT yazılım paketi, GPS gözlemleri ile yüksek doğruluklu bağıl konum belirleme için kullanılan genel amaçlı bir analiz sistemidir. Bu yazılım paketi iki kısımdan oluşmaktadır. Bunlardan ilki GAMIT ikincisi ise GLOBK yazılımıdır. GPS verilerinin işlenmesinde önce GAMIT yazılımı kullanılır. GAMIT

değişik alıcılardan toplanmış ölçmeler üzerinde işlemler yapmak, faz ve pseudorange ölçmelerini modellemek gibi özelliklere sahiptir. Asıl fonksiyonu, taşıyıcı fazlardaki tamsayı devir belirsizliği ile atmosferik etkileri ve saat hatalarını da hesaba katarak gözlenen ve teorik olarak elde edilen ölçmelerin farklarına dayanan uydu yörüngelerini ve nokta konumlarını lineer kestirimle dengelemektir. Optimal faz belirsizliklilerini belirlemek için genel olarak tek bir oturumdan lineer olarak bağımsız faz ölçmelerinin çiftli farkları kullanılarak birden fazla sayıda dengeleme işlemi gerçekleştirilir. Uygun yersel bir referans sistemi tanımlayabilmek için dengelemede bazı noktaların zaman zaman da bazı uyduların dengeleme öncesi (a apriori) koordinatlarının ağırlıkları artırılır. Belirsizlikler bir kez çözüldükten sonra tüm nokta ve uydu parametrelerinin ağırlıklarının oldukça azaltıldığı iki ek dengeleme işlemi yapılır; birisinin içinde hiçbir tamsayı belirsizliği çözülmemiş, diğeri ise önceden saptanmış tamsayı belirsizliklerini kullanan bu iki dengelemenin sonuçları daha sonra GLOBK yazılım paketinde kullanılacak olan, bir oturum ölçme serisini oluşturur. Yazılımın ilk işlem adımında uydu saatleri ve uydu ön yörünge bilgileri (broadcast ephemeris) elde edilir ve efemeris ve pseudorange bilgileri ile apriori nokta koordinatlarına dayalı olarak ilgili istasyon saat düzeltmeleri hesaplanır. İkinci aşamada ise devir kesiklikleri saptanır ve ortadan kaldırılır. Uydu yörüngeleri (genellikle broadcast efemerise dayanan) ve nokta koordinatlarının apriori modeli, gözlenen ve pseudorange ölçmeleri ile karşılaştırılan teorik gözlemlerin hesaplanmasında kullanılır. Devir kesikleri, gözlem farklarının hesaplanması ve iyonosfer ve saat hareketlerinin etkilerini ortadan kaldıran faz gözlemlerinin kombinasyonlarının değerlendirilmesi ile saptanır **(Documentation for GAMIT, 2002).** Uydu efemerisleri ve nokta koordinatlarının apriori kestirimlerine dayalı teorik faz ve pseudorange ölçmelerini hesaplamak için birkaç değişik fiziksel model GAMIT tarafından gerçekleştirilmektedir. Bunlar, uyduların iç referans sistemleri içindeki hareketlerinin kestiriminde kullanılan kuvvet modelleri ile uydu ile alıcı arasındaki yayılma gecikmesini tanımlayan modellerdir. Bir uydunun yörüngesi, solar radyasyon basıncı ve Ay, Güneş ve Yer'in gravitasyonel potansiyelinden ortaya çıkan kuvvetlerin uydu üzerindeki etkileri ile hız ve uydunun başlangıç konumunu tanımlayan bir durum vektörü ile saptanabilir. GAMIT, bir uydunun hareketini sayısal olarak integre etmek ve faz ve pseudorange kestirimlerine dayanarak solar radyasyon basıncının parametrelerinin bir bölümünü ve uydu durum vektörünün altı parametresinin lineer sapmalarının kestirimlerini sağlama özelliklerine sahiptir. Uydu iç referans sistemi ile yersel referans sistemi arasındaki ilişki, yer dönme parametreleri ile yerin nutasyonu ve presizyonundan ileri gelen hareketleri gösteren bir dizi rotasyon matrisi ile tanımlanır. Presizyon ve nutasyon bilgileri ile yer dönme bilgileri, Dünya'da bu konuda ölçme ve yayın yapmakta olan ilişkili kuruluşların

almanaklarından ve tablolarından alınır. Teorik yayılma gecikmeleri, atmosferik reaksiyon modelleri ile uydu ve alıcıların apriori konumlarından saptanmaktadır. Apriori nokta tesisi üzerindeki alıcı anten yüksekliği WGS84 elipsoidine göre eklenmektedir. Güneşin ve ayın konumuna bağlı olarak katı yer gel git etkisinden ileri gelen zamanla değişen bir düzeltme ise nokta koordinatlarına eklenmektedir. Genel olarak, alıcı ve uydu saatlerine ikinci dereceden polinom düzeltmeleri getirilmektedir. Selective Availabilitiy (SA) olarak adlandırılan uydu saat hatalarındaki etkiler de daha karmaşık modeller kullanılarak elimine edilmektedir. Teorik faz ve pseudorange gözlemleri, nokta ve uydu konumlarının apriori modellerine göre bir kere hesaplandıktan sonra bu apriori değerlere, oturumlar boyunca yapılan faz ve pseudorange gözlemlerine dayanan bir dizi en küçük kareler dengelemesi uygulanır. GAMIT, birbirinden bağımsız çift-farkları oluşturmak üzere bir algoritma kullanmaktadır. Üç boyutlu koordinatlar, her bir uydunun altı başlangıç koşulu ve radyasyon basıncı parametresi ve her bir noktaya ilişkin oturum boyunca geçerli modellenmeyen atmosferik reaksiyon etkisi için zenit gecikme parametresi ve birbirinden bağımsız çift-fark belirsizlik parametreleri dengeleme sonunda belirlenir. Çift-fark oluşturulmuş iyonosferden bağımsız gözlemleri kullanan ilk dengelemede tüm parametreler ve belirsizlikler belirlenir. İlk dengelemelerde saptanan birbirinden bağımsız çift-farkların faz belirsizlik parametreleri, faz datasının dağılımı ve baz uzunluğuna dayalı eşleme ile orijinal taşıyıcı faz belirsizliklerinden üretilir. Bu eşleme, kısa baz uzunluklarından elde edilen belirsizlik çözümünün daha güvenli olması avantajını ağın tamamı içinde kullanarak en kısa bağımsız yola göre birbirinden bağımsız çift-fark kümesini oluşturur. Bir sonraki adım, L1 ve L2 faz gözlemlerini bağımsız olarak kullanarak çift-fark uzun dalga boyu belirsizlik parametreleri için en iyi uyan tamsayıyı iteratif olarak saptama işlemidir. Bu adımda, tamsayı değerleri saptanacak olan belirsizlik değerleri dışındaki tüm parametreler iyonosferden bağımsız dengelemeden elde edilen değerlerine sabitlenir. Uzun dalga boyu belirsizlikler bir kere güvenli bir şekilde çözüldükten sonra doğru tamsayı değerlerine yuvarlanır ve tüm parametreleri saptamak ve ardışık olarak kısa dalga boylu belirsizlikleri çözmek için iyonosferden bağımsız çift-farklı gözlemler üzerinde başka bir dengeleme işlemi yapılır. Belirsizliklerin çözülmesi amacı ile bu tek bir ölçme periyodunun dengeleme hesaplarında büyük ağırlıklara az sayıda noktanın koordinat dengeleme hesaplarına uygun bir yersel referans sistemi tanımı sağlamak için uygulanır. Belirsizlikler çözüldükten sonra tüm nokta ve uydu parametrelerinin ağırlıkları azaltılmış iki dengeleme daha gerçekleştirilir. Bu dengelemelerde uygun apriori değerlerin seçilmesi, GLOBK kestirmelerini yanlış yönde etkilememek ve aynı zamanda GAMIT çözümlerinin de sayısal yetersizlik problemlerinden etkilenmemesini sağlamak için önemlidir. İlk dengelemede, tüm belirsizlikler serbest

olarak saptanmış ve tamsayı değerlerine çözülmesi için hiçbir girişimde bulunulmamıştır ve bu dengeleme iyonosfer bağımsız-eğilim bağımsız olarak adlandırılır. İkinci dengelemede tamsayı belirsizlikleri, büyük ağırlıklar ile kısıtlanarak yapılan dengelemeden ve belirlenen diğer tüm parametrelerden elde edilen önceki değerlere yuvarlatılmışlardır ve bu dengeleme iyonosfer bağımsız-eğilim bağımlı olarak adlandırılır. Bu tek ölçme periyodu gözlemlerinin dengelenmiş değerleri, ağırlıklı ortalama nokta koordinatları, nokta hızları, uydu parametreleri ve GPS gözlemlerinin kısa ve uzun dönemli prezisyonunu saptamak üzere GLOBK yazılımı tarafından kullanılır **(Department of Earth, Atmospheric, and Planetary Sciences, 2002).**

3.4. GLOBK

GLOBK yazılımında, temel olarak uydu-jeodezisi yardımı ile elde edilmiş ölçmelerin değerlendirilmesinden elde edilen çözümler bir araya getirilerek Kalman Filtresi uygulanması işlemi gerçekleştirilir. GLOBK, veri olarak asıl ölçmelerin analizinden üretilen nokta koordinatları, yörünge parametreleri ve yerin dönüş parametrelerinin değerlendirilmiş değerleri ile ilgili kovaryans matrislerini veri olarak kabul eder. Bu asıl çözümlerin, birleşik çözümler içinde kısıtlamaların uniform şekilde uygulanmalarını sağlayacak şekilde küçük ağırlıklar ile elde edilmiş olmaları gerekir. Kalman filtrelemesi, parametrelerin ardışık olarak kestirimini sağlayan bir yöntem sağlamaktadır. Verilen bir başlangıç durum vektörü ve kovaryans için Kalman filtresi, durum vektörü ve kovaryansın kestirimini iyileştirmek için ek bilgileri kullanabilir. Ayrıca, Kalman filtresinin ek bilgi olarak kabul ettiği kısıtlamaların yüksek apriori varyanslı bir durum vektörüne uygulanması durumunda Kalman filtresi kısıtlamaların etkilerini yansıtan iyileştirilmiş bir durum vektörü ve kovaryans üretir. Genel olarak iki tip Kalman filtresi dengelemesi gerçekleştirilir; ölçmelerin ağırlıklı ortalamalarının ve hız gibi diğer model parametrelerinin ardışık kestirimlerini veren ileri çözüm ve ileri çözüme göre ölçme düzeltmelerinin saptanmasını sağlayan bir geri çözüm. Bu olanakların kullanılabilmesi için, küçük değerlerle ağırlıklandırılmış apriori kısıtlamalar GAMIT'te tüm nokta koordinatlarına ve uydu durum vektörüne uygulanır. GAMIT'in nokta ve uydu vektör sonuçları, büyük varyanslı ve korelasyonlu bir kovaryans matrisine sahiptir, ancak yüksek oranlarda kısıtlanmış çözümlerin normal geometrik ilişkilerinin sürmesine de olanak sağlar. Örneğin, bir durum vektörü, üç nokta konumu üzerinde yüksek oranda kısıtlanmış bir Kalman filtresi tekniği kullanarak birleştirilirse sonuçtaki çözüm vektörü GAMIT'te kestirilen modele lineer olarak yakın bir apriori model kullanılırsa aynı kısıtlamaları kullanarak saptanan çözümün aynısı olur. Bu teknik koordinatların eş zamanlı saptanması için birden fazla oturumdan gelen dengelemeleri birleştirmek yeteneğine sahiptir.

Bununla beraber hem nokta hem de uydu parametrelerindeki farklı apriori kısıtlamaların kullanımının etkisini test etmek için etkin bir yöntemdir. Bu olanaklar özellikle farklı güvenilir ağların kullanılmasından çıkarılan dengelemelerin uniform olarak birleştirilmesinde kullanışlıdır. Eğer bir GPS kampanyasında ayrı ayrı oturumlar için tüm uydu yörüngeleri aynı başlangıç koşullarından elde edilmişlerse, uydu yörüngelerindeki yüksek ağırlıklı kısıtlama uygulaması teorik olarak daha presizyonlu koordinat kestirimi sağlaması gereken çoklu oturum efemerisi kullanmaya eşdeğerdir. Zamana göre noktaların hızlarını tanımlayan parametreler bu çerçeveye kolayca oturtulabilir ve bu oranlarla ilgili nokta koordinat kestirimlerinin dağılımı oturumlar arasındaki nokta koordinatlarını serbest bırakmak için stokastik süreçler koyularak kestirilebilir **(Yavaşoğlu, 2003)**.

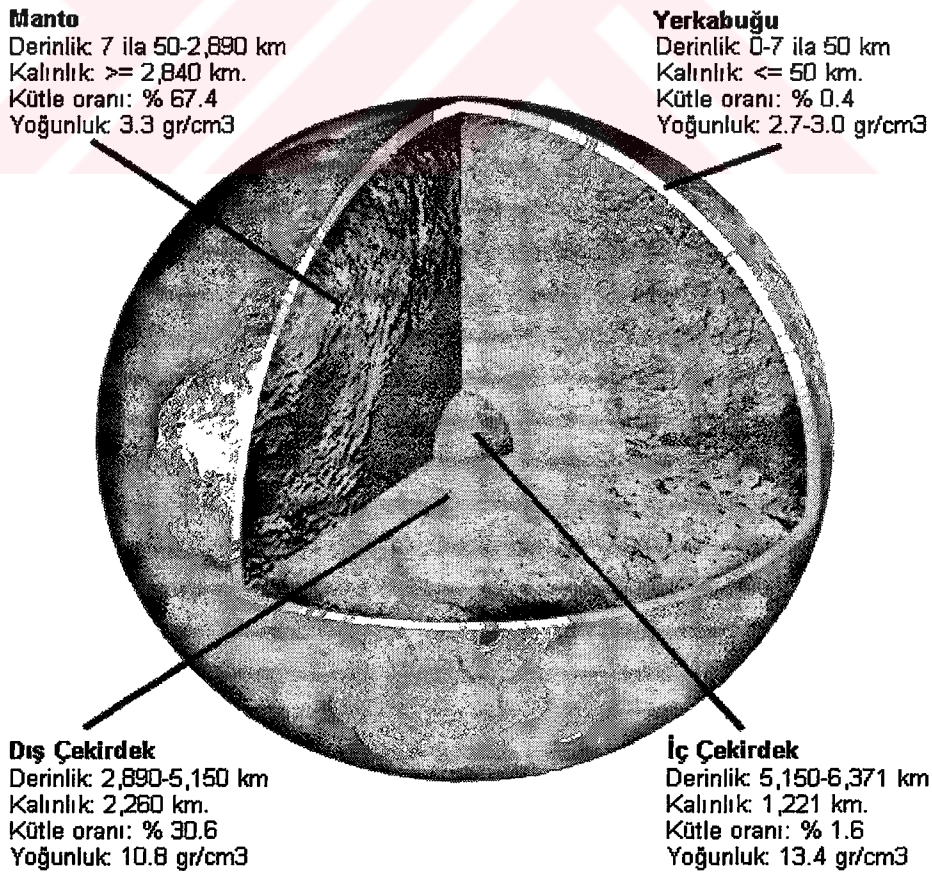
4. GLOBAL LEVHA TEKTONİĞİ VE TÜRKİYEYİ ETKİLEYEN LEVHA HAREKETLERİ

4.1. Genel Bilgi

Dağların oluşumu, depremler ve yanardağ etkinlikleri gibi jeolojik olayları inceleyen yerbilimciler, bu olayların nedenleri ve oluşum mekanizmaları ile ilgili çok çeşitli varsayımlar ve kuramlar ortaya atmışlardır. 19'uncu yüzyılın başından bu yana sayıları oldukça kabarık olan jeoteknik varsayımların ve kuramların başlıcaları; Kontraksiyon Kuramı, Ekspansiyon veya Genişleme Büyüme Kuramı, Konveksiyon Akıntıları Kuramı, Kıtaların Kayması ve bunu izleyen Levha Tektoniği Kuramıdır. Kontraksiyon Teorisinin ana fikri, yani yerküre'nin başlangıçta sıcak-ergimiş bir kütle halinde bulunduğu, zamanla soğuyarak büzüldüğü, hacminin küçüldüğü ve dış kısmında katı bir kabuğun oluştuğu, daha 17. yüzyılda Descartes (1664) ve Newton (1681) tarafından benimsenmiş, ilk kez yer bilimlerine uygulanması ise, James Hall tarafından gerçekleştirilmiştir. Fakat teorinin tüm jeolojik yönleri ile geniş anlamda kurucusu ünlü Fransız yer bilimci Elie de Beamont olmuştur (1829-1852). Özellikle Avusturyalı büyük yer bilimci Ed. Sues (1831-1909) Yeryuvarının Çehresi adlı ünlü eserinde teoriyi yer bilimleri alanında bir dünya görüşü niteliğine yükseltmiştir. Kontraksiyon Teorisi yirminci yüzyılda Jefreys ve Guttenberg gibi ünlü jeofizikçiler tarafından değişik biçimde de olsa desteklenmiştir. Ekspansiyon veya Genişleme Büyüme Teorisine göre, yeryuvarının hacminin büyüme nedeni esas itibarıyla ısısal genişlemedir. Diğer bir neden, yer içindeki yoğunluğu fazla yüksek basınç fazındaki maddelerin yoğunluğu daha az düşük basınç fazındaki türlerine dönüşmesidir. Konveksiyon akımları teorisinin dayandığı ana görüş, yer içinde kabuk altında cereyan eden ısı değiş tokuşudur. Teoriye göre yerin içi ile yeryüzünün sıcaklığı arasındaki ısı farkı yerin manto kesiminde yılda bir kaç santimetre hızla hareket eden bir konveksiyon akımı oluşturmaktadır ve bu hareket sürtünme dolayısıyla yerkabuğuna intikal etmektedir. Diğer bir deyişle derinlerde manto kesiminde çok yavaş akan maddeler yerkabuğundaki hareketlere aktif olarak katılmakta büyük tektonik yapıların meydana gelmesinde katkıda bulunmaktadır **(Şengör, 1999)**. Özetle konveksiyon akımını besleyen onu sürekli olarak hareket halinde tutan enerji kaynağı, yerin sıcaklığı ve gravitasyon etkisidir.

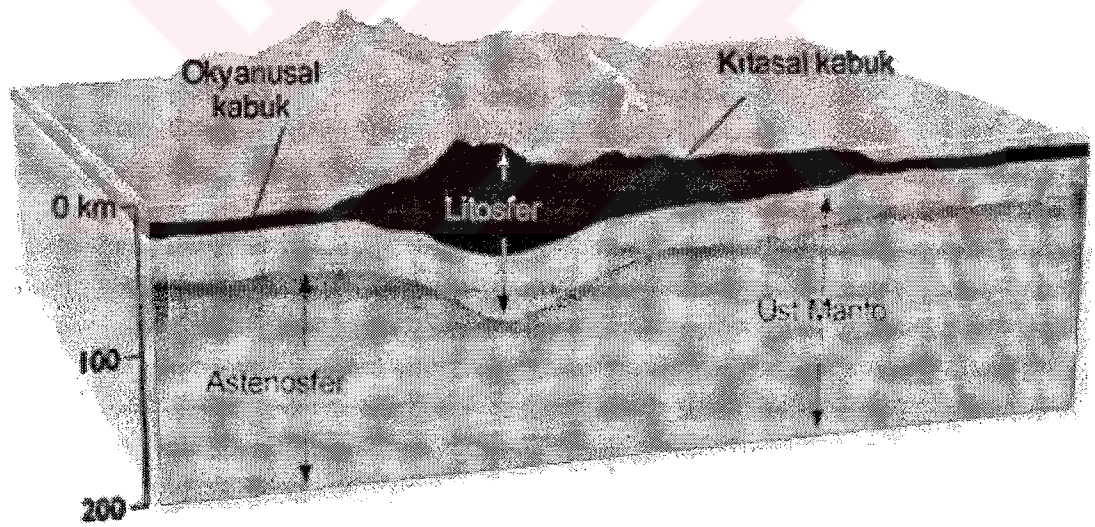
Kıtaların kayma teorisi, Alman Jeofizikçi Alfred Wegener tarafından 1912'de ortaya konmuş ve E. Argand (1922), Du Toit (1921) gibi dönemin ünlü jeologları ile Beniof (1954) Runcorn (1962), Sykes (1968) ve Bullard (1969) gibi yeni zamanların tanınmış jeofizikçileri tarafından da benimsenmiş ve desteklenmiştir **(Şengör, 1999)**. Bu teoriye göre; Kıtalar okyanus tabanlarından farklı yapıdadırlar. Onlara sımsıkı bağlı da değillerdir. Aksine buzdağlarının denizde yüzdükleri gibi kıtalar da derin deniz diplerinde-okyanus tabanlarında- açığa çıkan ve yoğunlukları kendilerinkinden fazla olan ağır maddeler üzerinde yüzerler kayarlar.

Levha Tektoniği, büyük ölçüde okyanuslardan elde edilen veriler üzerine kurulmuş bir teoridir. Bu özelliği ile kendinden önceki teorilerden ayrılır. Bugün hemen hemen tüm yerbilimciler tarafından benimsenen kuram Levha Tektoniği kuramıdır. Levha tektoniğinin daha iyi anlaşılabilmesi için Dünyanın içyapısının bilinmesi önemlidir. 6378 km yarıçapında olan yerküremiz, dıştan içe doğru Litosfer, Manto ve Çekirdek olarak adlandırılan katmanlardan oluşmaktadır. Manto, üst ve alt manto olmak üzere 2 kısıma ayrılırken çekirdek de dış ve iç çekirdek olarak alt katmanlara ayrılmaktadır (Şekil4.1).



Şekil 4.1 Yerkürenin Katmanlı İç Yapısı (www.sayisalgrafik.com.tr)

Yerkabuğu yerin hacminin % 1'ini, ağırlığının ise % 2.5'ini oluşturur. Tüm manto ise yer hacminin % 84'ünü ağırlığının ise % 67'sini kapsar. Çekirdek yer hacminin % 15'ini oluştururken, tüm ağırlığın % 32'sine sahiptir. Yerin en dıştaki katmanı olan yerkabuğu, karalarda ortalama 25–80 km, okyanusların altında ise 5–8 km'lik bir kalınlığa sahiptir (Şekil 4.2). Yerkabuğu kendisi gibi katı olan ve Litosfer adı verilen ve yaklaşık olarak 70–100 km kalınlığındaki katmanın en üst kısmını oluşturur. Litosferin sıcaklığı altta 1300 C^0 derece civarındadır. Kabuğun Litosfer içindeki alt sınırına Mohorovicic sınırı denir. Litosferin altında ise Üst Mantonun daha yumuşak (akıcı) bölgesi olan ve Astenosfer olarak adlandırılan bölüm yer alır. Şekil 4.2' den de görüldüğü gibi Yerkabuğu kıtalar ve okyanuslar altında farklı fiziksel ve kimyasal özelliklere sahiptir. Granit, kumtaşı ve kireçtaşı gibi alüminyum oksit ve silisyum oksitçe zengin ve az yoğun kayaçlar kıtaların altındaki kabuğu, demir oksit ve magnezyum oksitçe zengin bazalt cinsinden daha yoğun kayaçlar ise okyanusların altındaki kabuğu oluştururlar. Alt ve Üst Mantonun önemli oranda demir, magnezyum, silikat ve oksijenden oluştuğuna inanılmakta, ancak kimyasal yapısı ayrıntılı olarak bilinmemektedir. Yerin sıvı nitelikli Dış Çekirdeğinin % 8–20 arasında alaşımlı olduğu ve erimiş demirden oluştuğu öne sürülmektedir. Yerin İç Çekirdeği ise katı olup, bileşiminin yüzde 80–85 oranında demir içermektedir **(Tüysüz, 1999).**



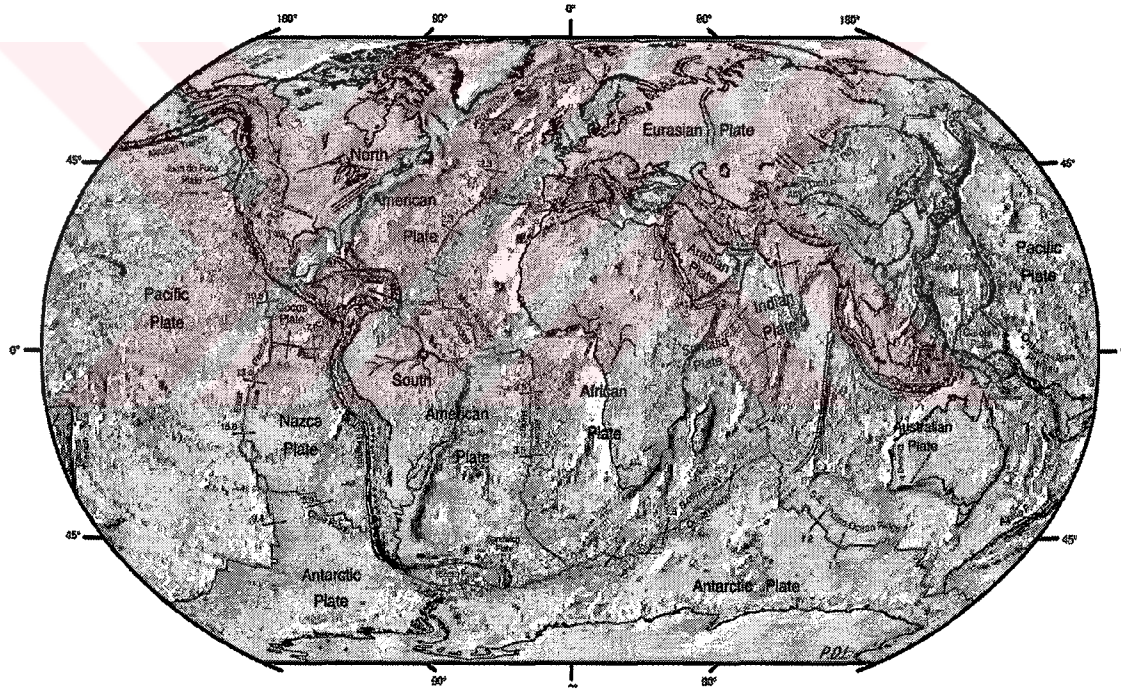
Şekil 4.2 Dünyamızın Dış Kısmındaki Katmanlar (Pres ve Siever, 1999)

4.2. Levha Tektoniği

Güneşin çevresinde ve kendi ekseninde dönerek sürekli bir hareketlilik sergileyen yerküre, kendi içinde de devingendir. Litosferin katı yapısına karşılık Astenosfer kendi içerisinde senede santimetre mertebesinde bir hızla hareket etmektedir. Astenosferin bu hareketleri ısıtılan bir kaptaki suyun konveksiyon akımları ile

kıyaslanabilir. Nasıl ki bir kapta ısıtılan su hafifleyip yukarıya doğru yükselmekte, yüzeyde ise soğuyup yoğunlaşarak tekrar alta doğru hareket etmekte ise Astenosfer'de Dünya'nın çekirdeğinden aldığı ısı nedeniyle benzeri bir hareket yapmaktadır. Astenosfer içerisindeki bu konveksiyon akımları üstteki Litosferin farklı yönlere sürüklenmesine neden olurlar. Astenosferin senede santimetre mertebesindeki hareketleri sonucunda Litosfer birbirine göre hareket eden çeşitli boyutlardaki parçalara ayrılmıştır. Bu litosfer parçalarına Levha, bunların hareketini inceleyen bilim dalına da Levha Tektoniği adı verilir **(Tüysüz, 1999).**

Bugün Dünyamızda tespit edilen 7 tane büyük, çok sayıda da küçük levha bulunmaktadır (Şekil 4.3). Şekil 4.3'te belirtilen levhalardan büyük olanları; Avustralya, Pasifik, Kuzey Amerika, güney Amerika, Afrika ve Antartika levhalarıdır. Küçük levhalardan başlıcaları da Antiler, Filipinler, Kokos ve Nazka levhacıklarıdır **(http://geology.er.usgs.gov).**

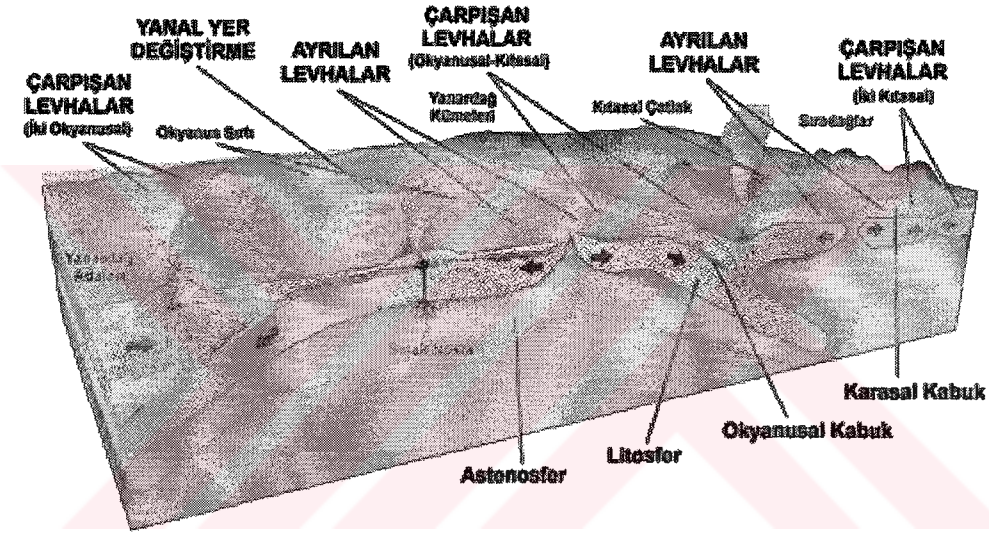


Şekil 4.3 Dünyamızın Tektonik Levha Yapısı
(http://geology.er.usgs.gov/eastern/plates.html)

Levhaların adları her ne kadar kıtaların adlarını taşımakta ise de kıtaların sınırları ile levhaların sınırları aynı değildir. Kıtalar kendilerinden çok daha büyük olan levhalar içine gömülmüş, levhalarca sürüklenen yerkabuğu parçalarıdır. Birbirine bağlı olarak hareket eden levhaların sınırları yeryüzünde birkaç yıl içinde meydana gelen depremlerinin episantırlarının dağılımı ile belirlenebilmektedir. Bu durum levha sınırlarının sürekli olarak hareket halinde bulunduklarını ayrıca kanıtlamaktadır. Denizaltı ve yeryüzü volkanizması, okyanus çukurlarının ve kıvrımlı sıradağların

oluşumu, büyük ölçüde yatay kayma hareketleri, farklı derinliklerde odakları olan depremler ve benzeri büyük jeolojik-tektonik hareketler çoğunlukla bu levhaların sınır bölgelerinde meydana gelmektedir. Buna karşın, levhaların kendi içlerinde belirgin bir deformasyon olmamaktadır. Bir levha üzerinde yer alan iki nokta arasındaki uzaklık hep aynı kalmakta ancak değişik iki levha üzerinde bulunan iki nokta arasındaki uzaklık zamanla değişmekte, uzamakta veya kısalmaktadır.

Levha sınırlarındaki bağıl hareketler 3 şekilde gerçekleşmektedir. Levhalar ya sınırları boyunca birbirinden uzaklaşırlar, aralarında bir açıklık bırakırlar (diverjant levha sınırları); yahut levhalar birbiri ile çakışırlar, çarpışırlar, biri diğerinin altına dalar veya üzerine bindirir (konverjan levha sınırları); yahut ta levhalar sınırları boyunca birbirine nazaran kayarlar (Transform Faylı Sınırlar). Bu 3 hareketin her birinin kendine özgü jeolojik sonuçları vardır **(Tüysüz, 1999),** (Şekil 4.4).

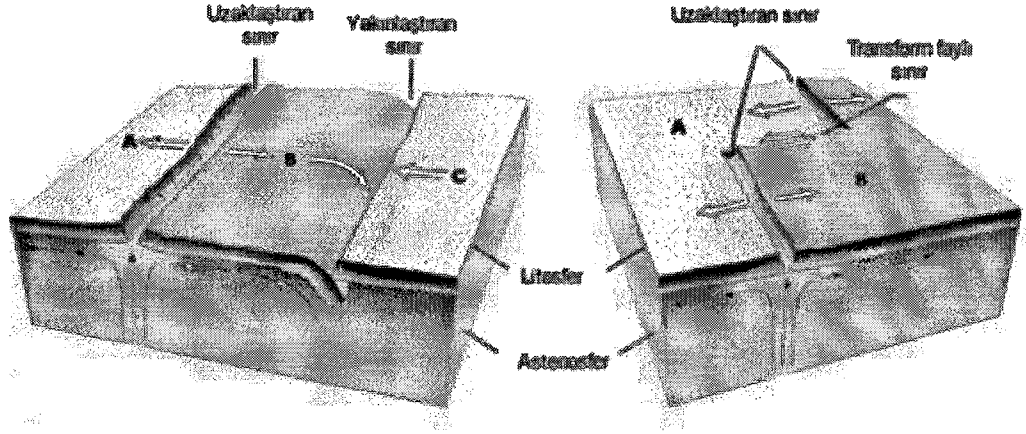


Şekil 4.4. Başlıca Levha Sınırı Tipleri (José F. Vigil, 2004)

4.2.1. Diverjan Levha Sınırlarındaki Jeolojik Olaylar

Birbirinden uzaklaşan levhanın sınırında meydana gelen olaylar topluluğuna deniz tabanı yayılması denir. Bu olayda uzaklaşmakta olan levhalar arasındaki boşluğu derinlerden, Astenosferden yükselen sıcak ve kısmen sıvı mağma doldurur. Burada soğuyan ve katılaşan mağma iki tarafa hemen hemen simetrik olarak yayılır, uzaklaşmakta olan levhaların kenarına eklenir ve burada yeni bir okyanus oluşmaya başlar. Bugünkü okyanus tabanları çoğunlukla bu şekilde oluşmuşturlar. Yükselen mağmanın okyanusta çıktığı yerde bir yığılma ve birikme oluşmaktadır. Zamanla burada bir yükseklik oluşmakta ve sırt adını almaktadır. Sırt eksenleri ısı akışı değerinin yüksek olduğu ve normal faylara bağlı olarak küçük magnitüdlü sığ depremlerin sık sık olduğu zonlardır. Bunun yanında, okyanus tabanları okyanus ortası sırtlarda birbirinden uzaklaşırken bir küre şeklinde olan dünyanın geometrisi

gereği transform faylarla kesilir ve kendilerine has bir yapı oluştururlar **(Ketin, 1993)**, (Şekil 4.5).



Şekil 4.5 Diverjant Levha Sınırlarında Transform Faylı Sınırların Oluşumu (Pres ve Siever, 1999)

Örneğin Doğu Afrika-Ölü Deniz Yarılımı'nda batıdaki Afrika ve doğudaki Arabistan plakaları yılda birkaç mm hızla birbirlerinden uzaklaşmaktadır. Bu açılmanın etkisi ile Arabistan Plakası kuzey yönde kaymakta ve sınırdaş olduğu Anadolu Plakası'nı batıya doğru itmektedir. Bu sırtlar boyunca transform faylar gelişir. Transform fayların sınırladığı ve sırt uzanımına dik yöndeki plaka bloklarının ise birbirlerine göre yanal yer değiştirmesi söz konusudur. Bu sırt alanlarındaki depremlerin oluştukları alanlar ise bu değişmenin olduğu yerdedir. Bu sırtlar boyunca sığ odaklı depremler meydana gelmektedir **(Ketin, 1993).**

4.2.2. Konverjan Levha Sınırlarındaki Jeolojik Olaylar

Konverjan levha sınırında levhalar birbiriyle çarpışır, birbiri üzerine bindirir ya da biri diğerinin altına dalar. Levhalardan birinin diğerinin altına dalmasına ve Astenosfer içinde batmasına dalma-batma denir. Bu olayda litosferin batan kısmı zamanla Astenosfer içinde eriyerek kaybolur. Dalma zonları deprem bakımından ilginç bölgelerdir. İki katı levha kenarının birbirine basınç yaptığı sığ derinlikte şiddetli deprem faaliyeti hüküm sürer. Dünyanın büyük depremleri ve diğer birçok küçükleri dalmakta olan okyanusal litosfer ile kıtasal veya ada yayı litosferi arasındaki kayma yüzeyleri boyunca meydana gelmiştir **(Ketin, 1993)**. Japon Adaları boyunca, Japon-Kuril Çukurluğu ve Nankai Çukurluğu alanlarında Pasifik ve Filipin plakalarının Avrasya Plakası, Afrika Plakası'nın Anadolu Plakası altına dalması bu tür yer değiştirmeye örnektir **(Ketin, 1993).**

4.2.3. Transform Faylı Sınırlardaki Jeolojik Olaylar

Bu sınırlarda levhalar yatay olarak yüzeyleri boyunca birbiri yanında kayarlar. Bu sırada levhaların boyutlarında azalma ve çoğalma olmaz. Bunun yanında transform fayların yalnız iki sırt parçasında kalan kısmı aktiftir. Transform faylar üzerindeki depremler yalnız aktif kesimler boyunca meydana gelir. Bu depremler genellikle çok sığ olup odakları 15 km'den daha az derinlikte bulunur. Eğer deprem gevrek bir kabuk içinde meydana gelirse etkisi çok büyük ve yıkıcı olmaktadır **(Ketin, 1993).**

4.3. Depremlerin Oluşumu ve Faylar

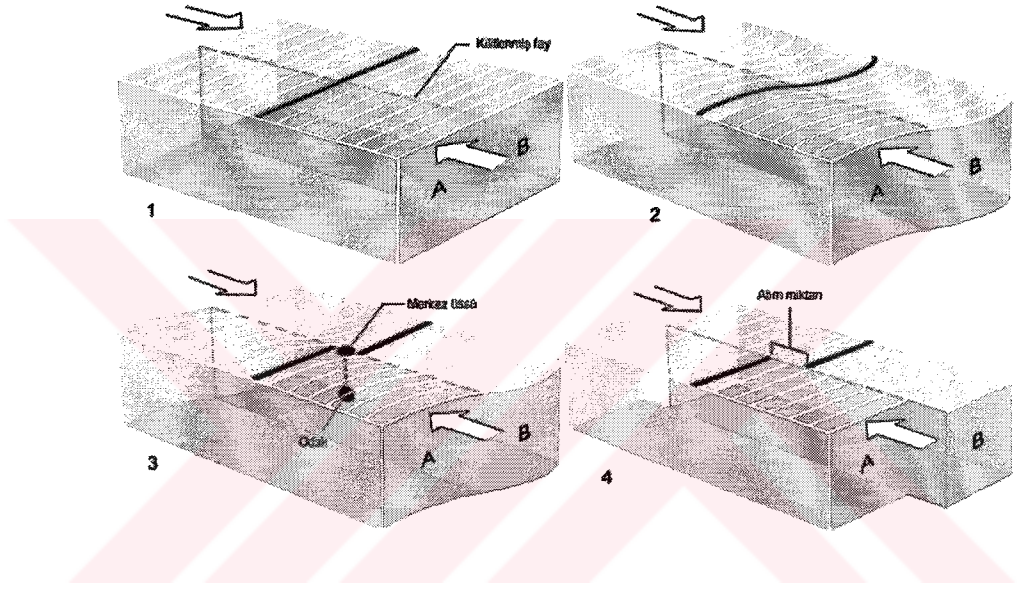
İnsanlığın varoluşundan bu yana depremler insanları etkileyen en önemli doğal olaylardan birisi olmuştur. Geçtiğimiz yüzyılda nüfus artışına, teknolojik ve ekonomik gelişime paralel olarak insanlar dağınık ve tenha yerleşim şeklinden vazgeçerek kentlere göçmüşler, böylece şehirler büyümeye başlamış, insanoğlunun dünya üzerinde görülmesinden milyonlarca yıl önce de varolan depremlerin şehirler üzerindeki etkisi de giderek artan boyutta hissedilmeye başlanmıştır.

Bugün bilinen ve kabul edilen gerçek, depremin yerin hareketleri sonucunda oluştuğudur. Depremler çeşitli nedenlerden dolayı oluşmaktadır. Bunlardan başlıcaları volkanik patlamalara bağlı olarak oluşan depremler, yerkabuğu içerisindeki boşlukların çökmesi ile oluşan depremler ve en önemlisi olan faylanmaya bağlı olarak oluşan depremler sayılabilir.

Deprembilimin en önemli kuramlarından biri 1910 yılında Amerikalı bilim adamı H.F. Reid tarafından ileri sürülen esnek yamulma enerji salınması kuramıdır. Bu kurama göre mevcut bir fayın iki tarafındaki bloklar fay düzlemi boyunca birbirlerine sürtündükleri için hareket edemez, üzerlerine gelen kuvvetleri deforme olarak karşılarlar. Bu durumdaki faylara kilitli fay denir. Üzerlerine yüklenen enerjiyi biriktiren ve deforme olan kayalar deformasyonun gücü sürtünme gücünü ya da bloklardan birini oluşturan kayaların kırılma dayanımını yenecek seviyeye gelince aniden kırılırlar ve böylece fay oluşur. Kayalar içerisinde o zamana kadar biriken enerji depremin odak noktasında boşalır, fay harekete geçerek bloklar bir miktar atılır. Fayın iki tarafındaki kayalar ise deformasyon öncesindeki hallerine dönerler. Kayalara etki eden kuvvet devam ettikçe bu döngü de böylece sürer **(Keller ve Pinter 1996).** Fay blokları arasında kaymanın başladığı yere depremin odak noktası, bu noktanın yeryüzündeki izdüşümüne merkez üssü ya da dış merkez denir. Şekil 4.6' da Esnek serbestlenme kuramına göre katı bir ortamda yerkabuğunun kırılması (faylanması) ve depremin oluşumunu zaman içinde aşamalı olarak gösterilmektedir.

4.3.1. Faylar

Dünyamızda oluşan yıkıcı depremlerin neredeyse tamamı faylarla ilişkilidir. Bu nedenle faylar depremlerin anlaşılması açısından en önemli unsurlardan biridir. Eğer bir kırığın iki tarafındaki kayalar birbirlerine göre gözle görülür miktarda hareket etmişlerse bu kırığa fay adı verilir. Fayların boyutları birkaç santimetreden birkaç yüz hatta bin kilometreye, atım miktarları ise birkaç santimetreden onlarca hatta bazen yüzlerce kilometreye kadar değişmektedir. Fayların boyu depremin büyüklüğü ile logaritmik olarak orantılıdır. Büyük ve sığ depremlerde yeryüzünde gözlenen fayın boyu yüzlerce kilometreye erişebilmektedir. Faylar segmentler (birbirinin devamı şeklindeki fay parçaları) şeklinde olabilirler.

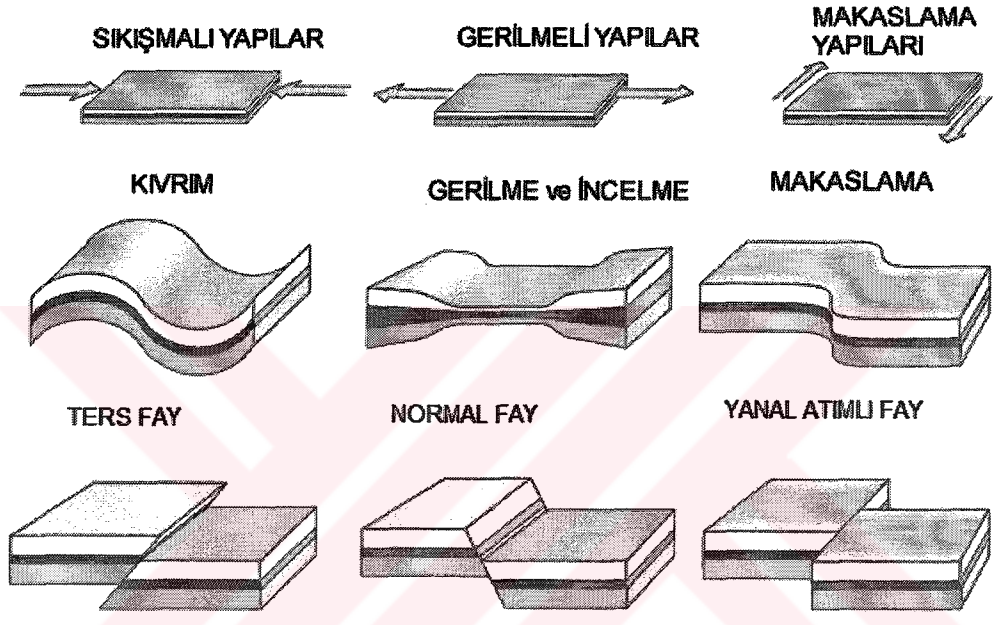


Şekil 4.6 Faylanma Aşamaları (Pres ve Siever, 1999)

Faylar, blokların hareket yönü ile fay düzlemi arasındaki ilişkiye göre eğim atımlı, verev (oblik) ve doğrultu atımlı faylar olarak sınıflandırılırlar. Bunlar sıkışma, gerilme ya da makaslama kuvvetlerinin etkisi ile gelişir ve kendilerini oluşturan kuvvete bağlı olarak farklı şekiller alırlar **(Tüysüz,1999)**, (Şekil 4.6).

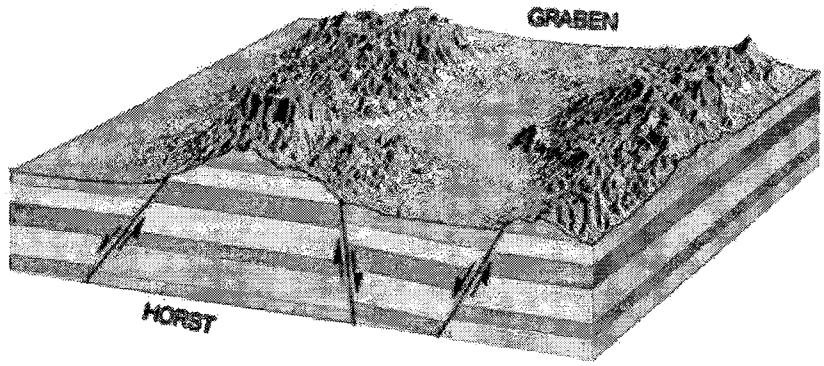
Blokların fay düzlemi boyunca birbirinden uzaklaşma miktarına atım veya ötelenme denir. Bir fay düzleminin iki tarafında yer alan ve fay tarafından birbirine göre ötelenen kayalar fay bloklarını oluştururlar. Fay düzlemi düşey ise bu bloklar hareket ettikleri yöne bağlı olarak alçalan veya yükselen blok adı ile bilinirler. Eğer fay düzlemi eğimli ise fay düzleminin eğimi yönündeki bloğa tavan bloğu, tersi yönündeki bloğa da taban bloğu adı verilir. Faylar, fay bloklarının fay düzlemine göre hareket ettikleri yön dikkate alınarak adlandırılırlar. Eğim atımlı faylar blokların fay düzleminin eğimi yönünde hareket ettiği faylardır. Tavan bloğu taban bloğuna göre aşağı düşmüşse eğim atımlı normal faydan, tavan bloğu taban bloğuna göre yukarı

çıkmışsa eğim atımlı ters faydan söz edilir. Normal faylar gerilmeli tektonik rejim altında gelişir ve bölgenin genişlemesine neden olurlar. Ters faylar ise sıkışmalı tektonik rejim altında gelişir ve bölgenin kısalmasına neden olurlar. Doğrultu (yanal) atımlı faylar blokların fay düzleminin doğrultusu boyunca hareket ettiği faylardır. Bloklardan biri üzerinde durulup karşı bloğa bakıldığında karşı blok sağa doğru hareket etmişse sağ yanal, sola doğru hareket etmişse sol yanal atımlı faydan söz edilir **(Tüysüz, 1999)**. Bu tür faylar makaslama kuvvetleri etkisinde gelişirler (Şekil 4.7).



Şekil 4.7 Fayların Gelişimi (Pres ve Siever, 1999)

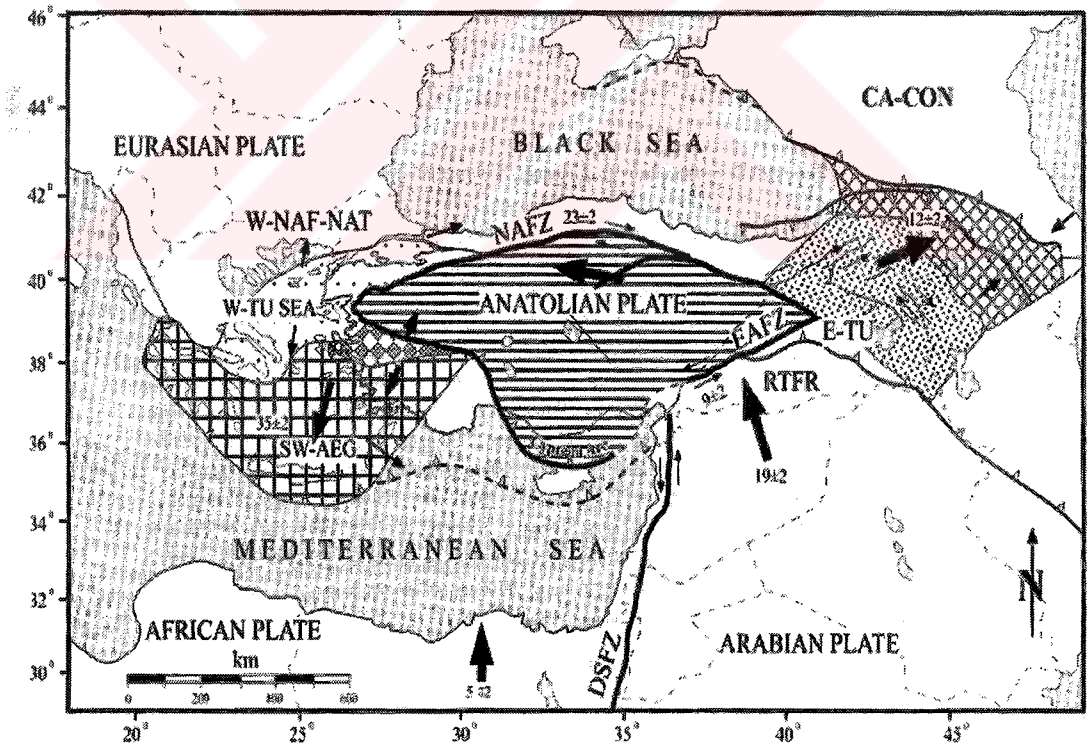
Oblik (verev) faylar blokların hem doğrultu hem de eğim yönünde hareket ettiği faylardır. Bunlar eğer tavan bloğu alçalmışsa oblik normal fay, eğer tavan bloğu yükselmişse oblik ters fay olarak adlandırılır. Ters fayların eğim açısı düşükse bindirme fayı adını alırlar. Yatay ya da yataya yakın eğimdeki ters faylara ise nap adı verilir. Bunlar atımı yüzlerce kilometreyi bulan ve büyük dağ sıralarının oluşumu esnasında gelişen sıkışmalı yapılardır. Karadeniz Bölgesinde, İç Anadolu'da, Toroslarda ve Güneydoğu Anadolu'da örnekleri vardır. Bir bölgede normal faylar ardışıklı olarak geliştikleri zaman horst-graben yapısının gelişimine yol açarlar (Şekil 4.8). Horstlar yükselen, grabenler ise alçalan fay bloklarına karşılık gelirler. Horstlar dağlık ve yüksek alanları, grabenler ise alçak ve düzlük alanları oluştururlar. Ege bölgesi bu tür horst-graben yapıları için iyi bir örnektir **(Tüysüz, 1999).**



Şekil 4.8 Horst Ve Graben Yapısı (Pres ve Siever, 1999)

4.4. Türkiye ve Çevresinde Tektonik Yapı

Ülkemiz yerkabuğu hareketleri açısından dünyada benzeri az bulunan doğal bir laboratuardır. Yerkabuğu hareketlerinin nedenlerini anlamak için, bulunduğumuz coğrafyanın tektonik yapısına kısaca göz atmak yararlı olacaktır (Şekil 4.9).



Şekil 4.9 Türkiye ve Çevresinin Tektonik Durumu (Mc Clusky ve diğerleri, 2000)

Ülkemizin üzerinde bulunduğu Anadolu Plakası, kuzeyde Avrasya Plakası, güneyde Afrika ve Arap Plakaları, doğuda Doğu Anadolu Bloğu ve batıda Ege Bloğu tarafından çevrilmiştir. Avrasya Plakasının hareket etmediği kabul edildiğinde; Afrika

plakası yılda 5 milimetrelik bir hızla kuzeye doğru, Arap Plakası 19 milimetre yıllık hızla yine kuzeye doğru hareket etmekte ve Anadolu Plakasını Avrasya Plakasına doğru sıkıştırmaktadır. Bunun sonucunda Anadolu Plakası 23 milimetrelik yıllık bir hızla batıya doğru hareket etmektedir. Anadolu Plakasının batı yönündeki bu hareketi ile Ege Bloğu; Rodos-Girit Adaları ile Mora Yarımadasının güneyini izleyen Helenik Yay boyunca Afrika Plakasının üstüne yıllık 35 milimetrelik bir hızla binmektedir. Doğuda ise Kars-Erzincan-Van-Hakkâri arasında kalan Doğu Anadolu Bloğu; Kuzey doğu yönünde Kafkasya'ya doğru yılda 12 milimetrelik bir hızla ilerlemektedir **(Mc Clusky ve diğerleri, 2000)**. Arap levhasının sıkıştırması sonucu batıya kayan Anadolu levhasının sınırlarında ve Afrika levhasının Avrasya levhasının altına dalması sonucu Akdeniz'de ve Ege Graben Sistemi içersinde depremler meydana gelmektedir. Ancak Arap levhasının sıkıştırması bu bölgelerdeki hareketlenme ile tamamen telafi edilemediği için İç Anadolu ve Doğu Anadolu bölgelerinde de içsel deformasyon nedeniyle depremler olabilmektedir **(Mc Clusky ve diğerleri, 2000)**.

4.4.1. Türkiye'nin Deprem Aktivitesi

Türkiye'de 1900–1970 yılları arasında birkaç deprem istasyonu ile sismisitenin belirlendiği dönem, aletsel dönemin ilk yarısını ve 1970'li yıllardan sonra deprem istasyonlarının sayısının artması sonucu depremlerin kaydedilmiş olduğu dönem ise aletsel dönemin ikinci yarısını oluşturmaktadır. 1900–1970 yılları arasında aletsel dönemin ilk yarısına ait yıllık deprem sayıları düşük değerler vermektedir. Yıllık deprem sayılarının düşük değerlerde olmasının sebebi, deprem istasyon sayısının çok az olmasından kaynaklanmaktadır. Bununla birlikte, 1939–1967 deprem serisinden önce Kuzey Anadolu Fay zonunda bir suskunluk dönemine girilmiş olma ihtimalini de belirtmek yerinde olacaktır. Bu yoldan hareketle, 1970-günümüz arasında aletsel dönemin ikinci yarısında kaydedilmiş deprem sayılarının yıllara göre dağılımları ayrı olarak incelenmiştir. 1965 yılından sonra depremlerin sayılarında dereceli olarak bir artış olmuştur. Bu artış, 1970–1984 yılları arasında maksimum değerlere erişmiş ve 1984 yılından sonra yıllık deprem sayılarında göreceli olarak bir azalma eğilimi görülmüştür. Günümüzde de 1995 yılından itibaren bir artış gözlenmektedir.

Ülkemizde ana tektonik hatlar boyunca deprem sayılarında belirgin farklılıklar görülmektedir. Ana tektonik hatlar boyunca oluşmuş depremlerin sayıları birbirleri ile karşılaştırıldığında, Helenik-Kıbrıs Yayı bölgesi ile Ege Graben Sistemi içerisinde meydana gelmiş depremlerin sayıca oldukça fazla oldukları gözlenmektedir. Bitlis-Zagros Kenet Kuşağı boyunca, Arap plakası ile Avrasya plakası çarpışmış ve Arap plakasının Afrika kıtasına göre olan kuzeye doğru hareketi yavaşlamıştır. Bunun

sonucu olarak, Arap plakasının kayma hızında bir azalma olmuştur. Bu çarpışmanın ileri aşamasında, çarpışma zonunun kuzeyinde bir birleşik fay sistemi oluşturan Kuzey Anadolu ve Doğu Anadolu Fayları meydana gelmiştir. Bu sağ ve sol yönlü doğrultu atımlı faylar boyunca, Anadolu bloğu batıya doğru hareket etmeye başlamıştır. Diğer taraftan, Afrika plakasının Helenik-Kıbrıs yayı boyunca Avrasya plakasının altına dalması devam etmiştir. Bu plaka hareketlerinin sonucu olarak, dalma-batma zonu boyunca ve Ege Graben sistemi içerisinde odak derinlikleri 0–60 km ile 60–300 km arasında değişen çok sayıda sığ ve orta odaklı depremler meydana gelmektedir. Diğer yandan Ege Graben Sistemi içerisinde büyüklükleri değişen birçok bloklar yer almaktadır ve bu blokların kenarları küçük doğrultu atım bileşenli normal faylar ile sınırlandırılmıştır. Bunun sonucu olarak da bölge oldukça karışık bir tektonik görünüm sunmaktadır.

Doğu Anadolu fayı ve Doğu Anadolu Sıkışma bölgesinde de deprem sayılarında belirgin farklılıklar görülmektedir. Bu farklılıklar özellikle günümüz de açık bir şekilde gözlenmektedir. Arap plakasının kuzeye doğru olan devam eden hareketi yalnızca Bitlis Kenet kuşağı ve Doğu Anadolu ve Kuzey Anadolu fayları boyunca telafi edilememiştir. Bu hareketin sonucu, Anadolu bloğu ve Doğu Anadolu sıkışma bölgesi içsel deformasyona uğramaya başlamıştır. Bu yüzden Doğu Anadolu sıkışma bölgesinde birçok KD-GB ve KB-GD doğrultulu ters atım bileşenli sol ve sağ yönlü doğrultu atımlı faylar meydana gelmiştir. Geçen yüzyıl içerisinde bu faylardan bazıları üzerinde önemli derecede hasarlara ve yüzey faylanmasına neden olmuş depremler meydana gelmiştir.

4.4.2. Başlıca Deprem Bölgeleri

Türkiye'de tespit edilmiş fayların bir kısmı aktif olup, en son jeolojik çağlar, Pliosen ve Kuaterner esnasında teşekkül etmişler ve o zamandan beri canlılıklarını devam ettirmişlerdir. Bu gibi hallerde fay morfolojisi, orijinal şeklini az çok muhafaza etmekte, fayın karakteri ve atımı yeryüzünde kolaylıkla teşhis ve tespit olunabilmektedir. Memleketimizde aktif fayların en tipik örneği Kuzey Anadolu Fayıdır. Kuzey Anadolu Fayı doğudan batıya doğru genişleyen bir yamulma bölgesi içine yerleşmiştir. Fay genel olarak bir fay çizgisi değil, doğudan batıya giderek dallanıp budaklanan bir fay ailesi şekline sahiptir. Biga yarımadasında Yenice-Gönen'den başlayarak İran sınırına kadar uzanan bu fay sistemi, kelimenin tam anlamıyla, aktif olup, zaman zaman şiddetli ve yıkıcı depremlere sebep olan yatay kayma hareketlerine sahne olmaktadır. Kaymanın yönü ve miktarı her defasında ölçülebilmekte, fay morfolojisi, 1000 kilometreyi geçen bir güzergâh boyunca müşahede olunabilmektedir. Doğrultu atımlı ve sağ yönlü olan bu fay sisteminde, 1939, 1967 ile 1999 yılları arasında meydana gelmiş olan yatay kayma

hareketlerinin miktarı toplam olarak 22 metreyi bulmuştur. Kuzey Anadolu fayı muhtemelen Pliosenden, 10–12 milyon seneden beri hareket halinde bulunmaktadır **(Yavaşoğlu, 2003).**

Grabenlerin de büyük bir kısmı aktif durumdadır, bunların dipleri yavaş yavaş çökmekte, kenarları ise, izafî olarak yükselmektedir. Eğim atımlı faylardan ve grabenlerden aktif olanlar: Batı Anadolu'da, Ege kıyılarında, Marmara denizi içinde, Saros, Edremit ve İzmit körfezlerinde, Gediz, Büyük ve Küçük Menderes vadileri kenarlarında, Amik ovası grabeninde ve bu grabenin kuzeydoğu istikametindeki uzantısında yer almışlardır. Kuzey Anadolu'da İznik-Bandırma hattı, Adapazarı-Düzce-Hendek grabenleri de bu gruba girer. Diğer grabenler ise aktivitelerini kaybetmişler, hareketsiz-sakin bir duruma gelmişlerdir **(Ketin, 1969).**

Yukarıda belirtilen aktif fay zonlarıyla depresyon sahaları, esas itibariyle, depremlerin şiddetli ve sık meydana geldiği yerlerdir. Genel olarak Kuzey Anadolu fayını takip eden dar ve uzun bir şerit ile Marmara içi ve çevresi, Ege kıyıları, Gediz ve Menderes vadileri ve Hatay-Maraş arası Türkiye'de yıkıcı sarsıntıların meydana geldiği birinci derecede deprem bölgeleridir. Tarihsel kayıtlara ve sismolojik araştırmalara dayanılarak sismisite haritaları incelendiğinde, episantrların aktif faylar ve havzalar yakınlarında toplanmış olmaları dikkat çekmektedir (Şekil 4.10). Şekil 4.10. incelendiğinde; episantrların;

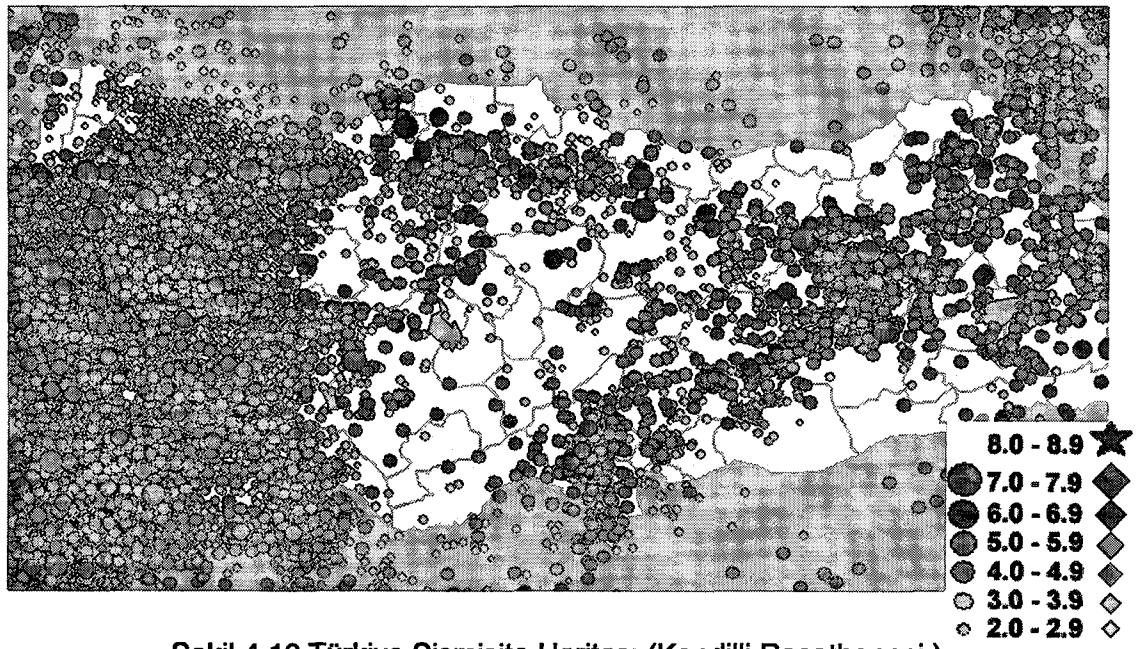
1) Kuzey Anadolu aktif fay zonu boyunca,

2) Marmara çevresi ve Batı Anadolu graben bölgelerinde,

3) İskenderun körfezi ve Amik ovası kenarlarında,

4) Güneybatı Anadolu'nun Ege kıyılarında ve bizzat Ege denizi-Akdeniz köşesinde,

5) Malatya-Karlıova-Varto-Kars üzerinden Kafkaslar'a doğru uzanan bir şerit boyunca sıralanmış oldukları göze çarpar **(Ketin, 1969).**



Şekil 4.10 Türkiye Sismisite Haritası (Kandilli Rasathanesi)

4.4.3. Batı Anadolu'nun Tektoniği

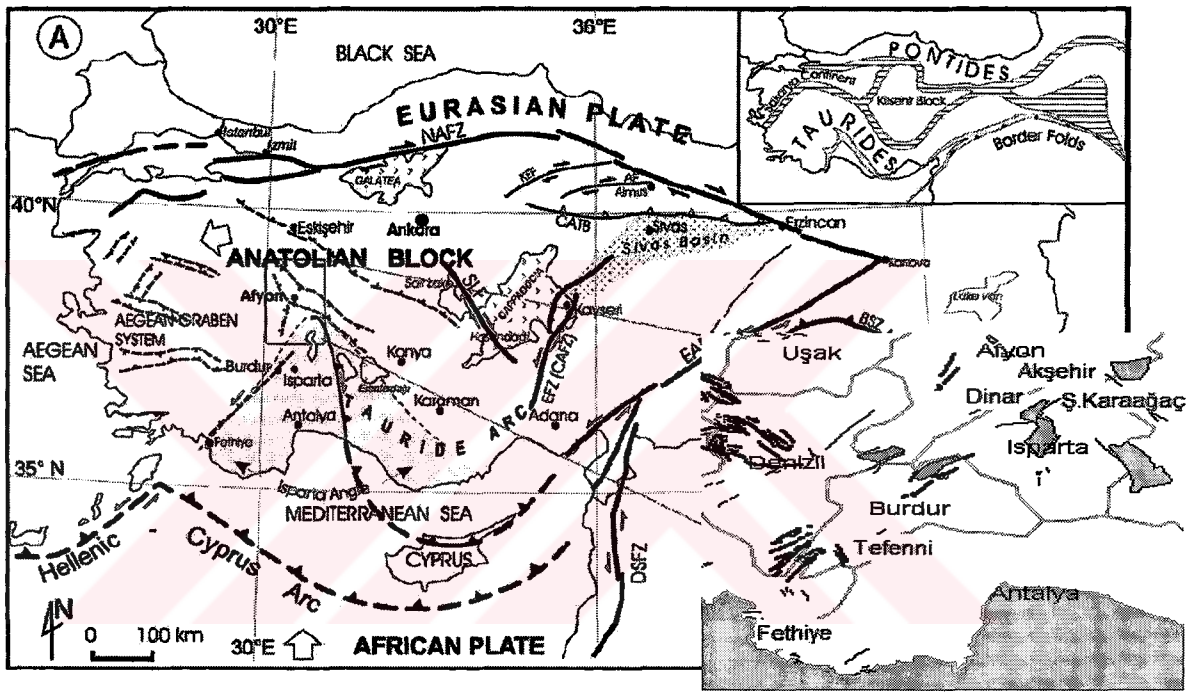
Batı Anadolu'nun K-G doğrultulu açılma tektoniği kuramı birçok yerbilimci tarafından kabul edilmekle birlikte, bu açılmanın mekanizmasını değişik yapısal modeller üzerinde tartışmaktadırlar. Yerbilimcilerin Batı Anadolu'ya ilişkin çalışmalarından Mc Kenzie (1972) Anadolu plakasını Ege ve Anadolu plakaları olmak üzere ikiye ayırmaktadır. Daha sonra Mc Kenzie (1978) bu önerisine farklı bir yorum getirerek, Batı Anadolu'nun kıtasal litosferinin bir elin parmaklarının açılmasına benzer şekilde gerilerek ayıldığını ve K-G açılmanın günümüzde de devam ettiğini belirtmiştir. Alptekin (1973) ise, Anadolu plakası'nın tek parça olarak batıya hareket ettiğini, K-G doğrultulu açılmanın ise üst mantoda meydana gelen bir yükselme ile açıklamaktadır. Bingöl (1976) bu olguyu destekleyerek Batı Anadolu'daki üst manto yükselmesinin kabukta incelmeye neden olduğunu ve böylece grabenlerin geliştiğini belirtmektedir. Dewey ve Şengör (1979) tarafından önerilen modelde Mc Kenzie (1972)'nin Ege plakası üçe bölünmektedir. Bu çalışmada, Anadolu bloğunun batıya kaçışının Yunan makaslanma zonu boyunca frenlenmesi bölgede bir D-B doğrultulu sıkışmaya neden olmakta ve bu sıkışma sonucunda K-G doğrultulu açılmaların geliştiği belirtilmektedir. Kocaefe (1981) bölgenin güncel tektoniğinin KG-GD doğrultulu aktif faylarla geliştiğini ve D-B doğrultulu çöküntü alanlarının fizyografik şekillerinin bölgede bindirme tektoniğinin denetimi altında olduğu savını öne sürmektedir. Son yıllarda, Mc Clusky (2000) ve Lenk vd. (2003) GPS verilerini kullanarak Afrika, Arap ve Avrasya levhalarının çarpıştığı aktif bir alanda bölgenin kinematiğini izlemiş ve batıya kaçış ve plaka konumları modellenmiştir (Şekil 4.9),

(Yüksel, 2004). Batı Anadolu'da yer alan Ege Bölgesi ise neredeyse baştan sona bir çöküntü/açılma havzasından oluşmaktadır. Bölgenin tamamına yakın bir kısmında kıtasal açılma hareketleri hâkimdir. Bu açılma rejiminin oluşturduğu deformasyon karmaşık bir yapı ortaya çıkarmıştır. Bu karmaşık mekanizma içinde yer alan geniş fay blokları gerek yatay, gerekse düşey eksenler etrafında rotasyon hareketleri göstererek aktif faylar boyunca oluşan deformasyonun biriktirdiği sismik enerjiyi bölgede gözlediğimiz depremlerle açığa çıkaracaktır. Ege Bölgesi'ndeki graben sistemleri bölgenin genel deformasyon sisteminin ve derin yapılarının anlaşılmasında anahtar rol oynar. Özellikle, Büyük-Küçük Menderes, Gediz ve göller bölgesindeki grabenler tektonik yapı ve deprem aktivitesi ile çok yakından ilişkilidir. En büyük iki grabenden olan Gediz Grabeni'nin doğusunda, Alaşehir yakınlarında 1969'da 6.9 büyüklüğünde bir deprem meydana gelmiş, Büyük Menderes Grabeni'nin batı ucunda ise 1955'te 6.8 büyüklüğünde, doğusunda Çubukdağ'da 1986'da 5.5 büyüklüğünde bir deprem olmuştur. Bu depremler, bu grabenlerin ne kadar büyük depremler üretebileceğini göstermek bakımından önemlidir. Yine bu bölgede daha doğuda yer alan, Dinar'da 1995'te büyük yıkıma ve 95 kişinin ölümüne yol açan 6 büyüklüğünde bir deprem olmuştur. Yine bölgede Burdur Gölü ile Burdur şehri arasından geçen Burdur Fayı, 1914'te 6.9 büyüklüğünde, 1971'de de 5.9 büyüklüğünde bir deprem oluşturarak kırılmıştır. En son 2 Şubat 2001 tarihinde de bu fay üzerinde 4.2 büyüklüğünde bir deprem olmuştur. Bölgede bulunan Eber ile Akşehir göllerini oluşturan Sultandağı fayı 2 parçadan oluşmaktadır. Sultandağı Fayı aletsel dönemde, yani 1964'ten beri, önemli büyüklükte bir deprem üretmemiştir. Çay ilçesinden geçen küçük parça 15 Aralık 2000'de kırılarak 6 büyüklüğünde bir deprem meydana getirmiştir. 22 Mart 2001'de de 4.8 büyüklüğünde Afyon-Bolvadin depremi olmuştur **(Taymaz ve Dağistanlı, 2001).**

4.4.4. Burdur Fethiye Fay Zonu

Fethiye ile Burdur arasında uzanım gösteren Burdur Fethiye Fay zonu yakın zamanda birçok deprem oluşturmuş önemli kırık hatlarından biridir. 1924, 1957 ve 1971 yıllarında Burdur Fethiye arasında, büyüklükleri 6.1 ile 7.1 arasında değişen 3 önemli deprem meydana gelmiştir. Burdur Fayı Fethiye körfezi ile Sultan Dağları arasında yaklaşık 300 km boyunca KD yönünde uzanım gösteren ve sol oblik atım bileşeni olan normal bir faydır. Fay zonu çoğu yerde tek bir yapısal çizgi halinde olmayıp, birbirine paralel gelişmiş kesikli uzanıma sahip segmentlerden oluşmaktadır. Bu segmentler KD doğrultusunda uzanım gösteren ve genişliği 3-10 km arasında değişen bir zon içinde yer alır. Zon içinde yer alan KD uzantılı segmentler, büyük bölümüyle K ve KB doğrultusunda gelişmiş normal ve doğrultu

atımlı genç faylarla sınırlandırılmıştır. Şekil 4.11'de de görüldüğü gibi Kıbrıs ve Helenik yitim zonları Fethiye Körfezi açıklarında bir dirsek oluşturur. Bu dirseğin oluşumu Burdur fayının sol yönlü atımına uygun bir geometrik ilişki gösterir. Fay Senirkent ve Hoyran gölünü KD yönünde takip ederek Afyon Çay yöresinde Akşehir-Simav fayı ile kesişir **(Karaman, 1986, Koçyiğit, 1983, Taymaz ve Price 1992)**. Burdur fayı ve Akşehir Simav Fayları aynı zamanda Isparta büklümü olarak bilinen bölgesel jeolojik yapıyı sınırlayan kırık hatlarını oluşturur **(Yağmurlu ve diğerleri, 1997)**.



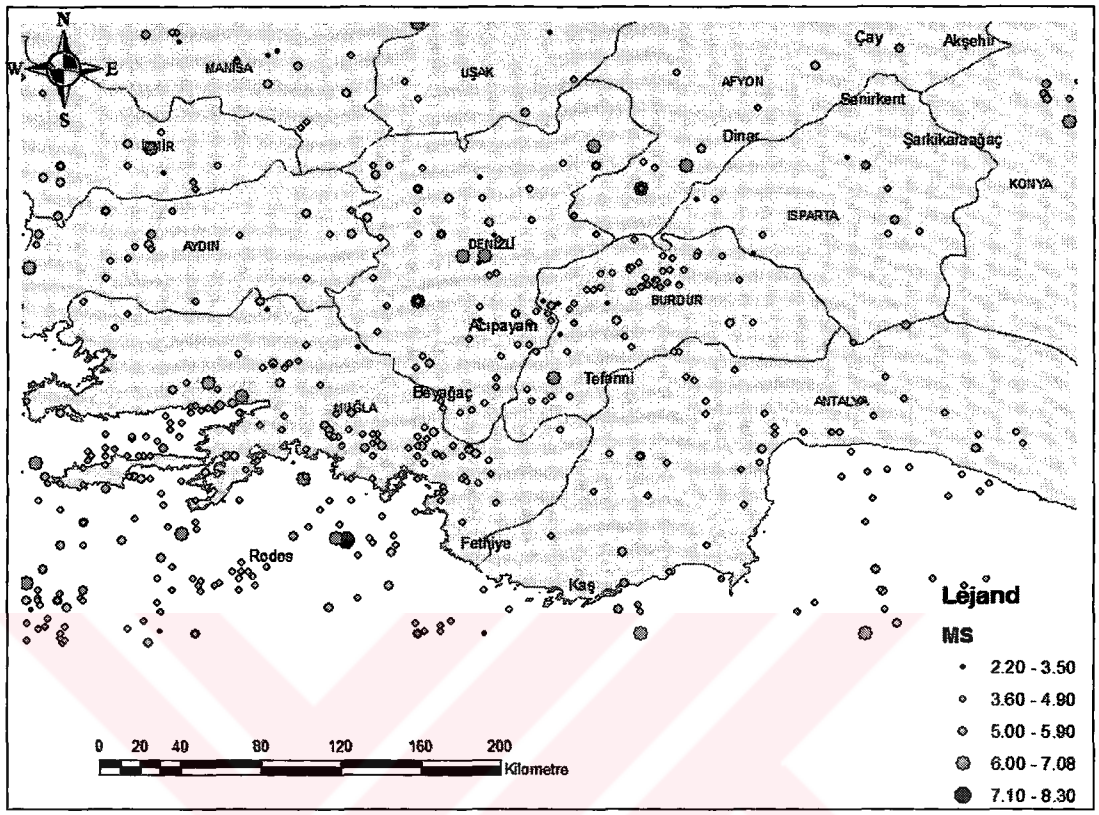
Şekil 4.11 Fethiye Burdur Fay Zonunun Komşu Levhalara Göre Konumu (Yağmurlu, 2000)

Fethiye körfezi açıklarında Helenik ve Kıbrıs yitim zonlarını birbirinden ayıran fay zonu bu yönüyle bir transform fay özelliğine sahip olmakla beraber aynı zamanda genişleme tektoniğinin egemen olduğu Ege levhasını Batı Toroslardan ayıran önemli bir yapısal çizgidir. Bir başka deyişle Burdur Fethiye fay zonu iki farklı tektonik rejim bölgesini birbirinden ayıran önemli bir aktif zondur **(Yağmurlu 2000)**, (Şekil 4.11).

4.4.5. Burdur Fethiye Fay Zonunda Meydana Gelen Depremler

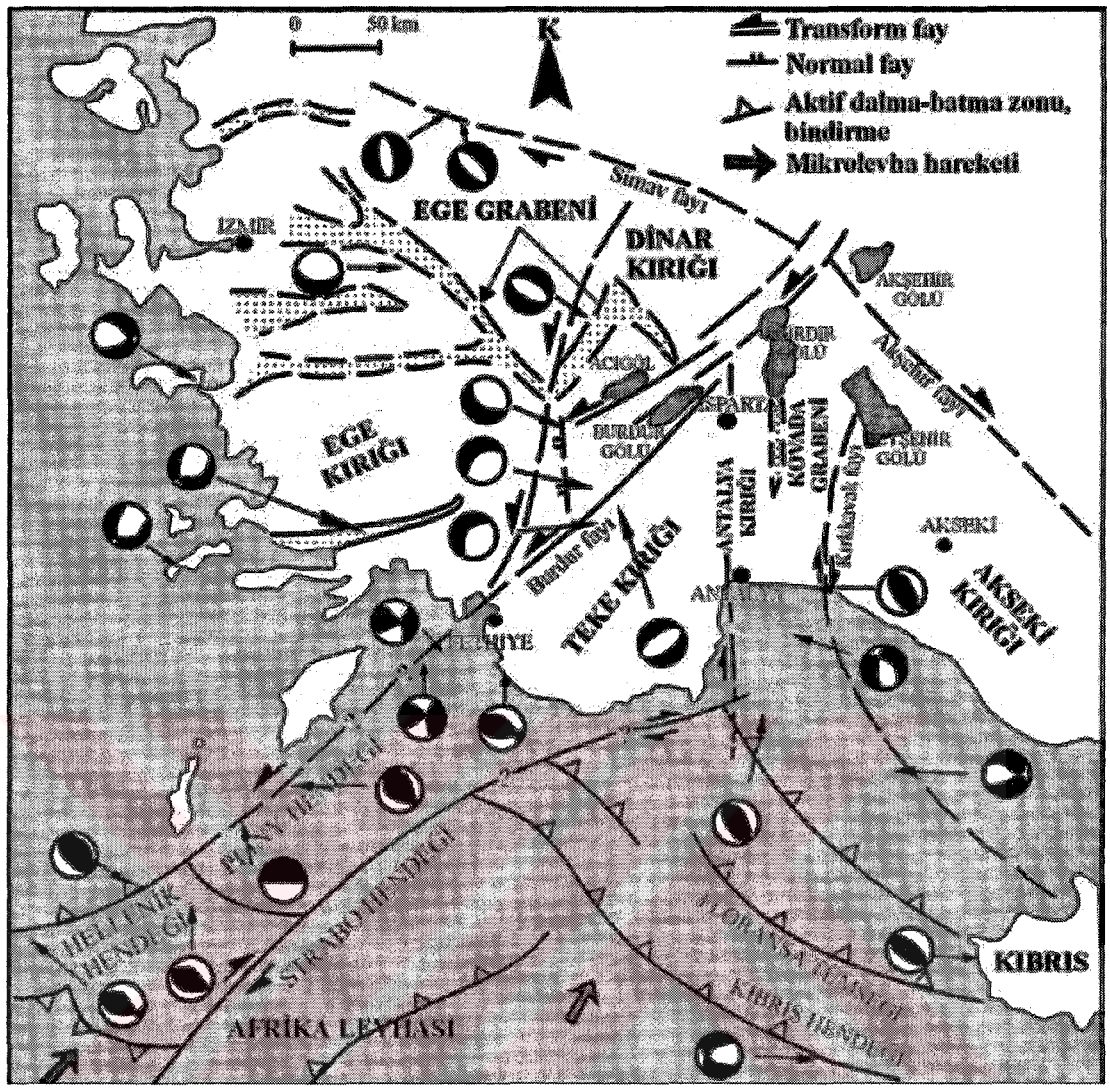
Burdur Fethiye fay zonunda son yüzyılda meydana gelen depremlerin konumları ve büyüklükleri Şekil 4.12' de gösterilmiştir. Buna göre Rodos ve Afyon arasında kalan bölgede son yüzyılda magnititü 5.0 den büyük 90 civarında deprem kaydedilmiştir. Bunlardan Burdur'u etkileyen 3 Ekim 1914 (M 7.0), 12 Mayıs 1971 (M 6.2), Dinar ve çevresini etkileyen 7 Ağustos 1925 (M 6.0), 1 Ekim 1995 (M 6.1) depremleri ile 15

Aralık 2000 Akşehir (M 5.9), 3 Şubat 2002 Çay (M 6.0) ve Fethiye yi etkileyen 25 Nisan 1957 (M 7.1) depremleri bu bölgedeki sismik aktivitenin son yüzyıldaki önemli belirtilerindendir **(Yağmurlu, 2000).**



Şekil 4.12 Bölgede Son Yüzyılda Meydana Gelen Depremler (Kandilli Rasathanesi Verileri, 2005)

Zonda 1914 yılında Burdur'un kuzeyinde meydana gelen depremden sonra 1922–1963 yılları arasında meydana gelen depremler daha çok Burdur'un güneyinde etkili olmuştur. Bu dönemde olan depremler 1922'de Karpathas'ta (M 6.7) başlamış, zaman içinde KD yönünde ilerleyerek 1926'da Rodos, 1957 Fethiye, 1963 Tefenni ve 1971'de tekrar Burdur Yöresini etkilemiştir **(Taymaz ve Price, 1992).** 1957–1992 yılları arasındaki 40 yıllık sürede oluşan Karpathas, Rodos, Fethiye, Tefenni ve Burdur depremleri güneyden kuzeye doğru bir kırık ilerlemesini göstermesi bakımından önemlidir. Bu ilerleme Burdur Fethiye fay zonundaki fay segmentlerinin birbirini tetiklediğini ve gerilim aktardığını göstermektedir (Şekil 4.13). 6.2'lik Burdur depreminden sonra fay zonunda önemli bir sismik aktivite gözlenmemiştir. Bununla beraber 1995 yılındaki 6.1 M'li Dinar depreminin zon üzerinde gerilimi artıran bir etki oluşturduğu düşünülmektedir **(Yağmurlu, 2000).**



Şekil 4.13 Bölgenin Ana Tektonik Haritası (Mc Kenzie 1978)

Burdur Fethiye fay zonu ülkemizdeki 2 ana aktif fay sistemi olan Kuzey ve doğu Anadolu fayları ile Batı Anadolu Graben sistemi kadar iyi bilinen bir zon değildir. Söz konusu bölge son 30 yıllık dönemde çalışılmış ve haritalanmış olmasına karşılık bu çalışmaların tamamı bölgenin paleotektonik yapısına yönelik olarak yapılmışlardır. 1988–1992 yıllarında Isparta açısını da içeren GPS çalışmaları yapılmış ve bu çalışmalar Isparta dirseğindeki hareketlerin Avrasya'ya oranla yılda 10 mm'den daha az olduğunu göstermiştir **(Oral 1994).**

5. UYGULAMA

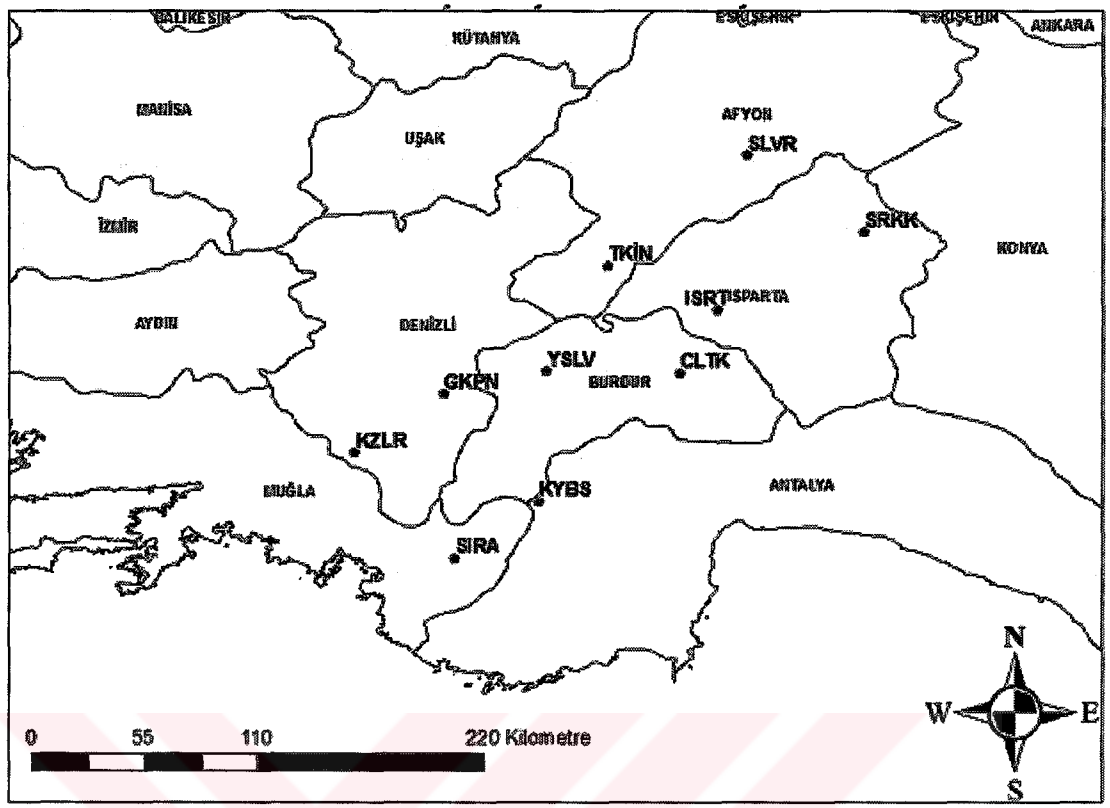
5.1. Çalışmanın Amacı

Burdur Fethiye fay zonu ülkemizdeki 2 ana aktif fay sistemi olan Kuzey ve doğu Anadolu fayları ile Batı Anadolu Graben sistemi kadar iyi bilinen bir bölge değildir. Söz konusu bölge son 30 yıllık dönemde çalışılmış ve haritalanmış olmasına karşılık bu çalışmaların tamamı bölgenin paleotektonik yapısına yönelik olarak yapılmışlardır **(Oral, 1994).** Bu bölge ile ilgili tüm bilgiler Türkiye'nin tamamını kapsamak üzere planlanmış ve ülkemizin tüm bölgelerine dağılmış olan noktalardan elde edilen ölçmelerden elde edildiği için, belirtilen bölge gibi mikro ölçekteki alanlar için bilgi vermekten uzaktır. Dolayısı ile mevcut çalışmaların özellikle söz konusu bölgedeki GPS nokta sıklığı çok düşük yoğunlukta olması dolayısıyla çalışmada edinilen amaca yönelik bir bilgi vermesi mümkün değildir. Bu bağlamda, çalışmanın gerçekleştirilmesi ile birlikte söz konusu bölgenin güncel tektonik özellikleri ve kinematiği açısından önemli bilgilere ulaşılması hedeflenmiştir.

5.2. İstikşaf ve GPS Ölçmeleri

Bu bölgedeki hareketleri gerekli doğrulukta belirleyebilmek için ortamdan kaynaklanan hataları en aza indirgemek gerekmektedir. Bu nedenle GPS ölçmeleri yapılacak noktaların mümkün mertebede zorunlu merkezlendirme donanımına sahip pilyelerden oluşmasına, noktaların üzerinde bulunduğu zeminin sağlam olmasına ve bulunulan noktada görülen uydu sayısının fazla olmasına dikkat edilmesi gerekmektedir. Bunun yanında güvenlik, ulaşım ve lojistik açısından noktaların elverişli olması da destekleyici etkenlerdendir.

Bu kriterler göz önünde bulundurularak bölgenin tektonik karakteristiğini belirleyecek nitelikte 10 nokta tespit edilmiştir. Bu noktaların yakınlarında mevcut daha önce tesis edilmiş 6 pilye noktası ve 1 tane de kayada bronz şeklinde TUTGA noktası tespit edilmiştir. Geriye kalan 3 nokta ise sağlam zeminlerde kayada bronz şeklinde tesis edilmiştir (Şekil 5.1). Nokta isimleri olarak istasyon noktasına en yakın yerleşim yerini karakterize eden ve uluslararası eğilime uygun dört harfli isimler seçilmiştir (Tablo 5.1).



Şekil 5.1 GPS Noktaları

Arazide yapılan tüm çalışmalar istikşaf çizelgelerine yazılı olarak aktarılmış ve noktalara ait durum krokileri çizilmiştir. Ayrıca tüm noktalara ait iletişim bilgileri, ulaşım rehberi vb. bilgileri içeren bir nokta rehberi hazırlanmıştır.

Tablo 5.1 Burdur Fethiye Fay Zonu GPS Noktaları

İstasyon Adı	Yerleşim Bölgesi	İstasyon Adı	Yerleşim Bölgesi
SLVR	Çay- Selevir Barajı	GKPN	Acıpayam
SRKK	Şarkikaraağaç	YSLV	Yeşilova
TKIN	Dinar- Tekin köyü	CLTK	Çeltikçi
ISRT	Isparta	SIRA	Fethiye- Sıra mevki
KYBS	Söğüt Kayabaşı köyü	KZLR	Beyağaç Kozlar mevki

Proje çalışma alanı 14.500 km^2 olup en uzun SIRA-SLVR bazı 230 km, en kısa CLTK-ISRT bazı ise 37 km uzunluğundadır.

5.2.1. Birinci Kampanya GPS Ölçmeleri

2003 yılı Ağustos ayı içerisinde belirlenen noktalarda ilk GPS kampanyası gerçekleştirilmiştir. Kampanyaya İTÜ Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü ve AKÜ Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü destek vermiştir. 2003 yılında gerçekleştirilen birinci kampanya ekipmanları ve bu ekipmanlara ait IGS kodlarına göre teknik bilgiler Tablo 5.2'de sunulmuştur. IGS kotlarına göre özellikleri belirlenen ekipmanlardan antenlerin, faz merkezi diyagramları göz önünde bulundurularak, yapılan arazide ölçme sırasında anten yükseklikleri milimetre doğrulukla belirlenmiştir. Bunun için anten yükseklikleri dört ayrı noktadan kontrollü bir şekilde ölçülerek ortalamaları alınmıştır.

Tablo.5.2 Birinci GPS Kampanyasında Kullanılan Donanımlar ve IGS Kodları

GPS Alıcısı	Anten Bilgileri	Adedi	Kurumu
ASHTECH Zxtreme	Goedetic IV, Rew A with groundplane ASH701975.01Agp	3	İTÜ
ASHTECH Zxtreme	Goedetic IV, Rew A with groundplane ASH701975.01Agp	3	AKÜ

Kampanya 12 saatlik ölçme süresinde 2 günde tamamlanmıştır. Günlük ölçümler arasındaki gerekli ilişkiyi sağlamak ve ağda meydana gelebilecek içsel ölçme hatalarını kontrol edebilmek için TKIN ve KYBS noktaları sürekli istasyonlar olarak seçilmiş ve 2 gün ve 40 saat boyunca bu noktalardaki ölçümler devam etmiştir. Kampanya boyunca yapılan tüm ölçmelerde 15 sn aralıklı veri kaydı esas alınmıştır. GPS antenini etkileyen ve ufuk çizgisine yakın olan verileri kaybetmemek, atmosferik gecikmeleri veya anten faz merkezi değişimlerini modellemede verilerin yetersiz kalmaması için kayıtta minimum yükseklik açısı 10° olarak belirlenmiştir.

5.2.2. İkinci Kampanya GPS Ölçmeleri

2004 yılı mart ayında 2. kampanya ölçmeleri gerçekleştirilmiştir. Kampanyaya İTÜ Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü ve AKÜ Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü destek vermiştir. 2004 Martında gerçekleştirilen ikinci kampanya ekipmanları ve bu ekipmanlara ait IGS kodlarına göre teknik bilgiler Tablo 5.3'de sunulmuştur. IGS kodlarına göre özellikleri belirlenen ekipmanlardan antenlerin, faz merkezi diyagramları göz önünde bulundurularak yapılan arazide ölçme sırasında, anten yükseklikleri yine dört ayrı noktadan kontrollü bir şekilde ölçülerek ortalamaları alınmıştır.

Tablo.5.3 İkinci GPS Kampanyasında Kullanılan Donanımlar ve IGS Kodları

GPS Alıcısı	Anten Bilgileri	Adedi	Kurumu
ASHTECH Zxtreme	Goedetic IV, Rew A with groundplane ASH701975.01Agp	3	İTÜ
ASHTECH Zxtreme	Goedetic IV, Rew A with groundplane ASH701975.01Agp	3	AKÜ

2. Kampanya 1. kampanyada olduğu gibi 12 saatlik ölçme süresinde 2 günde tamamlanmıştır. Günlük ölçümler arasındaki gerekli ilişkiyi sağlamak ve ağda meydana gelebilecek içsel ölçme hatalarını kontrol edebilmek için TKIN ve KYBS noktaları sürekli istasyonlar olarak seçilmiş ve 2 gün ve 40 saat boyunca bu noktalardaki ölçümler devam etmiştir. Kampanya boyunca yapılan tüm ölçmelerde 15 sn aralıklı veri kaydı esas alınmıştır. Minimum yükseklik açısı yine 10° olarak belirlenmiştir.

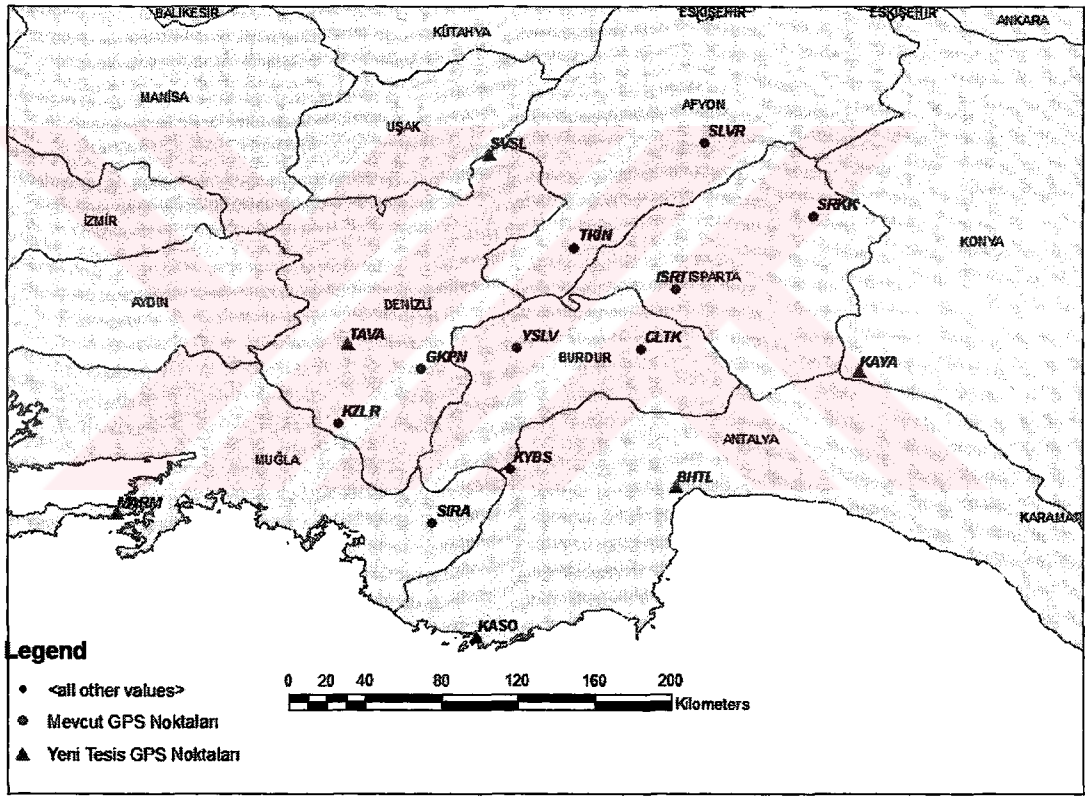
5.2.3. Üçüncü Kampanya GPS Ölçmeleri

2004 yılı Eylül ayında 3. periyot GPS ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Kampanyaya İTÜ Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü, İTÜ Avrasya Yer Bilimleri Enstitüsü, AKÜ Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü ve KTÜ Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü destek vermiştir. Üçüncü kampanyada kullanılan donanımların listesi, adedi ve IGS tanımlı özellikleri Tablo 5.4'de verilmiştir.

Tablo.5.4 Üçüncü GPS Kampanyasında Kullanılan Donanımlar ve IGS Kodları

GPS Alıcısı	Anten Bilgileri	Adedi	Kurumu
ASHTECH Zxtreme	Goedetic IV, Rew A with groundplane ASH701975.01Agp	2	İTÜ
ASHTECH Zxtreme	Goedetic IV, Rew A with groundplane ASH701975.01Agp	3	AKÜ
ASHTECH Z-Surveyor	Dual freq. marine antenna Model 700700.C	2	KTÜ
ASHTECH Zxtreme	Goedetic IV, Rew A with ASH701975.01Agp	2	KTÜ

Bu kampanyada ağa 3 tanesi Ege bloğunun üzerinde (SVSL, TAVA, MARM), diğer 3'üde Anadolu levhasında olmak üzere (KASO, BHTL, KAYA) 6 yeni nokta daha eklenmiştir (Şekil 5.2). Üçüncü kampanya ölçmeleri ölçme süresi olarak iki aşamada toplam 6 günde tamamlanmıştır. Tüm noktalarda 8'er saatlik tekrarlı ölçüler yapılmıştır. Bu kampanyada KYBS ve TKIN noktaları kampanya boyunca farklı günlerde yapılan ölçmeleri birleştirmek ve ölçme hatalarını kontrol etmek için sürekli istasyonlar olarak seçilmiştir. Kampanyanın ilk üç gününde GKPN, KZLR, SIRA, KAYA, TAVA, SVSL ve YSLV istasyonlarından oluşan toplam yedi istasyon, üç gün boyunca ölçülmüşlerdir. İkinci üç günde ise, SLVR, ISRT, SLVR MARM, KASO, BHTL ve SRKK istasyonları da benzer şekilde ölçülmüştür (Tablo 5.5). Kampanya boyunca yapılan ölçmelerde 15 saniye aralık alınarak kaydedilmiştir. Birinci ve ikinci kampanyada açıklanan nedenlerden dolayı üçüncü kampanyada da yükseklik açısı 10° olarak belirlenmiştir.



Şekil 5.2 Yeni Eklenen GPS Noktaları

5.2.4. Dördüncü Kampanya GPS Ölçmeleri

2005 yılı Ağustos ayında 4. periyot GPS ölçümleri gerçekleştirilmiştir Bu kampanyada da dördüncü kampanyada kullanılan donanımlar kullanılmıştır (Tablo 5.4). Ölçüler yine 15 saniye ölçü aralığında toplanmış ve 30 saniye ölçü aralığında da değerlendirilmiştir.

Tablo 5.5 GPS Ölçü Noktaları Ve Ölçü Tarihleri

Yıllar	2003		2004								2005					
Nokta Adı	237	238	082	083	255	256	257	258	259	260	228	229	230	231	232	233
SLVR (Selevir)		X		X				X	X	X	X	X	X			
SRKK (Şarkikaraağaç)		X		X				X	X	X				X	X	X
TKIN (Tekin)	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
ISRT (Isparta)		X		X				X	X	X				X	X	X
YSLV (Yeşilova)	X		X		X	X	X				X	X	X			
CLTK (Çeltikçi)		X		X				X	X	X				X	X	X
GKPN (Acıpayam)	X		X			X	X	X			X	X	X			
KYBS (Kayabaşı)	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
KZLR (Kozlar)	X		X			X	X	X			X	X	X			
SIRA (Fethiye)	X		X			X	X	X			X	X	X			
KAYA(d.Bucak)					X	X	X				X	X	X			
BHTL(Antalya)								X	X	X				X	X	
KASO (Kaş)								X	X	X				X	X	X
TAVA (Tavas)					X	X	X				X	X	X			
MARM(Marmaris)								X	X	X				X	X	X
SVSL (Sivaslı)								X	X	X				X	X	X

5.3. Kampanya GPS Verilerinin Değerlendirilmesi

Kampanyalardan elde edilen veriler 4. bölümde ayrıntılı bir şekilde anlatılan GAMIT/GLOBK yazılım takımı ile değerlendirilmiştir. Öncelikle arazide toplanan

veriler AKÜ Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği laboratuarında bulunan Ashtech Office Suit programı yardımıyla alıcıdan bağımsız RINEX formatına dönüştürülmüştür. Değerlendirmeler üç adımda gerçekleştirilmiştir **(Tarı ve diğerleri, 1999, Oral, 1994).** Birinci adımda, GAMIT yazılımı ile her bir gün için ayrı ayrı Lineer Kombinasyon (Linear Combination-LC) oluşturulur ve oluşturulan LC kullanılarak istasyon koordinatları ve her bir istasyon için atmosferik gecikmeler ve yörünge bilgileri, analize giriş verisi olan parametrelere ağırlık verilmeden elde edilmiştir. Yapılan bu çözüm kullanılarak sistematik hatalar ve kaba hatalar ile faz kesiklikleri belirlenip giderilir. Bu aşamada, hem yerel ağı IGS noktalarından oluşmuş ağ ile ilişkilendirmek hem de milimetre duyarlıktaki koordinatlardan yararlanarak, yörünge bilgilerinin ve dünya dönüş parametrelerinin daha hassas hesaplanması için IGS ağına bağlı istasyon noktaları her üç kampanya değerlendirmelerine ayrı ayrı katılmıştır (Tablo 5.6). İlk periyotta MERS Mersin noktası ikinci periyotta da NICO Nicossia noktalarının, ölçüm günlerine ait verileri yayımlanmadıkları için değerlendirmeye katılamamıştır.

Tablo 5.6 Değerlendirmeye Katılan IGS Noktaları

İstasyon Adı	Yeri	İstasyon Adı	Yeri
ISTA	İstanbul-Türkiye	WTZR	Koetzting-Almanya
TUBI	TÜBİTAK-Türkiye	ZECK	Zelenchukskaya-Rusya
MATE	Matera-İtalya	KIT3	Kitab-Özbekistan
NICO	Nicossia-Güney Kıbrıs	GRAZ	Graz-Avusturya
SOFI	Sofia-Bulgaristan	MERS	Mersin-Türkiye
TELA	Telaviv-İsrail		

GAMIT yazılımında analiz işlemleri için oturum tabloları (session table) kullanılarak gerekli yönlendirmeler yapılmaktadır. Bu yönlendirmeler arasında ölçülerin ağırlıklandırılması, tamsayı faz belirsizliği çözümü, atmosferik parametrelerin belirlenmesi, yörünge parametrelerinin saptanması ve model parametrelerinin kestiriminin yapılması sayılabilir.

Oturum tablosunu daha detaylı incelemek gerekirse (EK.A1); ilk satırda değerlendirme yapan kurum, daha sonra sırasıyla istasyon numarası, istasyon kısıtlamasının kullanılıp kullanılamayacağı, uydu numarası, uydu kısıtlamalarının kullanılıp kullanılamayacağı yer alır. Altıncı satırda Kepler elemanları ile uydu

kısıtlaması kullanılacak ise yapılacak olan kısıtlamalar radyasyon modeli parametreleri bulunur. Burada GAMIT ve SOPAC tarafından standart olarak 9 parametreli BERNE modeli kullanılır. Radyasyon modeli için BERN1, BERN2, SPHRC gibi farklı modeller de kullanılabilir. Analiz kontrol bölümünde autoclean tarafından kontrol edilen çözümün, hangi ölçme türüne göre yapılacağı belirtilir (EK A1).

İynosfer için gözlem tipi bölümünde (choise of observable) farklı ağ büyüklükleri için, L1_ONLY, L2_ONLY, LC_ONLY, L1,L2_INDEPEND ve LC_HELP gibi farklı çalışma seçenekleri mevcuttur.L1_ONLY ile L1'e göre tam sayı faz belirsizliği bilinen ve bilinmeyen olarak alınan iki çözüm yapılır. L2_ONLY ile L2'ye göre tam sayı faz belirsizliği bilinen ve bilinmeyen olarak alınan iki çözüm yapılır. Tek frekanslı bu kombinasyonlar, kısa uzunluklu baz çözümleri için uygundur. LC_HELP ile iyonosfer bağımsız LC'ye göre tam sayı faz belirsizliği bilinen ve bilinmeyen olarak alınan iki çözüm yapılmaktadır. Atmosferik parametrelerin belirlenmesi aşamasında, zenit gecikmesi kestirimi (zenith delay estimation) satırında belirtilmektedir. Büyük ölçekli ağlarda atmosfer parametrelerinden özellikle zenit gecikme parametrelerinin kestirimi gereklidir. Bu nedenle 0.5m varsayılan değeri ile başlayan kestirim daha sonra parçalı doğrusal (piecewise-linear) model ile 100 saat boyunca 0.02 m/$\sqrt{Saat}$ değişim miktarına göre yenilenir. Atmosferik gecikmeler, faz merkezi değişimleri ve istasyon nokta yükseklikleri, uydudan alıcıya gelen sinyalin yükseklik açısına bağlı olarak değişirler. Bu çözümde en küçük yükseklik açısı (Elevation cutoff) 10° olarak alınmıştır. Tamsayı faz belirsizliği çözümü, iyonosferik kısıtlamalar (Ionospheric Constrain) ve tamsayı faz belirsizliği çözümü (Ambiguity Resolution) girdi satırları ile kontrol edilir.

İlk adımdaki önemli bir başka dosya ise autcln.cmd dosyasıdır (EK A2). Bu dosyadaki komutlar serisi, GPS verileri içinde faz ölçmeleri ile yörünge bilgilerinin belirlenmesinde ve buna bağlı olarak nokta konumlarının kestiriminde gerekli jeodezik doğruluğu sağlamaktadır. Ancak verinin kalitesi bazen bir istasyon noktası için o noktadaki ölçülerin içerdiği faz kesiklikleri ile orantılı olarak azalabilir. Bu noktada ölçülere ek işlemler uygulanarak bu kesikliklerin neden olduğu sorunların kaldırılması gerekir. Analizin amacı ise mümkün olan en az olumsuz etkiyle çözümü gerçekleştirmektir. Fazla ek parametre konduğu durumlarda da bazı sakıncalar oluşabilir. Örneğin ek parametrelerin etkilediği çözüm birçok önemli jeodezik parametrenin yanlış belirlenmesine neden olabilir. Bu bağlamda en çok gecikmenin iyonosferde olduğu bilindiğinden iyonosferden bağımsız (LC-Lineer Kombinasyon) çözüm yapılması önem kazanmaktadır. Burada analiz için iki yöntem öngörülmektedir. Birincisi L_1 ve L_2 frekanslarında ölçü kaydedebilen modern alıcılarla yapılan ölçmelerin iki frekansı birleştirerek saat ve iyonosfer hatalarından

arınmış geniş dalga (wide-lane) ölçüleri elde etmektir. İkinci adım ise, ikili farkların sayısal olarak karşılaştırılmasıdır. Bu karşılaştırma ile faz kesikliklerinin büyüklüğü ve kaynağı tanımlanabilmektedir. Anlatılan analiz sistemi nokta sayısı fazla olan ağlarda genellikle Autocln (Tom Herring tarafından geliştirilen GAMIT modülü) tarafından gerekli parametrelerin verilmesiyle otomatik olarak yapılmaktadır. Bir komut dosyası (autocln.cmd) yardımıyla kontrol edilebilen bu modül ile, sistematik hatalar ve faz kesiklikleri ile ilgili belirlenen sorunların, bu dosyadaki seçeneklere uygun şekilde yansıtılması ile çözülmesini sağlamak mümkündür **(Yavaşoğlu, 2003).**

İlk adımda GAMIT' in çalıştırılması sonucu 4 tip h dosyası üretilmektedir. Bunlar, "zorlamalı, bilinmeyen bağımsız", "zorlamalı, bilinmeyen bağımlı", "zorlamasız, bilinmeyen bağımsız" ve "zorlamasız, bilinmeyen bağımlı" şeklindedir. Bu dosyaların uzantıları ise gcr, gcx, glr ve glx şeklindedir. Verilerin kalitesini belirleyici değer GAMIT'in çalıştırılması sonucu ortaya çıkan q dosyasında yer alan nrms değeridir. q dosyasında üretilen glx uzantılı dosya için bu değerin 0.15 ila 0.25 arasında olması beklenir. 0.5' ten büyük değerler ölçülerden faz sıçramalarının kaldırılamadığına ya da ciddi modelleme hatalarının olduğuna işarettir. Ayrıca bu dosyada gün için ortaya çıkan tüm değerlendirmeleri görülebilir. Nrms ve wrms değerleri tekrarlılıkların doğrulukları hakkında bilgi verir.

$$\text{nrms} = \sqrt{\frac{\sum\left(\frac{r}{\sigma}\right)^2}{n-1}} \qquad \text{wrms} = \sqrt{\frac{\sum\left(\frac{r}{\sigma}\right)^2}{\sum\left(\frac{1}{\sigma}\right)^2}} \tag{5.1}$$

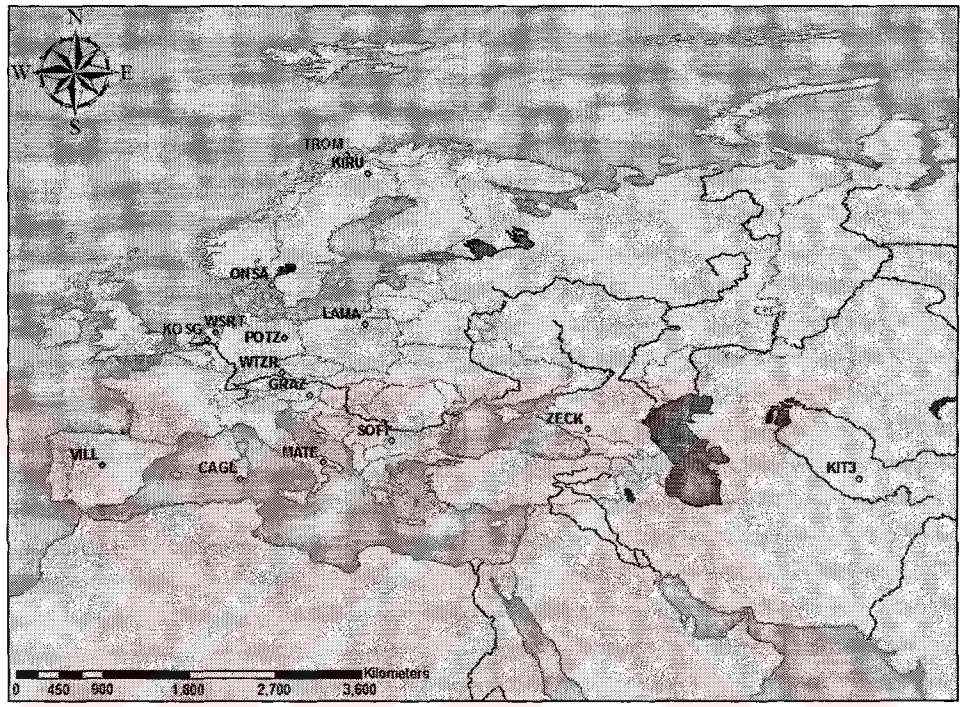
Burada;

r = Serbestlik derecesi

σ = Belirsizlik dir.

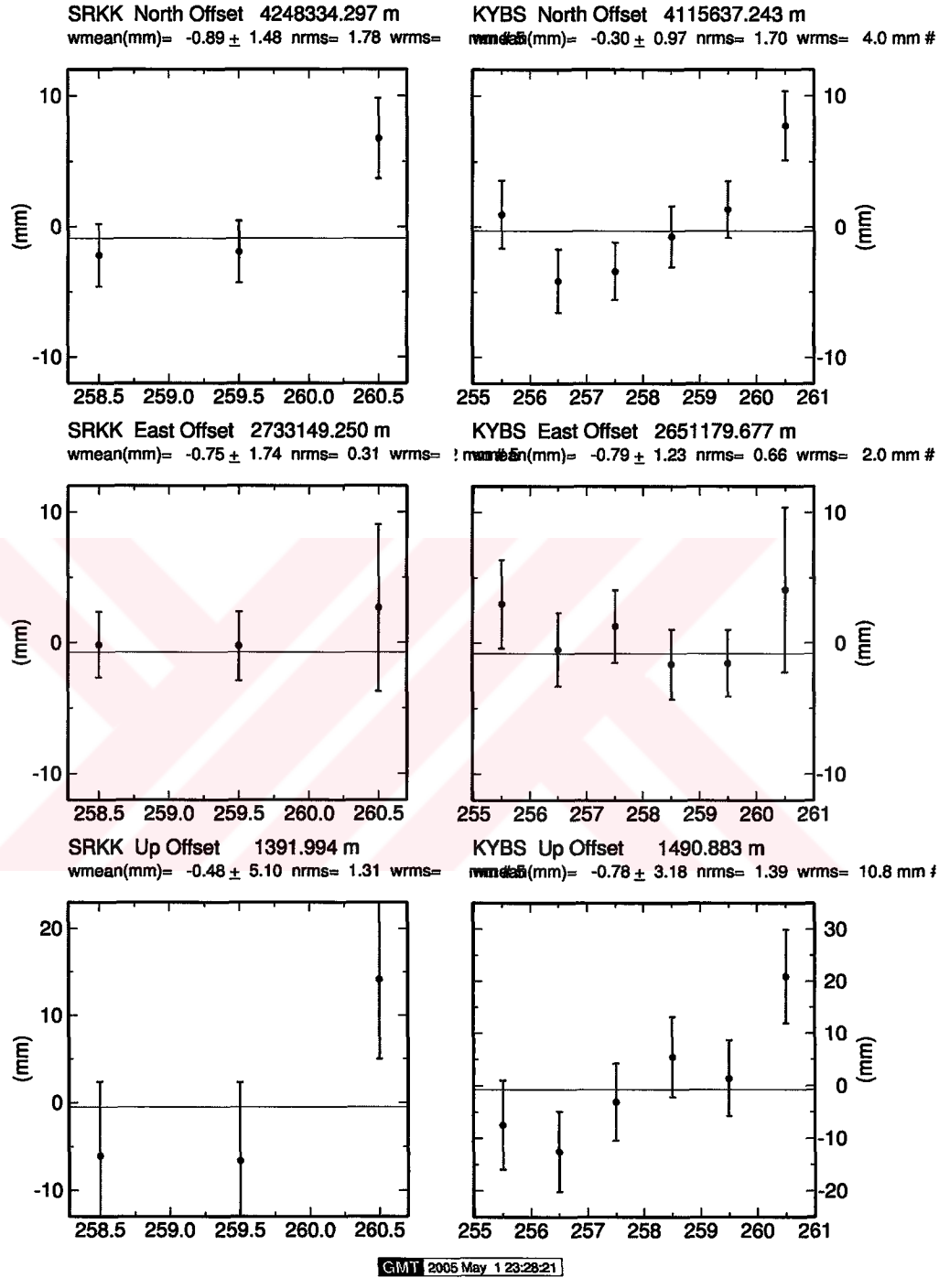
İkinci adımda ilk adım olan GAMIT'in çalıştırılması ile ortaya çıkan glx uzantılı h dosyaları kullanılır. Bu dosyalar internet ortamındaki diğer IGS ağlarından alınan h dosyaları ile birleştirilir. Böylece datum dönüşümünde kullanılacak yer dönme parametreleri ile hassas yörünge parametrelerinin IGS' ten alınarak, bölgesel yörünge modülü ile global yörünge modülünün uyumlu olması sağlanmaktadır **(Mc Clusky ve diğerleri, 2000, Aktuğ, 2004).** Daha sonra bu günlük ölçmeler birleştirilir ve hızlar kalman filtresi yardımı ile bulunur. Bu çalışma sırasında global ağ olarak IGS tarafından üretilen igs1, igs2 ve eura genel ağları kullanılmıştır.

Son adım olan üçüncü adımda ise tüm parametreleri belirlenen ve kendi içinde birleştirilen işlenmiş ölçülerden, belli bir plaka üzerinde yatay hızları birbirlerine göre en az olan birkaç nokta sabit seçilerek, hızların o plakaya göre dönüşümü yapılır. Böylece anlamlı bir hız ve yön kümesi bulunmuş olmaktadır. Bu adım genel olarak ikinci adımla birlikte uygulandığı için değerlendirme işlemi iki adım olarak da tanımlanmaktadır **(Tarı ve diğerleri, 2000)**, (Şekil 5.3).



Şekil 5.3 Üçüncü Adım: Referans Sisteminin Tanımlanması

Günlük olarak birleştirilen verilerin doğruluğundan bahsetmek istenirse istasyon noktalarındaki ölçü tekrarlılıklarına bakılması gerekir. Tekrarlılıkları bulmak için GLRED komutu kullanılmaktadır. Bu komutun çalıştırılması GLOBK modülünün altında olup tekrarlılık için yazılmış bir komut dosyası ile yönetilir. Böylece ölçülerdeki kaba hatalar belirlenmekte ve ölçülerin güvenilirliği hakkında bilgi vermektedir. Tekrarlılıklardan görülen herhangi bir kaba hata varsa o güne veya istasyona ait çözümler tekrarlanır veya güvenilir olmayan çözüm değerlendirmeden çıkartılabilir. GLRED sonuçlarını yorumlayabilmek için ya ortaya çıkan nrms ve wrms değerleri (EK. A3) ya da bunları da içeren tekrarlılıkların incelenmesi gerekir (Şekil 5.4).



Şekil 5.4 Ölçü Noktalarına Ait Tekrarlılık Çizimleri Ve Nrms Ve Wrms Değerleri

Nokta tekrarlılıkları günlük olarak incelenebileceği gibi yıllık olarak da incelenebilir. Günlük tekrarlılık çizimlerine bakılarak günlük ölçümlerin doğrulukları hakkında tespitler yapılarak hangi günlük çözümlerin kullanılacaklarına karar verilir. Yine yıllık çözümlere bakılarak periyotlara ait trendler hakkında tespitler yapılarak hangi kampanyalara ait çözümlerin kullanılacağına karar verilir.

Tekrarlılıklardan görülen herhangi bir kaba hata varsa o güne veya istasyona ait çözümler tekrarlanır veya güvenilir olmayan çözüm değerlendirmeden çıkartılabilir. Bölüm 4 de ayrıntılı olarak anlatılan Kalman filtrelemesi kullanılarak yapılan ileri ve geri çözümlerin hataları tüm zaman serileri boyunca yayması nedeniyle zaman serilerinden elde edilen her görüntü dikkatle izlenmeli ve yorumlanmalıdır. Bu bağlamda Burdur Fethiye GPS ağındaki noktalarda 2003 ve 2004 yıllarına ait tekrarlılıklar "glred" modülü ile hesaplanmıştır (EK A3) Hesaplanan tekrarlılıklar sonucu problemli olduğu düşünülen günlere ait noktalar earthquake dosyası kullanılarak rename komutu ile temizlenmiştir. Bununla beraber SIRA noktasına ait tekrarlılıkta da beklenenden daha büyük bir hata gözlemleniştir (N-E-U). Bunun da noktanın bulunduğu konuma ait fiziksel yapıdan kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu noktadaki hataları gidermek üzere autoclean dosyasının son satırında bulunan "edit_site_svs" komutu ile uydu numarası ve ölçü (epok) aralıkları girilerek bu noktadaki kısa süreli uydu geçişleri ortadan kaldırılmıştır. Yapılacak 4. kampanyada alet yüksekliğinin artırılması ve fiziksel çevrede sinyalleri etkileyebilecek etmenlerin ölçüye başlamadan önce ortadan kaldırılması gerekmektedir.

Tekrarlılıklar kontrol edilip kaba hata olmadığı belirlendikten sonra verilerin birleştirme işlemi yapılır. Bu işlem GLOBK modülü ile yapılır. Birleştirme işlemi için de farklı bir komut dosyası (cmd) kullanılır. Bu çalışmada günlük veriler birleştirilerek yıllık veri elde edilmiş ve bu işlem her üç kampanya için de yapılmıştır. Bu birleştirme işlemi dört adımda gerçekleştirilmiştir. İlk adımda IGS h dosyaları birleştirilir ve ortaya çıkan prefit chi^2 değeri kaydedilmiştir. Kullanılan igs h dosyaları igs1 ve igs2'dir. Sonra eura h dosyaları birleştirilir ve ortaya çıkan prt dosyasındaki prefit chi^2 değeri de kaydedilmiştir. Diğer adımda ise aynı işlem çalışmanın h dosyaları ile yapılır. Aynı güne ait işlenmiş ölçülerin birlikte değerlendirilmesi için işlenmiş ölçüler alt alta yazılarak sonlarına "+" işareti ile işaretlenmeleri gerekmektedir Kayıt edilen bu değerler tüm h dosyalarının birleştirmesi olan son aşamada dosyaların ağırlıkları olarak verilmiştir (EK. A4). Bu işlemler her yıl için ayrı ayrı yapılmıştır. Böylece yıllık veriler ayrı ayrı birleştirilmiştir.

Günlük h dosyalarının birleştirilip yıllık h dosyası yapıldıktan sonra yeni aşama hızların bulunmasıdır. Daha önce yıllık verilerin kontrolü için tekrar GLRED komutu çalıştırılır ve tekrarlılıklara (EK. A3) bakılarak kontrol edilir. Eğer bir sorun yoksa devam edilir. Değerlendirmede igs1, igs2 ve eura ağlarına ait aylık h file'ler elde edilmiştir. Bu ağlara ait noktaların aylık tekrarlılıkları incelenerek sorunlu noktalar earthquake dosyası kullanılarak rename komutu ile değerlendirmeden çıkartılmıştır. Birleştirme aşamasında yıllık h dosyalarının prefit chi^2 değerleri yani üç adet h dosyasının birleştirildiği prt dosyasından bulunan değerler kullanılmıştır. GLOBK ve GLORG komutları çalıştırılan bu son bölümde yine farklı komut dosyaları

kullanılmıştır. GLOBK komutu GLORG komutunu otomatik olarak çalıştırmasına rağmen ikisinin de farklı komut dosyaları bulunmaktadır. Bununla beraber GLOBK ve GLORG modülü ayrı ayrı da çalıştırılabilmektedir. GLORG esas olarak referans sistemi tanımlamak, hız tahmini yapmak ve uygulanan sıkıştırmaların çözüme etkisini belirlemek için kullanılmaktadır. GLORG modülü ile referans sistemi tanımlama ve hız tahmini yapılırken yatay konumları ve hızları arasındaki sapma minimum olan noktalar kullanılır. Böylece üç dönüklük, üç öteleme ve bir ölçek faktörü hesaplanır. Elde edilen bu sonuçlar org uzantılı bir dosya olarak basılır. GLORG modülü de diğer komutlar gibi cmd uzantılı bir kontrol dosyası ile yönetilmektedir (EK.A.6). Bu komut dosyası sayesinde IGS tarafından belirlenen genel referans sistemine dönüşüm için kullanılan istasyon noktalarına, uydu yörünge parametrelerine ve yer dönüş parametrelerine kısıtlamalar getirilir. Özet olarak GLOBK ile hız kestirimi yapılıp, GLORG ile bu hızlar sabit görülen bir plakaya dönüştürülür.

Bu çalışmada beş adet datum dönüşümü-stabilizasyon çalışması yapılmıştır. İlk olarak Altamimi'nin (2002) Avrasya'yı temsilde kullandığı 12 noktanın stabilizasyonda kullanılması ile sonuç elde edilmiştir (Tablo 5.7). İkincisinde ise Yavaşoğlu'nun 2003'te kullandığı Avrasya'yı temsil eden 41 adet noktanın kullanılmasıyla referans sistemi tanımlaması yapılmıştır. (Tablo 5.8). Diğer bir deneme ise GAMIT/GLOBK yazılım paketi içinde gelen ve Avrasya'yı temsil eden istasyonları kullanarak yapılan denemedir (Tablo 5.9). Dördüncü olarak Mc Clusky ve diğerleri 2000'de kullanılan Avrasya'yı temsil eden noktalar kullanılarak deneme yapıldı. Bu plakayı sabit almak için kullanılan sabit istasyonlar Tablo 5.10'da verilmiştir.

Tablo 5.7 Avrasya'yı Temsil Eden Noktalar (Altamimi, 2002)

BRUS	Brussels, Belçika	WTZR	Wettzell, Almanya
GOPE	Ondjerov, Çek Cumhuriyeti	KOSG	Kootwijk, Hollanda
LAMA	Olsztyn, Polonya	METS	Kirkonumi, Finlandiya
KIRU	Kiruna, İsviçre	KIT3	Kitab, Özbekistan
ZWEN	Zwenigorod, Rusya	VILL	Villafranca, Madrid, İspanya
JOZE	Josefoslow, Polonya	POTS	Potsdam, Almanya

Tablo 5.8 Avrasya'yı Temsil Eden Noktalar (Yavaşoğlu, 2003)

NLIB_GPS	KOKB_GPS	TIDB_GPS	CAS1_GPS	ZWEN_GPS
MDO1_GPS	CHAT_GPS	HOB2_GPS	IRKT_GPS	HART_GPS
PIE1_GPS	AUCK_GPS	GUAM_GPS	LHAS_GPS	TROM_GPS
YELL_GPS	KWJ1_GPS	TSKB_GPS	KERG_GPS	MATE_GPS
GOL2_GPS	MCM4_GPS	SHAO_GPS	KIT3_GPS	GRAZ_GPS
DRAO_GPS	MAC1_GPS	PERT_GPS	BAHR_GPS	POTS_GPS
FAIR_GPS	TID2_GPS	YAR1_GPS	MALI_GPS	WTZR_GPS
ONSA_GPS	NYAL_GPS	KOSG_GPS	WETT_GPS	NICO_GPS
SOFI_GPS	ZECK_GPS			

Tablo 5.9 Avrasya'yı Temsil Eden Noktalar (GAMIT/GLOBK)

KOSG_GPS	POTS_GPS	NYAL_GPS	METS_GPS	JOZE_GPS
BRUS_GPS	VILL_GPS	ZECK_GPS	GRAZ_GPS	MADR_GPS
HERS_GPS	GRAS_GPS	KOBG_GPS	IRKT_GPS	YAKB_GPS
ZWEN_GPS	TOUL_GPS	KSTU_GPS	MATE_GPS	BOR1_GPS
WTZR_GPS	HERS_GPS	ZIMM_GPS		

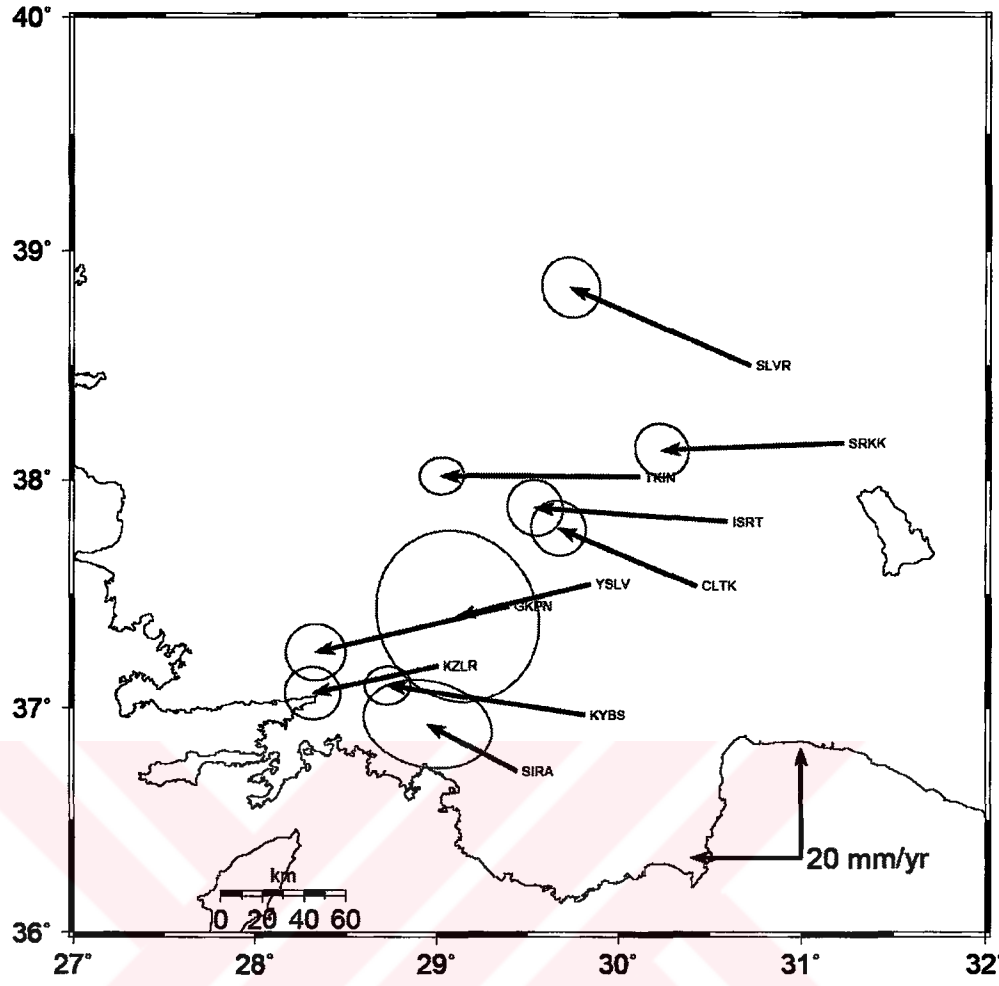
Son olarak ta yapılan tüm denemelerin incelenmesi ve problemli olduğu düşünülen noktaların atılmasıyla, 15 nokta kullanılarak yapılan stabilizasyon çalışmasıdır (Tablo 5.11).

Tablo 5.10 Avrasya'yı Temsil Eden Noktalar (Mc Clusky ve diğerleri, 2000)

YAKT	Yakutsk, Yakutia Sakha Republic, Rusya Federasyonu	POTS	Potsdam, Almanya
IRKT	Irkutsk , Rusya	WTZR	Wettzell, Almanya
KSTU	Kransnoyarsk, Rusya	KOSG	Kootwijk, Hollanda
ARTU	Arti , Rusya Federasyonu	CAGL	Cagliari, Italy
ZWEN	Zwenigorod, Rusya	NRIL	Norilsk, Rusya Federasyonu
GLSV	Kiev/Golosiiv , Ukrayna	NVSK	Novosibirsk, Rusya
GRAZ	Graz-Lustbuehel, Avusturya	VILL	Villafranca, Madrid, İspanya
WSRT	Westerbork, Drente, Hollanda		

Tablo 5.11 Avrasya'yı Temsil Eden Noktalar (Erdoğan, 2005)

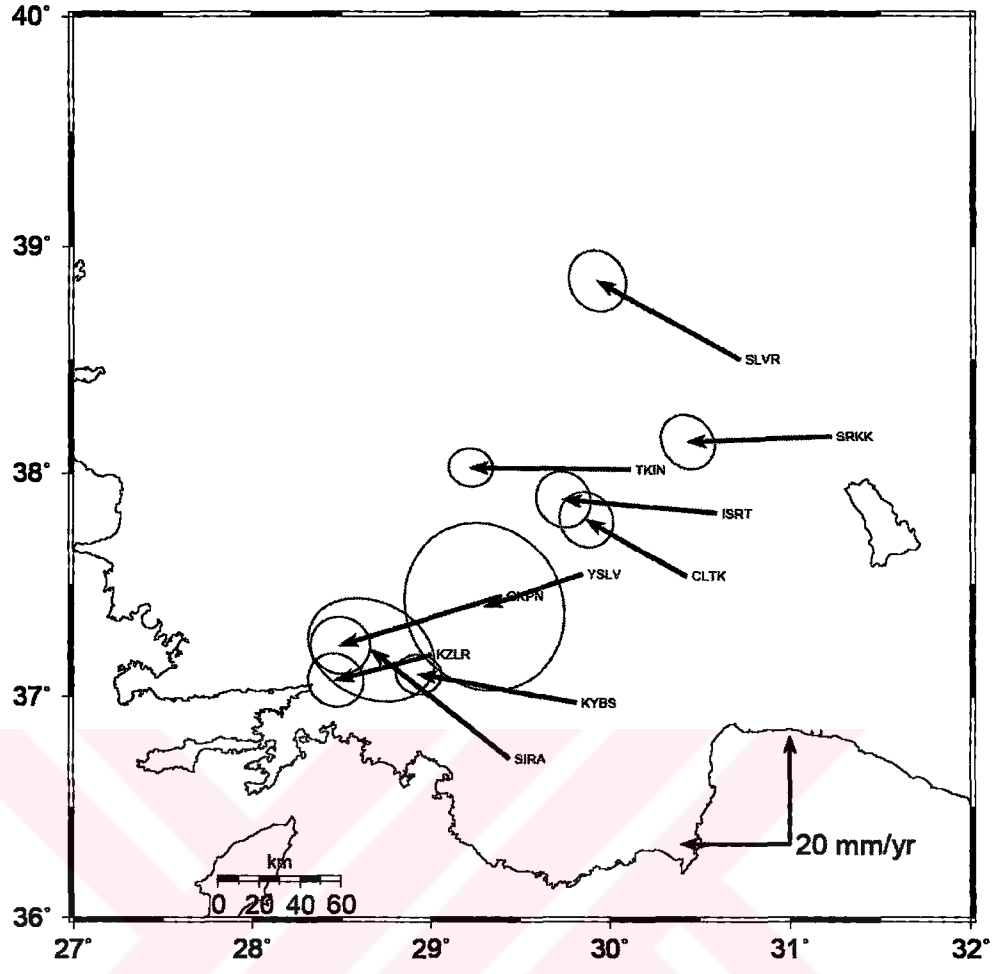
GRAZ	Graz-Lustbuehel, Avusturya	MATE	Norilsk, Krasnoyarsk Region, Rusya Federasyonu
WSRT	Westerbork, Drente, Hollanda	SOFI	Sofia, Bulgaristan
POTS	Potsdam, Almanya	VILL	Villafranca, Madrid, İspanya
WTZR	Wettzell, Almanya	ZECK	Zelenchukskaya Rusya
KOSG	Kootwijk, Hollanda	TROM	Tromsoe, Norveç
CAGL	Cagliari, İtalya	KIRU	Kiruna, İsviçre
LAMA	Lamkowko, Polonya	ONSA	Onsala, İsviçre
KIT3	Kitab, Özbekistan		



Şekil 5.5 nin (2002) Noktaları Kullanılarak, Burdur Fethiye GPS Ağına Ait ITRF00 Sisteminde Avrasya Plakasına Göre Hız Vektörleri

Referans sistemi tanımında Altamimi'nin kullandığı noktalar kullanılarak tanımlama yapıldığında elde edilen IGS noktalarının hız vektörlerinin yön ve büyüklükleri IGS tarafından yayımlanan hız vektörlerinin yön ve büyüklükleri ile karşılaştırıldığında (Şekil 5.5); hız vektörlerinin genel olarak 3-5 mm daha büyük olduğu ve vektörlerde kuzeye doğru bir artış olduğu gözlemlenmiştir.

Yine GAMIT GLOBK yazılım takımıyla beraber gelen standart pakette kullanılan noktalar kullanılarak referans sistemi tanımlaması yapılarak, elde edilen IGS noktalarının hız vektörlerinin yön ve büyüklükleri IGS tarafından yayımlanan hız vektörlerinin yön ve büyüklükleri ile karşılaştırıldığında (Şekil 5.10); hız vektörlerinin genel olarak 3-8 mm daha büyük olduğu ve vektörlerde yine kuzeye doğru bir artış olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 5.6).

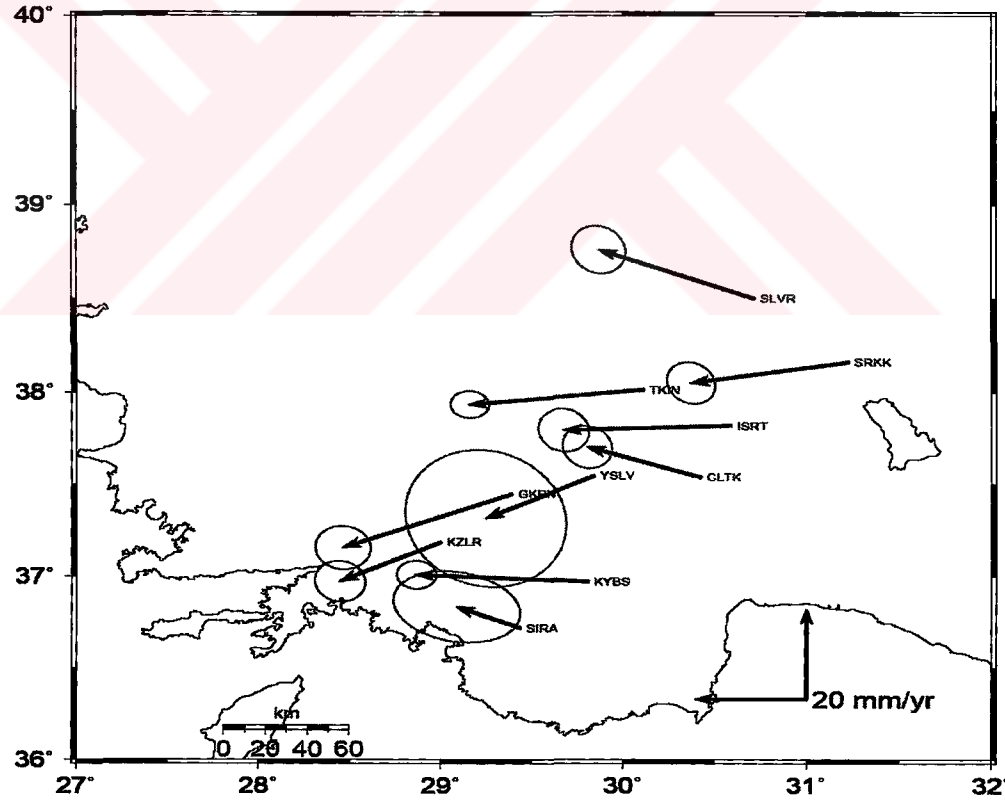


Şekil 5.6 GAMIT GLOBK Noktaları Kullanılarak Burdur Fethiye GPS Ağına Ait ITRF00 Sisteminde Avrasya Plakasına Göre Hız Vektörleri

Üçüncü olarak Yavaşoğlu (2003) kullandığı noktalar kullanılarak referans sistemi tanımlaması yapıldığında IGS tarafından yayımlanan hız vektörlerinin yön ve büyüklükleri elde edilen hız vektörleri ile 2–6 mm farklarla örtüşmüştür (Şekil 5.7), (Tablo 5.12).

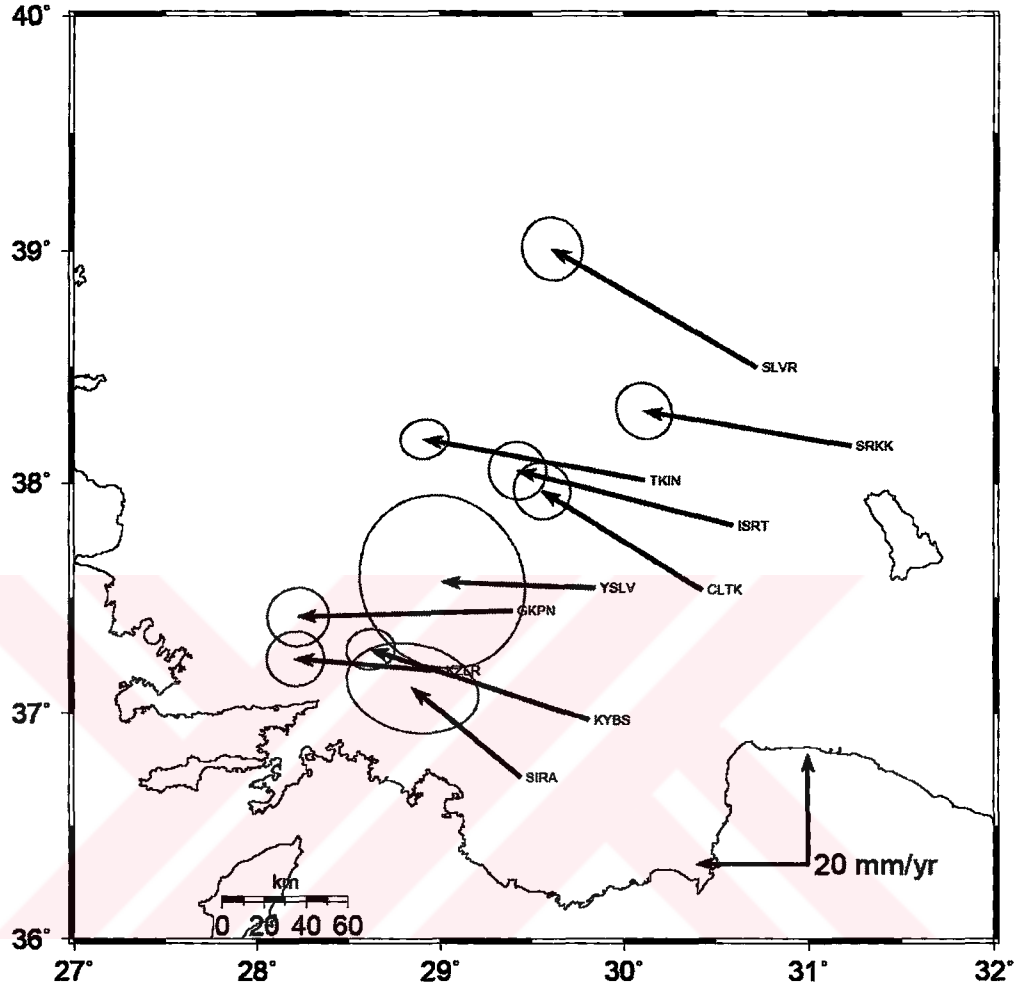
Tablo 5.12 Elde edilen Hız Değerlerinin IGS Değerleri ile Karşılaştırılması

IGS Noktaları	V_{igs_E} (mm/yıl)	V_{igs_N} (mm/yıl)	V_{igs} (mm/yıl)	V_E (mm/yıl)	V_N (mm/yıl)	V (mm/yıl)
ANKR	-24.63	-1.11	24.71	-23.12	-1.74	23.18
TRAB	1.36	1.01	1.69	5.08	2.47	5.64
ISTA	2.1	-2.74	3.46	0.29	1.91	1.94
TUBİ	-4.01	-1.22	4.19	-4.25	-2.19	4.78
MERS	-9.26	4.89	10.31	-15.24	5.15	16.08
NICO	-7.4	2.4	7.88	-4.03	2.10	4.54

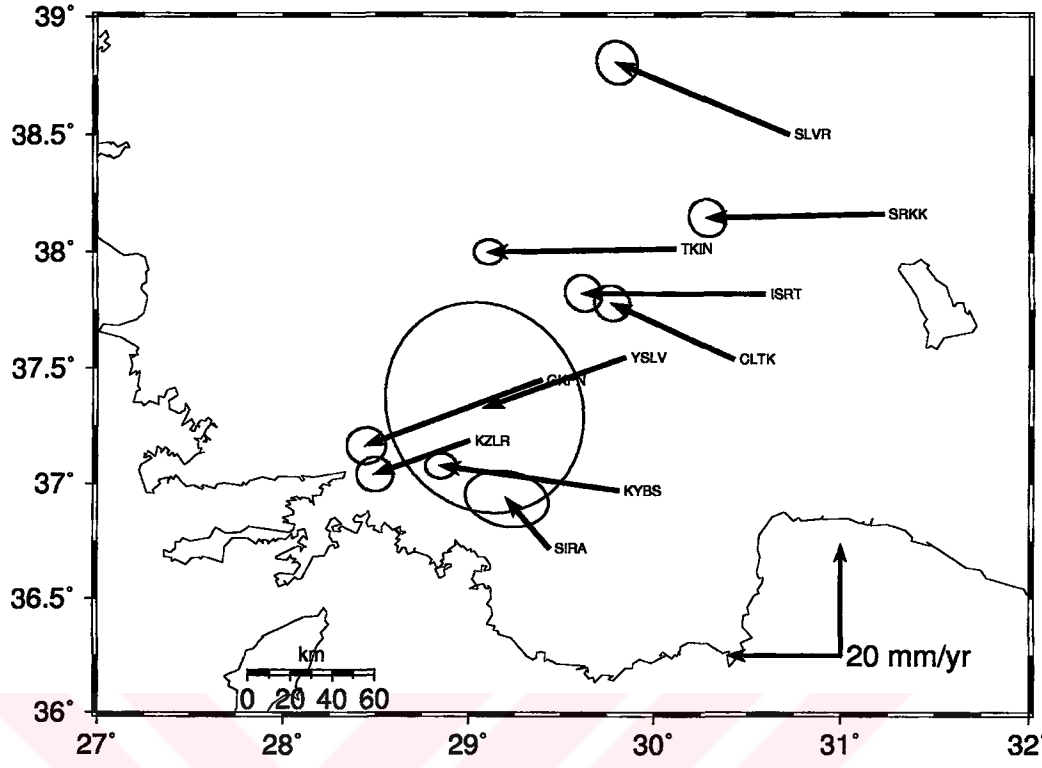


Şekil 5.7 Yavaşoğlu (2003) Noktaları Kullanılarak Elde Edilen Burdur Fethiye GPS Ağına Ait ITRF00 Sisteminde Avrasya Plakasına Göre Hız Vektörleri

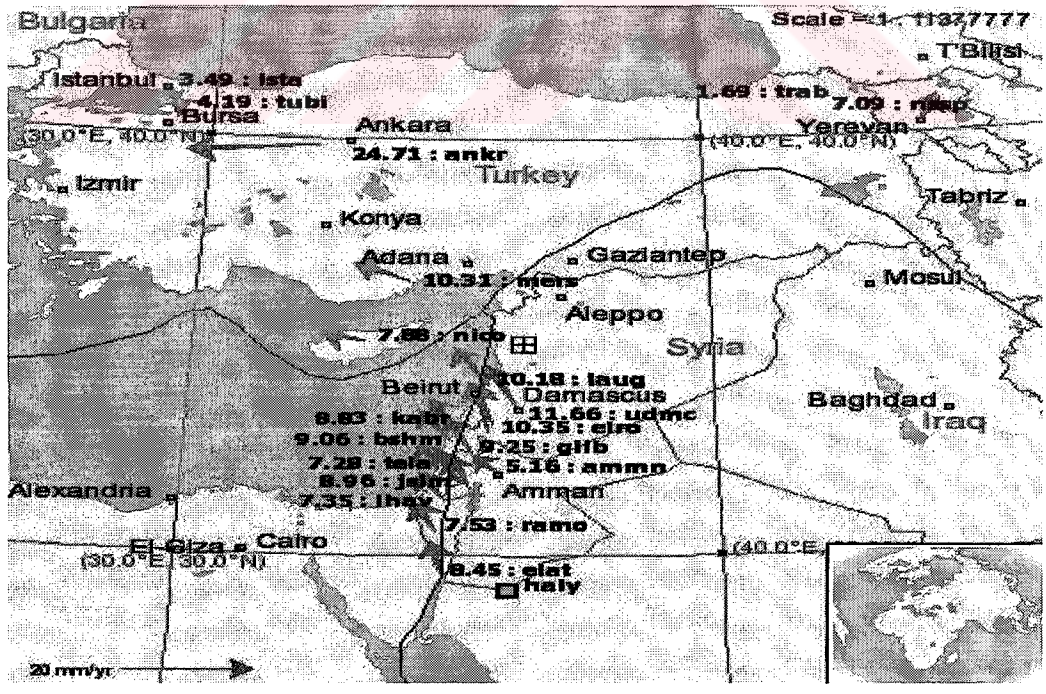
Dördüncü olarak Mc Clusky ve diğerlerinin (2000)'nin kullandığı noktalar kullanılarak referans sistemi tanımlaması yapıldığında hız vektörlerinde kuzeye doğru 3–10 mm' lik bir artış olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 5.8).



Şekil 5.8 Mc Clusky ve Diğerlerinin (2000) Kullandığı Noktalarla Burdur Fethiye GPS Ağına Ait ITRF00 Sisteminde Avrasya Plakasına Göre Hız Vektörleri



Şekil 5.9 Erdoğan (2005) Kullandığı Noktalarla Burdur Fethiye GPS Ağına Ait ITRF00 Sisteminde Avrasya Plakasına Göre Hız Vektörleri

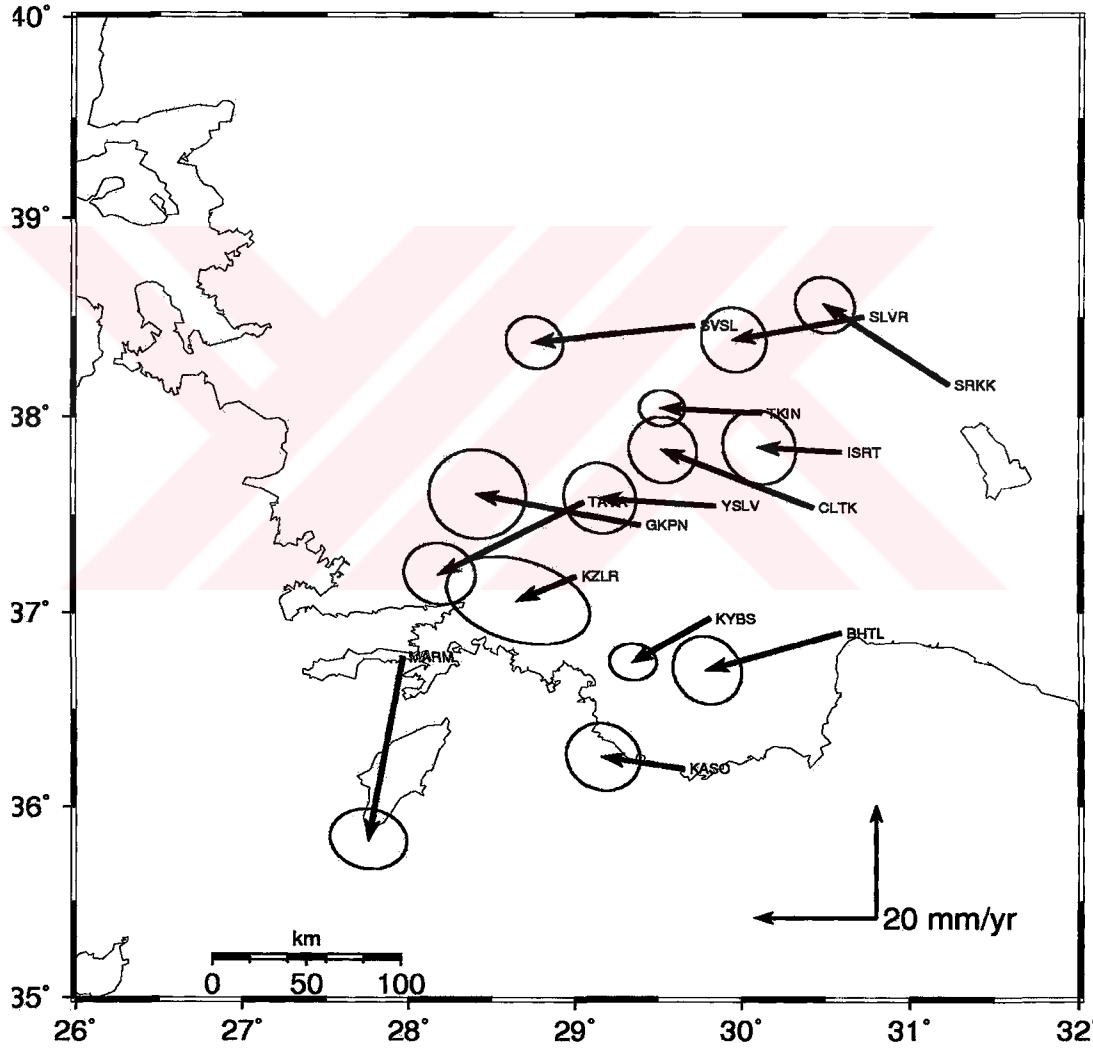


Şekil 5.10 SOPAC Tarafından Yayınlanan IGS İstasyonlarına Ait Hız Vektörleri (http://sopac.ucsd.edu)

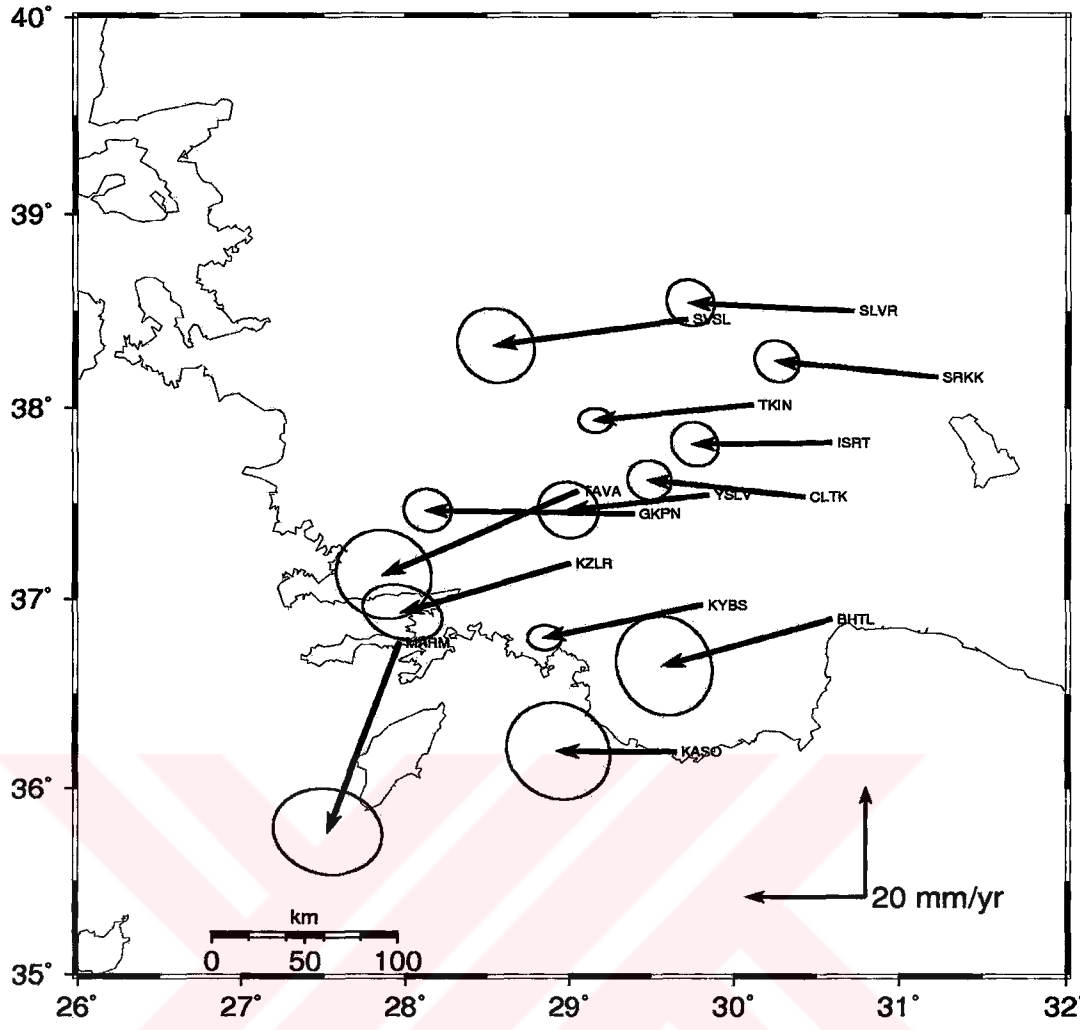
Yine Erdoğan (2005) çalışmasına bakıldığında (Şekil 5.9) koordinat sistemi dönüşümü için dengeleme öncesi karesel ortalama hata 17.6 mm/yıl dengeleme sonrası karesel ortalama hata ise 0.6 mm/yıl olarak hesaplanmıştır.

Elde edilen hız vektörlerinden SOPAC tarafından yayımlanan IGS istasyonları hız vektörlerinin yön ve büyüklüğüyle en iyi çakışan stabilizasyon denemesi Yavaşoğlu (2003)'nun kullandığı noktalardan elde edilmiştir.

Yine kampanyalar arası farklar alınarak 2003-2004 ve 2003-2005 yılları arasındaki hız değerleri de elde edilmiştir (Şekil 5.11), (Şekil 5.12).

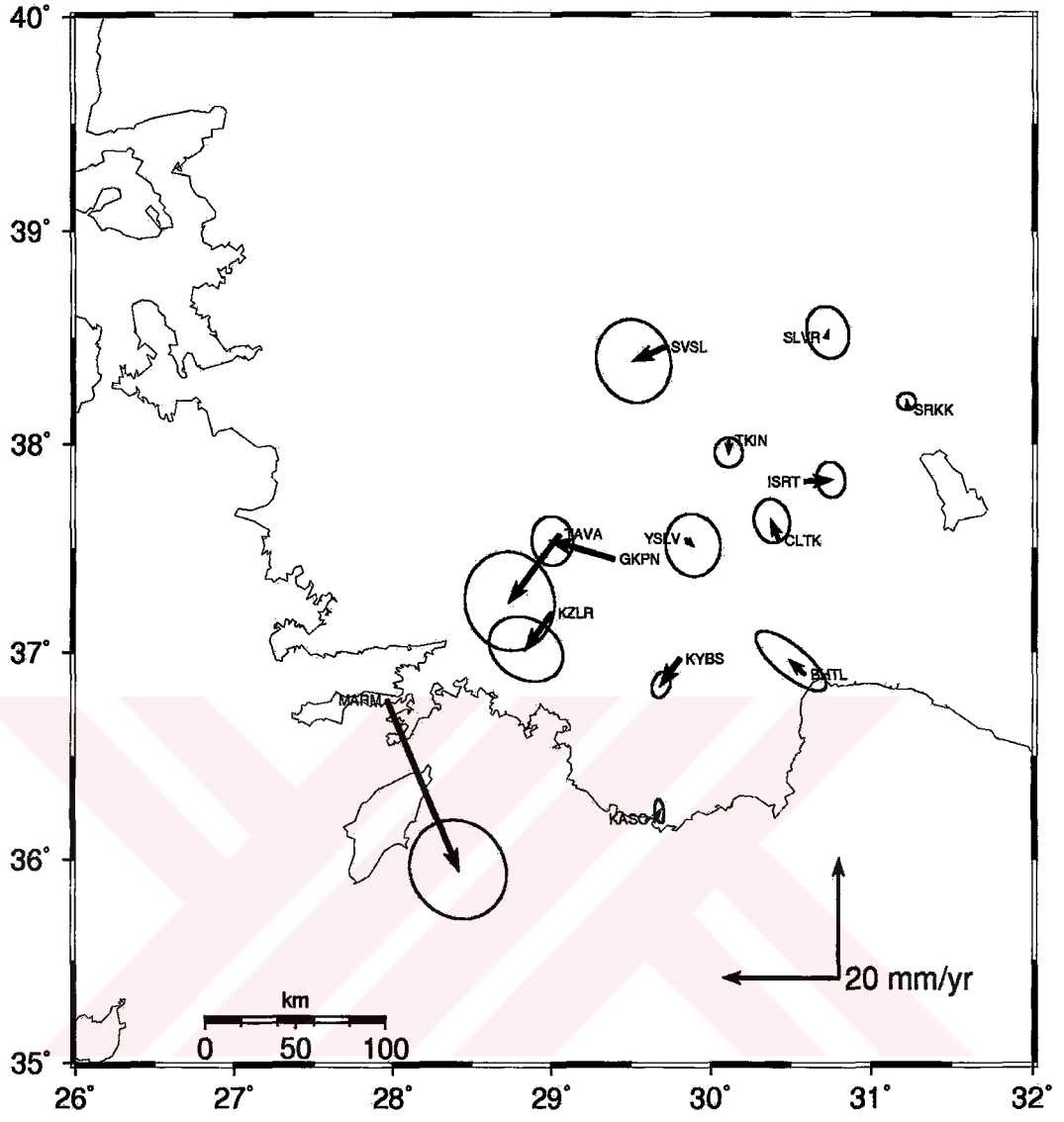


Şekil 5.11 Burdur Fethiye GPS Ağı Noktalarına ait 2004-2005 Yılı Kampanyalarından Elde Edilen Hız Vektörleri



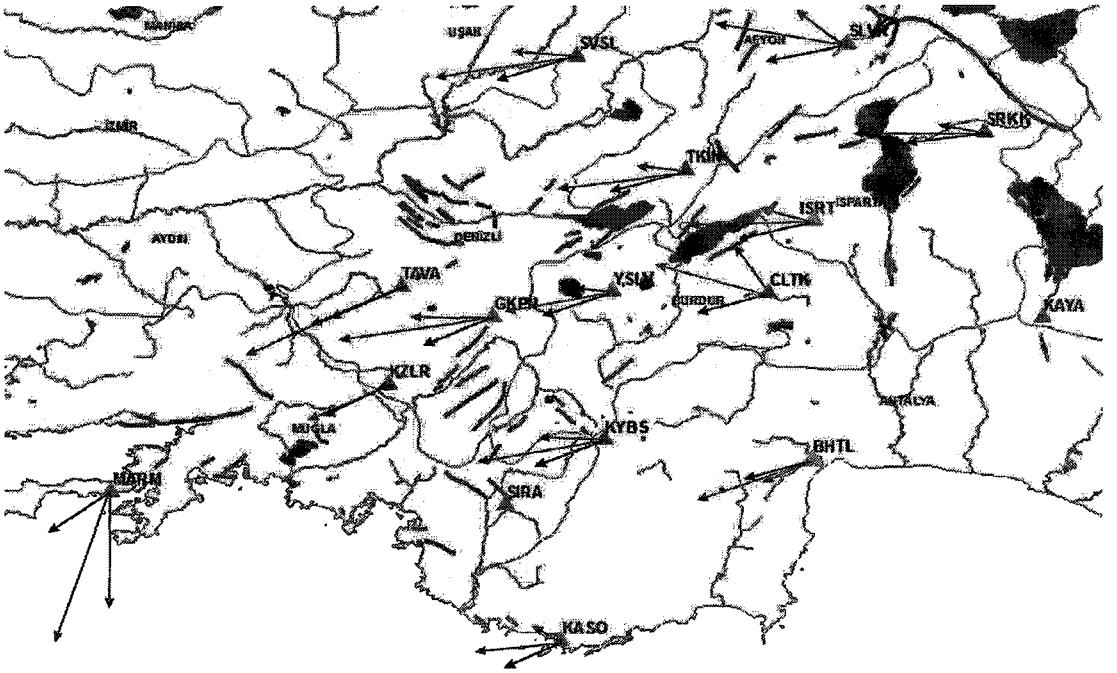
Şekil 5.12 Burdur Fethiye GPS Ağı Noktalarına ait 2003-2005 Yılı Kampanyalarından Elde Edilen Hız Vektörleri

Bu vektörlerle ilgili ayrıntılı yorumlar Bölüm 6'da yapılacaktır. Daha sonra karşılıklı noktalardaki hareketi ayrıntılı irdeleyebilmek için bölgedeki 2 bloktaki noktaların bağıl hızları hesaplanmıştır (Şekil 5.13)



Şekil 5.13 Burdur Fethiye GPS Ağına Ait ITRF00 Sisteminde Avrasya Plakasına Göre Noktaların Bağıl Hız Vektörleri

Yine Mc Clusky ve diğerlerinin (2000) 1988-1997 yılları arasında 9 yıllık süreçte ve 189 noktada yaptıkları GPS ölçümleri sonucunda Avrasya-Anadolu plakası için 32.6 Enlem, 30.7 Boylam ve 1.3 mm/yıl olarak hesapladıkları Euler Pole noktası değerleri kullanılarak Fethiye Burdur fay zonunda yer alan noktalar için hız değerleri hesaplatıldı. Daha sonraki aşamada bu noktaların hızları ile Euler pole değerlerinden hesaplanan hızları farkı alınarak yerel deformasyon belirlendi (Şekil 5.14). Şekilde siyah renkle gösterilen vektörler Mc Clusky ve diğerleri (2000) değerlerinden elde edilen değerleri, yeşil renkli vektörler bu çalışmadan elde edilen hız vektörlerini, kırmızı renkli vektörler de hız farklarını göstermektedir.

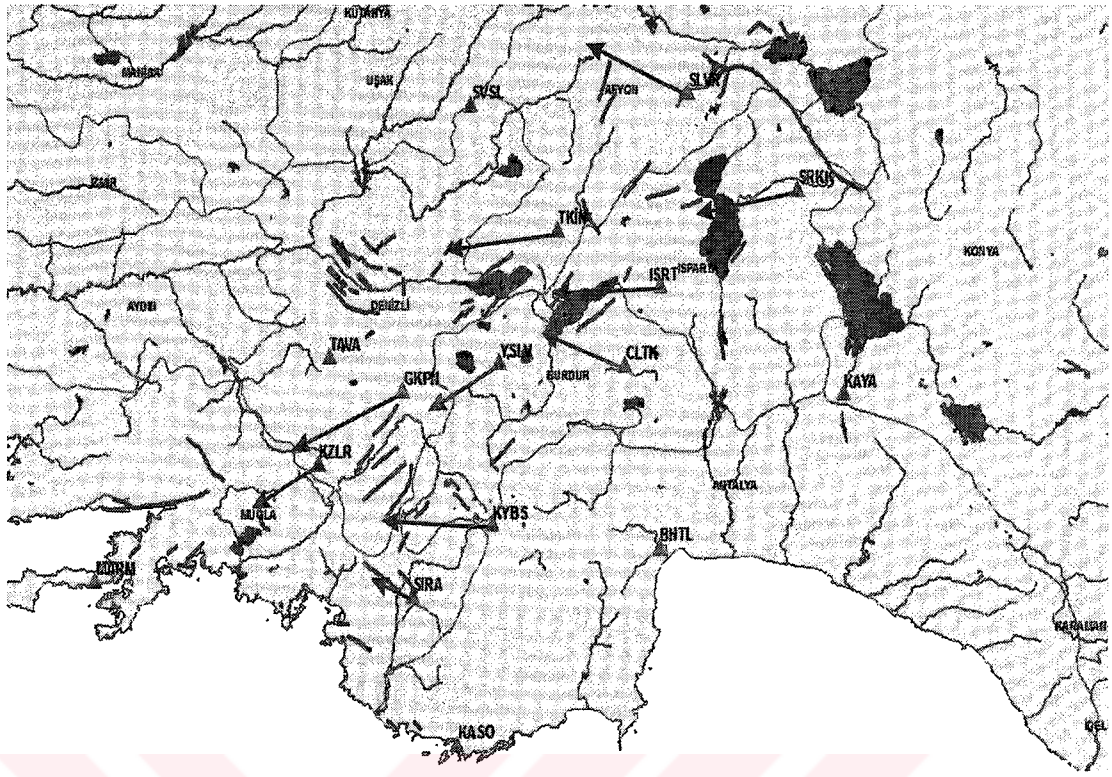


Şekil 5.14 Burdur Fethiye GPS Ağına Ait noktaların Avrasya Plakasına Göre (2005) hızları, Mc Clusky ve diğerlerinin (2000) Anadolu'nun Kinematiği için hesapladıkları Euler Pole ile hız değerleri ve bu hız değerlerinin farkları.

6. GPS HIZ VEKTÖRLERİNİN JEOLOJİK OLARAK YORUMLANMASI VE SONUÇLAR

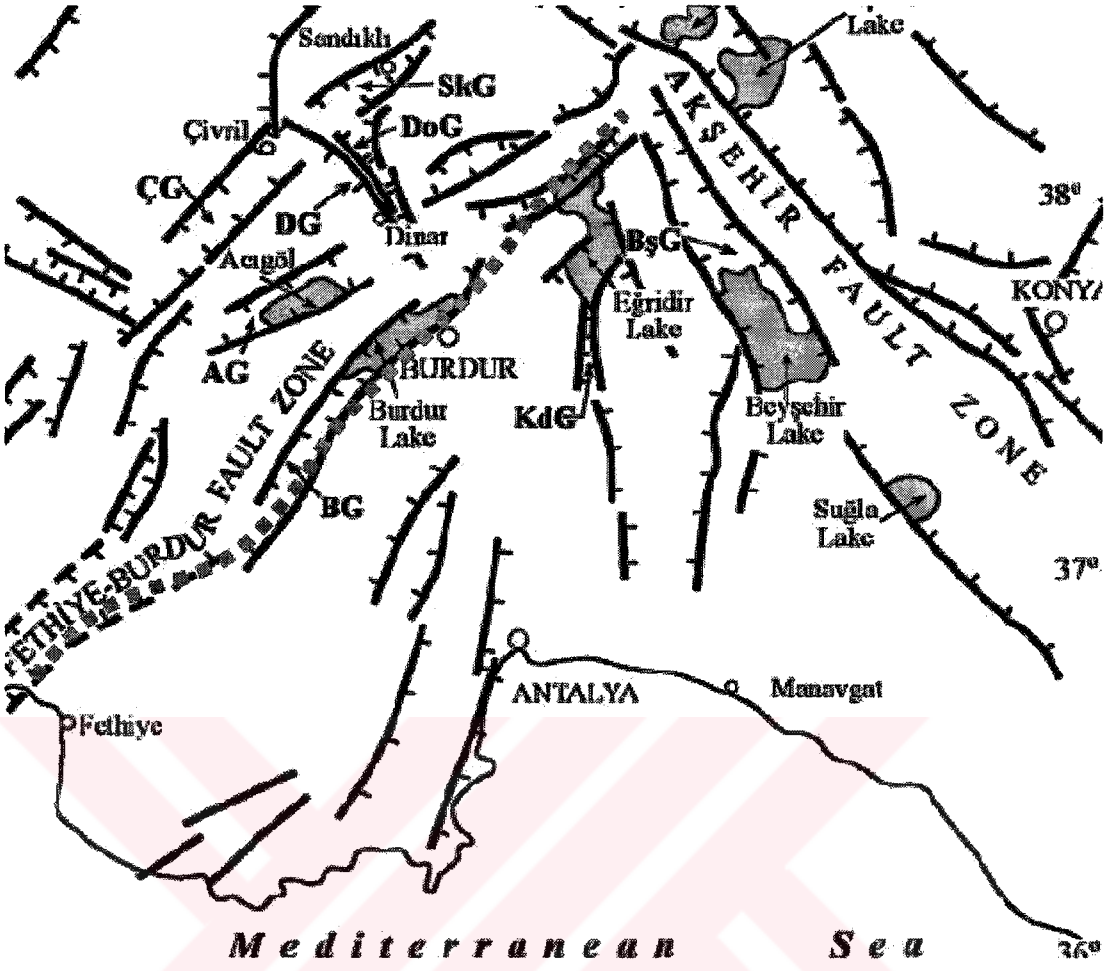
Çalışma bölgesi göz önünde bulundurulduğunda Anadolu levhasının Avrasya referans sistemine göre yıllık 25–35 mm lik hızla güney batı yönünde bir hareket sergilediği görülmüştür (Şekil 6.1). Noktaların 5 farklı stabilizasyon çalışması ile elde edilen yıllık hızları Bölüm 5'te verilmiştir. Bu farklı denemelerden elde edilen hız vektörleri incelendiğinde, noktaların bağıl hızlarının hemen hemen aynı büyüklükye oldukları ve öteleme ve ölçekleme anlamında aynı sonuçları verdikleri görülmüştür. Noktaların hata elipsleri incelendiğinde SIRA noktasının beklenenden daha büyük olduğu diğer noktaların hata elipslerinin ise kabul edilebilir düzeyde olduğu görülmüştür. SIRA noktasında hata elipsinin büyük olmasının ise bölgenin fiziki yapısından ötürü GPS uydularının sürekli olarak alıcının görüş ufkuna girip çıkmasından ve bölgenin ağaçlık yapısından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Ölçüm yapılan istasyon noktalarındaki hız vektörleri incelendiğinde; SRKK noktası yıllık -27.95 mm E, -4.74 mm N hız büyüklüğü ile güney batıya doğru hareket etmektedir. Fayın karşısındaki eşlenik noktası olan SLVR noktası ise yıllık -27.81 mm E, 10.90 mm N hız büyüklüğü ile kuzey batıya doğru hareket etmektedir. SLVR noktası SRKK noktasına göre bağıl hızı ise 0.14 mm E, 15.6 mm N büyüklüğünde ve kuzeye doğrudur. Yine Dinar ve Isparta noktalarındaki GPS hız vektörleri incelendiğinde; TKIN notasının -31.18 mm, E -3.30 mm N ve ISRT noktasının ise -29.86 mm E, -1.08 mm N hız büyüklükleri ile güney batıya doğru hareket ettikleri görülmektedir. TKIN noktasının ISRT noktasına göre bağıl hızına bakıldığında -1.29 mm E, -2.35 mm N ile noktaların yatay hızlarının aynı yönlü olduğu ve ölçülebilecek boyutta birbirlerine göre hareket olmadığı görülmektedir (Şekil 6.1).



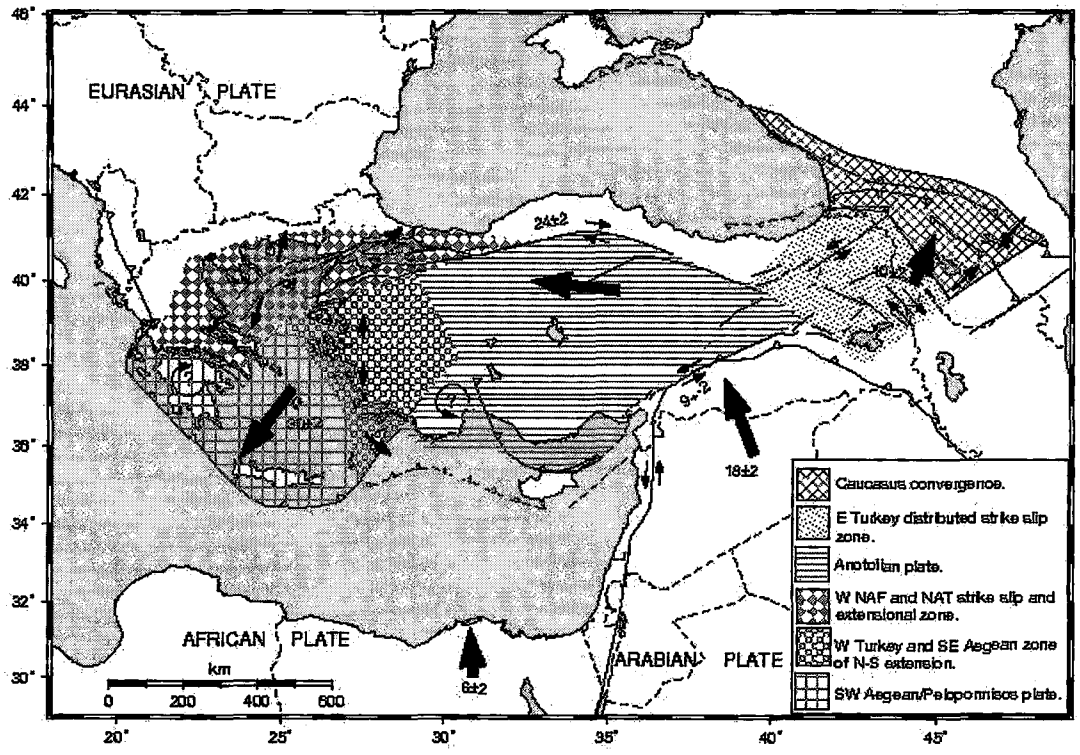
Şekil 6.1 Burdur Fethiye Fay Zonunda Yer Alan GPS Noktalarında ITRF00 Sisteminde Avrasya Plakasına Göre Hız Vektörleri

YSLV noktasına bakıldığında bu noktanın hızının Anadolu'nun kinematiği ile uyuşumlu olduğu, karşısındaki CLTK noktasının 23.99 mm hızla YSLV noktasına doğru hareket ettiği görülmektedir. GKPN noktasının hız büyüklüğüne bakıldığında -31.40 mm E, -12.70 mm N ile güney batıya doğru bir hareket ve KYBS noktasındaki hız vektörüne bakıldığında -30.86 mm E, 1.64 mm N ile batıya doğru bir hareket gözlemlenmektedir. GKPN noktasındaki bağıl hız incelendiğinde 0.5 mm E, -13.63 mm N ile güneye doğru bir hareket olduğu gözlemlenmektedir. Yine SIRA ve KZLR noktaları incelendiğinde SIRA noktasının -27.28 mm E, 16.49 mm N hız büyüklüğü ile kuzey batıya doğru bir hareketinin olduğu KZLR noktasının ise -19.48 mm E, -8.34 mm N hız büyüklüğü ile güney batıya doğru hareket ettiği görülmektedir. Bu noktadaki bağıl hız -7.3 mm E, -13.50 mm N ile güney batı yönlüdür.



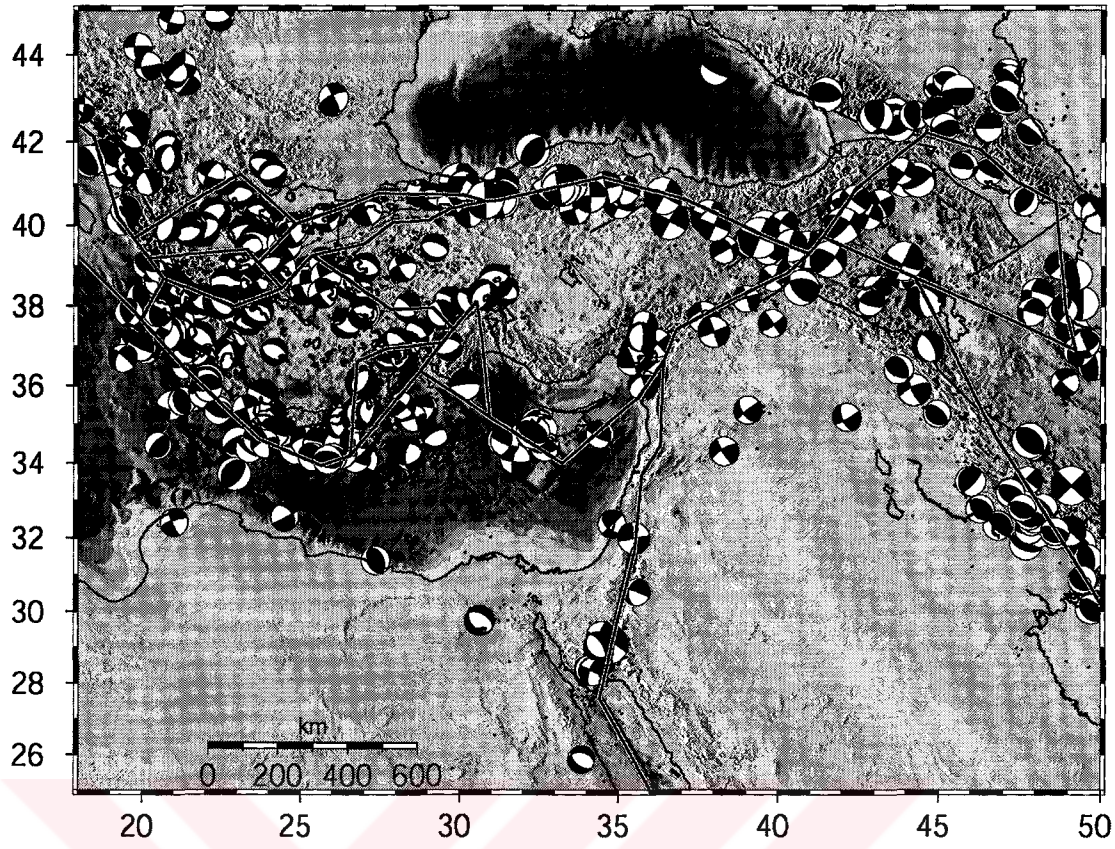
Şekil 6.2 Burdur Fethiye Fay Zonunda Yer Alan Faylar

4. Bölümde de belirtildiği gibi, yerbilimcilerin Batı Anadolu'ya ilişkin çalışmalarından (Şekil 6.2); Mc Kenzie (1972) Anadolu plakasını Ege ve Anadolu plakaları olmak üzere ikiye ayırmaktadır. Alptekin (1973) ise, Anadolu plakası'nın tek parça olarak batıya hareket ettiğini, K-G doğrultulu açılmanın ise üst mantoda meydana gelen bir yükselme ile açıklamaktadır. Daha sonra Mc Kenzie (1978) bu önerisine farklı bir yorum getirerek, Batı Anadolu'nun kıtasal litosferinin bir elin parmaklarının açılmasına benzer şekilde gerilerek ayıldığını ve K-G açılmanın günümüzde de devam ettiğini belirtmiştir. Dewey ve Şengör (1979) tarafından önerilen modelde Mc Kenzie (1972)'nin Ege plakası üçe bölünmektedir. Bu çalışmada, Anadolu bloğunun batıya kaçışının Yunan makaslanma zonu boyunca frenlenmesi bölgede bir D-B doğrultulu sıkışmaya neden olmakta ve bu sıkışma sonucunda K-G doğrultulu açılmaların geliştiği belirtilmektedir. Son yıllarda, Mc Clusky vd. (2000) Reilinger vd. (2003) GPS verilerini kullanarak Afrika, Arap ve Avrasya levhalarının çarpıştığı aktif bir alanda bölgenin kinematiğini izlemiş ve batıya kaçış ve plaka konumlarını modellemişlerdir (Şekil 6.3).



Şekil 6.3 Anadolu'nun Kinematiği (Mc Clusky ve diğerleri, 2000)

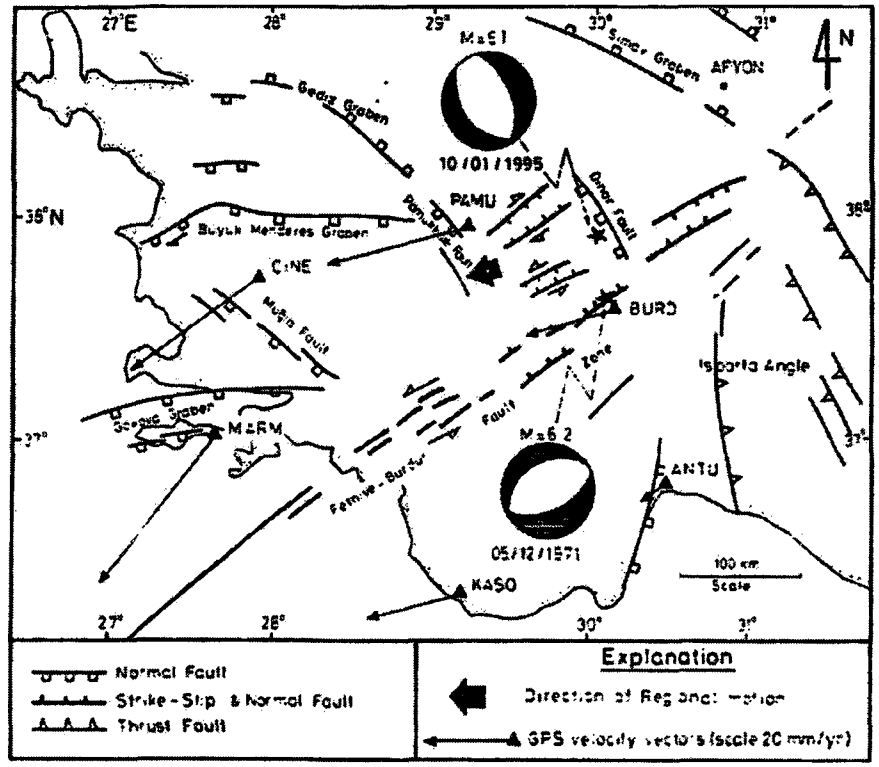
Mc Clusky ve diğerleri (2000) çalışmaları sonucunda Güney Egenin Avrasya levhasına göre 30 mm hızla güneybatı yönünde hareket ettiğini belirtmişlerdir. Yine bu çalışmada kuzey ve güney Ege arasında bir açılma olduğu ve güney doğu Ege'nin Ege bloğuna göre 10 mm hızla güney doğuya doğru ilerlediği belirtilmiştir. Bunun yanında Fethiye Burdur fay zonunun sağında kalan ve Isparta açısı ile sınırlandırılmış bloğa ait tam tanımlı bir kinematik model belirtememiş, çalışılması gerektiğini vurgulamışlardır. Bölgede meydana gelen depremlerin dağılımı ve fay çözümleri incelendiğinde, güneye doğru sismisitenin arttığını ve yine Anadolu ve Ege levhalarının birbirlerine göre olan yıllık 10 mm miktarındaki hareketi sonucu levha sınırlarının yanındaki depremlerin yanı sıra, kuzey ve iç Ege deki depremlerin meydana geldiklerini düşündüklerini belirtmişlerdir. Yine Reilinger ve diğerleri (2003) yaptıkları çalışmalarda Egenin kinematiğini bölgeyi 4 farklı bloğa ayırarak belirlemişlerdir (Şekil 6.4).



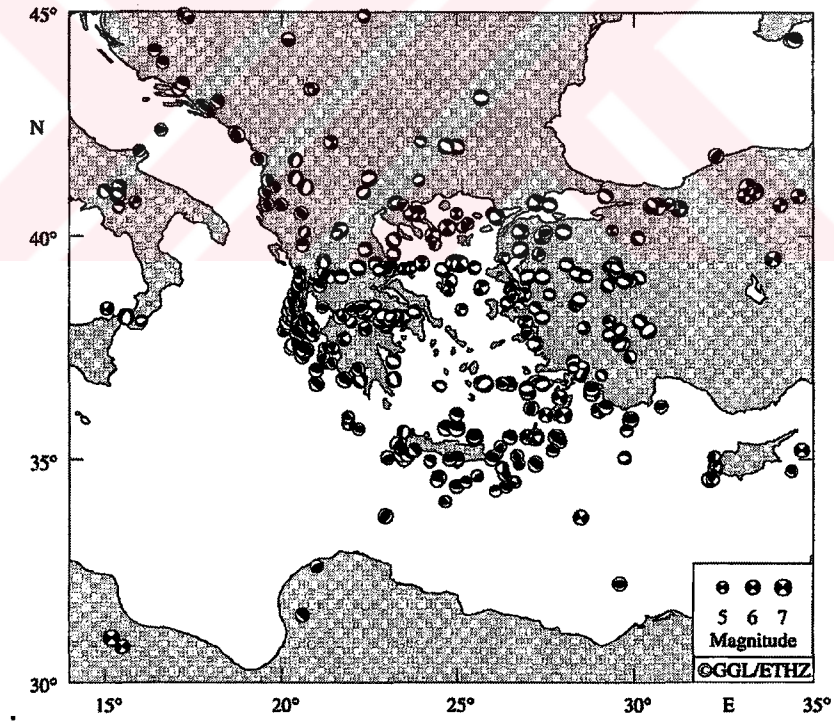
Şekil 6.4 Anadolu'nun Blok Modeli (Reilinger ve diğerleri, 2003)

Yapılan çalışmada genel olarak hız vektörleri incelendiğinde fay zonunun batısında kalan Ege bloğunda, güneybatıya doğru 25-35 mm hızları arasında saat istikametinin tersi yönünde bir açısal dönüş gözlemlenmektedir. Bu durum tüm Anadolu'nun saatin tersi yönündeki dönme hareketi ile uyumlu görülmektedir (Şekil 6.3) **(Reilinger ve diğerleri, 2003), (Mc Clusky ve diğerleri, 2000), (Reilinger, 1995), (Müler, 1996), (Straub 1996).**

Bununla beraber, Taymaz ve Price'in (1992) 1 Ekim 1995 Dinar depremi ile 12 Mayıs 1971 Burdur Depremi üzerine yaptığı fay düzlemi çözümleri (Şekil 6.5), (Şekil 6.6) ile Reilenger ve diğerlerinin (1997) 1988-1994 yıllarından elde ettiği hız vektörleri incelendiğinde Reilengerve diğerlerinin kayma hızını yıllık 1,5-2 cm olarak tespit ettiği ve Taymaz ve Price'ında bu kaymaların bölgedeki sol eğim atımlı normal faylanmalardan kaynaklandığını belirttikleri görülmektedir (Şekil 6.5).



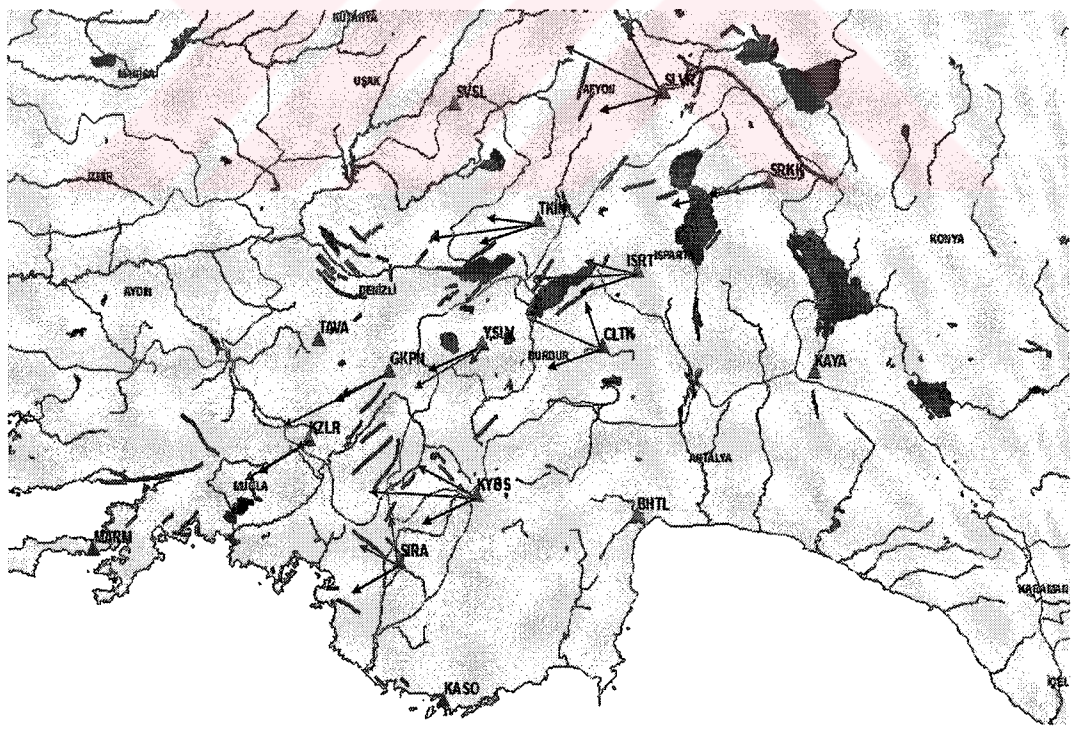
Şekil 6.5 1 Ekim 1995 Dinar ve 12 Mayıs 1971 Burdur Depremleri Fay Çözümleri



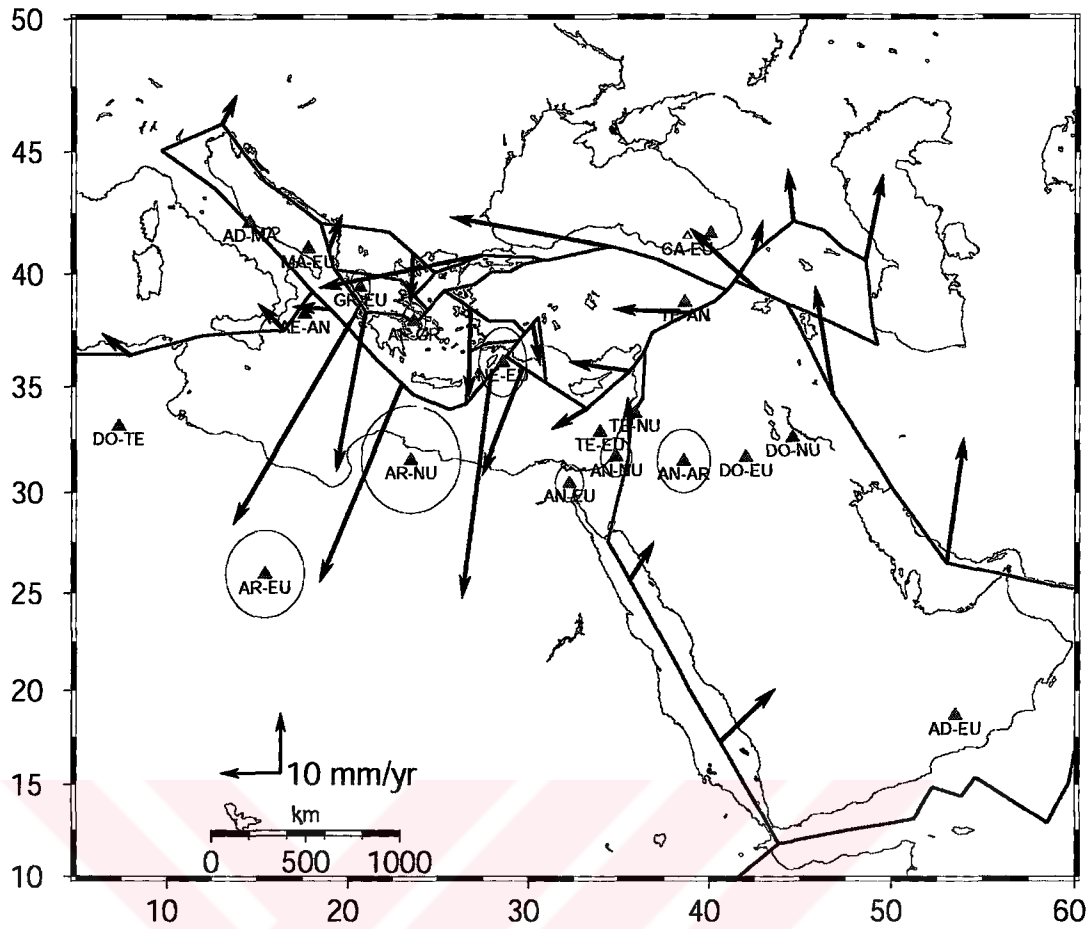
Şekil 6.6 1908–1996 Yılları Arasında Meydana Gelen Depremlerin Çözümleri (Mckenzie 1972, 1978, Anderson ve Jackson 1987, Jackson ve Mckenzie 1988, Taymaz ve diğerleri 1991, Papazachos ve Kiratzi 1992, Zanchi ve Angelier 1993, Jackson 1994, Kiratzi ve Papazachos 1995)

Buradan da çalışmanın sonucunda elde edilen jeolojik verilerin, Taymaz ve Price' in tespitleri ile 1992, McKenzie 1972, 1978, Anderson ve Jackson 1987, Jackson ve McKenzie 1988, Taymaz ve diğerleri 1991, Papazachos ve Kiratzi 1992, Zanchi ve Angelier 1993, Jackson 1994, Kiratzi ve Papazachos 1995'de belirttikleri jeolojik tespitleri kapsadıkları görülmektedir.

Bununla beraber bölgenin karmaşık tektonik yapısı ve blok sınırlarındaki belirsizlikler hız vektörlerinin yorumlanmasını güçleştirmektedir. Bölgedeki deformasyonlar belirlenirken, bölgede yer alan hız vektörlerinin yorumlanmasında bölgedeki farklı blokların hareketleri mutlaka göz önünde bulundurulmalıdır. Bunun için Mc Clusky ve diğerlerinin (2000) Anadolu nun kinematiğini modellendirmek için hesapladıkları ve diğer araştırmacılarca da desteklenen Euler pole değerleri ile ölçüm noktaları için elde edilen hız değerleri hesaplanmış ve bu çalışmada elde edilen değerlerden çıkarılmıştır. Böylece Anadolu plakasının dönüş hareketinin noktalar üzerindeki bağıl etkisi ortadan kaldırılmıştır. Böylece noktaların yerel deformasyon değerleri elde edilmiş olmaktadır (Şekil 6.7). Bu etkinin ortadan kaldırılması ile beraber, Mc Clusky ve diğerlerinin (2000) belirttiği, kuzey güney yönlü, yıllık 10 mm büyüklüğündeki açılma hareketi ve Reilinger ve diğerlerinin (2003) belirttiği güney batı Ege bloğunun hareketi de (Şekil 6.8) göz önünde bulundurulmalıdır.



Şekil 6.7 Burdur Fethiye GPS Ağına Ait noktaların Avrasya Plakasına Göre (2005) hızları, Mc Clusky ve diğerlerinin (2000) Anadolu'nun Kinematiği için hesapladıkları Euler Pole ile hız değerleri ve bu hız değerlerinin farkları.



Şekil 6.8 Anadolu Levhası etrafındaki Bağıl Blok Hareketleri (Reilinger ve diğerleri, 2003)

Bu bağlamda, GPS noktaları incelendiğinde SRKK ve SLVR noktaları arasında bir açılma hareketi olduğu gözlemlenmektedir. Bu hareket SLVR noktasının Ege bloğunun kuzeyinde kalan kuzey yönlü açılma bölgesinde kaldığına işaret etmektedir. TKIN ve ISRT noktaları incelendiğinde noktaların yatay hızlarının da bölgesel hızlarının da aynı yönlü olduğu gözlemlenmektedir. Buna bağlı olarak bu bölgede aktif bir hareketin olduğu düşünülmemektedir. YSLV ve CLTK noktaları incelendiğinde noktaların yerel hızlarında bir sıkışma hareketi gözlemlenmekte ve bölgede doğrultu atımlı fayların çalıştığı düşünülmektedir. Yine KYBS ve GKPN noktaları incelendiğinde bölgede yoğun bir şekilde sıkışmanın hâkim olduğu gözlemlenmektedir. Yine KZLR noktasının Anadolu nun kinematiği ile uyumlu hareket ettiği bölgesel deformasyonunun düşük olduğu gözlemlenmektedir.

Bununla beraber bölgedeki gerilim birikiminin daha iyi belirlenebilmesi için fay sınırlarının gerisinde Ege plakasında 3 (TAVA, MARM, SVSL), Anadolu plakasında 3 (KAYA, BHTL, KASO) olmak üzere belirlenen ve 3. ve 4. periyotta da ölçümü gerçekleştirilen ölçü noktalarında tekrarlı ölçülerin yapılması gerekmektedir.

Yine fay zonunda elde edilen hız vektörlerinin ve sonuçların doğruluğunu ve güvenilirliğini arttırmak ve elde edilen sonuçlara göre aktif olduğu belirlenen bölgenin takip edilmesi amacıyla; bölgenin karmaşık yapısı da göz önünde bulundurularak, uzun dönem tekrarlı ölçülerin yapılması gerektiği sonucuna varılmıştır. Bununla beraber, bölgedeki blokların kinematiklerinden bağımsız hız değerleri elde edebilmek için, bölge de kesitler oluşturacak biçimde nokta sayısının artırılması gerekmektedir. Böylece bölgeye ilişkin jeolojik yorumlar ve tespitler daha anlamlı olacaktır.

KAYNAKLAR

Aktuğ, B., 2004. GAMIT GLOBK Kullanım Kılavuzu, Harita Genel Komutanlığı, Uzay Teknikler Şubesi, Ankara.

Alptekin, Ö., 1973. Fochal mechanisms of earthquakes in Western Turkey and their implications: *Ph. D. Thesis*, New Mexico Institute of Mining and Technology Socorro, New Mexico.

Altamimi, Z., Sillard, P., Boucher, C., 2002. A New Release of the ITRF for Earth Science Applications, *Journal of Geophysical Research,* **147,** 650-655

Anderson, H., Jackson, J., 1987. Active tectonics of the Adriatic region, *Geophys. J.R. Astron. Soc.,* **91**, 937–983.

Bingöl, E., 1976. Batı Anadolu'nun Jeotektonik evrimi, *M.T.A. Enst. Dergisi*, **86**, 14-34.

Bishop, G. J., J. A. Klobuchar, and P. H. Doherty, 1985. Multipath effects on the determination of absolute ionospheric time delay from GPS signals, *Radio Sci.*, **20**, 388—396.

Demirtaş, R. ve Yılmaz, R., 1996, Türkiyenin Sismotektoniği, T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara.

Department of Earth, Atmospheric, and Planetary Sciences, 2002, Documentation For The GAMIT GPS Analysis Software, MIT.

Dewey, J., Şengör, A., 1979. Aegean and surrounding regions. Complex multiplate andcontinuum tectonics in a convergent zone, *Geol. Soc. Of American Bull.*, **90**, 84-92.

Gao, Y., Liu, Z., 2002. Precise Ionosphere Modeling Using Regional GPS Network, *Journal of Global Positioning Systems* Data, **1**, 18–24.

Hernandez, M., Juan, J., Sanz, J., 1999. New Approaches in Global İonospheric Determination Using Ground GPS Data, *Journal of Atmospheric and Solar Terrestrial Physics,* **61**, 1237-1247.

Herring, T. A., 2000, Global Kalman Filter VLBI and GPS Analysis Program, Massachusetts Institute of Technology, USA.

Herring, T. A., 1999, Geodetic Applications Of GPS, *IEEE*, **87**, 1.

Hopfield, S., 1969. Two-quartic tropospheric refractivity profile for correcting satellite data, *Journal of Geophysical Research*, **74**, 4487–4499.

Jackson, J., 1994. Active tectonics of the Mediterranean region, *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.,* 239–271.

Jackson, J., McKenzie, D., 1988. The relationship between plate motions and seismic moment tensors, and the rates of active deformation in the Mediterranean and the Middle East, *Geophys. J.R. Astron. Soc.,* **93,** 45–73.

Vigil, J., 2004, U.S. Geological Survey, the Smithsonian Institution, and the U.S. Naval Research Laboratory.

Kahne, H., Straub, C., Reilinger, R., Mc Clusky, S., King, R., 1998. The strain rate field in the eastern Mediterranean region estimated by repeated GPS measurements, *Tectonophysics, **294**, 237-252.*

Karaman, E., 1986, Burdur ve Dolaylarının Genel Stratigrafisi, Akdeniz Üniversitesi, *Isparta Mühendislik Fakültesi Dergisi*, **2**, 23-26.

Ketin, İ., 1993. Genel Jeoloji, İ.T.Ü Matbaası, İstanbul.

Ketin, İ., 1969. Türkiye'nin Genel Tektonik Durumu İle Başlıca Deprem Bölgeleri Arasındaki İlişkiler, I.T.Ü. Maden Fakültesi.

Keller, E. A., Pinter, N., 1996. Active Tectonics, Prentice Hall Press, New Jersey.

Kiratzi, A., Papazachos, C.B., 1995. Active crustal deformation from the Azores triple junction to the Middle East, *Tectonophysics* **243**, 1–24.

Klobuchar, J.A., 1987. Ionospheric Time Delay Algorithym For Single-Frequency GPS Users, *Transaction on Aerospace and Electronic Systems*, **23**, 321-331.

Klobuchar, J.A. 1996. Ionospheric effects on GPS, *American Institute of Aeronautics and Astronautics Inc.*, Washington, **1**, 485–515.

Kocaefe, S. S., 1981. Batı Anadolu aktüel tektoniği ve Ege-Anadolu plakaları arası yapısal ilişkinin saptanması, *Doktora tezi,* Hacettepe Üniv. Yerbilimleri Fak., Ankara.

Koçyiğit, A., 1983. Hoyran Gölü (Isparta büklümü) dolayının tektoniği, *Türkiye Jeol. Kur. Bülteni.*, **26**, 1-10.

Langley, R.B. 1998. Propagation of the GPS Signals, *GPS for Geodesy*, TCY Press, New York.

Lanyi, G., 1984. Tropospheric Delay Effects in Radio Interferometry Telecommunications and Data Acquisition Progress, *JPL Technical Report* **42-78**, Jet Propulsion Laboratory, 152- 159. Pasadena, CA.

Lenk, O., Türkezer, A., Ergintav, S., Kurt, A.İ., Belgen, A., 2003. Monitoring the kinematics of Anatolia using permanent GPS network stations, *Turkish Jour. Of Earth Sci*, **12**, 55-65.

Liao, X. 2000 Carrier Phase Based Ionosphere Recovery Over A Regional Area GPS Network, *UCGE Reports,* University of Calgary, Alberta, Canada.

Mc Clusky, S., Balassanian, S., Barka, A., Demir, C., Ergintav, S., Georgiev, I., Gurkan. O., Hamburger, M., Hurst, K., Kahle, H., Kastens, K., Kekelidze, G., King, R., Kotzev, V., Lenk, O., Mahmoud, S., Mishin, A., Nadriya, M., Ouzounis, A., Paradissis, D., Peter, Y., Prilepin, M., Reilinger, R., Sanli, I., Seeger, H., Tealeb, A., Toksoz, M. N. Veis, G., 2000, Global Positioning System Constraints On Plate Kinematics And Dynamics In The Eastern Mediterranean and Caucaus, *Journal of geophysical research,* **105,** 5695-5719.

Mc Clusky, S., Reilinger, R., Mahmoud, S., BenSari, D., Tealeb, A., 2003. GPS Constraints on Africa and Arabia Plate Motions, *Journal of geophysical research, **155***, 126-138.

Mc Kenzie, D. P., 1972. Active tectonics of the Mediterranean region, *Geop. Jour. Roy. Astr. Soc.*, **30**, 109-185.

McKenzie, D. P., 1978. Active Tectonics of the Alpine-Himalayan belt: the Aegean Sea and surrounding regions, Geophys. *Jour. Royal Astro. Soc.,* **55**, 217-254.

Mendes, V. B. and Langley, R. B., 1998. An analysis of high-accuracy tropospheric delay mapping functions, *Phys. and Chem. of the Earth*, **12**, 809–812.

Mendes, V. B., 1999. Modeling the Neutral-atmosphere Propagation Delay in Radiometric Space Techniques, *Ph.D. Thesis*, University of New Brunswick, New Brunswick, Kanada.

Murray, M. H., 1991, Global Position System Measurement of Crustal Deformation in Central California, Massachusetts Institute of Technology, ABD.

Müller, B., Zoback, M. L., Fuchs, K., Mastin, L., Gregersen, S., Pavoni, N., Stephenson, O., Ljunggren, C., 1992. Regional patterns of tectonic stress in Europe, *J. Geophys. Res.,* **97**, 1178–11803.

Müller, M. V., 1996, Analysis of Central Greece network, *Internal Research Report,* ETH Zürich.

Oral, B., 1994. GPS Measurement in Turkey (1988-1992) Kinematics of the Africa-Arabia Eurasia Plata Collision Zone, *PhD Thesis*, Massachusetts Institute of Technology, ABD.

Özkan, Ş., 2004. GPS GPS/Nivelman Yardımıyla Helmert Ortometrik Yüksekliklerinin Belirlenmesi, *Y. Lisans Tezi*, AKÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon.

Özmen, B., 2003. 3 Şubat 2002 Çay Depreminin Eşşiddet Haritası ve Hasar Durumu, Afet İşleri Genel Müdürlüğü Deprem Araştırması Daire Başkanlığı Raporu, Ankara.

Papazachos, C., Kiratzi, A., 1992. Formulation for reliable estimation of active crustal deformation and its application to Central Greece. *Geophys. J. Int.* **111**, 424–432.

Press, F. and Siever, R., 1999. Understanding Earth, H., Freeman and Company.

Reilinger, R., McClusky, S., Oral, M., King, R., Toskoz, M., Barka, A., Kinik, I., Lenk, O., Sanli, I. 1997. GPS measurements of present-day crustal movements in the Arabia-Africa-Eurasia plate collision zone, *J. Geophys. Res*, **102**, 9983-9999.

Reilinger, R., Mc Clusky, S., E. 2003. Mediterranean GPS Consortium, GPS constraints on continental deformation in the eastern Mediterranean and Caucasus region, *Geophysical Research Abstracts*, **5**, 3-5.

Rüzgar, G., 2004. Kuzey Anadolu Fayının Orta Anadolu Bölümündeki Hareketlerin Üç Yıllık GPS Ölçmeleri İle Belirlenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Saastamoinen, J., 1997. Contributions to the theory of atmospheric refraction In three parts, *Bulletin Géodésique,* **105**,13–34.

Seeber, G., 1993. Satellite Geodesy Foundations, Methods, and Applications, TCY Pres, New York.

Segall, P., Davis, J., 1997. GPS applications for geodynamics and earthquake studies, *Annu. Rev. Earth Planet.* Sci., **25**, 301–336.

Skone, S., 1998. Wide Area Ionospheric Grid Modelling in the Auroral Region, *PhD thesis,* Department of Geomatics Engineering, University of Calgary.

Spilker, J.J., 1996. Tropospheric Effects on GPS. In Global Positioning System: Theory and Applications, *American Institute of Aeronautics and Astronautics*, **1**, 517–545.

Straub, C., 1996. Recent Crustal Deformation and Strain Accumulation in the Marmara Sea Region, N.W. Anatolia, Inferred from GPS Measurements, *PhD Thesis*, ETH Zürich.

Tarı, E., Şahin, M., Barka, A., Reilinger, R., King, R., Mc Clusky, S. and Prilepin, M., 2000. Active tectonics of the Black Sea with GPS, *Earth Planets Space*, **52**, 747–751.

Tarı, E., Baykal, O., Şahin, M., 1999, GPS Data Processing For Geodynamics At ITU With GAMIT/GLOBK Software, 335-347, İstanbul.

Taymaz, T., Jackson, J. A., McKenzie, D., 1991. Active tectonics of the North and Central Aegean Sea, *Geophys. J. Int.*, **106**, 433-490.

Taymaz, T., Price, S., 1992. The 1971, Burdur earthquake sequence, SW Turkey: a synthesis of seismological and geological observations, *Geophys. J. Int.* **108**, 589–603.

Taymaz, T., Dağistanlı, M., 2001. Türkiyenin Kritik Noktaları, Atlas Dergisi, **98**, 23-25.

Tüysüz, O., 1999, Yeryuvarının iç Yapısı Depremler ve Türkiye, Avrasya Yer Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Tüysüz, O., 2005, Kişisel görüşme.

Vermeer, M., 2002. Review of the GPS deformation monitoring studies commissioned by Posiva Oyon the Olkiluoto, Kivetty and Romuvaara sites, 1994–2000, *STUK-YTO-TR* 18621, Helsinki.

Witchayangkoon, B., 2000. Elements of GPS Preciese Point Positining, *PhD Thesis* The Univercity of Maine.

Wells, D., W. Lindlohr , B. Schaffrin , E. Grafarend 1987. GPS Design: Undifferenced Carrier Beat Phase Observations and the Fundamental Differencing Theorem, *Department of GGE Technical report,* **116**, 141.

Yağmurlu, F., Savaşçın, Y. ve Ergün, M., 1997. Relation of alkaline volcanism and active tectonism within the evolution of the Isparta Angle, SW Turkey, *J. Geol.*, **105**, 717–728.

Yağmurlu, F., 2000. Burdur fayının sismotektonik özellikler, *Batı Anadolu'nun Depremselliği Sempozyumu,* İzmir, 16-18 Eylül, 143-151.

Yavaşoğlu, H., 2003. Kuzey Anadolu Fayının Orta Bölümünün Kinematiğinin 2001 ve 2002 GPS Ölçmeleri ile Belirlenmesi , *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Yeats, R. S., Sieh, K. And Allen, C. R., 1997. The Geology Of Earthquakes, Oxford University Press, New York.

Yüksel, A.F., 2004. Batı Anadolu Bouguer Anomalilerinin İki Boyutlu Alçak Geçişli Rekursiv Filtreler Kullanılarak Filtrelenmesi Ve Yerkabuğu Kalınlık Dağılımının İncelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, SDÜ, Isparta.

Zanchi, A., Angelier, J., 1993. Seismotectonics of western Anatolia: regional stress orientation from geophysical and geological data, *Tectonophysics,* **222**, 259–274.

http://home.lanet.lv/~iga/laslocsat.html 23.06.2004

http://ivscc.gsfc.nasa.gov 25.06.2004

www.cnr.umn.edu/FR/courses/ENR3031/Lectures/GPS_Lecture_1.ppt 27.10.2004

http://geology.er.usgs.gov/eastern/plates.html 27.10.2004

http://www.sayisalgrafik.com.tr 28.10.2004

http://gps.losangeles.af.mil/space/index.htm .28.10.2004

http://gps.losangeles.af.mil/control/index.htm .28.11.2004

http://gps.losangeles.af.mil/space/current-sats/block1.htm 28.11.2004

http://gps.losangeles.af.mil/space/current-sats/block2a.htm .30.12.2004

http://www.unavco.org/facility/software/teqc/teqc.html#toolkit.01.02.2005

http://www.unavco.org/facility/software/processing/gipsy/gipsy.html 01.02.2005

http://www.hgk.mil.tr/hgk/uyekurulus/tujjb/hgk_deprem_calismalari.htm.01.02.2005

http://pubs.usgs.gov/imap/i2720.03.04.2005

http://ivscc.gsfc.nasa.gov/stations/ns-map.html 03.04.2005

http://www-gpsg.mit.edu/~simon/gtgk/ 03.04.2005

EKLER

Session Table for regional + global analysis

Processing Agency = ITU-AKU
Station Number = *
Station Constraint = Y
Satellite Number = *
Satellite Constraint = Y ; Y/N
all a e i node arg per M rad1 rad2 rad3 rad4 rad5 rad6 rad7 rad8 rad9
0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01
Type of Analysis = 0-ITER ; 0-ITER/1-ITER/2-ITER/1-CLEAN/2-CLEAN/3-CLEAN
Data Status = RAW ; CLN/RAW
Choice of Observable = LC_HELP ; L1_SINGLE/L1&L2/L1_ONLY/L2_ONLY/LC_ONLY/
; L1,L2_INDEPEND./LC_HELP
Choice of Experiment = RELAX. ; BASELINE/RELAX./ORBIT

Ionospheric Constraints = 0.0 mm + 8.00 ppm ; Set for mid-solar max
Zenith Delay Estimation = YES ; YES/NO
Interval Zen = 2 ; zenith-delay parameters at 2-hr-intervals
Zenith Constraints = 0.50 ; zenith-delay a priori constraint in meters (default 0.5)
Zenith Model = PWL ; PWL (piecewise linear)/CON (step)
Zenith Variation = 0.02 100. ; zenith-delay variation, tau in meters/sqrt(hr), hrs
Elevation cutoff = 10. ; Elevation angle cutoff for postfit solution
Atmospheric gradients = YES ; YES/NO (default no)
Num Grad = 1 ; number of gradient (E/W or N/S) parameters) (default 1)
Gradient Constraints = 0.01 ; gradient at 10 deg elevation in meters
Gradient Variation = 0.01 100. ; gradient variation, tau in meters/sqrt(hr), hrs (defaults .01 100)
Station Constraint = Y ; Y/N

Ambiguity resolution WL = 0.15 0.15 1000. 99. 1000. ; Increased chi-square ratio to stop searched
Ambiguity resolution NL = 0.15 0.15 1000. 99. 1000. ; values from being used.
Geodetic Datum = GEOCENTRIC ; GEOCENTRIC/WGS84/NAD82/WGS72
Reference System for ARC = IGS92 ; WGS84/WGS72/MERIT/IGS92(default)
Initial ARC = YES ; YES/NO default = NO for BASELINE/KIINEMATIC, YES for RELAX/ORBIT
Update T/L files = L_ONLY ; T_AND_L (default), T_ONLY, L_ONLY, NONE
Final ARC = NO
Yaw Model = YES ; YES/NO default = YES
Delete eclipse data = NO ; ALL/NO/POST (Default = NO); 30 mins post shadow removal is
; hardwired for ALL/POST
AUTCLN Command File = autcln.cmd ; Filename; default none (use default options)

AUTCLN Postfit = R ; Run autcln for postfit run; R causes repeat run.

Use N-file = Y ; Y/N (default no): automatic procedure to reweight by station

Delete AUTCLN input C-files = YES ; YES/NO default = NO ; I -- Intermediate keep (stops) second model

Earth Rotation = 7 ; Diurnal/Semidirunal terms: Binary coded: 1=pole 2=UT1 4=Ray model default=7

Estimate EOP = 15 ; Binary coded: 1 wob 2 ut1 4 wob rate 8 ut1 rate

Wobble Con = 0.01 0.01 ; default = 3. 0.3 arcsec arcsec/day

UT1 Con = 0.00001 0.01 ; default = .2 0.02 sec sec/day

Tide Model = 15 ; Binary coded: 1 earth 2 freq-dep 4 pole 8 ocean default=15

Antenna Model = ELEV ; NONE/ELEV/AZEL default = NONE

Radiation Model for ARC = BERNE ; SPHRC/BERNE/SRDYB/SVBDY default = BERNE

Inertial frame = J2000 ; J2000/B1950

SCANDD control = NONE ; When to run SCANDD: NONE/IFBAD(default)/FIRST/FULL/BOTH

Decimation Factor = 4 ; Decimation factor in solve

Quick-pre observable = LC_ONLY ; For 1st iter or autcln pre, default same as Choice of observable

Quick-pre decimation factor = 10 ; 1st iter or autcln pre, default same as Decimation Factor

Station Error = ELEVATION 10. 0.0001 ; 1-way L1 , a**2 + b**2/sin(elev)**2 in mm, default = 4.3 7.0

Full list of controls:

Required:

Type of Analysis PREFIT : Prefit manipulations including cleaning (no solution)

QUICK : Quick solution

0-ITERATION : Full solution with good prior station coordinates and orbits

1-ITERATION : Full solution with approximate prior station coordinates

2-ITERATION : Full solution with approximate prior station coordinates and orbits

SOLVE-only : Do a solution from C-files (rarely used, better to run SOLVE batch file)

Data Status : RAW for automatic editing with AUTCLN; CLN (CLEAN) for no editing

Choice of Observable LC_HELP: Ambiguity-free and ambiguity-fixed solutoins with LC

LC_RANGE: Same as LC_HELP but with pseudo-range priorty

LC_ONLY: Ambiguity-free solution with LC

L1_ONLY: Ambiguity-free and ambiguity-fixed solutions with L1

L2_ONLY: Ambiguity-free and ambiguity fixed solutions with L2

L1,L2_INDEPEND: Ambiguity-free and -fixed solutions with L1 and L2

L1&L2: (see notes in manual)

Choice of Experiment = RELAX. ; BASELINE/RELAX./ORBIT

```
Optional:
---------
Inertial frame              ; B1950/J2000 (default = J20000)

Initial ARC                 ; YES/NO  default = NO for BASELINE/KIINEMATIC, YES for RELAX/ORBIT
Final ARC                   ; YES/NO  default = YES
Radiation Model for ARC     ; SPHRC/BERNE/SRDYB/SVBDY  default = SPHRC
Reference System for ARC    ; WGS72/WGS84/MERIT/IGS92 (default = IGS92)
Tabular interval for ARC    ; 900. seconds (new default), 1350. seconds (old default)
Stepsize for ARC            ; 75. seconds (new default), 168.75 seconds (old default)

Earth Rotation              ; Diurnal/Semidirunal terms: Binary coded: 1=pole 2=UT1 4=Ray model;
default=7
Earth Rotation              ; Diurnal/Semidirunal terms: Binary coded: 1=pole 2=UT1 default=3
Estimate EOP                ; Binary coded: 1 wob  2 ut1  4 wob rate  8 ut1 rate; default=0 (BL) or 15
(orbits)
Wobble Constraint = 3. 0.3  ; Default 3. (arcsec) 0.3 (arcsec/day)
UT1 Constraint = 0.00002 0.02  ; Default .00002 (sec) 0.02 (sec/day)

Antenna Model               ; NONE/ELEV/AZEL  default = NONE
Tide Model                  ; Binary coded: 1 earth  2 freq-dep  4 pole  8 ocean   default = 1
Yaw Model                   ; YES/NO  default = YES
I-file = N                  ; Use I-file (Y/N)  (default Y)

Number Zen = 4              ; number of zenith-delay parameters (default 1)
Zenith Constraints = 0.50   ; zenith-delay a priori constraint in meters (default 0.5)
Zenith Model = PWL          ; PWL (piecewise linear)/CON (step)
Zenith Variation = 0.02 100.  ; zenith-delay variation, tau in meters/sqrt(hr), hrs (default .02 100.)
Gradient Constraints = 0.03   ; gradient at 10 deg elevation in meters
Tropospheric Constraints = NO  ; YES/NO  (spatial constraint)

Choice of Observable = LC_HELP  ; L1_SINGLE/L1&L2/L1_ONLY/L2_ONLY/LC_ONLY/
                    ; L1,L2_INDEPEND./LC_HELP
Choice of Experiment = RELAX.  ; BASELINE/RELAX./ORBIT
Quick-pre observable = LC   ; For 1st iter or autcln pre, default same as Choice of observable
Ambiguity resolution WL     ; default = 0.15 0.15 1000.  10.
Ambiguity resolution NL     ; default = 0.15 0.15 1000.  10.
Type of Biases              : IMPLICIT (default for quick), EXPLICIT (default for full)
H-file solutions            ; ALL ; LOOSE-ONLY
Station Error = BASELINE 10. 0.  ; 1-way L1, a**2 + (b**2)(L**2) in mm, ppm, default = 10. 0.
Station Error = UNIFORM 10.     ; 1-way L1 in mm, default = 10.
Station Error = ELEVATION 4.3 7.0 ; 1-way L1 , a**2 + b**2/sin(elev)**2 in mm, default = 4.3 7.0
Satellite Error = UNIFORM 0.    ; 1-way L1 in mm (added quadratically to station error) default = 0.
```

```
Select Epochs              ; Enter start and stop epoch number (applies only to SOLVE)
Decimation Factor          ; FOR SOLVE, default = 1
Elevation Cutoff = 10.     ; For SOLVE, overrides the MODEL or AUTCLN values if they are lower
Quick-pre decimation factor = 10
Correlation print          ; Threshhold for printing correlations (default 0.9999)

Clean Option               ; AUTCLN(default)/SINCLN/DBLCLN
AUTCLN Command File        ; Filename; default none (use default options)
Edit AUTCLN Command File   ; YES/NO; Add delete commands for bad clocks;  default = NO
Clean Option = AUTCLN      ; SINCLN/AUTCLN(default)/DBLCLN
AUTCLN Postfit             ; NO/YES/R:  Yes=repeat AUTCLN and SOLVE  R=repeat AUTCLN and
SOLVE again if bad nrms
Use N-file = Y             ; Y/N (default no): automatic procedure to reweight by station
Delete AUTCLN input C-files = YES ; YES/NO  default = NO ; I -- Intermediate keep (stops) second
model
Delete eclipse data = POST ; ALL/NO/POST (Default = NO)
SCANDD control             ; BOTH (default) /NONE/FIRST/FULL/IFBAD see manual sec. 5.2
Iteration                  ; CFILES / XFILES (default)

Export Orbits              ; YES/NO  default = NO
Orbit id                   ; 4-char code read only if Export Orbits = YES
Orbit Format               ; SP1/SP3 (NGS Standard Products)
Orbit organization         ; 3-char code read only if Export Orbits = YES
Reference System for Orbit = ITR93 ; ITR92/ITR91/ITR90/WGS84/MERIT (for SP3 header)

Delete all input C-files   ; YES/NO  default = NO
Delete MODEL input C-files ; YES/NO  default = NO
Delete SINCLN input C-files ; YES/NO  default = NO
Delete DBLCLN input C-files ; YES/NO  default = NO
Delete AUTCLN input C-files ; YES/NO  default = NO
Update T/L files           ; T_AND_L (default), T_ONLY, L_ONLY, NONE
                    (Applies only to update for full solution after quick)
Update tolerance           ; minimum adjustment for updating L-file coordinates, default .3 m
X-compress = YES           ; Uncompress/compress X-files  default = NO
SCANDD control             ; FULL (default), FIRST, BOTH, IFBAD, NONE
Run CTOX = YES             ; Make clean X-files from C-files  default = NO
```

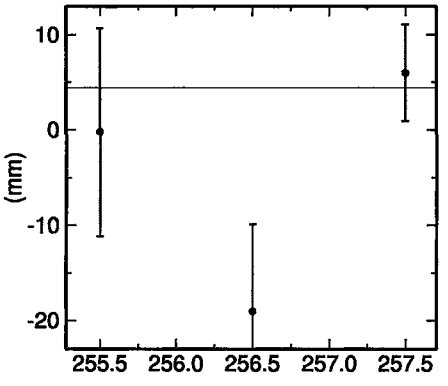
autcln.cmd

```
* Command file for AUTCLN version 3.125 to be used for global and regional data
* Default values are listed with comment flag (non-blank first character)
* Last edited by tah/rwk/scm 030415
* Don't use any GAMIT edits
use_gamit no
* Remove more bias flags by allowing a base satellite if multiple slips
allow_one_bg yes
* Set minimum elevation for editing and output: 15 10 better for older receivers
* also sets minimum SNR
site_param all 10 10 0 0
* Set the ionospheric tolerances so you don't throw out too much data.
* These are the current defaults and will work under both low and high
* ionospheric conditions with well-behaved receivers. For poorly tracking
* receivers and low ionosphere, you can improve the editing using
* 240 4 0.3 0.8.
* ion_jump all 30 6 2 5
* Criteria for detecting slips (initial bias flags). Defaults shown.
* First three are for WL, irrelevant for codeless L2 receivers
* Second three (LC) might be set tighter (e.g. 4 0.2 0.5) to catch
* partial-cycle jumps with poorly performing receivers.
* With poor prefit coordinates, set the last two numbers to 2 5 (or 5 10)
* but use the defaults for POST or, with noisy data, skip the postfit
* edit until a second pass with good coordinates allows tight detection of
jumps.
* dd_fit_tol 5 2 10 3 0.35 0.8
* The following three commands control the repair of cycle slips and subsequent
* removed of bias flags. The default values are conservative in the sense
* that they retain the most data. They are optimal for global networks but
* will work ok also for regional networks. However, for better ambiguity
* resolution in regional networks, different values are optimal.
*
* Set the tolerances used in trimming the one-way data to remove small
* segments between bias flags. The following are defaults:
* trim_oneway 120 8 0.1 24
* For regional networks use
trim_oneway 1000 10 0.2 50
* The first two parameters are the minimum times in seconds and minimum
* epochs for attempting to remove a bias flag; the last two are the minimum
* fraction of total span and minimum number of epochs allowed after last bias
* flag. To strengthen ambiguity resolution for regional data, increase the
```

```
* last two parameters. For fewer bias flags in 24-hr data increasethe first
* two parameters.
*
* Number of data used to repair cycle slips. Defaults are ok for all data but
* all values could be reduced for data sampled less often than 30s.
* dd_return_size 100 50 10 10
*
* DD criteria for removing bias flags: chi-sq ratio chi-sq min max gap gap
scale
* For global networks use
* remove_bias 10 3 1800 5
* For regional networks use
remove_bias 10 3 3600 5
* For fewer flags but more risk over small gaps, decrease the first value (see
* autcln.out). For fewer flags and more risk over large gaps, increase the
* third and decrease the fourth,
* Maximum number of bias flags per SV before deleting all the data.
* Default infinite (not checked).
max_scan_edit 30
* To enhance numerical stability in SOLVE (but be careful in interpreting
Sayfa 1
autcln.cmd
* one-way residuals)
apply_phs_clk 1
* Set the summary filename to agree with the command file produced by FIXDRV
summary autcln.prefit.sum
* Commands to be used if post-fit editing invoked in the sestbl.
POST summary autcln.post.sum
POST apply_phs_clk 30
POST use_postfit
POST postfit_edit 10 4.0
* Remove biases in one-ways after postfit edit
POST pf_remove_bf
* Possibly allow patching over larger gaps
* POST remove_bias 10 3 3600 2
* Output phase residuals for sky plots
POST phs_res_root DPH
* Explicit edits added by sh_autedit or the analyst
x edit_site_sv algo 0 1 2800
x edit_site_sv all 23 1 400
x edit_site_sv trom 15 451 460
```

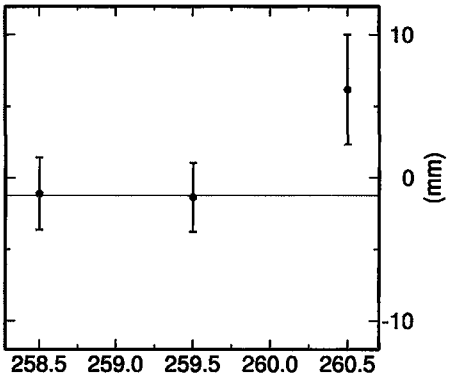
SIRA North Offset 4087598.855 m

wmean(mm)= 4.41 ± 4.12 nrms= 1.69 wrms= 12.1 mm #



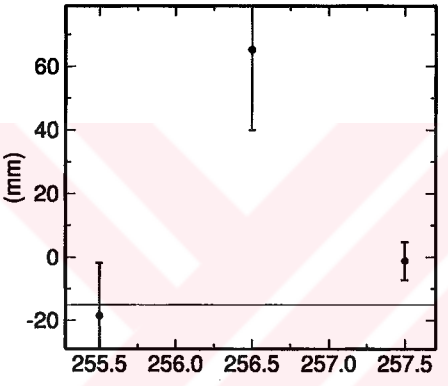
SLVR North Offset 4286122.570 m

wmean(mm)= -1.22 ± 1.58 nrms= 1.24 wrms= 3.4 mm #



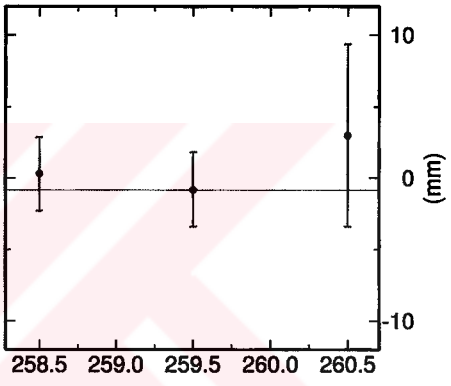
SIRA East Offset 2626834.291 m

wmean(mm)= -15.21 ± 5.51 nrms= 1.99 wrms= 19.0 mm #



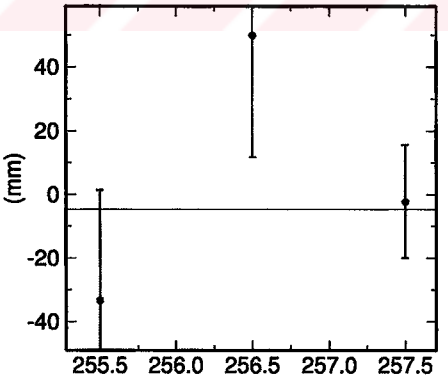
SLVR East Offset 2676221.755 m

wmean(mm)= -0.82 ± 1.76 nrms= 0.40 wrms= 1.2 mm #



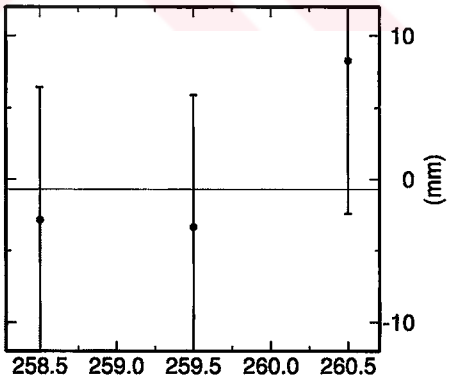
SIRA Up Offset 925.988 m

wmean(mm)= -4.76 ± 14.67 nrms= 1.15 wrms= 29.3 mm #



SLVR Up Offset 1185.795 m

wmean(mm)= -0.71 ± 5.56 nrms= 0.64 wrms= 6.2 mm #

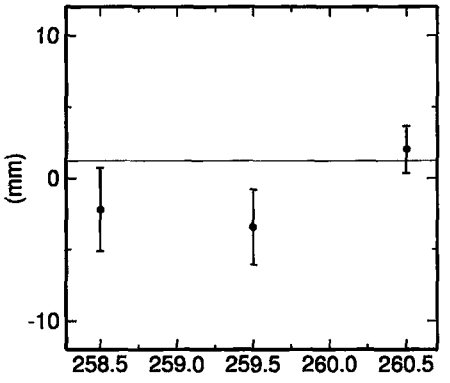


p: 51

GMT 2005 May 1 23:39:12

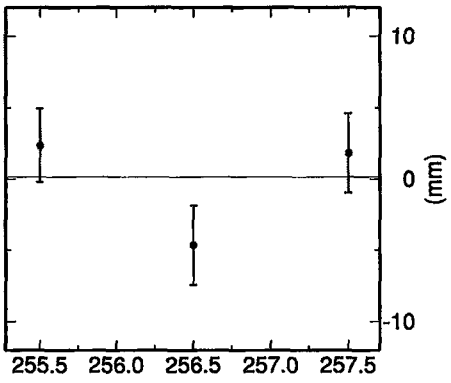
ISRT North Offset 4210080.176 m

wmean(mm)= 1.19 ± 1.26 nrms= 1.36 wrms= 3. mm



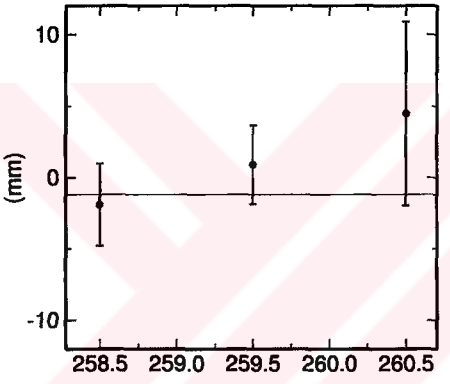
CLTK North Offset 4178825.812 m

wmean(mm)= 0.15 ± 1.56 nrms= 1.42 wrms= 3.8 mm #



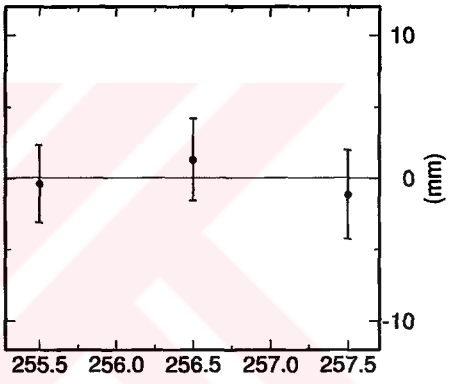
ISRT East Offset 2690088.653 m

wmean(mm)= -1.17 ± 1.90 nrms= 0.72 wrms= 2. mm



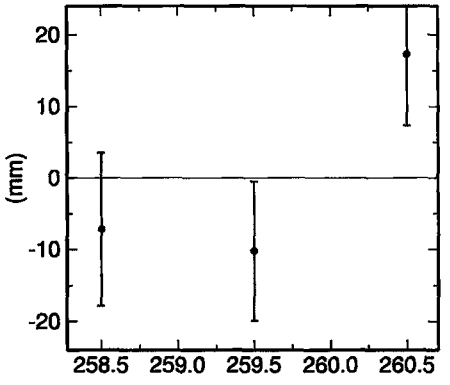
CLTK East Offset 2685653.767 m

wmean(mm)= 0.05 ± 1.66 nrms= 0.42 wrms= 1.2 mm #



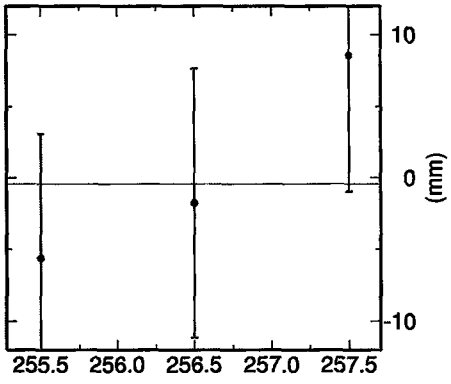
ISRT Up Offset 1011.236 m

wmean(mm)= -0.01 ± 5.84 nrms= 1.51 wrms= 15 mm



CLTK Up Offset 1116.366 m

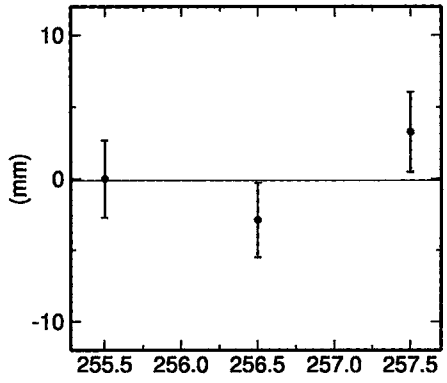
wmean(mm)= -0.42 ± 5.30 nrms= 0.79 wrms= 7.3 mm #



GMT 2005 May 1 23:28:07

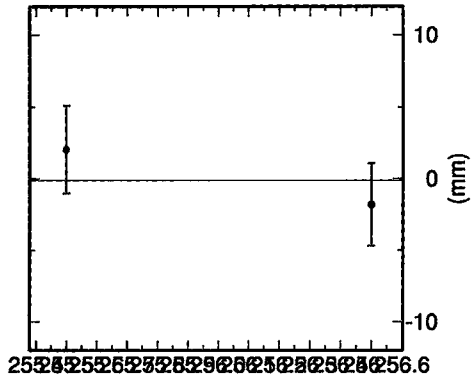
KZLR North Offset 4139640.437 m

wmean(mm)= -0.13 ± 1.55 nrms= 1.14 wrms= 3.



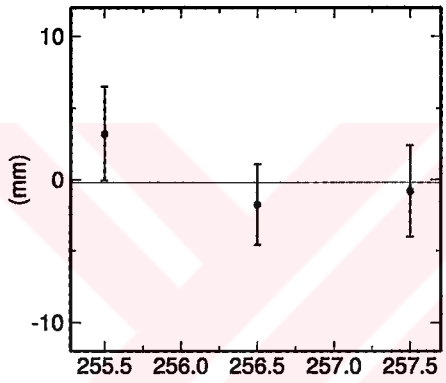
GKPN North Offset 4168725.331 m

wmean(mm)= -0.12 ± 2.09 nrms= 0.91 wrms= 2.7 mm #



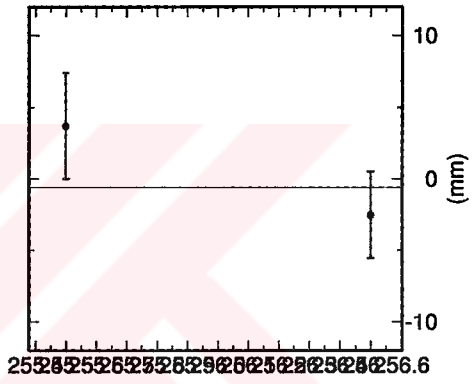
KZLR East Offset 2572137.311 m

wmean(mm)= -0.22 ± 1.78 nrms= 0.84 wrms= 2.3 mm #



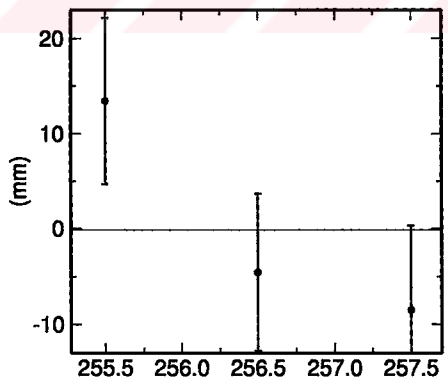
GKPN East Offset 2597569.299 m

wmean(mm)= -0.60 ± 2.35 nrms= 1.30 wrms= 4.3 mm #



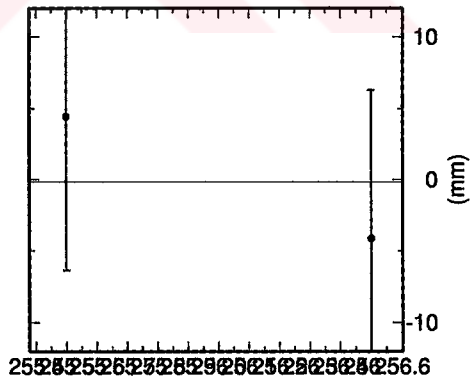
KZLR Up Offset 1288.999 m

wmean(mm)= -0.13 ± 4.96 nrms= 1.34 wrms= 11.

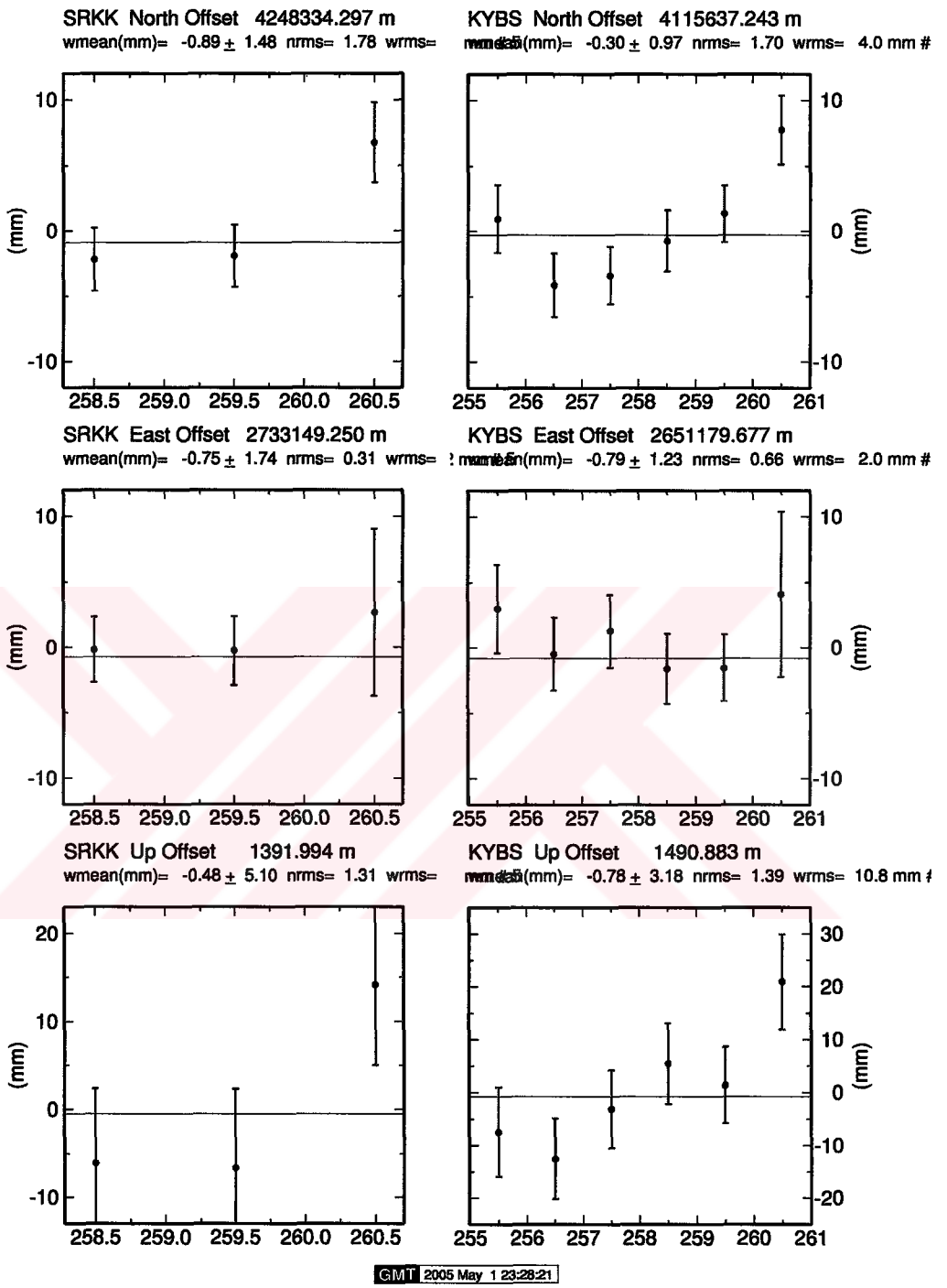


GKPN Up Offset 889.931 m

wmean(mm)= -0.16 ± 7.48 nrms= 0.57 wrms= 6.0 mm #

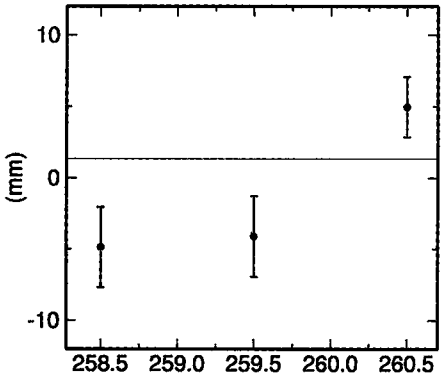


GMT 2005 May 1 23:28:11


SRKK North Offset 4248334.297 m
wmean(mm)= -0.89 ± 1.48 nrms= 1.78 wrms=
KYBS North Offset 4115637.243 m
wmean(mm)= -0.30 ± 0.97 nrms= 1.70 wrms= 4.0 mm #
SRKK East Offset 2733149.250 m
wmean(mm)= -0.75 ± 1.74 nrms= 0.31 wrms=
KYBS East Offset 2651179.677 m
wmean(mm)= -0.79 ± 1.23 nrms= 0.66 wrms= 2.0 mm #
SRKK Up Offset 1391.994 m
wmean(mm)= -0.48 ± 5.10 nrms= 1.31 wrms=
KYBS Up Offset 1490.883 m
wmean(mm)= -0.78 ± 3.18 nrms= 1.39 wrms= 10.8 mm #
(mm)
GMT 2005 May 1 23:28:21

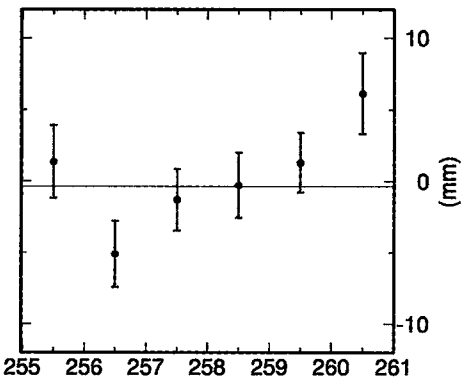
YSLV North Offset 4179676.070 m

wmean(mm)= 1.33 ± 1.45 nrms= 2.31 wrms=



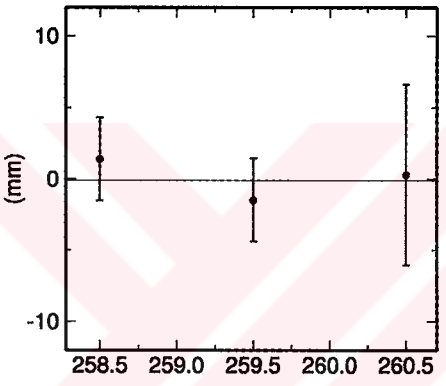
TKIN North Offset 4231950.597 m

wmean(mm)= -0.36 ± 0.95 nrms= 1.45 wrms= 3.4 mm #



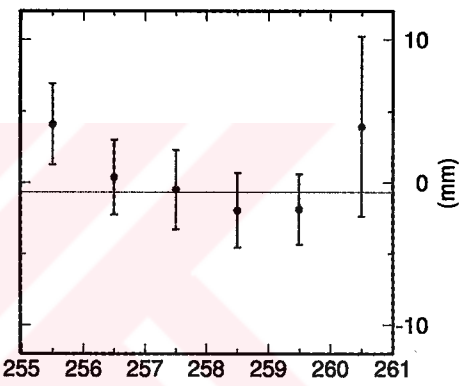
YSLV East Offset 2634073.503 m

wmean(mm)= -0.08 ± 1.96 nrms= 0.49 wrms=



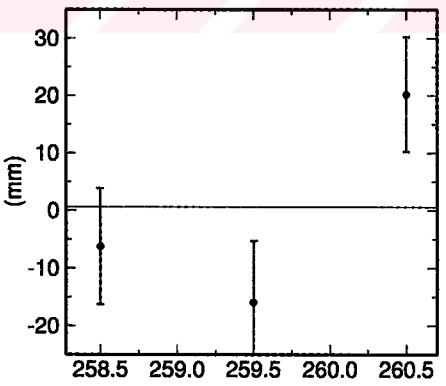
TKIN East Offset 2641074.157 m

wmean(mm)= -0.68 ± 1.17 nrms= 0.85 wrms= 2.4 mm #



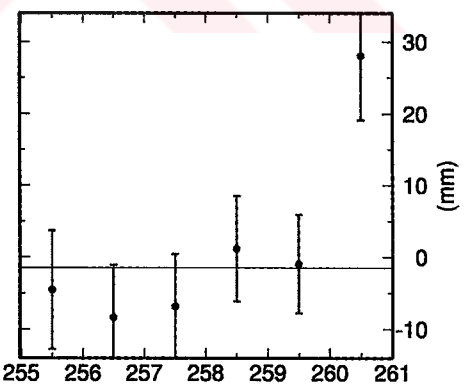
YSLV Up Offset 1194.653 m

wmean(mm)= 0.63 ± 5.89 nrms= 1.84 wrms=

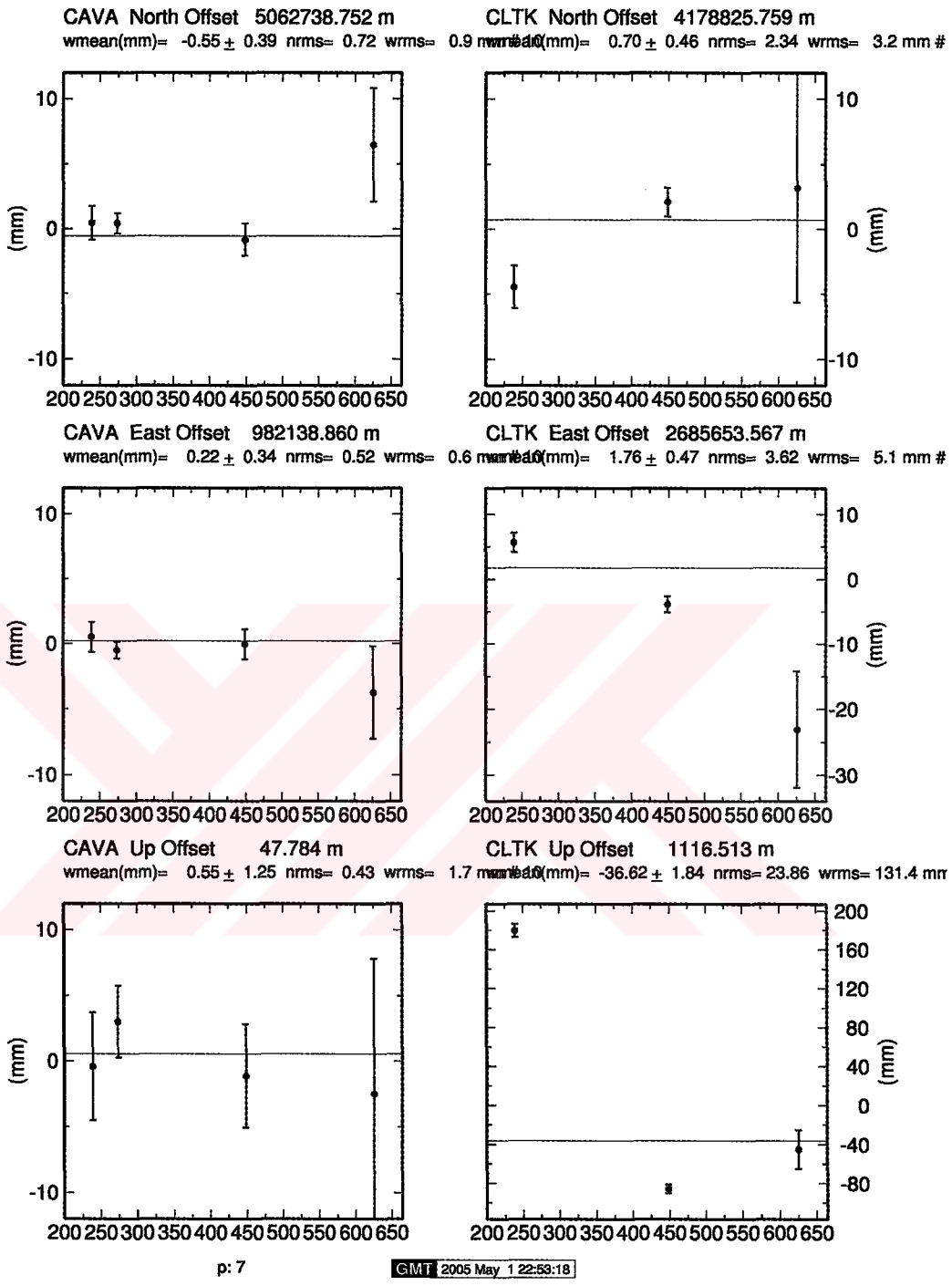


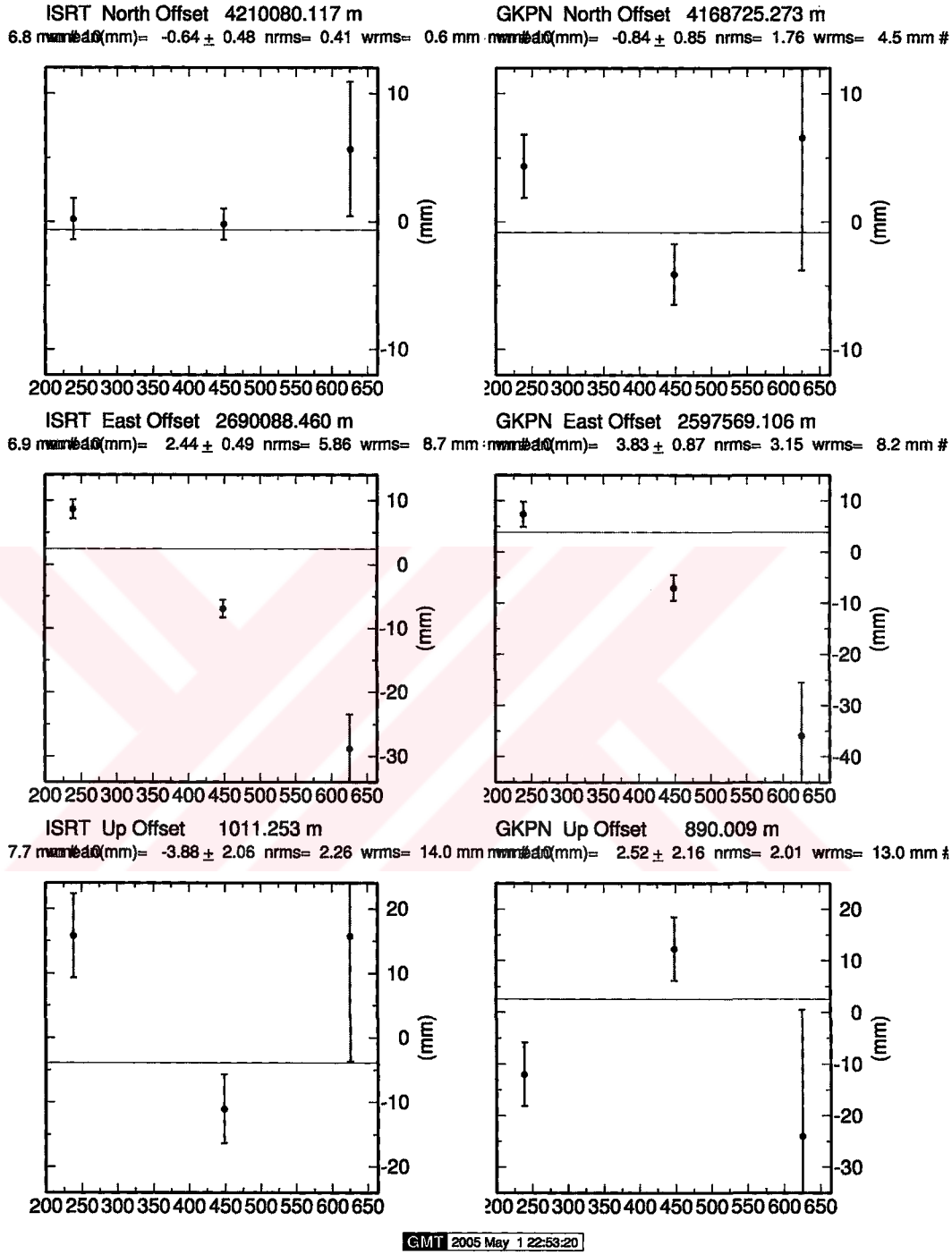
TKIN Up Offset 1026.789 m

wmean(mm)= -1.45 ± 3.08 nrms= 1.57 wrms= 11.9 mm #



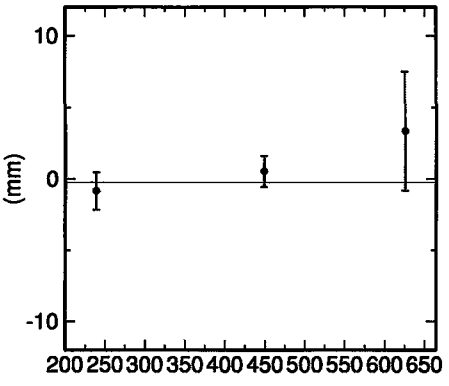
GMT 2005 May 1 23:28:42


CAVA North Offset 5062738.752 m
wmean(mm)= -0.55 ± 0.39 nrms= 0.72 wrms= 0.9 mm #
CLTK North Offset 4178825.759 m
wmean(mm)= 0.70 ± 0.46 nrms= 2.34 wrms= 3.2 mm #
CAVA East Offset 982138.860 m
wmean(mm)= 0.22 ± 0.34 nrms= 0.52 wrms= 0.6 mm #
CLTK East Offset 2685653.567 m
wmean(mm)= 1.76 ± 0.47 nrms= 3.62 wrms= 5.1 mm #
CAVA Up Offset 47.784 m
wmean(mm)= 0.55 ± 1.25 nrms= 0.43 wrms= 1.7 mm #
CLTK Up Offset 1116.513 m
wmean(mm)= -36.62 ± 1.84 nrms= 23.86 wrms= 131.4 mm
(mm)
200 250 300 350 400 450 500 550 600 650
p: 7
GMT 2005 May 1 22:53:18


ISRT North Offset 4210080.117 m
6.8 mm (mm)= -0.64 ± 0.48 nrms= 0.41 wrms= 0.6 mm
GKPN North Offset 4168725.273 m
(mm)= -0.84 ± 0.85 nrms= 1.76 wrms= 4.5 mm #
ISRT East Offset 2690088.460 m
6.9 mm (mm)= 2.44 ± 0.49 nrms= 5.86 wrms= 8.7 mm
GKPN East Offset 2597569.106 m
(mm)= 3.83 ± 0.87 nrms= 3.15 wrms= 8.2 mm #
ISRT Up Offset 1011.253 m
7.7 mm (mm)= -3.88 ± 2.06 nrms= 2.26 wrms= 14.0 mm
GKPN Up Offset 890.009 m
(mm)= 2.52 ± 2.16 nrms= 2.01 wrms= 13.0 mm #
(mm)
200 250 300 350 400 450 500 550 600 650
GMT 2005 May 1 22:53:20

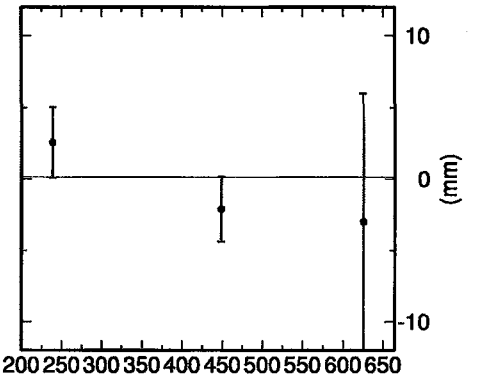
KYBS North Offset 4115637.185 m

wmean(mm)= -0.23 ± 0.41 nrms= 0.63 wrms= 0.8 mm #



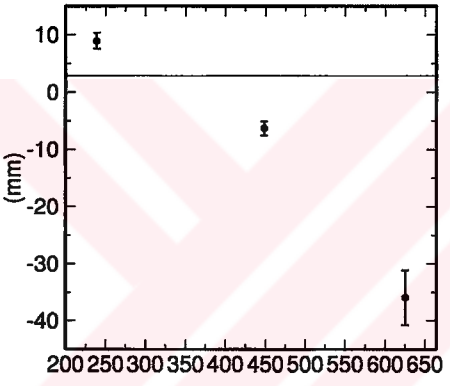
KZLR North Offset 4139640.386 m

wmean(mm)= 0.14 ± 0.83 nrms= 0.99 wrms= 2.5 mm #



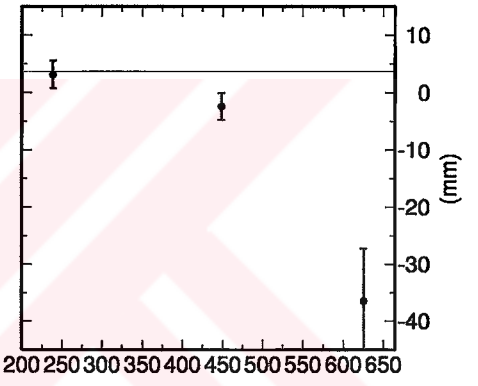
KYBS East Offset 2651179.487 m

wmean(mm)= 2.84 ± 0.46 nrms= 6.32 wrms= 8.8 mm #



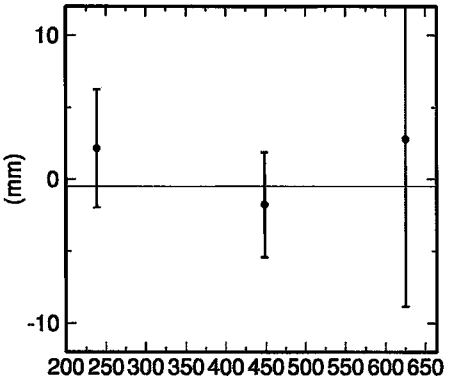
KZLR East Offset 2572137.116 m

wmean(mm)= 3.70 ± 0.84 nrms= 1.82 wrms= 4.6 mm #



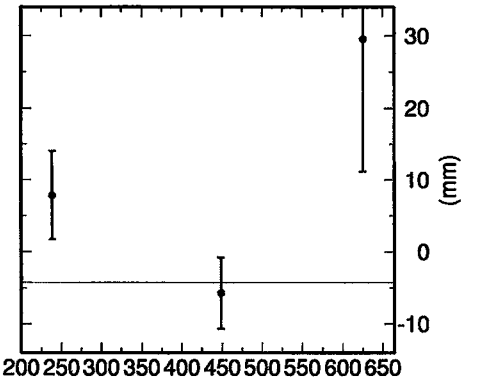
KYBS Up Offset 1490.919 m

wmean(mm)= -0.48 ± 1.35 nrms= 0.51 wrms= 2.1 mm #



KZLR Up Offset 1289.044 m

wmean(mm)= -4.24 ± 1.92 nrms= 1.34 wrms= 7.7 mm #

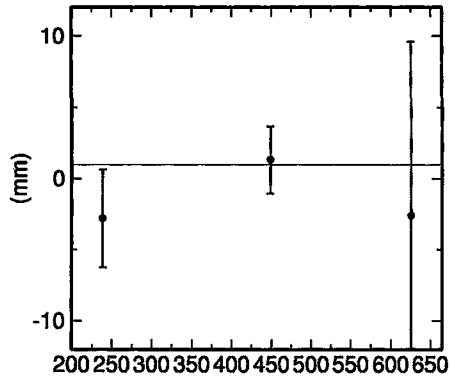


p: 17

GMT 2005 May 1 22:53:27

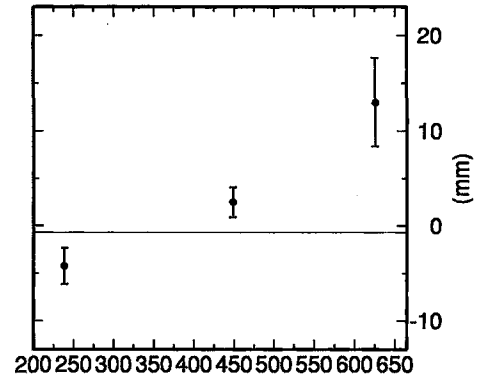
SIRA North Offset 4087598.803 m

wmean(mm)= 0.94 ± 0.97 nrms= 0.70 wrms= 2.0 mm #



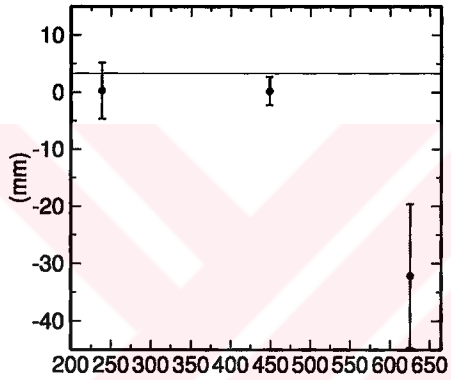
SLVR North Offset 4286122.504 m

wmean(mm)= -0.67 ± 0.61 nrms= 2.15 wrms= 3.9 mm #



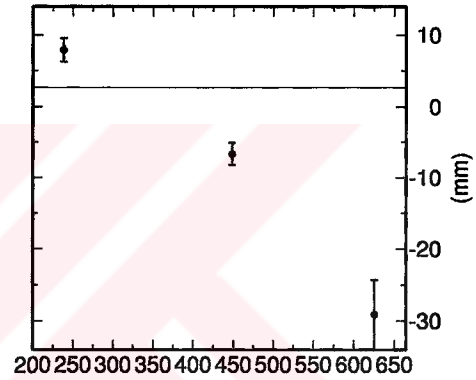
SIRA East Offset 2626834.064 m

wmean(mm)= 3.34 ± 1.09 nrms= 0.91 wrms= 3.0 mm #



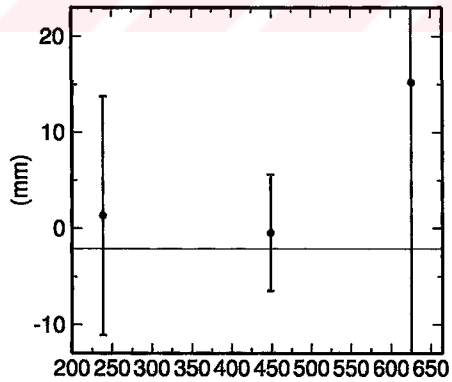
SLVR East Offset 2676221.564 m

wmean(mm)= 2.67 ± 0.57 nrms= 4.99 wrms= 8.5 mm #



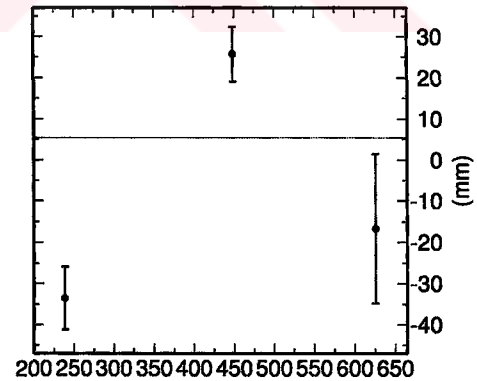
SIRA Up Offset 926.004 m

wmean(mm)= -2.10 ± 2.72 nrms= 0.18 wrms= 1.5 mm #



SLVR Up Offset 1185.849 m

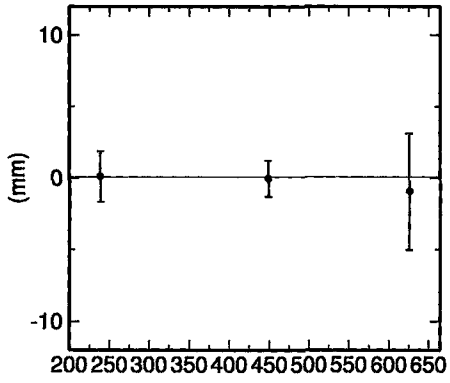
wmean(mm)= 5.31 ± 2.49 nrms= 4.14 wrms= 30.9 mm #



p: 33 GMT 2005 May 1 22:53:36

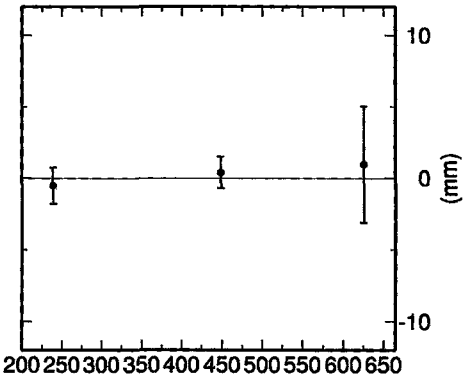
SRKK North Offset 4248334.241 m

wmean(mm)= 0.07 ± 0.51 nrms= 0.09 wrms=



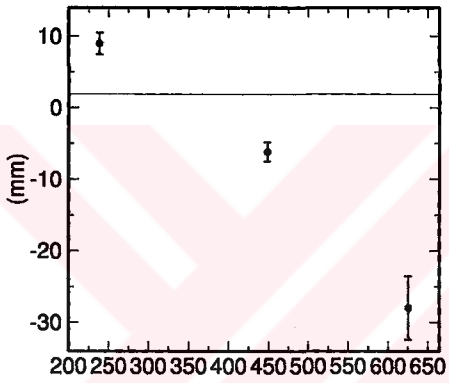
TKIN North Offset 4231950.541 m

mmean(mm)= -0.04 ± 0.41 nrms= 0.39 wrms= 0.5 mm



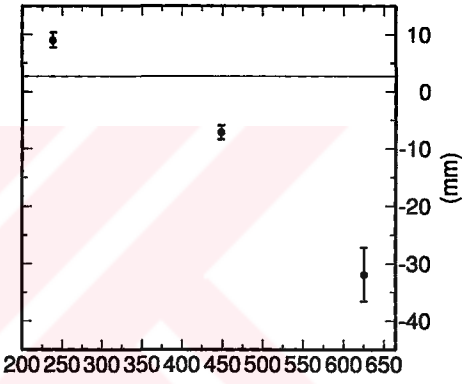
SRKK East Offset 2733149.058 m

wmean(mm)= 1.85 ± 0.49 nrms= 5.78 wrms= 3.4 mm



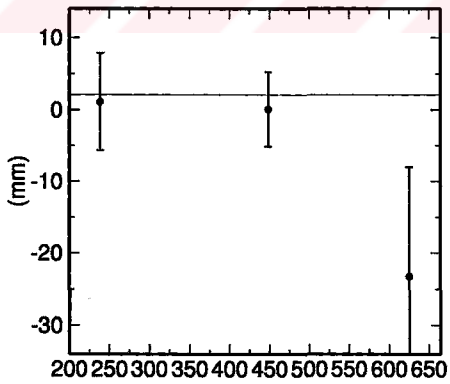
TKIN East Offset 2641073.967 m

mmean(mm)= 2.72 ± 0.45 nrms= 6.71 wrms= 9.1 mm



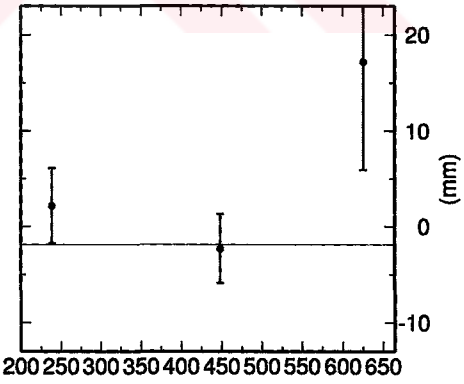
SRKK Up Offset 1392.039 m

wmean(mm)= 2.09 ± 2.04 nrms= 0.55 wrms=



TKIN Up Offset 1026.813 m

mmean(mm)= -1.86 ± 1.32 nrms= 0.81 wrms= 3.2 mm



p: 34

GMT 2005 May 1 22:53:37

1. Periyot için Günlerin Birleştirilmesi

../hfiles/global/h0308251200_eura.glx 0.265 +
../hfiles/global/h0308251200_igs1.glx 0.481 +
../hfiles/global/h0308251200_igs2.glx 0.481 +
../hfiles/ftez/h0308251200_ftez.glx 0.222
../hfiles/global/h0308261200_eura.glx 0.265 +
../hfiles/global/h0308261200_igs1.glx 0.481 +
../hfiles/global/h0308261200_igs2.glx 0.481 +
../hfiles/ftez/h0308261200_ftez.glx 0.222

2. Periyot için Günlerin Birleştirilmesi

../hfiles/global/h0403221200_eura.glx 0.323 +
../hfiles/global/h0403221200_igs1.glx 0.598 +
../hfiles/global/h0403221200_igs2.glx 0.598 +
../hfiles/ftez/h0403221200_ftez.glx 0.253
../hfiles/global/h0403231200_eura.glx 0.323 +
../hfiles/global/h0403231200_igs1.glx 0.598 +
../hfiles/global/h0403231200_igs2.glx 0.598 +
../hfiles/ftez/h0403231200_ftez.glx 0.253

3. Periyot için Günlerin Birleştirilmesi

../hfiles/global/h0409111200_eura.glx 5.477 +
../hfiles/global/h0409111200_igs1.glx 12.668 +
../hfiles/global/h0409111200_igs2.glx 12.668 +
../hfiles/ftez/h0409111200_ftez.glx 5.442
../hfiles/global/h0409121200_eura.glx 5.477 +
../hfiles/global/h0409121200_igs1.glx 12.668 +
../hfiles/global/h0409121200_igs2.glx 12.668 +
../hfiles/ftez/h0409121200_ftez.glx 5.442
../hfiles/global/h0409131200_eura.glx 5.477 +
../hfiles/global/h0409131200_igs1.glx 12.668 +
../hfiles/global/h0409131200_igs2.glx 12.668 +

../hfiles/ftez/h0409131200_ftez.glx 5.442
../hfiles/global/h0409141200_eura.glx 5.477 +
../hfiles/global/h0409141200_igs1.glx 12.668 +
../hfiles/global/h0409141200_igs2.glx 12.668 +
../hfiles/ftez/h0409141200_ftez.glx 5.442
../hfiles/global/h0409151200_eura.glx 5.477 +
../hfiles/global/h0409151200_igs1.glx 12.668 +
../hfiles/global/h0409151200_igs2.glx 12.668 +
../hfiles/ftez/h0409151200_ftez.glx 5.442
../hfiles/global/h0409161200_eura.glx 5.477 +
../hfiles/global/h0409161200_igs1.glx 12.668 +
../hfiles/global/h0409161200_igs2.glx 12.668 +
../hfiles/ftez/h0409161200_ftez.glx 5.442

Tüm Periyotların birleştirilmesi

../gdl/FTEZ03.GLX 0.4159
../gdl/FTEZ041.GLX 0.4111
../gdl/FTEZ042.GLX 0.4018

```
 make_svs globk.svs
 com_file vel.com
 srt_file vel.srt
# srt_dir -1
# eq_file rename.eq
# eq_file ren_sim_2000.eq
# eq_file ren_sim_2001.eq
# eq_file ren_sim_01.eq
 sol_file vel.sol
* Command file continuoius glred runs
# apr_file ../tables/emed88_97_unified.apr
# apr_file ../tables/post_rash.apr
# apr_file ../tables/son.apr
 apr_file ./FTEZ051.apr
# apr_file ./h_ties/rop.apr
# apr_file ./afyon.apr
# apr_file ../templates/itrf00.apr
 apr_file ../../templates/itrf00_eura.apr
# apr_file ../tables/itrf97.apr
# crt_opt nopr
# prt_opt PSUM CMDS BLEN
# org_opt PSUM CMDS BLEN
# org_cmd glorg.cmd
#  apr_tran .005 .005 .005 0 0 0
# mar_tran .0025 .0025 .0025 0 0 0
 crt_opt nopr
 prt_opt blen brat cmds gdlf vsum psum dbug
# bak_file okafcom01.bak
 org_opt PSUM VSUM CMDS BRAT BLEN GDLF
 org_out 1234_2.org
 org_cmd glorg_ftez_comb.cmd
 descrip AKU-ITU Processing
## FTEZ
  use_site +kybs +kzlr +srkk +isrt +yslv +cltk +slvr +gkpn +tkln -sira
  use_site +tubi +ista +trab +wtzr +zeck +poi2 +kit3 +mate +tela
  use_site +graz +nico +mers +marm +tava +kaya +svsl +kaso +bhtl
 apr_neu  all   100.00  100.00  100.00 1 1 1
# apr_neu  mate  0.002 0.002 0.005 0 0 0
# apr_neu  graz  0.005 0.005 0.005 0 0 0
# apr_neu  kit3  0.005 0.005 0.005 0 0 0
# apr_neu  ankr  0.005 0.005 0.005 0 0 0
# apr_neu  wtzr  0.005 0.005 0.005 0 0 0
# apr_neu  tela  0.005 0.005 0.005 0 0 0
 apr_svs  all  200.0 200.0 200.0  20.0 20.0 20.0  1.0 1.0 0.03 0.03 0.03 0.03 0.03 0.03 0.03 0.03 0.03
```

```
# mar_svs all 36500 36500 36500 365 365 365
# apr_svs all  0.0100 0.0100  0.0100  0.001  0.001  0.001 0.01 0.01  F 0.001  F 0.001 0.001 0.001 0.001
0.001 0.001
# apr_svs all 0.1 0.1 0.1  0.01 0.01 0.01  0.01 0.01 0.01 0.01 0.01  0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01
#  apr_svs prn_11 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
# apr_svs PRN_13 0.1 0.1 0.1  0.01 0.01 0.01  0.10 0.10 0.01 0.10 0.10 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01
# apr_svs PRN_08 0.1 0.1 0.1  0.01 0.01 0.01  0.10 0.10 0.01 0.10 0.10 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01
# apr_wob 2.0 2.0  2.0 2.0  0.0 0.0 0.0 0.0
# apr_ut1 2.0 2.0  0.0 0.0 0.0 0.0
 apr_wob   100 100 10 10 0 0  0 0
 apr_ut1   100 10  0  0 0 0
#  max_chi 500 10000 10000
#  mar_wob 365 365 365 365 0.0 0.0 0.0 0.0
# mar_ut1 365 365 0.0 0.0 0.0 0.0
# source globk.usesite
```

```
glorg_ftez_comb.cmd
* İTÜ glorg command file processing.
# apr_file ../tables/itrf96.apr
# apr_file ../tables/itrf97_eura.apr
 apr_file ../../templates/itrf00_eura.apr
# apr_file ../tables/dene1.apr
# apr_file ../tables/post.apr
 pos_org xrot yrot zrot xtran ytran ztran scale
 rate_org xrot yrot zrot xtran ytran ztran
 cnd_hgtv 10000 10000 100.0 100.0
* Iterate the stabilization 4 times, with station dependent
* weights and delete all 4-sigma outliers.
 stab_it 4  0.5 4.0
# stab_min 0.01 0.03
# stab_ite 6  0.3  5.0
 use_site clear saffet
#use_site +ZWEN_GPS
 use_site +IRKT_GPS
 use_site +TROM_GPS
#use_site +MATE_GPS
 use_site +KIT3_GPS
 use_site +GRAZ_GPS
 use_site +WTZR_GPS
 use_site +KOSG_GPS
 use_site +ONSA_GPS
 use_site +SOFI_GPS
 use_site +ZECK_GPS
 use_site +POTS_GPS
 use_site +METZ_GPS
 use_site +LAMA_GPS
 use_site +VILL_GPS
 use_site +KIRU_GPS
#use_site +CAGL_GPS
 use_site +WSRT_GPS
#use_site +NRIL_GPS
```

SUMMARY VELOCITY ESTIMATES FROM GLOBK Ver 5.11l

Long. (deg)	Lat. (deg)	E & N Rate (mm/yr)		E & N Adj. (mm/yr)		E & N +- (mm/yr)		RHO	H Rate (mm/yr)	H adj.	+-	SITE
356.048	40.444	-0.29	2.31	0.08	1.83	0.57	0.56	-0.039	-0.06	1.36	3.87	VILL_GPS*
355.750	40.429	-1.71	-1.55	-1.10	-1.96	1.02	1.03	-0.022	12.28	10.84	3.63	MAD2_GPS
355.750	40.429	-2.35	-1.24	-1.74	-1.64	1.39	1.29	-0.012	11.19	9.75	4.27	MADR_GPS
353.794	36.464	-8.31	-1.12	-5.58	-1.56	1.08	1.05	0.003	9.19	3.10	3.64	SFER_GPS
353.146	33.998	-5.10	0.03	-5.10	0.03	1.16	1.12	0.022	5.58	5.58	4.00	RABT_GPS
344.802	64.267	6.62	-3.91	3.54	-3.40	1.85	1.65	-0.045	18.10	11.13	4.84	HOFN_GPS
344.367	27.764	-3.77	-0.54	0.52	-1.97	1.57	1.28	0.023	6.02	4.66	3.81	MAS1_GPS
338.045	64.139	-21.11	3.98	-4.17	-0.23	1.63	1.45	0.036	1.01	2.24	4.38	REYK_GPS
334.337	37.748	-3.18	-2.64	-3.18	-2.64	1.99	1.51	0.038	5.27	5.27	4.57	PDEL_GPS
313.952	60.715	-24.25	-0.68	-24.25	-0.68	1.73	1.66	0.062	-25.20	-25.20	4.03	QAQ1_GPS
312.122	-15.947	-23.44	-5.99	6.63	-6.40	5.12	4.02	-0.051	10.90	9.21	6.38	BRAZ_GPS
309.055	66.987	-18.93	-1.30	-1.38	-0.64	1.97	1.80	0.049	-2.59	-1.67	4.88	KELY_GPS
307.322	47.595	-26.30	-4.28	-1.97	-4.33	2.11	2.03	0.023	3.67	3.38	4.14	STJO_GPS
302.099	-63.321	0.49	1.59	0.49	1.59	7.25	6.26	-0.030	28.87	28.87	7.31	OHI3_GPS
297.660	82.494	-18.19	-1.34	-18.19	-1.34	1.53	1.46	0.047	4.77	4.77	4.64	ALRT_GPS
294.592	-24.727	-13.91	-8.49	-13.91	-8.49	6.15	5.20	-0.133	22.89	22.89	8.43	UNSA_GPS
293.167	54.832	-25.66	-7.96	-4.09	-6.46	1.99	2.06	0.052	11.06	-0.22	3.76	SCH2_GPS
292.249	-53.785	-7.57	-1.88	14.00	-5.51	6.73	5.70	-0.126	16.56	11.44	4.66	RIOG_GPS
288.507	42.613	-28.70	-9.70	-4.55	-6.97	2.67	2.73	0.010	0.44	1.44	5.09	WES2_GPS
284.376	45.454	-26.14	-8.59	-2.73	-5.23	2.51	2.67	0.006	9.49	5.93	4.37	NRC1_GPS
282.934	38.919	-26.73	-11.96	-2.04	-8.94	2.87	3.05	-0.029	5.77	7.65	5.24	USNO_GPS
270.883	13.697	-20.96	-4.86	-20.96	-4.86	6.17	5.04	-0.101	4.38	4.38	9.26	SSIA_GPS
269.696	-0.743	26.32	-6.87	26.32	-6.87	5.18	5.21	-0.171	8.69	8.69	5.47	GLPS_GPS
264.134	50.259	-28.48	-14.44	-7.48	-9.40	2.70	2.94	0.020	-4.97	0.33	4.65	DUBO_GPS
255.475	38.803	-29.67	-16.05	-2.47	-6.64	3.40	3.77	-0.020	-3.78	0.33	5.58	AMC2_GPS
251.881	34.302	-31.98	-15.29	-6.40	-7.78	3.64	4.06	-0.034	-0.19	0.26	5.56	PIE1_GPS
240.375	49.323	-25.67	-18.38	-7.15	-11.98	2.86	3.32	0.020	0.82	-0.44	4.44	DRAO_GPS
236.513	48.390	-17.46	-13.66	-3.66	-10.51	3.18	3.55	0.026	-2.00	-1.83	5.54	ALBH_GPS
226.473	68.306	-15.66	-17.30	-15.66	-17.30	2.28	2.50	0.049	2.97	2.97	4.71	INVK_GPS
224.778	60.751	-17.44	-17.55	-3.84	-11.88	2.51	2.84	0.041	4.56	5.38	4.41	WHIT_GPS
204.544	19.801	-87.18	28.64	-3.95	-16.67	4.70	5.42	0.047	9.91	13.06	7.11	MKEA_GPS
189.278	-14.326	-93.44	24.46	-93.44	24.46	6.22	6.72	0.050	13.19	13.19	6.99	ASPA_GPS
174.834	-36.603	-19.80	31.25	-2.89	-22.12	6.21	6.88	0.146	18.59	15.50	4.50	AUCK_GPS
166.669	-77.838	-2.94	-11.25	-8.44	-14.74	6.52	6.67	0.203	21.03	20.21	6.30	MCM4_GPS
158.607	53.067	-23.24	-0.09	-3.96	-3.61	2.83	3.02	-0.064	-13.82	-17.22	5.41	PETP_GPS
150.770	59.576	-7.00	-14.16	-3.40	-3.98	2.39	2.51	-0.074	0.94	3.37	4.40	MAG0_GPS
147.439	-42.805	-8.63	50.70	-8.58	-18.81	6.38	6.00	0.182	15.35	14.05	5.33	HOB2_GPS
142.717	47.030	-10.58	-16.57	-4.12	-10.65	2.96	3.03	-0.038	8.24	7.14	5.89	YSSK_GPS
140.087	36.106	-31.52	-9.01	-2.27	-11.88	2.90	3.06	0.024	-7.18	-6.62	4.55	TSKB_GPS
129.680	62.031	-8.21	-5.72	-8.21	-5.72	2.95	2.73	-0.066	-0.74	-0.74	6.75	YAKT_GPS
127.374	36.399	-6.02	-12.35	-8.45	-7.35	3.23	3.00	-0.014	-4.38	3.33	7.07	DAEJ_GPS
121.200	31.100	172.20	-56.94	167.16	-52.17	411.50	359.32	0.037	146.28	147.74	704.37	SHAO_GPS
121.078	14.636	-58.80	6.14	15.07	-34.45	7.45	4.26	-0.046	-7.77	-7.55	16.14	PIMO_GPS

120.987	24.798	-6.28	-14.95	-6.28	-14.95	3.08	2.78	0.041	5.03	5.03	5.24	TNML_GPS
115.892	39.609	1.60	-16.63	-5.31	-4.11	2.65	2.35	-0.025	9.56	-14.39	5.22	BJFS_GPS
115.347	-29.047	12.36	53.55	12.36	53.55	5.84	4.60	0.148	15.88	15.88	6.17	YAR2_GPS
83.235	54.841	2.04	-8.34	2.04	-8.34	2.92	2.64	-0.052	3.55	3.55	8.10	NVSK_GPS
78.551	17.417	16.95	25.17	16.95	25.17	2.36	1.69	-0.041	9.11	9.11	5.01	HYDE_GPS
77.973	-68.577	-9.05	-1.91	-12.84	3.64	5.95	5.59	-0.161	18.83	14.62	5.06	DAV1_GPS
77.512	13.034	17.80	25.37	17.80	25.37	2.71	1.95	-0.020	9.48	9.48	5.87	BAN2_GPS
77.017	43.179	1.78	-3.60	0.67	-5.90	1.63	1.34	0.007	0.31	2.06	4.52	SELE_GPS
74.694	42.680	2.81	-3.09	3.40	-4.33	0.84	0.71	0.002	3.68	3.66	2.57	POL2_GPS
70.256	-49.351	-11.20	-2.10	-12.53	3.81	4.92	4.65	-0.167	20.93	15.99	5.29	KERG_GPS
66.885	39.135	0.27	-0.30	0.73	-0.74	0.33	0.26	0.137	-1.57	-0.02	2.85	KIT3_GPS*
58.560	56.430	0.77	-2.96	0.98	0.42	1.49	1.37	-0.015	1.11	1.02	4.00	ARTU_GPS
55.479	-4.674	-5.20	15.08	-12.89	9.13	17.71	9.34	0.037	-27.18	-34.95	38.55	SEY1_GPS
41.565	43.788	-1.28	5.50	-1.43	5.92	1.28	0.87	0.014	1.33	-1.58	3.76	ZECK_GPS*
39.776	40.995	0.09	5.40	6.38	4.05	1.46	1.03	-0.005	10.55	-13.01	4.01	TRAB_GPS
39.584	-69.007	-8.58	2.61	-6.95	11.36	5.22	6.11	-0.052	19.24	17.13	7.38	SYOG_GPS
36.758	55.699	55.01	21.76	55.01	21.76	254.10	300.18	-0.025	-167.39	-167.39	598.86	ZWE2_GPS
36.570	55.115	1.61	-0.90	1.61	-0.90	1.55	1.44	-0.066	3.10	3.10	4.68	MOBN_GPS
34.921	29.509	0.30	12.75	0.14	4.62	1.78	1.29	-0.043	-2.37	-9.39	4.92	ELAT_GPS
34.781	32.068	-9.27	11.98	-7.43	4.70	1.52	1.12	-0.041	0.96	-3.16	7.26	TELA_GPS
34.781	32.068	164.81	-166.05	164.81	-166.05	410.67	329.05	0.023	-42.46	-42.46	698.58	TELA_FOO
34.256	36.566	-19.59	6.52	-19.59	6.52	1.64	1.18	-0.025	5.80	5.80	6.51	MERS_GPS
33.396	35.141	-18.50	4.66	-11.48	2.54	5.84	5.40	-0.023	7.94	3.00	25.42	NICO_GPS
32.758	39.887	-25.73	-0.31	-3.13	0.62	1.86	1.25	0.027	4.69	7.25	4.06	ANKR_GPS
31.443	37.436	-57.05	-3.22	-57.05	-3.22	749.75	742.87	-0.014	19.69	19.69	770.75	KAYA_GPS
31.227	38.163	-28.40	-0.37	-28.40	-0.37	1.79	1.92	-0.131	21.60	21.60	7.62	SRKK_GPS
30.720	38.503	-28.53	4.84	-28.53	4.84	1.93	2.10	-0.099	22.39	22.39	8.71	SLVR_GPS
30.592	37.820	-27.25	-1.08	-27.25	-1.08	1.91	2.05	-0.089	11.78	11.78	8.59	ISRT_GPS
30.589	36.896	-25.52	-9.49	-25.52	-9.49	7.65	8.72	-0.111	-178.13	-178.13	38.68	BHTL_GPS
30.497	50.364	-2.25	1.30	-0.92	2.50	1.45	1.29	-0.008	1.55	0.46	3.79	GLSV_GPS
30.426	37.539	-23.12	6.45	-23.12	6.45	1.76	1.83	-0.071	-234.72	-234.72	7.47	CLTK_GPS
30.114	38.016	-27.91	-3.78	-27.91	-3.78	1.25	0.99	-0.001	122.25	122.25	3.66	TKIN_GPS
29.844	37.547	-23.99	-4.81	-23.99	-4.81	2.80	2.95	-0.068	-56.79	-56.79	12.70	YSLV_GPS
29.810	36.971	-28.04	-5.19	-28.04	-5.19	1.26	0.99	0.005	123.57	123.57	3.76	KYBS_GPS
29.711	38.458	-31.94	-4.96	-31.94	-4.96	6.18	6.74	-0.117	-21.23	-21.23	27.69	SVSL_GPS
29.648	36.194	-18.62	-2.29	-18.62	-2.29	8.53	8.84	-0.094	61.68	61.68	41.85	KASO_GPS
29.451	40.787	-6.93	0.32	-6.93	0.32	1.16	0.87	0.013	4.26	4.26	3.31	TUBI_GPS
29.392	37.448	-33.63	-5.33	-33.63	-5.33	1.77	1.76	-0.058	11.58	11.58	7.17	GKPN_GPS
29.048	37.566	-35.95	-16.22	-35.95	-16.22	7.61	8.02	-0.065	-52.54	-52.54	30.01	TAVA_GPS
29.019	41.104	-2.93	2.10	-2.93	2.10	1.15	0.85	0.015	7.47	7.47	3.14	ISTA_GPS
29.003	37.187	-18.09	-8.44	-18.09	-8.44	2.25	2.04	-0.116	15.48	15.48	7.96	KZLR_GPS
27.963	36.772	-12.14	-36.19	-12.14	-36.19	8.98	7.83	-0.099	-530.05	-530.05	29.64	MARM_GPS
27.687	-25.890	3.86	5.45	3.85	-0.16	3.43	3.51	0.004	18.28	17.86	5.02	HRAO_GPS
24.395	60.217	0.14	-1.44	-0.44	-0.40	0.79	0.88	0.066	6.53	3.12	2.61	METS_GPS
21.032	52.097	-1.21	0.81	-1.62	0.74	1.08	1.35	-0.010	-0.66	0.35	4.17	JOZE_GPS
20.968	67.857	0.76	-0.48	0.55	-0.32	0.80	0.84	0.046	9.02	1.83	3.33	KIRU_GPS*

20.810	-32.380	4.76	7.55	5.01	1.89	3.81	3.99	0.038	20.51	17.86	5.48	SUTH_GPS
20.670	53.892	-1.14	-0.23	-0.34	-0.68	0.71	0.82	0.018	4.73	6.61	2.71	LAMA_GPS*
18.940	69.663	-3.07	-0.44	-1.57	-1.47	0.78	0.82	0.019	6.78	4.19	2.76	TRO1_GPS
18.938	69.663	0.98	2.26	2.47	1.23	0.69	0.70	0.053	7.68	5.08	2.64	TROM_GPS*
17.073	52.277	-0.25	-0.47	-0.21	-0.46	0.81	0.99	0.036	1.30	2.47	3.17	BOR1_GPS
16.704	40.649	-2.31	2.97	-2.99	-1.35	0.89	0.74	-0.046	8.12	9.14	2.82	MATE_GPS
15.493	47.067	1.62	-1.99	0.93	-2.54	0.63	0.63	-0.022	8.80	11.11	2.34	GRAZ_GPS*
14.786	49.914	-1.17	-1.81	-1.21	-2.05	0.86	1.01	-0.018	5.46	6.63	3.20	GOPE_GPS
13.552	-1.632	38.58	186.84	38.58	186.84	768.39	747.31	-0.001	6.84	6.84	771.44	MSKU_GPS
13.066	52.379	-1.40	-0.42	-1.10	-0.49	0.56	0.62	0.000	1.23	2.52	2.16	POTS_GPS*
12.879	49.144	-0.01	0.25	0.18	0.06	0.51	0.54	-0.029	4.00	4.97	1.99	WTZR_GPS*
12.583	45.479	-2.23	3.39	-2.23	3.39	2.12	2.54	-0.031	-7.40	-7.40	9.00	CAVA_GPS
12.332	45.437	0.19	1.01	0.62	0.51	1.85	2.12	-0.008	2.57	-3.94	6.85	VENE_GPS
12.291	45.230	-5.21	2.67	-5.21	2.67	1.91	2.27	-0.031	-2.94	-2.94	7.99	SFEL_GPS
11.926	57.395	7.35	27.86	8.02	28.53	614.65	656.03	0.011	88.39	85.85	756.33	ONSA_GPS
11.911	45.385	-2.05	2.64	-2.05	2.64	1.84	2.15	-0.023	-2.54	-2.54	7.56	VOLT_GPS
11.911	45.385	-0.02	-0.01	-0.02	-0.01	772.91	772.91	0.000	0.00	0.00	772.91	VOLT_FOO
11.647	44.520	2.31	0.10	0.31	-1.73	1.14	1.26	-0.009	3.61	7.81	4.44	MEDI_GPS
11.113	44.122	-1.82	1.04	-1.82	1.04	0.92	1.02	0.011	6.19	6.19	3.54	BRAS_GPS
9.672	0.354	0.05	4.12	9.73	0.90	3.34	2.50	0.083	12.70	17.76	6.72	NKLG_GPS
8.973	39.136	-0.31	1.72	0.61	1.59	1.14	1.03	-0.024	0.80	0.52	3.45	CAGL_GPS
7.465	46.877	-1.48	0.19	-1.58	-0.21	0.95	1.09	-0.013	7.37	7.83	3.65	ZIMM_GPS
6.921	43.755	0.47	1.10	0.85	1.10	0.90	0.97	-0.019	3.93	4.74	3.39	GRAS_GPS
6.605	52.915	-1.21	-1.38	-0.89	-1.59	0.58	0.67	0.004	3.24	2.80	2.45	WSRT_GPS*
5.810	52.178	-1.13	-0.75	-0.66	-1.25	0.65	0.78	0.014	4.04	3.42	2.75	KOSG_GPS*
4.359	50.798	-2.46	-1.27	-2.18	-0.73	0.75	0.89	0.028	7.78	7.27	3.01	BRUS_GPS
1.481	43.561	-1.48	0.41	-1.48	0.41	1.36	1.50	0.022	6.03	6.03	5.21	TLSE_GPS
0.336	50.867	-1.10	0.36	-1.65	-0.38	0.64	0.70	0.019	6.11	6.80	2.33	HERS_GPS

VEL STATISTICS: For 11 RefSites WRMS ENU 0.93 1.60 5.23 mm/yr NRMS ENU 1.62 2.92 1.98
vel1234.gdl

ÖZGEÇMİŞ

Saffet ERDOĞAN, 1976 yılında Dinar'da dünyaya gelmiştir. 1986 yılında Dinar Yeni yol İlkokulundan, 1989 yılında da Dinar Ortaokulundan mezun olmuştur. 1992 yılında Ankara Tapu Kadastro Meslek Lisesinden mezun olmuş ve aynı yıl Araklı Kadastro Müdürlüğünde Kadastro Teknisyeni olarak göreve başlamıştır. 1993 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümüne girmiştir. 1997 yılında mezun olarak Susurluk Kadastro Müdürüğünde Kontrol Mühendisi olarak göreve başlamıştır. 1998 yılında Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümünde Yüksek Lisans Programına başlamış ve 2000 yılında Yüksek Lisans öğrenimini tamamlamıştır. 2001 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümünde doktora eğitimine başlamıştır. Evli ve bir çocuk babasıdır.