

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KUZEY ANADOLU FAYI NİN ORTA ANADOLU BÖLÜMÜNÜN
KİNEMATİĞİNİN 2001 VE 2002 GPS ÖLÇMELERİ İLE BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Müh. Hakan YAVAŞOĞLU

**Anabilim Dalı: Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği
Program: Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği**

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Ergün TARI

MAYIS 2003

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KUZEY ANADOLU FAYI NİN ORTA ANADOLU BÖLÜMÜNÜN
KİNEMATİĞİNİN 2001 VE 2002 GPS ÖLÇMELERİ İLE BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Müh. Hakan YAVAŞOĞLU

(501001765)

**Anabilim Dalı: Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği
Program: Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği**

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Ergin TARI

MAYIS 2003

ÖNSÖZ

Çalışmam süresince benden yardımlarını esirgemeyen ve bana her konuda destek olan hocam Doç. Dr. Ergin TARI'ya ve bölümümüzdeki tüm hocalarıma, tez çalışmamın uygulanması aşamasında bana her türlü desteği veren Doç. Dr. Semih ERGİNTAV ve Y. Müh. Rahşan ÇAKMAK'a, tezim teknik bölümünün yazılmasında samimi desteğini esirgemeyen değerli hocalarımla Prof. Dr. Okan TÜYSÜZ ve Y. Müh. Ufuk TARI'ya teşekkür ederim.

Ayrıca daha bana maddi ve manevi destek olan aile büyüğüme, mesai arkadaşlarıma ve tez çalışmam süresince bana her konuda yardımcı olan sevgili aileme şükranlarımı sunarım.

Mayıs 2003

Hakan YAVAŞOĞLU

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	iv
TABLO LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	vi
SEMBOL LİSTESİ	vii
ÖZET	viii
SUMMARY	x
1. GİRİŞ	1
2. LEVHA HAREKETLERİ NİN BELİRLENMESİNDE KULLANILAN JEODEZİK YÖNTEMLER	4
2.1. Giriş	4
2.2. Jeodezik Yöntemler (VLBI, SLR Ve GPS)	5
2.2.1. VLBI	5
2.2.2. SLR	7
2.2.3. GPS	9
2.3. Levha Hareketleri Ve Jeodezik Yöntemlerle Belirlenmesi	13
2.3.1. Uzaklaşan Ayrılan Levhalar	14
2.3.2. Yakınlışan Çarpışan Levhalar	15
2.3.3. Yanal Yer Değiştirme	15
2.3.4. Levha Hareketlerinin GPS Teknolojisi İle Belirlenmesi	16
3. JEODEZİK YÖNTEMLERE AİT REFERANS SİSTEMLERİ	20
3.1. Referans Sistemleri	20
3.2. Sistemler Arasında Dönüşümler Ve Dönüşümü Etkileyen Parametreler	22
4. GPS VERİLERİ NİN DEĞERLENDİRİLMESİ	24
4.1. Giriş	24
4.2. GAM T/ GLOBK Yazılım	24
5. ORTA KAF PROJESİ	30
5.1. Bölgenin Tektarifi	30
5.2. Projenin Amaçları	31
5.3. İstikşaf Ve GPS Ölçmeleri	32
5.3.1. Birinci Kampanya Ölçmeleri	34
5.3.2. İkinci Kampanya Ölçmeleri	35
5.4. GPS Verilerinin Değerlendirilmesi	37
5.5. GPS Verilerinin Değerlendirilmesinde Kullanılan GAM T/ GLOBK Modülleri	40
6. GPS VEKTÖRLERİ NİN YORUMLANMASI VE SONUÇLAR	43
KAYNAKLAR	48
EKLER	51
ÖZGEÇMİŞ	63

KISALTMALAR

KAF	: Kuzey Anadolu Fayı
VLBI	: Very Long Baseline Interferometry
SLR	: Satellite Laser Ranging
GPS	: Global Positioning System
HUAM	: Uydu- Aıcı mesafesi
DOP	: Dilution of precision
IGS	: International GPS Service
FAGS	: The Federation of Astronomical and Geophysical Data Analysis Service
IAU	: International Astronomy Union
CIO	: Conventional International Origin
TRF	: Terrestrial Reference Frame
WGS- 84	: World Geodetic system 1984
IERS	: International Earth Rotation Service
ITRF	: International Terrestrial Reference Frame
CEP	: Conventional Ephemeris Pole
IUGG	: International Union of Geodesy and Geophysics
IAU	: International Astronomical Union
IRF	: Inertial Reference Frame
RINEX	: The Receiver Independent Exchange Format
MAM	: Marmara Araştırma Merkezi

TABLO LİSTESİ

		<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1	Lazer sistemlerde vuru duyarlılık ilişkisi	8
Tablo 2.1	Tablo 2.2 GPS sinyallerinin özellikleri	10
Tablo 5.1	KAF'ın Orta Segmentinde Son Yüzyılda Meydana Gelen Başlıca Depremler	33
Tablo 5.2	ORTA- KAF GPS ağı istasyon noktaları	34
Tablo 5.3	Birinci GPS Kampanyasında Kullanılan Donanımlar ve IGS Kodları	35
Tablo 5.4	İkinci GPS Kampanyasında Kullanılan Donanımlar ve IGS Kodları.....	37
Tablo 5.5	Değerlendirmeye katılan IGS noktaları	39

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1 : VLBI ölçme sistemi	5
Şekil 2.2 : Yapay uydulara lazer ile boy ölçmeleri	6
Şekil.2.3 : Yeryuvarı kesiti	12
Şekil.2.4 : Litosfer tabakasını oluşturan levhalar	13
Şekil.5.1 : Levha hareketleri	30
Şekil.5.2 : ORTA- KAF GPS Ağı İstasyon Noktaları	34
Şekil.6.1 : Türkiye ve Çevresinde Son Yüzyılda Meydana Gelen Önemli Depremler..	43
Şekil.6.2 : ORTA- KAF GPS Ağına Ait ITRF00 Sisteminde Avrasya Plakasına Göre Hız Vektörleri	47

SEMBOL LİSTESİ

D	: Mesafe
c	: Hz (Işık Hızı)
t_g	: lazer vurusunun gönderi m zamanı
Δt	: Zaman(gecikme zamanı)
t_d	: lazer vurusunun dönüş zamanı
t^s	: uydu saati zamanı
t_R	: alıcı saati zamanı
Δt^s	: S uydu saati nin GPS zamanı ndan olan farkı
Δt_R	: R alıcı saati nin GPS zamanı ndan olan farkı
I_R^s	: İyonosfer etki
T_R^s	: Troposfer etki
ρ_R^s	: uydu ile alıcı arasında T_i anındaki uzaklıktır
f_0	: temel frekans

KUZEY ANADOLU FAYI NİN ORTA ANADOLU BÖLÜMÜNÜN Kİ NE MATİ Ğ İ NİN 2001 VE 2002 GPS ÖLÇMELERİ İ LE BELİ RLENMESİ

ÖZET

Kabuk defor masyonları belirlenme çalışmaları çok eski yıllardan günümüze kadar farklı disiplinlerde çalışan bilim adamları tarafından yürüt ülmüştür. Jeodezik ölçme tekniklerinin bu çalışmalarda kullanılmaya başlanması ise 1900'li yılların başlarına rastlamaktadır.

Önceleri klasik yersel ölçme teknikleri ile yürütülen çalışmalar, teknolojinin gelişmesi ile EDM, VLBI, SLR gibi ölçme teknikleri ile gelişme ve genişleme inkam bulmuştur. Özellikle GPS ölçme tekniğinin gelişmesi sadece jeodezi için değil tüm yer bilimleri için önemli bir kazanç olmuştur. 1980'li yıllardan itibaren GPS, klasik ölçme tekniklerini geride bırakarak, geniş kullanım alanı bulmuştur.

VLBI, SLR gibi teknikler, geniş hacimli, karışık ve pahalı düzeneklere sahip olmalarının getirdiği dezavantajlara sahiptirler. Bu dezavantajları nedeniyle optimum kampaña planları yapılamamaktadır. GPS ölçme tekniği ise, kolay taşınabilir bir alıcı ve antenden oluşmaktadır. Teknoloji ilerledikçe sistemin ucuzlaşması, bu tür çalışmalara ilgi duyan herkesin GPS sahibi olmasını sağlamıştır. Kabuk defor masyonlarının belirlenmesi çalışmaları için gereken yüksek doğrulukta konum belirlenme, GPS ile kolay, çabuk ve ucuz gerçekleştirilmeye başlanmıştır. Tüm bu özelliklerinden dolayı GPS ölçme tekniği, sadece haritacılık ve mühendislik uygulamalarında değil jeodinamik anlaşı çalışmalarda da yerini almıştır.

Tüm bu özelliklerinin yanı sıra GPS sisteminde de tüm ölçme tekniklerinde olduğu gibi hata parametrelerinin bilinmesi önemlidir. Yüksek duyarlılıkta nokta konumunun belirlenmesi gerektiren çalışmalarda bu hata kaynaklarının çok iyi belirlenmiş olması gerekmektedir. Amaca uygun ölçme planlanması ve yöntemleri kullanılarak, ölçmelerden bu hataların uzaklaştırılması veya hataların etkisinin

mini muma indirilmesi sağlanmaktadır. Ayrıca hesap aşamasında, VLBI ve SLR ölçme teknikleri ile yüksek duyarlılıkta bilinen ve kabuk deformasyonu

çalışmalarında önemli olan parametrelerin ve uygun modellerin kullanılması, bu hataların etkilerini önemli ölçüde azaltmaktadır.

Bu çalışmada, jeodezik ölçme tekniklerinin kabuk deformasyonlarındaki yeri ve gelişimi ile ve GPS ölçme tekniğinin bu konuda geldiği nokta tanımlanmıştır. Ayrıca; OKAF'ın kuruluşu ve günümüzdeki biçimi tanımlanmakta, GPS verilerinin işlenmesi için gerekli olan veri işlem adımları anlatılmakta ve OKAF'ın kalite kontrol aşaması için yapılan ölçme sonuçları verilmektedir.

DETERMINATION OF THE KINEMATIC ALONG THE NORTH ANATOLIAN FAULT ON THE M.D. ANATOLIA SEGMENT WITH 2001 AND 2002 GPS MEASUREMENTS

SUMMARY

The designation of crust deformation studies are being executed by scientist work out with different disciplines since the very beginning. However, the geodesic measurement techniques began to be used during these studies only by the early 1900's.

The previously studies executed with the classic terrestrial measurement techniques have found a way to progress and extend with the developing technology such as EDM, VLBI, SLR measurement techniques. Particularly, the development of GPS measurement technique became very important gain, not only for geodesy but for all earth sciences. By 1980's, GPS far ahead of the classic measurement techniques, found expanding usage fields.

VLBI, SLR like techniques keep the disadvantages of volumed, complex and expensive mechanisms which keep them away from the optimum campaign plannings. On the contrary, GPS consist of a portable receiver and antenna. It makes it possible for every individual interested in these studies to own GPS as it gets cheaper by the developing technology. With GPS, high precisions position determination for the designation of crust deformation studies became easy, fast and cheap. By all these characteristics GPS measurement technique took its particular place not only in cartography and engineering applications but also in geodynamic based studies.

Besides all these characteristics, the knowledge of error parameters in GPS is very important just as in all measurement techniques, This error resources should have been determined very carefully in studies requesting high precision positioning. By

using appropriate measurement planning and methods, it can be possible to eliminate the errors from the measurement or to minimize the effects of errors on

the measurement. In addition, during the calculation, using the parameters determined high precision with VLBI and SLR measurement techniques which is important for crust deformation studies, and appropriate models would minimize the effects of these errors in considerable amounts.

In study, the place of geodesic measurement techniques in crust deformations and the progress is described as well as the way GPS measurement techniques came analog in this field. In addition, the foundation and the recent form of OKAF is described, the process steps necessary for GPS data is explained and the measurement results for OKAF quality control phase is given.

1. GİRİŞ

Teknolojik gelişmenin ve bilimsel ilerlemenin günümüzde geldiği nokta sayesinde bir çok doğa olayı tanımlanabilir ve modellenmiştir. Yapılan bu çalışmalar eski çağlarda insanları korkuya düşüren bir çok doğa olayının tanımlanmasını, tanımlanan hasar verici olaylara karşı alınacak tedbirlere ayrılan finansal kaynakların daha etkin kullanılmasını ve en önemlisi insan hayatının korunmasını ve daha rahat hale getirilmesini amaçlamaktadır. Tüm bilimsel gelişmelere rağmen ne yazık ki bazen doğa olaylarının can ve mal kaybına neden olması önlenememektedir. En çok can ve mal kaybına neden olan doğa olaylarının başında da deprem gelmektedir.

Yurdumuz depremaçısından oldukça aktif bir bölgede bulunmaktadır. Yurdumuzu da içine alan bu aktif bölge “Akdeniz-Himalaya deprem kuşağı” olarak adlandırılmakta ve Cebelitarık’tan başlayarak Endonezya’ya kadar uzanmaktadır. Yurdumuzda, son olarak 17 Ağustos 1999 da İzmit ve 12 Kasım 1999 da Düzce depremleri ile bu aktivite kendini göstermiş ve maddi ve manevi ağır hasarlar vermiştir. 1999 yılından bu yana hasarı az şiddeti küçümseyecek birçok deprem meydana gelmiştir. Yaşanan depremlerin Kuzey Anadolu Fayı (KAF) üzerinde gerçekleşmesi, bu fay hakkında daha fazla verinin toplanması ve daha fazla şeyin öğrenilmesi gerektiğini ortaya çıkarmıştır.

Yer kürenin litosfer (taşküre) tabakasının birçok plakadan oluşması gerçeği kabuk hareketlerinin incelenmesinde yeni bir olgudur. Litosfer tabakası, bir bütün halinde olmayıp sürekli hareket halinde olan levhalardan oluşmaktadır. Mantokatmanının neden olduğu hareketler sırasında levhalar birbirinden uzaklaşır, birbirlerine çarpır veya birbirlerine göre yanal harekette bulunurlar. Depremlerin nedeni de tüm bu hareketliliğidir ve levha sınırlarında oluşmaları tesadüf değildir.

Levhaların birbirlerine göre hareketlerinin belirlenmesi ise bir çok anabilim dalının günümüzde ilgilendiği bir konudur. Jeoloji, jeodezi, uzaktan algılama gibi birçok bilim dalı kendi yöntemleri ile levhaların hareketlerini ve dolayısı ile depremlerin yer

ve zamanını, büyüklüğünü ve vereceği hasarı belirlemek amacıyla çalışmaktadır. Yapılan çalışmalar birçok anabilim dalının ortak veya münferit çalışmaları olarak kamuoyuna sunulmaktadır.

20. yüzyılın son çeyreğinde uzay jeodezisinin de gelişmesi ile jeodezi bilimi de levha hareketlerinin belirlenmesinde önemli roller üstlenmiştir. İlk olarak 1970'li yılların başlarında uygulanan VLBI (Very Long Baseline Interferometry – Çok Uzun Bazlı İnterferometri) ve SLR (Satellite Laser Ranging – Uydulara Lazerle Uzaklık Ölçmeleri) teknikleri ile küresel ölçekte birbirinden kilometrelerce uzakta herhangi iki noktanın üç boyutlu konumlarının doğruluğu santimetreden milimetreye inmiştir. Fakat VLBI ve SLR tekniklerinin gerek yüksek maliyeti gerekse istenen her yerde ölçme yapma imkânının olmaması nedeniyle bu teknikler yerini GPS (Global Positioning System– Küresel Konumlama Sistemi) tekniğine bırakmıştır.

GPS tekniği, 24 saat istenilen yerde her türlü hava koşulunda ölçme yapılabilmesi, aşırı insan gücüne ihtiyaç duyulmaması, düşük maliyeti ve taşınabilir ekipmanlardan oluşması sebebi ile diğer tekniklerden üstündür. Ayrıca uygun ölçme yöntemi ve veri işleme yazılımları kullanıldığı zaman santimetre altında doğruluklu sonuçlar vermektedir. VLBI ve SLR tekniklerinden, büyük ölçekteki kabuk hareketlerinin modellenmesinde, yer kabuğunda diğer gezegenler, ay ve güneş etkisi ile oluşan gelgitlerin belirlenmesinde, yerin dönme ve gravite parametrelerinin belirlenmesinde faydalıdır. Bu iki teknik ile üretilen veriler GPS tekniğinde altlık olarak kullanılarak istenilen doğruluğa ulaşılmaktadır. Tüm bu sebeplerden dolayı GPS teknolojisi sadece kabuk hareketlerinin belirlenmesinde değil diğer jeodezik amaçlar için de çok sık kullanılır olmuştur.

Yapılan çalışmalarda elde edilmek istenen sonucun, büyük ölçekteki levhalar referans alınarak küçük ölçekteki levhaların hareketlerinin belirlenmesi olduğu düşünüldüğünde ve elde edilen verilerin doğruluk kalitelerine bakıldığında jeodezik uzay teknikleri ve özellikle GPS tekniği levha hareketlerinin belirlenmesi için en uygun teknik olarak ortaya çıkmaktadır.

Bu çalışmada kabuk deformasyonlarının (levha hareketlerinin) belirlenmesi için GPS tekniği kullanılmıştır. Çalışmanın uygulama bölümü Kuzey Anadolu Fayının

Sungurlu, M rzifon ve La ini b key kollarını da içeren orta kısımda 2001 ve 2002 yıllarında gerçekleştirilmiştir.

Bu  alı mada, KAF'nın orta kısmında kurulan GPS ağı'nın, değerlendirilmesi ve bölgenin depremselli inin belirlenmesindeki kullanımı açıklanmıştır. Ayrıca ORTA-KAF GPS ağı'nın kurulmasından günümüze kadar olan geli ims reci ile yapılan ka panyalar ve bu ka panyalar sonucu elde edilen sonuçlar açıklanmaktadır.

2 LEVHA HAREKETLERİNİN BELİRLENMESİNDE KULLANILAN JEODEZİK YÖNTEMLER

2.1.Giriş

Deprem üzerine yapılan çalışmalarda önemli roller üstlenen bilim dallarından birisi de jeodezidir (Çakmak, 2001). Jeodezinin diğer bilim dallarından farklı olarak geliştirdiği yöntem yerküre üzerinde belirlenen noktalar arasında bir jeodezik ağ kurarak yüksek presizyonlu açı, mesafe ve yükseklik ölçmek ve belli zaman aralıkları ile ölçmeleri tekrarlayarak yer küre üzerindeki yatay ve düşey değişimleri hesaplamaktır. Hesaplanan bu değişimler ile yer küre üzerindeki deformasyonların belirlenmesi yoluna gidilmektedir.

Jeodezik yöntemler ile yapılan ve sonucunda tektonik hareketler ile jeodezik ölçmeler arasında ilişki kurulan ilktektonik çalışma 1892 yılında Tapanuli, Sumatra depreminde yapılmıştır. Deprem öncesi yapılan açı ölçmeleri ile depremsonrasında yapılan açı ölçmelerin tutarsızlığı sonucunda çalışmayı yapan J.J. A Müller bu farklılığın depreme bağlı olarak oluştuğunu belirlemiştir. (Yeats ve diğ., 1997)

Geniş alanda jeodezik yöntemlerle veri toplanarak yapılan ilk çalışma ise San Andreas fayı üzerinde 1851-1865, 1874-1892 yılları arasında (depremden önce) ve 1906 (depremden sonra) yıllarında yapılan ve H. F. Reid'in elastik yer değiştirme teorisi ne altlık oluşturan çalışmadır. Bu çalışma ile deprem öncesi yapılan iki grup ölçme ile deprem olmasından çok kısa bir süre sonra yapılan üçüncü grup ölçüler karşılaştırılmış ve San Andreas Fayının batı yakasının doğu yakasına nazaran 3.2m kuzeye doğru hareket ettiği anlaşılmıştır. Yapılan çalışmalar ışığında H. F. Reid deprem olmadan önce kabuk üzerinde yıllar boyunca biriken elastik gerilimin depremlerle birlikte boşaldığını ortaya koymuştur (Çakmak, 2001)

Klasik jeodezik yöntemlerde de zaman içinde teknolojik gelişme uygun olarak değişimler yaşanmış ve öncelikle açı ölçmelerinden elektronik uzaklık ölçmelerine

geçiş olmuştur. Kilonetrelerce mesafedeki iki noktanın üç boyutlu konumlarının çok kısa süre içinde milimetre hassasiyetinde belirlenebilmesi jeodezik ağların ölçeğini büyütmüş, jeodezik çalışma alanlarını genişletmiş ve jeodezik sonuçlardaki güvenilirliği arttırmıştır.

Klasik jeodezi de ilk gelişim olan elektronik uzaklık ölçerlerde yerini 1980'li yıllarda sivil kullanıma açılan uzay jeodezi sine bırakmış ve bu değişim ve gelişim günümüze kadar gelmiştir. Bu bölümde günümüz teknikleri olan VLBI (Very Long Baseline Interferometry – Çok Uzun Bazlı İnterferometri), SLR (Satellite Laser Ranging – Uydulara Lazerle Uzaklık Ölçmeleri) ve GPS (Global Positioning System – Küresel Konumlama Sistemi) tanıtılacak ve tektonik amaçlı kullanımlarına değinilecektir.

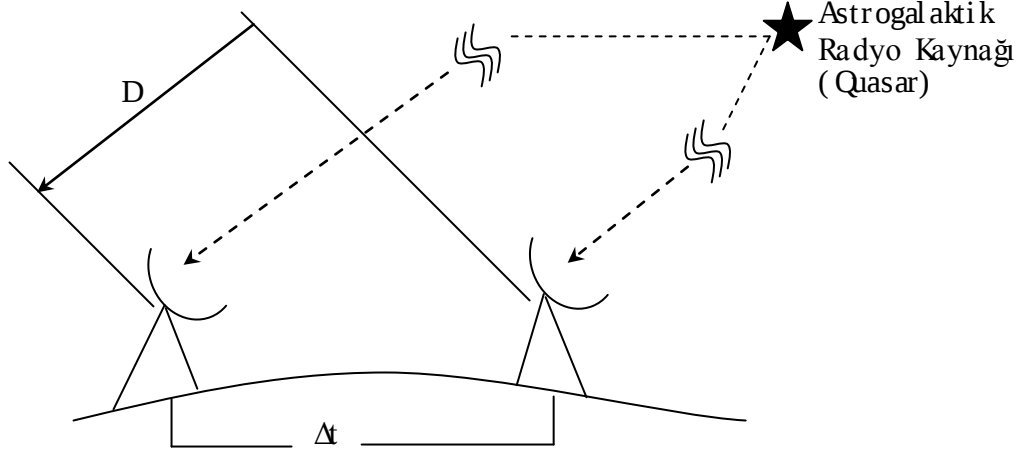
2.2 Jeodezik Yöntemler (VLBI, SLR ve GPS)

2.2.1. VLBI

VLBI (Very Long Baseline Interferometry – Çok Uzun Bazlı İnterferometri), diğer uzay teknikleri ile beraber, Jeodezik ve jeodinamik parametrelerin belirlenmesi ve iyileştirilmesi için kullanılan bir tekniktir. Bu teknik ile uzayın en dış kısımlarında bulunan astrogalaktik radyo kaynaklarının yayımladığı radyo sinyalleri toplanmakta ve bu toplanan sinyaller yardım ile radyo sinyallerinin toplandığı istasyon noktalarının konumları 1 cm'nin altında doğrulukla belirlenebilmektedir (Yeats ve diğ., 1997, Dong 1993, Murray, 1991). Bu amaçla, uzayda yaklaşık konumu bilinen birçok astrogalaktik radyo kaynağının gönderdiği 0.5 GHz - 22 GHz (75cm-13cm) frekans aralığındaki sinyallerin algılanabilmesi için özel antenler kullanılmaktadır. (Çakmak, 2001)

Dünya üzerindeki radyo teleskoplar astrogalaktik kaynakları izlemekte ve sinyal yayımladıklarında kaydetmektedirler. Her bir istasyonda kaydedilen bu bilgiler, kalibre edilmiş ve yüksek doğruluğa sahip atomik saatler ile algılanır algılanmaz kaydedilmektedirler. İstasyon noktalarında kaydedilen sinyaller kaydedilemez zamanlarının farklı olması dışında tamamen birbirinin aynısıdır. Sinyallerinin bir

istasyonda diğ erinden daha geç algılanması sayesinde bu iki istasyon arasında mesafe ilişkisi nin kurul ması mümkün olur (Ş ekil. 2. 1) (Yeats ve diğ , 1997)



Ş ekil. 2. 1

$$D=c \cdot \Delta t \quad (1.1)$$

Burada, D Mesafe,

c ; Hız(Iş ık Hızı),

Δt ; Zaman(gecikme zamanı)

Birçok astrogalaktik radyo kaynağı nın eş zamanlı izlenmesi ile bu radyo sinyalleri algılayan istasyonların oluşturduğu ağı ilişkin tüm üç boyutlu konum bilgileri yüksek doğruluklarla tanımlanabilir.

VLBI istasyonlarında toplanan verilerin değerlendirilmesi ile kutup hareketleri, yeryuvarının dönme hızı ve dönme ekseninin hareketleri, katı yer kabuğu gel-git hareketleri ve kabuk deformasyonlarına ait yüksek doğruluklu bilgiler elde edilmektedir. Ölçme doğruluklarının artırılması için istasyon noktalarında yüksek kararlılıklı atomik saatler kullanılmakta, atmosferik etkilerin giderilmesi için iki farklı frekans kullanılmakta ve su buharı radyometreleri ile ölçmeler yapılmaktadır.

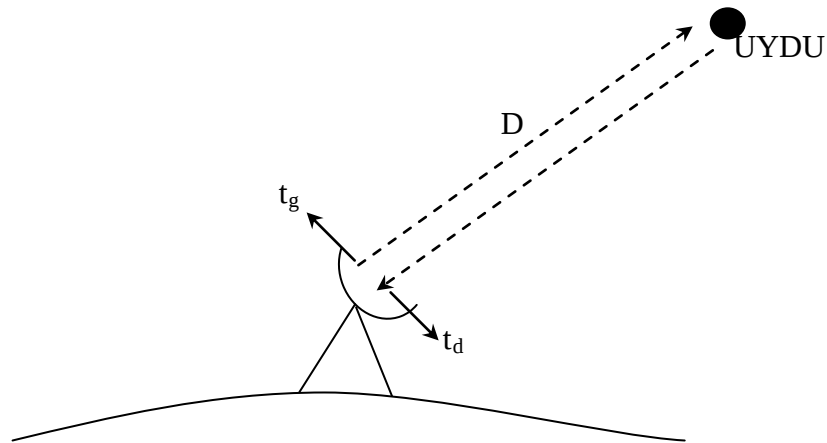
VLBI ölçmeleri 1977 yılında NASA tarafından başlatılmıştır. 1990 yılına gelindiğinde küresel bir ağı haline dönüşen VLBI ş uan da dünya üzerinde değişik

ülkelere dağılmış sabit ve gezeici olmak üzere bir çok istasyona sahiptir. (Yeats ve diğ., 1997, Çakmak, 2001, Murray, 1991)

VLBI, gök merkezli Jeodezik teknikler içinde en yüksek doğruluğa sahip olan tekniktir. Ayrıca hava koşullarından etkilenmeleri nedeniyle, yer kabuğu hareketlerinin belirlenmesinde, yeryuvarının dönme hızının ve dönme ekseninin hareketlerinin belirlenmesinde, göksel koordinat sisteminin temel altlığının oluşturulmasında ve birçok tektonik hareket ve sismik deformasyonların belirlenmesinde başarı ile kullanılmaktadır. California da San Andreas fayının GPS ölçmeleri ile kinematığının belirlenmesi sırasında da kullanılmıştır (Yeats ve diğ., 1997, Oral, 1994). Bu avantajlarının yanı sıra taşınabilir olmaması, yüksek maliyeti ve geniş hacimli bir donanım ihtiyacı olması nedeniyle dünya üzerinde homojen dağılımı sürekli istasyonlar bulunmamaktadır.

2.2.2 SLR

SLR (Satellite Laser Ranging – Yapay uydulara lazer ile boy ölçmeleri), Küresel levha hareketlerinin belirlenmesinde kullanılan bir diğer uzay jeodezisi tekniğidir. Bu teknikte, istasyon noktasından uyduya yöneltilen lazer vuruşunun uyduya gidiş-dönüş zamanı çok hassas biçimde ölçülmektedir. Yer istasyonu ile uydu arasındaki mesafe gidiş-dönüş zaman farkının atmosferdeki ışık hızı ile çarpımının yarısına eşit olacaktır.



Şekil. 2.2

$$D = \frac{1}{2} * (t_d - t_g) * c \quad (1.2)$$

Burada; D ; yer istasyonu ile uydu arasındaki mesafe

c ; atmosferdeki ışık hızı

t_g ; lazer vurusunun gönderme zamanı

t_d ; lazer vurusunun dönüş zamanı

Yer istasyonlarında SLR ölçmelerine ait üç çeşit veri saklanmaktadır. Birinci; uydu ile yer istasyonu arasındaki mesafeler, ikinci; istasyon noktasının ölçme uzayı içinde bulunan uyduların konumları ve üçüncüsü ölçülen zamanlardır.

Elde edilen bu verilerden iki şekilde yararlanılmaktadır. Birinci metod; kaydedilen veriler, eşzamanlı olarak aynı SLR uydusuna yöneltilen diğer istasyon noktaları ile karşılaştırılmaktadır. Bu metod ile iki istasyon noktası arasındaki mesafe büyük bir doğrulukla hesaplanabilmektedir. İkinci metod ise; istasyon konumlarını belirlemek için yeryüzü üzerindeki tüm SLR istasyonlarının verilerini kullanarak uydu yörüngelerini periyodik olarak hesaplamaktır. Uydu yörüngeleri dairesel veya elips şeklindedir. Fakat yeryuvarının gravite alanlarının değişimine göre uydu yörüngelerinde küçük sapmalar olmaktadır. Ayrıca uydu yörüngeleri, güneşin radyasyon basıncına ve uydunun yerden yüksekliğine bağlı olarak hassasiyet göstermektedir. Bu yörünge değişim etkenlerinin etkilerini minimuma indirmek üzere hazırlanan LAGEOS uydusu 1976 yılında yörüngeye oturtulmuş ve yapılan ölçümler sonucu istasyon konumları hassas bir şekilde elde edilmiştir. LAGEOS uydusundan başka EXPLORER-B, STARLETTE, AJISAI ve ETALON uyduları da SLR ölçmeleri için yörüngeye oturtulmuş uydulardır.

SLR ölçmeleri ile istasyon noktalarının konum doğrulukları lazer vurularına bağlı olarak $\pm 1-3$ cm ile $1-6$ m arasında değişmektedir (Tablo 1). 1990 yılı itibarı ile dünya üzerinde 50 SLR istasyonu bulunmaktadır. Bu istasyonlar sayesinde küresel yer kabuğu hareketlerinin modellenmesi sağlanabilmekte, yeryuvarının dönüşü, çekim alanına ilişkin parametrelerin elde edilmesi ve yersel referans sistemini/sistemlerinin oluşturulması mümkün bulunmaktadır (Çakmak, 2001, Yeats ve diğ., 1997).

Tablo 2.1. Lazer sistemlerde vuru duyarlılık ilişkisi

	Vuru Uzunluğu (ns) (1ns = 15cm)	Mesafede Hedef Edilen Duyarlılık
I. GRUP	10-40	1-6 m
II. GRUP	2-5	30-100 cm
III. GRUP	0.1-0.2	1-3 cm

SLR istasyonları VLBI istasyonları gibi sabit ve hantal olmaktan çıkartılmış tüm ekipman gezici bir araç içine monte edilerek NASA tarafından taşınabilir hale getirilmiştir. Ayrıca uydularının uzun ömürlü olması başka bir avantaj olarak görülebilir. SLR tekniğinin en önemli olumsuz yanı ise uygun hava koşullarına ihtiyaç duymasıdır. Diğer uzay jeodezisi teknikleri hava koşullarından bağımsız çalışmalarına rağmen SLR bulutlu günlerde çalışmamaktadır. Bununla birlikte yüksek maliyeti de bu tekniğin diğer bir dezavantajıdır.

2.2.3 GPS

(Navigation System with Time and Ranging Global Positioning system – Küresel Konumlama Sistemi), günümüzde jeodezik ve jeodinamik uygulamalarında yoğun olarak kullanılan bir uydu jeodezisi tekniğidir. GPS, 1974 yılında Amerika Birleşik Devletleri savunma dairesi tarafından kurulan bir uydu bazlı navigasyon sistemidir. Bu sistem dünyanın her yerinde her an ve her türlü hava koşulunda yüksek doğrulukla konum hız ve zaman belirlemeyi mümkün kılar. GPS sistemi üç bölümden meydana gelmektedir;

Sistemin uzay bölümü, ekvatorla 55 derece eğim yapan 6 yörünge üzerine yerleştirilmiş, 12 saatte 1 devir yapan ve yükseklikleri 20200 km olan 24 aktif ve 3 yedek uydudan meydana gelir. Oluşturulan uydu dağılımı ile dünyanın herhangi bir yerinde, her an en az 4 uydu görmek mümkündür. Kontrol bölümü, GPS uydularını izlemek ve kontrol etmek, uydu yörünge zamanlarını kestirmek ve düzenli olarak her uydu için navigasyon mesajını yenilemek amacıyla dünyanın çeşitli yerlerinde kurulmuş olan yer istasyonlarından oluşur. Kontrol bölümü bünyesinde, ana kontrol istasyonu, uydu izleme ve yer antenleri olmak üzere 5 istasyon bulunur. Uydu izleme istasyonları, görünebilen tüm uydulardan veri alıp bu veriyi kendi bulundukları bölgenin meteorolojik verisiyle birlikte ana kontrol istasyonuna gönderir. Bu veriler

ana kontrol istasyonunda işlenip ileriye yönelik uydu yörünge ve saat bilgileri kestirimi yapılır. Bu bilgiler yer antenleri yardımıyla tekrar uydulara yüklenir.

Kullanıcı bölümü ise, çeşitli amaçlar için dizayn edilmiş GPS alıcılarından oluşur. GPS alıcısı genel olarak GPS uydu sinyallerini algılayan anten, duyarlı bir saat ve mikro işlemci den oluşur. Farklı tiplerde anten olduğu gibi tek veya çok kanallı alıcı tipleri de vardır.

GPS sinyalleri, L1 ve L2 olarak isimlendirilen iki farklı frekans üzerinden yayın yapmaktadırlar. Bu frekanslar 10,23 MHz standart uydu frekansının katları olarak aşağıdaki eşitliklerle hesaplanır,

$$L1=154*10,23 \text{ MHz}=1575,42 \text{ MHz} \sim 24 \text{ cm dalga boyu} \quad (1.3)$$

$$L2=120*10,23 \text{ MHz}=1227,60 \text{ MHz} \sim 19 \text{ cm dalga boyu} \quad (1.4)$$

GPS uyduları, yörünge koordinatlarını hesaplamak için gerekli bilgileri ve saat bilgilerini L1 ve L2 taşıyıcıları üzerine bindirirler. Bu amaçla P ve C/A olmak üzere farklı iki kod üretirler. Bunlardan P kodu (precise/protected), 10,23 MHz frekansında ve yaklaşık 30 m dalga boyundadır ve her milisaniyede bir tekrar edilir. Bu kod sadece L1 taşıyıcısı üzerine bindirilmiştir. Tablo 2.2 de sinyallere yönelik bilgiler verilmiştir. (Kınık, 1999)

Tablo 2.2 GPS sinyallerinin özellikleri (f_0 =temel frekans)

SİNYAL	YAPISI	FREKANS	DALGA BOYU	YAK HATA
L1 taşıyıcısı	$154 f_0$	1575,42 MHz	19 cm	1,9 mm
L2 taşıyıcısı	$120 f_0$	1227,60 MHz	24 cm	2,4 mm
P- Kodu	F_0	10,23 MHz	30 m	0,3 m
C/A kodu	$F_0/10$	1,023 MHz	300 m	3 m

GPS sisteminde en basit ölçme tekniği kodlar kullanılarak gerçekleştirilir. bu ölçme tipinde, sinyalin uydudan yayımlandığı andan alıcıya ulaştığı ana kadar geçen zamanın ışık hızı ile çarpılması ile uydu ve yer yüzünde bulunan alıcı arasındaki mesafenin bulunması sağlanır. Elde edilen bu mesafe, alıcı saatinin yeteri kadar hassas olamamasından oluşan saat hatalarını içerdiğinden pseudorange olarak adlandırılır. Kınık (1999)'da pseudorange tanımlaması “Hümm (HUAM)” olarak türkçeleştirilmiştir. HUAM için genel eşitliği;

$$c[(t_R + \Delta t_R) - (t^s + \Delta t^s)] = \rho_R^s + I_R^s + T_R^s \quad (1.5)$$

şeklinde dir. (1.3) eşitliği düzenlenerek ise;

$$c(t_R - t^s) = \rho_R^s + c(\Delta t_R) + I_R^s + T_R^s \quad (1.6)$$

eşitliği elde edilir. eşitlikte,

t^s = uydu saati zamanı,

t_R = alıcı saati zamanı,

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

Δt_R = R alıcı saatinin GPS zamanından olan farkı,

I_R^s = İyonosfer etkisi,

T_R^s =Troposfer etki

c =Işık hızı (299792458 m/sn)

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

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

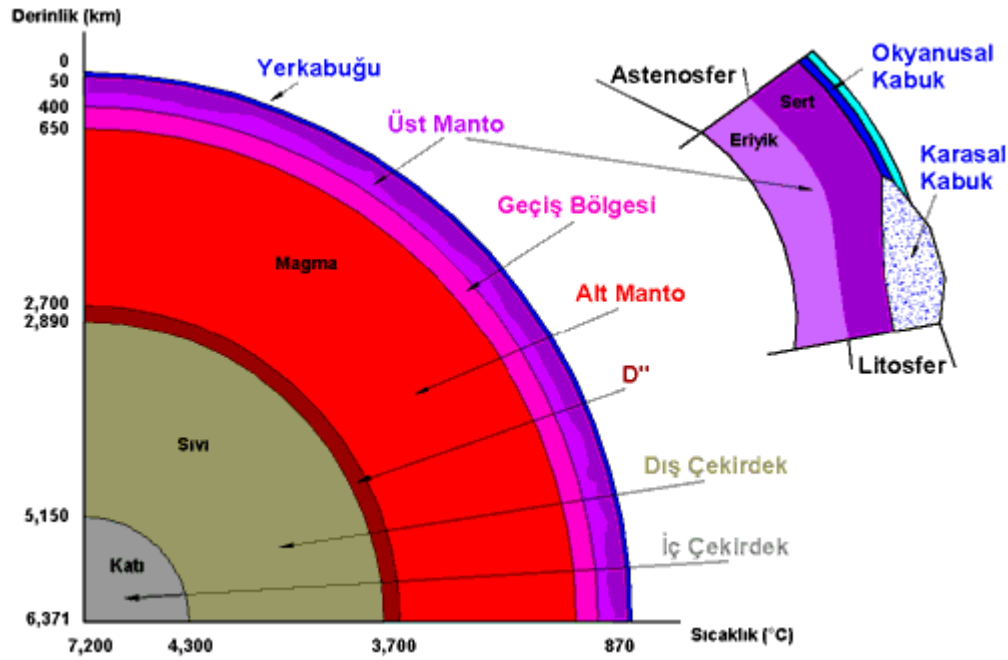
Teze konu olan kabuk deformasyonlarının GPS yöntemi ile belirlenmesinde HUAM yönteminin yeterli olamayacağı çok açıktır. Bu gibi yüksek doğruluk isteyen uygulamalarda Taşıyıcı Dalga Fazları kullanılan ölçme tekniği kullanılır.

GPS, yer bilimlerine yönelik çalışmalarda jeodezik ölçme tekniği özelliği ile yoğun bir şekilde kullanılır olmuştur. (Herring 1999, Henton, 2000, Khazarade, 1999). Hava şartlarından etkilenmemesi, noktaların birbirini görme şartını ortadan kaldırması, üç boyutlu konum hesabında yüksek doğruluk sağlama, diğer tekniklere göre daha az bütçe gerektirmesi ve portatif özelliği taşıması bu geniş uygulama alanını yaratmıştır.

Yeryüzündeki göreceli hareket miktarları hakkında bilgi edinebilmek amacıyla belli noktaların uzun zaman aralıklarıncı izlenerek değişimleri gözlenmektedir. Gözlem noktalarının birbirine göre değişimleri ile yeryüzündeki gerilme birikiminin ve dönme eksenini etkileyen parametrelerin hesaplanması sağlanmaktadır. Bu çalışmada, nokta konumlarının çok duyarlı bir şekilde belirlenmesi koşulunun sağlanması gerekmektedir ve jeodezik yöntemler önem kazanmaktadır. Kabuk deformasyonuna yönelik uygulamalar daha çok levhaların kesiştiği bölgelerde yoğunluk kazanmaktadır. Bu bölgelerde görülen göreceli hızlar 100 mm/yıl'a kadar yükselebilmektedir.

2.3 Levha Hareketleri ve Jeodezik Yöntemlerle Belirlenmesi

Yerküre'nin üst katmanları, bir bütün halinde olmayıp, sürekli hareket halinde olan levhalardan oluşmaktadır. Manto'daki ısı akımlarının neden olduğu bu hareketler sırasında levhalar birbirinden uzaklaşır, birbirlerine çarpar veya birbirlerini sıyırlar. Bu hareketlilik sonucunda, levha sınırlarına, uzun zaman dilimleri boyunca baktığımızda yeni okyanuslar, yeni kıtalar, sıradağlar ve yanardağlar olduğu görülmektedir. Depremler ve volkanik aktivitelerin nedeni de tüm bu hareketliliktir. Birbirlerine bağlı olarak hareket eden levhaların sınırları birkaç yıl içinde meydana gelmiş yukarıda bahsedilen hareketliliklerin (deprem episantırlarının) dağılımı ile belirlenebilmektedir. Bu durum aynı zamanda levhaların hareketli olduğunu da kanıtlamaktadır (Şekil. 1 ve Şekil 2) (Ketin, 1993).



Şekil. 2.3 Yeryuvarı kesiti

Levha hareketleri yerkürenin oluşumundan beri sürmektedir. Süper kıta Pangea'nın bundan yaklaşık 225 milyon yıl önce parçalanmaya başladığı ve bu hareketliliğin sonucunda kıtaların günümüzdeki şekli aldığı düşünülmektedir.

Günümüzde Litosfer'de 1 ila 15 cm/yıl arasında hızlarla hareket halinde bulunan 7 ana ve birçok küçük levha vardır. Bunların hareketleri çok karmaşıktır ve bu hareketlerin niteliğinin tam olarak saptanması, depremlerin önceden kestirilmesi çalışmaları içinde önemli bir yer tutmaktadır (Şekil. 2).



Şekil. 2.4 Litosfer tabakasının oluşturan levhalar

Levhaların birbirleriyle etkileşimleri bakımından levha hareketleri 3 ana başlıkta toplanır: Uzaklaşma-ayrılma; yaklaşma-çarpması; yanıl yer değıştirme (Ketin, 1993).

2.3.1. Uzaklaşan- Ayrılan Levhalar (Divergent Plates)

Birbirinden uzaklaşan levhalar, aralarına Astenosfer'den gelen eriyik kayaların sızdığı yarıklar oluşturur. Bu eriyik yüzeye çıktıktan katılabilir ve yer kabuğuna eklenir. Astenosfer'den gelen eriyik kuvvet uygulamaya ve böylece levhalar birbirinden ayrılmaya devam eder. Bu ayrılma genel de daha ince olan okyanus tabanında görülür ve Atlas Okyanusu ortasındaki sırt buna çok iyi bir örnektir. Bu ayrılma kıtada meydana gelirse yeni bir okyanus tabanı oluşuyor demektir. Doğu Afrika'daki ayrılma henüz bir deniz oluşması için yeterli değilse de, geniş o yöndedir. Bu tür ayrılmalar, Astenosfer'den gelen eriyiğin katılarak Litosfer'e dönüşmesine ve levhaların büyümesine neden olur. Uzaklaşan levhalar arasında Litosfer çok ince olduğu için, buralarda büyük depremlere yol açacak enerji birikimleri olmaz. Buradaki depremlerin odakları çoğu zaman yüzeye yakındır (Ketin, 1993).

2.3.2 Yakınlaşan- Çarpışan Levhalar (Convergent Plates)

Levhaların birbirine yaklaşması ve çarpışması ise üç değişik şekilde olabilir:

a) Okyanussal ve kıtasal levha karşılaşmalarında, daha yoğun olan okyanussal levha (yoğunluğu 2.8 - 3.0 gr/cm³) , kıtasal levhanın (yoğunluğu 2.7 gr/cm³) altına dalar (subduction). Altına dalan kısımlerinde indiği yerde ergimeye başlar ve bu magmanın bir kısmı, kıta tarafında yanardağ küvelerinin oluşumuna neden olur. Güney Amerika Levhası'nın altına dalan Nazca Levhası'nın yol açtığı And Dağları buna bir örnektir .

b) İki okyanussal levhanın karşılaşmasında da, yine bir levha diğeri'nin altına dalar. Yüzeye çıkan magma okyanus tabanında yanardağlar oluşturmaya başlar. Eğer bu aktivite devam ederse, yanardağ okyanus yüzeyini aşabilecek yüksekliğe erişir ve adalar oluşur. Filipinler'deki birçok volkanik ada bu şekilde oluşmuştur.

c) İki kıtasal levhanın karşılaşmasında ise, genellikle levhalardan hiçbiri diğeri'nin altına dalmaz. Levhaların arada sıkışan bölümleri yeni dağlar oluşturur. Himalayalar'ın halen süren oluşumu buna iyi bir örnektir.

Yakınlaşan ve çarpışan levhaların sınırlarında oluşan depremler çok değişik derinliklerde ve büyüklüklerde olabilir. Özellikle bir levhanın diğeri'nin altına daldığı bölgelerde odakları derinlerde büyük depremler oluşur.

2.3.3 Yanal Yer Değiştirme (Lateral Slipping)

İki levhanın birbirini sıyrarak yer değiştirmesi sırasında Litosfer'de artma veya azalma olmaz. İki levha arasındaki sürtünme çok fazla olduğu için harekete belli bir süre direnç gösterirler. Bu bölgede artan gerilim periyodik büyük depremler ile çözülür. Kuzey Anadolu fay hattı ve California'daki San Andreas fay hattında bu tip levha hareketi gözlenir.

Bu tip levha hareketlerinde oluşan depremlerin odakları çoğunlukla yüzeye yakın veya orta derinliktedir. Sürtünme ve kırılma uzunca bir hat boyunca oluşabileceği için büyük depremler meydana gelebilir. (Ketin, 1993).

Levha hareketlerinin incelenmesi sayesinde bugün, büyük depremlerin %90'ının nerelerde olacağını belirlemek mümkündür. Ancak zamanlarını kestirmek için levha sınırlarındaki davranışların detaylı olarak araştırılması gerekmektedir. Bu araştırmaların her levhanın sınırlarında birebir arazi uygulamaları ile yapılmasının maliyet ve coğrafi dağılım bakımından ne kadar zor olacağı ve hatta mümkün olmayacağı tahmin edilebilir. Bu nedenle levha hareketlerini anlamlı olarak belirlemek levhaların sınırlarına yakın kontrol noktaları yardımı ile jeodezik yöntemler kullanılarak diğer yöntemlere göre çok daha kolay gerçekleştirilebilir. Özellikle 20. yüzyılın son çeyreğinde gelişen uzay jeodezisi bu anlamda levha hareketlerini belirlemede önemli roller üstlenmektedir. Bu yöntemler VLBI, SLR ve GPS olarak bilinmektedir.

2.3.4 Levha Hareketlerinin GPS Teknolojisi İle Belirlenmesi

GPS'in kabuk hareketlerinin belirlenmesi amacıyla dönük olarak kullanımı günümüzde dünyada çok yaygınlaşmıştır (Chan, 2002, Hutton, 2000, Mao 1998, Zhang 1996). Uygulamada levhaların hepsini temsil edebilecek GPS noktalarından oluşan ağların yardımıyla lokal hareketlerin belirlenmesi yoluna gidilmektedir. Bunun için öncelikle yer yüzeyine yayılmış olan ve koordinatları çok uzun süren gözlemlerden sonra yüksek doğrulukla bilinen noktalardan faydalananıdır. Lokal ölçekteki uygulamalarda, fayın yakın ve uzak çevresine yeteri kadar GPS noktası tesis edilerek gözlemlere başlanır. Belli aralıklarla tekrarlanan GPS gözlemlerinin değerlendirilmesi sonucu noktaların ilk tesis edildikleri andan son ölçmelerin yapıldığı zamana kadar olan yer değiştirmeleri belirlenir. Belirlenen yer değiştirme veya hız vektörleri yardımıyla bölgede oluşan stress ve strain parametrelerinin hesaplanması ve dolayısı ile de olası bir deprem konusunda bilgilendirme mümkün olmaktadır. Levha hareketlerinin belirlenmesi küresel ve bölgesel olmak üzere iki başlık altında incelenebilir.

Levha hareketlerinin, istasyon bazında düşünüldüğünde levha hareketlerini anlamlı olarak ortaya çıkarmak çevresini de kapsayan genel bir çalışmayı ve ilgili problemlerin çözülmesini gerektirmektedir. Bu problemler istasyon noktalarının hızlarını ve yönlerinin belirlenmesini içermektedir. Bahsedilen problemlerin çözümü için de yeryüzünü yaklaşık olarak kapsayan bir jeodezik ağı ihtiyaç vardır. Bu amaçla oluşturulan en büyük jeodezik ağ olarak IGS (International GPS Service)

önderliğinde işletilen ağı gösterebiliriz. Bu ölçekte bir çalışma için kullanılacak jeodezik yöntem maliyet, sürat ve ekipman kolaylığı itibarı ile GPS olmalıdır. GPS teknolojisi hakkında daha geniş bilgi 2.2.3 başlığı altında verilmiştir (Nam 1999, Park 2000, Sella 2001).

I GS, GPS izleme istasyonları, veri toplama ve işleme merkezlerinden oluşmuş, yüksek kalitede GPS verisini ve sonuçlarını elde edilmesi ile neredeyse eş zamanlı olarak internet üzerinden kullanıcılara değişik amaçlar için sunan bir küresel sistem olarak ifade edilebilir.

I GS, GPS izleme istasyonlarından verileri toplar, uygun formatta arşivler ve yapılacak uygulamalara yetecek doğrulukta kullanıcıya sunar. Bu noktada I GS ürünleri; Bölüm 3 de ayrıntılı olarak anlatılan 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.

I GS, 25 Nisan 2003 tarihi itibarı ile 358 istasyona sahiptir. Bu istasyonlardan elde edilen veriler ondan fazla olan veri işlem merkezlerinde değerlendirilmektedir. Ayrıca I GS bünyesinde üç global veri merkezi ve yedi büyük analiz merkezi ve birkaç tane de yerel analiz merkezi bulunmaktadır. I GS, 1 Ocak 1994 tarihinde ilk ürünlerini sunmaya başlamıştır. Bu tarihten önce 1993 yılında IAG'nin bir servisi olarak ve daha sonra 1996 yılında da FAGS (The Federation of Astronomical and Geophysical Data Analysis Service)'ın bir üyesi olmaktadır.

I GS tarafından toplanan ve arşivlenen GPS verilerinin değerlendirilmesi ile uydu yörünge bilgileri, yer dönme parametreleri, I GS'e bağlı sürekli istasyon noktalarının koordinatları ve hızları, uydu ve alıcı saat bilgileri gibi ürünler elde edilmektedir. Bu hizmetlerden yararlanan, bölgesel ağlarda çalışan kullanıcılar, kendi ağlarını yersel referans sistemine oturtmakta ve yüksek doğruluklarla bölgesel ağın istasyon noktalarına ait koordinatları ve bu noktalara ait hızları elde etmektedirler.

I GS ağında toplanan veriler ile ağına ait istasyon noktalarının yatay hızları 5 mm/yıl'dan daha iyi bir standart sapma ile belirlenmektedir. Elde edilen bu ürünler sadece uydu yörünge bilgilerinin elde edilmesinde değil yeryüzü dinamiğini anlayabilmek için de kullanılmaktadır. Yeryüzü dinamiği çalışmalarında temel

konular ise, istasyonlarına göre içindeki hareketleri, ağına yöneltilmesi içindeki değişimleri ve ağına ötelenmesi olduğu söylenebilir (Herring 1999). Bu konuda yapılan uygulamalarda, aktif faylardan uzaktaki istasyonlardan elde edilen sonuçların, jeolojik levha hareketlerine yönelik önceden yapılan kestirimleri doğruladığı görülmektedir. (Çakmak, 2001)

I GS sistemine bağlı global veri merkezleri;

CDDIS (Crustal Dynamics Data Information System, ABD)

IGN (Institut Géographique National, Fransa)

SIO (Scripps Institution of Oceanography, ABD)

I GS sistemine bağlı analiz merkezleri;

CODE (Center for Orbit Determination in Europe, İsviçre)

ESOC (European Space Operations Center, Almanya)

GFZ (Geoforschungszentrum, Almanya)

JPL (Jet Propulsion Laboratory, ABD)

NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration, ABD)

NRCan (Natural Resources Canada, Kanada)

SIO (Scripps Institution of Oceanography, ABD)

olarak sıralanabilir.

Ülkemizde IGS ağına bağlı altı nokta bulunmaktadır (ANKR- Ankara, ISTA- İstanbul, TRAB- Trabzon, MERS- Mersin, DYR2- Diyarbakır, TUBI- Tübitak, Gebze). GPS verilerinin analizinde yukarıda bahsedilen IGS noktalarından Diyarbakır noktası dışındakiler değişik sayıda kullanılmıştır. Bölüm 4 de GPS verilerinin analizi hakkında daha geniş bilgi sunulacaktır.

Levha tektoniği Dünya yüzeyindeki deformasyonun, en iyi rijid plakalar arasındaki bağıl hareketler ile tanımlandığını göstermektedir. Plakalar 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 bağlamda, GPS ve diğer uzaysal ölçme teknikleri, levha tektoniği alanında eskiden beri varolan modelleri geliştirmek görevini üstlenmiş durumdadırlar. Bunun yanında GPS yardımı ile daha önceden klasik jeodezi yardımıyla ortaya konan 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 (sismikite, paleosismite, 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 (Gral, 1994, Yeaths, 1997, Zhang, 1999).

Özellikle, 1980'lerden itibaren, depremlere neden olan aktif kırık sistemleri boyunca depremler öncesi (interseismic/preseismic), depremler sırasında (coseismic) ve depremler sonrasında (postseismic) meydana gelen deformasyonların belirlenmesinde, GPS etkin biçimde kullanılmaya başlanmıştır. Sürekli gözlem yapan GPS istasyonları, anlık deformasyon hareketlerinin belirlenmesini ve sismik riskin sürekli olarak izlenmesi olanağını sağlamıştır.

3. JEODEZİK YÖNTEMLERE AİT REFERANS SİSTEMLERİ

3.1. Referans Sistemleri

Jeodezik çalışmaları ilk dönemlerinde yeryuvarının dönme ekseninin hareketini güneş ve ayın çekimleri ile hareket eden katı yeryuvarı modeli ile açıklamak yeterli olurken günümüzde yapılan çalışmaların VLBI (Very Long Base Interferometry), SLR (Satellite Laser Ranging) ve GPS (Global Positioning System) uygulamaları için daha presizyonlu referans sistemleri tanımlamak gereklidir. Bu tezin konusu olan çalışmada kullanılan sistem GPS olduğu için referans sistemlerinin tanımlanması da bu yönde olacaktır.

Jeodezide kullanılan başlıca referans sistemleri yersel ve uzaysal olarak ikiye ayrılmaktadır (Akan, 1999). Uzaysal referans sistemi de kendi içinde göksel ve yörüngesel olmak üzere iki ana gruba ayrılabilir. Zaman sistemi de yukarıdaki referans sistemlerini birbirine bağlayan üçüncü bir sistem olarak görülebilir. Bu nedenle bahsedilen referans sistemleri birbirine paralel doğrultuda ele alınmalıdır.

Yukarıda belirtilen referans sistemlerinin tanımlanmasında esas alınan yeryuvarının dönme ekseninin uzaydaki konumunu, zamana bağlı bir fonksiyon olarak veren “1980 IAU (International Astronomy Union) Nutasyon Teorisi” günümüzde geçerli olan teyordür. Teori yeryuvarı dönme ekseninin tüm dış etkenlerle oluşan hareketlerini içerir. (DENİZ, 1988) Yersel referans sistemleri yeryuvarı üzerinde konumların ve hareketlerin belirlenebileceği bir konvansiyonel yersel sistemdir. İdeal dik koordinat sistemi olarak da tanımlanabilecek olan bu sistemin merkezi yerin ağırlık merkeziydir. Sistemin Z ekseniyeryuvarının ortalama dönme ekseniyile çakışktır ve CIO (Conventional International Origin)’e doğru yönelmiştir. Sistemin X ekseniyGreenwich ortalama astronomik meridyen düzlemi ile ortalama ekvator düzleminin arakesitinde uzanır ve Z eksenine diktir. Y ekseniyise sistem sağ el sistemi olacak şekilde seçilmiştir. Yerinyoğunluk dağılımı homojen olmadığı

için dönme ekseninin zamana bağlı olarak değişim gösterdiği bilinmektedir. Her bir Tani için yerin gerçek kutbu değişmektedir ve gerçek kutup ile tanımlanan kutup arasındaki bağlantıyı sağlamak önemlidir. Bu bağlantı ise tüm parametrelerin zamanın fonksiyonu biçiminde ifadesi ile gerçekleştirilebilir. Konvansiyonel yersel koordinat sistemi VLBI, SLR ve GPS gibi tekniklerle gözlenen ağırlar ve 16 plakamın hareketlerinin NUVEL1- NNR De Mets ve diğ., (1990) modeline uygun olarak presizyonlu olarak tanımlanmaktadır. Bu ağlara ait istasyon koordinatları ile de Yersel Referans Sistemi (TRF Terrestrial Reference Frame) tanımlanır.

WGS- 84 (World Geodetic system 1984) TRF için bir örnektir.. Bu sistem 1500 den fazla yersel istasyon tarafından tanımlanmıştır ve 1987 yılından bu yana GPS için referans teşkil etmektedir.

TRF için diğer bir örnek ise, IERS (International Earth Rotation Service) tarafından oluşturulan ITRF (International Terrestrial Reference Frame) dir. ITRF'in belirlenmesinde levha hareketlerinin de tanımlandığı 180 den fazla istasyondan yararlanılmıştır.

Jeodezi de kullanılan ikinci referans sistemi ise göksel (inersiyal) sistemdir. Bu sistemin amacı uzayda, yeryuvarı da dahil olmak üzere gök cisimlerinin hareketlerini izlenmesidir. Jeodezi k astronomiden bilindiği üzere dört gök koordinat sistemi mevcuttur. Bunlar ufuk, saat açısı, ekliptik ve rektasansiyon sistemleridir. Burada bahsedilen Konvansiyonel Gök Koordinat Sistemi bir Ortalama Rektasansiyon Sistemi'dir. Sistemin Z eksenini 2000 yılındaki Ortalama gök kutbuna CEP (Conventional Ephemeris Pole) ve X eksenini yine aynı tarihteki ekliptik ile gök ekvatorunun arakesit doğrultusunda olan ortalama ilkbahar noktasına (vernal ekinoks) yönelmektedir. Y eksenini ise sağ el sistemi oluşturacak şekilde seçilmiştir. Böyle bir sistemin tanımlanması ve gerçekleştirilmesi için, çok sayıda referans ağı oluşturan gözlem ve istasyonlardan farklı teknikler kullanılarak gözlem ve değerlendirme çalışmaları yapılmaktadır. Hareketli ve sabit VLBI istasyonlarından astrogalaktik radyo kaynakları ve optik olarak yıldızlar gözlenmektedir. Bu gözlemler sonucu elde edilen veriler Göksel Koordinat Sistemi (CRF/IRF) tanımlanmasında kullanılır. Bu referans sistemine örnek IERS tarafından oluşturulan ICRF verilebilir.

Günümüzde TRF ve CRF (IRF)'in sürekliliği IERS tarafından, IGS (International GPS Service for Geodynamics) koordinatöründe sağlanmaktadır. Bu kurumlar ise IUGG (International Union of Geodesy and Geophysics) ve IAU (International Astronomical Union) tarafından desteklenmektedir.

3.2 Sistemler Arasında Dönüşümler ve Dönüşümü Etkileyen Parametreler

Bilindiği üzere GPS verilerinin analizinde iki çeşit koordinat sistemine ihtiyaç duyulur. Bu koordinat sistemleri, yeryüzündeki GPS istasyonlarının üç boyutlu koordinatlarının ve hızlarının tanımlandığı TRF (Terrestrial Reference Frame), uyduların koordinatlarının ve hareketlerinin tanımlandığı IRF (Inertial Reference Frame) sistemleridir.

Bu iki sistemin arasındaki transformasyon,

$$X_{IRF} = P N S W X_{TRF} \quad (1.7)$$

Eşitliği ile ifade edilir (Çakmak, 2001).

Bu eşitlikte X_{TRF} TRF sistemindeki koordinat vektörü ve X_{IRF} ise IRF sisteminde yine aynı vektörü gösterir, ayrıca P, N, S, W ise iki koordinat sistemi arasındaki dönüşüm matrislerini tanımlamaktadır.

W (kutup hareketi) matrisi, TRF sisteminin Z ekseninin anlık dönme eksenine göre rotasyonun hesaplanmasında kullanılan iki açısal büyüklüğü içermektedir. X ve Y ekseninde meydana gelen bu dönüşler x, y kutup koordinatları olarak tanımlanır. Bu büyüklüklerin zamana bağlı olarak değişimi, yeryuvarının litosfer olarak adlandırılan 100 kilometrelik dış kısmının 20 ayrı plakadan oluşmasından meydana gelmektedir. Bu hareket bir dereceye kadar periyodiktir (Chandler periyodu) ve yaklaşık bir devri 434 gün civarındadır. Nedeni bilinmesine karşın kutup hareketinin zamana bağlı değişiminin kestirimi mümkün değildir. Bu nedenle IERS tarafından içinde GPS'in de bulunduğu değişik uzay teknikleri kullanılarak elde edilen veriler değişik aşamalardan geçirilerek iki ayrı bülten olarak yayınlanır. Bülten A yaklaşık değerler ile bir hafta içinde yayınlanır, bülten B ise, kesin değerler ile bir ay içinde yayınlanmaktadır.

S matrisi, yeryüzünün kendi dönme eksenindeki değişimi tanımlar. Bu matriste belirtilen değişimin zamana bağlı olarak kestirimi mümkün olmayan bileşeni mevcuttur. Bu nedenle bu değişimde yine kutup hareketinde olduğu gibi IERS tarafından bültenler ile yayınlanmaktadır.

Burada bahsedilen diğer matrisler P ve N ise sırası ile presesyon (topaç hareketi) ve nutasyonu (baş sallama hareketini) tanımlamaktadır. Bu matrisler inersiyal referans sisteminde dönme ekseninin ekliptik eksenine etrafındaki hareketini ifade etmektedir. Hareketin bağımsız kısmı presesyon matrisi ve periyodik kısmı ise nutasyon matrisi ile ifade edilmektedir. Yeryüzünün bu hareketleri güneşin, ayın ve gezegenlerin yeryüzü üzerindeki çekim kuvvetinin değişimidir. Zamana bağlı olarak uzaklıkların artması veya azalması ile orantılıdır. Bu nedenle presesyon ve nutasyon zamanın bir fonksiyonu olarak periyodiktir ve kestirilmesi mümkündür. Bunların yanında yeryuvarının homojen dağılımlı bir küre olması ve atmosferik etkiler nedeni ile yaklaşık 0.2 mas (miliarsecond) genliğe sahip (yeryüzünde yaklaşık 6 mm uzunluğa eşit) kestirimi mümkün olmayan bileşen de mevcuttur (Çakmak, 2001).

4. GPS VERİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

4.1. Giriş

Kabuk deformasyonlarının belirlenmesi gibi yüksek doğruluk gerektiren çalışmalarda ticari yazılımlar GPS verilerini beklenen doğrulukla değerlendirememektedirler. Bu nedenle üniversiteler ve enstitüler bu tür uygulamalarda kullanılmak üzere çeşitli yazılımlar geliştirmişlerdir. Bugün kabuk hareketlerinin belirlenmesi gibi yüksek doğruluk gerektiren uygulamalarda GAMT/ GLOBK, BERNESE ve GPSY gibi bilimsel yazılımlar kullanılmaktadır. Bölüm 5 de anlatılacak olan uygulama kısmında verilen değerlendirme sonuçları Massachusetts Institute of Technology- tarafından geliştirilen GAMT/ GLOBK yazılımındaki kullanılarak üretilmiştir. Linux işletim sistemi üzerinde çalışan bu yazılıma değerlendirme yapmadan önce değişik alıcılardan elde edilen veriler alıcıdan bağımsız hale getirilmiş yani RINEX (The Receiver Independent Exchange Format) formatına dönüştürülmüştür.

RINEX formatına dönüştürülen veriler iki adımda işlenmektedir (Feigl ve diğ., 1993). İlk adımda GAMT modülü ile işlenmiş veriler elde edilmekte (King ve Bock, 2002), ikinci adımda, GAMT modülünden elde edilen işlenmiş veriler (quasi-observations) ile GLOBK modülünde kalan filtrelenmesi uygulanarak değişik amaçlı çözümler gerçekleştirilmektedir.

4.2 GAMT/ GLOBK Yazılımı

GAMT modülü ile çözümler her bir gün için ayrı ayrı yapılmaktadır. Yazılımın bu modülü ile uydu yörüngelerini sayısal olarak belirlemek ve faz ölçmelerini modellemek gibi işlemler yapılabilir. Bunların yanında GAMT'in asıl fonksiyonu, taşıyıcı fazdaki tamsayı belirsizliğini ve atmosferik etkiler ile saat hatalarını da

hesaba katarak gözlenen ve teorik olarak elde edilen ölçmelerin farklarına dayanan uydu yörüngelerini ve nokta konumlarını lineer kestirimle dengelenektir. Optimal faz belirsizliklerinin belirlenebilmesi için genel olarak tek bir oturum (session) dikkate alınır ve lineer olarak bağımsız faz ölçmelerinin çift farkları kullanılarak birden fazla dengeme işlemi gerçekleştirir. Uygun yersel referans sistemi tanımlamak için bazı noktaların ve zaman zaman da bazı uyduların dengeme öncesi (apriori) koordinatlarına ağırlıkları arttırılır. Belirsizlikler bir kez çözüldükten sonra tüm nokta ve uydu parametrelerinin ağırlıklarının oldukça azaltıldığı iki ek dengeme işlemi yapılır. Bunlardan birincisinde tamsayı belirsizliği çözülmüş olarak; ikincisinde ise daha önceden saptanan tamsayı belirsizlikleri kullanılarak dengeme yapılır. Bu iki dengeme işlemi sonuçları daha sonra GLOBK yazılımında kullanılacak olan bir oturumun ölçme serisini oluşturur.

GLOBK yazılımının ilk işlem adı mda uydu saatleri ve uydu ön yörünge bilgileri elde edilir. Yörünge ve HUAM(Ham Uydu Alıcı Mesafesi) bilgileri ile apriori nokta koordinatlarına dayalı olarak ilgili istasyon saat düzeltmeleri hesaplanır. İkinci aşamada ise devir kesiklikleri (cycle slips) saptanır ve ortadan kaldırılır. Uydu yörüngeleri ve nokta koordinatlarının apriori modeli, gözlenen faz ve HUAM ölçmeleri ile karşılaştırılan teorik gözlemlerin hesaplanmasında kullanılır. Devir kesiklikleri, gözlem farkları hesaplanması ve iyonosfer ve saat hatalarının etkilerini ortadan kaldıran faz gözlemlerinin kombinasyonlarının değerlendirilmesi ile saptanır. GAM T, güvenli olarak kaldırılması mümkün olmayan fakat yanlış kestirilmesi durumunda ilgili diğer jeodezik parametreleri zayıflatacak olan tamsayı devir kesikliklerini gösteren ek parametreler eklenmesi özelliğine de sahiptir.

Uydu bilgileri ve nokta koordinatlarının apriori kestirimlerine dayalı teorik faz ve HUAM ölçmelerini hesaplamak için birkaç değişik fiziksel model GAM T tarafından kullanılmaktadır. Bunlar uyduların iç referans sistemleri içindeki hareketlerinin kestiriminde kullanılan kuvvet modelleri ve uydu ile alıcı arasındaki yayılma gecikmesini tanımlayan modellerdir.

Bir uydunun yörüngesi, solar radyasyon basıncı ile ay, güneş ve yer küresinin gravitasyonel potansiyelinden ortaya çıkan kuvvetlerin uydu üzerindeki etkilerinin yanında; hız ve uydunun başlangıç konumunu tanımlayan bir durum vektörü ile saptanabilir.

GAM T, bir uydunun hareketini sayısal olarak hesaplayabilmekte, faz ve HUAM kestirimlerine dayanarak solar radyasyon basıncının parametrelerinin bir bölümünü ve uydu durum vektörünün altı parametresinin lineer sapmalarının kestirimini sağlayabilmektedir.

Uydu iç referans sistemi ile yersel referans sistemi arasındaki ilişki yer dönme parametreleri ile yerin nutasyonu ve presesyonundan ileri gelen hareketleri gösteren bir dizi rotasyon matrisi ile tanımlanır. Presesyon ve nutasyon bilgileri ile yer dönme hareketi bilgileri dünyada bu konuda ölçme ve yayın yapmakta olan kuruluşların almanaklarından ve tablolarından alınır.

Teorik yayılma gecikmeleri, atmosferik refraksiyon modelleri ile uydu ve alıcıların apriori konumlarından saptanmaktadır. Güneşin ve ayın konumuna bağlı olarak katı yer çekim etkisinden ileri gelen zamanla değişen bir düzeltme ise nokta koordinatlarına eklenmektedir. Genel olarak, alıcı ve uydu saatlerine ikinci dereceden polinom düzeltmeleri getirilmektedir. Hidrostatik (kuru) ve su buharı bileşimleri nedeniyle oluşan atmosferik yayılma gecikmeleri iki model ile saptanmaktadır.

Teorik faz ve HUAM gözlemleri, nokta ve uydu konumlarının apriori modellerine göre bir kere hesaplandıktan sonra bu apriori değerlere, oturumlar boyunca (bir oturum 1 saatten 24 saate kadar sürebilir) yapılan faz ve HUAM gözlemlerine dayanan bir dizi en küçük kareler dengelenmesi uygulanır. GAM T, birbirinden bağımsız çift-farkları oluşturmak üzere bir algoritma kullanmaktadır. Üç boyutlu koordinatlar, her bir uydunun altı başlangıç koşulu, radyasyon basıncı parametresi ve her bir noktaya ilişkin oturum boyunca geçerli modellenmeyen atmosferik refraksiyon etkisi için zenit gecikme parametresi ve birbirinden bağımsız çift-fark faz belirsizlik parametreleri dengelenme sonunda belirlenir (King ve Bock, 2002).

Çift-fark oluşturulmuş iyonosferden bağımsız gözlemleri kullanan ilk dengelenmede tüm parametreler belirlenir. İlk dengelenmede saptanan birbirinden bağımsız çift-farkların faz belirsizlik parametreleri, faz verisinin dağılımı ve baz uzunluğuna dayalı eşleme ile orijinal taşıyıcı faz belirsizliklerinden üretilir. Bu eşleme, kısa baz uzunluklarından elde edilen belirsizlik çözümünün daha güvenli olması nın avantajını

ağınta nı m i çinde kullanarak en kısa bağı nı z yola göre birbiri nden bağı nı z çift-fark kü mesi ni oluşt ırur.

Bir sonraki adı m L1 ve L2 faz gözlemlerini bağı nı z olarak kullanarak çift-fark uzun dal ga (wide-lane) boylu belirsizlik parametreleri i çin en iyi uyan tansayı yı iteratif olarak saptamak işlemdir. Bu adı mda tansayı değerleri saptanacak olan belirsizlik değerleri dışındaki tüm parametreler ilk iyonosferden bağı nı z dengeleneden elde edilen değerlerine sabitlenir. Uzun dal ga (wide-lane) boylu belirsizlikler bir kere güvenli bir şekilde çözüldükten sonra doğru tansayı değerlerine yuvarlanır ve tüm parametreleri saptamak ve ardışık olarak kısa dal ga (narrow-lane) boylu belirsizlikleri çözmek i çin iyonosferden bağı nı z çift-farklı gözlemler üzerinde başka bir dengeleme işle mi yapılır.

Belirsizliklerin çözü lmesi ana cı ile gerç ekleştirilen bu tek bir ölç me periyodunun dengeleme hesaplarında büyük ağrlıklar az sayıda noktanın koordinatlarının dengeleme hesaplarında uygun bir yersel referans sistemi tanı m sağlamak i çin uygulanır. Belirsizlikler çözüldükten sonra tüm nokta ve uydu parametrelerinin ağrlıkları azaltılarak iki dengeleme daha gerç ekleştirilir. Bu dengelemelerde uygun apriori değerlerin seçilmesi, GLOBK kestir nelerini yanlış yönde etkile me mek ve aynı zamanda GAM T çözümlerinin de yeterli yaklaşı klıkta başlangı ç değeri verilene mesi nedeniyle ortaya çıkacak sayısal yetersizlik problemlerinden etkilenene mesi ni sağlamak i çin öne midir. İlk dengelemede, tüm belirsizlikler serbest olarak saptanır ve tansayı değerlerinin çözü lmesi i çin hiçbir girişimde bulunul maz ve bu dengeleme iyonosfer bağı nı z-eğilim bağı nı z (biases-free) olarak adlandırılır. İkinci dengelemede tansayı belirsizlikleri, büyük ağrlıklar ile kısıtlanarak yapılan dengeleneden ve belirlenen diğer tüm parametrelerden elde edilen önceki değerlere yuvarlatılırlar ve bu dengeleme iyonosfer bağı nı z-eğili m bağı nı (biases-fixed) olarak adlandırılır. Bu tek-ölç me periyodu gözlemlerinin dengelenmiş değerleri, ağrlıklı ortalama nokta koordinatları, nokta hızları, uydu parametreleri ve GPS gözlemlerinin kısa ve uzun dönemli presi zyonunu saptamak üzere GLOBK yazılı m tarafından kullanılır.

GLOBK temel olarak uydu-jeodezisi yardım ile elde edilmiş ölç nelerin değerlendiril mesi nden elde edilen çözümleri bir araya getirerek, kal nan filtresi İnce, (1999) uygulanması işle mi ni gerç ekleştirir. GLOBK veri olarak asıl ölç nelerin

analizinden üretilen nokta koordinatları, yörünge parametreleri ve yerin dönüş parametrelerinin değerlendirilmiş değerleri ile ilgili varyans-kovaryans matrislerini veri olarak kabul eder (Herring, 2000).

Kalman filtrelemesi, parametrelerin ardışık olarak kestirimini sağlayan bir yöntemdir. Verilen bir başlangıç durum vektörü ve kovaryans için kalman filtresi, durum vektörü ve kovaryans kestirimini iyileştirmek için ek bilgiler 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 dengelenmesi gerçekleştirilir; ölçmelerin ağırlıklı ortalamalarının ve hız gibi diğer model parametrelerinin ardışık kestirimlerini veren “ileri” (forward) çözüm ve ileri çözüme göre ölçme düzeltmelerinin saptanmasını sağlayan bir “geri” (backward) çözüm.

Bu olanakların kullanılabilmesi için, küçük değerlerle ağırlıklandırılmış apriori kabuller GAMT’te tüm nokta koordinatlarına ve uydu konum vektörlerine uygulanır. GAMT’in nokta ve uydu vektörü sonuçları, büyük varyanslı ve korelasyonlu bir kovaryans matrisine sahiptir, ancak yüksek miktarlarda kısıtlanmış çözümlerin normal geometrik ilişkilerinin sürmesine olanak sağlar. Örneğin, bir durum vektörü, üç nokta konumu üzerinde yüksek miktarla kısıtlanmış bir kalman filtresi tekniği kullanarak birleştirilirse sonuçtaki çözüm vektörü GAMT’te kestirilen modele lineer olarak yakın bir apriori model kullanılırsa aynı kabulleri kullanarak saptanan çözümün aynısı olur. Bu teknik, koordinatların eş zamanlı saptanması için birden fazla oturumdan gelen dengelenmeleri birleştirmek kapasitesine sahiptir ve hem nokta hem de uydu parametrelerindeki farklı apriori kabullerin kullanımının etkisini test etmek için etkin bir yöntemdir. Bu olanaklar özellikle farklı güvenilir ağların kullanılmasından çıkarılan dengelenmelerin 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 duyarlı nokta kestirimi sağlama gereken birden fazla oturum bilgisi kullanmaya eşdeğerdir. Zamanla göre noktaların hızlarını tanımlayan parametreler bu çerçeveye kolayca oturtulabilir ve bu oranla ilgili nokta koordinat kestirimlerinin dağılım

oturumlar arasındaki nokta koordinatlarını serbest bırakmak için stokastik (zamanla bağılı) süreçler koyularak kestirilebilir (Herring 2000).

İdeal durumda tek ölçme periyodu dengelenmesi için güvenli bir ağı oluşturan ağırlıklandırılmış noktalar coğrafi olarak iyi dağılmışlardır, yani hesaplanan bazlar üzerinde konum hatalarının etkisini daha az indirmek için bu noktalar birbirlerinden binlerce kilometre uzaktadır ve uydu yörüngelerinin hesabını iyileştirmek için hem doğu-batı hem de kuzey-güney yönünde iyi bir dağılıma sahiptirler. Daha güvenilir bir ağ ve baz uzunluklarının iyi bir dağılımı ile tansayı belirsizliklerinin büyük bir bölümü çözülebilir. Tek bir ölçme periyodu dengelenmesinde tansayı belirsizliklerinin tümü çözüldüğü sürece; güvenilir ağın geometrisinde günden güne olan değişimler ve koordinatların belli bir hata aralığında sınırlandırılmış olması önemli değildir, çünkü bunlar GLOBK kalman filtre analizinde uniform olarak bir araya getirilirler (Tari, 1999, Herring 2000, Çakmak 2001).

Kuzey Anadolu Fayı ile birlikte görülen diğ er bir yapısal unsur da bu faydan ayrılan ve güneye doğru bir kavis çizerek uzanan ve doğrultu atı m ege men olan faylardır. Bu kollardan başlıcaları Ece niş, Al mus, Sungurlu ve Laçin-Kızılirmak faylarıdır. Yakın zamanda Anadolu'yu ve Arap ve Afrika levhalarını kapsayacak şekilde yapılan GPS (Küresel Konumlanma Sistemi) ölçümleri, Arap Yarı nadasının her yıl 18 ± 2 mm kuzeybatıya doğru ilerledi ğ ini buna ba ğ lı olarak Anadolu'nun, Kuzey Anadolu Fayı boyunca senede 24 ± 2 mm batıya hareket etti ğ ini ve Anadolu bloğunun Sina yarı nadasındaki bir kutup etrafında güneybatıya doğru döndüğ ünü açık bir biçimde göstermiştir (Oral, 1994, McClusky, 2000). Kuzey Anadolu Fayından ayrılarak güneye doğru konkav bir biçimde uzanan faylar da bu dönmenin bir sonucudur.

KAF'ın en önemli özelliklerinden biri orta kısmında görülür. Burada KAF, güneye doğru uzanan içbükey kollar içerir. Bu kollar genel olarak sağa yanal atı mlıdır. Sungurlu Fay'ı olarak bilinen kol bunların en büyüklerinden biridir. Bu fay Nıksar'dan başlar ve güneybatıda Çankırı Havzası'na kadar uzanır. Diğ er önemli kollar M erzifon ve Laçin faylarıdır fakat bu faylar ise literatüre pek geçmemiş ancak yakın zamanlarda depremler üretmiş aktif faylardır. Kuzey Anadolu Fay'ından ayrılarak güneye doğru, kavisler çizerek devam edentali kolların sist mık açıdan aktif oldu ğ u bu kollar üzerinde meydana gelen depremlerin Tablo 5.1 verilmesi ile belirtilmektedir.

Tablo 5.1. KAF'ın Orta Segmentinde Son Yüzyılda Meydana Gelen Başlıca Depremler

Tarih	Yerleşim	Büyükölç
9 Mart 1902	Çankırı	5.5
25 Haziran 1910	Osmanlı (Çorum)	6.1
21 Kasım 1942	Osmanlı (Çorum)	5.6
2 Aralık 1942	Osmanlı (Çorum)	5.9
20 Aralık 1942	Erbaa (Tokat)	7.1
1 Şubat 1943	Laçın (Samsun)	7.3
13 Ağustos 1951	Kurşunlu (Çankırı)	6.9
6 Haziran 2000	Orta (Çankırı)	5.9

Bu çalışmaya konu olan bölgede -batıda Kurşunlu-İlgaz, doğuda Amasya-Havza, güneyde ise Sungurlu yerleşim birimi ile sınırlanan alan içerisinde- gerek Kuzey Anadolu fayının ana kolu gerekse yukarıda belirtilen tali kollar bölgeyi biçerek bazı kıtasal bloklara bölmüşlerdir. Bu fayların sınırladığı bu kıtasal bloklar yakın zamanda gerçekleştirilen araştırmalara göre fayların etkisi ile bağımsız hareket etmekte ve düşey bir eksen etrafında farklı yönlerde dönmektedir (Tüysüz, 2003).

5.2 Projenin Amaçları

Türkiye'nin en önemli neotektonik yapılarından biri olan Kuzey Anadolu Fayı boyunca 1988 yılından bu yana sürdürülen ve devam eden çalışmalar Türkiye'nin tümünü kapsamak üzere planlanmış ve Türkiye'nin tüm bölgelerine dağılmış noktalardan oluşmuş olduğu için belirtilen bölge gibi mikro ölçekteki alanların bilgisi verilmekten uzaktır. Mevcut çalışmalar özellikle söz konusu bölgedeki GPS noktası sıklığı çok düşük yoğunlukta olduğu için 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 ulaşılmış hedeflenmiştir.

5.3 İstikşaf ve GPS Ölçmeleri

KAF'nın orta segmentinde beklenen yanal hareket yılda 2 cm civarındadır. Bu hareketleri gerekli doğrulukta belirleyebilmek için GPS istasyonlarının zorunlu merkezleştirme donanımına sahip olması gerekmektedir. Bu nedenle ağda kullanılacak noktaların pilye veya kaya zemin üzerine monte edilmiş çelik çubuklardan oluşması planlanmıştır. Bu bağlamda projenin arazi öncesi çalışmalarla tasarlanan noktaları aşağıdaki kriterlere uygun şekilde seçilmiştir,

- Bölgedeki tektonik hareketliliğin karakteristik özelliklerini belirleyecek şekilde uygun dağılımda seçilmesi,
- Uygun dağılımda seçilen istasyon noktalarının zorunlu merkezleştirme donanımına sahip olması, (Pilye, kaya veya sert zemine gömülü çelik çubuk vb.)
- Güvenlik ulaşım ve lojistik açısından elverişli olması,
- Etrafında fazla yapılaşma olmaması, dolayısı ile maksimum sayıda uydu görebilmesi,
- Noktaların sağlam zeminde olması,

Bu koşullara sahip noktaları yeniden tesis etmenin maliyeti göz önünde bulundurularak bu bölgede yukarıdaki özelliklere sahip diğer kuruntarca tesis edilen eski pilyelerin mevcut durumları kontrol edilerek uygun olanların kullanılması yoluna gidilmiştir. Arazi öncesi yapılan ön çalışma ile tasarlanan noktasayı 25 iken arazi istikşafı sırasında bölgenin fiziki yapısı ve noktaların istenen koşulları sağlanması nedeniyle 21 adet noktası elverişli bulunmuştur. Gereken maliyet ve gerekse donanım kısıtlamaları nedeniyle bu noktalardan 15 adedi ORTA- KAF GPS ağına dahil edilmiştir yalnızca Osmanlık çevresinde herhangi bir pilye bulunmadığı için orada çelik çubuk ile tesis yapılmıyoluna gidilmiştir.

Arazi de tespit edilen 15 pilyeden tahrip olmuş fakat onarımla kullanılabilecek olanlar beton ve diğer güçlendirme malzemeleri ile tamir edilmiş ve ölçmeye hazır hale getirilmiştir. Arazi de 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 pil ye rehberi hazırlanmıştır.



Şekil. 5.2 ORTA-KAF GPS Ağı İstasyon Noktaları

Nokta isimleri olarak istasyon noktasına en yakın yerleşim yerini karakterize eden dört harfli isimler seçilmiştir. Alaca noktası için uygun görülen ALAC ismi, Kanada’da bir IGS noktasının ismi olduğu için değerlendirme sırasında ALAI olarak değiştirilmiştir. (Tablo 5.2).

Tablo 5.2 ORTA-KAF GPS ağı istasyon noktaları

İstasyon Adı	Yerleşim Bölgesi	İstasyon Adı	Yerleşim Bölgesi
ALAC	Alaca	HMMZ	Hamamözü
CNKR	Çankırı	HVZA	Havza
DDRG	Dodurga	IHGZ	İhsangazi
GBAG	Göllübağlar- Amasya	KRGİ	Kargı
GHAC	Gümüşhacı köyü	KVAK	Kavak
GKCB	Gökçebel	ORTC	Ortalıca
GÖLİ	Göl	OSMC	Osmanlıca
GYNC	Göynücek	SNGR	Sungurlu

Oluşturulan GPS ağı nın kapsadığı çalışma alanı yaklaşık 16500 km² dir. Ölçülen en uzun baz İhsangazi (IHGZ)- Kavak (KVAK) arasıdır ve yaklaşık 200 km

uzunluğundadır. Ölçülen en kısa baz ise Ösmancık (ÖSMC)-Dodurga (DDRĞ) arasıdır ve 16 km uzunluğundadır.

5.3.1. Birinci Kampanya GPS Ölçmeleri:

2001 yılı Ağustos ayı içerisinde istikşafı ile belirlenen noktalarda ilk GPS kampanyası gerçekleştirilmiştir. Kampanyaya İTÜ Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü, İTÜ Avrasya Yer Bilimleri Enstitüsü ve TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi (MAM) Yer ve Deniz Bilimleri Araştırma Enstitüsü (YDBAE) destek vermiştir. Ayrıca bu üç kurumun yanı sıra ekipman olarak Ashtech Türkiye temsilcisi Geomatics firması da kampanyaya katkıda bulunmuştur. 2001 yılında gerçekleştirilen birinci kampanya ekipmanları ve bu ekipmanlara ait IGS kodlarına göre teknik bilgiler aşağıda sunulmuştur (Tablo 5.3). IGS kodlarına göre özellikleri belirlenen ekipmanlardan antenlerin faz merkezi diyagramlarına ayrıca özen gösterilmiştir. Bu diyagramlar ile arazi de ölçme sırasında anten yükseklikleri neli metre doğrulukla belirlenmiştir. Bu hassasiyette yüksekliklerin belirlenmesi için anten yükseklikleri dört ayrı noktadan kontrollü bir şekilde ölçülerek ortalamaları alınmıştır.

Tablo 5.3 Birinci GPS Kampanyasında Kullanılan Donanımlar ve IGS Kodları

GPS Alıcısı	Anten Bilgileri	Adedi	Kurumu
TRI MBLE 4000SSI	L1/ L2 microcentered TRMB3429.00- GP	1	TÜBİTAK- MAM
TRI MBLE 4000SSI	L1/ L2 Dörne Mergolin element with choke-rings TRM29659.00	2	TÜBİTAK- MAM
ASHTECH Z- XI3 700845- 10(G)	Geodetic III “ Whopper” ASH700718B	1	GEOMATICS
ASHTECH Zxtreme	Geodetic IV Rew A with groundplane ASH701975.01 Agp	3	İTÜ
LEICA SR399E	External micropulse antenna L1/ L2, no groundplane with series 300 receivers LEI AT302- GP	1	İTÜ
LEICA SR399	Internal antenna with Ball element L1/ L2, part of the SR399 receiver LEI SR399_ INT	1	İTÜ

Birinci kampanya ölçmeleri üçer günlük iki aşamada ve toplamda altı günde tamamlanmıştır. Kampanyanın birinci aşamasında, GKCB- Gökçebel, ORTC- Ortalıca, KRĞ- Kargı, ALAC- Alaca, GHAC- Gümüşhacı köy, HVZA- Havza ve

KVAK- Kavak istasyonlarından oluşan toplam yedi istasyon, üç gün boyunca ölçül müşlerdir. İkinci aşama ise, GBAG- Amasya Gölübağlar, DDRG- Döğurğa, OSMG- Osmancık, CNKR- Çankırı, GYNG- Göynücek, GOL1- Göl ve HMMZ- Hamamözü istasyonlarından oluşan diğer yedi istasyonun benzer şekilde üç gün ölçül mesi şeklindedir (EK A1). Kampanya boyunca yapılan tüm ölçmelerde 15 sn aralıklı veri kaydı esas alınmıştır. GPS anteni etkileyen ve ufuk çizgisine yakın olan verileri kaydetmemek, atmosferik gecikmeler veya anten faz merkezi değişimlerini modellemekte yetersiz olmak ve nokta yüksekliklerini daha hassas belirlemek için ufuk açısı 10° olarak belirlenmiştir. Kampanya süresince 636 saat 39 dakikalık veri toplanmıştır. Sürekli istasyonlardan toplanan veriler 254 saat 52 dakikadır. Birinci kampanyada en az süreli veri 23 saat 28 dakika ile Çankırı- CNKR noktasından ve en çok veri de 33 saat ile Gümüşhacıköy- GHAC noktasından elde edilmiştir. Bir günde minimum ölçme 7 saat 30 dakika ile Çankırı noktasında ve maksimum ölçme 13 saat 10 dakika ile Gümüşhacıköy noktasında gerçekleştirilmiştir (EK A1). Birinci kampanya boyunca hiçbir noktada 7 saatten az ölçme yapılmadığından dolayı ölçme tekrarı yapılmamıştır.

Birinci kampanya ölçmeleri boyunca iki aşama arasında gerekli ilişkiyi sağlamak ve ağda meydana gelebilecek içsel ölçme hatalarını kontrol edebilmek için SNGR (Sungurlu) ve IHGZ (İhsangazi) noktaları sürekli istasyonlar olarak seçilmiştir.

5.3.2 İkinci Kampanya GPS Ölçmeleri:

İkinci kampanya ölçmeleri 2002 Ağustos ayı başlarında gerçekleştirilmiştir. 2002 yılında yapılan ikinci periyot GPS kampanyasına birinci kampanyada olduğu gibi İTÜ Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü, İTÜ Avrasya Yer Bilimleri Enstitüsü ve TÜBİTAK-MAM YDBAE destek vermiştir. Ayrıca bu üç kurumun yanı sıra ekipman olarak Ashtech Türkiye temsilcisi Geomatics firması da kampanyaya katkıda bulunmuştur. İkinci kampanya da kullanılan donanımların listesi, adedi ve IGS tanımlı özellikleri aşağıda verilmiştir (Tablo 5.4).

Tablo 5.4 İkinci GPS Kampanyasında Kullanılan Donanımlar ve IGS Kodları

GPS Alıcısı	Anten Bilgileri	Adedi	Kurumu
TRIMBLE 4000SSI	L1/L2 microcentred TRMB3429.00+GP	1	TÜBİTAK-MAM
TRIMBLE 4000SSI	L1/L2 Dorne Margolin element with choke-rings TRM29659.00	2	TÜBİTAK-MAM
ASHTECH Z-Surveyor	Dual freq marine antenna Model 700700.C	4	GEOMATICS
ASHTECH Zxtreme	Goedetic IV Rew A with groundplane ASH701975.01 Agp	3	İTÜ
LEICA SR399E	External micropulse antenna L1/L2, no groundplane with series 300 receivers LEI AT302-GP	1	İTÜ
LEICA SR399	Internal antenna with Ball element L1/L2, part of the SR399 receiver LEI SR399_INT	1	İTÜ

İkinci kampanya ölçmeleri yapılmadan önce arazide noktaları tesislerinin bakım ve onarımlarının yapılması için arazide yaklaşık bir haftalık bir ön çalışma gerçekleştirilmiştir. İkinci kampanya ölçmeleri ölçme süresi olarak iki aşamada toplam 6 günde tamamlanmıştır. IHGZ (İhsangazi) ve ALAC (Alaca) noktaları kampanya boyunca farklı günlerde yapılan ölçmeleri birleştirerek ve ölçme hatalarını kontrol etmek için sürekli istasyonlar olarak seçilmiştir. Kampanyanın ilk üç gününde CNKR- Çankırı, GHAC- Gümüşhacı köy, GKCB- Gökçebel, GOL1- Göl, HMMZ- Hamamözü, KRGI- Kargı, ORTG- Ortalıca, SNGR- Sungurlu istasyonlarından oluşan toplam sekiz istasyon, üç gün boyunca ölçülmüştür. İkinci üç günde ise, DDRG- Dodurga, GBAG- Amasya Gölübağlar, GYNC- Göynücek, HVZA- Havza ve KVAK- Kavak OSMC- Osmancık istasyonları da benzer şekilde ölçülmüştür (EK A1). Kampanya boyunca yapılan ölçmelerde 15 saniye aralık alınarak kaydedilmiştir. Birinci kampanyada açıklanan nedenlerden dolayı ikinci kampanyada da ufuk açısı 10° olarak belirlenmiştir. İkinci kampanya boyunca 712 saat 27 dakikalık veri toplanmıştır (EK A1). Birinci kampanyaya göre daha iyi ekipmanlara sahip olunması ve bölge koşullarına uyum 100 saatlik daha fazla verinin toplanmasına olanak vermiştir. Bu bağlamda istasyonlardan elde edilen ölçmelerin 316 saat 33 dakikalık kısım sürekli istasyonlardan elde edilmiştir. İkinci kampanya boyunca elde edilen verilerden en kısa süreli olan 4 saat 52 dakika ile Gökçebel- GKCB noktasında ve en uzun süreli olan 12 saat 30 dakika ile Gümüşhacı köy- GHAC istasyonundan elde edilmiştir. Toplamda minimum ölçü ise 23 saat 40 dakika ile Göl- GOL1 noktasından ve maksimum ölçü ise 36 saat 20 dakika ile Gümüşhacı köy noktasından elde edilmiştir (EK A1). İkinci kampanya süresince Göl- GOL1 ve Gökçebel- GKCB istasyon noktalarında günlük ortalama 7

saatten az ölçme elde edildiği için kampanyanın son günü olan 224. günde bir günlük ek ölçmeler yapılmıştır.

İkinci kampanya ölçmeleri boyunca iki aşama arasında gerekli ilişkiyi sağlamak ve ağda meydana gelebilecek içsel ölçme hatalarını kontrol edebilmek için Alaca-ALAC ve İhsangazi-İHGZ noktaları sürekli istasyonlar olarak seçilmiştir. Birinci kampanyada sürekli istasyon olan Sungurlu-SNGR noktası gerek lojistik ve gerekse ilk yıl değerlendirmelerinden dolayı Alaca-ALAC noktası ile değiştirilmiştir.

5.4 GPS Verilerini Değerlendirilmesi

Birinci ve ikinci kampanyadan elde edilen veriler 4. bölümde ayrıntılı bir şekilde anlatılan GAMT/ GLOBK yazılımı ile değerlendirilmiştir. Öncelikle arazi de toplanan veriler alıcıdan bağımsız RINEX formatına dönüştürülmüştür. Değerlendirmeler üç adımda gerçekleştirilmiştir (Tari, 1999, Gal, 1994).

Birinci adımda, GAMT yazılımı ile her bir gün için ayrı ayrı LC (Linear Combination-Linear Kombinasyon) 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 edilir. Yapılan bu çözüm kullanılarak sistematik hatalar ve kaba hatalar ile faz kesiklikleri belirlenip giderilir. Bu aşamada, hem yerel ağı IGS noktalarından oluşmuş ağ ile ilişkilendirerek hem de milli metre duyarlıktaki koordinatlardan yararlanarak, yörünge bilgilerini hem de dünya dönüş parametrelerinin daha hassas hesaplanması için IGS ağına bağlı istasyon noktaları her iki yılın değerlendirmelerine ayrı ayrı katılmıştır (Tablo 5.5).

Tablo 5.5 Değerlendirme ye katılan IGS noktaları

2001 Yılı		2002 Yılı	
İstasyon Adı	Yeri	İstasyon Adı	Yeri
ANKR	Ankara- Türkiye	ANKR	Ankara- Türkiye
ISTA	İstanbul- Türkiye	ISTA	İstanbul- Türkiye
TUBİ	Tübitak- Türkiye	TUBİ	Tübitak- Türkiye
MATE	Mat era-İtalya	MATE	Mat era-İtalya
Nİ CO	N cosia- Güney Kıbrıs	Nİ CO	N cosia- Güney Kıbrıs
SOFİ	Sofia- Bulgaristan	SOFİ	Sofia- Bulgaristan
TELA	Tel avi v-İsrail	ONS A	Ons ala-İsveç
WTZR	Koet zing- Almanya	WTZR	Koet zing- Almanya
ZECK	Zel enchukskaya- Rusya	ZECK	Zel enchukskaya- Rusya
Kİ T3	Kı t ab- Özbekistan	MERS	Mer si n- Türkiye
GRAZ	Gr az- Avusturya	GRAZ	Gr az- Avusturya
		TRAB	Tr abzon- Türkiye

Analiz işlemleri GAM T yazılı mında oturum tablosu (session table) kullanarak gerekli parametrelerin verilmesi ile yönetilmektedir (EK A2). Bu kontrol tablosu ile ölçülerin ağırlıklandırılması, tam sayı belirsizliği çözümünü, atmosferik parametrelerin ve yörünge parametrelerinin belirlenmesini ve model parametrelerinin (yer dönüş, yeryuvarı gel-git ve anten faz merkezi parametreleri) kestirimini yaparak kontrol etmek mümkündür. Bu kontrol tablosu ile birinci adımda gerçekleştirilen işlemlere yön verilmektedir.

Oturum tablosunun önemli girdileri şöyle sıralanabilir; 5. ve 6. satırlarında uydu parametreleri için kısıtlamalar ve 9 bileşenli radyasyon modeli (BERNE) parametreleri verilmiştir. Bu noktada verilen sayısal değerler (0,01 değerleri) IGS ve SOPAC tarafından uzun periyotlu ölçmelerle elde edilen değerlerdir. Analiz kontrol bölümünde, çözümün hangi ölçme türüne göre yapılacağı yani kombinasyonların alınması noktasında kullanılan komut (Choice of Observable) satırında belirtilir. LC_HELP ile iyonosfer bağımsız LC (lineer kombinasyonlar) göre tam sayı 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 parametrelerinin özellikle zenit gecikme parametrelerinin kestirimi gereklidir. Bu nedenle 0.5 m varsayılan değeri ile başlayan kestirim daha sonra parçalı doğrusal (piece wise-linear) model ile 100 saat boyunca $0.02 \text{ m} \sqrt{\text{Saat}}$ 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 cut off) 10° olarak alınmıştır. Tamayı belirsizliği çözümünde, iyonosferik kısıtlamalar (Ionospheric Constraint) ve tamayı belirsizliği çözümü (Ambiguity Resolution) girdi satırları ile kontrol edilir. GAMIT kontrol dosyası olan oturum tablosunda bu kontrol satırlarının yanı sıra yer dönme parametreleri, uydu yörünge parametreleri ve ölçüleri ağırlıklandırma ile ilgili kontrol satırları bulunmaktadır (King ve Bock, 2002).

İkinci adımda, ilk adımda elde edilen değerler, bu süreci kapsayan koordinat ve hızların hesabında kullanılmak üzere Kalman filtresi kullanarak filtre edilir. GLOBK adında yerel ağa ait işlenmiş ölçüler ile global olarak IGS den alınan işlenmiş ölçüler (h-file) birleştirilir. Bu çalışmada sırasında IGS tarafından üretilen i gs1, i gs2 ve eura genel ağları kullanılmıştır.

Üçüncü ve son adımda ise, tüm parametreleri belirlenen ve kendi içinde birleştirilen işlenmiş ölçülerden ağa ait hız belirlenmesi yoluna gidilir. Bu işlem için GLORG modülü kullanılmaktadır. Bu modül ile bölgesel ağın yersel (terrestrial) referans sistemine dönüştürülmesi işlemi gerçekleştirilir. Bu adımda genel olarak ikinci adımda birlikte uygulandığı için değerlendirme işlemi iki adımda da tanımlanmaktadır.

Verilerin adımları değerlendirilmesinde birçok yarar vardır. Özellikle verilerin yönetilebilirliği, esnek ve kolay çözüm yapma olanağı bu yaklaşımın sağladığı en önemli niteliklerdir. Verilerin ayrı ayrı değerlendirilmesi ile bilgisayar belleği ve işlemcisi etkin kullanılmaktadır. Bilgisayar belleğini gereksiz kullanımdan korumak için veriler yalnızca isimleri ve bulundukları dizinlerin yazılı olan bir kod dosyası vasıtası ile bulundukları yerden okunarak işleme katılmaktadır (Feigl ve diğ., 1993).

5.5 GPS Verilerinin Değerlendirilmesinde Kullanılan GAMIT/ GLOBK Modülleri

GPS verileri içinde faz ölçmeleri, yörünge bilgilerinin belirlenmesinde ve buna bağlı olarak nokta konumlarının kestiriminde gerekli jeodezik doğruluğu sağlamaktadır. Ancak verinin kalitesi bazen bir istasyon noktası için o noktadaki ölçülerini 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-Linear Kombinasyon) çözüm yapılması önem kazanmaktadır. Burada analizi için iki yöntem öngörülmektedir. Birincisi L_1 ve L_2 frekanslarında ölçü kaydedebilen modern alıcılarla yapılan ölçmelerin iki frekansı birleştirilerek saat ve iyonosfer hatalarından arınmış geniş dalga (wide-lane) ölçüleri elde etmektir. İkinci adım ise, çiftli 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 GAMT 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 dosyaya uygun şekilde yansıtılması ile çözülmesini sağlamak mümkündür (EK A3).

AUTOCLN modülünün önemli komutları aşağıda açıklanmıştır;

(allow_one_bg) komutu ile tek yönlü olarak bir noktadan belirlenen uydu hatası düzeltilir ve bu düzeltme aynı uydudan veri alan diğer istasyon noktalarının baz çözümlerine de düzeltme olarak getirilir. Bu komutta dikkat edilmesi gereken nokta çok kısa zaman aralıklı devirlerde (epoch) oluşan hataların aynı devirde yapılmış gibi algılanmasıdır. (ion_jump) komutu ile AUTOCLN modülü, farkları alınmış LG ölçülerinde alıcıların performanslarına bağlı olarak meydana gelen gürültüleri kontrol etmektedir. Bu noktada verilen başlangıç değerleri yüksek seçilmelidir. Bunun nedeni alıcı gürültüsü ile iyonosferik dalgalanmaya bağlı oluşan LG ölçülerinin gürültülerinin karışmasıdır. Bunun dışında başlangıç değerleri ekvator ve kutupta bile modülün ölçü atayacağı şekilde seçilmelidir. Bu bağlamda bu komut ile ölçülere hafif bir filtrelene yapılmaktadır. Bu modülün diğer önemli komutu (trim_one_way) ile faz kesikliği (cycle-slips) ve tam sayı belirsizliği (ambiguity) çözümlerini olumsuz etkileyen kısa ölçü segmentleri belirlenip ölçü kümesinden çıkartılır. Bu komut için verilen ilk iki değerden (1000 10) birincisi

ni ni mum zamanı saniye birinde, ikincisi ise parametre ekleme (bias flag) arasında kalan minimum devir sayısını göstermektedir. Verilen son iki değerden (0.2 50) birincisi toplam süre içerisinde bulunan en küçük parçayı ve ikinci değer ise son parametre eklemeden sonraki devir sayısıdır. (max_scan_edit) komutu ile AUTOCLN modülü, belirli bir istasyon veya uydudan alınan verilerin tümüyle değerlendirilmeden çıkartılıp çıkartılmamasına karar vermektedir. Bu komutta verilen sayısal büyüklük ölçülere eklenen parametre (bias flag) sayısının limitidir. (apply_phs_clk) komutu ise devir devir istasyon ve uydu osilatörlerinin değişimlerini hesaplar. Faz-zaman kestirimi iteratif olarak yapılmaktadır. Bu komut için verilen değer (2) kestirimi için kaç defa iterasyon yapılacağını belirtmektedir. (edit_site_sv) komutu ise problemlili olan verilerin veya bu verilerin bir bölümünün silinmesi veya ağırlığının azaltılması için kullanılır. Bu komut için verilen ilk değer istasyonu karakterize eden 4 harf veya (all) tümüdür. İkinci değer ise uydu PRN numarasıdır veya 0 (sıfır) yazılarak tüm uyduların kontrol edilmesi sağlanır. 3. ve 4. değerle ise kontrolün hangi devirler (epoch) arasında yapılacağı belirtilmektedir.

GPS verilerinin kalitesi için ilk adımda kullanılacak olan değer GAMT tarafından üretilen q dosyasında bulunan nrns (chi-karenin serbestlik derecesine oranı) değerleridir. Analiz bitiminde nrns değerlerinin 0.25'i aşmaması beklenir (King ve Bock, 2002). Bu dosyada nrns bilgisi yanında istasyon koordinatları, yer dönüş parametreleri ve uydu yörünge bilgileri sınırlamaları da bulunmaktadır. (EK A4)

Çeşitli jeodezik ölçülerden (VLBI, GPS vb.) elde edilen işlenmiş ölçüler (quasi-observation) GLOBK ile analiz edilebilir. Bu analizin ilk adımı ise günlük tekrarlılıkların hesaplanmasıdır. GLOBK modülü altında çalışan ve cmd uzantılı bir komut dosyası ile kontrol edilen “glred” modülü ile hesaplanan tekrarlılıklar, ölçülerdeki kaba hataları belirlemede ve ölçülerin güvenilirliği hakkında bilgi vermektedir. Tekrarlılıklardan görülen herhangi bir kaba hata varsa o güne veya istasyona ait çözümler tekrarlanır veya güvenilir olmayan çözüm değerlendirilmeden 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 OKAF GPS ağındaki noktalarda 2001 ve 2002 yıllarına ait tekrarlılıklar “glred” modülü ile hesaplanmıştır (EK A5, A6, A7, A8).

Hesaplanan tekrarlılıklar ölçülerde kaba hata olmadığı göstermiştir. Bununla birlikte tekrarlılıkların yüksekliğe ait presizyonu gösteren bileşeninin (UP) büyük değerlerde olması anten yüksekliklerinin ölçülmesinden kaynaklanan sıkıntılar olduğunu ortaya koymaktadır. Yapılacak olan ileri tarihli kampanyalarda anten yüksekliklerinin daha hassas bir şekilde ölçülmesi için yeni yöntemler veya ekipmanlar kullanılacaktır.

Günlük ölçülerde kaba hata olmadığı belirlendikten sonra cmd uzantılı bir dosya ile kontrol edilen “globk” modülü ile bölgesel ve IGS istasyonlarından oluşan genel ağı ait işlenmiş ölçüler (h-file) birleştirilmişlerdir. Birleştirme işlemi sırasında her bir işlenmiş ölçü (h-file) bağımsız olarak değerlendirilmeye katılmıştır. Aynı güne ait işlenmiş ölçülerin birlikte değerlendirilmesi için işlenmiş ölçüler alt alta yazılarak sonlarına “+” işareti ile işaretlenmeleri gerekmektedir (EK A 9). “globk” modülü ile farklı günlere ait işlenmiş ölçüler birleştirilerek bir tek işlenmiş ölçüye dönüştürülmüştür. “globk” modülü referans sistemini tanımlamadan birleştirme işlemini yapmaktadır. Referans sistemi tanımlanarak hız tahmini yapmak ve uygulanan sıkıştırma nın çözümü etkisini belirlemek için “glorg” modülü 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 diğer komutlar gibi cmd uzantılı bir kontrol dosyası ile yönetilmektedir (EK A 10). Bu komut dosyası sayesinde IGS tarafından belirlenen genel referans sistemine dönüşüm için kullanılan istasyon noktalarına, uydu yörünge parametrelerine ve yer dönüş parametrelerine kısıtlamalar getirilir. “globk” ve “glorg” modülü birlikte çalıştırılabilirdiği gibi ayrı ayrı da çalıştırılabilmektedir. OKAF çalışmaları sırasında birlikte çalıştırılan bu iki komut sonucunda ITRF00 referans sistemine göre koordinat sistemi tanımlanmıştır. Koordinat sistemi dönüşü sonrası stabilizasyon için kullanılan istasyon noktalarına ait karesel ortalama hata değeri 25 mm ve elde edilen chi-kare değeri 1.01 dir. Elde edilen hız bilgileri için referans sistemi olarak Avrasya plakası sabit alınmıştır (EK A 11). Bu hızlara ait yorumlar bölüm 6 da verilmektedir.

6. GPS VEKTÖRLERİNİN YORUMLANMASI VE SONUÇLAR

Şekil 6.2’de verilmiş olan GPS vektörlerinin grafik değerleri Anadolu levhasının batıya doğru yıllık ortalama 20 mm’lik hareketini net bir biçimde göstermektedir.

IHGZ (İhsangazi) istasyon noktasında elde edilen GPS vektörü o noktada anomali olduğunu göstermektedir. Bu noktadaki anomalinin yapılacak üçüncü bir kampanya ile tespit edilmesi ve değerlendirilmesi öngörülmektedir.

ORTC (Ortalıca) noktasında ölçülen doğu-batı GPS vektörü faya açılı olarak uzanmaktadır. Bu durumda fayın bileşenli olması beklenir. Nitekim Tosya ovasının kuzeyinde Kuzey Anadolu Fayı’nın ters fay niteliği gösterdiği gerek saha verileri ile önceki çalışmalardan gerekse fay çözümleri ile bilinmektedir (Tüysüz, 2003).

KRGİ (Kargı) noktası benzer bir nitelik göstermekte ise de burada fayın açılma nitelikli normal fay bileşenli olduğu saha çalışmalarından bilinmektedir. Bu noktadaki hata payının yüksek olduğu da göz önünde bulundurulmalıdır (Tüysüz, 2003).

GOL1 (Göl) ve KVAK (Kavak) noktaları aktif fayın kuzeyinde yer almaktadır. Bu iki nokta beklenen yönde hareket göstermektedir.

Merzifon fayının kuzeyinde yer alan GHAC (Gümüşhacı köy) noktası 23mm’lik hız ile bölgede görülen en yüksek hızlardan birisini sergilemiştir. Üzerinde 21 Kasım 1942 - 5,6 ve 2 Aralık 1942 - 5,9 Osmancık (Çorum) depremlerinin olduğu fay, jeolojî literatüründe yeterince tanınmamaktadır.

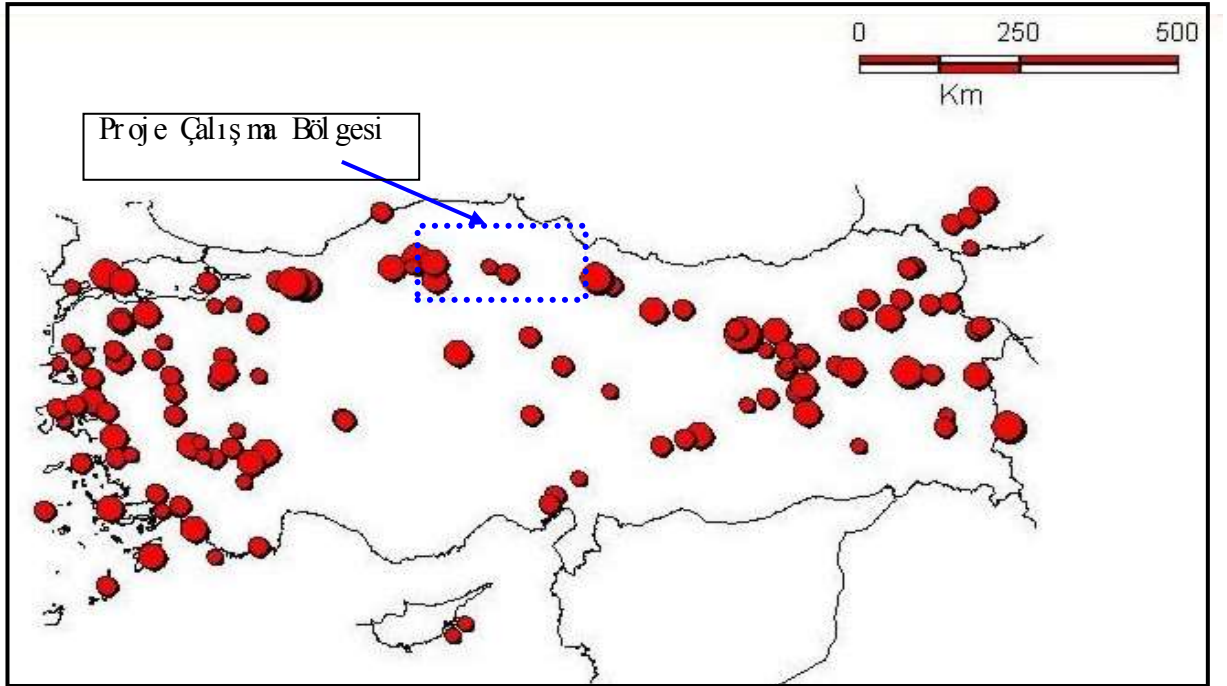
Bu araştırmanın önemli sonuçlarından bir tanesi de Merzifon Fayı’nın gerek GPS ölçmeleri ve gerekse aletsel depremlerin belirlediği gibi ciddi oranda bir aktiviteye sahip olduğudur.

DDRG (Dodurga), HMMZ (Hamamözü) ve GKCB (Cökçebel) noktaları Tokat Masifi ile temsil edilen bloğun batıya doğru hareketini belgelemektedir. GPS vektörlerinin Cökçebel noktasında batı - kuzeybatıdan Dodurga noktasına doğru saat ibresi yönündeki dönüşü Kuzey Anadolu Fayı’nın ana koluna yaklaşık 45° açılı yan

kolları ile kontrol edilmiştir. Bu durum Kuzey Anadolu Fayı'nın kuzeybatı – güneydoğu uzanım yan kollarının da blok hareketlerini kontrol ettiğini dolayısı ile aktif olduklarını işaret etmektedir.

Araştırmanın sonuçlarından birisi de Sungurlu Fayı etrafında elde edilen GPS vektörleri ile ortaya konulmuştur. Bu bölgede bulunan GYNC (Göynücek), ALAC (Alaca) ve SNGR (Sungurlu) noktaları Sungurlu Fayının iki tarafında olmalarına rağmen yaklaşık olarak aynı yön ve hızda vektörlere sahiptirler. Bu durum Sungurlu fayı üzerindeki hareketin Anadolu Bloğunun batıya doğru hareketine oranla önemenemeyecek kadar az olduğunu göstermektedir. Nitekim odak dağılımlarına bakıldığında da bu fay üzerinde depremetkinliğinin fazla olmadığı görülmektedir (Şekil 6.1) (Tüysüz 2003).

Şekil 6.1 Türkiye ve Çevresinde Son Yüzyılda Meydana Gelen Önemli Depremler
(<http://www.koeri.boun.edu.tr>'den alınmıştır.)



Günümüzde GPS ölçme tekniği ile kabuk hareketlerinin belirlenmesi çalışmaları yaygın olarak yapılmaktadır. Gelişen teknolojiler ile GPS alıcılarının kalitesi artmakta ve maliyetleri azalmaktadır. Maliyet, iş gücü, kullanım kolaylığı ve erişilen doğruluk nedenleriyle GPS teknolojisi jeodinamik çalışmalarda etkin bir şekilde kullanılmaktadır.

Ülkemizin Akdeniz-Himalaya deprem kuşağında bulunması ve yıllık 2-3 cm civarında bir hızla batıya hareketi ülkemiz kinematizmini incelemesinin gerekliliğini ortaya koymaktadır. Bu gereklilik 1999 İzmit ve Düzce depremleri ile bir kez daha anlaşılmıştır. Çok şiddetli depremlere neden olan Kuzey Anadolu Fayının merkez bölgesi bu çalışmaya konudan ölçmelerle incelenmiştir.

KAF'nın LVKI Segmentinde ORTA-KAF GPS ağı, çalışma bölgesinde bulunan blokların birbirlerine göre ve diğer plakalara göre olan hareketlerinin ve dönmelerinin belirlenmesi için kurulmuştur. Bölgenin aktif yapısına ait bilgiler verilmiş ve GPS ile yapılan kampanyalar aktarılmıştır. 2001 ve 2002 yıllarında yapılan kampanyalardan elde edilen analiz sonuçları ayrıntılı olarak sunulmuştur.

Elde edilen sonuçların doğruluğunu ve güvenilirliğini arttırmak ve yıllık hızların kontrolünü sağlamak için üçüncü bir kampanya gerekli görülmektedir.

KAYNAKLAR

- Alkan, S.**, 1999, Bir GPS Ağı Örneğinde 3 Boyutlu Dönüşüm Modellerinin İncelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Chen, Q.**, 2002, Crustal Deformation Along The San Andreas Fault And Within The Tibetan Plateau Measured Using GPS, *Doktora Tezi*, Alaska Fairbanks, Alaska
- Çakmak, R.**, 2001, Marmara Bölgesi'nde Kabuk Deformasyonlarının GPS Yardımıyla İzlenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- De Mets, C., Gordon R. G., Argus, D. E. And Stein, S.**, 1990, Current Plate Motions, *Geophys. J. Int.*, **101**, p. 425-478
- Dong, D.**, 1993, The Horizontal Velocity Field In Southern California From A Combination Of Terrestrial And Space-Geodetic Data, Massachusetts Institute of Technology, ABD
- Feigl, K. L., Agnew D. C., Dong, D., Donnellan, A., Hager, B. H., Herring T. A., Jackson, D. D., Jordan, T. H., King, R. W., Larsen, S., Larson, K. M., Murray, M. H., Shen, Z. And Webb, F. H.**, 1993, Space Geodetic Measurement of crustal Deformation In central and South California, 1984-1992, *Journal of Geophysical Research*, **21**, p. 677-712
- Herring, T. A.**, 1999, Geodetic Applications Of GPS, *IEEE*, **87**, 1
- Herring, T. A.**, 2000, Global Kalman Filter VLBI and GPS Analysis Program Massachusetts Institute of Technology, ABD
- Henton, J. A.**, 2000, GPS Studies Of Crustal Deformation In The Northern Cascadia Subduction Zone, *Doktora Tezi*, University Of Victoria, ABD
- Hutton, W.**, 2000, Postseismic Motion Following the 9 October 1955 Colima-Jalisco Earthquake: GPS Geodetic Constraints On Slip Along A Subduction Interface, *Doktora Tezi*, University Of Wisconsin – Madison, ABD
- İnce, C. D.**, 1999, Dinamik Sistemlerin GPS ve Kalman Filtresi ile Anlık Olarak İzlenmesi, *Doktora Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Ketin, İ.**, 1993, Genel Jeoloji, İ.T.Ü. Matbaası, İstanbul

- Khazarade, G**, 1999, Tectonic Deformation Western Washington State From Global Positioning System Measurements, *Doktora Tezi*, University Of Washington, ABD
- Kınk, İ.**, 1999, GPS Ölçme ve Değerlendirmelerinde Hata Kaynakları Üzerine Bir İnceleme, *Doktora Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- King, R W And Bock, Y**, 2002, Documentation For . The GAM T GPS Analysis Software, Massachusetts Institute of Technology, ABD
- Mao, A**, 1998, Geophysical Applications Of The Global Positioning System *Doktora Tezi*, University Of Miami, ABD
- McClusky, 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 And Veis, G**, 2000, Global Positioning System Constraints On Plate Kinematics And Dynamics In The Eastern *Journal of geophysical research* **105**, p 5695-5719
- Murray M H**, 1991, Global Position System Measurement of Crustal Deformation in Central California, Massachusetts Institute of Technology, ABD
- Nalbant, S S, McCluskey, J, Steacy, S, Barka, A A**, 2002, Stress Accumulation and Increased Seismic Risk In Eastern Turkey, *Earth and Planetary Letters* ., **195**, p 291- 298
- Naım, Y**, 1999, GPS Determination Of Diurnal And Semidiurnal Variations In Earth Rotation Parameters And The Geocenter, *Doktora Tezi*, The University Of Texas At Austin, ABD
- Oral, B C**, 1994, GPS Measurement in Turkey (1988-1992) Kinematics of the Africa-Arabia Eurasia Plate Collision Zone, Massachusetts Institute of Technology, ABD
- Park, K**, 2000, Determination Of Glacial Isostatic Adjustment Parameters Based On Precise Point Positioning Using GPS, *Doktora Tezi*, Texas at Austin, ABD
- Sella, G F**, 2001, Space Geodetic Constraints On Plate Rigidity And Global Plate Motions, , *Doktora Tezi*, Louisiana State University, ABD
- Tarı, E, Baykal, O Ve Şahin, M**, 1999, GPS Data Processing For Geodynamics At ITU With GAM T/ GLOBK Software, p 335-347, İstanbul
- Yeats, R S, Sieh, K And Allen, C R**, 1997, The Geology Of Earthquakes, Oxford University, New York

- Zhang J.**, 1996, Continuous GPS Measurements Of Crustal Deformation In Southern California, *Doktora Tezi*, University Of California, San Diego
- Zhang J.**, 1999, Investigations Into The Estimation Of Residual Tropospheric Delays In A GPS Network, *Yüksek Lisans Tezi*, The University Of Calgary, Alberta
- Tüysüz, O.**, 2003, Kişisel görüş me

EKLER

EK A1 2001 ve 2002 Yıllarında Ölçülen Noktalar ve Ölçme Süreleri

	2001 YILI Ölçme Planı								Veri Toplama Süresi	2002 YILI Ölçme Planı								Veri Toplama Süresi	
	233	234	235	236	237	238	239	240		217	218	219	220	221	222	223	224		
KRGİ		X	X	X					26s 44		X	X	X					27s 54	KRGİ
OS MC					X	X	X		27s 09					X	X	X		29s 39	OS MC
SNGR		X	X	X	X	X	X	X	112s 59		X	X	X					30s 37	SNGR
ALAC		X	X	X					26s 05	X	X	X	X	X	X	X	X	139s 58	ALAC
CNKR					X	X	X		23s 28		X	X	X					20s 59	CNKR
I HGZ	X	X	X	X	X	X	X	X	142s 53	X	X	X	X	X	X	X	X	176s 35	I HGZ
GHAC		X	X	X					33s 00		X	X	X					36s 20	GHAC
GYNC					X	X	X		26s 52					X	X	X		26s 44	GYNC
GOL1					X	X	X		26s 11		X	X	X				X	23s 40	GOL1
HVZA		X	X	X					29s 11					X	X	X		28s 10	HVZA
KVAK		X	X	X					24s 09					X	X	X		25s 56	KVAK
HMMZ					X	X	X		27s 52		X	X	X					26s 47	HMMZ
GKCB		X	X	X					29s 15		X	X	X				X	29s 54	GKCB
GBAG					X	X	X		29s 03						X	X	X	31s 30	GBAG
ORTC		X	X	X					25s 49		X	X	X					30s 30	ORTC
DDRG					X	X	X		25s 49					X	X	X		27s 07	DDRG

X 2001 ve 2002 yılında, istasyon noktasının ölçüldüğü günler

Session Table for regional + global analysis

Processing Agency = I TU
 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
 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
 Number Zen = 13 ; number of zenith-delay parameters
 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 cut off = 10. ; Elevation angle cut off for postfit solution
 Atmospheric gradients = YES ; YES/ NO (default no)
 Gradient Constraints = 0.01 ; gradient at 10 deg elevation in meters
 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/ KINE MATIC, 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.cml ; File name; default none (use default options)
 AUTCLN Postfit = R ; Run autcln for postfit run; R causes repeat run
 Use Nfile = Y ; Y N (default no): automatic procedure to reweight by station
 Delete AUTCLN input G-files = YES ; YES/ NO default = NO; I -- Intermediate keep (stops) second
 model
 Earth Rotation = 7 ; Durnal/ Semidurnal terms: Binary coded: 1=pole 2=UT1 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 = 3 ; Binary coded: 1 earth 2 freq-dep 4 pole 8 ocean default =7
 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 ; YES/ NONE
 Decimation Factor = 4 ; Decimation factor in solve
 Quick-pre observable = LC_ONLY ; For 1st iter or aut d n pre, default same as Choice of observable
 Quick-pre decimation factor = 10 ; 1st iter or aut d n pre, default same as Decimation Factor
 Station Error = ELEVATION 10.0 0001 ; 1-way L1 , $a^{**2} + b^{**2}/\sin(\text{elev})^{**2}$ in mm, default = 4.3 7.0

EK A3

- * 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 000928

* Don't use any GAMT edits
 use_gamt 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_paramall 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 (LQ) might be set tighter (e.g. 4 0.2 0.5) to catch
 * partial-cycle jumps with poorly performing receivers
 dd_fit_tol 5 2 10 3 4 00 6 00
 POST dd_fit_tol 5 2 10 3 0.35 0.8
 gap_size all 5
 phs_fit_tol 10000 10000 2000 1000
 POST phs_fit_tol 10000 10000 200 100

* 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_one_way 120 8 0.1 24
 * For regional networks use
 trim_one_way 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 increase the 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_site 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
 - * `autdn 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
 - * one-way residuals)
 - * `apply_phs_clk 2`
- * Set the summary filename to agree with the command file produced by FIXDRV
 - * `summary autdn prefit.sum`
- * Commands to be used if post-fit editing invoked in the `sest bl`.
 - `POST summary autdn post.sum`
 - `POST apply_phs_clk 30`
 - `POST use_postfit`
 - `XPOST 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
 - `#edit_site_sv algo 0 1 2800`
 - `#edit_site_sv all 23 1 400`
 - `#edit_site_sv trom 15 451 460`

EK A4

2001 (Birinci) Kampanya GAM T Değerlendir mesinde Kullanılan Sınırlamalar

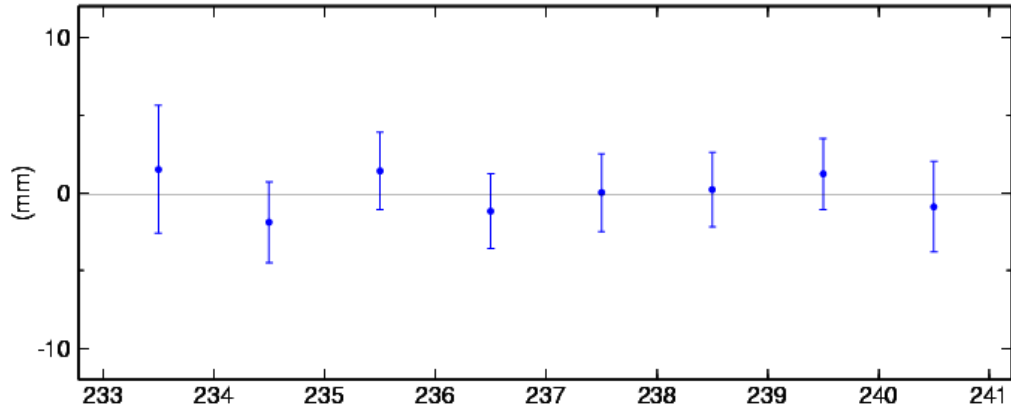
İSTASYON		KOORDİ NAT Sİ N RLA MALARI				
		Enl e m(m)	Boyl a m(m)	Çap(m)		
MATE		0.050	0.050	0.100		
KI T3		0.050	0.050	0.100		
WTZR		0.050	0.050	0.050		
SOFI		1.000	1.000	1.000		
NI CO		1.000	1.000	1.000		
ZECK		1.000	1.000	1.000		
TUBI		1.000	1.000	1.000		
Dİ ğerleri		100	100	100		
Yarı Eksen	Dış Merkezlik	Eğiklik	Yükseliş	Perige Argüman	Ort. ano nali	Rady. Param 1-9
0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01

2002 (İkinci) Kampanya GAM T Değerlendir mesinde Kullanılan Sınırlamalar

İSTASYON		KOORDİ NAT Sİ N RLA MALARI				
		Enl e m(m)	Boyl a m(m)	Çap(m)		
MATE		0.050	0.050	0.100		
GRAZ		0.050	0.050	0.100		
WTZR		0.050	0.050	0.050		
SOFI		1.000	1.000	1.000		
NI CO		1.000	1.000	1.000		
ZECK		1.000	1.000	1.000		
ONSA		0.010	0.010	0.020		
TUBI		1.000	1.000	1.000		
Dİ ğerleri		100	100	100		
Yarı Eksen	Dış Merkez	Eğiklik	Yükseliş	Perige Argüman	Ort. ano nali	Rady. Param .1-9
0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01

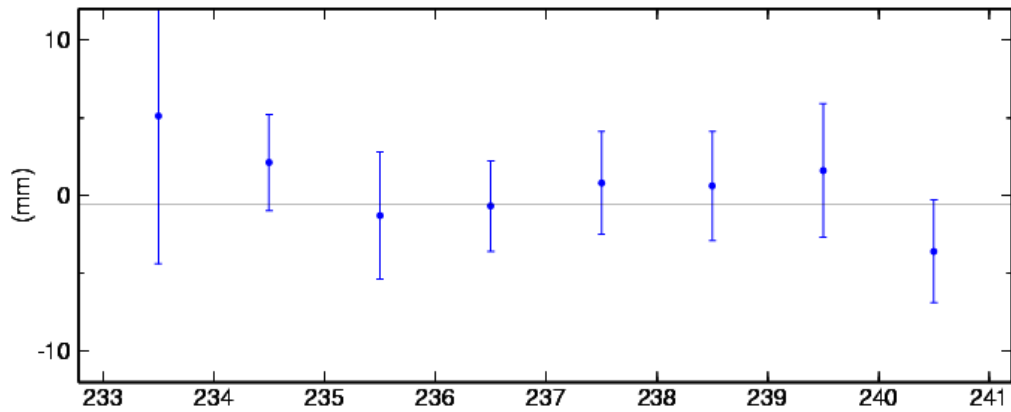
IHGZ North Offset 4587281.593 m

wmean(mm)= -0.1 ± 0.9 nrms= 0.48 wrms= 1.2



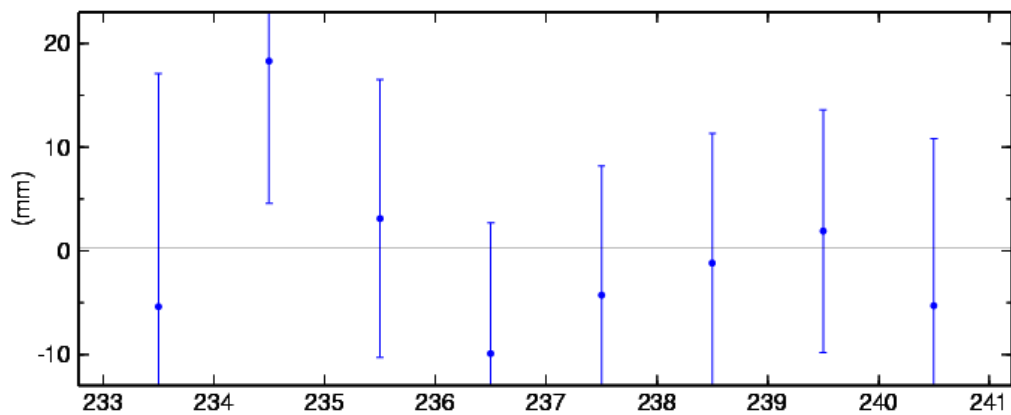
IHGZ East Offset 2810448.633 m

wmean(mm)= -0.6 ± 1.3 nrms= 0.58 wrms= 1.9

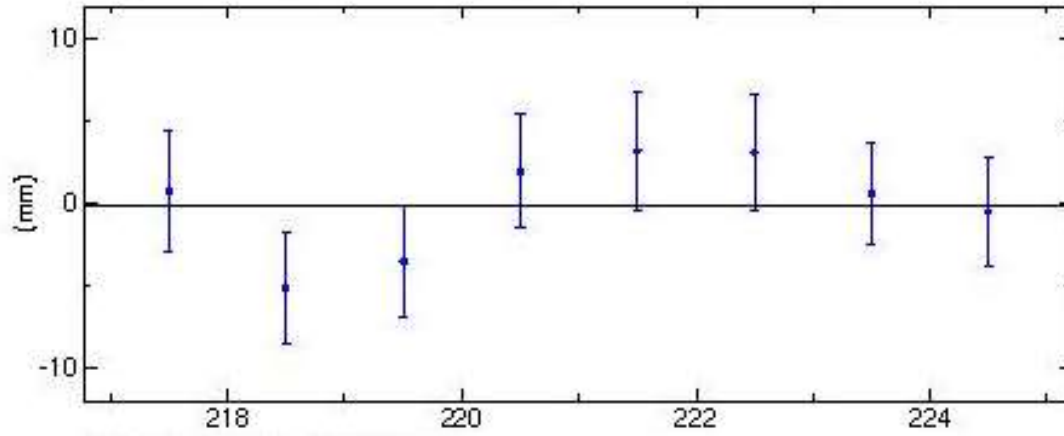


IHGZ Up Offset 907.404 m

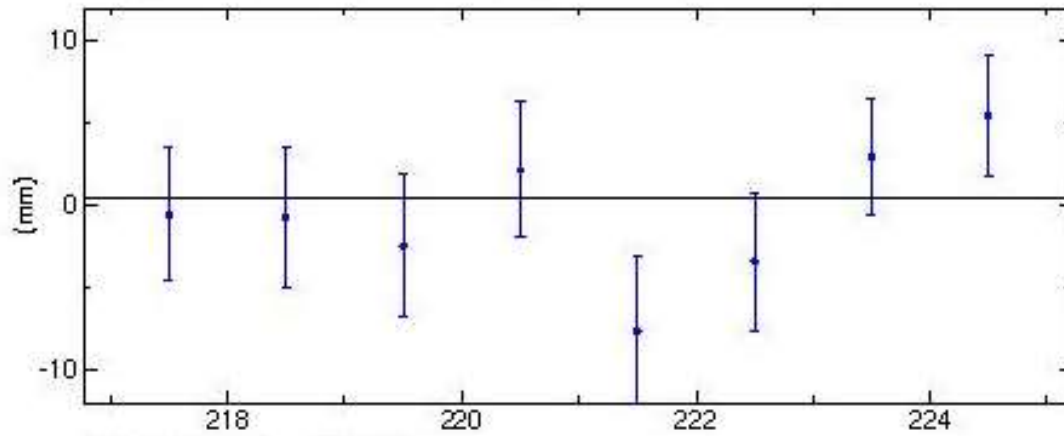
wmean(mm)= 0.3 ± 4.8 nrms= 0.63 wrms= 8.0



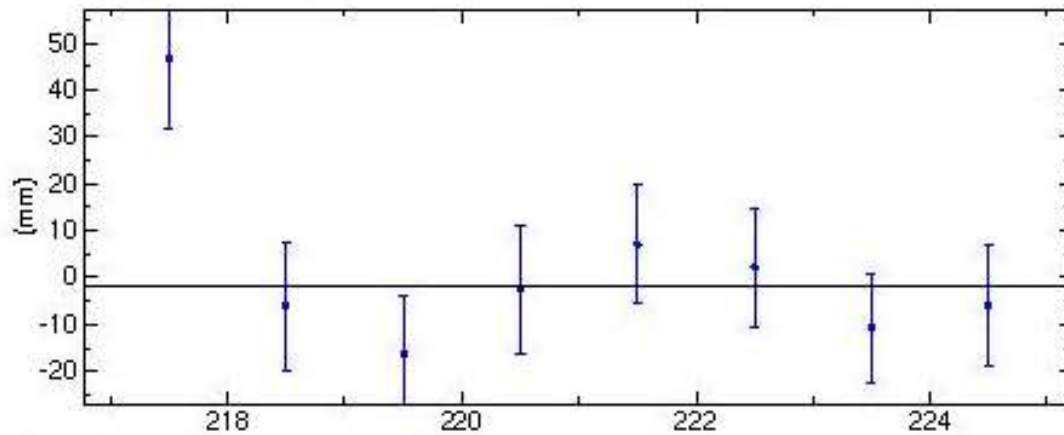
IHGZ North Offset 4587281.626 m
 $wmean(mm) = -0.1 \pm 1.2$ $nms = 0.87$ $wrms = 2.8$



IHGZ East Offset 2810448.749 m
 $wmean(mm) = 0.5 \pm 1.4$ $nms = 1.00$ $wrms = 3.8$

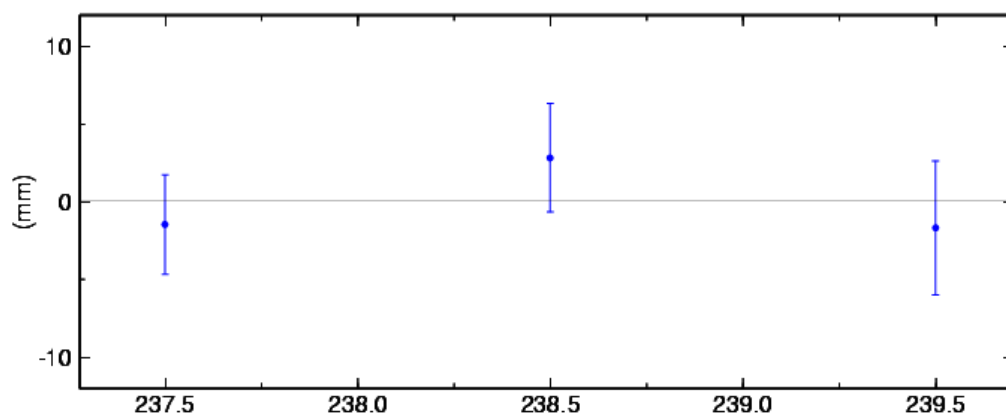


IHGZ Up Offset 907.454 m
 $wmean(mm) = -1.7 \pm 4.6$ $nms = 1.36$ $wrms = 16.5$

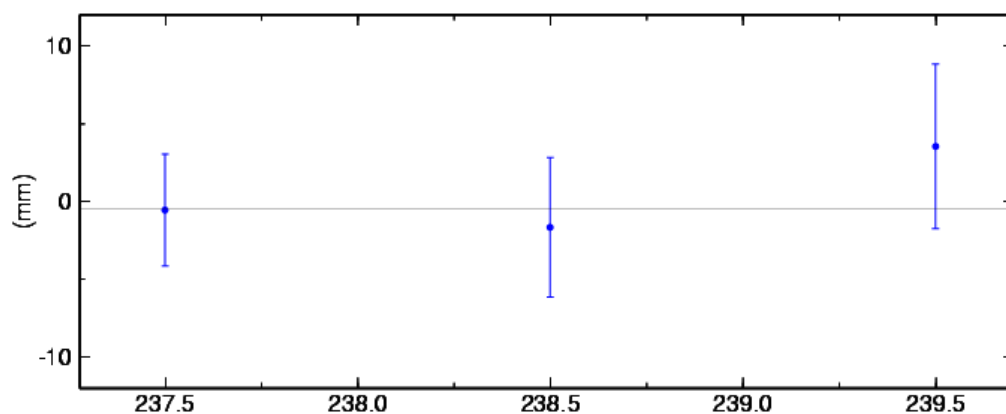


EK A7 2002 y11

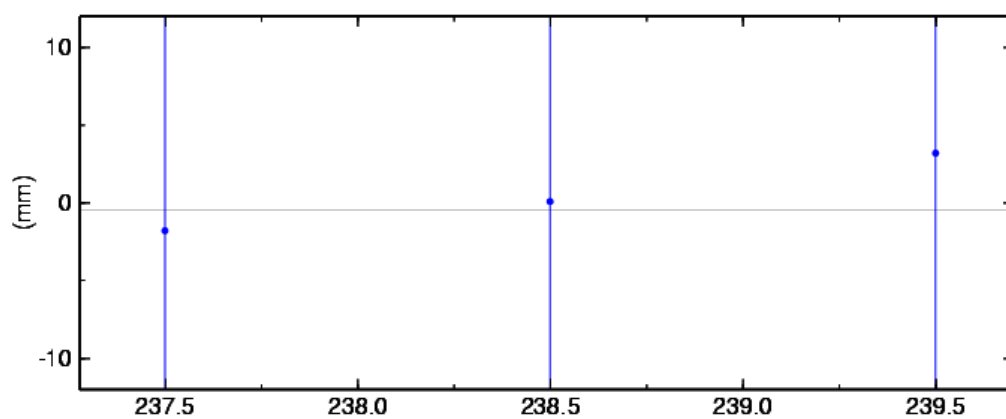
CNKR North Offset 4521118.157 m
wmean(mm)= 0.1 ± 2.1 nrms= 0.71 wrms= 2.1



CNKR East Offset 2841048.636 m
wmean(mm)= -0.4 ± 2.5 nrms= 0.55 wrms= 1.9



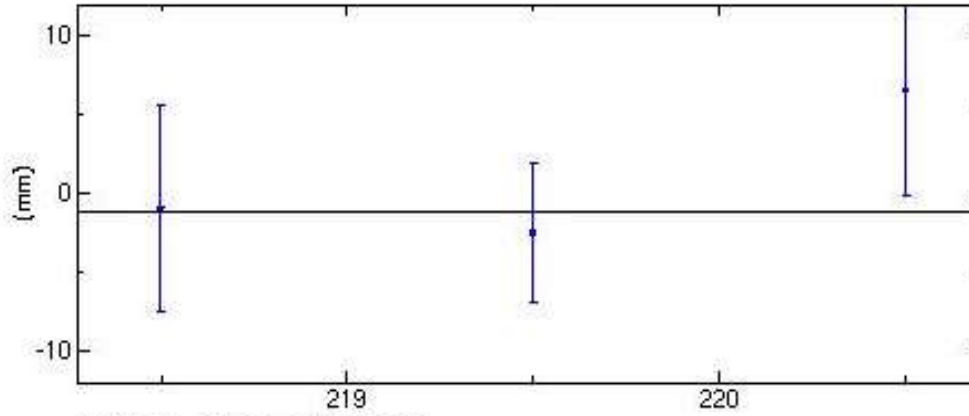
CNKR Up Offset 963.723 m
wmean(mm)= -0.5 ± 10.1 nrms= 0.14 wrms= 2.0



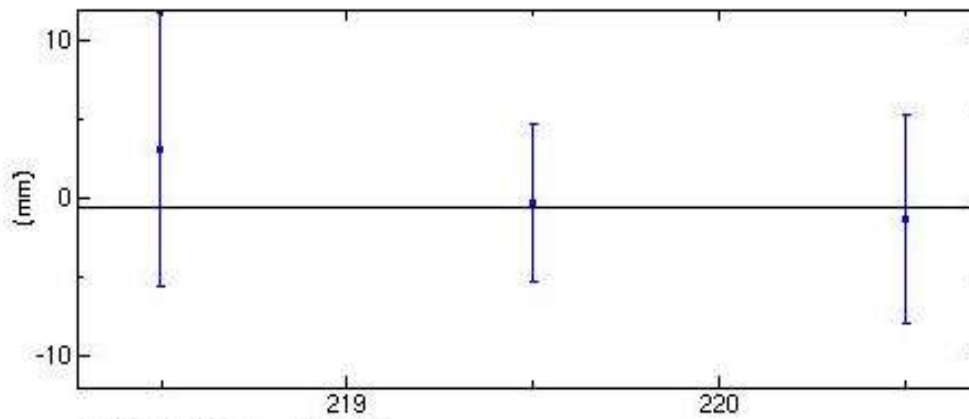
GMT 2001 Sep 28 09:49:32

p: 3

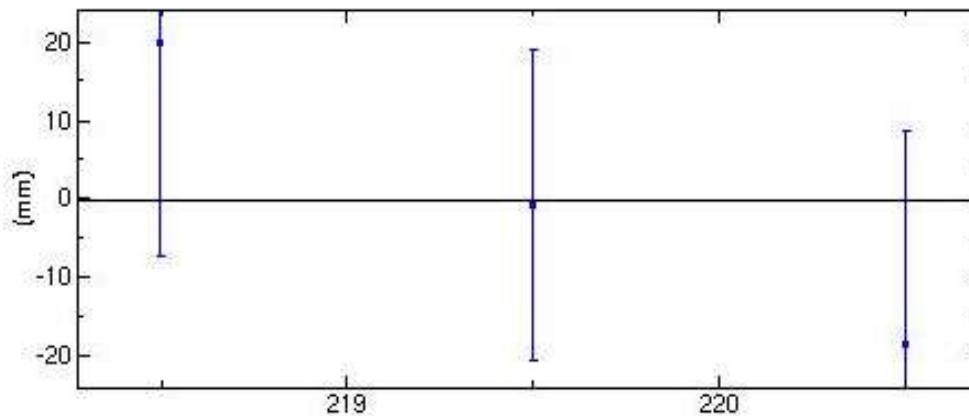
CNKR North Offset 4521118.220 m
 $wmean(mm) = -1.1 \pm 3.2$ $nms = 0.80$ $wrms = 3.6$



CNKR East Offset 2841048.740 m
 $wmean(mm) = -0.5 \pm 3.6$ $nms = 0.29$ $wrms = 1.5$



CNKR Up Offset 963.763 m
 $wmean(mm) = -0.2 \pm 13.8$ $nms = 0.70$ $wrms = 13.8$



EK A9

../g b OKAF01_2331. GL X 0.080
../g b OKAF01_2342. GL X 0.080
../g b OKAF01_2353. GL X 0.120
../g b OKAF01_2364. GL X 0.090
../g b OKAF01_2375. GL X 0.110
../g b OKAF01_2386. GL X 0.090
../g b OKAF01_2397. GL X 0.090
../g b OKAF01_2408. GL X 0.100
../g b OKAF02_2171. GL X 0.090
../g b OKAF02_2182. GL X 0.090
../g b OKAF02_2193. GL X 0.130
../g b OKAF02_2204. GL X 0.090
../g b OKAF02_2215. GL X 0.090
../g b OKAF02_2226. GL X 0.090
../g b OKAF02_2237. GL X 0.090
../g b OKAF02_2248. GL X 0.090

* I T U g l o r g command file processing

```
# apr_file ../tables/itrf96.apr
# apr_file ../tables/itrf97_eura.apr
  apr_file ../okaf_vel/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_hgt v 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
```

```
# source glorg_usesite
# source glob_uselist
```

```
# force mate_gps ndot 0
# force mate_gps edot 0
# force mate_gps udot 0
```

use_site clear

```
use_site +BRUS_GPS +KELY_GPS +CRO1_GPS +ALBH_GPS
use_site +METS_GPS +HERS_GPS +VLL_GPS +MADR_GPS
use_site +MAS1_GPS +MASP_GPS +FORT_GPS +BRAZ_GPS
use_site +KOUR_GPS +OHIG_GPS +BRMU_GPS -THU1_GPS
use_site +SANT_GPS +AREQ_GPS +WES2_GPS +GODE_GPS
use_site +ALGO_GPS +NLIB_GPS +MDO1_GPS +PIE1_GPS
use_site +YELL_GPS +GOL2_GPS -GOLD_GPS +DRAO_GPS
use_site +FAIR_GPS +KOKB_GPS +CHAT_GPS +AUCK_GPS
use_site +KW1_GPS +MCM4_GPS +MAC1_GPS +TIID_GPS
use_site +TIDB_GPS +HOB2_GPS +GUAM_GPS +TSKB_GPS
use_site +SHAO_GPS +PERT_GPS +YAR1_GPS +CAS1_GPS
use_site +IRKT_GPS +LHAS_GPS +KERG_GPS +BAHR_GPS
use_site +MALI_GPS +ZHEN_GPS +HART_GPS +TROM_GPS
use_site +MATE_GPS +GRAZ_GPS +POTS_GPS +WTZR_GPS
use_site +ONSA_GP +NYAL_GPS +KOSG_GPS +WETT_GPS
use_site +NCO_GPS +SOFI_GPS +ZECK_GPS
```

ÖZGEÇMİŞ

Hakan Yavaşoğlu, 1977 yılında İzmir’de dünyaya gelmiştir. 1987 yılında Bodrum Atatürk İlkokulundan ve 1990 yılında Bodrum Ortaokulundan mezun olmuştur. 1993 yılında Bodrum Lisesinden mezun olmuş ve aynı yıl Dokuz Eylül Üniversitesi İzmir Meslek Yüksek Okulunda Harita ve Kadastro Teknikerliği Bölümünde ön lisans eğitime başlamıştır. 1995 yılında bu bölümden mezun olmuş ve bir yıl sonra 1996 yılında İTÜ Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümüne girmiştir. 2000 yılında mühendislik unvanı almıştır. 2001 yılından bugüne İTÜ Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü Ölçme Tekniği Ana Bilim Dalında araştırma görevlisi olarak çalışmaktadır.