

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MAGNET (MARMARA GPS AĞI) SÜREKLİ GPS İSTASYONLARININ
DÖNEMSEL ETKİLER AÇISINDAN KAMPANYA GPS ÖLÇMELERİNE
KATKILARI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Jeodezi ve Fotogrametri Müh. Ali ÖZKAN**

Anabilim Dalı : Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği

Programı : Geomatik Mühendisliği

OCAK 2009

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MAGNET (MARMARA GPS AĞI) SÜREKLİ GPS İSTASYONLARININ
DÖNEMSEL ETKİLER AÇISINDAN KAMPANYA GPS ÖLÇMELERİNE
KATKILARI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Jeodezi ve Fotogrametri Müh. Ali ÖZKAN

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 29 Aralık 2008
Tezin Savunulduğu Tarih : 24 Ocak 2009

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Ergin TARI (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Doç. Dr. Mustafa YANALAK (İTÜ)
Doç. Dr. Semih ERGİNTAV (TÜBİTAK)

OCAK 2009

ÖNSÖZ

Bu çalışmada TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi Yer ve Deniz Bilimleri Enstitüsü tarafından yürütülen TÜRDEP (Türkiye'nin Deprem Riski Yüksek Jeo-Stratejik-ancak tektonik rejimleri farklı-Bölgelerinde Deprem Davranışının Çok Disiplinli Yaklaşımlarla Araştırılması) projesi kapsamında Marmara Bölgesi'nde işletilen MAGNET (Marmara GPS Ağı) sürekli GPS istasyonlarının mevsimsel etkiler açısından Marmara Bölgesi'nde yapılan GPS kampanya ölçmelerine katkıları araştırılmıştır.

Tez konusunu bana öneren ve çalışmanın her aşamasında yardımlarını ve desteğini esirgemeyen danışman hocam Prof. Dr. Ergin Tarı'ya en içten dileklerle teşekkür ederim.

Çalışmalarım sırasında her vesile ile bilgi, tecrübe ve önerilerini aktaran hocam Doç. Dr. Semih Ergintav'a teşekkür ederim. Tez çalışmam boyunca bana yardımcı ve destek olan Jeodezi ve Fotogrametri Yüksek Mühendisi Rahşan Çakmak'a teşekkür ederim.

TÜRDEP projesi kapsamında Marmara Bölgesi'nde işletilen MAGNET sürekli GPS istasyonlarında ve Marmara Bölgesi'nde yapılan GPS kampanya ölçmelerinde toplanan verileri kullanmama izin veren, bu konuda çalışmamı sağlayan TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi Yer ve Deniz Bilimleri Enstitüsü Müdürü Doç. Dr. Sedat İnan'a, Müdür Yardımcısı Doç. Dr. Semih Ergintav'a teşekkürü bir borç bilirim.

Tüm öğrenim hayatım boyunca bana maddi ve manevi destek olup, başarıyla bugünlere gelmemi sağlayan çok değerli aileme şükranlarımı sunarım.

Ocak, 2009

Ali ÖZKAN

İÇİNDEKİLER

Sayfa

KISALTMALAR	v
ÇİZELGESİ LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
SEMBOL LİSTESİ	xi
ÖZET	xii
SUMMARY	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1 Tez Çalışmasının Amacı	3
1.2 Tez Çalışmasının Kapsamı	3
2. GPS VERİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ	7
2.1 Giriş	7
2.2 GAMIT	7
2.3 GLOBK	10
3. ZAMAN SERİSİ ANALİZİ	13
3.1 Giriş	13
3.2 GPS Zaman Serilerinde Dönemsel Değişimlere Sebep Olan Faktörler	14
4. TEZ KAPSAMINDAKİ ÇALIŞMALAR	17
4.1 TSVIEW Uygulamasının Zaman Serisi Analizindeki Kullanımı	17
4.2 Zaman Serilerinin Temizlenmesi	19
4.3 MAGNET Ağındaki Sürekli GPS İstasyonları İle Uygulama Alanındaki Kampanya Tipi Ölçme Noktalarının Zaman Serilerinin Oluşturulması	21
4.4 Dönemsel Anomalilerin Hız Değerleri Üzerindeki Etkilerinin Belirlenmesine Yönelik Uygulama ve Bulgular	24
4.4.1 Giriş	24
4.4.2 MAGNET istasyonlarında GLOBK ve TSVIEW yardımıyla elde edilen yatay hız değerlerinin karşılaştırılması	25
4.4.3 Kampanya tipi ölçme noktalarında yatay hız değerlerinin elde edilmesi	31
4.4.4 GPS kampanyası dönemlerindeki MAGNET verileri ile yatay hız değerlerinin elde edilmesi	33
4.4.5 MAGNET istasyonlarında GLOBK ve TSVIEW yardımıyla elde edilen düşey hız değerlerinin karşılaştırılması	35
4.4.6 Kampanya tipi ölçme noktalarında düşey hız değerlerinin elde edilmesi	36
4.4.7 GPS kampanyası dönemlerindeki MAGNET verileri ile düşey hız değerlerinin elde edilmesi	39
4.5 MAGNET İstasyonlarının 2003-2005 Dönemine Ait Doğrusal Hız Modeline Bağlı Sinyal Artıkları İle Sinyal Genliklerinin İlişkilendirilmesi	41
4.6 MAGNET İstasyonlarının 2001-2005 Dönemindeki Zenit Gecikme Bilinmeyenleri İle Nokta Konum Yükseklik Bileşenlerinin Dönemsel Etkiler Açısından İlişkilendirilmesi	45

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	53
KAYNAKLAR	57
EKLER.....	59
ÖZGEÇMİŞ.....	105

KISALTMALAR

VLBI	: Çok Uzun Bazlı İnterferometri
SLR	: Uydulara Lazerle Uzaklık Ölçmeleri
GPS	: Küresel Konumlama Sistemi
MAGNET	: Marmara GPS Ağı
TÜBİTAK	: Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
TÜRDEP	: Türkiye'nin Deprem Riski Yüksek Jeo-Stratejik-ancak tektonik rejimleri farklı-Bölgelerinde Deprem Davranışının Çok Disiplinli Yaklaşımlarla Araştırılması Projesi
GNSS	: Global Navigation Satellite Systems
RINEX	: Receiver Independent Exchange Format
IGS	: International GNSS Service
SP3	: Standart Product 3
SIO	: Scripps Institution of Oceanography
SOPAC	: Scripps Orbit and Permanent Array Center
EOPS	: Earth Orientation Parameters
USNO	: United States Naval Observatory
ITRF	: International Terrestrial Reference Frame
IERS	: International Earth Rotation and Reference Systems Service
TEC	: Serbest Elektron Sayısı
WRMS	: Ağırlıklı Karesel Ortalama Hata
EKK	: En Küçük Kareler

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1 : Tez çalışmasına dahil edilen MAGNET sürekli GPS istasyonları ve kampanya tipi ölçme noktaları.	4
Çizelge 2.1 : GAMIT çözümlerinde kullanılan IGS ağında tanımlı sürekli GPS istasyonları.....	9
Çizelge 2.2 : GLOBK çözümlerinde kullanılan ITRF2000 referans ağı istasyonları.....	11
Çizelge 4.1 : MAGNET ağındaki sürekli GPS istasyonlarının ve IGS ağındaki ISTA sürekli GPS istasyonunun 2003-2005 yıllarındaki 3 yıllık dönem için Avrasya referans sisteminde yatay bileşenlere ait yıllık hız değerleri.	26
Çizelge 4.2 : Kampanya tipi ölçme noktalarının 2002-2005 yıllarındaki 4 yıllık döneme dair Avrasya referans sisteminde yatay bileşenlere ait yıllık hız değerleri.	32
Çizelge 4.3 : MAGNET sürekli GPS istasyonlarının ve IGS ağındaki ISTA sürekli GPS istasyonunun 2002-2005 dönemi için kampanya günlerindeki verileri ile elde edilen Avrasya referans sisteminde yatay bileşenlere ait yıllık hız değerleri.	33
Çizelge 4.4 : MAGNET ağındaki sürekli GPS istasyonlarının ve IGS ağındaki ISTA sürekli GPS istasyonunun 2003-2005 yıllarındaki 3 yıllık dönem için Avrasya referans sisteminde düşey bileşene ait yıllık hız değerleri.	35
Çizelge 4.5 : Kampanya tipi ölçme noktalarının 2002-2005 yıllarındaki 4 yıllık döneme dair Avrasya referans sisteminde düşey bileşene ait yıllık hız değerleri.	37
Çizelge 4.6 : MAGNET sürekli GPS istasyonlarının ve IGS ağındaki ISTA sürekli GPS istasyonunun 2002-2005 dönemi için kampanya günlerindeki verileri ile elde edilen Avrasya referans sisteminde düşey bileşene ait yıllık hız değerleri.	39

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Tez çalışmasına dahil edilen MAGNET sürekli GPS istasyonları ve kampanya tipi ölçme noktaları.	5
Şekil 4.1 : TSVIEW ile zaman serisi analizi için örnek uygulama penceresi.	18
Şekil 4.2 : MAGNET ağındaki KANT sürekli GPS istasyonunun 2001-2005 yıllarındaki koordinat zaman serisinin kalitesinin sorgulanmasına ait örnek görüntü.	21
Şekil 4.3 : MAGNET ağındaki AVCT sürekli GPS istasyonunun 2003-2005 yıllarındaki 3 yıllık döneme dair koordinat zaman serisi.	22
Şekil 4.4 : MAGNET ağındaki TUBI sürekli GPS istasyonunun 2003-2005 yıllarındaki 3 yıllık döneme dair koordinat zaman serisi.	22
Şekil 4.5 : BGNT kampanya tipi ölçme noktasının 2002-2005 yıllarındaki 4 yıllık döneme dair koordinat zaman serisi.	23
Şekil 4.6 : KRDM kampanya tipi ölçme noktasının 2002-2005 yıllarındaki 4 yıllık döneme dair koordinat zaman serisi.	23
Şekil 4.7 : KUTE kampanya tipi ölçme noktasının 2002-2005 yıllarındaki 4 yıllık döneme dair koordinat zaman serisi.	24
Şekil 4.8 : MAGNET sürekli GPS istasyonlarının ve IGS ağındaki ISTA sürekli GPS istasyonunun 2003-2005 yıllarındaki 3 yıllık döneme ait Avrasya referans sisteminde yıllık yatay hız vektörleri.	27
Şekil 4.9 : MAGNET ağındaki KANT sürekli GPS istasyonunun 2003-2005 yıllarındaki 3 yıllık döneme dair doğrusal hız modeline bağlı sinyal artıkları.	29
Şekil 4.10: MAGNET ağındaki MER1 sürekli GPS istasyonunun 2003-2005 yıllarındaki 3 yıllık döneme dair doğrusal hız modeline bağlı sinyal artıkları.	30
Şekil 4.11: Kampanya tipi ölçme noktalarının 2002-2005 yıllarındaki 4 yıllık döneme dair Avrasya referans sisteminde yatay bileşenlere ait yıllık hız vektörleri ve %95 güven düzeyindeki hata elipsleri.	31
Şekil 4.12: MAGNET sürekli GPS istasyonlarının 2002-2005 yıllarındaki 4 yıllık dönemde kampanya günlerindeki verileri ile elde edilen Avrasya referans sisteminde yıllık yatay hız vektörleri ve %95 güven düzeyindeki hata elipsleri.	34
Şekil 4.13: MAGNET sürekli GPS istasyonlarının ve IGS ağındaki ISTA sürekli GPS istasyonunun 2003-2005 yıllarındaki 3 yıllık döneme ait Avrasya referans sisteminde yıllık düşey hız vektörleri	36
Şekil 4.14: Kampanya tipi ölçme noktalarının 2002-2005 yıllarındaki 4 yıllık döneme dair Avrasya referans sisteminde düşey bileşene ait yıllık hız vektörleri.	37
Şekil 4.15: MAGNET sürekli GPS istasyonlarının 2002-2005 yıllarındaki 4 yıllık dönemde kampanya günlerindeki verileri ile elde edilen Avrasya referans sisteminde yıllık düşey hız vektörleri.	40

Şekil 4.16: MAGNET sürekli GPS istasyonlarının 2003-2005 yıllarındaki 3 yıllık dönem için yarı yıllık faz diyagramı.	41
Şekil 4.17: MAGNET sürekli GPS istasyonlarının 2003-2005 yıllarındaki 3 yıllık dönem için yıllık faz diyagramı	42
Şekil 4.18: MAGNET ağındaki TUBİ sürekli GPS istasyonunun 2003-2005 yıllarındaki 3 yıllık döneme dair doğrusal hız modeline bağlı sinyal artıkları.	44
Şekil 4.19: 2001-2005 döneminde MAGNET sürekli GPS istasyonları için zenit gecikme bilinmeyenlerine getirilen yıllık ortalama düzeltme miktarları.	46
Şekil 4.20: 2001-2005 döneminde MAGNET sürekli GPS istasyonları için zenit gecikme bilinmeyenlerine getirilen yıllık ortalama düzeltme miktarları	47
Şekil 4.21: MAGNET sürekli GPS istasyonlarının konuşlandırıldığı illerin aylık ortalama güneşlenme süreleri.....	47
Şekil 4.22: KANT sürekli GPS istasyonunun 2001-2005 dönemine ait 5 yıllık zenit gecikme bilinmeyenleri.	48
Şekil 4.23: MER1 sürekli GPS istasyonu ile ULUT sürekli GPS istasyonu için 2001-2005 dönemine ait 5 yıllık zenit gecikme bilinmeyenleri.....	50
Şekil 4.24: Tüm MAGNET istasyonları ve kampanya tipi ölçme noktalarının yüksekliklerine bağlı olarak değişen yıllık ortalama zenit gecikme bilinmeyenleri.....	51
Şekil A.1 : MAGNET ağındaki BAD1 sürekli GPS istasyonunun 2003-2005 yıllarındaki 3 yıllık döneme dair koordinat zaman serisi.....	60
Şekil A.2 : MAGNET ağındaki BOZT sürekli GPS istasyonunun 2003-2005 yıllarındaki 3 yıllık döneme dair koordinat zaman serisi.....	61
Şekil A.3 : MAGNET ağındaki DUMT sürekli GPS istasyonunun 2003-2005 yıllarındaki 3 yıllık döneme dair koordinat zaman serisi.....	62
Şekil A.4 : MAGNET ağındaki ERDT sürekli GPS istasyonunun 2003-2005 yıllarındaki 3 yıllık döneme dair koordinat zaman serisi.....	63
Şekil A.5 : MAGNET ağındaki KANT sürekli GPS istasyonunun 2003-2005 yıllarındaki 3 yıllık döneme dair koordinat zaman serisi.....	64
Şekil A.6 : MAGNET ağındaki KART sürekli GPS istasyonunun 2003-2005 yıllarındaki 3 yıllık döneme dair koordinat zaman serisi.....	65
Şekil A.7 : MAGNET ağındaki MER1 sürekli GPS istasyonunun 2003-2005 yıllarındaki 3 yıllık döneme dair koordinat zaman serisi.....	66
Şekil A.8 : MAGNET ağındaki UCG2 sürekli GPS istasyonunun 2003-2005 yıllarındaki 3 yıllık döneme dair koordinat zaman serisi.....	67
Şekil A.9 : MAGNET ağındaki ULUT sürekli GPS istasyonunun 2003-2005 yıllarındaki 3 yıllık döneme dair koordinat zaman serisi.....	68
Şekil A.10: AKCO kampanya tipi ölçme noktasının 2002-2005 yıllarındaki 4 yıllık döneme dair koordinat zaman serisi.	69
Şekil A.11: BALI kampanya tipi ölçme noktasının 2003-2005 yıllarındaki 3 yıllık döneme dair koordinat zaman serisi	70
Şekil A.12: BKCT kampanya tipi ölçme noktasının 2002-2005 yıllarındaki 4 yıllık döneme dair koordinat zaman serisi.	71
Şekil A.13: BLOT kampanya tipi ölçme noktasının 2002-2005 yıllarındaki 4 yıllık döneme dair koordinat zaman serisi	72
Şekil A.14: DERB kampanya tipi ölçme noktasının 2002-2005 yıllarındaki 4 yıllık döneme dair koordinat zaman serisi.	73

Şekil A.15: DGCT kampanya tipi ölçme noktasının 2003-2005 yıllarındaki 3 yıllık döneme dair koordinat zaman serisi	74
Şekil A.16: DOKU kampanya tipi ölçme noktasının 2002-2005 yıllarındaki 4 yıllık döneme dair koordinat zaman serisi	75
Şekil A.17: ERCT kampanya tipi ölçme noktasının 2002-2005 yıllarındaki 4 yıllık döneme dair koordinat zaman serisi	76
Şekil A.18: FIST kampanya tipi ölçme noktasının 2002-2005 yıllarındaki 4 yıllık döneme dair koordinat zaman serisi	77
Şekil A.19: KANR kampanya tipi ölçme noktasının 2002-2005 yıllarındaki 4 yıllık döneme dair koordinat zaman serisi.	78
Şekil A.20: KAZI kampanya tipi ölçme noktasının 2002-2005 yıllarındaki 4 yıllık döneme dair koordinat zaman serisi	79
Şekil A.21: KDER kampanya tipi ölçme noktasının 2002-2005 yıllarındaki 4 yıllık döneme dair koordinat zaman serisi.	80
Şekil A.22: KFKT kampanya tipi ölçme noktasının 2004-2005 yıllarındaki 2 yıllık döneme dair koordinat zaman serisi.	81
Şekil A.23: OLUK kampanya tipi ölçme noktasının 2003-2005 yıllarındaki 3 yıllık döneme dair koordinat zaman serisi.	82
Şekil A.24: OVCT kampanya tipi ölçme noktasının 2002-2005 yıllarındaki 4 yıllık döneme dair koordinat zaman serisi.	83
Şekil A.25: SEFI kampanya tipi ölçme noktasının 2002-2005 yıllarındaki 4 yıllık döneme dair koordinat zaman serisi.	84
Şekil A.26: SEVK kampanya tipi ölçme noktasının 2002-2005 yıllarındaki 4 yıllık döneme dair koordinat zaman serisi.	85
Şekil A.27: SILE kampanya tipi ölçme noktasının 2002-2005 yıllarındaki 4 yıllık döneme dair koordinat zaman serisi.	86
Şekil A.28: SMAS kampanya tipi ölçme noktasının 2002-2005 yıllarındaki 4 yıllık döneme dair koordinat zaman serisi.	87
Şekil B.1 : MAGNET ağındaki AVCT sürekli GPS istasyonunun 2003-2005 yıllarındaki 3 yıllık döneme dair doğrusal hız modeline bağlı sinyal artıkları.	90
Şekil B.2 : MAGNET ağındaki BAD1 sürekli GPS istasyonunun 2003-2005 yıllarındaki 3 yıllık döneme dair doğrusal hız modeline bağlı sinyal artıkları	91
Şekil B.3 : MAGNET ağındaki BOZT sürekli GPS istasyonunun 2003-2005 yıllarındaki 3 yıllık döneme dair doğrusal hız modeline bağlı sinyal artıkları.	92
Şekil B.4 : MAGNET ağındaki DUMT sürekli GPS istasyonunun 2003-2005 yıllarındaki 3 yıllık döneme dair doğrusal hız modeline bağlı sinyal artıkları.	93
Şekil B.5 : MAGNET ağındaki ERDT sürekli GPS istasyonunun 2003-2005 yıllarındaki 3 yıllık döneme dair doğrusal hız modeline bağlı sinyal artıkları.	94
Şekil B.6 : MAGNET ağındaki KART sürekli GPS istasyonunun 2003-2005 yıllarındaki 3 yıllık döneme dair doğrusal hız modeline bağlı sinyal artıkları.	95
Şekil B.7 : MAGNET ağındaki UCG2 sürekli GPS istasyonunun 2003-2005 yıllarındaki 3 yıllık döneme dair doğrusal hız modeline bağlı sinyal artıkları.	96

Şekil B.8 : MAGNET ağındaki ULUT sürekli GPS istasyonunun 2003-2005 yıllarındaki 3 yıllık döneme dair doğrusal hız modeline bağlı sinyal artıkları.	97
Şekil C.1 : BOZT sürekli GPS istasyonunun 2001-2005 dönemine ait 5 yıllık zenit gecikme bilinmeyenleri.	100
Şekil C.2 : DUMT sürekli GPS istasyonunun 2001-2005 dönemine ait 5 yıllık zenit gecikme bilinmeyenleri.	101
Şekil C.3 : KART sürekli GPS istasyonunun 2001-2005 dönemine ait 5 yıllık zenit gecikme bilinmeyenleri.	102
Şekil C.4 : TUBİ sürekli GPS istasyonunun 2001-2005 dönemine ait 5 yıllık zenit gecikme bilinmeyenleri.	103
Şekil C.5 : UCG2 sürekli GPS istasyonunun 2001-2005 dönemine ait 5 yıllık zenit gecikme bilinmeyenleri.	104

SEMBOL LİSTESİ

e	: Residual (artık hata)
σ	: Standart sapma
Φ	: Faz açısı
f_1	: Yıllık periyotta frekans
f_2	: Yarıyıllık periyotta frekans

MAGNET (MARMARA GPS AĞI) SÜREKLİ GPS İSTASYONLARININ DÖNEMSEL ETKİLER AÇISINDAN KAMPANYA GPS ÖLÇMELERİNE KATKILARI

ÖZET

Bu çalışmada TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi Yer ve Deniz Bilimleri Enstitüsü tarafından yürütülen TÜRDEP (Türkiye'nin Deprem Riski Yüksek Jeo-Stratejik-ancak tektonik rejimleri farklı-Bölgelerinde Deprem Davranışının Çok Disiplinli Yaklaşımlarla Araştırılması) projesi kapsamında Marmara Bölgesi'nde işletilen MAGNET (Marmara GPS Ağı) sürekli GPS istasyonlarında 2001–2006 döneminde toplanan veriler ve 2002–2005 döneminde Marmara Bölgesi'nde yapılan GPS kampanya ölçmeleri değerlendirilerek elde edilen koordinat zaman serileri, sinyal genlikleri, sinyal artıkları, hız kestirim değerleri ve zenit gecikme bilinmeyenlerinin dönemsel etkiler açısından analizleri yapılmıştır.

GPS verileri Massachusetts Institute of Technology Yer, Atmosfer ve Uzay Bilimleri Bölümü tarafından geliştirilen GAMIT/GLOBK yazılımı ile değerlendirilmiştir. Değerlendirme neticesinde GAMIT/GLOBK yazılımının GLRED modülü ile oluşturulan koordinat zaman serileri yine Massachusetts Institute of Technology tarafından geliştirilen TSVIEW matlab uygulaması ile temizlenmiştir. Temizlenen zaman serileri üzerinden hem GLOBK hem de TSVIEW yazılımları kullanılarak yatay ve düşey hız kestirimleri gerçekleştirilmiştir. Dönemsel etkileri tanımlayabilmek adına yatay ve düşey hız kestirimleri üzerinde belirli periyotlarda karşılaştırma analizleri yapılmıştır. Bu analizler zenit gecikme bilinmeyenleri, sinyal genliklerine bağlı faz diyagramları ve doğrusal hız modeli üzerindeki sinyal artıkları parametreleri ile desteklenerek dönemsel anomalilerin sonuçları belirlenmiştir.

Dönemsel anomalilerin MAGNET sürekli GPS istasyonlarında 2003–2005 süresince olan etkileri yıllık hız değerleri üzerinde ortalama olarak yatayda doğu bileşen için 0.38 ± 0.20 mm/yıl, kuzey bileşen için 1.13 ± 0.36 mm/yıl ve düşeyde 1.58 ± 0.82 mm/yıl hesaplanmıştır. Kampanya tipi ölçme noktalarında 2002–2005 süresince yıllık olarak iki dönem (mayıs-haziran ve ekim-kasım dönemleri) için ayrı ayrı kestirilen hız değerleri arasındaki farkların ortalaması doğu bileşen için 3.93 ± 2.51 mm/yıl, kuzey bileşen için 6.68 ± 3.98 mm/yıl, yükseklik bileşeni için 9.61 ± 6.23 mm/yıl olarak hesaplanmıştır. MAGNET sürekli GPS istasyonlarının kampanya dönemlerindeki verilerinin kampanya tipi ölçme noktası gibi değerlendirilmesiyle hesaplanan hız değerleri arasındaki farkların ortalaması doğu bileşen için 1.02 ± 0.58 mm/yıl, kuzey bileşen için 5.64 ± 1.06 mm/yıl ve yükseklik bileşeni için 11.14 ± 10.96 mm/yıl olarak hesaplanmıştır. Bu hız farkları ortalamaları kampanya tipi ölçme noktalarında toplanan veri kalitesinin sürekli GPS istasyonlarında toplanan veri kalitesine çok yaklaştığını göstermektedir. Ayrıca zenit gecikme bilinmeyenleri ile nokta konum yükseklik bileşenlerinin ilişkilendirilerek mevsimsel etkilerin ortaya konulması sonucu sıcaklık yükselişleri sebebiyle artan su buharı yoğunluğunun sinyal gecikme etkisini artırdığı öngörülmüştür. Ayrıca zenit gecikme bilinmeyeni ile nokta yüksekliği arasında ters doğrusal bir ilişki olduğu belirlenmiştir.

THE CONTRIBUTION OF MAGNET (MARMARA GPS NETWORK) PERMANENT GPS STATIONS TO CAMPAIGN GPS MEASUREMENTS ON ACCOUNT OF SEASONAL EFFECTS

SUMMARY

In this thesis study, the GPS data recorded both, in 2001–2006, in MAGNET (Marmara GPS Network) permanent GPS stations which are operated within TURDEP Project (Multi-Disciplinary Earthquake Researches in High Risk Regions of Turkey Representing Different Tectonic Regimes) directed by TUBITAK, Marmara Research Center, Earth and Marine Sciences Institute and in the GPS campaign surveys in Marmara Region in 2002–2005 were processed. The coordinate time series, signal amplitudes, velocity field estimations and zenith path delay parameters obtained from the GPS data processes were analysed to detect seasonal effects on GPS signals.

The GPS data were processed with a GPS data analysis system named GAMIT/GLOBK and developed by The Department of Earth, Atmosphere and Planetary Sciences in Massachusetts Institute of Technology. The coordinate time series generated with the GLRED module of GAMIT/GLOBK were cleaned with a set of Matlab tools by name TSVIEW which was developed by The Department of Earth, Atmosphere and Planetary Sciences in Massachusetts Institute of Technology. The horizontal and vertical field velocities were estimated by means of the cleaned time series with the help of both GLOBK and TSVIEW. In order to detect seasonal effects the comparison analysis were carried out on horizontal and vertical velocity estimations. In addition to these analysis the conclusions of seasonal variations were strengthened with zenith path delays, phase diagrams of signal amplitudes, residuals on the linear velocity model.

The results of seasonal effects on annual velocity estimations during 2003–2005 for MAGNET permanent GPS stations were proved as the mean variation on velocity estimations as 0.38 ± 0.20 mm/year, 1.13 ± 0.36 mm/year, 1.58 ± 0.82 mm/year for the east, north and up component respectively. For observed markers in GPS campaign surveys in the period of 2002–2005, the averages of the velocity differences estimated twice in a year (in may-june period and october-november period) were calculated as 3.93 ± 2.51 mm/year for east component, 6.68 ± 3.98 mm/year for north component and 9.61 ± 6.23 mm/year for up component. The averages of the velocity estimation differences for MAGNET permanent GPS stations which have data recorded in the campaign periods and processed with the same strategy for campaign observation markers were calculated as 1.02 ± 0.58 mm/year for east component, 5.64 ± 1.06 mm/year for north component and 11.14 ± 10.96 mm/year for up component. These averages of the velocity estimation differences demonstrate the high quality on data gathering in GPS campaign surveys as in permanent GPS stations. Furthermore the conclusions of seasonal effects associated with zenith path delay parameters and up components for position estimations the exceeding density of water vapour as a result of increasing temperatures were anticipated for the cause

of GPS signal delays. Moreover, the opposite linear correlation between zenith path delay parameter and the height of the observed marker were designated in this thesis study.

1. GİRİŞ

Teknolojik gelişmenin ve bilimsel ilerlemenin günümüzde gelmiş olduğu nokta sayesinde birçok doğa olayı tanımlanabilmekte ve modellenebilmektedir. Yapılan bu çalışmalar eski çağlarda insanları korkuya düşüren birçok 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. Bahsi geçen çalışmalar temel olarak jeodezi ve jeofizik gibi disiplinleri bir araya getirmektedir. Bu çok disiplinli işbirliğinin yürütülmesi kapsamında 20. yüzyılın son çeyreğinde uzay jeodezisinin de gelişmesi ile jeodezi bilimi 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 nedeni ile bu teknikler yerini GPS (Global Positioning System – Küresel Konumlama Sistemi) tekniğine bırakmıştır. GPS tekniği, 24 saat istenilen yerde her türlü hava koşullarında ölçme yapılabilmesi, aşırı insan gücüne ihtiyaç duyulmaması, düşük maliyeti ve taşınabilir donanımlardan 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, yerkabuğunda diğer gezegenler, ay ve güneş etkisi ile oluşan gelgitlerin belirlenmesinde, yerin dönme ve gravite parametrelerinin belirlenmesinde faydalanılmaktadır. 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.

Yer kabuğu hareketlerinde yüksek kinematiğe sahip alanların izlenmesi, bu bölgelerde jeodezik ve jeofizik deneylerin belirli duyarlılıkta yürütülmesi için sürekli GPS gözlem ve analizlerine gereksinim duyulmaktadır. Bu analizlere girdi oluşturan GPS gözlemlerinin toplanmasında ise artık çoğunlukla sabit GPS istasyonları (ve bunların sürekli verileri) tercih edilmektedir. Sabit GPS istasyonu işletme, kampanya türü (periyodik) GPS verisi toplamaya oranla oldukça masraflıdır fakat bu istasyonlardan elde edilen zaman serilerinin uygun analizi ile elde edilen sonuçların duyarlılığı artmaktadır.

Marmara Bölgesi, çok uzun yıllardır jeodezik ve jeofizik açıdan birçok bilimsel çalışmanın yürütüldüğü tektonik açıdan aktif bir bölgedir. Bu bilimsel çalışmaların bir bölümünü de bölgenin güncel hız alanının ortaya konulması oluşturur. Bu çalışmada hız kestirimine dair kullanılan MAGNET (Marmara GPS Ağı) sürekli GPS istasyonlarında toplanan GPS verilerinin analizi sonucu GPS gözlemlerine bozucu etki yapan gürültülerin belirlenmesine ve zaman içerisinde kendini tekrar eden periyodik gürültülerin sebep olduğu dönemsel etkiler ve bunların nedenleri açıklanmaya çalışılmıştır. Genel olarak GPS sinyalleri hem beyaz gürültüleri hem de renkli gürültüleri içermektedir. Bu çalışmanın temelini oluşturması bakımından analizler gürültü karakterinin beyaz gürültü olduğu kabul edilerek yapılmıştır, sonuçların renkli gürültü içermesi olasılığı sebebiyle gürültü karakteri spektral analizler ile derinleştirilebilir.

Tez çalışmasının amacı doğrultusunda önümüzdeki dönemlerde yapılması planlanan kampanya gözlemlerinin iyileştirilmesi açısından sürekli GPS istasyonlarından elde edilen zaman serileri ve hız analizleri yardımıyla kampanya gözlemlerine dair ölçme stratejilerinin oluşturulması öngörülmüştür.

1.1 Tez Çalışmasının Amacı

Bu tez çalışmasında 2001–2005 dönemindeki 5 yıl için MAGNET (Marmara GPS Ağı) dahilindeki sürekli GPS istasyonlarında ve 2002–2005 dönemindeki 4 yıla ait periyodik dönemlerde kampanya tipi ölçme noktalarında toplanan verilerin bilimsel bir yazılım olan GAMIT/GLOBK ile değerlendirilmesinin ardından bir matlab uygulaması olan TSVIEW programı ile zaman serisi analizlerinin yapılması sonucu GPS gözlemleri üzerindeki dönemsel değişimlerin ortaya konulması, bu değişimlerin Marmara Bölgesi'nde önceden yapılan ve bundan sonra yapılacak GPS kampanyalarına etkilerinin araştırılması amaçlanmıştır. Çalışma alanı batıda Gelibolu yarımadasından başlayıp doğuda Marmara Bölgesi'nin doğusuna kadar uzanan alanı, kuzeyde Marmara Bölgesi'nin Karadeniz kıyısından güneyde Güney Marmara Bölgesi'nin tamamını içine alan bölgeyi kapsamaktadır. Bu tez çalışmasında toplam 11 sürekli GPS istasyonunun verisinden faydalanılmıştır. Altı aylık periyotlar halinde tamamlanan GPS kampanya ölçmeleri ise 22 kampanya tipi ölçme noktası için değerlendirilmiştir. Bu çalışmada sürekli GPS istasyonlarının da yardımıyla kampanya gözlemleri üzerindeki dönemsel etkilerin belirlenerek kampanya ölçmelerinin iyileştirilmesi yönünde stratejiler geliştirilmesi hedeflenmiştir.

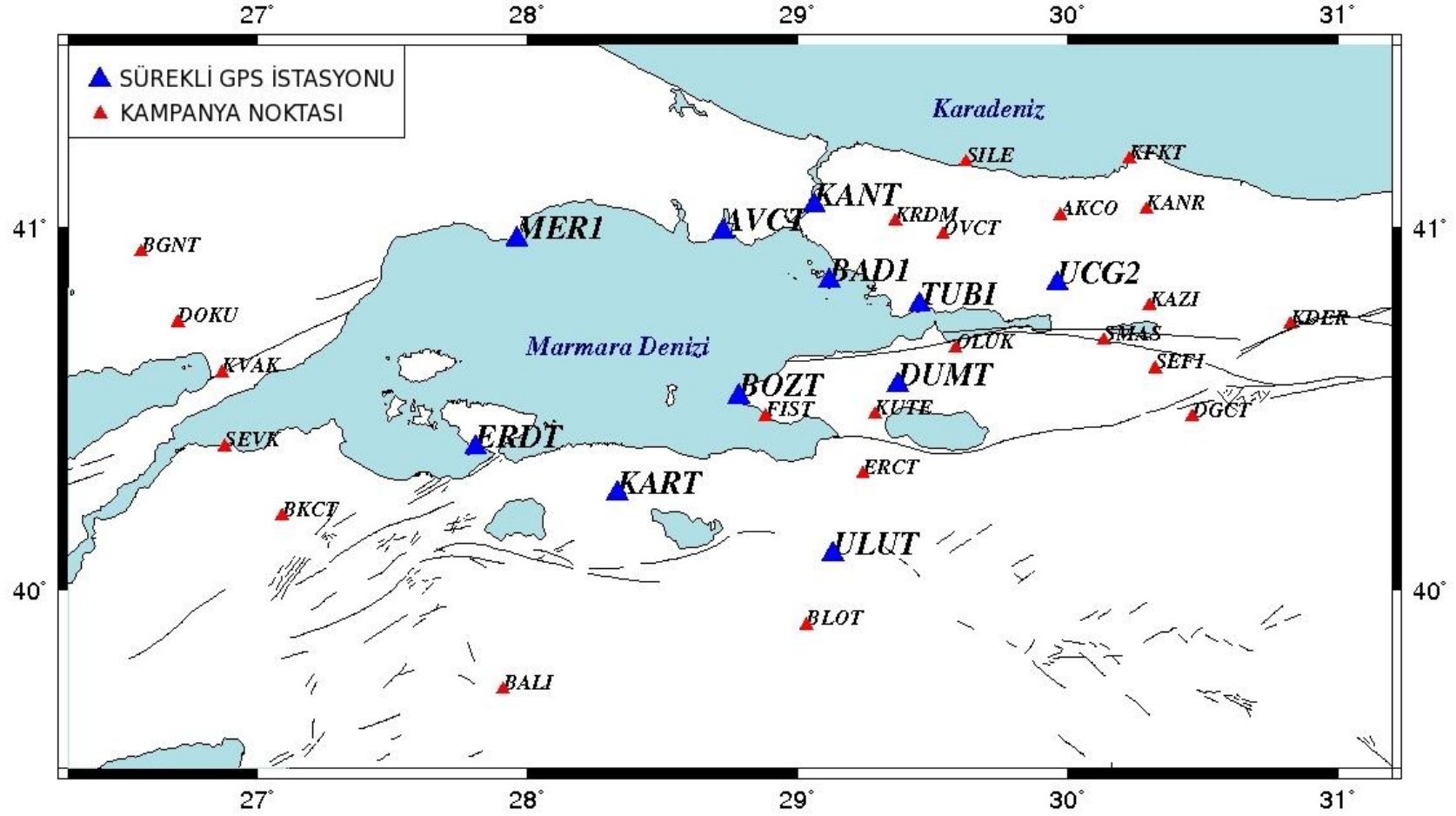
1.2 Tez Çalışmasının Kapsamı

Tez çalışmasında kullanılan Marmara Bölgesi kampanya GPS verileri 2002–2005 yılları arasında bölgede yapılan GPS ölçmeleri neticesinde elde edilmiştir. Bu çalışmalarda GPS ölçmeleri yıllık iki oturum olarak planlanmıştır ve bu oturumlardan her biri günlük en az 10 saatlik ölçü içermektedir. Kampanya ölçmeleri ölçme hatalarını minimum seviyede tutmak amacıyla “mümkün olduğunca aynı noktaların aynı ölçme grupları tarafından aynı donanımlar kullanılarak yılın aynı dönemlerinde ölçülmesi” stratejisi ile tamamlanmıştır. MAGNET içerisinde yer alan sürekli GPS istasyonları ise TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi Yer ve Deniz Bilimleri Enstitüsü bünyesinde yürütülen TÜRDEP (Türkiye'nin Deprem Riski Yüksek Jeo-Stratejik-ancak tektonik rejimleri farklı-Bölgelerinde Deprem Davranışının Çok Disiplinli Yaklaşımlarla Araştırılması) projesi kapsamında işletilmektedir. Çalışmanın esas konusu veri toplanan bu toplam 33 noktanın zaman

serilerinin analizi neticesinde dönemsel değişimlerin açıklanmasıdır. Aşağıda çalışmaya dahil edilen MAGNET sürekli GPS istasyonları ve kampanya tipi ölçme noktaları Çizelge 1.1 ile verilmiş, Şekil 1.1 üzerinde gösterilmiştir.

Çizelge 1.1: Tez çalışmasına dahil edilen MAGNET sürekli GPS istasyonları ve kampanya tipi ölçme noktaları

	İSTASYON KODU	KOORDİNAT (WGS84)	
		ENLEM	BOYLAM
M A G N E T	MER1	40,966	27,961
	AVCT	40,988	28,723
	BAD1	40,852	29,117
	UCG2	40,845	29,962
	DUMT	40,565	29,371
	BOZT	40,534	28,782
	ULUT	40,097	29,131
	KART	40,265	28,332
	ERDT	40,393	27,807
	KANT	41,060	29,061
	TUBI	40,786	29,450
	AKCO	41.033	29.973
K A M P A N Y A N O K T A L A R I	FIST	40.080	28.881
	KANR	41.048	30.293
	KAZI	40.785	30.303
	KRDM	41.017	29.362
	KUTE	40.484	29.287
	OLUK	40.667	29.585
	SEFI	40.611	30.325
	SILE	41.179	29.623
	SMAS	40.689	30.134
	BGNT	40.932	26.570
	BKCT	40.203	27.091
	DOKU	40.739	26.706
	SEVK	40.395	26.880
	ERCT	40.319	29.243
	BLOT	39.899	29.033
	BALI	39.720	27.910
	OVCT	40.980	29.539
	DGCT	40.478	30.462
	KDER	40.734	30.826
	KFKT	41.187	30.229
	KVAK	40.600	26.870



Şekil 1.1: Tez çalışmasına dahil edilen MAGNET sürekli GPS istasyonları ve kampanya tipi ölçme noktaları

2. GPS VERİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

2.1 Giriş

Veri değerlendirme süreci (process) ağı oluşturan bütün noktalara ait ikili ve üçlü farklar ile belirsizliklerin giderilip bu noktaların arasındaki bazların çözülmesi olarak tanımlanmaktadır. Günümüzde kabuk hareketlerinin belirlenmesi gibi yüksek doğruluk gerektiren değerlendirme çalışmalarında üniversitelerin ve enstitülerin yararlanması amacıyla geliştirilmiş olan GAMIT/GLOBK, BERNESE ve GIPSY gibi bilimsel yazılımlar kullanılmaktadır. Bu tez çalışmasında kullanılan GAMIT/GLOBK yazılımı Scripps Institution of Oceanography ve Harvard Üniversitesi Ulusal Bilim Kurulu'nun destekleriyle Massachusetts Institute of Technology Yer, Atmosfer ve Uzay Bilimleri Bölümü tarafından geliştirilmiştir. Değerlendirmede MAGNET sürekli GPS istasyonlarında ve Marmara Bölgesi'ndeki kampanya tipi ölçme noktalarında toplanan GPS ölçüleri Uluslararası GNSS Servisi'nin (IGS) ürünleri kullanılarak GAMIT yazılımı **(King ve Bock, 2003)** ile değerlendirilmiştir. Günlük çözümleri Uluslararası Yersel Referans Ağı (ITRF)'nda tanımlamak için GLOBK yazılımı **(Herring, 2003)** kullanılmıştır. LINUX işletim sistemi üzerinde çalışan bu yazılımın kullanılabilmesi için öncelikle farklı GPS alıcılarından elde edilen verilerin alıcıdan bağımsız hale getirilerek değerlendirme işlemine hazır olması sağlanmalıdır. Buradan hareketle verilerin RINEX (Receiver Independent Exchange Format) formatına dönüştürülmesi gerekmektedir. RINEX formatına dönüştürülen veriler ilk olarak yer gözlem istasyonlarının 3 boyutlu dolaylı konumlarını ve uyduların yörüngesini tahmin edebilmek için GAMIT yazılımı ile değerlendirilirler.

2.2 GAMIT

GAMIT yazılımı ile GPS ölçü değerlendirmesi çift farklı faz ölçmelerinden günlük olarak yapılmaktadır ve her bir güne ait parametre tahminleri ile kovaryanslarını içeren gevşek zorlamalı (loosely constrained) çözüm sonuçları elde edilmektedir.

Koordinatları yüksek doğrulukla bilinen noktalar zorlanarak ve koordinatları düşük doğrulukla bilinen noktalar gevşek bırakılarak programın sonuçları değiştirilebilir. GAMIT yazılımının ana sonucunu veri toplanan noktaların parametre tahmini ve kovaryanslarını içeren h-dosyaları oluşturur.

Bu çalışmada MAGNET (Marmara GPS Ağı) içindeki 11 sürekli GPS istasyonunun ve 12 IGS istasyonunun 2001–2005 yıllarındaki GPS verileri ile 2002–2005 yıllarındaki kampanya GPS verileri değerlendirilmiştir. GAMIT çözümü sonucu gözlem noktalarına ait istasyon koordinatları ile zenit gecikmeleri ve yer küre dönme parametreleri elde edilmiştir. Bu aşamada değerlendirmeye her çözüm günü için 12 IGS istasyonu da dahil edilerek bölgesel ve global ağ ilişkilendirilmiştir. Çözümde koordinatları yüksek doğrulukla bilinen IGS istasyonları (ONSA, GRAZ, WTZR gibi) zorlanarak dengeleme yapılmıştır. Değerlendirmenin GAMIT çözümü aşamasında aşağıdaki stratejiler izlenmiştir.

- a) Hassas yörünge bilgisi, Uluslararası GNNS Servisi (IGS) duyarlı yörünge bilgisi, Standard Ürün 3 (Standard Product 3 – SP3) olarak Scripps Institution of Oceanography (SIO) üzerinden Scripps Orbit and Permanent Array Center (SOPAC)'a ait <ftp://garner.ucsd.edu/pub/products> web adresinden alınmıştır.
- b) Yer dönme parametreleri (EOPS-Earth Orientation Parameters), USNO bull_b (United States Naval Observatory bulletin_b) değerlerinden alınmıştır.
- c) Değerlendirmeye Çizelge 2.1’de belirtilen IGS global ağından 12 sürekli GPS istasyonu dahil edilmiştir. Tüm istasyonlara ait veriler yine SOPAC arşivinden; <ftp://garner.ucsd.edu/pub/rinex> yapısı içinden indirilmiştir.
- d) Referans sistemi tanımlamada ITRF2000 (1997.0) koordinat çözümü kullanılmıştır.
- e) Zenit gecikme bilinmeyenleri Saastamoinen öncül standart troposfer modeline dayalı olarak 2 saatlik aralıklarla hesaplanmıştır. Zenit modeli olarak her iki saatte bir hesaplanan değerler arasındaki her bir zaman aralığı için farklı bir doğrusal (lineer) fonksiyon tanımlayan “parça parça lineer fonksiyon” (piecewise linear function) kullanılmıştır. Çünkü 3 global troposferik model (Saastamoinen, Hopfield ve Neil modelleri) uygulanarak elde edilen Malezya RTK GPS Network dahilindeki baz çözüm sonuçlarına göre bu global troposferik modellerin istatistiksel olarak belirgin farklar içerdiği söylenemese de genel olarak Saastamoinen modeli yatay ve düşey bileşenler

için sırasıyla %89 ve %92 oranlarında daha duyarlı baz çözüm sonuçları üretmektedir. Bunun yanında Hopfield ve Neil modelleri ise yine sırasıyla yatayda %82 ve %72, düşeyde de %85 ve %64 oranlarında daha duyarlı sonuçlar ortaya koymaktadır (**Dodo ve Kamarudin, 2008**).

- f) Atmosferin kuru ve ıslak kısımları için “Niell Mapping Function” uygulanmıştır (**Niell, 1996**). Mapping function eğim açısına bağlı olarak değişen sinyal yolu eğriliği için zenit gecikme değerlerinin modellenmesi için kullanılır. Sinyalin yolculuğunu sürdürdüğü eğri yol ile uydu-alıcı arasındaki asıl olan doğru yol arasındaki fark zenit (başucu) doğrultusunda tam olarak sıfırdan yatayda birkaç metreye kadar ulaşmaktadır (**Hopfield, 1977**). 10°’nin altındaki eğim açılarında Niell Mapping Function (NMF) dışında IFADIS ve MTT gibi başka yüksek doğruluklu modeller de olmasına rağmen bu modellerin yüzeydeki güvenilir meteorolojik dataya ihtiyaç duymaları nedeniyle NMF tercih edilmiştir. Niell Mapping Function için troposferik gecikmenin kuru bileşeni atmosferin 1 km üzerindeki mevsime bağlı ortam koşullarına dayanır, ıslak bileşen ise enleme göre değişir.
- g) Değerlendirmede L1 ve L2 taşıyıcı dalga fazlarının iyonosferden bağımsız LC(L3) doğrusal lineer kombinasyonu kullanılmıştır (**Herring, 2008**).
- h) GLOBK’ye girdi olarak gevşek kısıtlı ve başlangıç faz belirsizliği sabit çözümler alınmıştır.

Çizelge 2.1: GAMIT çözümlerinde kullanılan IGS ağında tanımlı sürekli GPS istasyonları

İstasyon Adı/Bulunduğu Ülke	İstasyon Kodu	İstasyon Adı/Bulunduğu Ülke	İstasyon Kodu
Ankara/Türkiye	ANKR	Onsala/İsveç	ONSA
Graz/Avusturya	GRAZ	Ohrid/Makedonya	ORID
İstanbul/Türkiye	ISTA	Sofya/Bulgaristan	SOFI
Kitab/Özbekistan	KIT3	Trabzon/Türkiye	TRAB
Matera/İtalya	MATE	Wettzell/Almanya	WTZR
Nicosia/Kıbrıs Rum Kesimi	NICO	Zelenchukskaya/Rusya	ZECK

2.3 GLOBK

GLOBK kalman filtreleme yöntemi kullanarak parametre kestirimi yapan dünyada birçok enstitü ve üniversite tarafından kullanılan bir programdır. Kalman filtreleme yöntemi prediksyon, filtreleme ve yumuşatma adımlarından oluşur. Prediksyon adımıyla t_{k-1} zamanındaki durum vektörü temel alınarak bir sonraki t_k zamanı için beklenen durum vektörü bulunur. Filtreleme adımıyla t_k zamanına tahmin edilmiş durum vektörü ile bu zamanda yapılmış ek ölçüleri kullanarak t_k zamanındaki durum vektörü belirlenir. Mevcut tüm ölçüler kullanılarak t_{k-1} zamanındaki düzeltilmiş durum vektörü yumuşatma adımı ile belirlenir. Kalman filtresi en küçük kareler yöntemine göre gruplar halinde dengelemenin özel bir biçimi olup yöntemin çözüm eşitlikleri en küçük kareler ilkesine dayalı olarak elde edilebilir (**Doğan ve Demirel, 2001**). GLOBK yazılımının temel amacı yersel gözlemler veya uzaysal jeodezi ile elde edilen birincil verilerin işlenmesiyle ortaya çıkan sonuçları birleştirmektir. GLOBK veri olarak ortak gözlemler bir başka deyişle istasyon nokta koordinatlarının tahmini ve ortak kovaryans matrisleri, dünya dönüş parametreleri, yörünge parametreleri ve birincil gözlemlerin analizinden üretilmiş konum bilgilerini kabul etmektedir. GLOBK programında üç temel uygulama vardır:

- 1- Çoklu gün çözümlerinin ortalamasının alınması ile oluşan tahmini istasyon koordinatlarını elde etmek için birbirinden ayrı gözlemlerin oturumlarının birleştirilmesidir. GPS analizleri için, yörünge parametreleri stokastik (olasılıklı) olarak uzun ve kısa yay çözümlerine izin verilerek işlenmektedir.
- 2- GLOBK, birinci uygulamadan gelen çeşitli yıllara ait gözlemlerle elde edilen ve günlük çözümlerin ortalaması alınarak oluşturulan tahmini istasyon koordinatlarını, istasyon noktalarının tahmini hızlarını bulmak için birleştirmektedir.
- 3- GLOBK birbirinden ayrı oturumlar veya çözümlerden elde edilen bağımsız tahmini koordinatları kullanarak, zaman serilerini günlerin (oturumların birleştirilmesi) ve yılların (çözümlerin birleştirilmesi) ölçme doğruluklarının değerlendirmesini üretmektedir. Elde edilen koordinatlardan Kalman Filtreleme ile seçilen istasyon noktalarına göre ölçülen noktaların hız tahmini yapılmaktadır (**Herring, 2008**).

Değerlendirmenin GAMIT adımı ile günlük çözümler gevşek zorlamalı olarak elde edilmektedir. GLOBK yazılımı ile GAMIT yazılımından elde edilen günlük çözümlerden yararlanarak nokta konum ve hızlarının belirlenmesi ve koordinat

zaman serilerinin elde edilebilmesi için çözümlerin hassas, güvenilir ve dünya üzerinde kabul gören bir referans sisteminde tanımlanması gerekmektedir. Bu aşamada dünya üzerindeki en güvenilir ve en duyarlı jeodezik referans sistemi IERS (International Earth Rotation and Reference Systems Service) tarafından tanımlanan ITRF (International Terrestrial Reference Frame)'dir. Bu çalışmada GAMIT ile her gün için elde edilen gevşek zorlamalı günlük GPS çözümleri, ITRF referans sistemlerinden ITRF2000'e dayandırılmıştır. Bu referans Çizelge 2.2'de tanımlı 15 global IGS noktasından yararlanarak 7 parametrelili (3 öteleme, 3 dönüklük ve 1 ölçek) dönüşüm ile sağlanmıştır. GLOBK ile birbirinden ayrı oturumlardan elde edilen bağımsız tahmini koordinatlar kullanılarak istasyon noktalarının günlük kestirim değerleri ve ölçme doğruluklarının değerlendirilmesi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen koordinatlardan Kalman Filtreleme ile seçilen istasyon noktalarına göre ölçülen noktalar için Avrasya referans sisteminde hız tahmini yapılmıştır.

Çizelge 2.2: GLOBK çözümlerinde kullanılan ITRF2000 referans ağı istasyonları

İstasyon Adı/Bulunduğu Ülke	İstasyon Kodu	İstasyon Adı/Bulunduğu Ülke	İstasyon Kodu
Zwenigorod/Rusya	ZWEN	Onsala/İsveç	ONSA
Metsahovi/Finlandiya	METS	Ny-Alesund/Norveç	NYAL
Jozefoslaw/Polonya	JOZE	Zimmerwald/İsviçre	ZIMM
Tromsøe/Norveç	TROM	Kootwijk/Hollanda	KOSG
Borowiec/Polonya	BOR1	Brussels/Belçika	BRUS
Graz/Avusturya	GRAZ	Herstmonceux/İngiltere	HERS
Matera/İtalya	MATE	Potsdam/Almanya	POTS
Wettzell/Almanya	WTZR		

3. ZAMAN SERİSİ ANALİZİ

3.1 Giriş

Zaman serisi, belirli zaman aralıklarında ilgilenilen fiziksel bir büyüklüğün (değişkenin) ardışık değerlerinin kaydedilmesiyle oluşan gözlemler kümesidir. Zaman serisi analizinin yapılma amacı, gözlem kümesince temsil edilen gerçeğin anlaşılması ve zaman serisindeki değişkenlerin temsil ettiği fiziksel sürecin geçmiş ve gelecek değerlerine kestirimlerde bulunabilmektir. Zaman uzayının yanı sıra frekans uzayında da analiz işlemi mümkündür. Zaman uzayı ile farklı zaman dilimlerindeki gözlemler arasındaki ilişkiler, frekans uzayında ise periyodik hareketler incelenmektedir. Analiz işleminde veri kayıt aralığı eşit olarak alınır, eşit olmadığı durumlarda ise lineer enterpolasyon, harmonik analiz, vb. yöntemlerle boşluk olan kısımlardaki değerler kestirilir. Zaman serilerine çoğunlukla polinomlarla yaklaşılır, ancak serinin salınım yaptığı durumlarda analize trigonometrik fonksiyonlar dâhil edilir. Zaman serileri temel anlamda sinyal (signal) ve gürültü (noise) olmak üzere iki kısımdan oluşur. Gözlemlere bozucu etki yapan gürültü, rastgele gürültü ve sistematik gürültü olmak üzere ikiye ayrılır. GPS verilerindeki gürültünün, zamandan bağımsız beyaz gürültü ve zamana bağımlı renkli gürültünün birleşimi olduğu varsayılmaktadır. Beyaz gürültü ölçme hatalarından kaynaklanırken, renkli gürültü GPS alıcısının konuşlandığı yerin kararsızlığından kaynaklanmaktadır (**Baykut ve diğ., 2006**). Teoride karşılaşılmak istenen gürültü literatürde beyaz gürültü olarak adlandırılan ve herhangi bir bağımlı değişken ile korelasyonlu olmayan rastgele gürültüdür. Ancak pratikte yapılan gözlemleri bir değişken ile korelasyonlu olarak etkileyen sistematik gürültüler de mevcuttur. Sistematik gürültü de kendi içinde periyodik ve periyodik olmayan diye ikiye ayrılmaktadır. Periyodik olmayan gürültü datum kayıklıkları, trend (lineer, kuadratik, üstel v.s.) gibi bileşenleri barındırır. Periyodik olan gürültü ise zaman içerisinde kendini tekrar eder. Zaman serisi 3.1 eşitliğindeki gibi bileşenlerinin bir fonksiyon olarak yazılabilir (**Erdoğan ve diğ., 2005**).

$$\text{Zaman Serisi} = f(\text{Trend Bileşeni, Periyodik Bileşen, Stokastik Bileşen}) \quad (3.1)$$

Zaman serisi analizlerinde ilk önce zaman ekseninin ortaya konması amacı güdülür. Bu sayede serinin bir trend (genel eğilim) bileşenine sahip olup olmadığı görülür. Daha sonra periyodik hareketler tanımlanmaya çalışılır. Zaman serisinin deterministik bir trend bileşenine sahip olması durağan olmayan zaman serilerinde durağan olmama durumunun göstergesi olarak düşünülebilir. Bu tür durağan olmayan serilerin durağan hale getirilmesi için trend ve/veya periyodik etkilerden temizlenmesi gerekmektedir. Son olarak da stokastik bileşenin barındırdığı düzensiz hareketler giderilerek serinin gürültü etkilerinden arındırılması sağlanır.

Zaman serisinin bileşenleri:

- **Trend (Genel Eğilim) Bileşeni:** Zaman serilerinin uzun sürede gösterdiği kararlı düşme ve yükselme süreçlerinden sonra oluşan kararlı durumdur. Zaman serileri uzun dönem açısından kararlı alçalma ya da yükselme şeklinde bir eğilime sahiptir.
- **Periyodik Bileşen:** Zaman serilerinde düzenli olarak tekrarlanan değişimleri ifade etmektedir. Bir yıldan az durağan kalan tekrarlanan serileri temsil eden dönemsel değişimleri içerir.
- **Stokastik Bileşen:** Beklenmeyen ve tekrarlanmayan faktörler sebebiyle gerçek zaman serisi değerlerinin diğer bileşenlere dayalı beklenen değerlerinden sapmasına dayanır.

3.2 GPS Zaman Serilerinde Dönemsel Değişimlere Sebep Olan Faktörler

Genel olarak, GPS nokta konumlarına etki yapan dönemsel değişimlerin sebeplerini üç sınıfta toplamak mümkündür. Birinci sınıf içinde daha çok Ay ve Güneş'in çekim etkisi ile meydana gelen hareketlenmeler yer almaktadır. Bunun yanında dönemsel kutup hareketinden kaynaklanan rotasyonel yer değiştirmeler; UT1 (universal time corrected for polar motion) değişimleri; kara gel-gitleri, okyanus gel-gitleri ve atmosferik gel-gitler gibi yükleme sebebiyle oluşan yer değiştirmeler ile yıllık salınım (çevrimi 365 gün) ve chandler salınımı (çevrimi 435 gün) bileşenlerine sahip dönemsel kutup hareketleri de bu kategoride değerlendirilmektedir. Kutup hareketindeki yıllık salınımın nedeni hava ve su kütlelerinin hareketleridir. Chandler salınımının başlıca sebebi olarak da sıcaklık ve tuzluluk değişimleri ile

okyanuslardaki sirkülasyonlarda rüzgârın itme kuvvetindeki değişimler sonucu okyanus tabanındaki basınç dalgalanmaları olarak bilinmektedir. İkinci sınıfı ise termal kaynaklı hidrodinamikler oluşturmaktadır. Yine atmosferik basınç sonucu dönemsel deformasyon yüklemesi, gel-git etkisine bağlı olmayan deniz yüzeyi dalgalanmaları ve hem sıvı hem de katı yer altı suları gibi nedenler ikinci sınıf içinde yer almaktadır. Ayrıca GPS noktalarının altındaki ana kayaçlardaki termal genleşme ile rüzgârın yönünde ve hızındaki değişimler sonucu oluşan yer değiştirmeler de bu kategori içindedir. Üçünü kategori de yine dönemsel değişimler yaratan çeşitli hataları barındırmaktadır. Uydu yörünge modellemelerinden kaynaklanan dönemsel hatalar, atmosferik modellemeler, su buharı dağılımı modellemeleri, faz merkezi değişimi modellemeleri, antene ait termal gürültü, yerel multipath etkisi ve anten üzerindeki kar örtüsü gibi birçok neden nokta konumuna dair yapılan kestirimlere etki etmektedir (**Dong ve diğ., 2002**). Dönemsel değişimlere önemli derecede katkı yapan atmosferik etkiler iyonosferik ve troposferik etkiler olmak üzere iki bölümde incelenebilir.

İyonosfer, yeryüzünden 100 km ile 1000 km uzaklıkta olan yüzeyler arasındaki bölge olarak tanımlanmaktadır. İyonosfer saçıcıdır (dispersif) ve nötr moleküllerin güneşlenme (radyasyon) etkisiyle iyonlaşmasından kaynaklanan serbest elektronlar ile pozitif yüklü atom ve moleküller içermektedir. İyonosferin GPS sinyallerine olan etkisi sinyal yolu üzerindeki serbest elektron sayısına (TEC) bağlı olarak değişir. Atmosferdeki serbest elektronların sayısı, coğrafi ve jeomagnetik konumun, solar ve jeomagnetik aktivitenin, mevsimin ve günün saatinin bir fonksiyonudur (**Hartman ve Leitingner, 1984**). İyonlaşma ve toplam elektron sayısı güneş ışınması (radyasyon yoğunluğu) ile direk ilişkilidir. Buradan hareketle GPS sinyalleri üzerindeki iyonosfer etkisinin geceye oranla gündüz daha fazla olacağı sonucu çıkarılabilir. İyonosfer boyunca ilerleyen GPS sinyali kod ölçmelerinin gecikmesi ve taşıyıcı faz ölçmelerinin hızlanması yönünde etkilere maruz kalmaktadır. Bu sebeple uydu-alıcı arasındaki geometrik uzunluğa oranla kod ön-uzunlukları daha uzun taşıyıcı faz ön-uzunlukları ise daha kısa olarak ölçülür. TEC gün içindeki maksimum değerine yerel saat ile yaklaşık 14:00 civarında minimum değerine ise gece yarısından sonra sabah 05:00'a kadar olan zaman diliminde ulaşır. Gece boyunca iyonosferik etki yaklaşık ortalama 10 nanosaniye (~3 metre), gündüz ise 50 nanosaniye (~15 metre) kadardır (**Spilker, 1980**). TEC için dönemsel değişimler yaz, kış ve ekinoks (Mart, Eylül

ayları) dönemlerinde meydana gelir **(Breed ve Goodwin, 1998)**. Güneş kaynaklı radyasyon aktivitesi 11 yıllık bir periyot içinde kendini tekrar etmektedir. Bununla birlikte GPS'te çift taşıyıcı dalga kullanımına olanak verilmesi iyonosferik etkilerin giderilmesi için uygun bir yöntem olarak ortaya çıkmaktadır.

Yeryüzü ile yeryüzünden 100 km uzaklıktaki küresel yüzey arasında kalan bölge nötr (iyonsuz) atmosfer tabakasını oluşturur. İlk 50 km'lik kısım sıcaklığın yükseklikle azaldığı troposfer (0–10 km), sıcaklığın sabit kaldığı tropopause (10 km) ve sıcaklığın yükseklikle arttığı stratosfer (10–50 km) bölümlerinden meydana gelir. Troposfer toplam gecikmenin %80'ini oluşturduğundan atmosferin nötr kısmından geçen sinyalin uğradığı gecikme genel olarak troposferik gecikme olarak adlandırılır **(Hopfield, 1969)**. Troposferik gecikme kuru ve ıslak bileşen olarak iki kısma ayrılmaktadır. Kuru bileşen yüzey meteorolojik ölçmeleri yardımıyla üretilen troposferik gecikme modelleri ile belirlenebilir, ancak toplam gecikmenin %10'luk kısmını oluşturan ve atmosferdeki su buharından ibaret olan ıslak bileşen troposferdeki sıvı su ve su buharının düzensiz dağılımından dolayı tahmin edilmesi güç bir parametredir. Özellikle uydu eğim açısının 15°'nin altında olduğu durumlarda troposferik gecikme daha büyük boyutlara ulaşmakta ve kestirimi daha da zor hale gelmektedir. Troposferik gecikmenin zenit doğrultusundaki değeri yaklaşık 2,2 metre iken eğim açısının 0°'ye yaklaştığı durumlarda ise 25-85 metre aralığında değişimler görülebilmektedir **(Mekik, 1993)**. İyonosfer tabakasındaki etkileri gidermede kullanılan L1 ve L2 frekanslarının kombinasyonu ile bu etki giderilemez. Bu nedenle troposferden kaynaklanan hataların modellendirilerek ortadan kaldırılması yoluna gidilir.

4. TEZ KAPSAMINDAKİ ÇALIŞMALAR

4.1 TSVIEW Uygulamasının Zaman Serisi Analizindeki Kullanımı

TSVIEW, Massachusetts Institute of Technology bünyesinde geliştirilen ve GAMT/GLOBK yazılımının GLRED modülü ile oluşturulan GPS zaman serilerini görüntüleme, oluşturulan zaman serilerinin kalitesini değerlendirme, seriler üzerinde düzeltmeler yapma ve seriler üzerinde çeşitli modeller uygulayarak hız tahminleri ile gürültü analizleri yapma olanakları veren bir matlab uygulamasıdır. Bunun yanında GLOBK için hatalı nokta konum kestirim değerlerini silecek ve zaman serisi içindeki sıçramaların nedenini açıklayacak kontrol dosyalarını oluşturmak bu uygulamanın temel amacıdır. TSVIEW, GLOBK tarafından üretilen ve nokta konum bileşenleri (Kuzey, Doğu ve Yükseklik bileşenleri) için parametre kestirim değerleri ile her bir kestirim değerine ait karesel ortalama hata değerlerini barındıran mb_ dosyalarının bulunduğu klasörde çalıştırılır. Şekil 4.1'de MAGNET ağındaki TUBI istasyonu için TSVIEW uygulama penceresi gösterilmiştir. TSVIEW için girdi dosyaları olan mb_ dosyalarının isim formatı ve dosya içeriği şu şekildedir:

standart dosya isim formatı: mb_**ABCD_XYZ**.dat**N**

ABCD_XYZ: istasyon ismi veya kodu

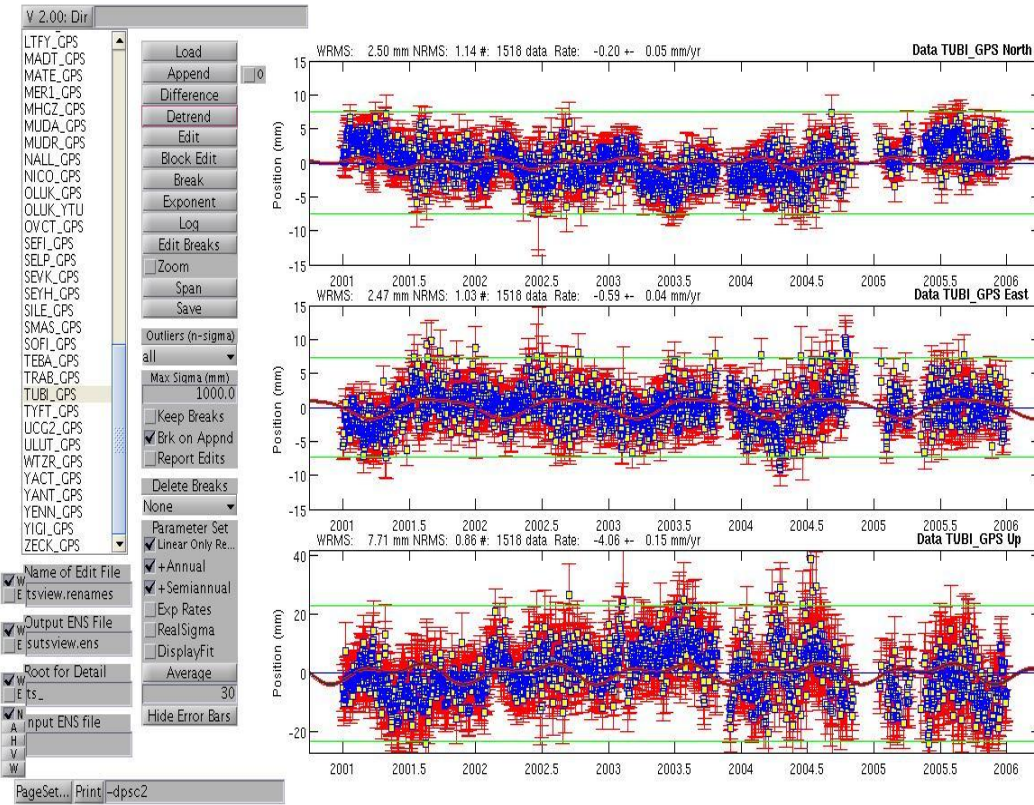
N: nokta konum bileşenlerini temsil etmek için kullanılan 1, 2 ya da 3 sayı değeri (1: Kuzey bileşen, 2: Doğu bileşen, 3: Yükseklik bileşeni)

Yukarıda isim formatı belirtilen mb_ dosyasının içeriği aşağıdaki gibidir. Bu dosya içeriğinde ilk 3 satır başlık olarak kabul edilmektedir. Başlık bölümünden sonraki kısımlar için ilk sütun kestirim değerlerine ait zamanı ondalıklı olarak göstermektedir. İkinci sütunda ilgili bileşene dair parametre kestirim değerleri ve 3. sütunda da bu kestirim değerlerinin standart sapmaları belirtilmektedir. MAGNET ağındaki MER1 sürekli GPS istasyonu için uygun formattaki dosya içeriği aşağıda örnek olarak verilmiştir.

Globk Analysis

MER1_GPS to N Solution 1 + 4560418.110 m

226.499	8.11516	0.00230
227.499	8.11416	0.00212
228.499	8.11601	0.00223
229.499	8.11165	0.00226
230.499	8.11303	0.00209



Şekil 4.1: TSVIEW ile zaman serisi analizi için örnek uygulama penceresi

TSVIEW uygulaması başlatıldıktan sonra sol taraftaki menüler yardımıyla zaman serilerine müdahale edilip düzeltilebilir ve seri bir fonksiyona uydurulabilir. Daha önce değinilen mb_ dosyalarının bulunduğu klasörde başlatılan TSVIEW, GLOBK sonucu üretilen mb_ dosyalarını otomatik olarak tanır ve menü penceresinde yüklenmeye hazır bir şekilde bekletir, mb_ dosya isim formatı içindeki kodları ile tanımlanan istasyonlara ait zaman serisi istenilen istasyon seçilerek ‘LOAD’ butonu kullanılarak ekrana yüklenir. Bir istasyonun yüklemesi yapıldıktan sonra başka bir istasyona ait zaman serileri de ‘APPEND’ butonu ile aynı analize dahil edilebilir. ‘EDIT’ butonu kullanılarak zaman serisine müdahale edip değişiklikler yapmak

mümkündür. Uygulamanın sol alt bölümündeki kısım çıktı dosyalarının oluşturulup bir zaman serisi üzerindeki işlemlerin raporlandığı bölümdür. Bununla beraber zaman serilerinde depremler ya da GPS donanım değişiklikleri sonucu ortaya çıkan kesintiler için fonksiyonlar tanımlayarak yorumlar yapılabilir. Zaman serisi içindeki herhangi bir kesinti basit bir offset olabilir veya bu kesinti logaritmik ya da exponansiyel fonksiyon izleyen bir offset olarak da ortaya çıkabilir. Bu değişik fonksiyon tanımları zaman serilerinin depremler sonrasındaki davranışlarını incelemek amacıyla kullanılmaktadır. Ayrıca zaman serilerine ait yıllık ve yarıyıllık bileşenler de tahmin edilebilir. Seride modellenmek istenen hatalar (kalıntılar) ‘Linear only residual’ seçeneği işaretlenerek ofsetleri giderilmiş ve lineer bir şekilde gösterilebilir. Bu seçenek dahilinde siyah kalın bir çizgi kestirilen model parametrelerinin zaman değişimini göstermektedir. Kırmızı model belirsizlik doğruları ise bu siyah doğrudan ± 1 standart sapma ayrılacak şekilde belirtilmektedir. TSVIEW uygulamasında parametre kestirimlerinin belirsizlikleri zaman serilerindeki koordinat kestirimlerinin standart sapmaları ve serideki beyaz ya da renkli gürültü kabulleri ile kalıntı sinyalinin istatistik özellikleri kullanılarak hesaplanır. Eğer ‘RealSigma’ butonu işaretli değilse bu analizde beyaz gürültü modelinin kullanıldığı manasına gelmektedir.

4.2 Zaman Serilerinin Temizlenmesi

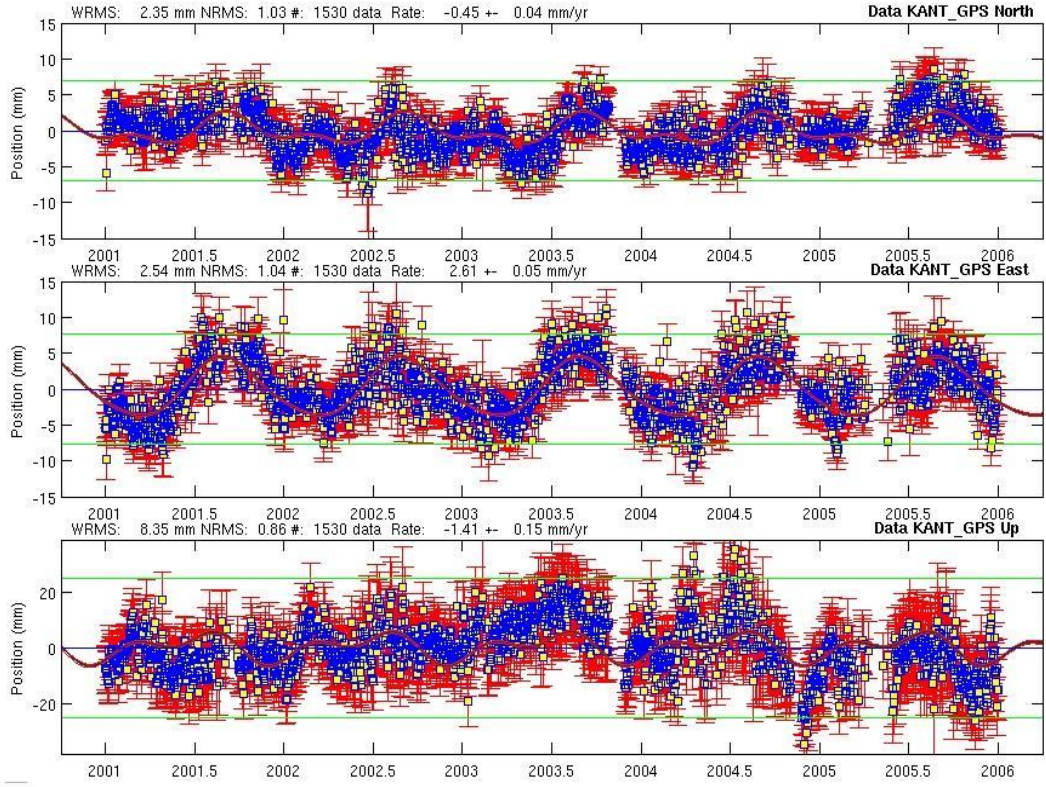
Çalışma kapsamında zaman serilerinin temizlenmesi işlemi TSVIEW uygulaması kullanılarak gerçekleştirilmiştir. GLOBK tarafından üretilen ve nokta konum bileşenleri (Kuzey, Doğu ve Yükseklik bileşenleri) için parametre kestirim değerleri ile her bir kestirim değerine ait karesel ortalama hata değerlerini barındıran mb_ dosyalarının içerdikleri kaba hatalardan arındırılması amacıyla “edit” ve/veya “block edit” modülleri yardımıyla kaba hatalı ölçmeler bir dosyaya yazdırılarak analiz dışında bırakılmıştır. Buna ek olarak TSVIEW uygulaması içindeki “outliers” veya “maksimum sigma” parametreleri gibi kısıtlayıcı kriterler ile zaman serilerinin kalitesi sınırlandırılabilir. Bu çalışmada hem TSVIEW uygulamasındaki outliers parametresi ile 3 sigma kısıtlama getirilerek hem de koordinat zaman serilerinin ağırlıklı karesel ortalama hata (Weighted Root Mean Square-WRMS) değerlerinin 3 katı büyüklüğünde değerler kullanılarak oluşturulan sınırlar ile veri kalitesinin kontrolü sağlanmıştır. Genellikle GPS koordinat zaman serilerinin kalitesini ölçmede

ağırlıklı karesel ortalama hatalar kullanılmaktadır. WRMS hesabı koordinat zaman serilerinden ortalama ya da doğrusal trend gibi model değerleri çıkarılarak bulunan artık hata (residual) terimlerinin kullanılmasıyla yapılmaktadır. Bu çalışmada da olduğu gibi WRMS hesabında genellikle doğrusal regresyon modeli tercih edilmektedir. Her bir koordinat zaman serisinin En Küçük Kareler (EKK) yöntemi ile doğrusal regresyon analizi sonucu bulunan artık hataların standart sapmalarının göz önüne alınmasıyla hesaplanan WRMS değerleri şu eşitlik kullanılarak elde edilir.

$$WRMS = \sqrt{\frac{\left(\frac{N}{N-u}\right) \sum_{i=1}^N \frac{e_i^2}{\sigma_i^2}}{\sum_{i=1}^N \frac{1}{\sigma_i^2}}} \quad (4.1)$$

4.1 eşitliğinde (Yıldız, 2005) N ilgili koordinat zaman serisindeki günlük çözüm sayısını, u bilinmeyen sayısını, e_i artık hataları, σ_i artık hataların standart sapmalarını temsil etmektedir.

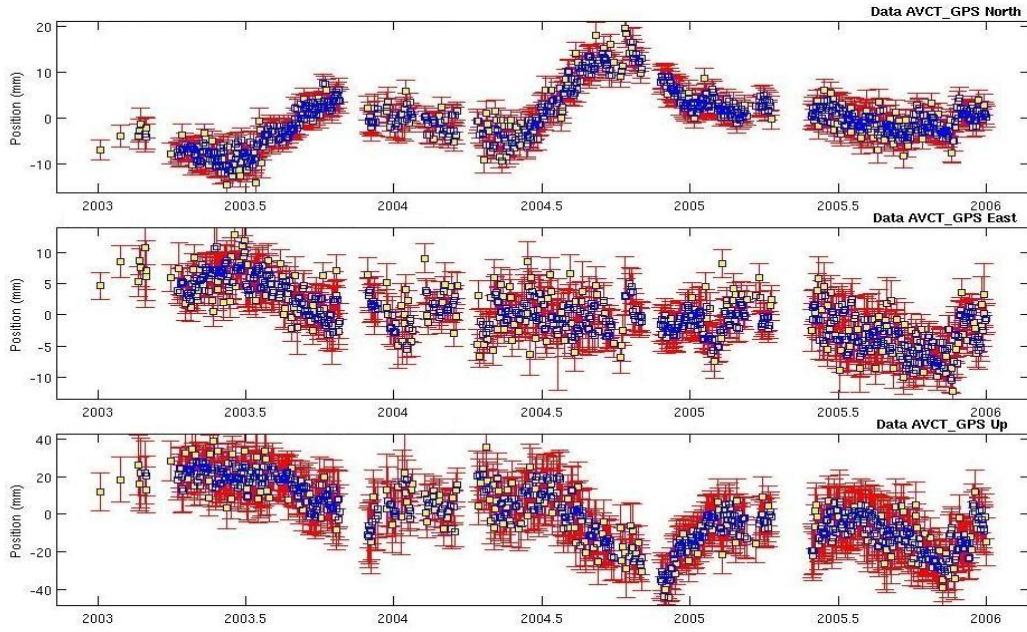
Çalışma kapsamındaki zaman serilerinin temizlenmesi işlemi için TSVIEW uygulamasının kullanımı tercih edilmiştir. Şekil 4.2’de MAGNET ağındaki KANT istasyonunun zaman serisi temizlenmesine yönelik analizine örnek bir görüntü verilmiştir. 4.1 eşitliği ile bir zaman serisinin tüm bileşenleri için hesaplanan WRMS değerleri TSVIEW uygulama penceresinin üst kısmında belirtilmektedir. Bu WRMS değerlerinin 3 katı büyüklüğündeki yeşil hatlar sınır değerlerini göstermektedir. Bu sınırlar içinde kalan zaman serileri analize dahil edilmiş, sınırların dışında kalan değerler analiz dışında bırakılmıştır.



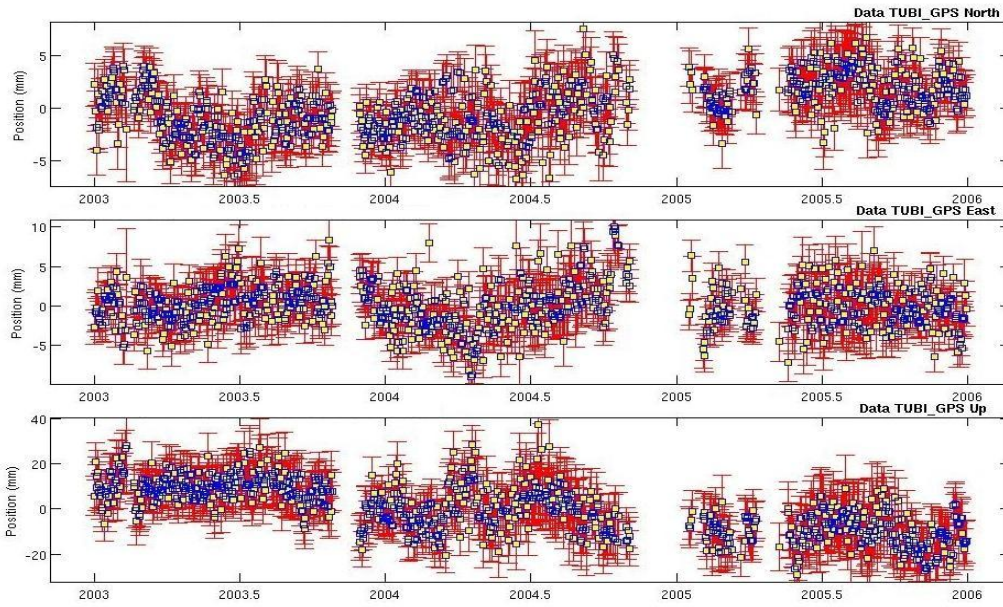
Şekil 4.2: MAGNET ağındaki KANT sürekli GPS istasyonunun 2001–2005 yıllarındaki koordinat zaman serisinin kalitesinin sorgulanmasına ait örnek görüntü

4.3 MAGNET Ağındaki Sürekli GPS İstasyonları İle Uygulama Alanındaki Kampanya Tipi Ölçme Noktalarının Zaman Serilerinin Oluşturulması

Tez çalışması kapsamında kullanılan Çizelge 1.1'deki 11 MAGNET istasyonu ve 22 kampanya tipi ölçme noktası için GAMIT/GLOBK yazılımının GLRED modülü ile oluşturulan ve TSVIEW matlab uygulaması yardımıyla da temizlenen koordinat zaman serileri sürekli GPS istasyonlarının 2003, 2004 ve 2005 yıllarındaki, kampanya tipi ölçme noktalarının ise 2002, 2003, 2004 ve 2005 yıllarındaki zamana bağlı konum değişimlerini göstermektedir. Şekil 4.3'de AVCT istasyonunun ve Şekil 4.4'de de TUBI istasyonunun koordinat zaman serileri verilmiştir. Bu zaman serilerindeki birinci pencere koordinat zaman serisinin kuzey-güney bileşeni, ikinci pencere doğu-batı bileşeni ve üçüncü pencere de yükseklik bileşeni için konum değişimini temsil etmektedir. Yatay eksen yarıyıllık periyotlar halinde zaman değişimini düşey eksen ise mm (milimetre) mertebesinde noktaya ait konum değişimini belirtmektedir.



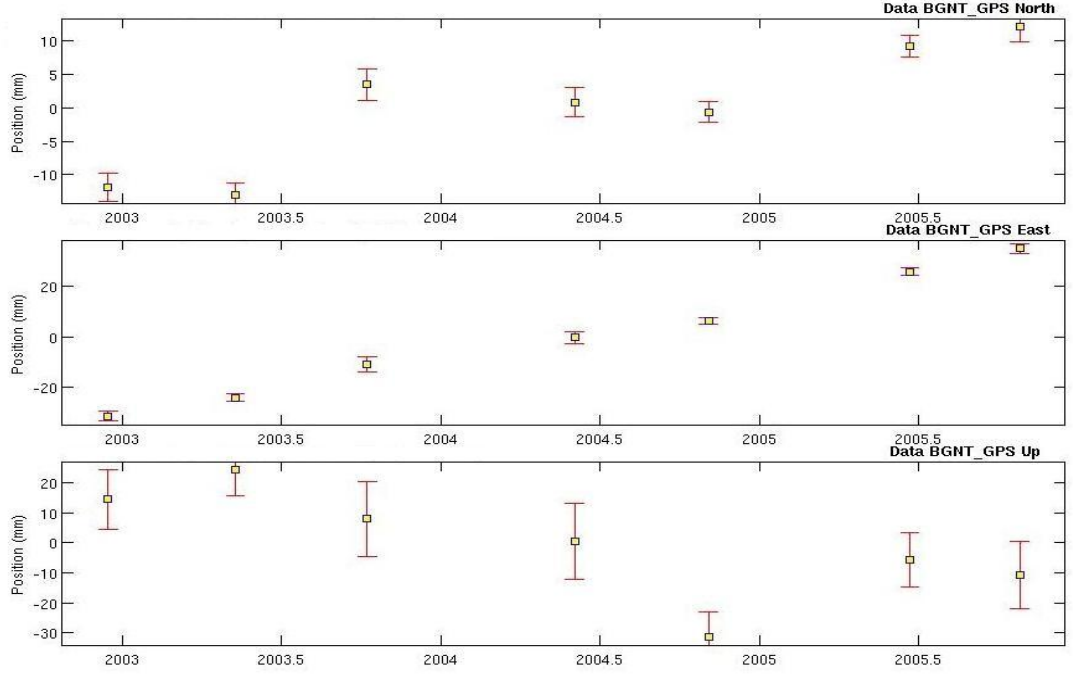
Şekil 4.3: MAGNET ağındaki AVCT sürekli GPS istasyonunun 2003–2005 yıllarındaki 3 yıllık döneme dair koordinat zaman serisi



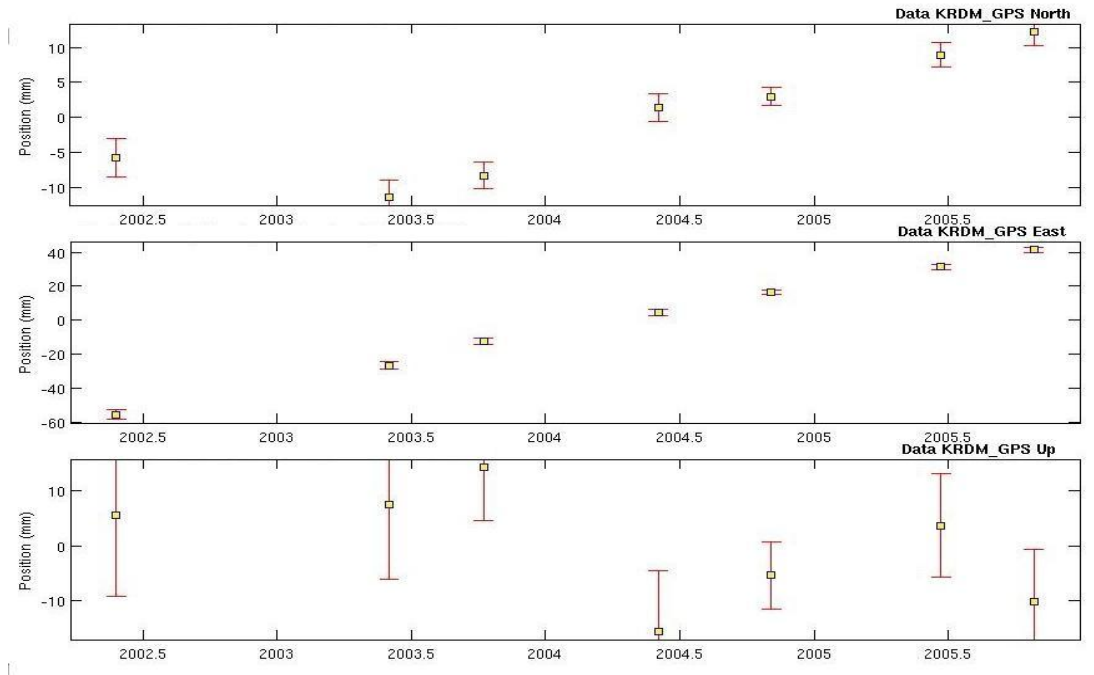
Şekil 4.4: MAGNET ağındaki TUBI sürekli GPS istasyonunun 2003–2005 yıllarındaki 3 yıllık döneme dair koordinat zaman serisi

AVCT ve TUBI istasyonlarına ait zaman serileri incelendiğinde her iki istasyonun bileşenler üzerindeki trend etkisi ve dönemsel anomaliler görülebilmektedir. Uygulama alanındaki kampanya tipi ölçme noktalarında 2002–2005 yıllarına ait dönemde toplanan verilerin zaman serileri de sürekli GPS istasyonları zaman

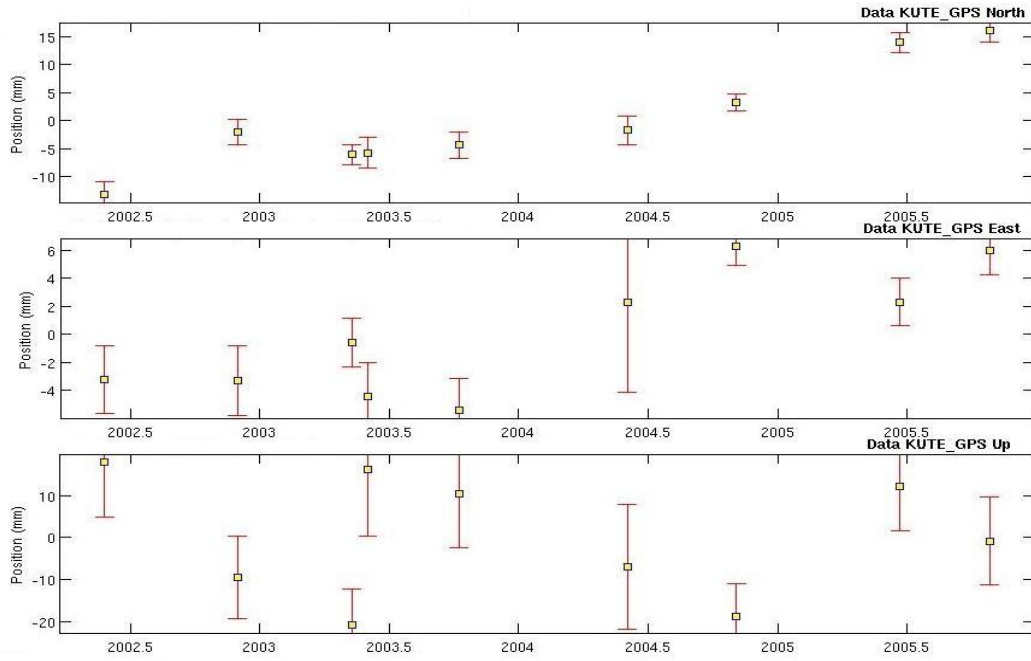
serilerinde uygulanan strateji ile oluşturulmuştur. Kampanya tipi ölçme noktaları için Şekil 4.5'te BGNT, Şekil 4.6'te KRDM ve Şekil 4.7'de ise KUTE kampanya tipi ölçme noktalarının zaman serisi grafikleri verilmiştir.



Şekil 4.5: BGNT kampanya tipi ölçme noktasının 2002–2005 yıllarındaki 4 yıllık döneme dair koordinat zaman serisi



Şekil 4.6: KRDM kampanya tipi ölçme noktasının 2002–2005 yıllarındaki 4 yıllık döneme dair koordinat zaman serisi



Şekil 4.7: KUTE kampanya tipi ölçme noktasının 2002–2005 yıllarındaki 4 yıllık döneme dair koordinat zaman serisi

Sürekli GPS istasyonları zaman serilerinde olduğu gibi kampanya tipi ölçme noktalarına ait zaman serilerinde de trend etkisi ve dönemsel anomaliler görülebilmektedir.

4.4 Dönemsel Anomalilerin Hız Değerleri Üzerindeki Etkilerinin Belirlenmesine Yönelik Uygulama ve Bulgular

4.4.1 Giriş

GPS verilerinin analizinde birçok etki GPS koordinat zaman serilerinde periyodu yarım günlükten yıllar arası hatta ve hatta on-yıllar arası döneme kadar değişen periyodik anomaliler olarak ortaya çıkmaktadır. Koordinat zaman serilerindeki periyodik anomalilerin, istasyon koordinat hızlarını etkilediği bilinmektedir (**Blewitt ve Lavall'ee, 2002**). Koordinat zaman serilerinde periyodik değişimler bulunduğu birçok araştırmacı tarafından da ifade edilmiştir (**Scherneck ve diğ., 1998; Mao ve diğ., 1999; Poutanen ve diğ., 2001; Johansson ve diğ., 2002**).

Genel olarak GPS sinyalleri hem beyaz gürültü olarak nitelendirilen zamandan bağımsız gürültüleri hem de zamana bağımlı olan renkli gürültüleri beraber barındırır. Bu çalışmanın temelini oluşturması bakımından gürültü karakterinin beyaz gürültü olduğu kabul edilerek;

$$y_k = a + bt_k + A[\cos 2\pi f_1(t_k - t_0) + \Phi_1] + B[\sin 2\pi f_1(t_k - t_0) + \Phi_1] + C[\cos 4\pi f_2(t_k - t_0) + \Phi_2] + D[\sin 4\pi f_2(t_k - t_0) + \Phi_2] + e \quad (4.2)$$

şeklinde 4.2 eşitliği (Serpelloni ve diğ., 2006) ile ortaya konan matematiksel model ile hız trendinin hesaplanması ve bu trendi etkileyen periyodik dönemsel gürültüler tanımlanmak istenmektedir. Bu eşitlikte y_k noktanın k . zamana ilişkin nokta konumu (mm), a başlangıç epöğündaki nokta konum (mm), b yıllık doğrusal trend hız parametresi (mm/yıl), t_k başlangıç epöğünden itibaren geçen yıl sayısı ($k=1,2,...,M$), t_0 başlangıç epöğü (1997.00), A , B , C , D genlik (mm), f_1 frekans (yıllık periyot), f_2 frekans (6 aylık periyot), Φ_1 ve Φ_2 faz açıları (radyan), e artık hatadır. Modeli oluştururken tektonik mekanizmanın davranışına uygun bir fonksiyon seçimi önem arz etmektedir. Bu tez çalışmasında uygulama alanındaki tektonik yapıya bağlı olarak bölgede daha önce yapılmış çalışmaların da ışığında doğrusal hız analizine bağlı bir modelinin kullanımı uygun olmaktadır. Bu bağlamda GPS koordinat zaman serisi üzerinden genel doğrusal bir hız trendi çıkartmak mümkündür. Bununla birlikte genel hız trendi kestiriminin matematiksel modele yaklaşması için trend üzerindeki gürültü etkisinin de belirlenmesi gerekir. Bu çalışmadaki gürültü etkisi trend üzerindeki yarı yıllık ve yıllık periyodik değişimler halinde sinyal genlikleri göz önünde bulundurularak tez çalışmasında bölüm 4.5 ile ortaya konulacaktır.

4.4.2 MAGNET istasyonlarında GLOBK ve TSVIEW yardımıyla elde edilen yatay hız değerlerinin karşılaştırılması

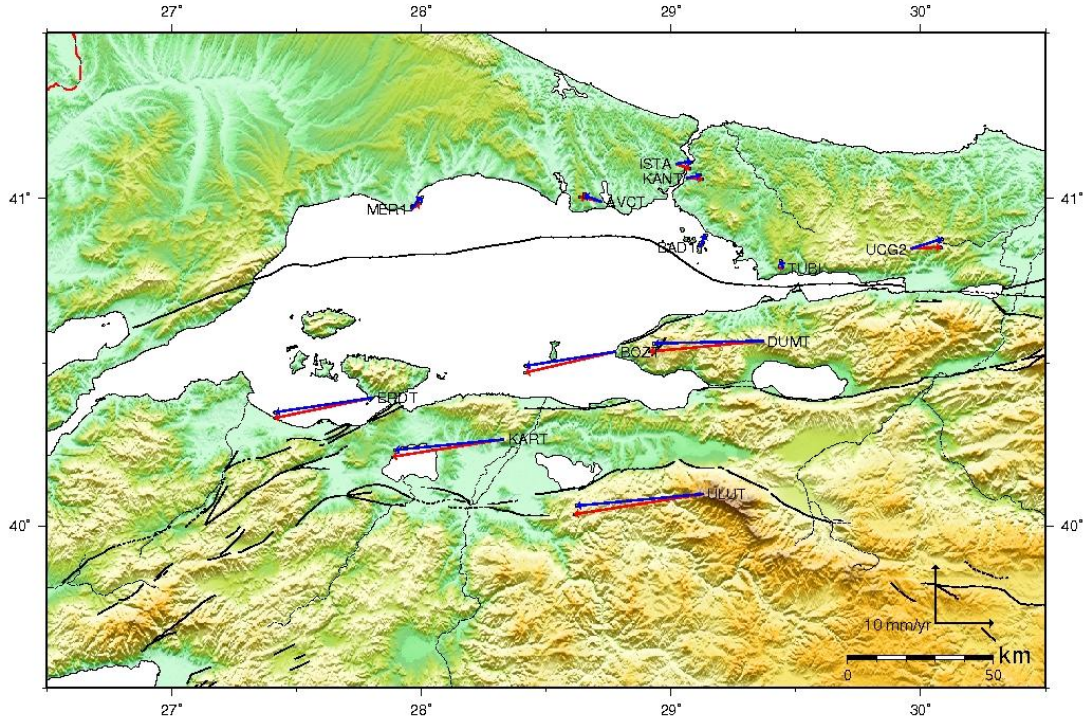
MAGNET istasyonlarında 2003–2005 döneminde toplanan GPS verileri kullanılarak yapılan hız trend tahmini için 2 farklı yazılım ile 2 farklı çözüm ortaya konulmuştur. Dönemsel anomalileri de barındıran GPS sinyalleri ile bir hız trend tahmini yapabilmek için GLOBK yazılımından yararlanılmıştır. GPS sinyalleri üzerindeki yıllık ve yarı yıllık dönemsel değişim etkilerini kaldırarak hız trend tahmini üretmek için ise TSVIEW yazılımı kullanılmıştır. Çizelge 4.1'de GLOBK yazılımından elde edilen yatay hız değerleri ile TSVIEW uygulaması yardımıyla koordinat zaman serileri üzerindeki yıllık ve yarı yıllık değişimler ile doğrusallık etkisi kaldırılarak hesaplanan yatay hız değerleri verilmektedir. GLOBK ve TSVIEW uygulamalarından elde edilen yatay hız değerleri karşılaştırıldığında hız farklarının yaklaşık 1-2 mm (milimetre) civarında değiştiği görülmektedir. Buradan da dönemsel değişimlerin sürekli GPS istasyonlarının yıllık yatay hızlarına etkisinin

küçük boyutlarla sınırlandırıldığı sonucu çıkartılabilmektedir. MAGNET sürekli GPS istasyonları üzerinde görülen dönemsel anomaliler sonucu oluşan hız farklarının kuzey-güney bileşen üzerindeki baskınlığı kendini göstermektedir. Bu da tez çalışmasının 3.2 bölümü ile “GPS Zaman Serilerinde Dönemsel Değişimlere Sebep Olan Faktörler” başlığı altında tanımlanan sebepler neticesinde ortaya çıkan dönemsel değişimlerin koordinat hız bileşenleri üzerinde farklı etkiler yaratabileceği sonucunu doğurmaktadır.

Çizelge 4.1: MAGNET ağındaki sürekli GPS istasyonlarının ve IGS ağındaki ISTA sürekli GPS istasyonunun 2003–2005 yıllarındaki 3 yıllık dönem için Avrasya referans sisteminde yatay bileşenlere ait yıllık hız değerleri (Hız değerlerinin negatif işaretli olması aksi yönde bir hareket olduğunu göstermektedir.)

İstasyon	GLOBK ile elde edilen yatay hız değerleri (mm/yıl)		TSVIEW ile elde edilen yatay hız değerleri (mm/yıl)		Vektörel Hız Farkları (mm/yıl)	
	Doğu	Kuzey	Doğu	Kuzey	Doğu	Kuzey
AVCT	-3.78±0.09	0.86±0.09	-3.01±0.13	1.11±0.21	0.77	0.25
BAD1	0.35±0.10	0.47±0.10	0.87±0.14	2.03±0.11	0.52	1.56
BOZT	-15.64±0.10	-3.63±0.10	-15.51±0.13	-2.47±0.12	0.13	1.16
DUMT	-19.52±0.09	-1.85±0.09	-18.77±0.15	-0.44±0.12	0.75	1.41
ERDT	-16.92±0.08	-3.49±0.08	-16.77±0.13	-2.48±0.12	0.15	1.01
KANT	2.78±0.08	-0.11±0.08	2.45±0.10	0.52±0.08	0.33	0.63
KART	-19.16±0.08	-2.98±0.07	-18.71±0.10	-1.83±0.08	0.45	1.15
MER1	1.49±0.08	0.95±0.08	1.76±0.10	2.08±0.08	0.27	1.13
TUBI	-0.75±0.08	0.17±0.07	-0.47±0.10	1.28±0.09	0.28	1.11
UCG2	5.15±0.09	0.28±0.09	5.33±0.12	1.70±0.10	0.18	1.42
ULUT	-22.16±0.08	-3.49±0.08	-21.71±0.14	-2.01±0.11	0.45	1.48
ISTA	2.45±0.08	-0.83±0.07	2.76±0.09	0.36±0.08	0.31	1.19
Maksimum					0.77	1.56
Minimum					0.13	0.25
Ortalama					0.38	1.13

Çizelge 4.1'de belirtilen MAGNET sürekli GPS istasyonlarındaki yatay hız değerleri Şekil 4.8 ile hız alanı olarak gösterilmiştir.

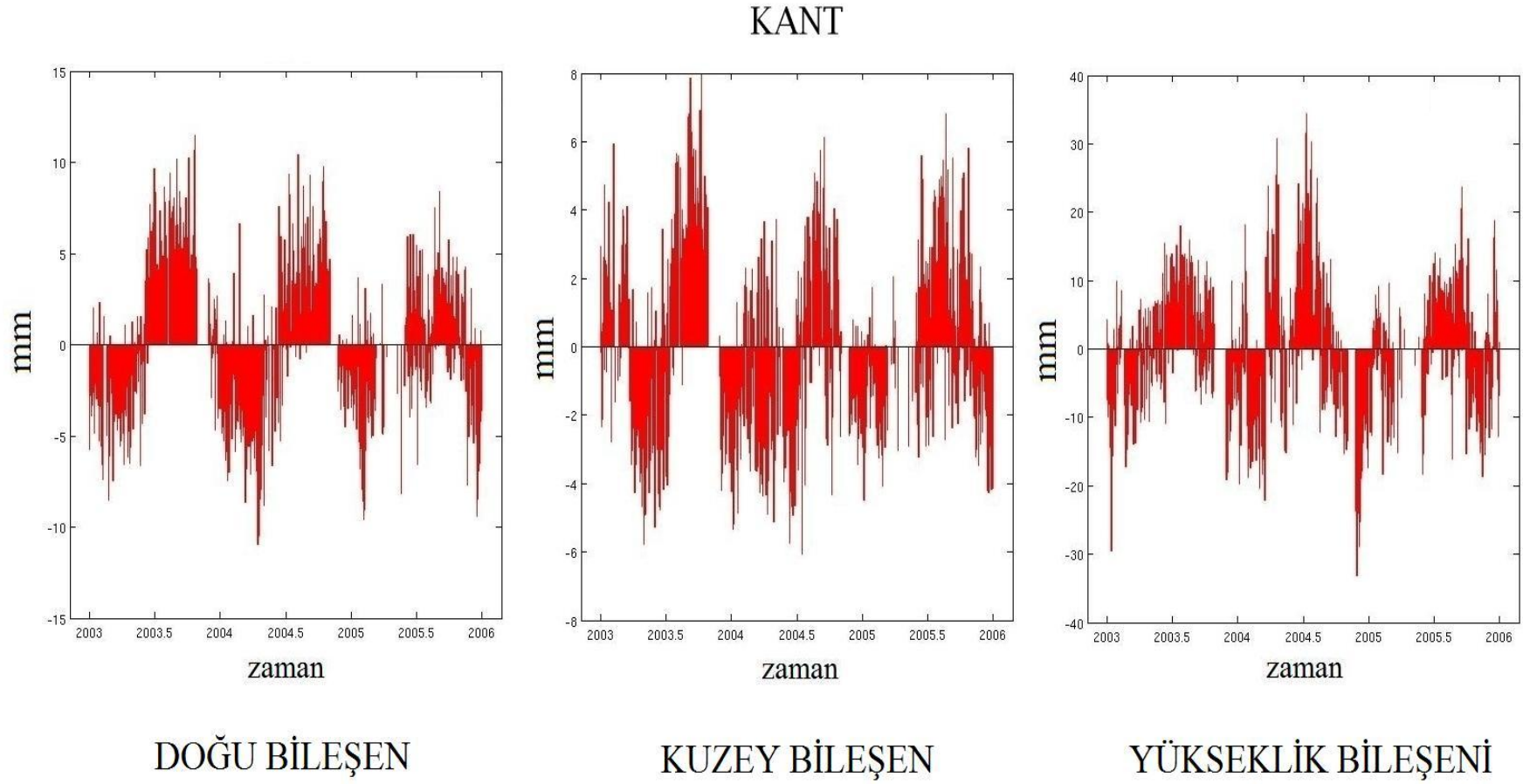


Şekil 4.8: MAGNET sürekli GPS istasyonlarının ve IGS ağındaki ISTA sürekli GPS istasyonunun 2003–2005 yıllarındaki 3 yıllık döneme ait Avrasya referans sisteminde yıllık yatay hız vektörleri (Kırmızı vektörler GLOBK yazılımı ile mavi vektörler de TSVIEW yazılımı ile elde edilen hız büyüklüklerini temsil etmektedir.)

Dönemsel olarak değişimlere yol açan periyodik gürültülerin GPS sinyalinin her bir bileşeni üzerindeki etkisi değişkenlik gösterebilir. Hız modeli için her bir istasyonun doğu, kuzey ve yükseklik bileşenlerine dair sinyal artıkları da (residual) bileşenler üzerindeki dönemsel etkilerin değişkenliğini açık olarak ifade etmektedir. Bu çalışmada 4.2 eşitliği ile belirtilen doğrusal hız modelinde tanımlanan periyodik sinyal artıkları ile MAGNET sürekli GPS istasyonları için 2003–2005 yıllarına ait residual değerleri hesaplanmıştır. Şekil 4.9’da KANT istasyonu için residual değerleri grafik olarak verilmiştir. KANT istasyonunun residual grafiği göz önüne alındığında yatay bileşenler için yıllık ve yarıyıllık anomaliler yaklaşık 5–10 mm aralığında değişmektedir. Yükseklik bileşeni ise GPS’in düşey konum doğruluğuna bağlı olarak yatay bileşenlere oranla 2–3 kat daha geniş bir aralıkta değişmektedir. Bu durumu düşey konum doğruluğu ile paralel olarak tez çalışmasının 3.2 bölümünde “GPS Zaman Serilerinde Dönemsel Değişimlere Sebep Olan Faktörler” başlığı altında tanımlanan atmosferik etkilerin beklenen doğrulukla

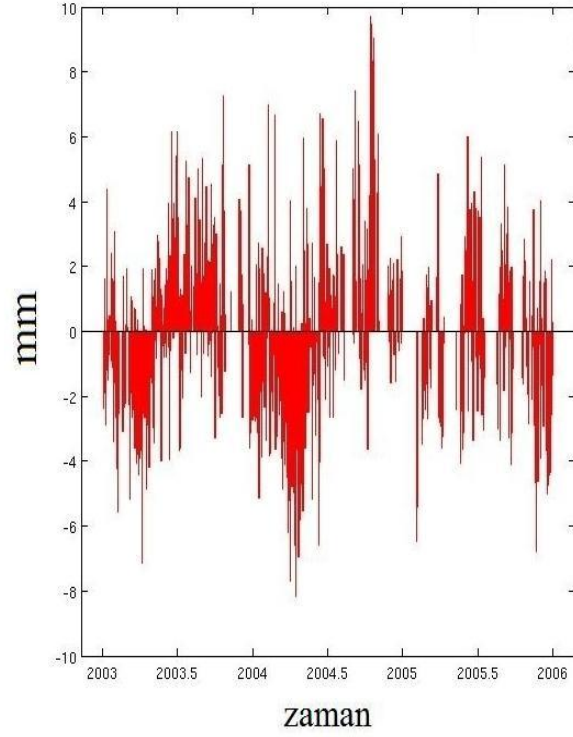
modellenememesi sebebiyle modelin yükseklik bileşeni için yeterli olmaması açıklamaktadır. Atmosferik parametrelerin yüksek doğrulukla kestirilmesi sonucunda ortaya konulan hız modeline atmosferik parametrelerin katsayıları da eklenerek model genişletilebilir ve yükseklik bileşenindeki doğruluk artırılabilir.

Yine diğer bir MAGNET istasyonu olan MER1 için de residual değerleri hesaplanmış ve Şekil 4.10 ile grafik olarak gösterilmiştir. KANT istasyonunda olduğu gibi MER1 istasyonu için de residual değerleri yaklaşık olarak aynı yatay ve düşey değer aralıklarında değişmektedir.

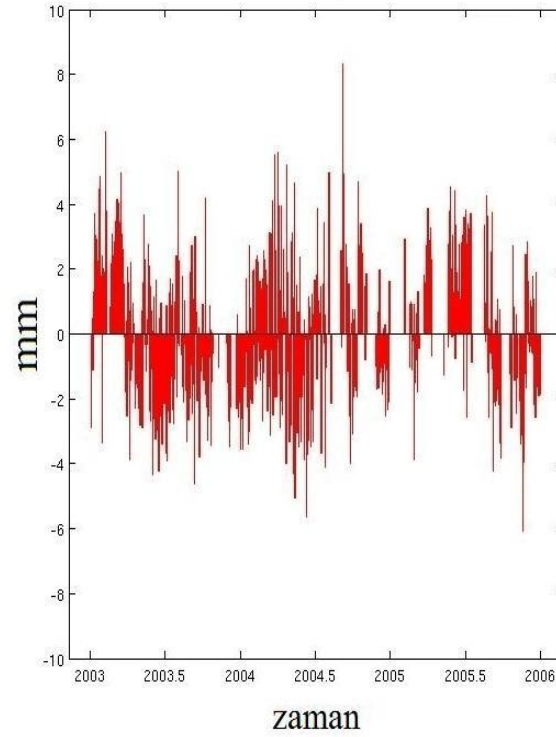


Şekil 4.9: MAGNET ağındaki KANT sürekli GPS istasyonunun 2003–2005 yıllarındaki 3 yıllık döneme dair doğrusal hız modeline bağlı sinyal artıkları

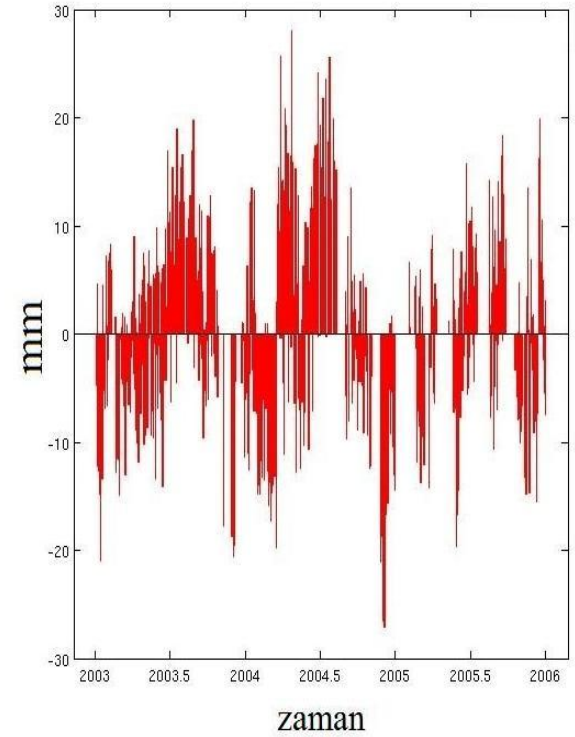
MER1



DOĞU BİLEŞEN



KUZEY BİLEŞEN

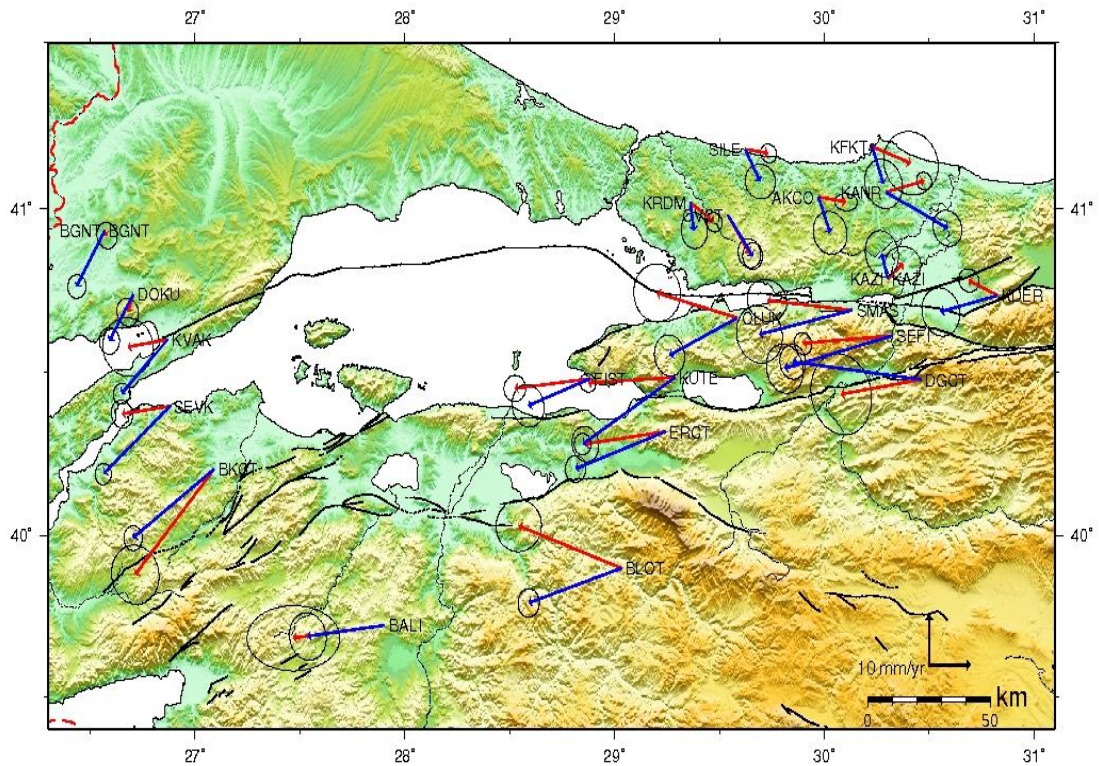


YÜKSEKLİK BİLEŞENİ

Şekil 4.10: MAGNET ağındaki MER1 sürekli GPS istasyonunun 2003–2005 yıllarındaki 3 yıllık döneme dair doğrusal hız modeline bağlı sinyal artıkları

4.4.3 Kampanya tipi ölçme noktalarında yatay hız değerlerinin elde edilmesi

Marmara Bölgesi'nde 2002–2005 dönemine ait GPS kampanya verileri Çizelge 1.1'deki kampanya tipi ölçme noktalarında tez çalışmasının 1.2 bölümünde belirtilen stratejiler doğrultusunda 6 aylık periyotlar halinde toplanmıştır. Buradan hareketle sürekli GPS istasyonlarında görülen dönemsel anomalilerin kampanya tipi ölçme noktalarında da görülmesi olanaklı kılınmıştır. 2002–2005 yıllarında toplanan bu kampanya verileri ile hız kestirirken dönemsel anomalileri ortaya çıkarmak için veriler 6 aylık periyotlar halinde gruplandırılarak ayrı ayrı değerlendirmeye tabi tutulmuşlardır. 4 yıllık zaman diliminde Mayıs-haziran ayları içinde toplanan kampanya GPS verileri ilk değerlendirme grubunu, Ekim-kasım ayları içinde toplanan kampanya GPS verileri ise ikinci değerlendirme grubunu oluşturmaktadır. Bu strateji doğrultusunda kampanya tipi ölçme noktalarının 2002–2005 dönemine ait hız değerleri Şekil 4.11'de grafiklendirilmiş ve Çizelge 4.2'de sunulmuştur.



Şekil 4.11: Kampanya tipi ölçme noktalarının 2002–2005 yıllarındaki 4 yıllık döneme dair Avrasya referans sisteminde yatay bileşenlere ait yıllık hız vektörleri ve %95 güven düzeyindeki hata elipsleri (Kırmızı vektörler Mayıs-haziran, mavi vektörler de Ekim-kasım döneminde yapılan ölçmeler sonucunda elde edilen yatay hız büyüklüklerini temsil etmektedir.)

Kampanya tipi ölçme noktaları için elde edilen bu hız vektörlerinden hemen hemen tüm kampanya tipi ölçme noktalarının aynı dönem için benzer etkilere maruz kaldıkları sonucu çıkartılabilmektedir.

Çizelge 4.2: Kampanya tipi ölçme noktalarının 2002–2005 yıllarındaki 4 yıllık döneme dair Avrasya referans sisteminde yatay bileşenlere ait yıllık hız değerleri (Hız değerlerinin negatif işaretli olması aksi yönde bir hareket olduğunu göstermektedir.)

İstasyon	Mayıs-Haziran dönemi yatay hız değerleri (mm/yıl)		Ekim-Kasım dönemi yatay hız değerleri (mm/yıl)		Vektörel Hız Farkları (mm/yıl)	
	Doğu	Kuzey	Doğu	Kuzey	Doğu	Kuzey
KDER	-6.90±0.98	3.03±0.95	-13.59±1.84	-3.28±1.98	6.69	6.31
DGCT	-19.05±2.96	-2.02±3.32	-30.61±1.26	3.57±1.42	11.56	5.59
SEFI	-21.32±0.86	-1.54±0.90	-25.66±1.81	-6.58±2.01	4.34	5.04
KAZI	3.62±1.73	3.08±1.41	-1.42±1.62	5.08±1.89	5.04	2.00
KANR	9.08±0.74	2.29±0.72	14.67±1.40	-7.14±1.48	5.59	9.43
KFKT	9.22±2.65	-3.32±2.60	2.67±1.83	-7.43±2.02	6.55	4.11
KUTE	-20.74±0.77	-1.09±0.75	-22.01±0.82	-13.34±0.88	1.27	12.25
ERCT	-19.09±1.31	-2.49±1.45	-21.45±0.99	-7.47±1.11	2.36	4.98
BLOT	-24.48±2.21	8.50±2.12	-22.13±1.04	-6.98±1.17	2.35	15.48
FIST	-17.86±1.06	-1.95±1.08	-14.72±1.56	-5.41±1.75	3.14	3.46
BALI	-21.83±4.52	-2.55±2.67	-18.41±1.79	-2.20±1.95	3.42	0.35
SMAS	-20.35±1.94	1.97±1.71	-22.16±2.24	-4.82±2.36	1.81	6.79
AKCO	6.55±1.09	-1.00±0.70	2.76±1.65	-7.15±1.75	3.79	6.15
SILE	5.55±0.78	-0.81±0.77	3.59±1.47	-6.44±1.42	1.96	5.63
OLUK	-19.11±2.27	4.98±2.38	-16.15±1.48	-7.52±1.68	2.96	12.50
OVCT	5.20±1.11	-7.66±1.19	5.95±0.96	-8.23±1.09	0.75	0.57
KRDM	5.68±0.76	-3.90±0.80	0.90±1.27	-5.58±1.47	4.78	1.68
BKCT	-18.79±2.31	-21.09±2.43	-19.31±0.90	-13.74±1.02	0.52	7.35
SEVK	-11.43±1.05	-1.53±1.14	-15.87±0.79	-13.55±0.86	4.44	12.02
KVAK	-9.53±2.45	-1.51±2.40	-11.02±0.83	-10.86±0.86	1.49	9.35
DOKU	-1.35±1.06	-3.58±1.15	-5.71±0.98	-9.36±1.09	4.36	5.78
BGNT	0.52±0.99	-0.98±1.07	-6.67±0.89	-11.16±0.96	7.19	10.18
Maksimum					11.56	15.48
Minimum					0.52	0.35
Ortalama					3.93	6.68

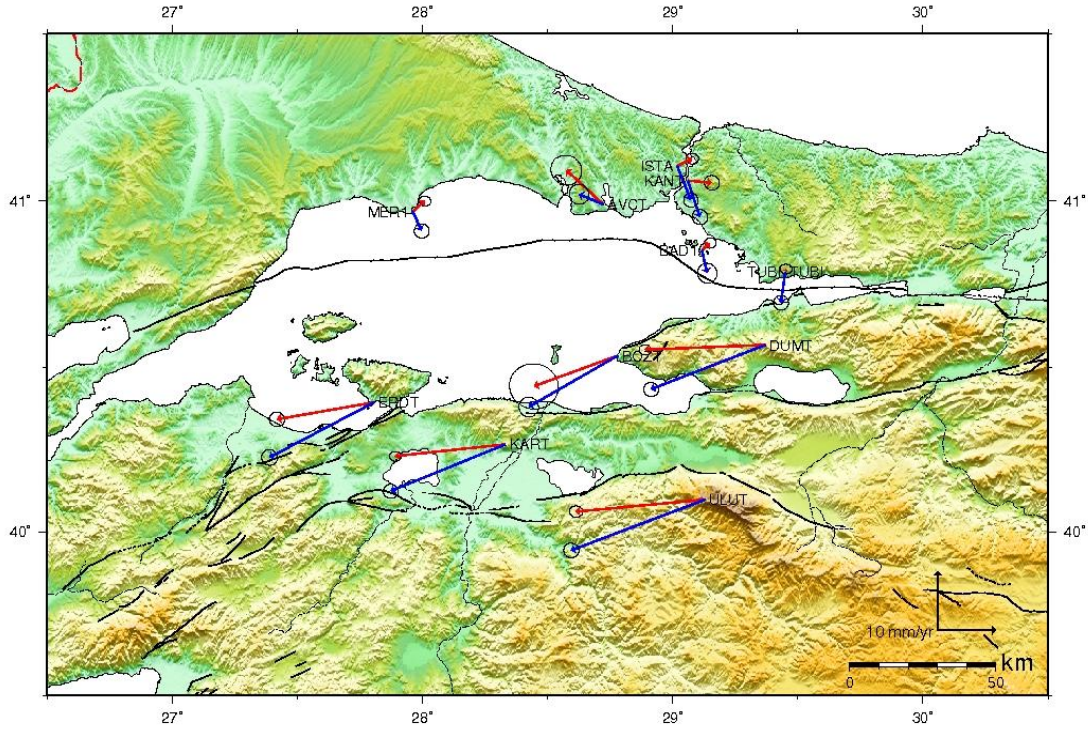
4.4.4 GPS kampanyası dönemlerindeki MAGNET verileri ile yatay hız değerlerinin elde edilmesi

Bu bölümde MAGNET sürekli GPS istasyonlarının 2002–2005 yılları arasındaki 4 yıllık dönemde GPS kampanyaları günlerindeki verileri değerlendirilmiştir. Değerlendirmede 4.4.3 başlığı altında özetlenen kampanya tipi ölçme noktaları için yatay hız değerlerinin elde edilmesine yönelik değerlendirme stratejisi MAGNET sürekli GPS istasyonları için de aynı şekilde uygulanmıştır. MAGNET sürekli GPS istasyonlarında kampanya günleri için toplanan veriler kampanya verisi gibi kabul edilerek mayıs-haziran verileri ve ekim-kasım verileri ile 2 ayrı veri değerlendirme grubu oluşturulmuştur. Bu değerlendirmeler neticesinde MAGNET sürekli GPS istasyonlarının kampanya günlerindeki verileri ile elde edilen yatay hız değerleri Çizelge 4.3'de belirtilmiştir.

Çizelge 4.3: MAGNET sürekli GPS istasyonlarının ve IGS ağındaki ISTA sürekli GPS istasyonunun 2002–2005 dönemi için kampanya günlerindeki verileri ile elde edilen Avrasya referans sisteminde yatay bileşenlere ait yıllık hız değerleri (Hız değerlerinin negatif işaretli olması aksi yönde bir hareket olduğunu göstermektedir.)

	Mayıs-Haziran dönemi yatay hız değerleri (mm/yıl)		Ekim-Kasım dönemi yatay hız değerleri (mm/yıl)		Vektörel Hız Farkları (mm/yıl)	
İstasyon	Doğu	Kuzey	Doğu	Kuzey	Doğu	Kuzey
AVCT	-6.37±1.08	5.84±1.03	-4.18±0.68	1.74±0.70	2.19	4.10
BAD1	1.42±0.41	1.22±0.35	0.88±0.68	-3.90±0.69	0.54	5.12
BOZT	-14.41±1.71	-5.21±1.57	-15.30±0.68	-8.72±0.69	0.89	3.51
DUMT	-20.65±0.42	-0.82±0.36	-19.64±0.52	-7.53±0.49	1.01	6.71
ERDT	-16.68±0.54	-2.90±0.50	-17.96±0.56	-9.36±0.55	1.28	6.46
KANT	4.09±0.53	-0.38±0.51	2.06±0.54	-6.18±0.53	2.03	5.80
KART	-18.92±0.41	-2.00±0.34	-19.68±0.52	-7.93±0.49	0.76	5.93
MER1	2.08±0.41	1.83±0.34	1.51±0.52	-3.24±0.50	0.57	5.07
TUBI	0.09±0.42	0.46±0.34	-0.75±0.52	-5.27±0.50	0.84	5.73
ULUT	-22.14±0.46	-2.05±0.40	-22.97±0.53	-8.63±0.51	0.83	6.58
ISTA	2.56±0.44	1.28±0.38	2.32±0.51	-5.78±0.48	0.24	7.06
Maksimum					2.19	7.06
Minimum					0.24	3.51
Ortalama					1.02	5.64

Periyodik dönemler halinde değerlendirilen MAGNET sürekli GPS istasyonlarına ait bu hız değişimleri ile kampanya tipi ölçme noktalarının maruz kaldığı etkilerin sürekli GPS istasyonlarında da görüldüğü sonucu çıkartılabilmektedir. Sürekli GPS istasyonlarındaki yatay bileşenlerde görülen hız değişimleri kampanya tipi ölçme noktalarında rastlanan hız değişimleri ile uyumludur. Çizelge 4.3 ile aktarılan MAGNET GPS istasyonlarının kampanya günlerindeki verileri ile elde edilen hız vektörleri Şekil 4.12'de gösterilmiştir.



Şekil 4.12: MAGNET sürekli GPS istasyonlarının 2002–2005 yıllarındaki 4 yıllık dönemde kampanya günlerindeki verileri ile elde edilen Avrasya referans sisteminde yıllık yatay hız vektörleri ve %95 güven düzeyindeki hata elipsleri (Kırmızı vektörler Mayıs-haziran, mavi vektörler de Ekim-kasım döneminde yapılan ölçmeler sonucunda elde edilen hız büyüklüklerini temsil etmektedir.)

2002–2005 döneminde 4 yıllık kampanya dönemlerindeki verileri ile analiz edilen MAGNET sürekli GPS istasyonlarının Mayıs-haziran ve Ekim-kasım dönemleri için olan yıllık yatay hız değerleri farkları bölüm 4.4.3'te kampanya tipi ölçme noktalarının Mayıs-haziran ve Ekim-kasım dönemleri için yıllık yatay hız değerleri farkları ile büyüklük ve değişim yönleri açısından benzerlik göstermektedirler.

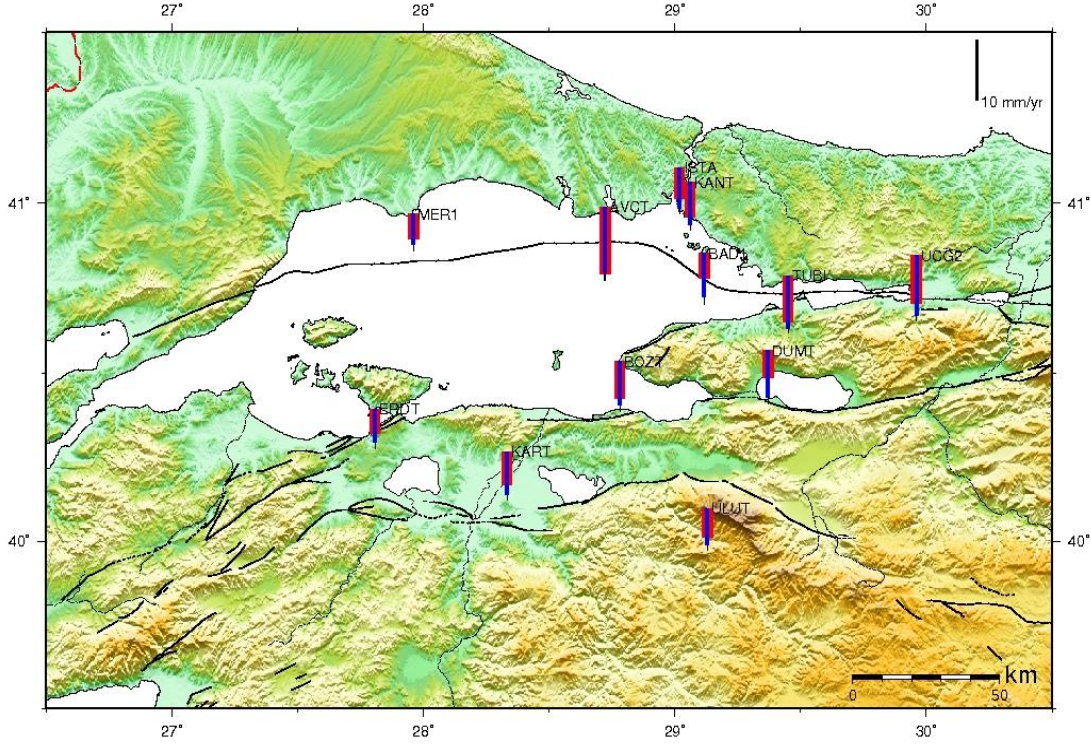
4.4.5 MAGNET istasyonlarında GLOBK ve TSVIEW yardımıyla elde edilen düşey hız değerlerinin karşılaştırılması

MAGNET sürekli GPS istasyonlarında düşey hız trend tahmini için kullanılan strateji bölüm 4.4.2’de aktarılan yatay hız değerlerinin tahmininde olduğu gibi 2003–2005 dönemindeki 3 yıllık verilerin GLOBK ve TSVIEW yazılımları kullanılarak hesaplanmasına dayanmaktadır. Yatay hız değerlerinin kestiriminde olduğu gibi GLOBK yazılımı sonucu ortaya çıkan düşey hızlar da dönemsel değişimlerin etkisi altındadır. Sürekli GPS istasyonlarının düşey hız bazında ne kadar etkiye maruz kaldığını açıklayabilmek için TSVIEW uygulaması yardımıyla zaman serilerinin yükseklik bileşeni üzerindeki yıllık ve yarıyıllık etkiler ile doğrusallık etkisi kaldırılarak düşey hız kestirimleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen düşey hız değerleri Çizelge 4.4 ile verilmiş ve Şekil 4.13 üzerinde gösterilmiştir.

Çizelge 4.4: MAGNET ağındaki sürekli GPS istasyonlarının ve IGS ağındaki ISTA sürekli GPS istasyonunun 2003–2005 yıllarındaki 3 yıllık dönem için Avrasya referans sisteminde düşey bileşene ait yıllık hız değerleri (Hız değerlerinin negatif işaretli olması hareketin aşağı yönlü olduğunu göstermektedir.)

İstasyon	GLOBK ile elde edilen düşey hız değerleri (mm/yıl)	TSVIEW ile elde edilen düşey hız değerleri (mm/yıl)	Vektörel Hız Farkları (mm/yıl)
AVCT	-11.15±0.46	-10.97±0.42	0.18
BAD1	-4.13±0.47	-7.31±0.46	3.18
BOZT	-6.15±0.49	-7.36±0.37	1.21
DUMT	-4.66±0.42	-7.85±0.41	3.19
ERDT	-4.17±0.38	-5.65±0.40	1.48
KANT	-5.72±0.38	-7.11±0.32	1.39
KART	-5.54±0.34	-7.10±0.32	1.56
MER1	-4.14±0.37	-5.17±0.34	1.03
TUBI	-7.71±0.34	-8.77±0.31	1.06
UCG2	-8.12±0.50	-9.96±0.39	1.84
ULUT	-4.89±0.34	-6.04±0.42	1.15
ISTA	-5.21±0.33	-6.90±0.34	1.69
Maksimum			3.19
Minimum			0.18
Ortalama			1.58

Hem GLOBK yazılımı ile hem de TSVIEW uygulaması ile elde edilen düşey hızların karşılaştırılması neticesinde dönemsel anomalilerin zaman serilerinin yükseklik bileşeni ve buna bağlı olarak düşey hızlar üzerindeki etkisi de açık olarak görülebilmektedir.



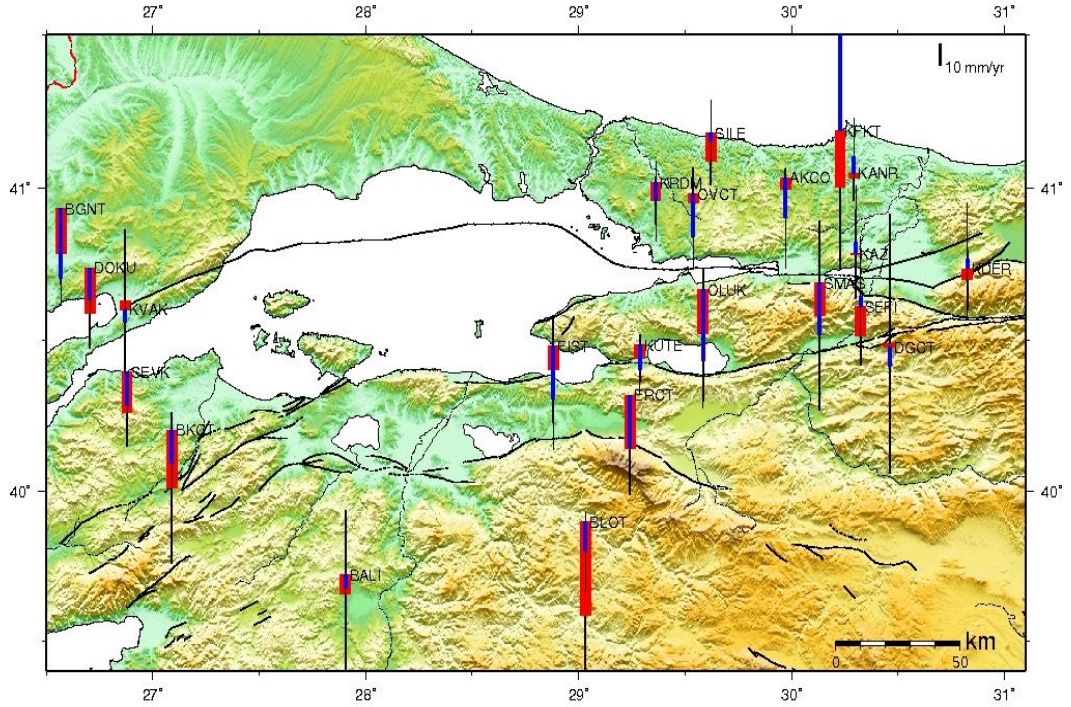
Şekil 4.13: MAGNET sürekli GPS istasyonlarının ve IGS ağındaki ISTA sürekli GPS istasyonunun 2003–2005 yıllarındaki 3 yıllık döneme ait Avrasya referans sisteminde yıllık düşey hız vektörleri (Kırmızı çubuklar GLOBK yazılımı ile mavi çubuklar TSVIEW yazılımı ile elde edilen hız büyüklüklerini temsil etmektedir. Siyah ince çizgiler düşey hız değerlerinin %95 istatistik güven düzeyini ifade etmektedir.)

MAGNET sürekli GPS istasyonlarının 2003–2005 dönemi için 3 yıllık veriler kullanılarak GLOBK yazılımı ve TSVIEW uygulaması ile kestirilmiş düşey hız değerleri karşılaştırıldığında dönemsel değişimlerin etkisinin yatay hız değerlerinde olduğu gibi düşey hız değerlerine de etkisinin 2–3 mm gibi küçük boyutlarda olduğu anlaşılmaktadır.

4.4.6 Kampanya tipi ölçme noktalarında düşey hız değerlerinin elde edilmesi

2002–2005 yıllarında toplanan GPS kampanya verileri ile düşey hız kestirirken bölüm 4.4.3'te aktarılan değerlendirme stratejisi tekrar edilmiştir. Veriler dönemsel anomalileri ortaya çıkarmak için 6 aylık periyotlar halinde gruplandırılarak ayrı ayrı

değerlendirmeye tabi tutulmuşlardır. 4 yıllık zaman diliminde mayıs-haziran ayları içinde toplanan kampanya GPS verileri ilk değerlendirme grubunu, ekim-kasım ayları içinde toplanan kampanya GPS verileri ise ikinci değerlendirme grubunu oluşturmaktadır. Bu strateji doğrultusunda kampanya tipi ölçme noktalarının 2002–2005 dönemine ait düşey hız değerleri Şekil 4.14'de grafik olarak gösterilmiş ve Çizelge 4.5'te sunulmuştur.



Şekil 4.14: Kampanya tipi ölçme noktalarının 2002–2005 yıllarındaki 4 yıllık döneme dair Avrasya referans sisteminde düşey bileşene ait yıllık hız vektörleri (Kırmızı çubuklar Mayıs-haziran, mavi çubuklar da ekim-kasım döneminde yapılan ölçmeler sonucunda elde edilen düşey hız büyüklüklerini temsil etmektedir. Siyah ince çizgiler düşey hız değerlerinin %95 istatistik güven düzeyini ifade etmektedir.)

Çizelge 4.5: Kampanya tipi ölçme noktalarının 2002–2005 yıllarındaki 4 yıllık döneme dair Avrasya referans sisteminde düşey bileşene ait yıllık hız değerleri (Hız değerlerinin negatif işaretli olması hareketin aşağı yönlü olduğunu göstermektedir.)

İstasyon	Mayıs-Haziran Dönemi Düşey Hız Değerleri (mm/yıl)	Ekim-Kasım Dönemi Düşey Hız Değerleri (mm/yıl)	Vektörel Hız Farkları (mm/yıl)
KDER	-5.01±5.50	4.19±10.55	9.20
DGCT	1.53±23.91	-8.63±7.20	10.16

Çizelge 4.5: (devam) Kampanya tipi ölçme noktalarının 2002–2005 yıllarındaki 4 yıllık döneme dair Avrasya referans sistemindeki yıllık düşey hız değerleri (Hız değerlerinin negatif işaretli olması hareketin aşağı yönlü olduğunu göstermektedir.)

SEFI	-13.43±5.38	4.51±11.11	17.94
KAZI	-0.40±8.25	5.15±10.34	5.55
KANR	-2.40±3.97	7.41±7.11	9.81
KFKT*	-25.54±15.18	568.79±10.76	594.33
KUTE	-6.19±4.36	-11.46±4.33	5.27
ERCT	-24.07±8.51	-23.86±5.93	0.21
BLOT	-42.21±12.12	-13.58±7.44	28.63
FIST	-10.77±9.65	-23.68±9.30	12.91
BALI	-8.63±15.50	-6.11±10.75	2.52
SMAS	-15.10±17.48	-23.64±13.65	8.54
AKCO	-5.62±3.87	-18.20±9.29	12.58
SILE	-12.67±4.40	-3.45±7.51	9.22
OLUK	-20.14±12.28	-32.21±8.63	12.07
OVCT	-3.89±6.43	-19.45±5.39	15.56
KRDM	-8.02±4.40	-8.16±7.35	0.14
BKCT	-26.33±13.94	-15.26±5.52	11.07
SEVK	-18.67±6.19	-15.17±4.11	3.50
KVAK	4.11±13.13	-5.61±4.18	9.72
DOKU	-20.48±6.41	-14.73±5.95	5.75
BGNT	-20.28±5.67	-31.74±4.77	11.46
Maksimum			28.63
Minimum			0.14
Ortalama			9.61

*Ortalama vektörel hız farkı hesaplanırken KFKT noktası analiz dışında bırakılmıştır.

Kampanya tipi ölçme noktalarının 2002–2005 dönemi için 4 yıllık periyotta mayıs-haziran ve ekim-kasım dönemlerine dair düşey hız değerlerinin karşılaştırılması neticesinde dönemsel değişimlerin etkisinin düşey hız değerlerine etkisi de açık olarak görülmektedir. KFKT noktası dışındaki noktalarda anlamlı düşey hız farkları vardır. KFKT noktasındaki düşey hız farkının büyük boyutlarda olması değerlendirmenin sadece 2004 ve 2005 yılları için toplanan kampanya verileri ile yapılmasından kaynaklanmaktadır. KFKT noktası için düşey hız değerlerinde anlamlı değişimlerin çıkmamasının sebebi olarak değerlendirmede 2 yıllık kampanya

verisinin kullanılması görülmektedir. BLOT noktasındaki düşey hız değerleri arasındaki önemli fark yatay hız değerleri arasındaki büyük fark gibi dikkat çekici bir sonuçtur. Kampanya tipi ölçme noktaları arasında hem yatayda hem de düşeyde en büyük hız farkının gözlemlendiği BLOT noktasının kireçtaşı üzerine sağlam bir şekilde yer noktası olarak tesis edilmiş olması sebebiyle bu noktadaki büyük hız farkları için yerel deformasyon etkisinin varlığından söz edilememektedir.

4.4.7 GPS kampanyası dönemlerindeki MAGNET verileri ile düşey hız değerlerinin elde edilmesi

Bu bölümde MAGNET sürekli GPS istasyonlarının 2002–2005 yılları arasındaki 4 yıllık dönemde GPS kampanyaları günlerindeki verileri değerlendirilmiştir. Değerlendirmede 4.4.4 başlığı altında özetlenen MAGNET sürekli GPS istasyonlarının yatay hız değerlerinin elde edilmesine yönelik değerlendirme stratejisi düşey hızlar için de aynı şekilde uygulanmıştır. MAGNET sürekli GPS istasyonlarında kampanya günlerinde toplanan veriler kampanya verisi gibi kabul edilerek mayıs-haziran verileri ve ekim-kasım verileri ile 2 ayrı veri değerlendirme grubu oluşturulmuştur. Bu değerlendirmeler neticesinde MAGNET sürekli GPS istasyonları için elde edilen düşey hız değerleri Çizelge 4.6'da belirtilmiştir.

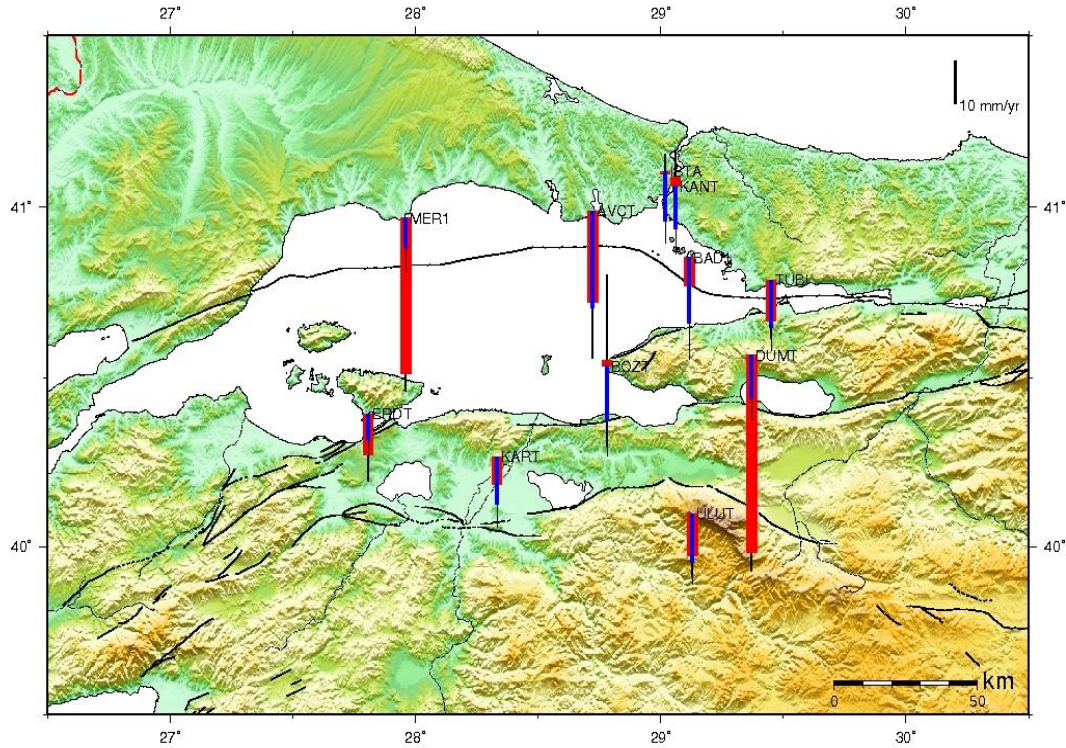
Çizelge 4.6: MAGNET sürekli GPS istasyonlarının ve IGS ağındaki ISTA sürekli GPS istasyonunun 2002–2005 dönemi için kampanya günlerindeki verileri ile elde edilen Avrasya referans sisteminde düşey bileşene ait yıllık hız değerleri (Hız değerlerinin negatif işaretli olması hareketin aşağı yönlü olduğunu göstermektedir.)

İstasyon	Mayıs-Haziran Dönemi Düşey Hız Değerleri (mm/yıl)	Ekim-Kasım Dönemi Düşey Hız Değerleri (mm/yıl)	Vektörel Hız Farkları (mm/yıl)
AVCT	-21.14±5.34	-22.41±3.39	1.27
BAD1	-6.67±1.67	-15.25±3.37	8.58
BOZT	1.30±8.11	-12.71±3.33	14.01
DUMT	-45.74±1.74	-10.07±2.02	35.67
ERDT	-9.54±2.53	-6.31±2.37	3.23
KANT	2.01±2.50	-9.95±2.37	11.96
KART	-6.35±1.62	-11.03±2.11	4.68

Çizelge 4.6: (devam) MAGNET sürekli GPS istasyonlarının ve IGS ağındaki ISTA sürekli GPS istasyonunun 2002–2005 yılları için 4 yıllık dönemdeki kampanya günlerindeki verileri ile elde edilen Avrasya referans sisteminde yıllık düşey hız değerleri (Hız değerlerinin negatif işaretli olması hareketin aşağı yönlü olduğunu göstermektedir.)

MER1	-35.99±1.64	-6.98±2.16	29.01
TUBI	-9.61±1.63	-11.20±2.08	1.59
ULUT	-9.80±1.96	-11.34±2.02	1.54
ISTA	-0.60±1.86	-11.59±2.00	10.99
Maksimum			35.67
Minimum			1.27
Ortalama			11.14

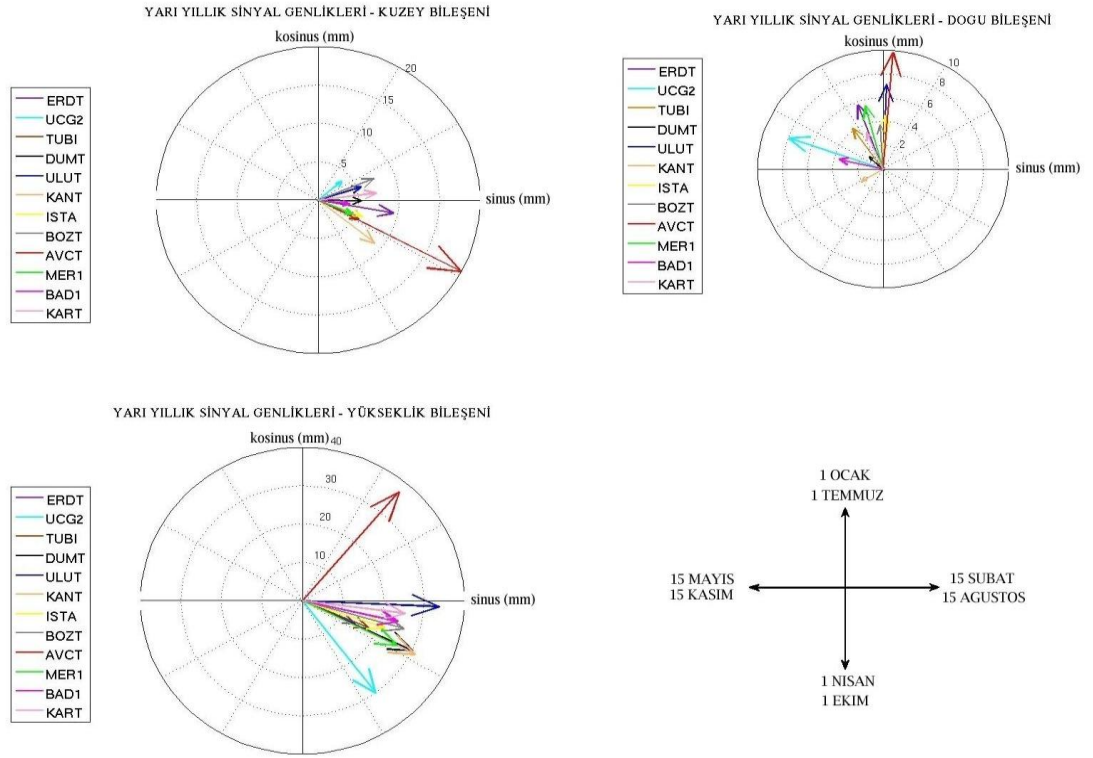
Yıllık iki dönem olarak değerlendirilen MAGNET sürekli GPS istasyonlarının dönemsel anomalilere bağlı olarak değişen düşey hız değerleri Şekil 4.15 üzerinde de gösterilmiştir.



Şekil 4.15: MAGNET sürekli GPS istasyonlarının 2002–2005 yıllarındaki 4 yıllık dönemde kampanya günlerindeki verileri ile elde edilen Avrasya referans sisteminde yıllık düşey hız vektörleri (Kırmızı çubuklar Mayıs-haziran, mavi çubuklar da ekim-kasım döneminde yapılan ölçmeler sonucunda elde edilen yıllık düşey hız büyüklüklerini temsil etmektedir. Siyah ince çizgiler düşey hız değerlerinin %95 istatistik güven düzeyini ifade etmektedir.)

4.5 MAGNET İstasyonlarının 2003–2005 Dönemine Ait Doğrusal Hız Modeline Bağlı Sinyal Artıkları ile Sinyal Genliklerinin İlişkilendirilmesi

Tez çalışmasının 4.4.2 başlığı altında değinildiği üzere GPS sinyallerinin üzerindeki dönemsel değişimler doğrudan hız trendi kestirimlerini etkilemektedir. Dönemsel değişimlerin yarattığı gürültüler neticesinde GPS sinyalinin hız modeline bağlı sinyal artıkları ve sinyal genlikleri incelenerek MAGNET sürekli GPS istasyonları üzerindeki dönemsel etkilerin büyüklüğünü tanımlamak mümkündür. Çalışmanın bu bölümünün uygulama aşamasında MAGNET sürekli GPS istasyonlarının 2003–2005 yıllarındaki 3 yıllık döneme dair doğrusal hız modeline bağlı sinyal artıkları ile yıllık ve yarıyillik sinyal faz diyagramları oluşturulmuştur. Şekil 4.16'da MAGNET sürekli GPS istasyonlarının yarıyillik faz diyagramı gösterilmiştir.



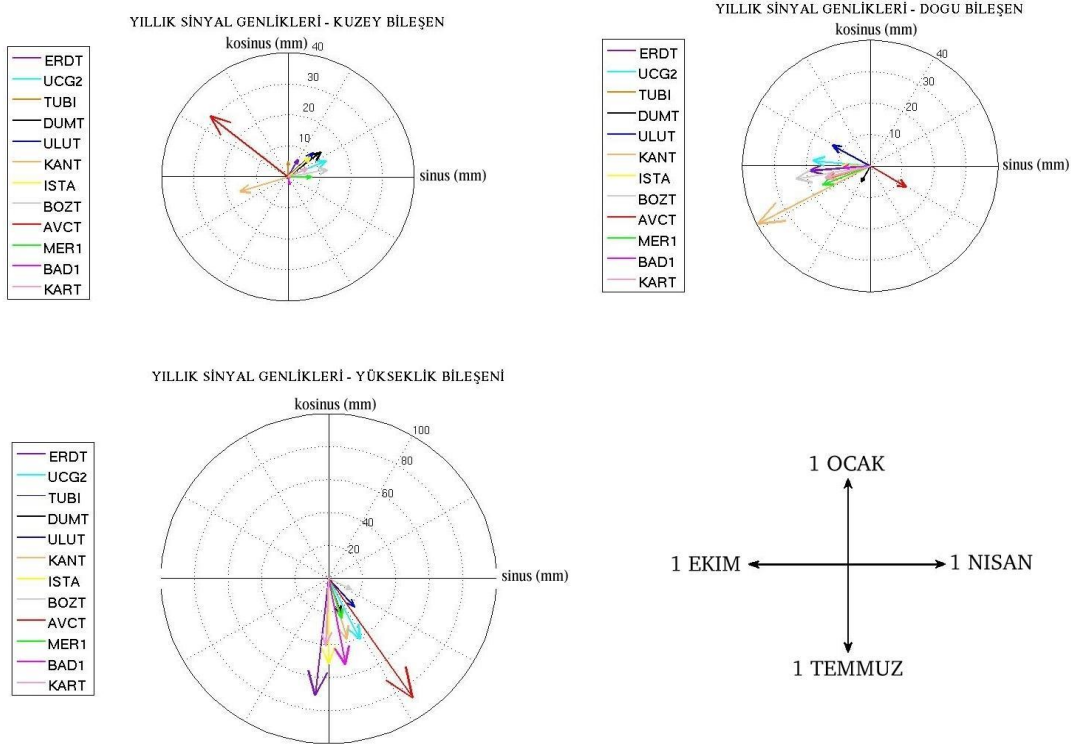
Şekil 4.16: MAGNET sürekli GPS istasyonlarının 2003–2005 yıllarındaki 3 yıllık dönem için yarıyillik faz diyagramı

Sol üstteki grafik kuzey yönündeki kosinüs ve sinüs bileşenleri için yarıyillik sinyal genliklerini, sağ üstteki grafik doğu yönündeki kosinüs ve sinüs bileşenleri için yarıyillik sinyal genliklerini, sol alttaki grafik düşey yöndeki kosinüs ve sinüs bileşenleri için yarıyillik sinyal genliklerini göstermektedir. MAGNET sürekli GPS istasyonlarındaki bu sinyal genliklerinin mm (milimetre) mertebesinde olması

sebebiyle diyagram üzerinde gösteriminin zorluğu dikkate alınarak genlik büyüklükleri 10 katsayısı ile çarpılarak elde edilen genlik değerleri grafik olarak verilmiştir. Sağ alttaki grafik ise faz yönü ile yarıyılık sinyal zamanları arasındaki korelasyonu göstermek için çizilmiş yardımcı şekildir. Sinyal fazları için referans 1 Ocak olarak alınmıştır ve zaman saat yönünde ilerlemektedir.

Yarıyılık faz diyagramı incelendiğinde yarıyılık maksimum genlik değerleri kuzey bileşen için Şubat ve Ağustos döneminde, doğu bileşen için Mayıs ayının son bölümü ve Haziran ayını içine alan dönemde ve Kasım döneminde, yükseklik bileşeni için ise Şubat ayının son bölümü ile Ağustos ayının son bölümünde kümelenmiştir.

Dönemsel etkiler sebebiyle yıllık periyotta da değişen sinyal genliklerinin maksimum büyüklük değerleri de Şekil 4.17'de yıllık faz diyagramı ile gösterilmiştir.



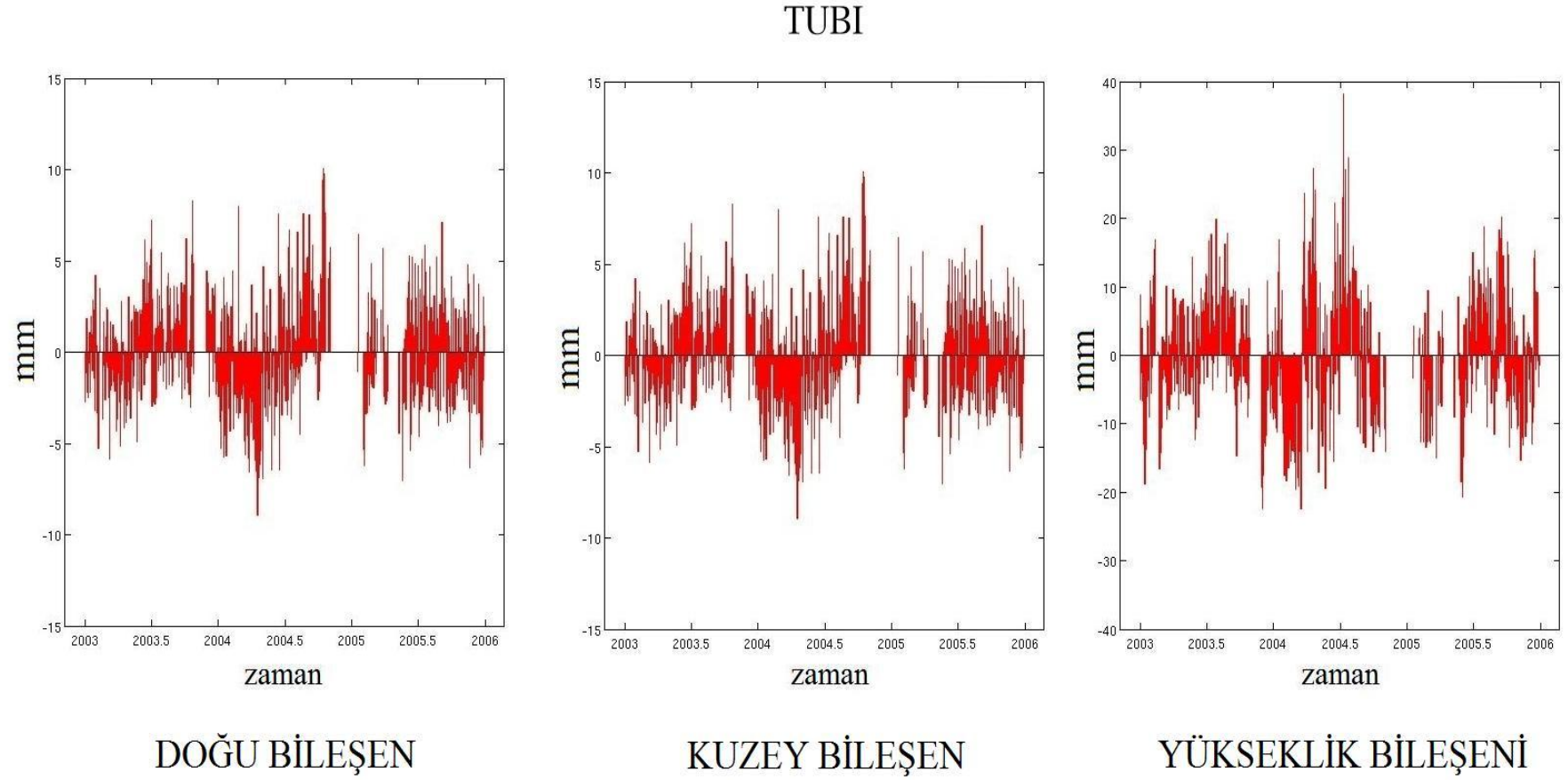
Şekil 4.17: MAGNET sürekli GPS istasyonlarının 2003–2005 yıllarındaki 3 yıllık dönem için yıllık faz diyagramı

Sol üstteki grafik kuzey yönündeki kosinüs ve sinüs bileşenleri için yıllık sinyal genliklerini, sağ üstteki grafik doğu yönündeki kosinüs ve sinüs bileşenleri için yıllık sinyal genliklerini, sol alttaki grafik düşey yöndeki kosinüs ve sinüs bileşenleri için yıllık sinyal genliklerini göstermektedir. Yarıyılık faz diyagramında olduğu gibi

yine genlik büyüklükleri 10 katsayısı ile çarpılarak elde edilen genlik değerleri grafik olarak verilmiştir. Sağ alttaki grafik ise faz yönü ile yıllık sinyal zamanları arasındaki korelasyonu göstermek için çizilmiş yardımcı şekildir. Sinyal fazları için referans 1 Ocak olarak alınmıştır ve zaman saat yönünde ilerlemektedir.

Yıllık faz diyagramı incelendiğinde yıllık maksimum genlik değerleri kuzey bileşen için AVCT ve KANT istasyonları dışındaki istasyonlarda Mart ayı döneminde, doğu bileşen için AVCT istasyonu dışında Eylül ve Ekim dönemlerinde, yükseklik bileşeni için ise Haziran ve Temmuz dönemlerinde yığılma göstermiştir.

Faz diyagramı ile ortaya konulan sinyal genlikleri üzerindeki yarıyıllık ve yıllık maksimum etkinin hız modelinde sinyal artıkları (residual) şeklinde tezahür etmesi nedeniyle faz diyagramlarını residual değerleri ile desteklemek mümkündür. Bu sayede çalışmanın 4.4.2 bölümünde ayrıntılı olarak değinilen sinyal artık (residual) değerleri yarıyıllık ve yıllık faz diyagramları ile ilişkilendirilebilir. Şekil 4.18'de aynı zamanda IGS ağında tanımlı olan TUBI sürekli GPS istasyonunun 2003–2005 dönemi için 3 yıllık residual grafiği verilmiştir. TUBI istasyonunun residual grafiğinde yıllık maksimum genlikler açık olarak görülmekle birlikte yarıyıllık maksimum genlikler de belirli bölümlerde dikkati çekmektedir.

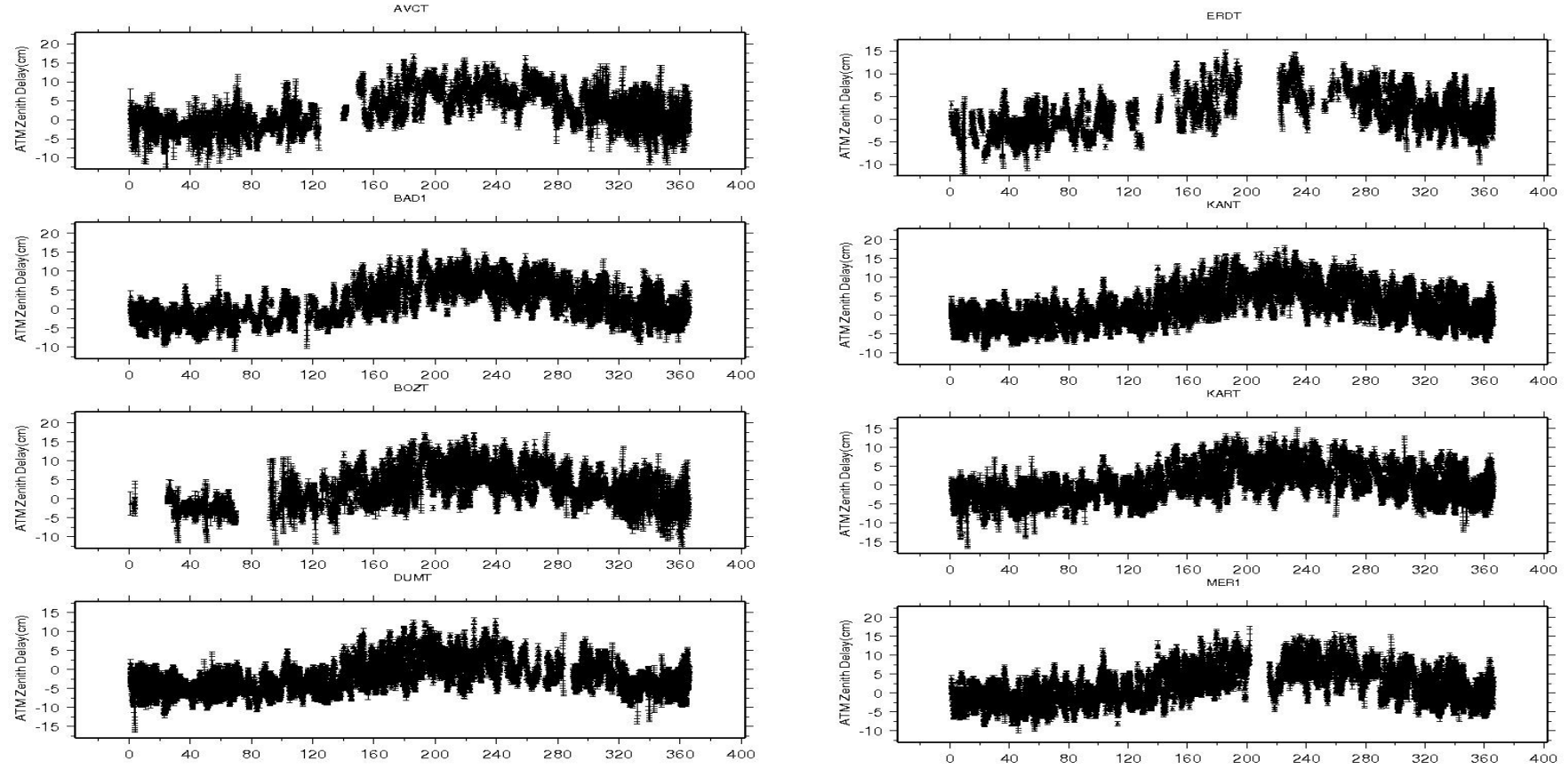


Şekil 4.18: MAGNET ağındaki TUBİ sürekli GPS istasyonunun 2003–2005 yıllarındaki 3 yıllık döneme dair doğrusal hız modeline bağlı sinyal artıkları

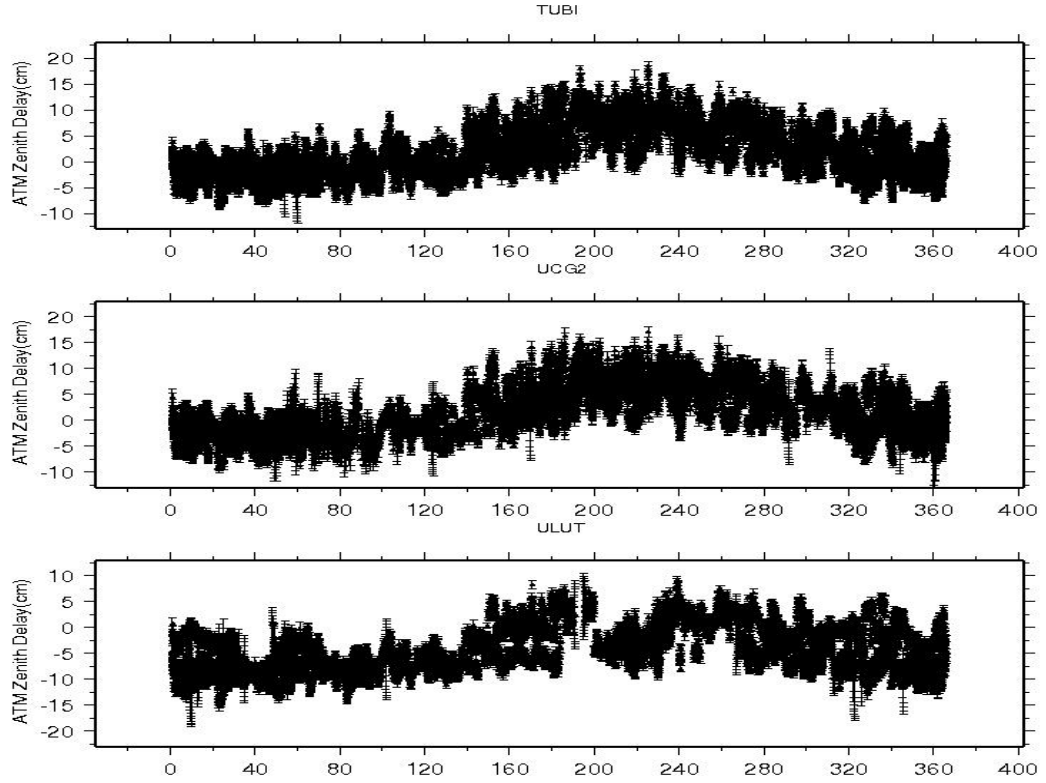
4.6 MAGNET İstasyonlarının 2001–2005 Dönemindeki Zenit Gecikme Bilinmeyenleri İle Nokta Konum Yükseklik Bileşenlerinin Dönemsel Etkiler Açısından İlişkilendirilmesi

Bölüm 3.2’de “GPS Zaman Serilerinde Dönemsel Değişimlere Sebep Olan Faktörler” başlığı altında değinilen atmosferik etkiler hem iyonosfer etkisi hem de troposferik gecikme etkisi bakımından oldukça önem arz etmektedir. İyonosferik etki sinyal yolu üzerindeki toplam elektron yoğunluğu (TEC) ile doğru orantılı olarak artmaktadır. Yine bölüm 3.2’de iyonosferdeki serbest elektron yoğunluğu ve solar radyasyon arasındaki ilişki ortaya konulmuştur. Bu ilişkiye göre yıl içindeki solar radyasyon değişimleri sonucu GPS kod ölçüleri gecikmekte ve faz ölçüleri de hızlanmaktadır. Troposferik etki de düzensiz su buharı dağılımı, atmosferik basınç, mutlak sıcaklık gibi meteorolojik nedenlerden ötürü GPS sinyali üzerinde gecikme yaratmaktadır. Özet olarak, GPS sinyalinin atmosferde gecikmesi atmosferik refraksiyonun (kırılmanın) basınç, sıcaklık ve neme karşı olan hassasiyeti neticesinde oluşmaktadır.

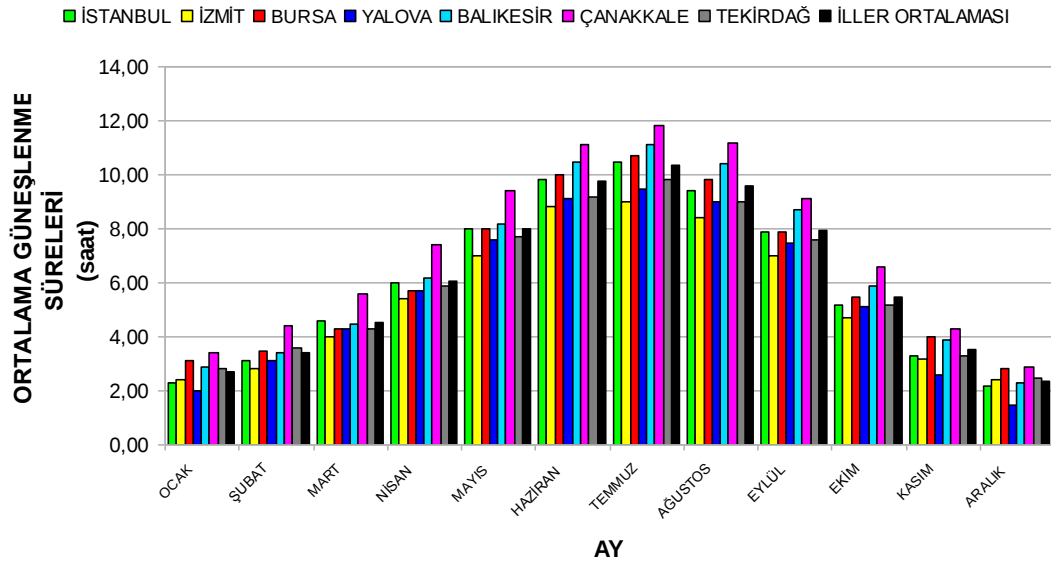
GAMIT yazılımı ile veri değerlendirme işlemi sonunda GPS istasyonu etrafındaki ortalama atmosferik etkileri yansıtan zenit gecikme bilinmeyenleri hesaplanmaktadır. Atmosferik etkiler bu gecikme bilinmeyenlerinde de dönemsel anomaliler yaratmaktadır. 2001–2005 döneminde MAGNET sürekli GPS istasyonları için zenit gecikme bilinmeyenlerine getirilen yıllık ortalama düzeltme miktarları Şekil 4.19 ve Şekil 4.20 üzerinde gösterilmiştir. Tüm MAGNET sürekli GPS istasyonları için zenit gecikme bilinmeyenleri göz önüne alındığında gecikme miktarlarında yaklaşık olarak yılın 140. gününden itibaren artışlar görülmektedir. Zenit gecikme bilinmeyenlerindeki en büyük artışa Haziran-Temmuz dönemlerinde rastlanmaktadır. Zenit gecikme bilinmeyenleri Kasım sonuna doğru yılın ilk 4 aylık periyodundaki değerlerine geri dönmektedir. Zenit gecikme değerlerindeki bu dönemsel anomaliler sıcaklık yükselişleri ile birlikte iyonosferdeki iyonlaşmanın artmasıyla ilişkilendirilebilir. Şekil 4.21’de MAGNET sürekli GPS istasyonlarının konuşlandırıldığı illerin aylık ortalama güneşlenme süreleri verilmiştir. Sıcaklık artışındaki trend zenit gecikme bilinmeyenleri trendi ile uyum göstermektedir.



Şekil 4.19: 2001–2005 döneminde MAGNET sürekli GPS istasyonları için zenit gecikme bilinmeyenlerine getirilen yıllık ortalama düzeltme miktarları (Sol tarafta yukarıdan aşağıya sırasıyla AVCT, BAD1, BOZT, DUMT; sağ tarafta yukarıdan aşağıya ERDT, KANT, KART, MER1 istasyonları sıralanmıştır.)

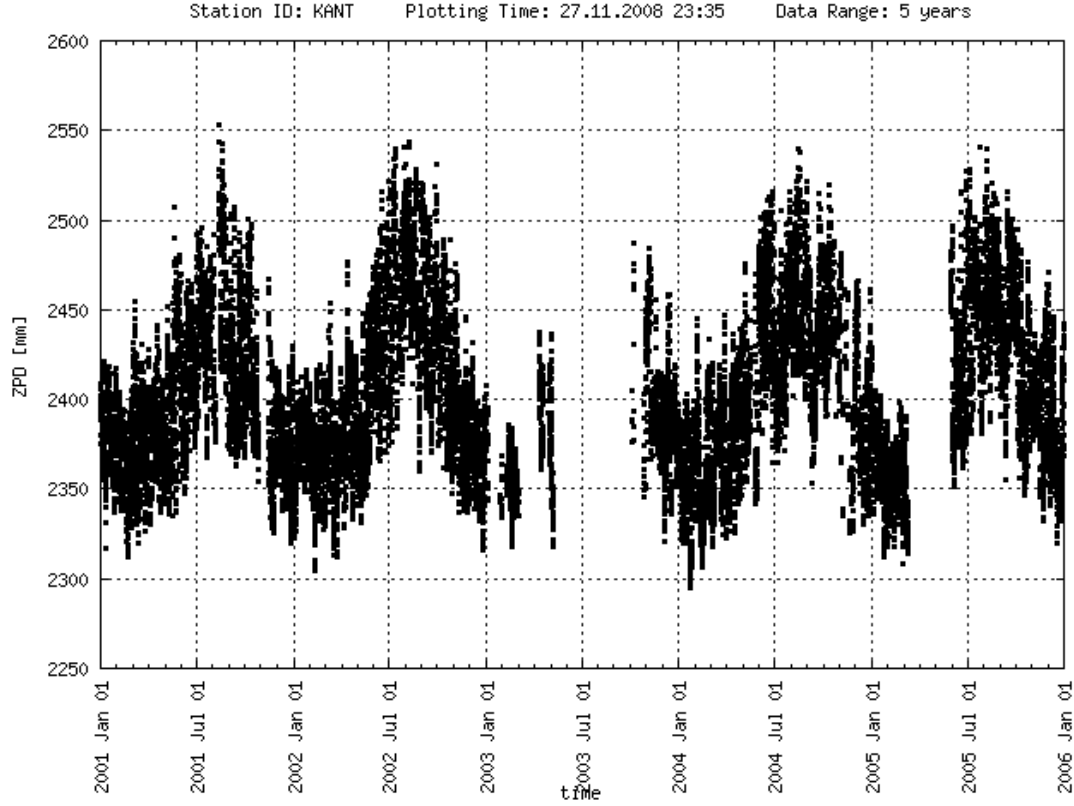


Şekil 4.20: 2001–2005 döneminde MAGNET sürekli GPS istasyonları için zenit gecikme bilinmeyenlerine getirilen yıllık ortalama düzeltme miktarları (Yukarıdan aşağıya sırasıyla TUBI, UCG2, ULUT istasyonları sıralanmıştır.)



Şekil 4.21: MAGNET sürekli GPS istasyonlarının konuşlandırıldığı illerin aylık ortalama güneşlenme süreleri

Ayrıca 2001 yılı başından 2005 yılı sonuna kadar olan 5 yıllık dönemin tamamı ele alındığında MAGNET sürekli GPS istasyonlarında zenit gecikme bilinmeyenleri üzerinde görülen dönemsel anomaliler daha net olarak ortaya çıkmaktadır. Şekil 4.22'de KANT sürekli GPS istasyonunun 2001–2005 dönemine ait 5 yıl için zenit gecikme bilinmeyenleri gösterilmiştir.



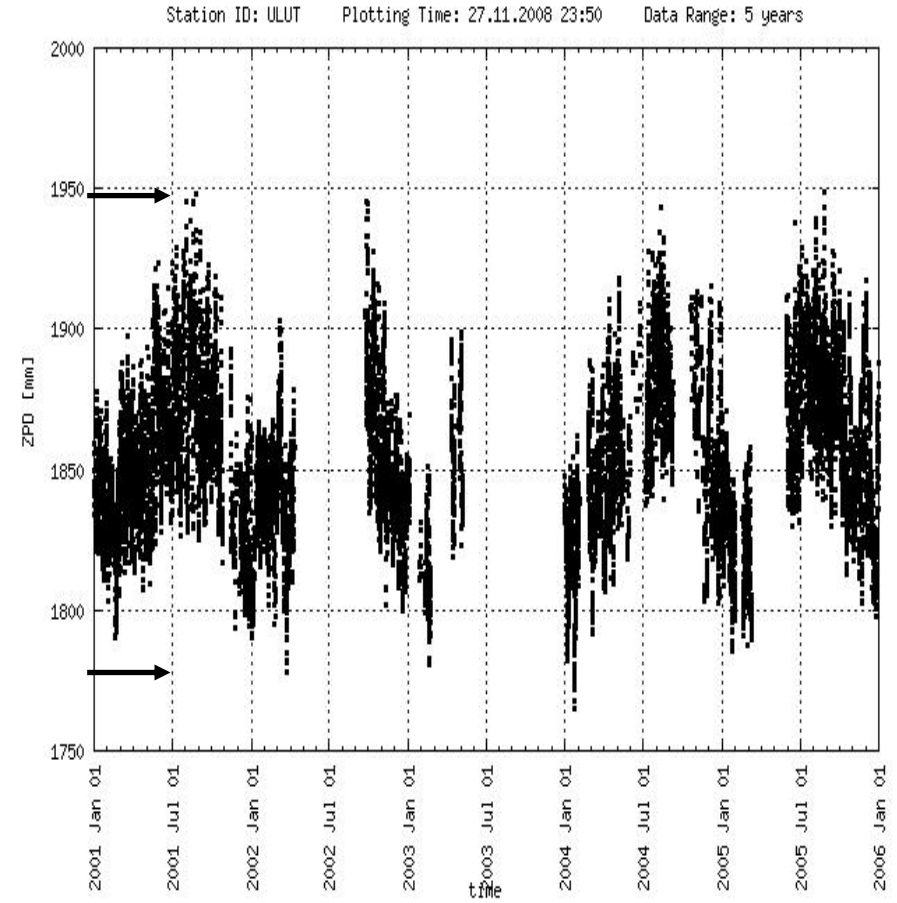
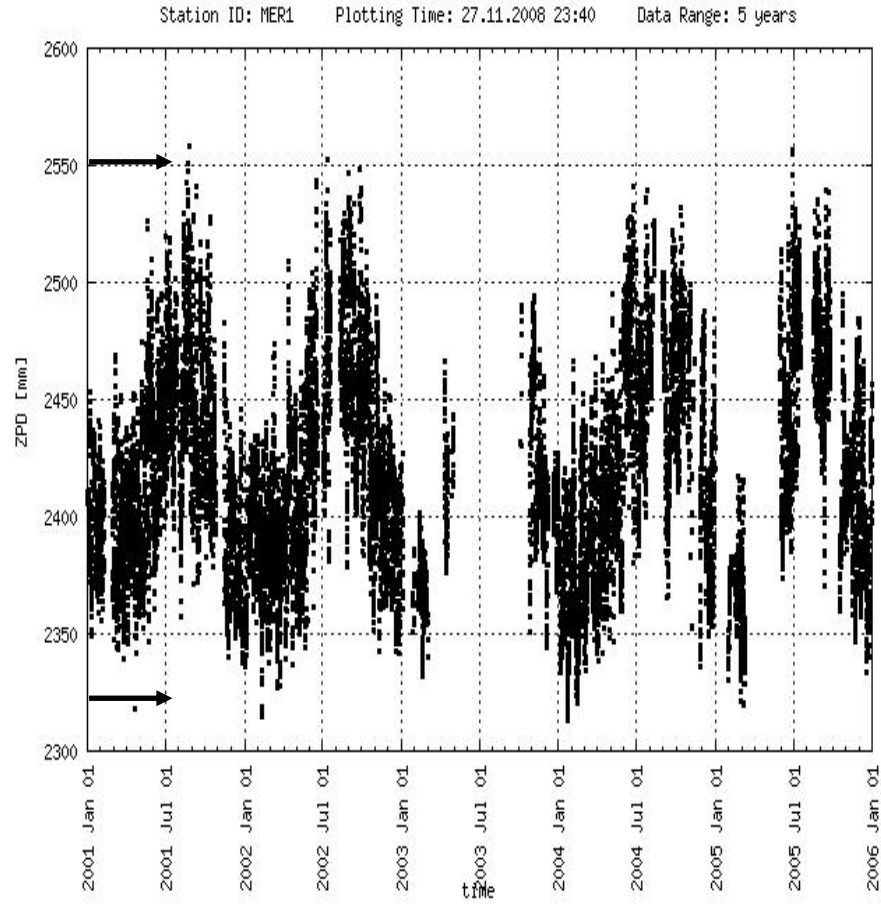
Şekil 4.22: KANT sürekli GPS istasyonunun 2001–2005 dönemine ait 5 yıllık zenit gecikme bilinmeyenleri

Şekil 4.22'de de görüldüğü gibi KANT sürekli GPS istasyonunda GPS sinyalleri üzerinde en büyük gecikme Temmuz ayı içinde gerçekleşmektedir. Bu gecikme etkisi MAGNET sürekli GPS istasyonları yıllık faz diyagramındaki yükseklik bileşeni ile de desteklenmektedir. Şekil 4.17'de yer alan yıllık faz diyagramındaki yükseklik bileşeni için maksimum genlik büyüklükleri Temmuz ayını işaret etmektedir.

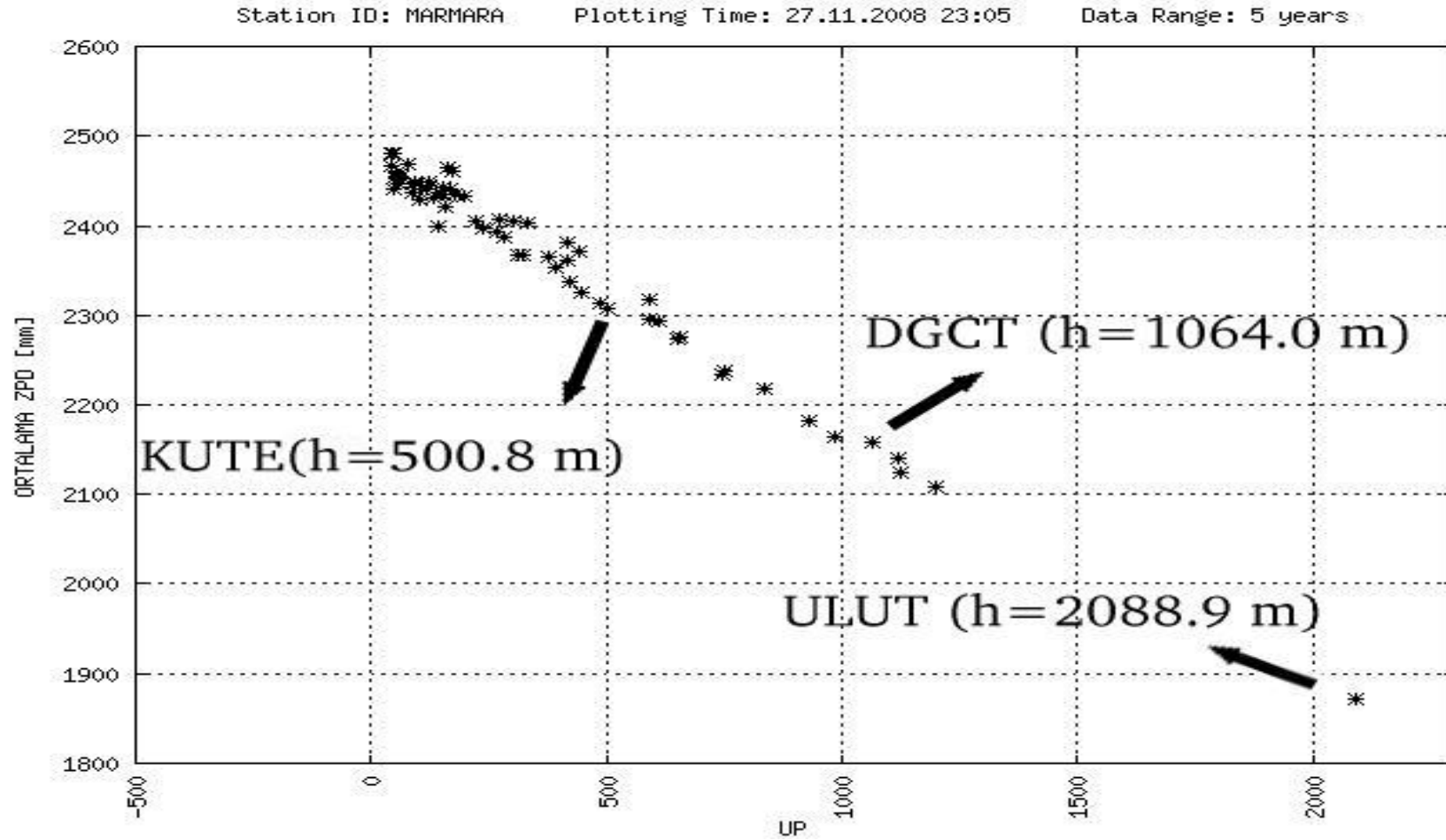
Öte yandan zenit gecikme bilinmeyenleri üzerinde dönemsel değişimlere yol açan bu etki istasyonun yüksekliği ile ters orantılı olarak değişmektedir. Şekil 4.21'de ifade edilen yaz aylarında sıcaklık yükselişlerine paralel olarak atmosferdeki su buharı miktarının artmasıyla aşağı seviyedeki bir topografyada konuşlandırılmış olan sürekli

GPS istasyonlarının yüksekteki noktalara oranla daha çok troposferik etkiye maruz kaldığı görülmektedir. Şekil 4.23'de MER1 ve ULUT istasyonlarının 2001–2005 dönemi içerisinde 5 yıllık zenit gecikme bilinmeyenleri karşılaştırılmıştır. Elipsoid yüksekliği 91.7 m olan MER1 istasyonu ele alındığında yıllık zenit gecikme bilinmeyi değişim aralığı yaklaşık olarak 23 cm civarındadır. Bununla birlikte elipsoid yüksekliği 2088.9 m olan ULUT istasyonu için yıllık zenit gecikme bilinmeyi değişim aralığı yaklaşık olarak 18 cm civarındadır. Bu da yükseklerle çıkıldıkça zenit gecikme etkisinin çok fazla azalıp artmamasına bağlı olarak GPS sinyalinin daha az etkilendiği sonucunu ortaya koymaktadır.

Yükseklere çıkıldıkça azalan zenit gecikme etkisini tüm sürekli GPS noktaları ve kampanya tipi ölçme noktalarının yıllık ortalama zenit gecikme bilinmeyenleri ile nokta yüksekliği arasındaki ilişkiyi ortaya koyarak desteklemek mümkündür. Şekil 4.24 tüm sürekli GPS istasyonları ve kampanya tipi ölçme noktalarının yükseklikleri ile yıllık ortalama zenit gecikme bilinmeyenleri arasındaki ilişkiyi ortaya koymaktadır. Nokta yüksekliği ile zenit gecikme bilinmeyi arasındaki ters doğrusal ilişki tüm nokta dağılımı üzerinde de görülebilmektedir.



Şekil 4.23: MER1 sürekli GPS istasyonu (solda) ile ULUT sürekli GPS istasyonu (sağda) için 2001–2005 dönemine ait 5 yıllık zenit gecikme bilinmeyenleri



Şekil 4.24: Tüm MAGNET istasyonları ve kampanya tipi ölçme noktalarının yüksekliklerine bağlı olarak değişen yıllık ortalama zenit gecikme bilinmeyenleri

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu çalışmada, 11 MAGNET (Marmara GPS Ağı) sürekli GPS istasyonu ile Marmara Bölgesi'ndeki 22 kampanya tipi ölçme noktasında 2001 ile 2006 yılları arasında değişik dönemlerde toplanan veriler analiz edilmiştir. Analizler sonucunda GPS gözlemlerine bozucu etki yapan gürültülerin belirlenmesine, zaman içerisinde kendini tekrar eden periyodik gürültülerin sebep olduğu dönemsel etkiler ve bunların nedenleri açıklanmaya çalışılmıştır.

MAGNET sürekli GPS istasyonlarında 2003–2005 dönemi için 3 yıllık süre zarfında toplanan veriler üzerinde dönemsel anomalilerin yarattığı etkilerin ortaya çıkarılması için hem GLOBK hem de TSVIEW yazılımı kullanılarak doğrusal hız kestirimleri uygulanmıştır. GLOBK yazılımının GLRED modülü yardımıyla oluşturulan zaman serileri kullanarak dönemsel anomalileri de barındıran GLOBK kestirimleri ile zaman serileri üzerindeki yıllık ve yarıyıllık dönemsel etkiler, doğrusallık etkisi gibi gürültü etkileri kaldırılarak elde edilen hız kestirimleri karşılaştırılmıştır. Hız farklarının karşılaştırılması sonucu dönemsel anomalilerin hız değerlerine etkisinin yatay bileşenler için 1–1,5 mm/yıl, yükseklik bileşeni için 1-3 mm/yıl ile sınırlı kaldığı çizelgelerdeki hız değerleri ve oluşturulan hız alanları ile ortaya konulmuştur. Hız farkları ortalaması ise yatayda doğu bileşen için 0.38 ± 0.20 mm/yıl, kuzey bileşen için 1.13 ± 0.36 mm/yıl ve düşeyde 1.58 ± 0.82 mm/yıl olarak hesaplanmıştır. Ayrıca dönemsel değişimlerin yatay bileşenlerin kendi içinde aynı etkiyi bırakmadığı hız değerleri arasındaki farklardan anlaşılmaktadır. Yatay hız farklarının kuzey bileşen için daha büyük olması dönemsel etkilerin bu bileşen üzerinde daha baskın olduğu sonucunu doğurmuştur. Dönemsel etkilerin her bileşen üzerinde aynı etkiyi bırakmaması durumu MAGNET sürekli GPS istasyonları için kullanılan doğrusal hız modeline bağlı sinyal artık değerleri (residual) ile de desteklenmiştir. Analizlerde residual değerlerinin değişim aralıkları farklılıklar göstermiştir.

Kampanya tipi ölçme noktalarında 2002–2005 döneminde 4 yıl boyunca toplanan GPS verileri ölçme zamanı bazında gruplandırılarak ayrı ayrı olarak analiz edilmişlerdir. Mayıs-Haziran dönemi ile Ekim-Kasım dönemlerinde kampanya tipi

ölçme noktalarında hesaplanan yıllık yatay hız değerlerinin farkları dönemsel anomalilere bağlı bir etkiyi açık olarak ifade etmektedir. Kampanya tipi ölçme noktalarındaki yıllık hız farkları doğu bileşen için 1-11 mm/yıl arasında, kuzey bileşen için 1-15 mm/yıl arasında, yükseklik bileşeni için 1-29 mm/yıl arasında değişmektedir. MAGNET sürekli GPS istasyonlarında olduğu gibi kampanya verilerinin analizi sonucu da yatay hız değerleri için kuzey bileşenin baskınlığını ön plana çıkarmaktadır. Zira kampanya tipi ölçme noktalarında yıllık olarak iki dönem için ayrı ayrı kestirilen hızların farklar ortalaması doğu bileşen için 3.93 ± 2.51 mm/yıl, kuzey bileşen için 6.68 ± 3.98 mm/yıl, yükseklik bileşeni için 9.61 ± 6.23 mm/yıl hesaplanmıştır. Ayrıca kampanya tipi ölçme noktalarında Mayıs-Haziran ve Ekim-Kasım dönemlerindeki hız değerleri arasındaki farklar MAGNET sürekli GPS istasyonlarının kampanya tipi ölçme noktası gibi iki dönem olarak değerlendirilmesiyle hesaplanan hız değerleri arasındaki farklar ile uyum göstermiştir. MAGNET sürekli GPS istasyonlarının kampanya tipi ölçme noktası gibi değerlendirilmesiyle hesaplanan hız değerleri doğu bileşen için 1-2 mm/yıl arasında, kuzey bileşen için 3-6 mm/yıl arasında, yükseklik bileşeni için 1-35 mm/yıl arasında değişmektedir. Hız farklarının ortalaması ise doğu bileşen için 1.02 ± 0.58 mm/yıl, kuzey bileşen için 5.64 ± 1.06 mm/yıl ve yükseklik bileşeni için 11.14 ± 10.96 mm/yıl olarak hesaplanmıştır. Bu da kampanya tipi ölçme noktalarında toplanan verinin kalitesinin MAGNET sürekli GPS istasyonlarındaki veri kalitesine yakın olduğunu açıklamaktadır. BLOT noktasında diğer kampanya tipi ölçme noktalarına oranla yatay bileşenlerde görülen büyük hız farkı düşey bileşende de kendini göstermektedir. BLOT noktasında Mayıs-Haziran ve Ekim-Kasım dönemleri arasındaki yıllık hız farkı doğu bileşen için 2.35 mm/yıl, kuzey bileşen için 15.48 mm/yıl, yükseklik bileşeni için ise 28.63 mm/yıl olarak kendini göstermektedir. BLOT noktasının 2003 yılındaki ilk periyot ölçmelerinde ölçme hatalarını minimum seviyede tutmak amacıyla “mümkün olduğunca aynı noktaların aynı ölçme grupları tarafından aynı donanımlar kullanılarak yılın aynı dönemlerinde ölçülmesi” stratejisi dışına çıkılarak farklı tipte donanımlar kullanılmıştır. Bunun yanında noktanın kireçtaşı üzerine sağlam bir yer noktası olarak tesis edilmiş olması sebebiyle bu noktadaki büyük hız farkları için yerel deformasyon etkisinin varlığından da söz etmek mümkün değildir. KFKT noktasındaki düşey hız değerleri arasındaki büyük fark değerlendirmede kullanılan 2 yıllık verinin hız modelini yeterince destekleyememesi neticesinde oluşmuştur. Bu nedenle kampanya tipi ölçme

noktalarında yıllık olarak iki dönem için ayrı ayrı kestirilen hız farklarının ortalaması hesaplanırken yükseklik bileşeni bazında KFKT noktası analiz dışında bırakılmıştır.

Yarıyıllık faz diyagramı incelendiğinde ise yarıyıllık maksimum genlik değerleri kuzey bileşen için Şubat ve Ağustos döneminde, doğu bileşen için Mayıs ayının son bölümü ile Haziran ayının içine alan dönemde ve Kasım döneminde, yükseklik bileşeni için ise Şubat ayının son bölümü ile Ağustos ayının son bölümünde kümelenmiştir. Özellikle doğu bileşen için ortaya çıkan sinyal genlikleri ve faz diyagramı iki farklı kampanya dönemi için hesaplanan hız farklarını desteklemektedir.

Yıllık faz diyagramları incelendiğinde doğu ve kuzey bileşen maksimum genlikler için tanımlanan zamanlar doğrusal hız modeli için sinyal artık zamanları ile örtüşmektedir. Yıllık faz diyagramından çıkan kuzey bileşen için Mart dönemi ve doğu bileşen için Ağustos dönemindeki dönemsel etki doğrusal hız modeline bağlı sinyal artıkları üzerinde de kendini göstermektedir.

MAGNET sürekli GPS istasyonları için hesaplanan zenit gecikme bilinmeyenleri ise düşey yöndeki dönemsel etkileri tanımlamaktadır. Temmuz-Ağustos dönemindeki yüksek sıcaklık artışlarına bağlı olarak özellikle deniz seviyesine yakın bölgelerdeki su buharı yoğunluğunun artması nedeniyle bu yerlerdeki troposferik gecikme etkisi artmaktadır. Zenit gecikme bilinmeyenleri değerleri tüm MAGNET sürekli GPS istasyonlarında en büyük değerlerine Temmuz-Ağustos döneminde ulaşmaktadır. Yıllık faz diyagramının yükseklik bileşeninde de maksimum genliklerin Temmuz dönemini işaret etmesi zenit gecikme bilinmeyenleri üzerindeki dönemsel etkiyi açıklamaktadır. Ayrıca sıcaklığa bağlı olarak artan su buharı yoğunluğunun deniz seviyesinden yukarılara çıkıldıkça azalması sebebiyle zenit gecikme etkisinin yükseklikle ters doğrusal ilişki içinde olduğu belirlenmiştir.

Gelecekte yapılması planlanan GPS kampanya planlamaları için daha kaliteli veri toplama ve ölçme stratejilerini geliştirme adına tez çalışmasının bütününde hem MAGNET sürekli GPS istasyonları verileri hem de geçmişte yapılmış kampanya verileri ile ortaya konan dönemsel etkiler de hesaba katılmalıdır. Kampanya tipi ölçme noktalarının mümkün olduğunca deniz seviyesinden yüksek bir yerde konuşlandırılması, GPS kampanya ölçmelerinin yılın hep aynı dönemlerinde yapılması, bahar ve sonbahar dönemlerinde Marmara Bölgesi'nde görülen mevsimsel

değişimlerin göz önünde bulundurularak planlama yapılması, Temmuz-Ağustos dönemindeki maksimum güneşlenme etkisinden kaçınılması gibi stratejilerin kampanya veri kalitesini olumlu yönde etkileyeceği belirlenmiştir.

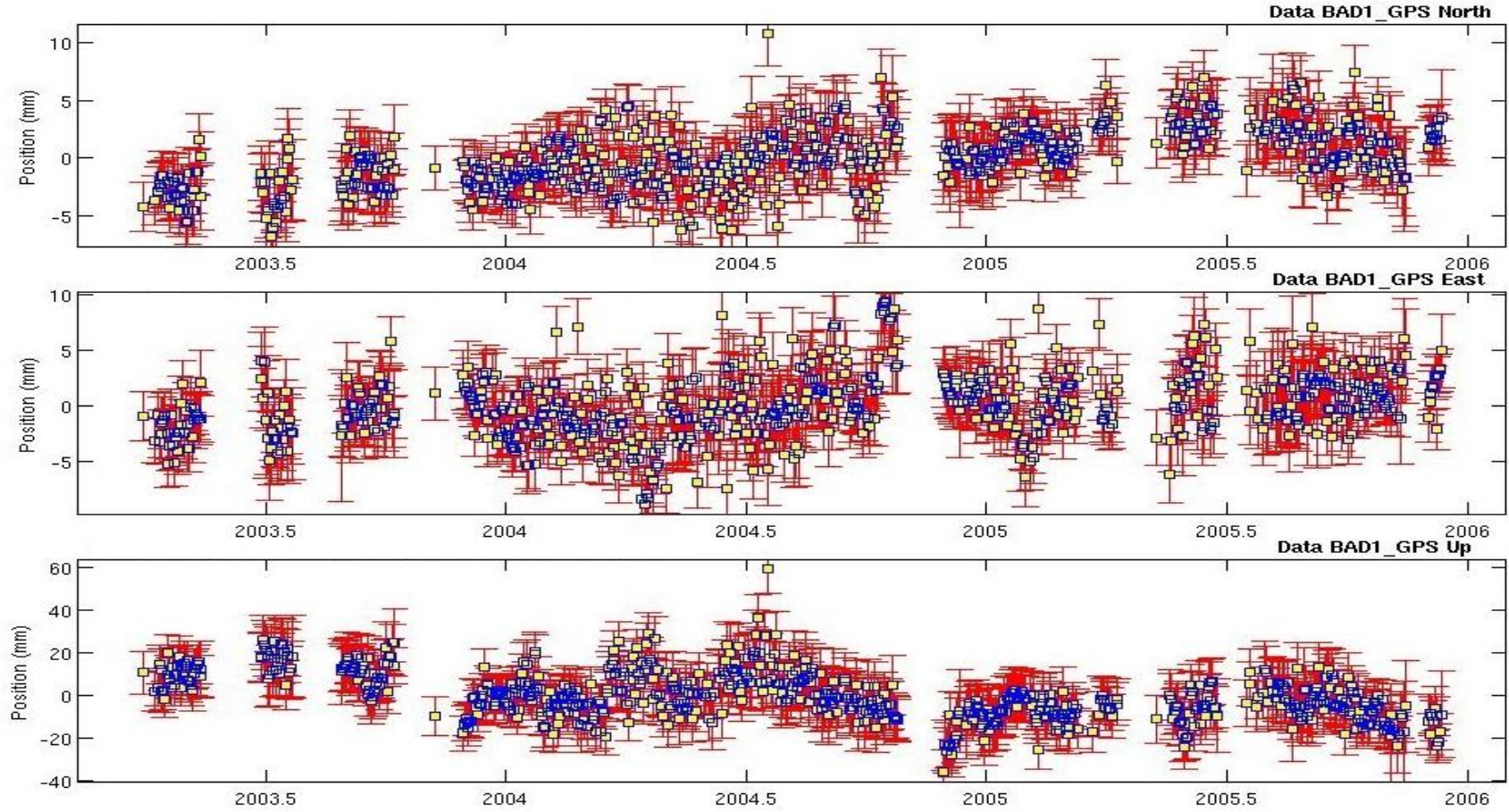
KAYNAKLAR

- Baykut, S., Akgül, T., ve Ergintav, S.,** 2006. GPS Verilerinin Modellenmesi ve GPS Gürültüsü Analizi, 14. *IEEE-Sinyal İşleme ve Uygulamaları Kurultayı*, Antalya, Türkiye, 17-19 Nisan.
- Blewitt, G., ve Lavall'ee, D.,** 2002. Effect of annual signals on geodetic velocity, *Journal of Geophysical Research*, **107**, B7, ETG9-1/9-11, DOI:10.1029/2001JB000570.
- Breed, A.M., ve Goodwin, G.L.,** 1998. Total Electron Content Measurements in the Southern Hemisphere Using GPS Satellites, 1991 to 1995, *Radio Science*, Vol. **33**, No. 6, pp. 1705–1726.
- Doğan, U., ve Demirel, H.,** 2001. En Küçük Karelere Göre Dengeleme İle Kalman Filtreleme Yöntemi Arasındaki İlişki, *YTÜ Dergisi*, **3**, Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü, İstanbul.
- Dodo, J. D., ve Kamarudin, M. N.,** 2008. Investigation on the impact of tropospheric models on baseline precision in a local GPS Network: Case of the Malaysian RTKnet, *Journal of Geomatics*, Vol. **2**, No. 1
- Dong, D., Fang, P., Bock, Y., Cheng, M. K., ve Miyazaki, S.,** 2002. Anatomy of apparent seasonal variations from GPS-derived site position time series, *Journal of Geophysical Research*, **107**, B4, ETG9-1/9-16, DOI:10.1029/2001JB000573.
- Erdoğan, H., Gülal, E., Akpınar, B., Ata, E., ve Poyraz, F.,** 2005. Mühendislik Yapılarına Etkiyen Büyüklüklerin Modellenmesi, *2.Ulusal Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu*, İstanbul, Türkiye, 23-25 Kasım.
- Hartman, G. K., ve Leitingner, R.,** 1984. Range errors due to ionospheric and tropospheric effects for signals above 100 Mhz, *Bulletin Géodésique*, Vol. **58**, pp. 109–136.
- Herring, T. A.,** 2008. GAMIT/GLOBK Kalman Filter VLBI and GPS Analysis Program, Version 10.3, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge.
- Hopfield, H. S.,** 1969. Two-quartic tropospheric refractivity profile for correcting satellite data, *Journal of Geophysical Research*, Vol. **74**, No. 18, pp. 4487–4499.
- Hopfield, H. S.,** 1977. Tropospheric correction of electromagnetic ranging signals to a satellite: A study of parameters, *International Association of Geodesy Symposium*, Wageningen, Hollanda, 23-28 Mayıs.

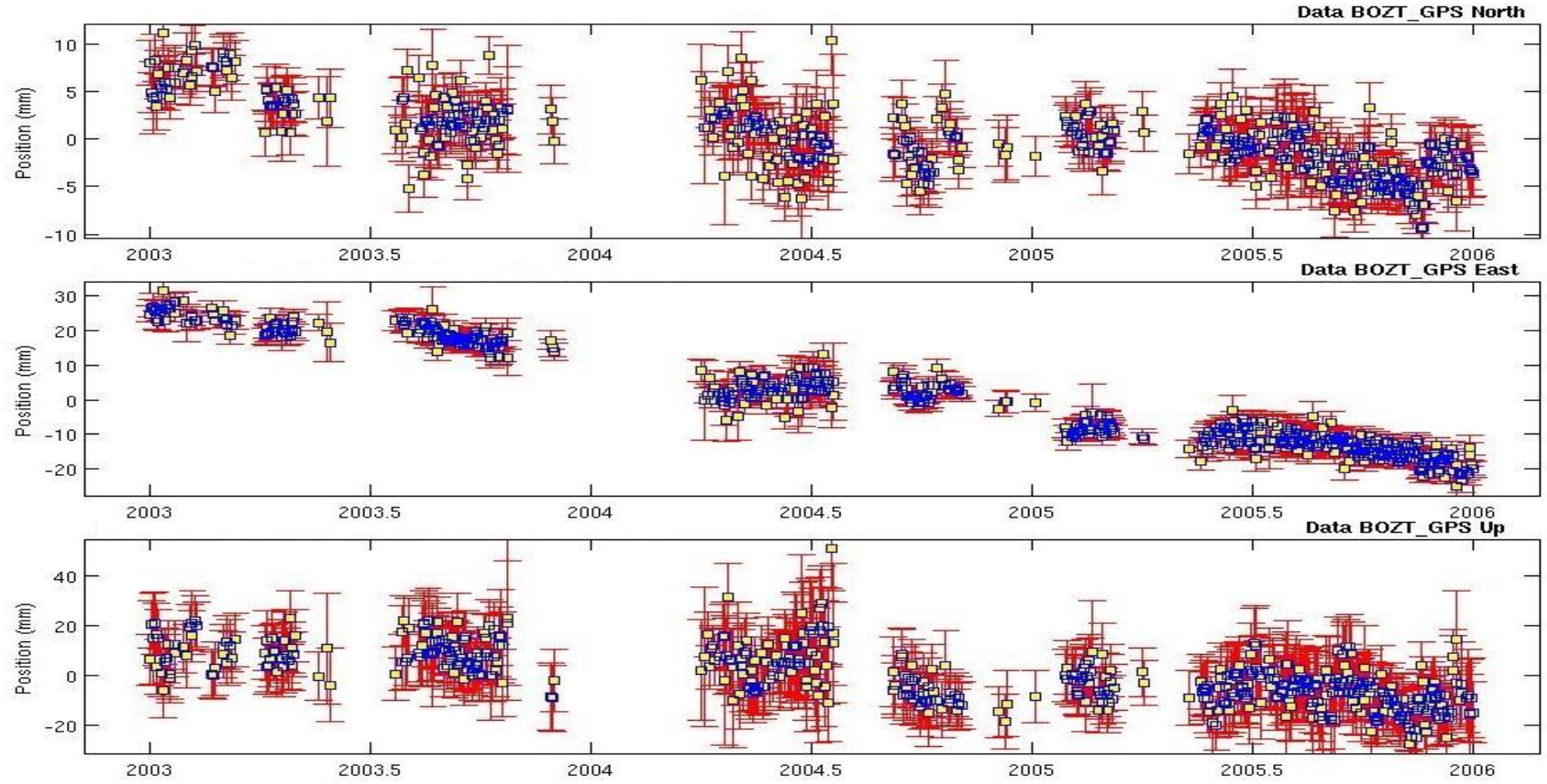
- Johansson, J. M., Davis, J. L., Scherneck, H. G., Milne, G. A., Vermeer, M., Mitrovica, J. X., Bennett, R. A., Elgered, G., Elosegui, P., Koivula, H., Poutanen, M., Rnnng, B. O., ve Shapiro, I. I., 2002.** Continuous GPS measurements of postglacial adjustment in Fennoscandia, 1. Geodetic Results, *Journal of Geophysical Research*, Vol. **107**, No. B8.
- King, R. W., ve Bock, Y., 2003.** Documentation for the GAMIT analysis software release, release V.10.1, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge.
- Leick, A., 2003.** *GPS Satellite Surveying*. 3rd ed., Wiley, New York.
- Mao, A., Harrison, C. G. A., ve Dixon, T. H., 1999.** Noise in GPS coordinate time series, *Journal of Geophysical Research*, **104**, B2, 2797-2818.
- Mekik, C., 1993.** Tropospheric path delay modelling in GPS relative positioning, Paper presentation, *UKGA General Assembly*, Oxford, Britanya, Nisan.
- Niell, A. E., 1996.** Global mapping functions for the atmospheric delay at radio wavelengths, *Journal of Geophysical Research*, **101**, 3227-3246.
- Poutanen, M., Koivula, H., ve Ollikainen, M., 2001.** On the periodicity of GPS time series. *Proceedings of the IAG 2001 Scientific Assembly, Vistas for Geodesy in the New Millennium*, Budapest, Hungary, 2-7 September, p.4.
- Scherneck, H. G., Johansson, J. M., Mitrovica, J. X., ve Davies, J. L., 1998.** The BIFROST project: GPS determined 3-D displacement rates in Fennoscandia from 800 days of continuous observations in the SWEPOS network, *Tectonophysics*, **294**, 3-4, 305-321.
- Serpelloni E., G. Casula, A. Galvani, M. Anzidei, ve P. Baldi, 2006.** Data analysis of permanent GPS networks in Italy and surrounding regions: applications of a distributed processing approach, *Annals of Geophysics*, Vol. **49**, N. 4/5, August/October.
- Spilker, J.J., 1980.** GPS Signal Structure and Performance Characteristics, *Global Positioning System*, edited by P. M. Janiczek, Vol. **1**, pp. 29-54.
- Yıldız, H., 2005.** Mareograf ve Sabit GPS Verileri İle Uzun Dönemli Mutlak Deniz Seviyesi Değişimlerinin Araştırılması, *Doktora Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

EKLER

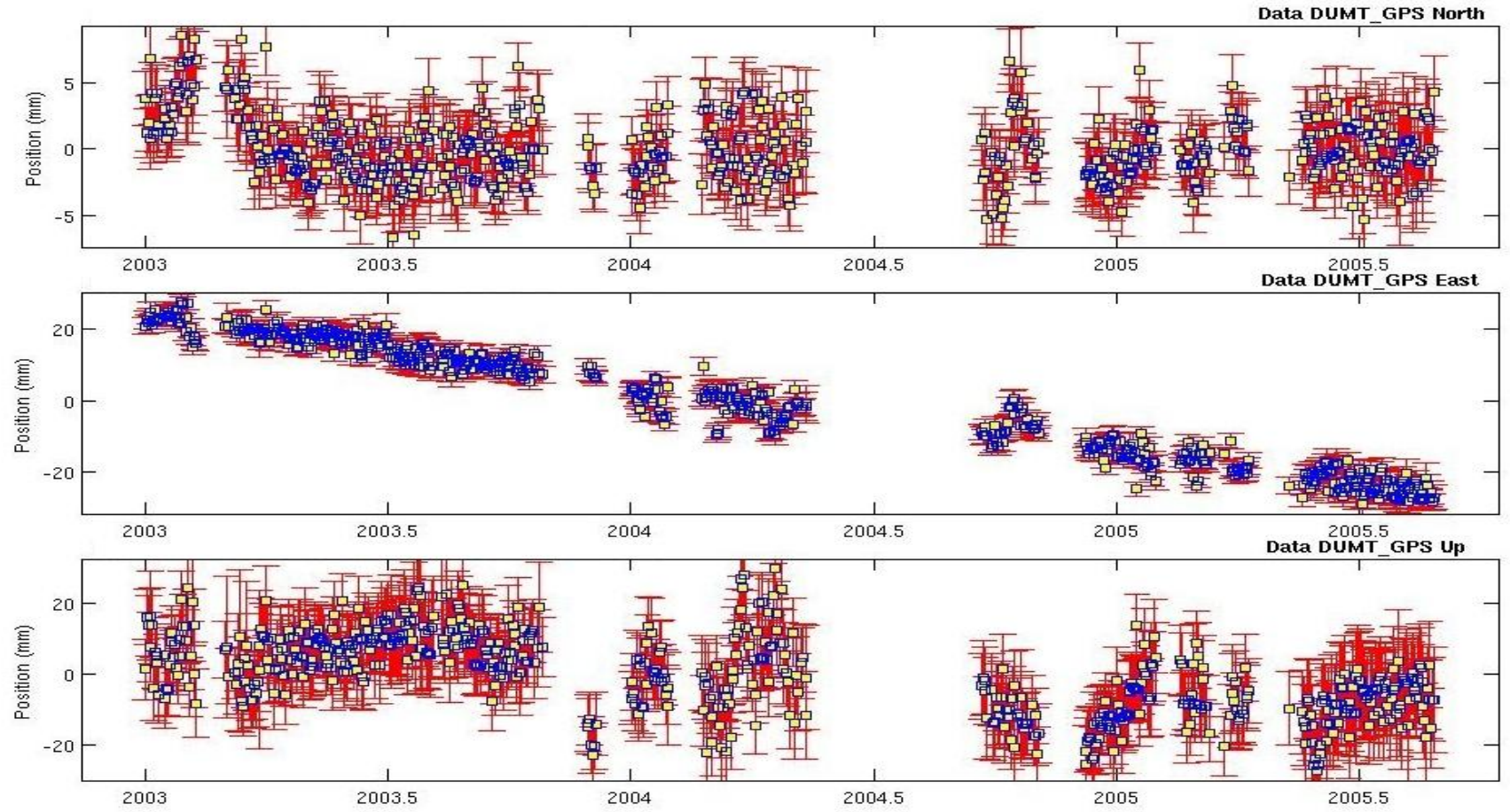
EK A : Koordinat Zaman Serileri



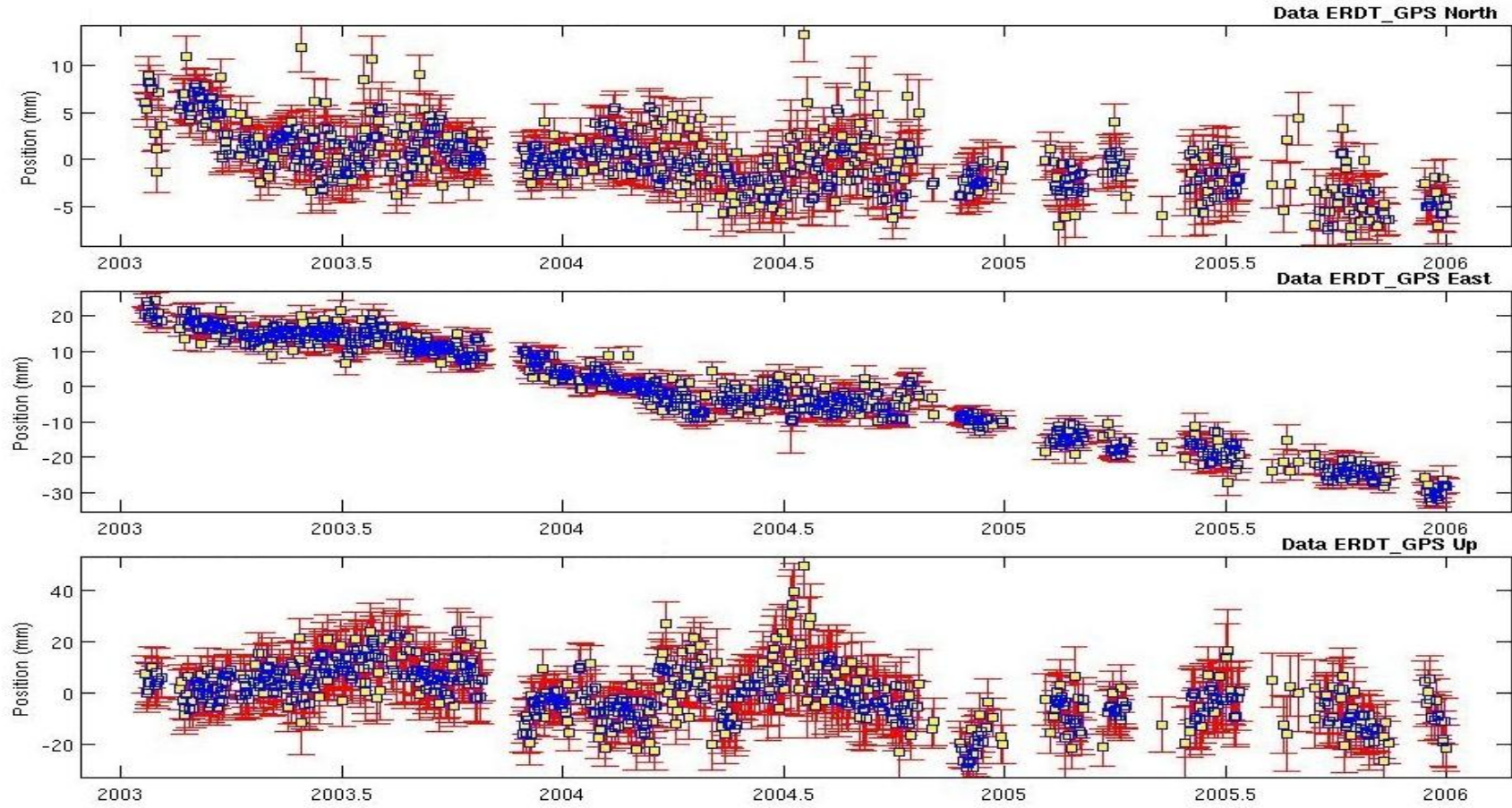
Şekil A.1: MAGNET ağındaki BAD1 sürekli GPS istasyonunun 2003–2005 yıllarındaki 3 yıllık döneme dair koordinat zaman serisi



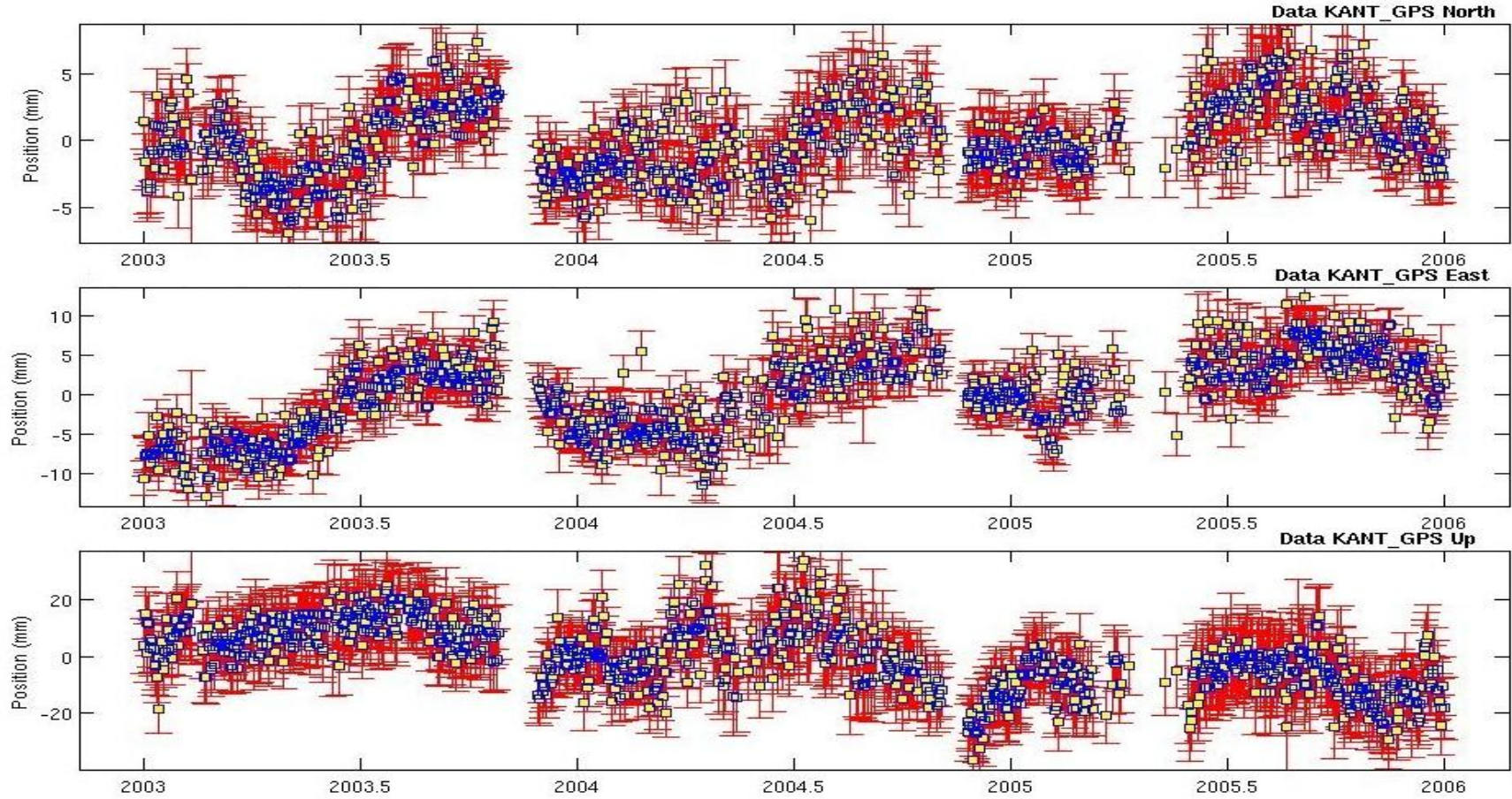
Şekil A.2: MAGNET ağındaki BOZT sürekli GPS istasyonunun 2003–2005 yıllarındaki 3 yıllık döneme dair koordinat zaman serisi



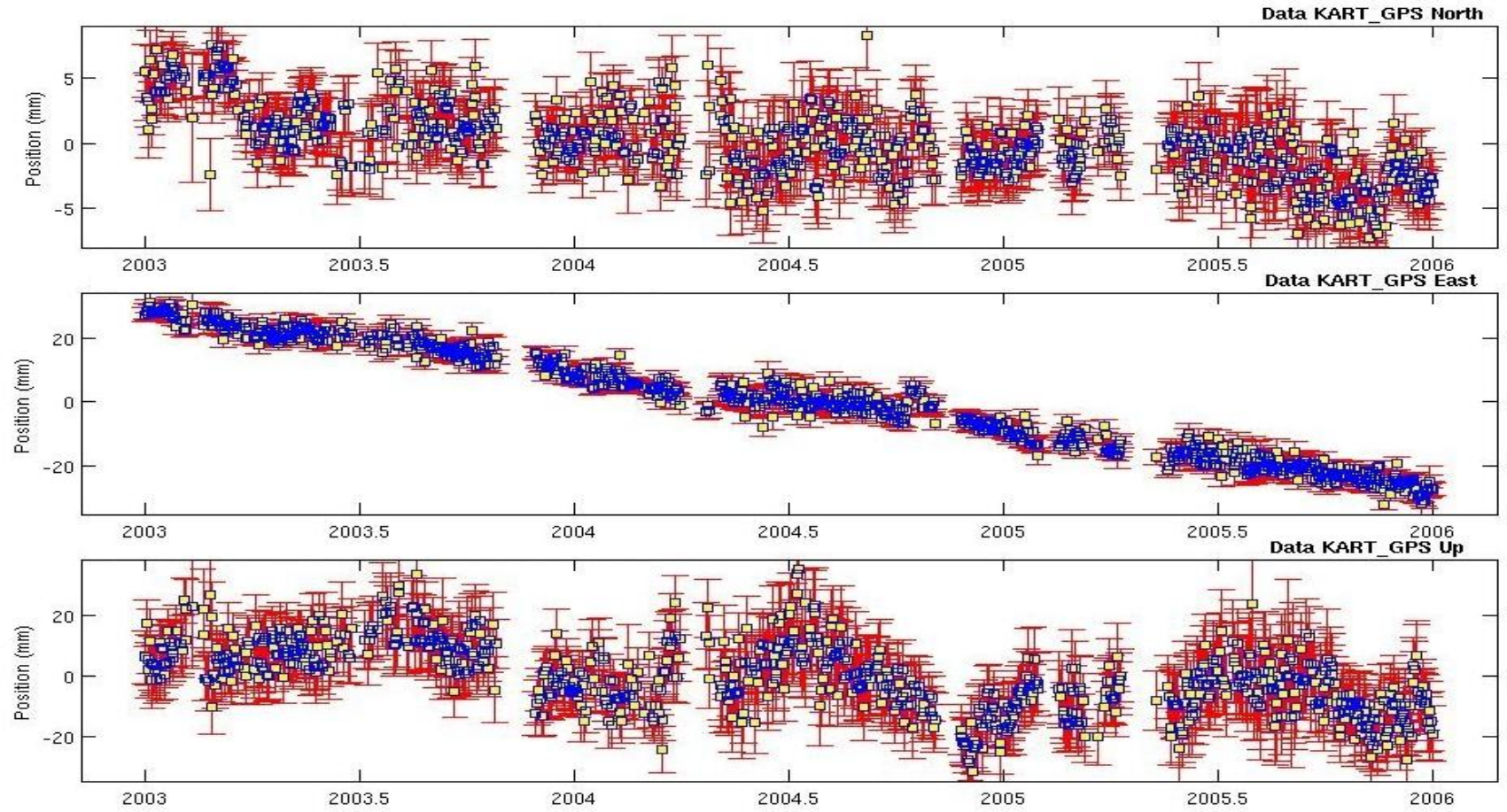
Şekil A.3: MAGNET ağındaki DUMT sürekli GPS istasyonunun 2003–2005 yıllarındaki 3 yıllık döneme dair koordinat zaman serisi



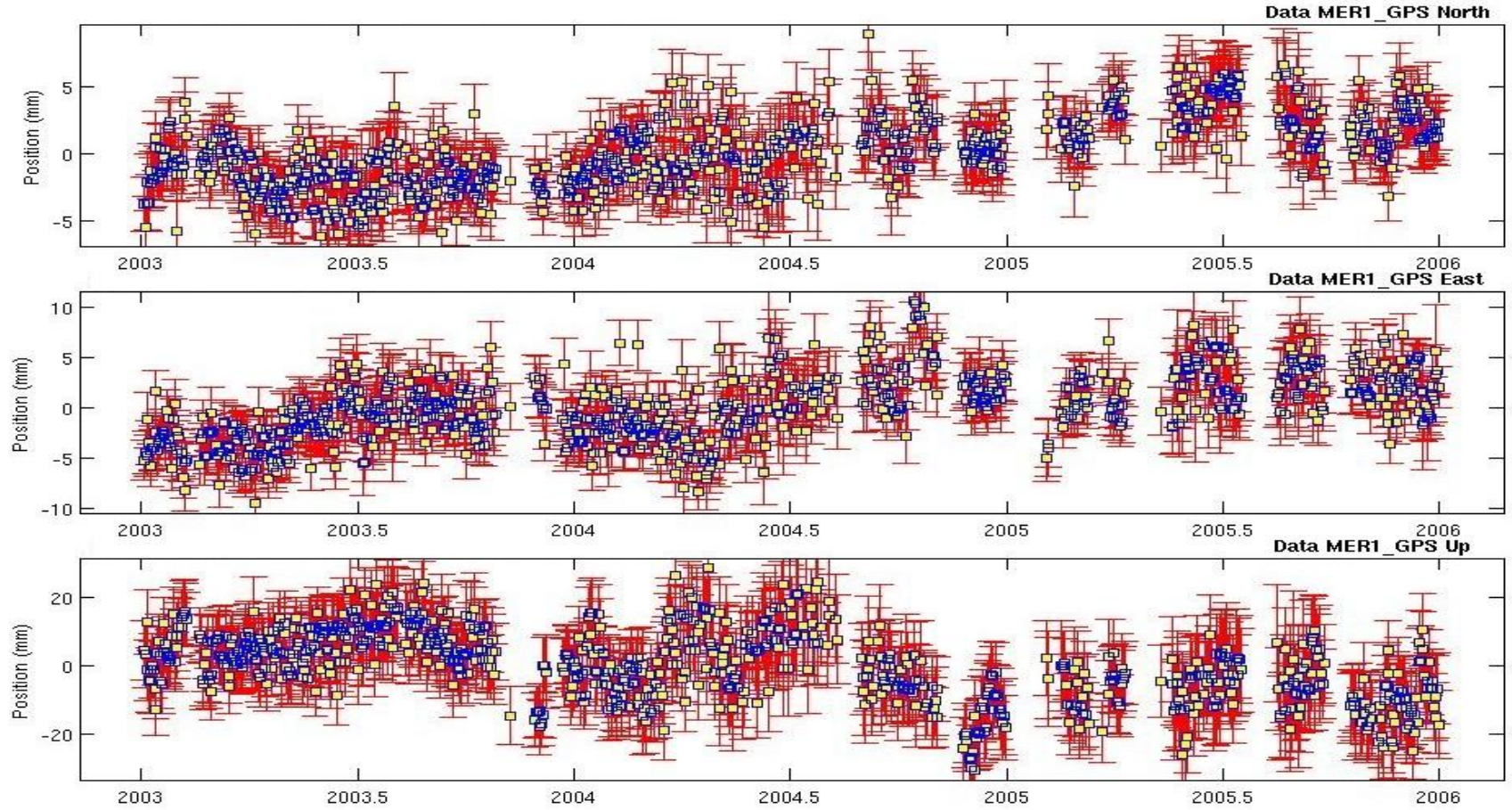
Şekil A.4: MAGNET ağındaki ERDT sürekli GPS istasyonunun 2003–2005 yıllarındaki 3 yıllık döneme dair koordinat zaman serisi



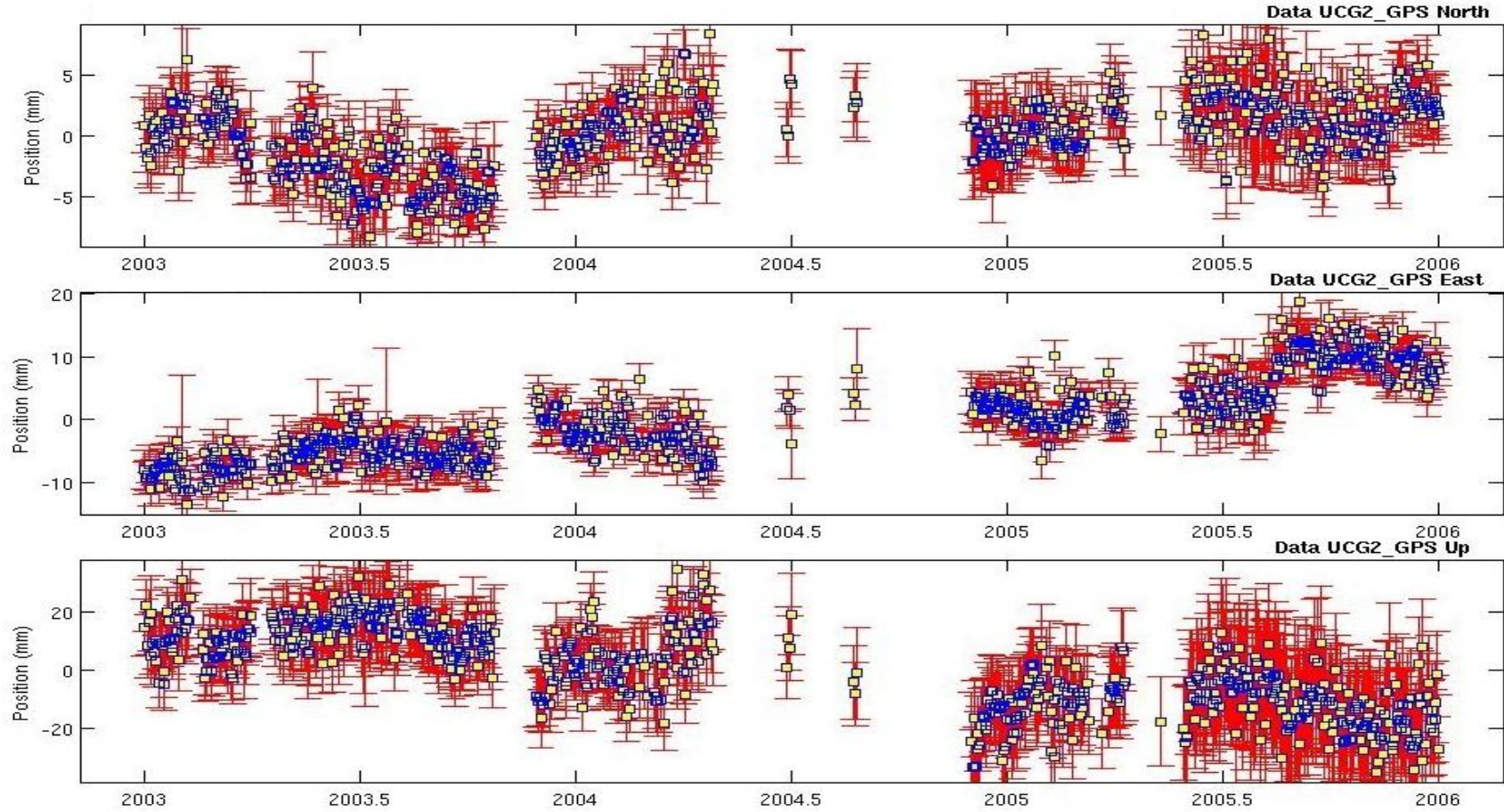
Şekil A.5: MAGNET ağındaki KANT sürekli GPS istasyonunun 2003–2005 yıllarındaki 3 yıllık döneme dair koordinat zaman serisi



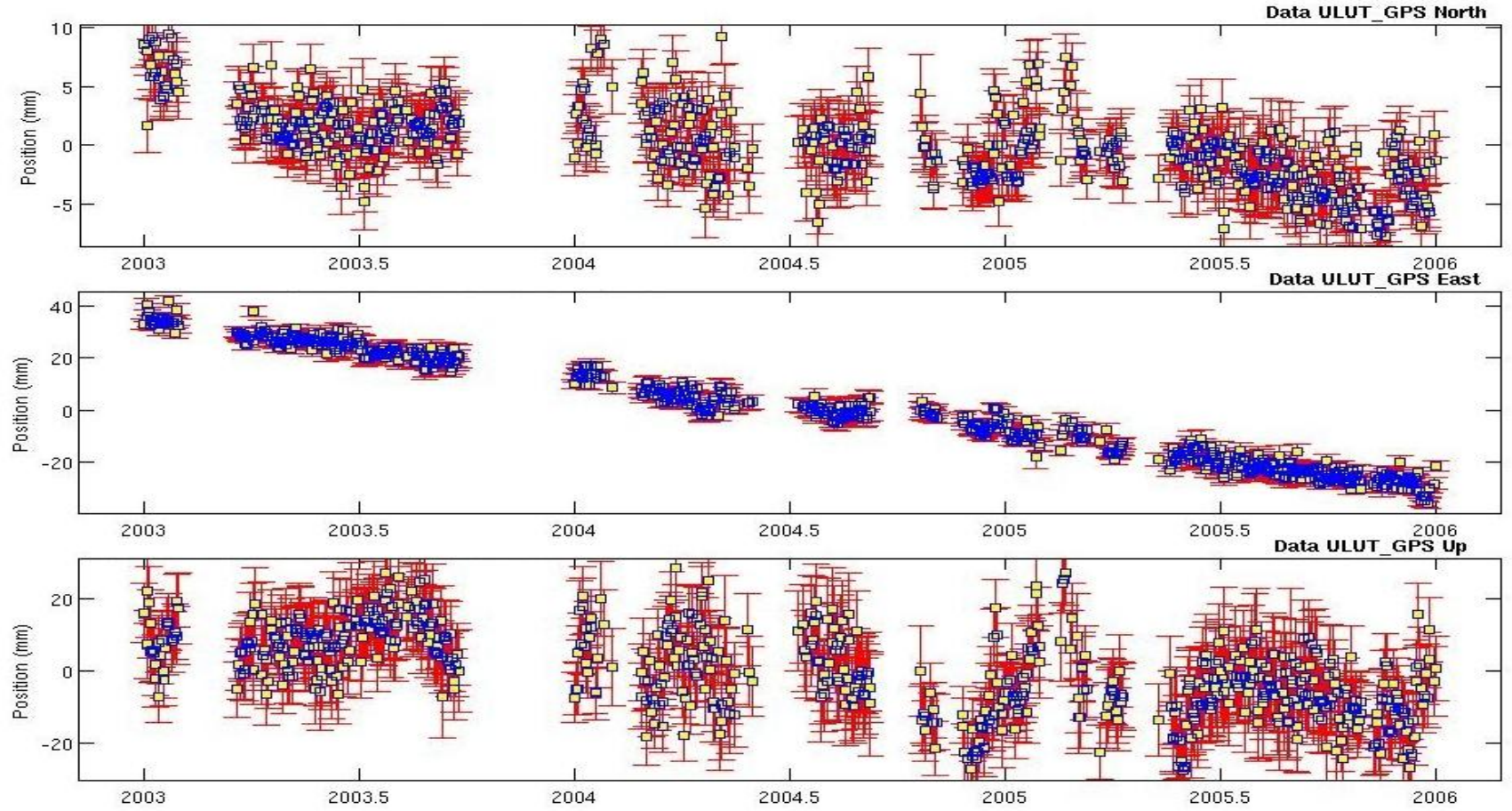
Şekil A.6: MAGNET ağındaki KART sürekli GPS istasyonunun 2003–2005 yıllarındaki 3 yıllık döneme dair koordinat zaman serisi



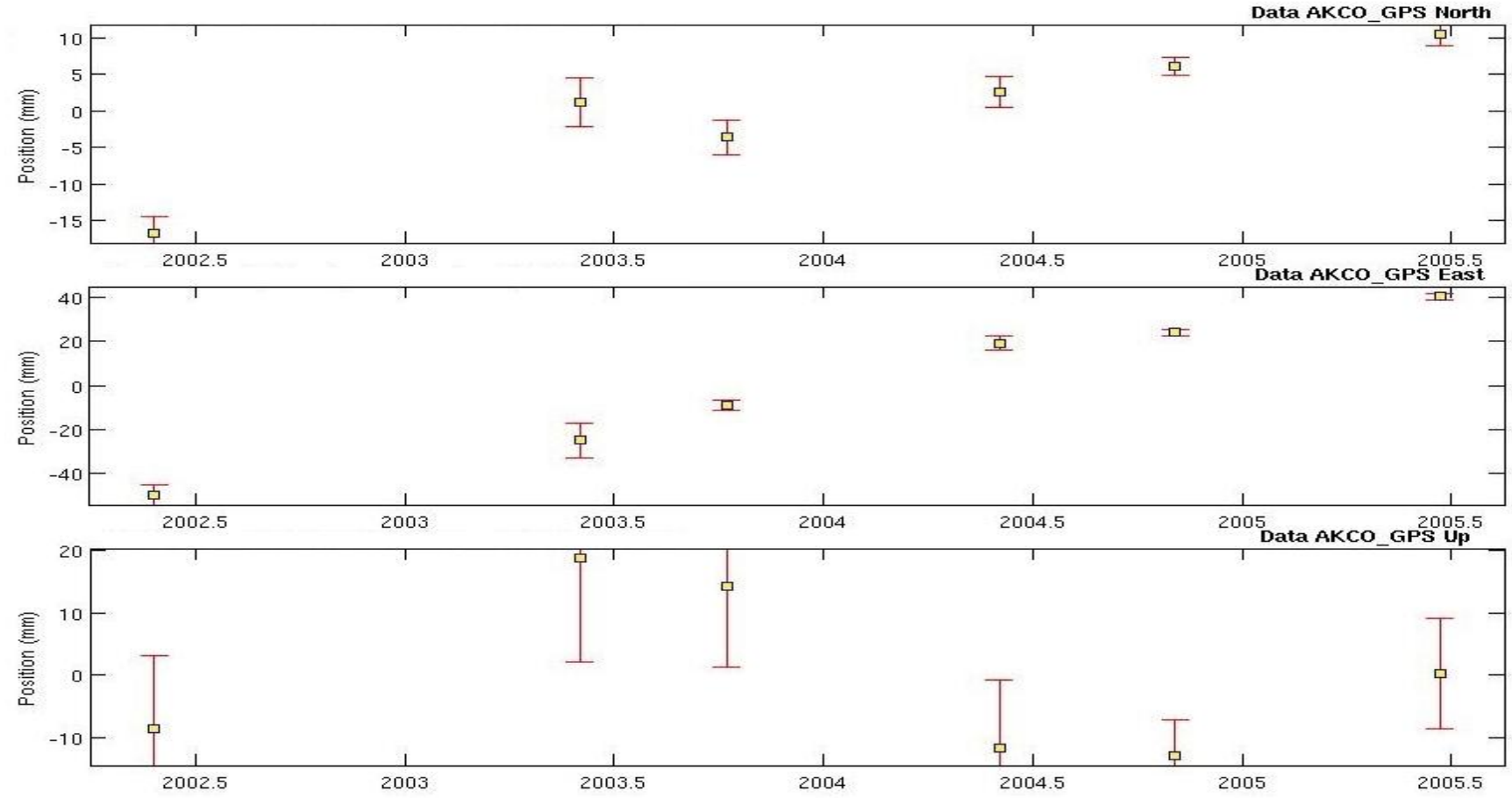
Şekil A.7: MAGNET ağındaki MER1 sürekli GPS istasyonunun 2003–2005 yıllarındaki 3 yıllık döneme dair koordinat zaman serisi



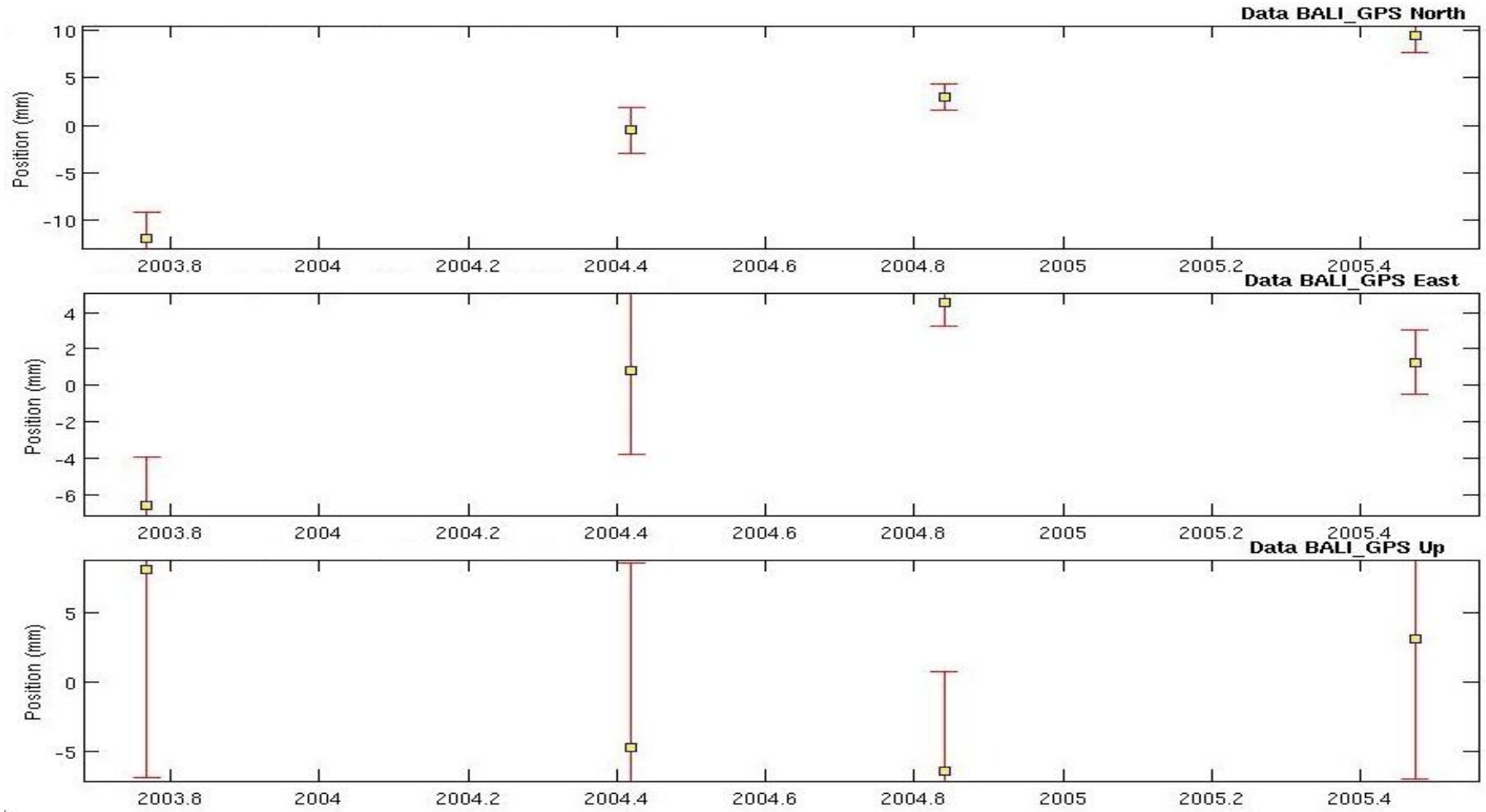
Şekil A.8: MAGNET ağındaki UCG2 sürekli GPS istasyonunun 2003–2005 yıllarındaki 3 yıllık döneme dair koordinat zaman serisi



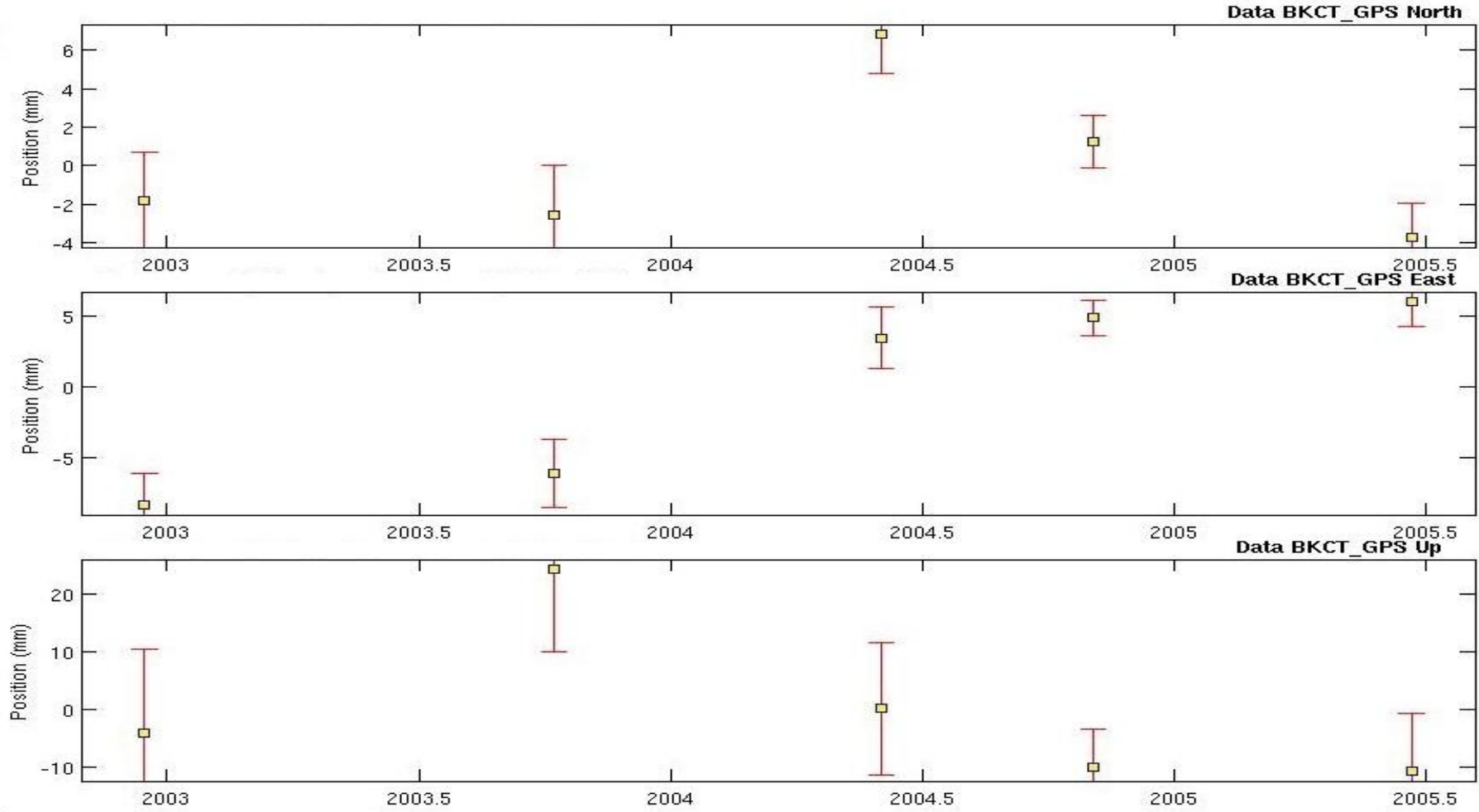
Şekil A.9: MAGNET ağındaki ULUT sürekli GPS istasyonunun 2003–2005 yıllarındaki 3 yıllık döneme dair koordinat zaman serisi



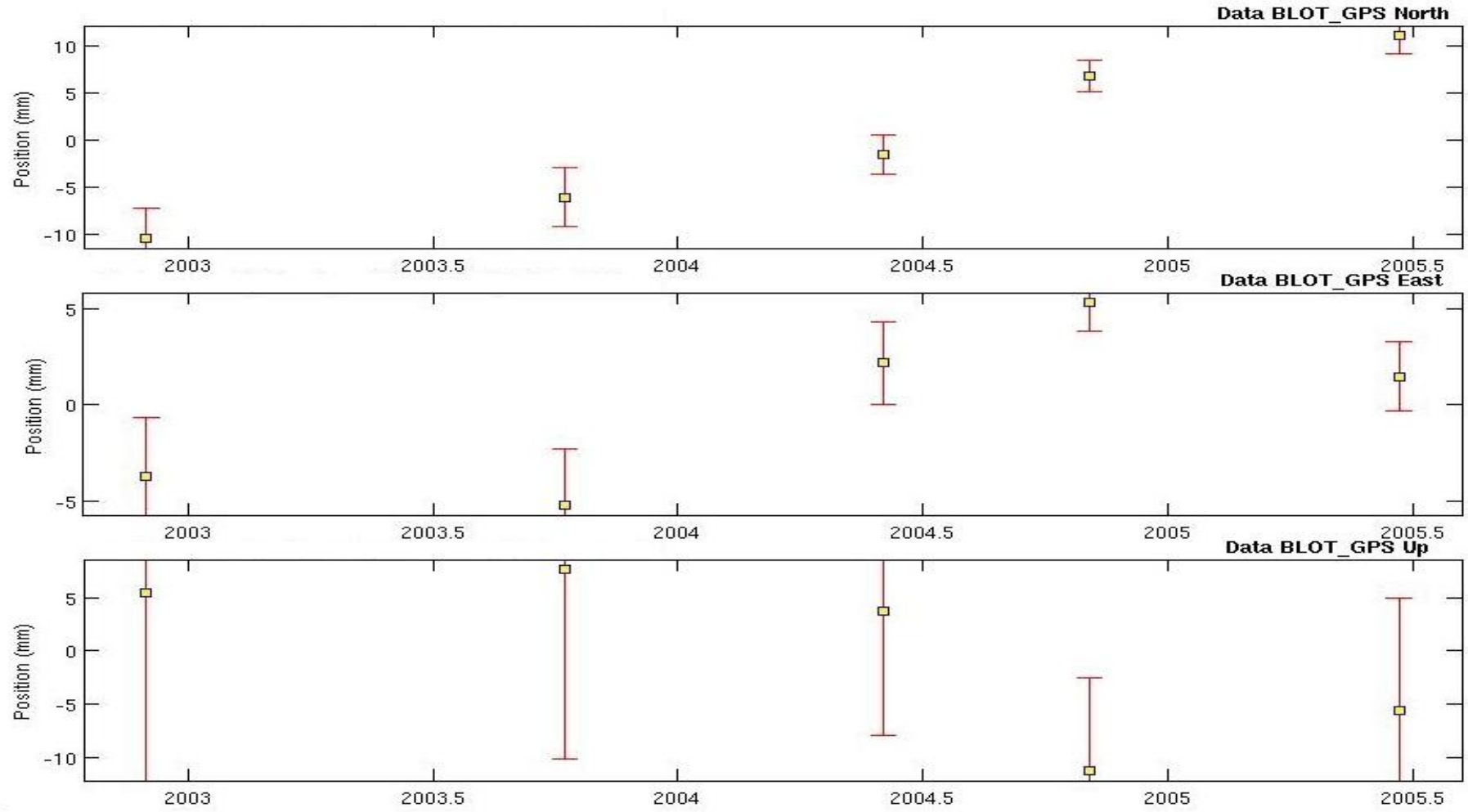
Şekil A.10: AKCO kampanya tipi ölçme noktasının 2002–2005 yıllarındaki 4 yıllık döneme dair koordinat zaman serisi



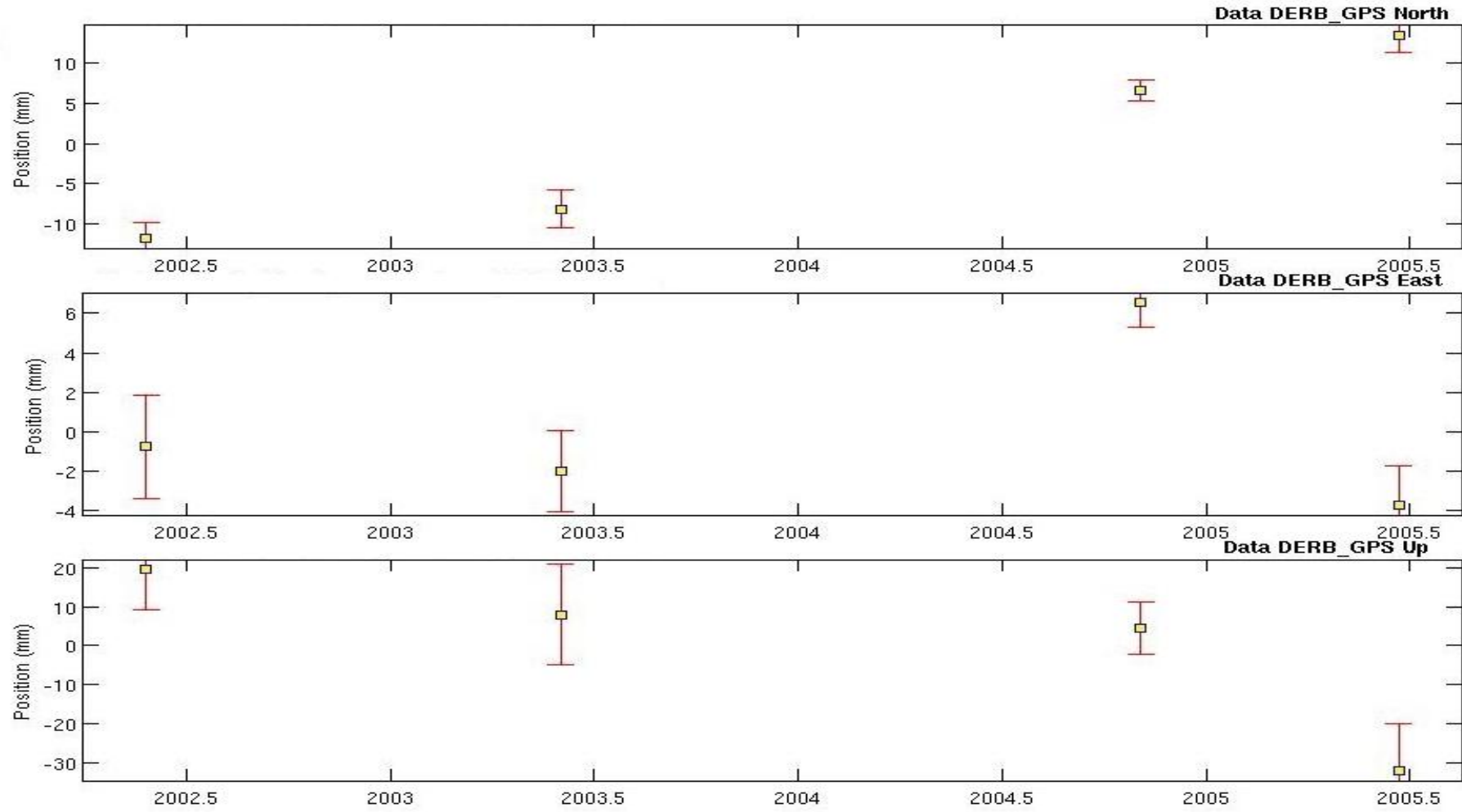
Şekil A.11: BALI kampanya tipi ölçme noktasının 2003–2005 yıllarındaki 3 yıllık döneme dair koordinat zaman serisi



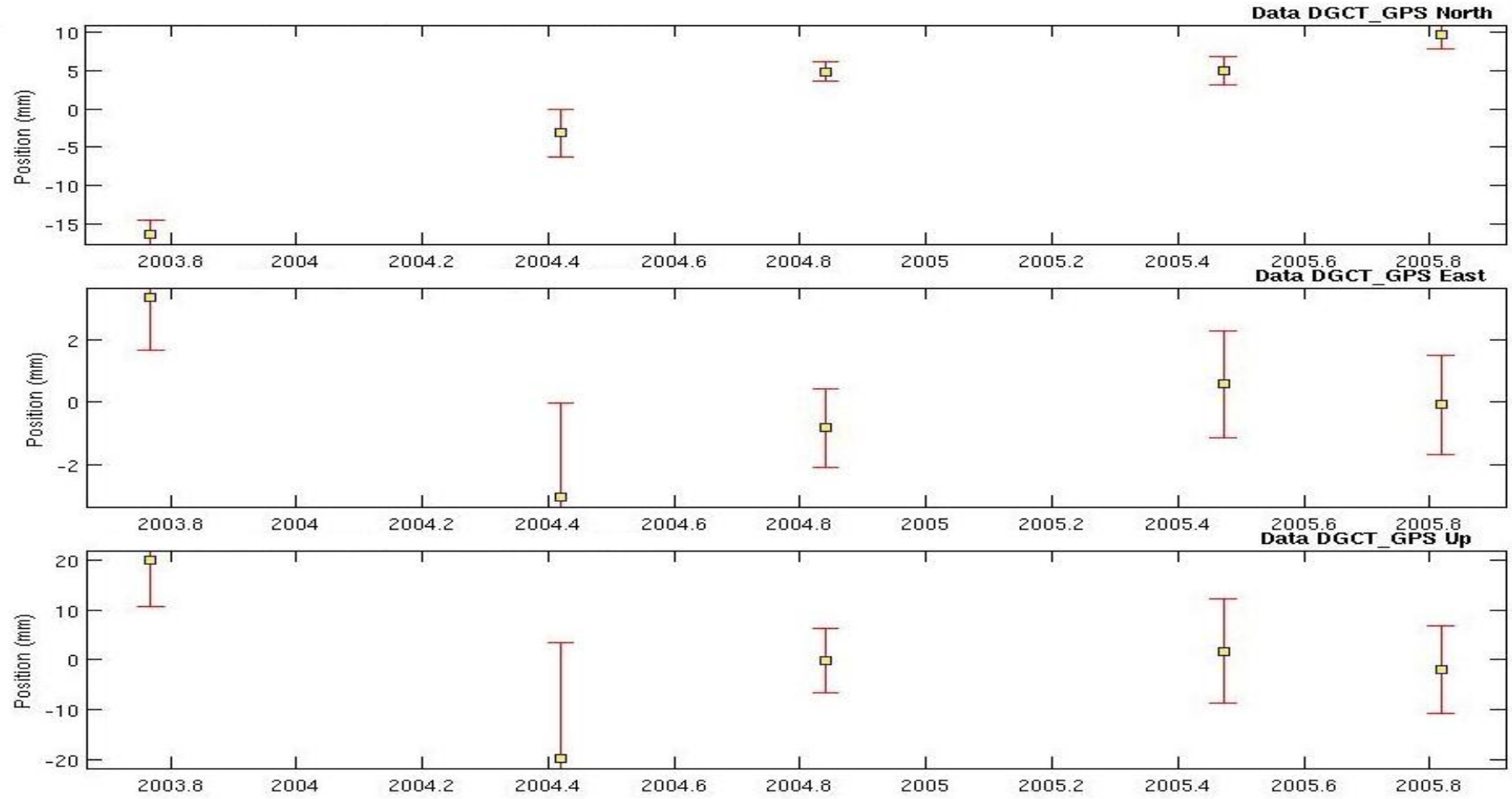
Şekil A.12: BKCT kampanya tipi ölçme noktasının 2002–2005 yıllarındaki 4 yıllık döneme dair koordinat zaman serisi



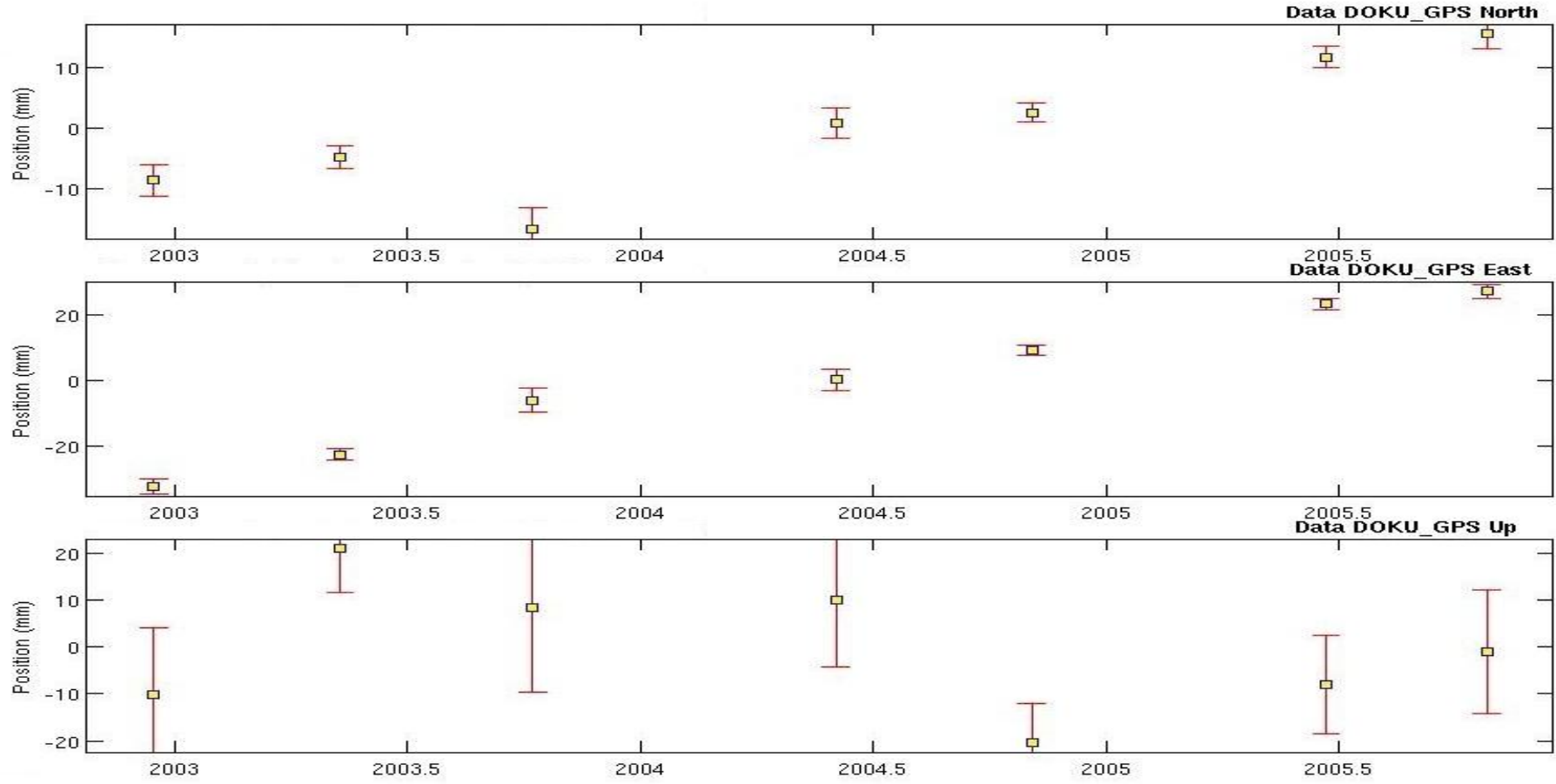
Şekil A.13: BLOT kampanya tipi ölçme noktasının 2002–2005 yıllarındaki 4 yıllık döneme dair koordinat zaman serisi



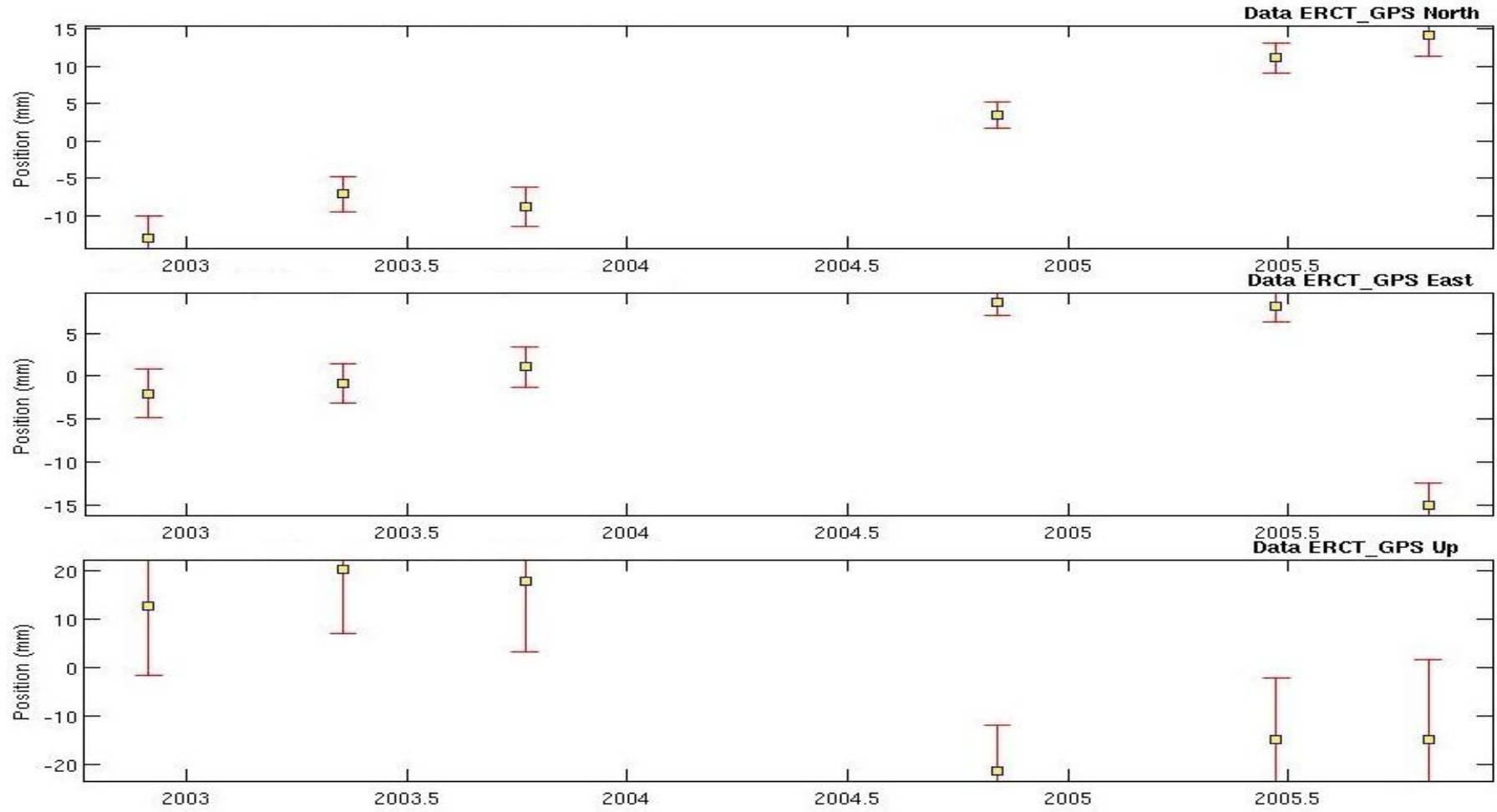
Şekil A.14: DERB kampanya tipi ölçme noktasının 2002–2005 yıllarındaki 4 yıllık döneme dair koordinat zaman serisi



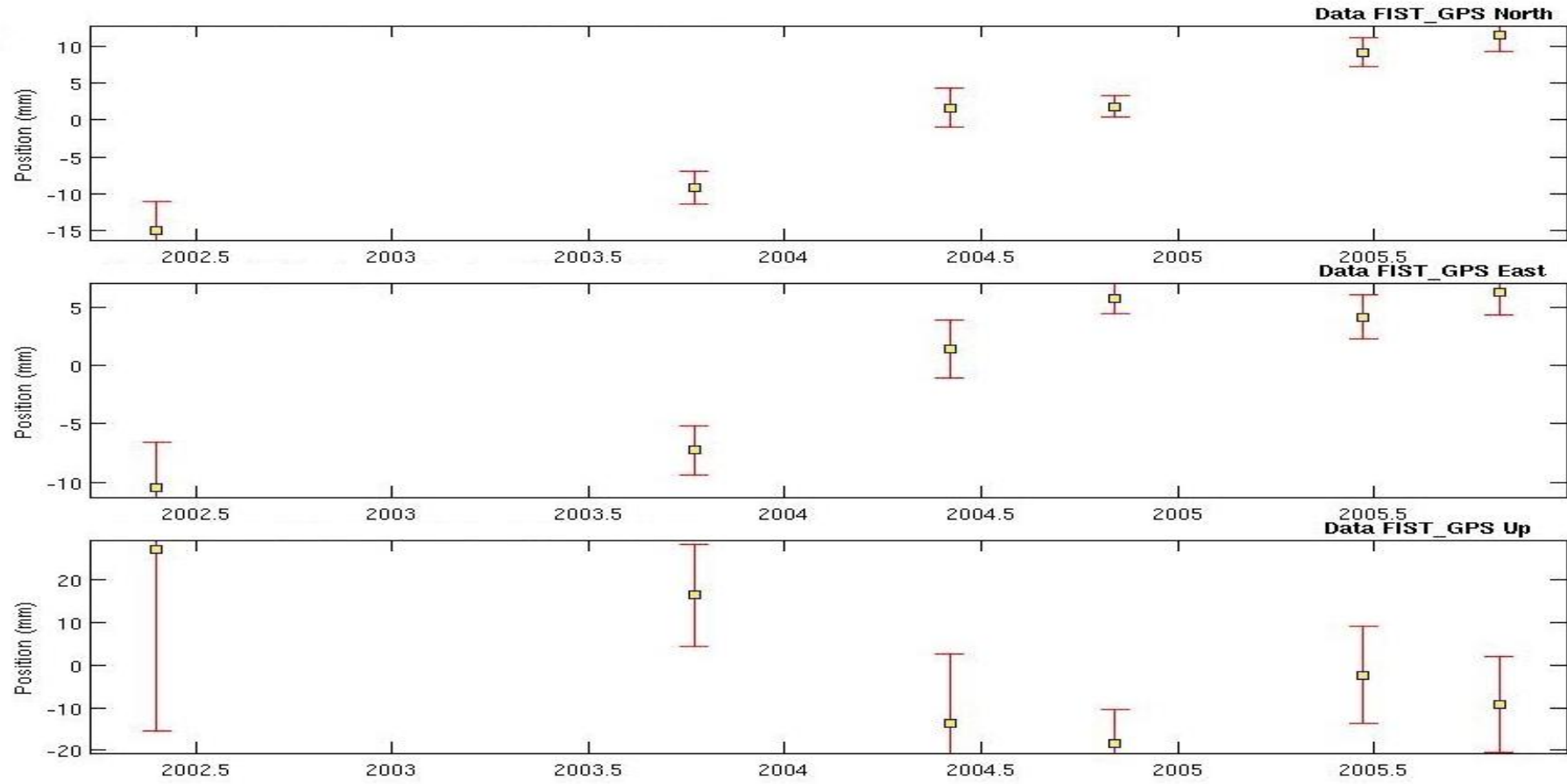
Şekil A.15: DGCT kampanya tipi ölçme noktasının 2003–2005 yıllarındaki 3 yıllık döneme dair koordinat zaman serisi



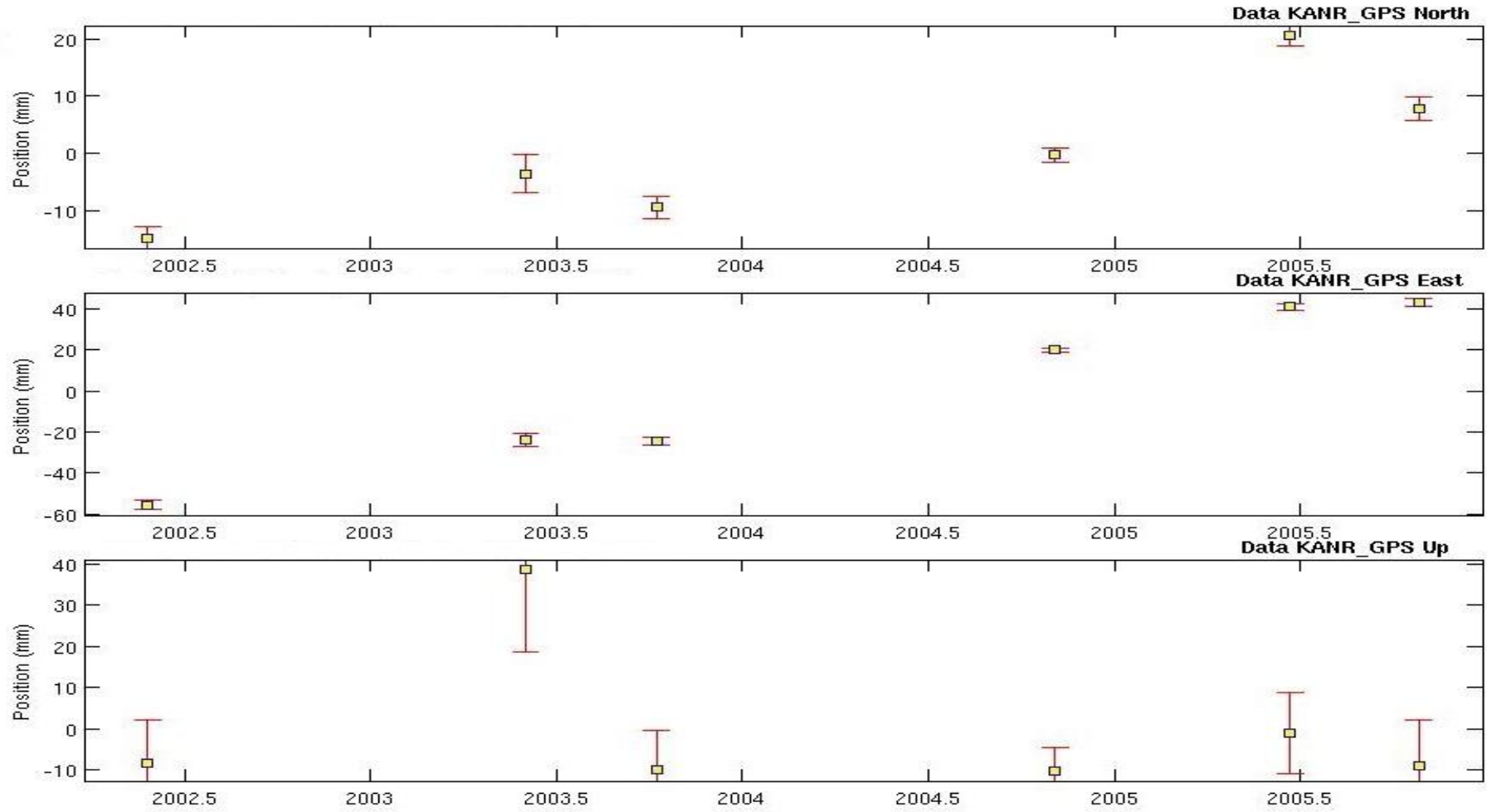
Şekil A.16: DOKU kampanya tipi ölçme noktasının 2002–2005 yıllarındaki 4 yıllık döneme dair koordinat zaman serisi



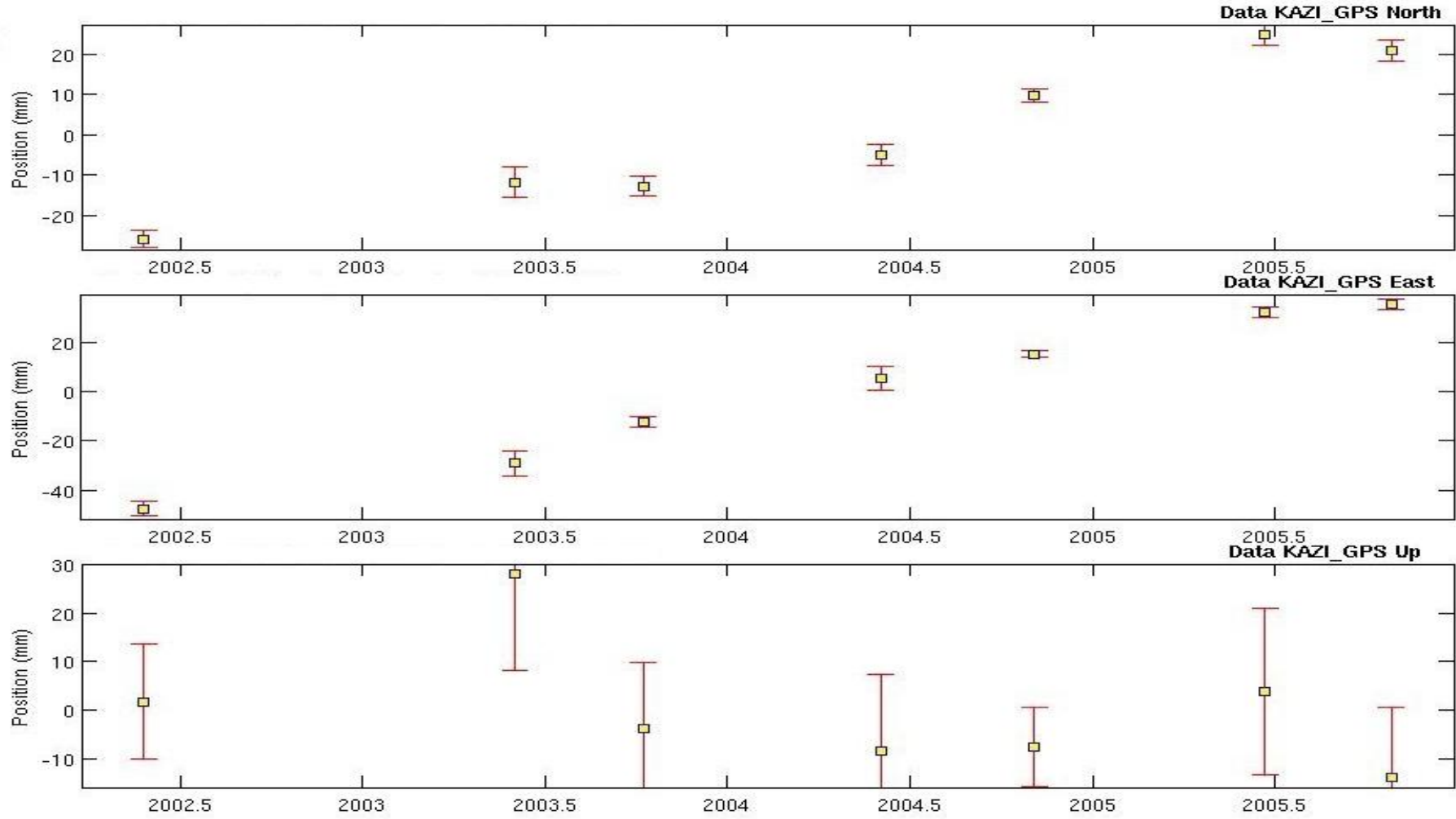
Şekil A.17: ERCT kampanya tipi ölçme noktasının 2002–2005 yıllarındaki 4 yıllık döneme dair koordinat zaman serisi



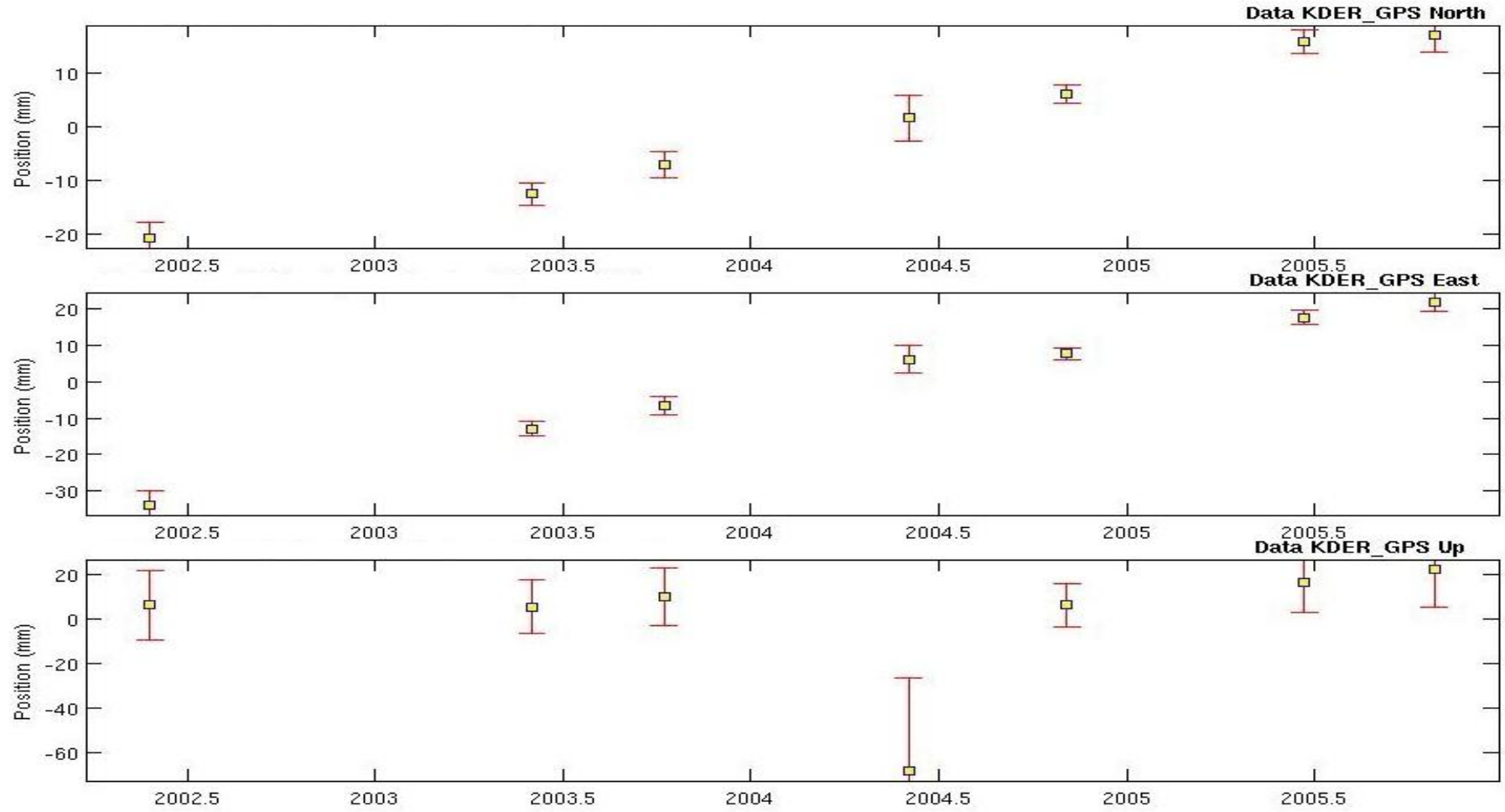
Şekil A.18: FIST kampanya tipi ölçme noktasının 2002–2005 yıllarındaki 4 yıllık döneme dair koordinat zaman serisi



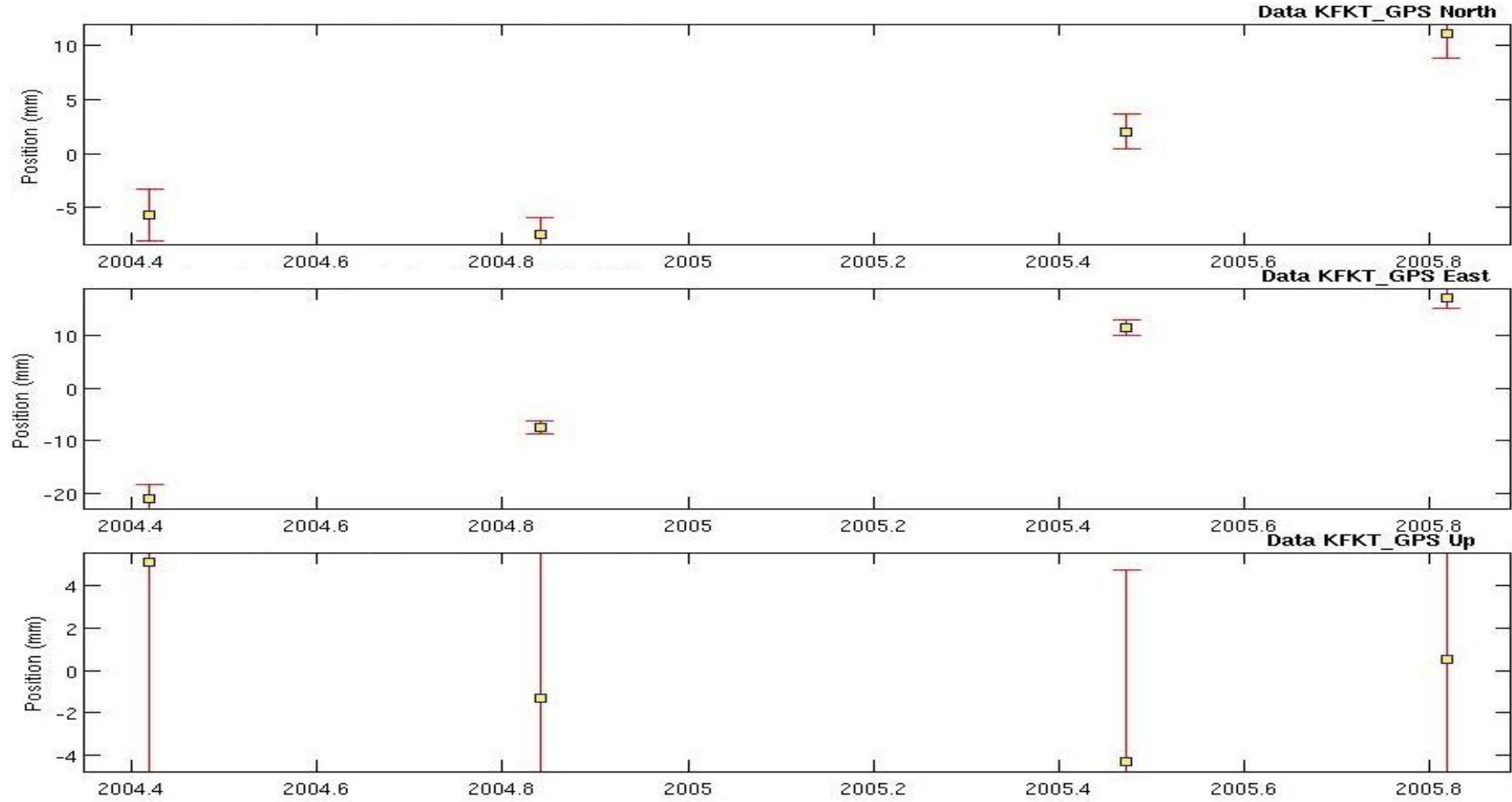
Şekil A.19: KANR kampanya tipi ölçme noktasının 2002–2005 yıllarındaki 4 yıllık döneme dair koordinat zaman serisi



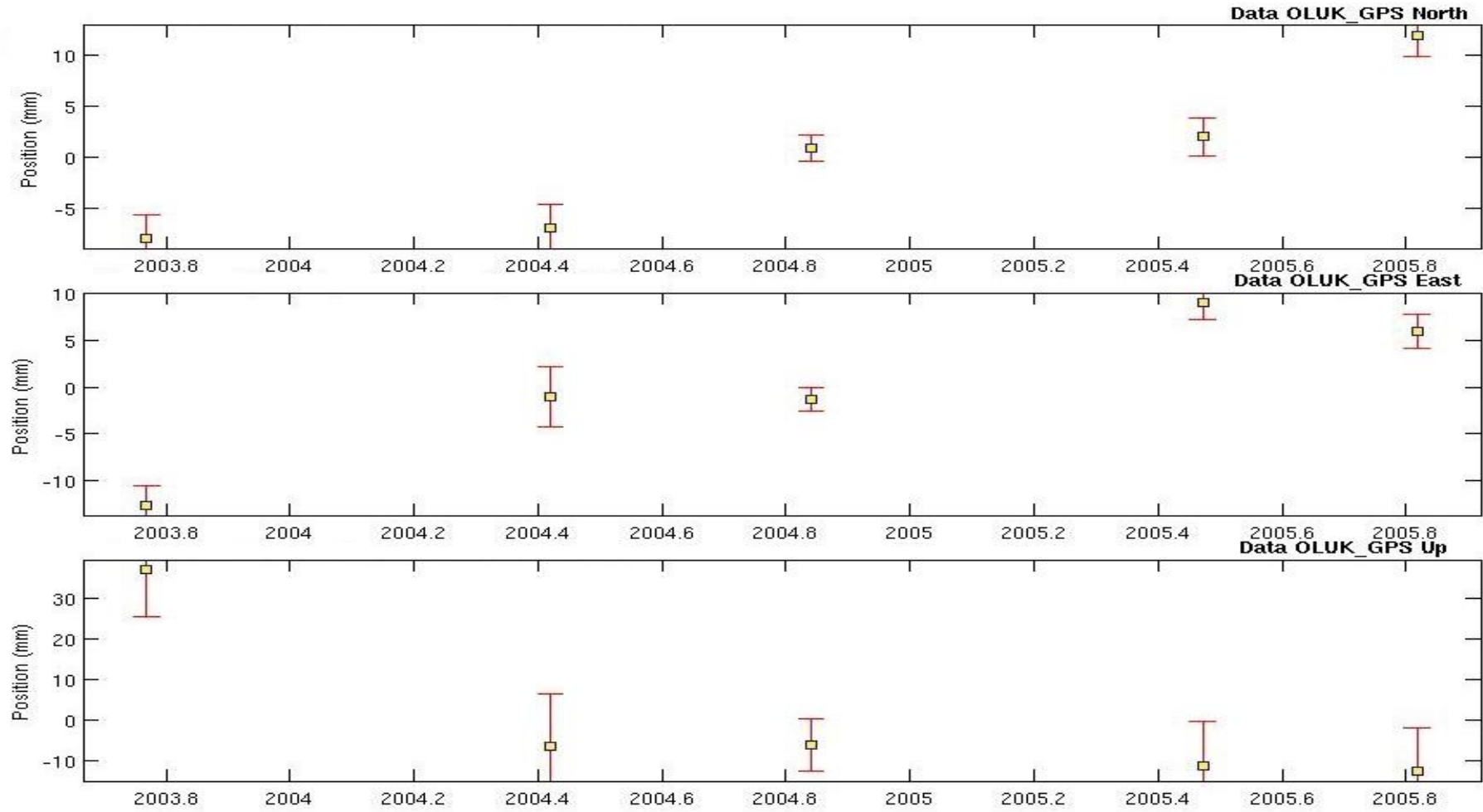
Şekil A.20: KAZI kampanya tipi ölçme noktasının 2002–2005 yıllarındaki 4 yıllık döneme dair koordinat zaman serisi



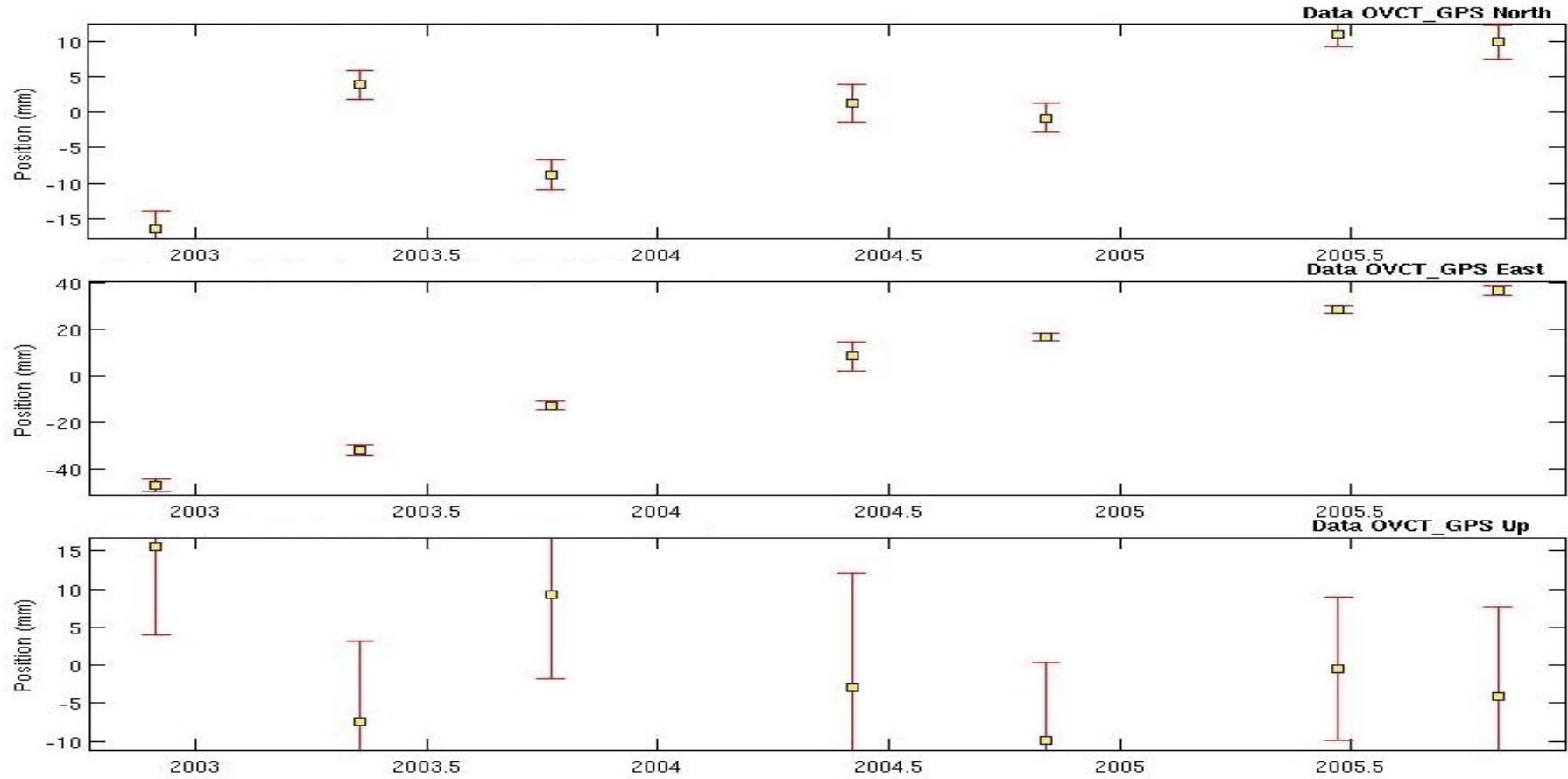
Şekil A.21: KDER kampanya tipi ölçme noktasının 2002–2005 yıllarındaki 4 yıllık döneme dair koordinat zaman serisi



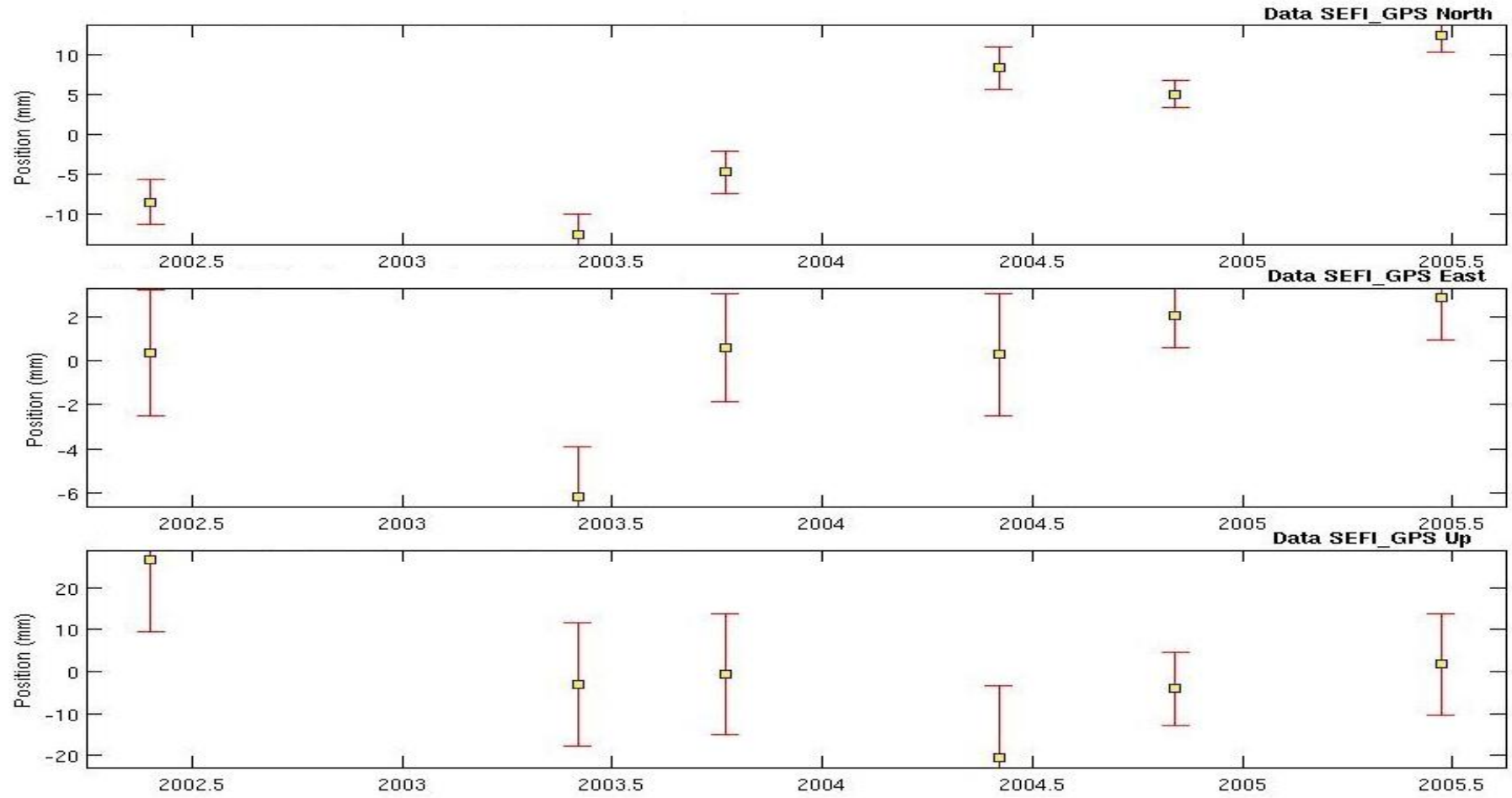
Şekil A.22: KFKT kampanya tipi ölçme noktasının 2004–2005 yıllarındaki 2 yıllık döneme dair koordinat zaman serisi



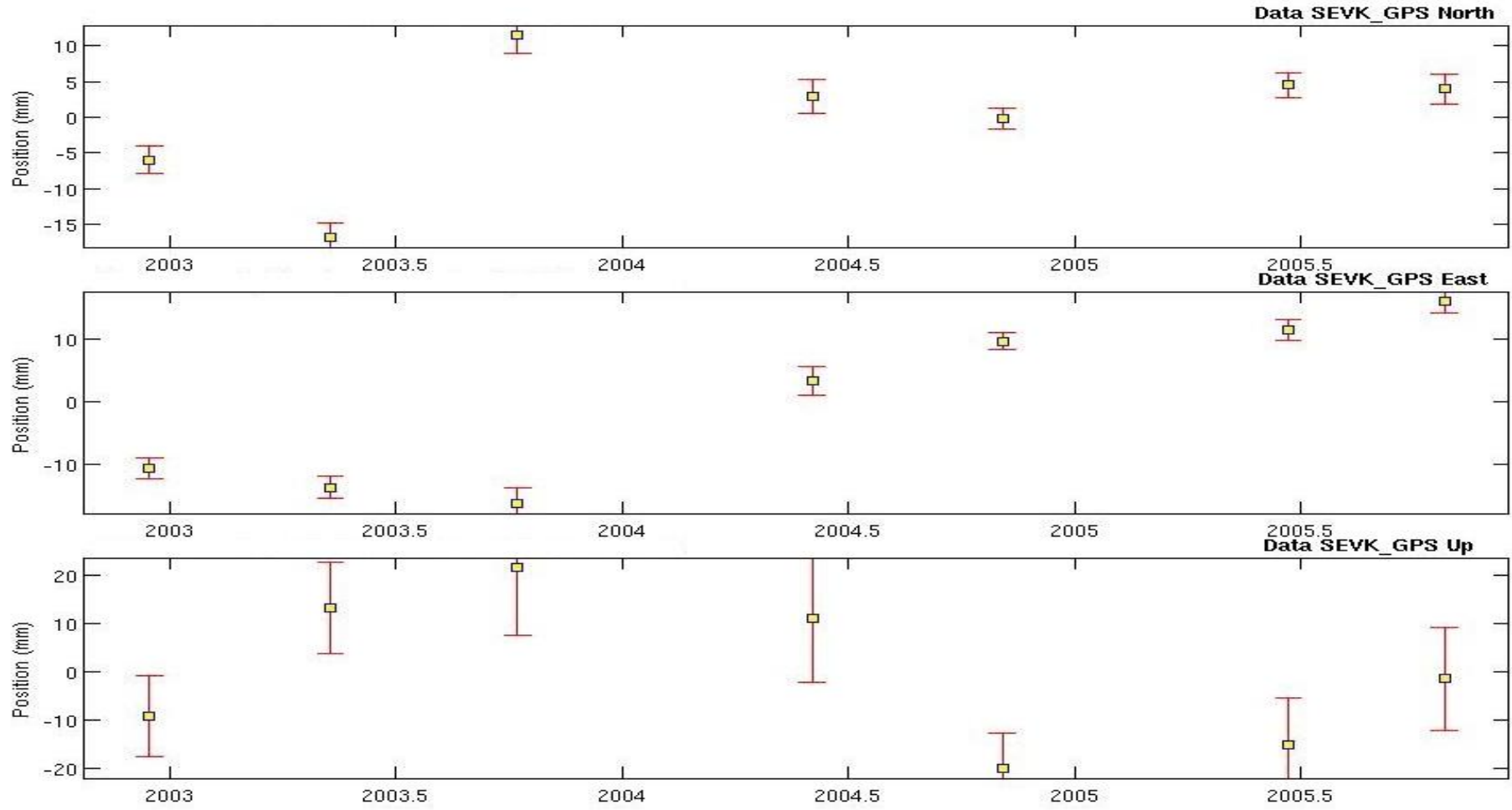
Şekil A.23: OLUK kampanya tipi ölçme noktasının 2003–2005 yıllarındaki 3 yıllık döneme dair koordinat zaman serisi



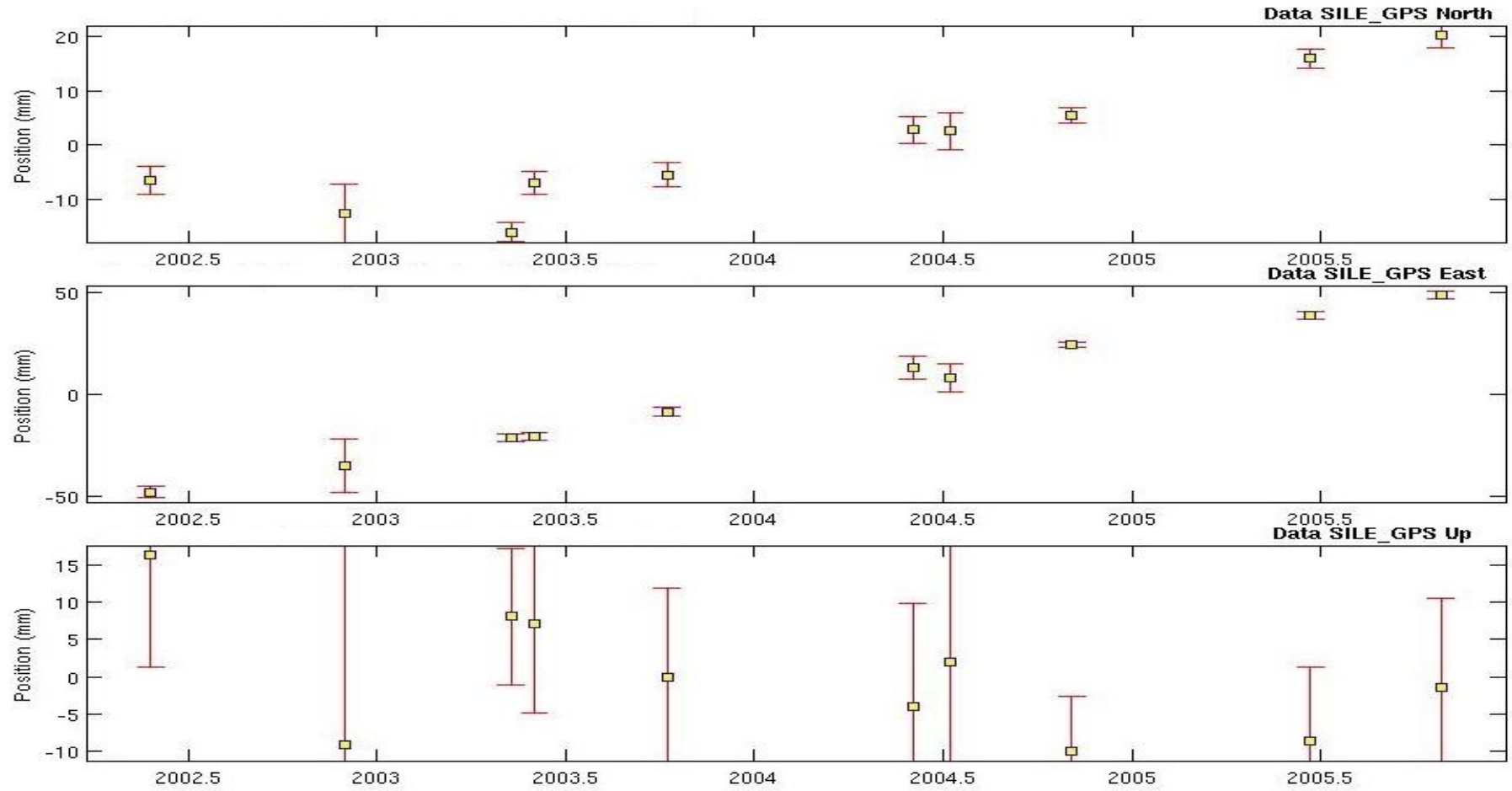
Şekil A.24: OVCT kampanya tipi ölçme noktasının 2002–2005 yıllarındaki 4 yıllık döneme dair koordinat zaman serisi



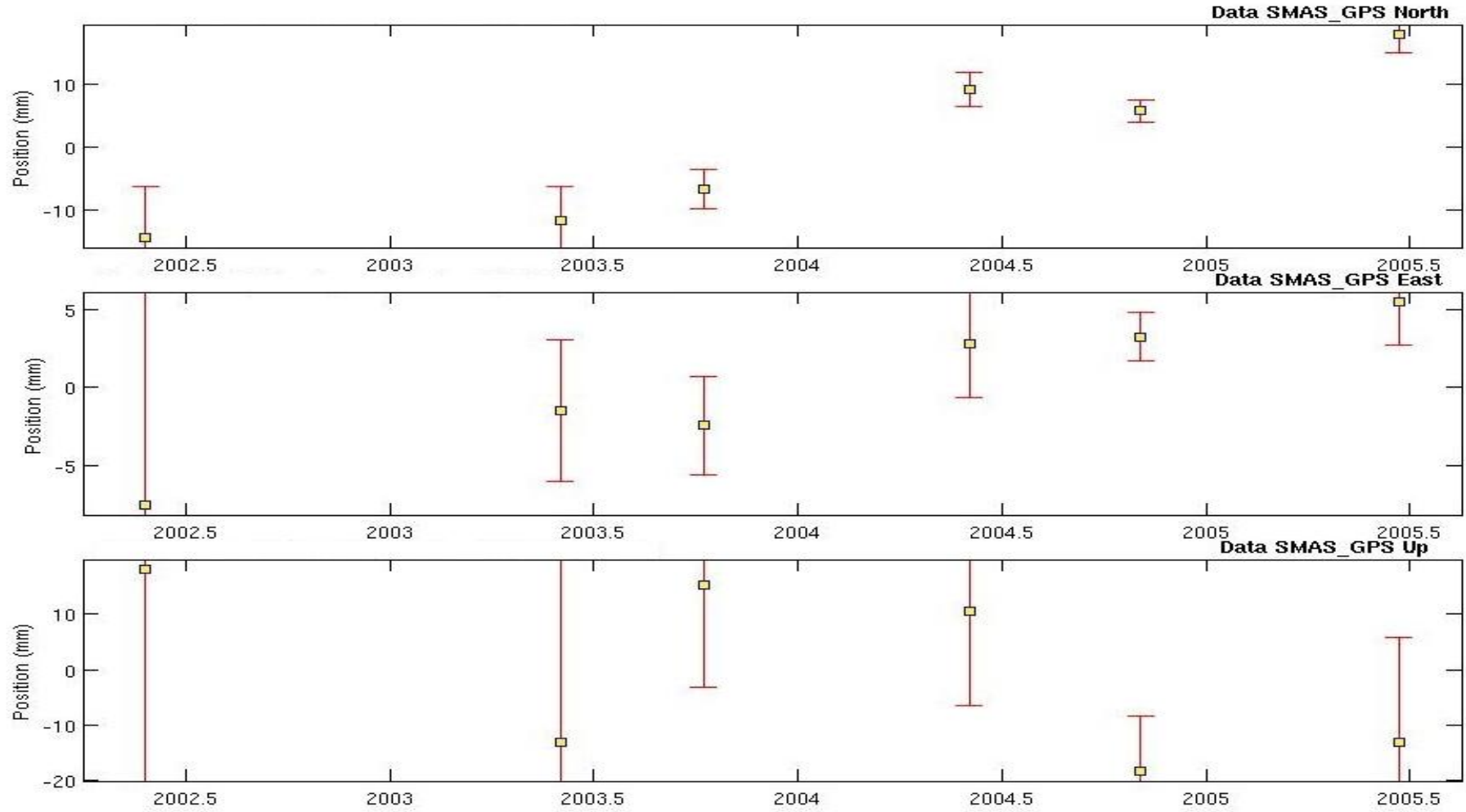
Şekil A.25: SEFI kampanya tipi ölçme noktasının 2002–2005 yıllarındaki 4 yıllık döneme dair koordinat zaman serisi



Şekil A.26: SEVK kampanya tipi ölçme noktasının 2002–2005 yıllarındaki 4 yıllık döneme dair koordinat zaman serisi



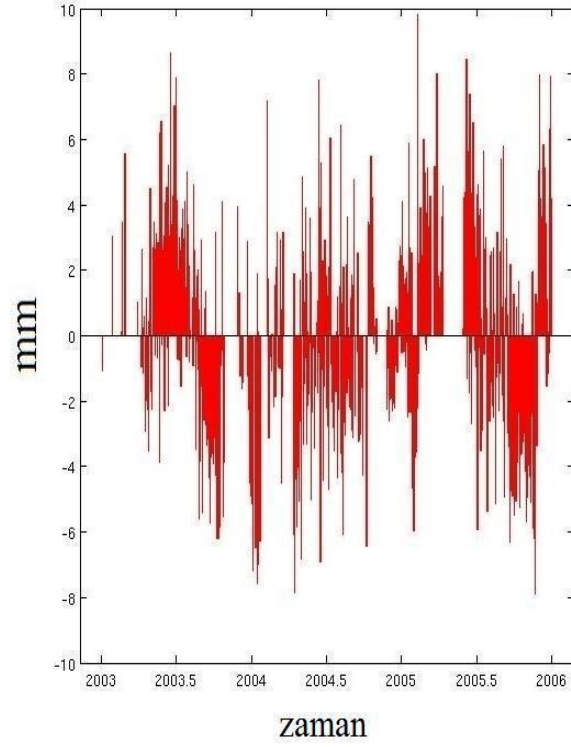
Şekil A.27: SILE kampanya tipi ölçme noktasının 2002–2005 yıllarındaki 4 yıllık döneme dair koordinat zaman serisi



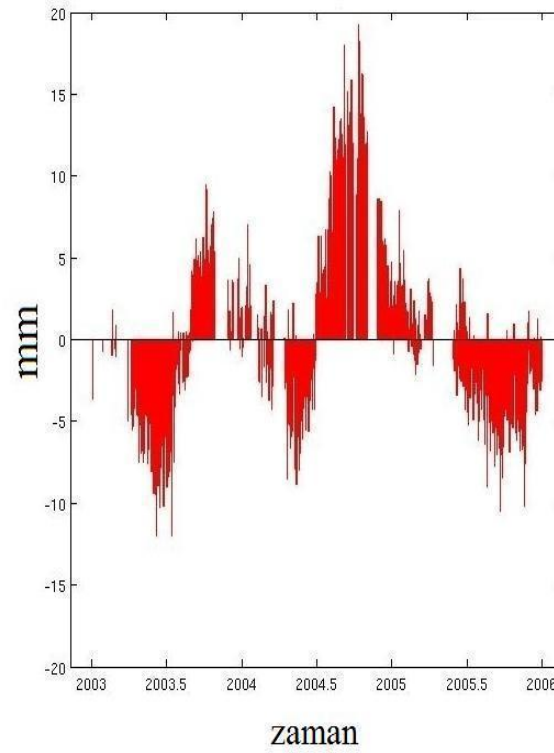
Şekil A.28: SMAS kampanya tipi ölçme noktasının 2002–2005 yıllarındaki 4 yıllık döneme dair koordinat zaman serisi

EK B : Hız Modeline Bağlı Sinyal Artıkları

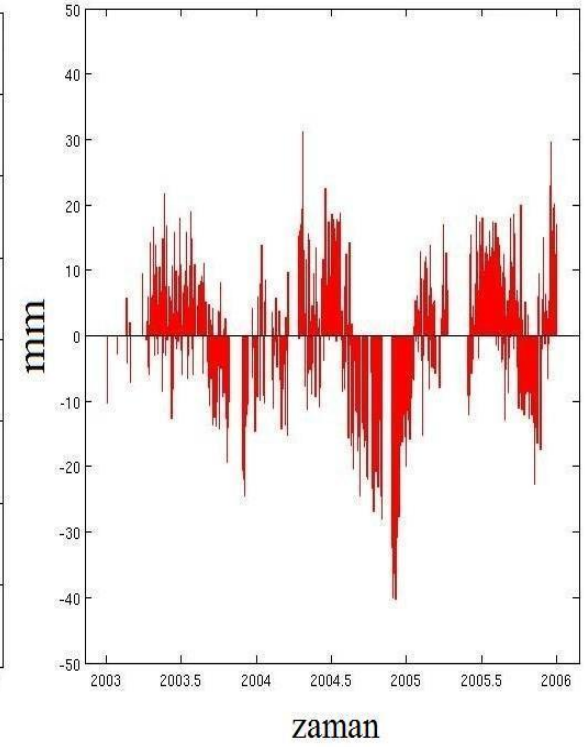
AVCT



DOĞU BİLEŞEN



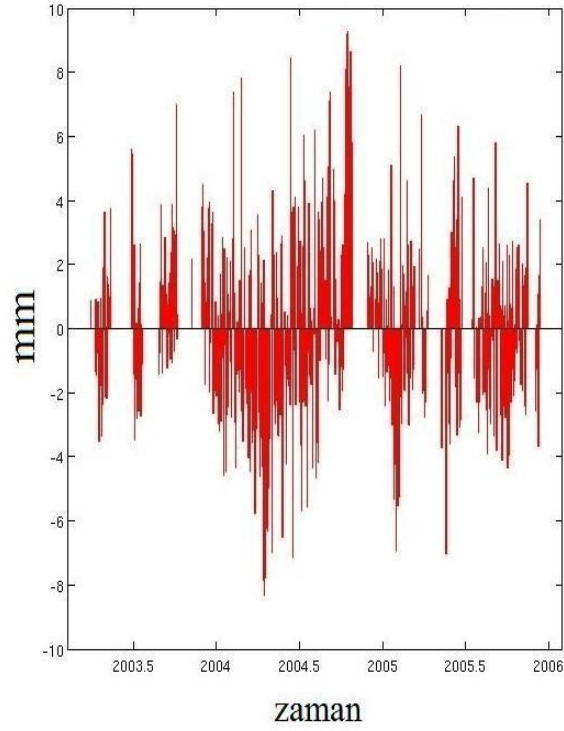
KUZEY BİLEŞEN



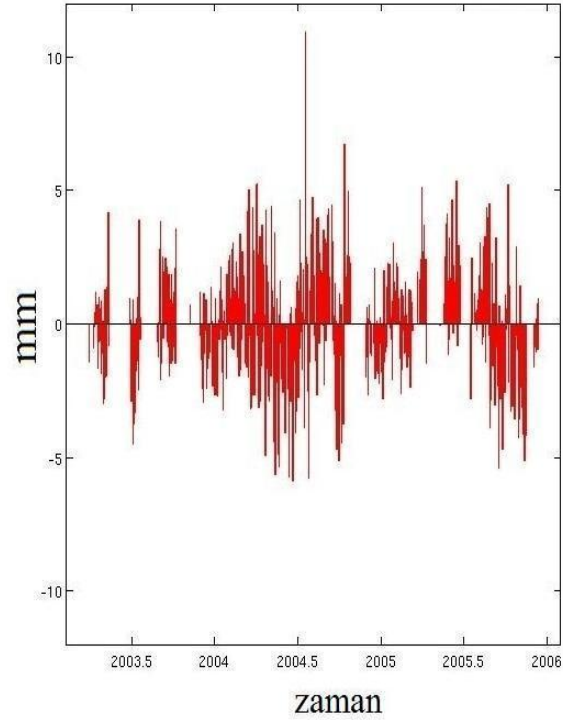
YÜKSEKLİK BİLEŞENİ

Şekil B.1: MAGNET ağındaki AVCT sürekli GPS istasyonunun 2003–2005 yıllarındaki 3 yıllık döneme dair doğrusal hız modeline bağlı sinyal artıkları

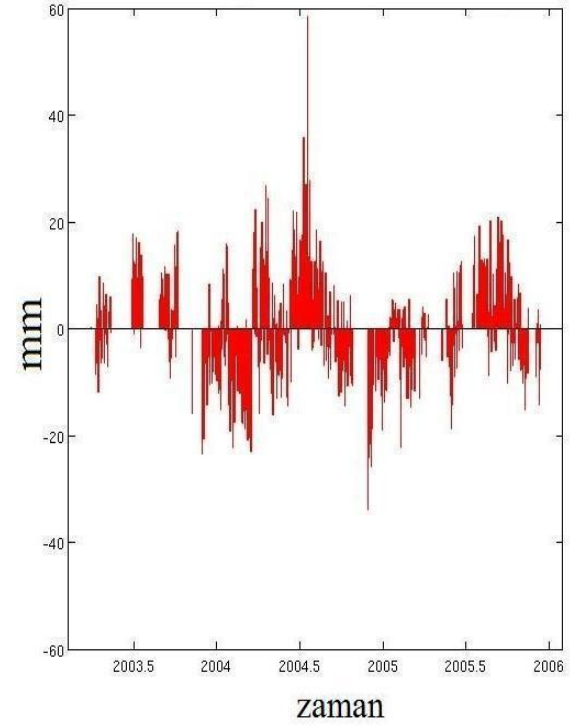
BAD1



DOĞU BİLEŞEN



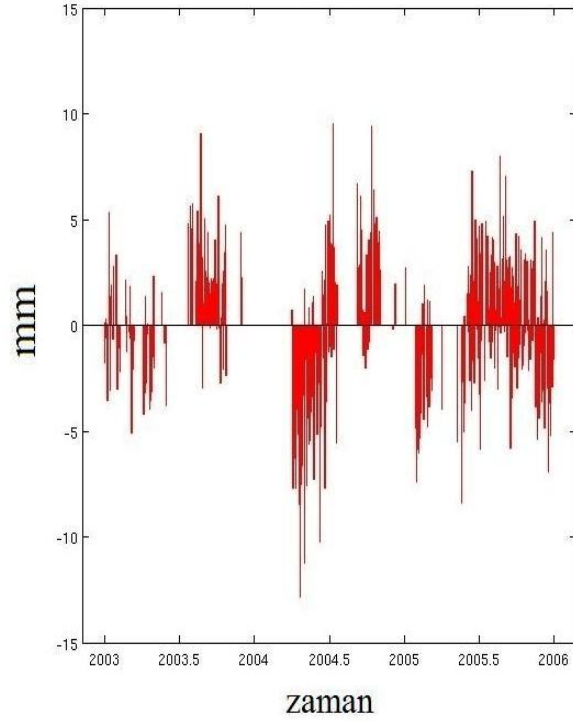
KUZEY BİLEŞEN



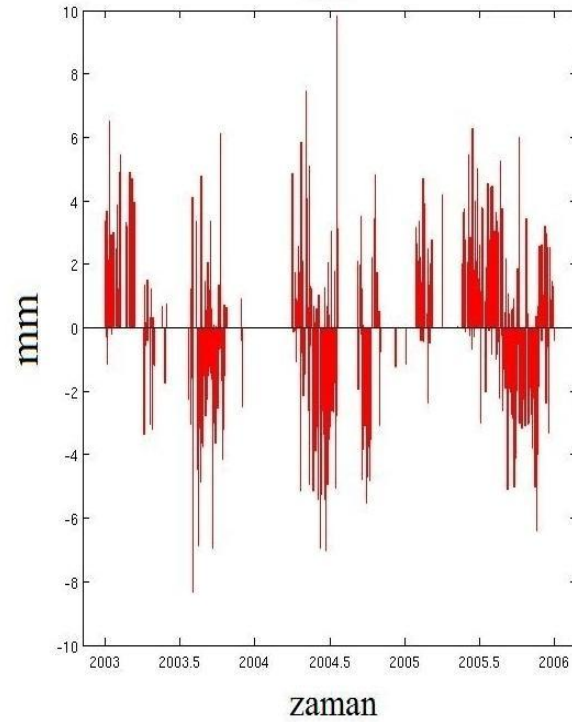
YÜKSEKLİK BİLEŞENİ

Şekil B.2: MAGNET ağındaki BAD1 sürekli GPS istasyonunun 2003–2005 yıllarındaki 3 yıllık döneme dair doğrusal hız modeline bağlı sinyal artıkları

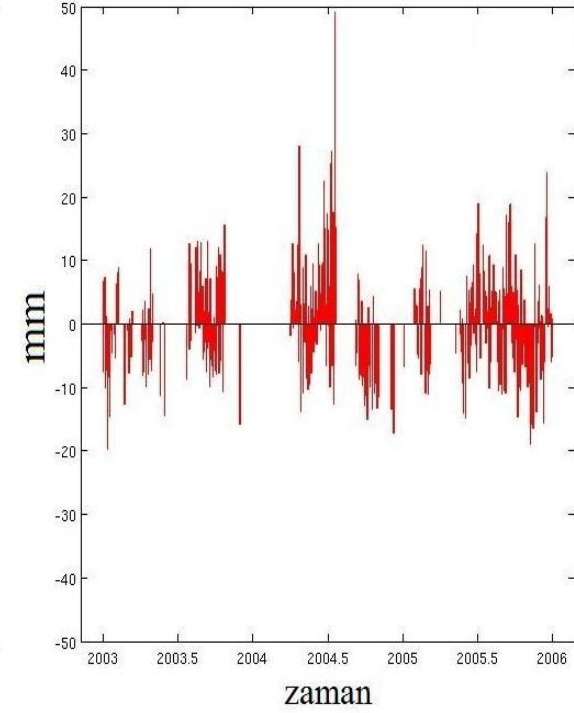
BOZT



DOĞU BİLEŞEN



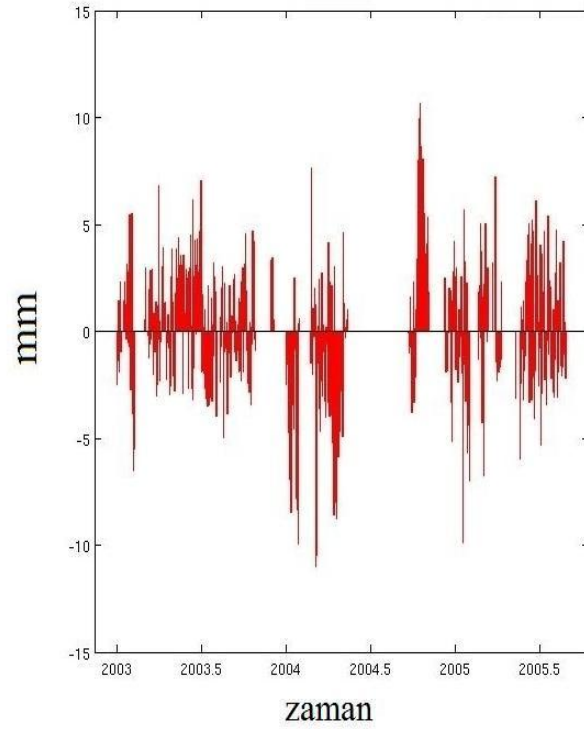
KUZEY BİLEŞEN



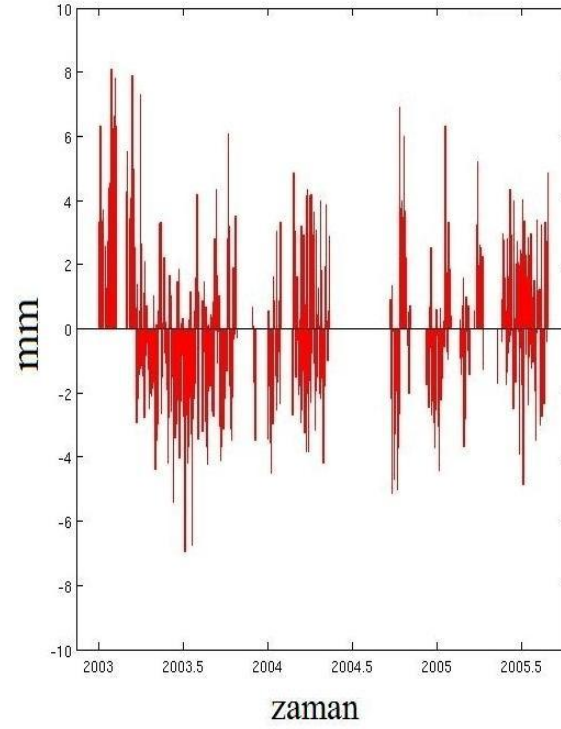
YÜKSEKLİK BİLEŞENİ

Şekil B.3: MAGNET ağındaki BOZT sürekli GPS istasyonunun 2003–2005 yıllarındaki 3 yıllık döneme dair doğrusal hız modeline bağlı sinyal artıkları

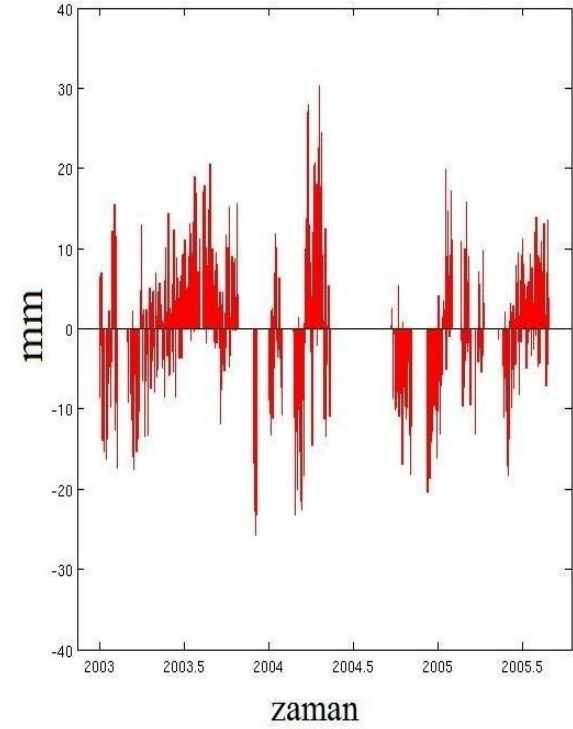
DUMT



DOĞU BİLEŞEN



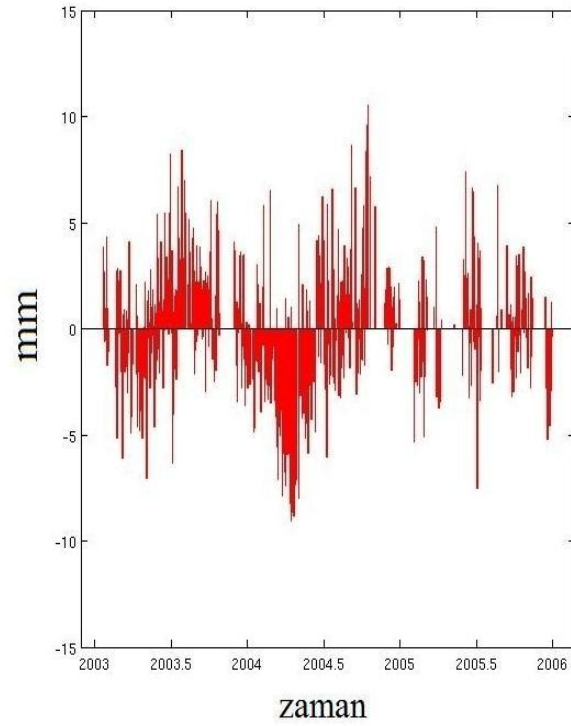
KUZHEY BİLEŞEN



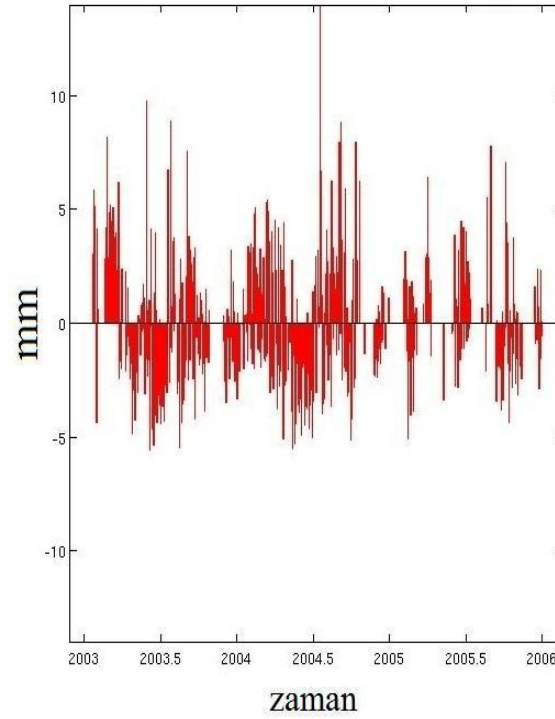
YÜKSEKLİK BİLEŞENİ

Şekil B.4: MAGNET ağındaki DUMT sürekli GPS istasyonunun 2003–2005 yıllarındaki 3 yıllık döneme dair doğrusal hız modeline bağlı sinyal artıkları

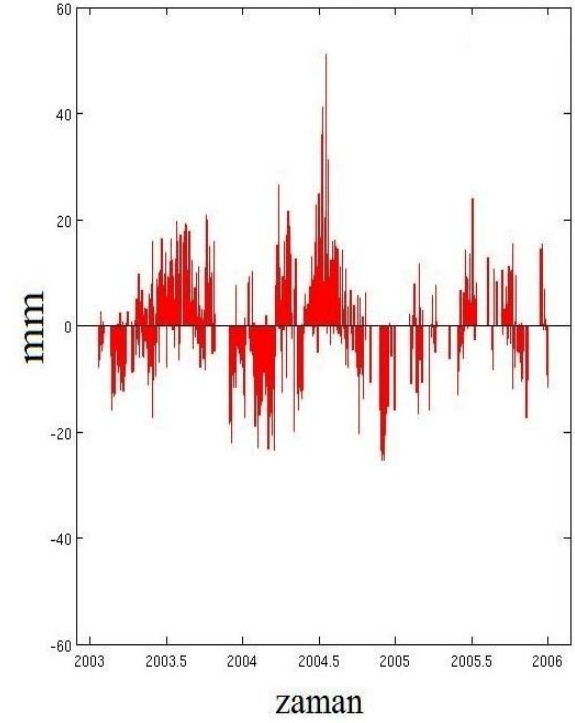
ERDT



DOĞU BİLEŞEN

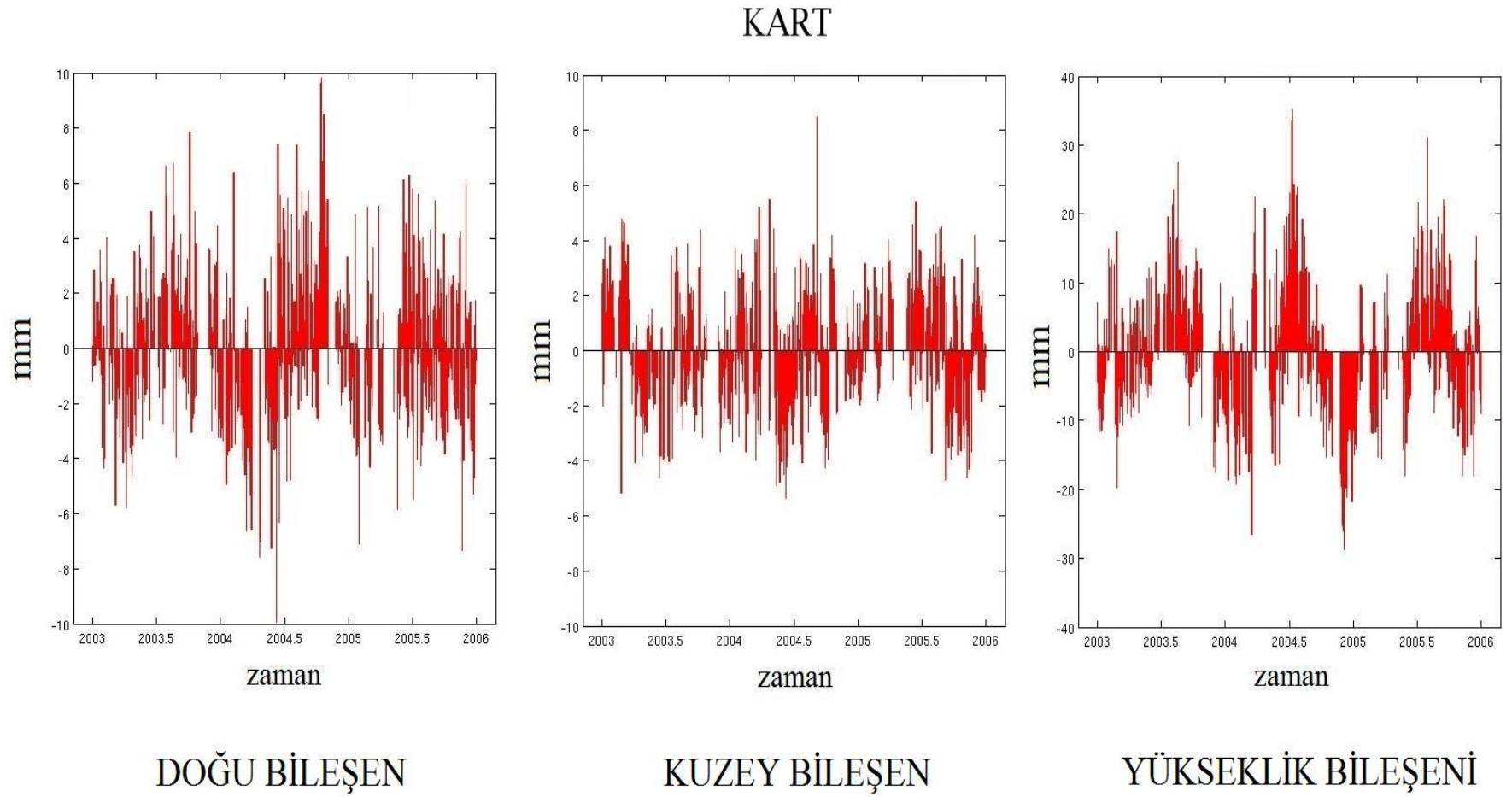


KUZEY BİLEŞEN

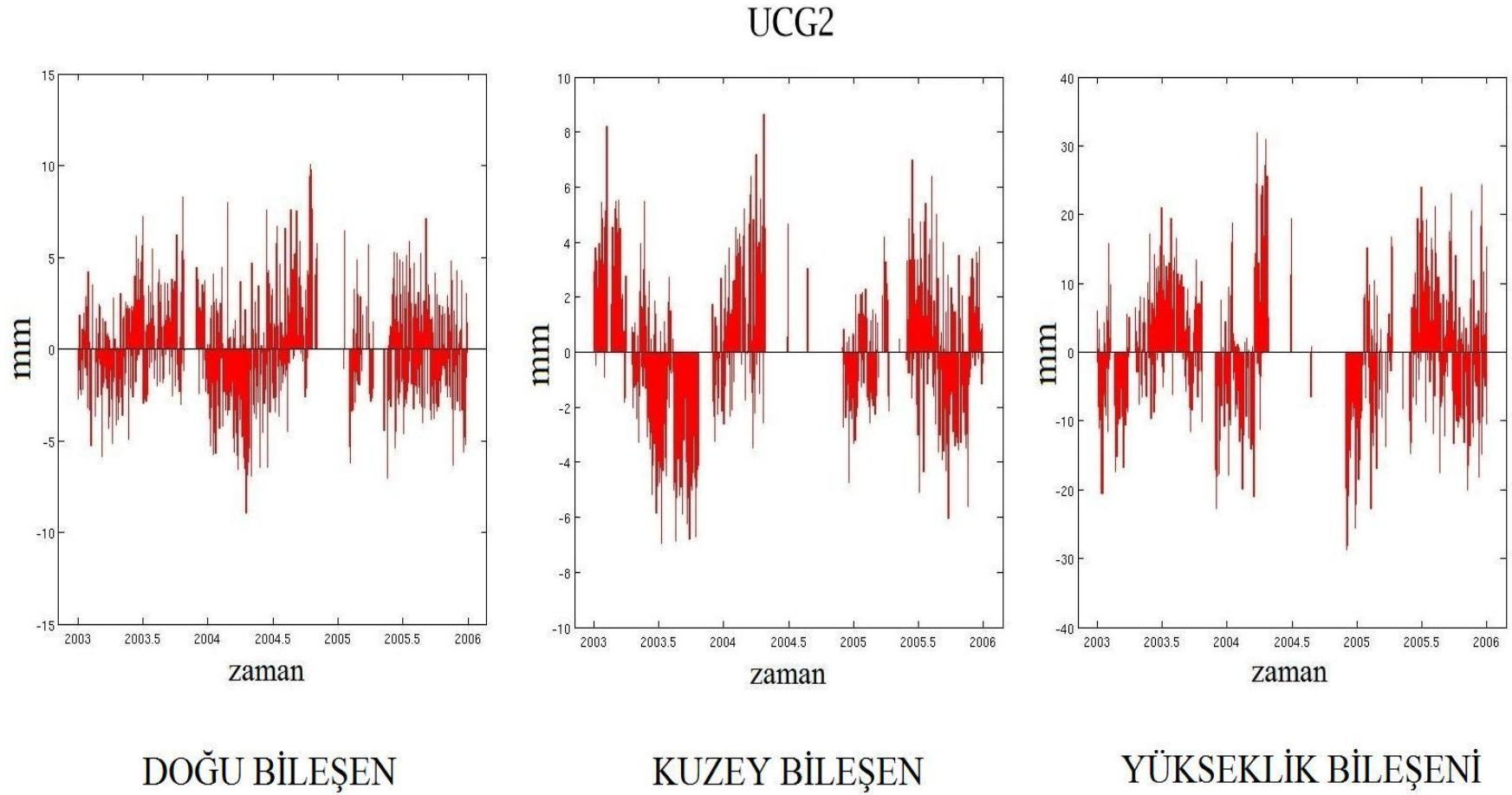


YÜKSEKLİK BİLEŞENİ

Şekil B.5: MAGNET ağındaki ERDT sürekli GPS istasyonunun 2003–2005 yıllarındaki 3 yıllık döneme dair doğrusal hız modeline bağlı sinyal artıkları

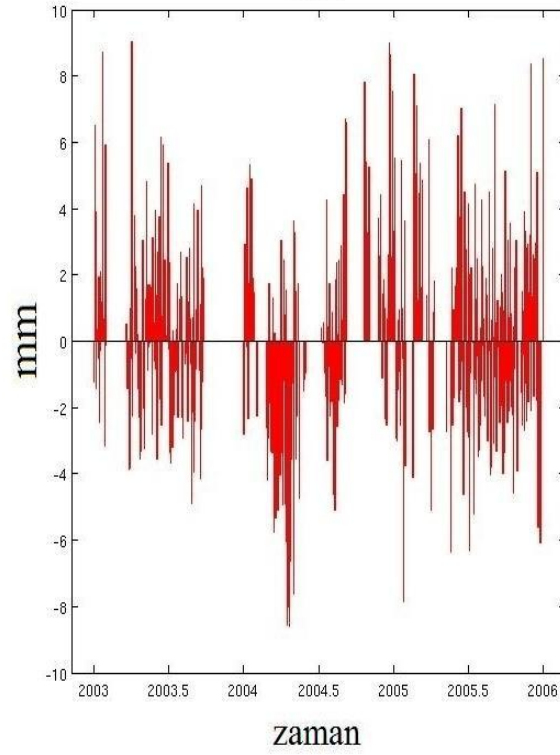


Şekil B.6: MAGNET ağındaki KART sürekli GPS istasyonunun 2003–2005 yıllarındaki 3 yıllık döneme dair doğrusal hız modeline bağlı sinyal artıkları

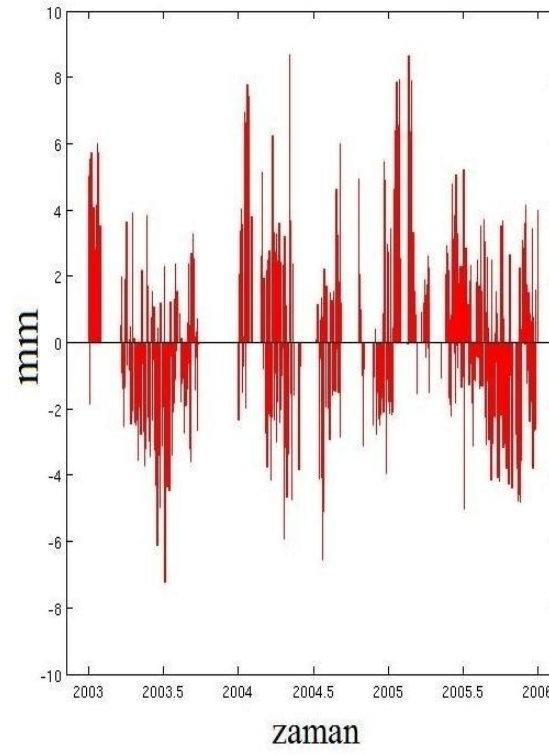


Şekil B.7: MAGNET ağındaki UCG2 sürekli GPS istasyonunun 2003–2005 yıllarındaki 3 yıllık döneme dair doğrusal hız modeline bağlı sinyal artıkları

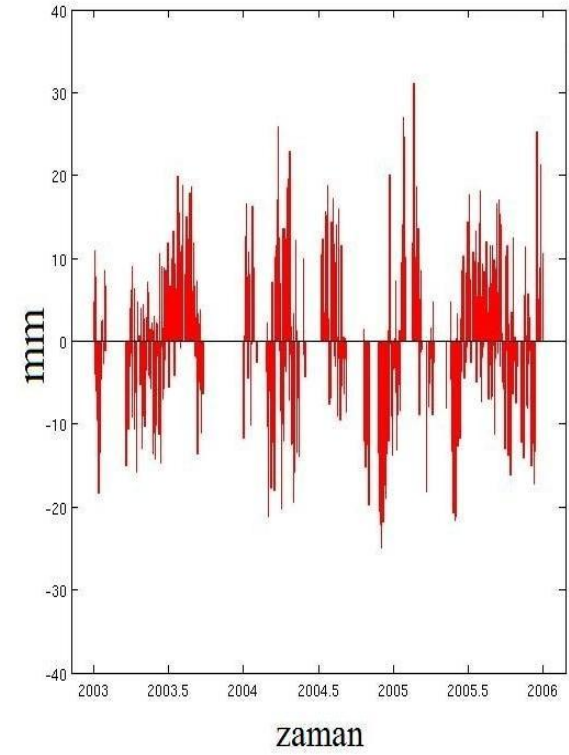
ULUT



DOĞU BİLEŞEN



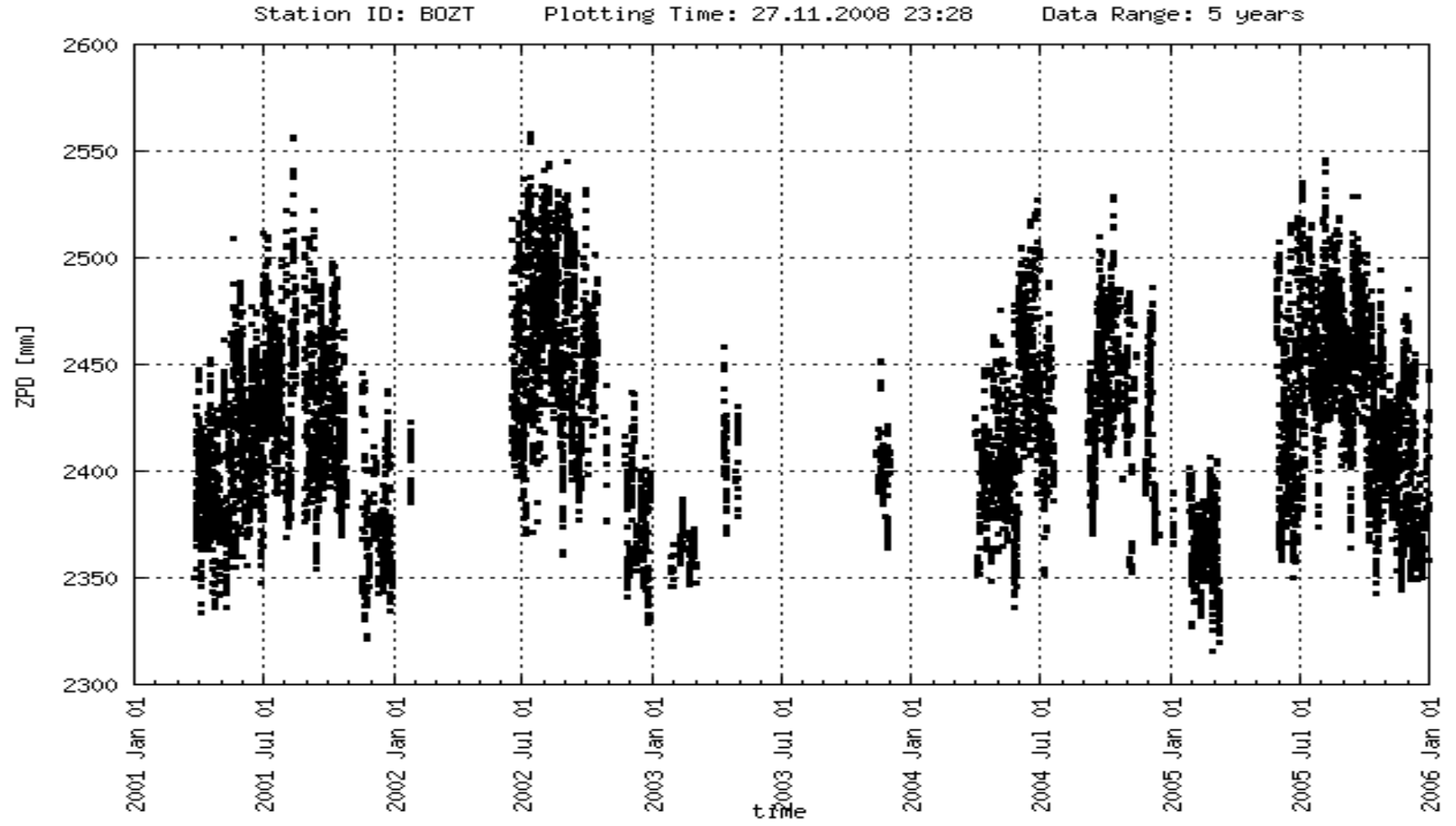
KUZEY BİLEŞEN



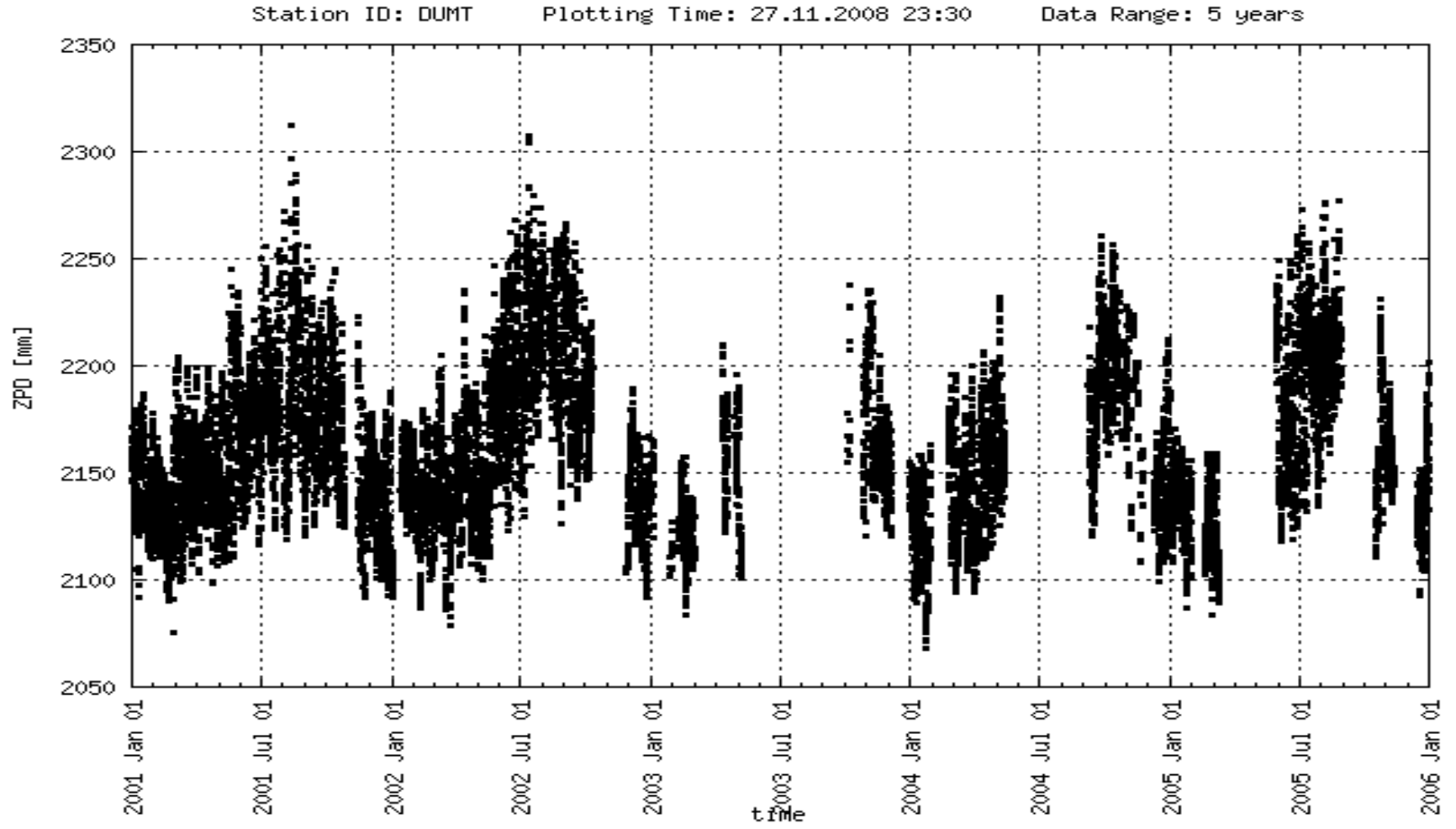
YÜKSEKLİK BİLEŞENİ

Şekil B.8: MAGNET ağındaki ULUT sürekli GPS istasyonunun 2003–2005 yıllarındaki 3 yıllık döneme dair doğrusal hız modeline bağlı sinyal artıkları

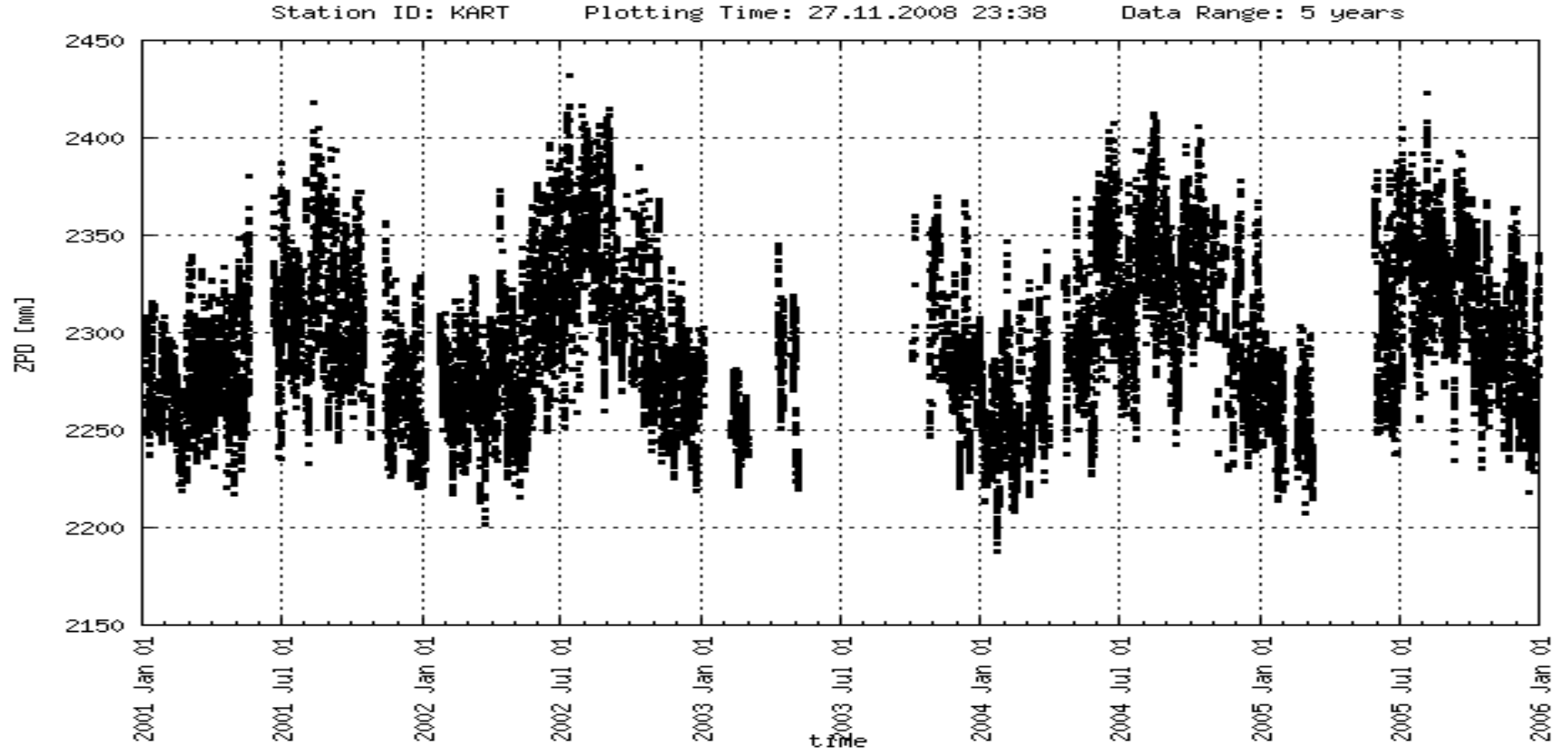
EK C : Zenit Gecikme Bilinmeyenleri



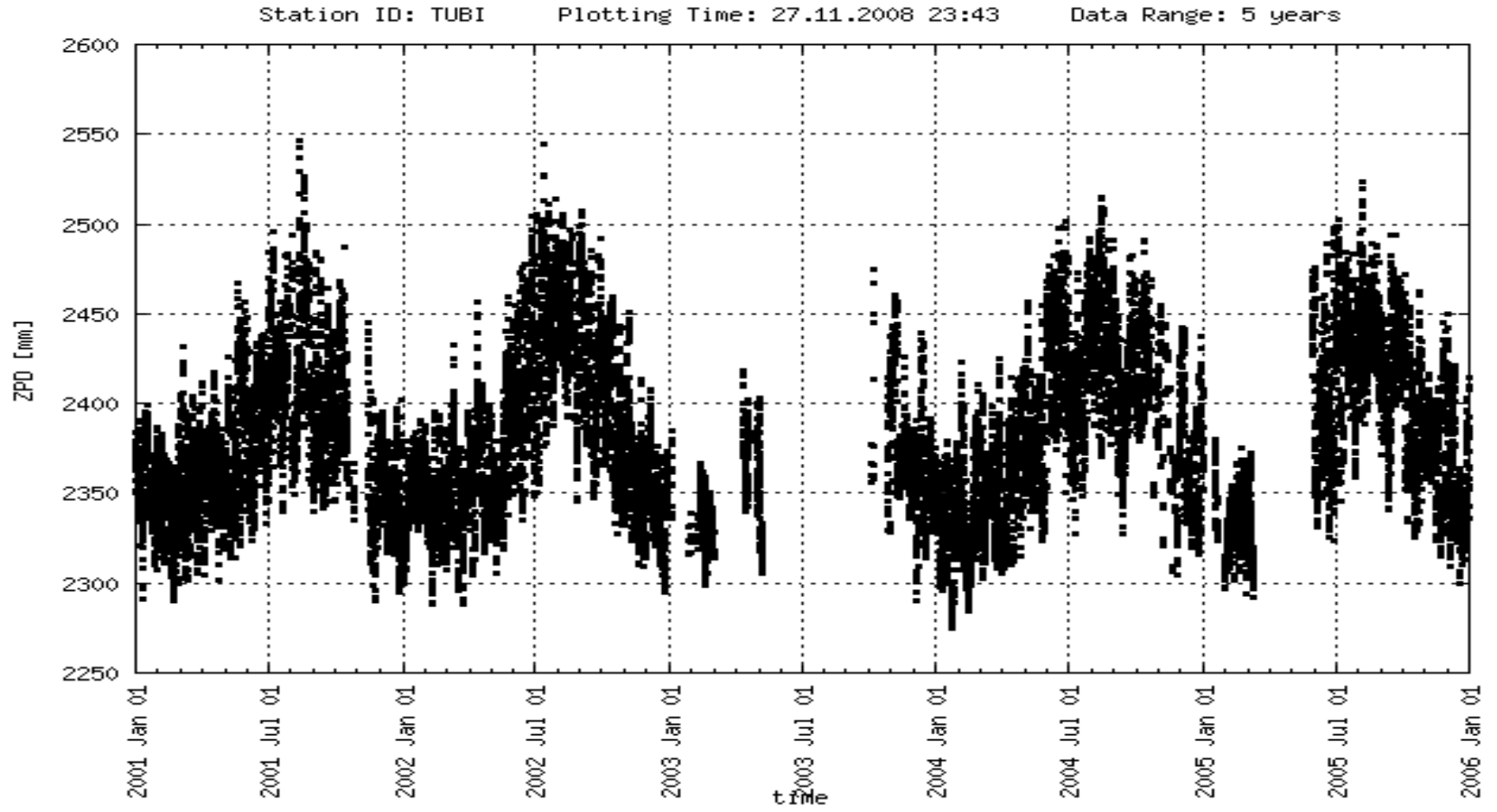
Şekil C.1: BOZT sürekli GPS istasyonunun 2001–2005 dönemine ait 5 yıllık zenit gecikme bilinmeyenleri



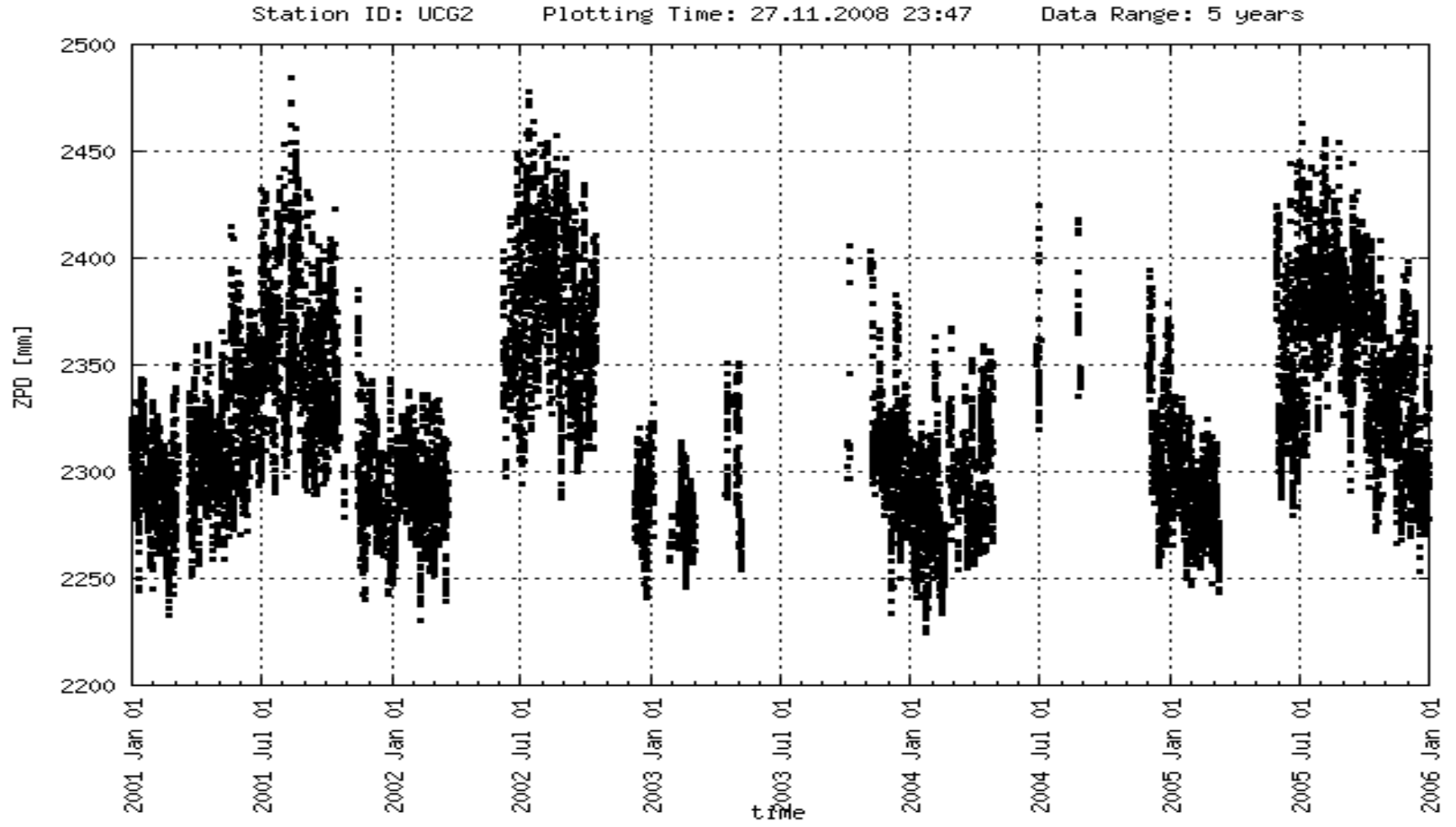
Şekil C.2: DUMT sürekli GPS istasyonunun 2001–2005 dönemine ait 5 yıllık zenit gecikme bilinmeyenleri



Şekil C.3: KART sürekli GPS istasyonunun 2001–2005 dönemine ait 5 yıllık zenit gecikme bilinmeyenleri



Şekil C.4: TUBI sürekli GPS istasyonunun 2001–2005 dönemine ait 5 yıllık zenit gecikme bilinmeyenleri



Şekil C.5: UCG2 sürekli GPS istasyonunun 2001–2005 dönemine ait 5 yıllık zenit gecikme bilinmeyenleri

ÖZGEÇMİŞ

1983 yılında Eflani/Karabük'te doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Safranbolu'da tamamladı. 2001 yılında Safranbolu Anadolu Lisesi'nden mezun olduktan sonra aynı yıl İstanbul Teknik Üniversitesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümünü kazandı. Haziran 2006 döneminde İTÜ Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümünden 3.lük derecesi ile mezun olarak lisans öğrenimini tamamladı. Eylül 2006 döneminde İTÜ Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümünde yüksek lisans öğrenimine başladı. Halen TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi Yer ve Deniz Bilimleri Enstitüsü'nde çalışmaktadır.