

# MAGNET (Marmara Sürekli GPS Ağı) İstasyonlarının Dönemsel Etkiler Açısından Kampanya GPS Ölçmelerine Katkıları

Ali ÖZKAN<sup>1</sup>, Ergin TARI<sup>2</sup>, Rahşan ÇAKMAK<sup>1</sup>, Semih ERGİNTAV<sup>3</sup>

## Özet

GPS sinyalleri, periyodu yarım günden yıllar arası hatta on yıllar arası döneme kadar değişen periyodik dönemsel etkilere maruz kalmaktadır. GPS verilerinin değerlendirilmesi aşamasında hata olarak ortaya çıkan bu etkileri azaltacak stratejilerin belirlenmesi ve uygulanması, toplanacak verinin ve dolayısıyla değerlendirme sonuçlarının kalitesini artıracaktır. 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 22 sürekli GPS istasyonu ile işletilen MAGNET (Marmara Sürekli GPS Ağı) bünyesindeki 11 istasyonda 2001–2006 döneminde toplanan veriler ve 2002–2005 döneminde Marmara Bölgesi'nde yapılan kampanya GPS ölçmeleri değerlendirilmiştir. Elde edilen koordinat zaman serileri, sinyal genlikleri, sinyal artıkları, hız kestirim değerleri ve zenit gecikme bilinmeyenlerinin dönemsel etkiler açısından analizleri yapılmıştır. Bu analizler neticesinde gelecek dönemlerde yapılacak kampanya GPS ölçmelerinin iyileştirilmesine yönelik stratejiler geliştirilmiştir.

## Anahtar Sözcükler

MAGNET, dönemsel etkiler, kampanya ölçmeleri, zaman serisi, zenit gecikme bilinmeyen

## Abstract

### The Contribution of MAGNET (Marmara Permanent GPS Network) Stations to Campaign GPS Measurements on Account of Seasonal Effects

GPS signals are exposed to periodic seasonal effects which have periodicity from semidiurnal to years even decades. Defining and implementing the strategies to reduce these effects regarded as errors in GPS process will increase the quality of the GPS measurements and thereby process results. In this study, the GPS data recorded both, in 2001–2006, in MAGNET (Marmara Permanent GPS Network) 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 analyzed to detect seasonal effects on GPS signals. The strategies for making future GPS campaign surveys better were generated as a result of these analyses.

## Keywords

MAGNET, seasonal effects, campaign surveys, time series, zenith path delay

## 1. Giriş

Marmara Bölgesi, çok uzun yıllardır jeodezik ve jeofiziksel birçok bilimsel çalışmanın yürütüldüğü tektonik açıdan aktif bir bölgedir. Bu bilimsel çalışmaların bir bölümünü de bölgenin güncel hız alanının ortaya konulması oluşturmaktadır. Bu çalışmada 2001–2005 dönemindeki 5 yıl için MAGNET dahilindeki sürekli GPS istasyonlarında ve 2002–2005 dönemindeki 4 yıla ait periyodik dönemlerde kampanya tipi ölçme noktalarında toplanan verilerin bilimsel bir yazılım olan GAMIT (KING ve BOCK 2004) / GLOBK (HERRING 2004) ile değerlendirilmesinin ardından bir matlab uygulaması olan TSVIEW (URL-1) programı ile zaman serisi analizleri yapılmıştır. Yapılan analizlerle 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. Toplam 11 sürekli GPS istasyonunun verisinden faydalanılmıştır. MAGNET içerisinde yer alan sürekli GPS istasyonları 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. Altı aylık periyotlar halinde tamamlanan GPS kampanya ölçmeleri ise 22 kampanya tipi ölçme noktası için değerlendirilmiştir. Kampanya ölçmeleri yıllık iki oturum olarak planlanmıştır ve bu oturumlardan her biri günlük en az 10 saatlik ölçü içermektedir. Ölçme hatalarını minimum seviyede tutmak amacıyla “mümkün olduğunca aynı noktaların aynı ölçme grupları tarafından aynı donanımlar kullanılarak yılın aynı dönemlerinde ölçülmesi” stratejisi benimsenmiştir. Çalışmanın esas konusu veri toplanan bu toplam 33 noktanın zaman serilerinin analizi neticesinde dönemsel etkilerin belirlenerek kampanya ölçmelerinin iyileştirilmesi yönünde stratejiler geliştirilmesidir.

## 2. GPS Verilerinin Değerlendirilmesi

### 2.1 GAMIT

Bu çalışmada MAGNET içindeki 11 sürekli GPS istasyonunun 2001–2005 yıllarındaki GPS verileri ile 22 noktada 2002–2005 yıllarındaki Marmara Bölgesi kampanya GPS verileri değerlendirilmiştir (Şekil 1). 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.

### 2.2 GLOBK

GAMIT ile her gün için elde edilen gevşek zorlamalı günlük GPS çözümleri, ITRF referans sistemlerinden ITRF-2000'e dayandırılmıştır. Bu referans 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.

## 3. Koordinat Zaman Serisi Analizi

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. Çalışma kapsamındaki koordinat zaman serisi analizi TSVIEW yardımıyla 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.

## 4. Dönemsel Anomalilerin Hız Değerleri Üzerindeki Etkilerinin Belirlenmesine Yönelik Uygulama ve Bulgular

Bu çalışmada uzun dönem trend tahmini ve bu trend içindeki periyodik dönemsel etkilerin tanımı

$$y_k = a + bt_k + A[\cos 2\pi f_1(t_k - t_0) + \Phi_1] + B[\sin 2\pi f_1(t_k - t_0) + \Phi_1] + C[\cos 4\pi f_2(t_k - t_0) + \Phi_2] + D[\sin 4\pi f_2(t_k - t_0) + \Phi_2] + e \quad (1)$$

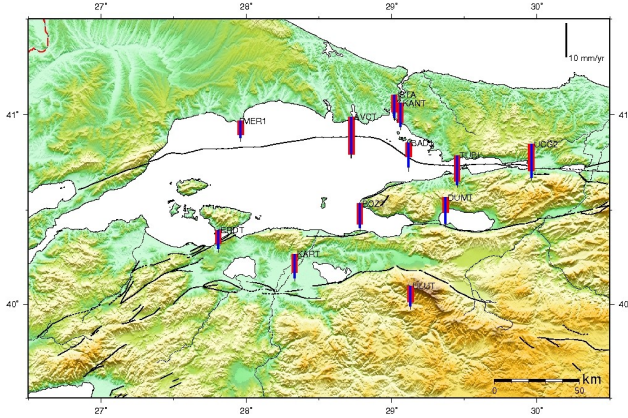
olarak belirtilen matematiksel model ile ifade edilmiştir (SERPELLONI vd. 2006). Bu eşitlikte,  $y_k$  noktanın  $k$ . zamana ilişkin nokta konumu (mm),  $a$  başlangıç epogundaki nokta konum (mm),  $b$  yıllık doğrusal trend hız parametresi (mm/yıl),  $t_k$  başlangıç epogundan itibaren geçen yıl sayısı ( $k=1,2,\dots,M$ ),  $t_0$  başlangıç epogu (1997.00),  $A$ ,  $B$ ,  $C$ ,  $D$  genlik (mm),  $f_1$  frekans (yıllık periyot),  $f_2$  frekans (6 aylık periyot),  $\Phi_1$  ve  $\Phi_2$  faz açıları (radyan),  $e$  artık hatadır.

MAGNET istasyonlarında 2003–2005 döneminde toplanan GPS verileri kullanılarak yapılan hız trend tahminleri 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. Şekil 2'de MAGNET sürekli GPS istasyonlarının Avrasya referans sisteminde yıllık yatay hız vektörleri verilmiştir. Kırmızı vektörler GLOBK yazılımı ile mavi vektörler de TSVIEW yazılımı ile elde edilen hız büyüklüklerini temsil etmektedir.

2002–2005 yıllarında toplanan 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. Şekil 3, kampanya tipi ölçme noktalarının Avrasya referans sisteminde yatay bileşenlere ait yıllık hız vektörleri ve %95 güven düzeyindeki hata elipslerini göstermektedir. Kırmızı vektörler mayıs-haziran, mavi vektörler de ekim-kasım döneminde yapılan ölçmeler sonucunda elde edilen yatay hız büyüklüklerini temsil etmektedir.



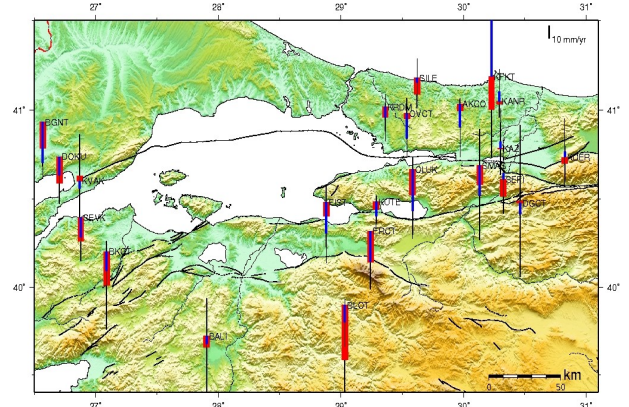




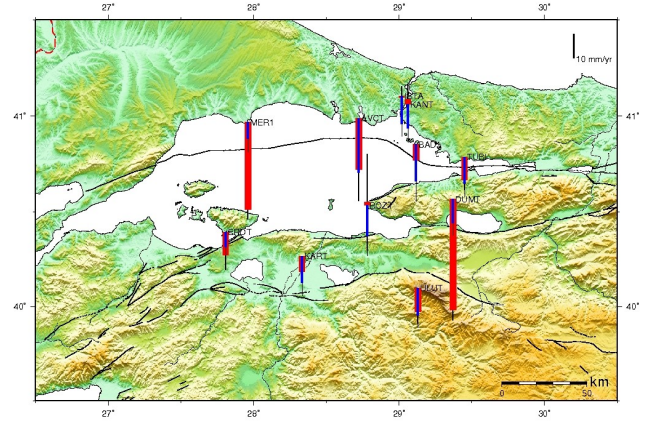
Şekil 5: MAGNET sürekli GPS istasyonlarının Avrasya referans sisteminde yıllık düşey hız vektörleri

2002–2005 yıllarında toplanan GPS kampanya verileri ile düşey hız kestirirken yatay hızların belirlenmesindeki 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. Şekil 6'da da kampanya tipi ölçme noktalarının Avrasya referans sisteminde düşey bileşene ait yıllık hız vektörleri ifade edilmiştir. 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.

MAGNET sürekli GPS istasyonlarının 2002–2005 yılları arasındaki 4 yıllık dönemde GPS kampanyaları günlerindeki verileri ile düşey hız kestirimi yapılırken yine 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. MAGNET sürekli GPS istasyonlarının kampanya günlerindeki verileri ile elde edilen Avrasya referans sisteminde yıllık düşey hız vektörleri Şekil 7 ile ifade edilmiştir. 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.



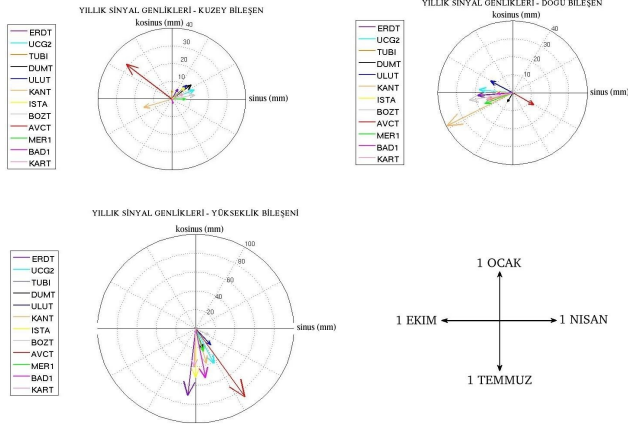
Şekil 6: Kampanya tipi ölçme noktalarının Avrasya referans sisteminde düşey bileşene ait yıllık hız vektörleri



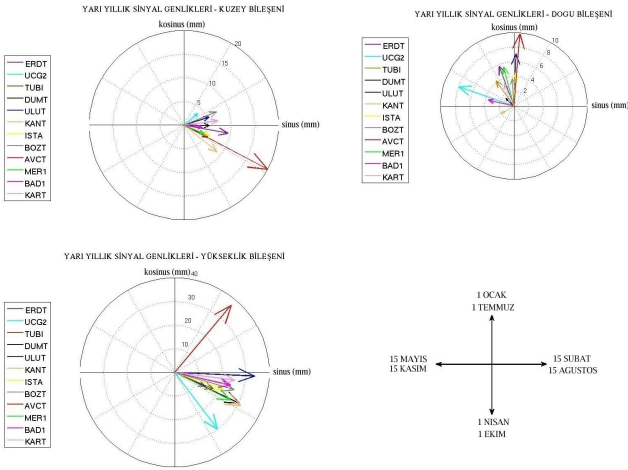
Şekil 7: MAGNET sürekli GPS istasyonlarının kampanya günlerindeki verileri ile elde edilen Avrasya referans sisteminde yıllık düşey hız vektörleri

## 5. MAGNET İstasyonlarının Doğrusal Hız Modeline Bağlı Sinyal Artıkları ile Sinyal Genlikleri Arasındaki İlişki ve Zenit Gecikme Bilinmeyenleri Üzerindeki Dönemsel Etkiler

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 bölümünde MAGNET sürekli GPS istasyonlarının 2003–2005 yıllarındaki 3 yıllık döneme dair doğrusal hız modeline bağlı sinyal artıkları ile yıllık ve yarıyıllık sinyal faz diyagramları Şekil 8 ve Şekil 9 ile ortaya konulmuştur.

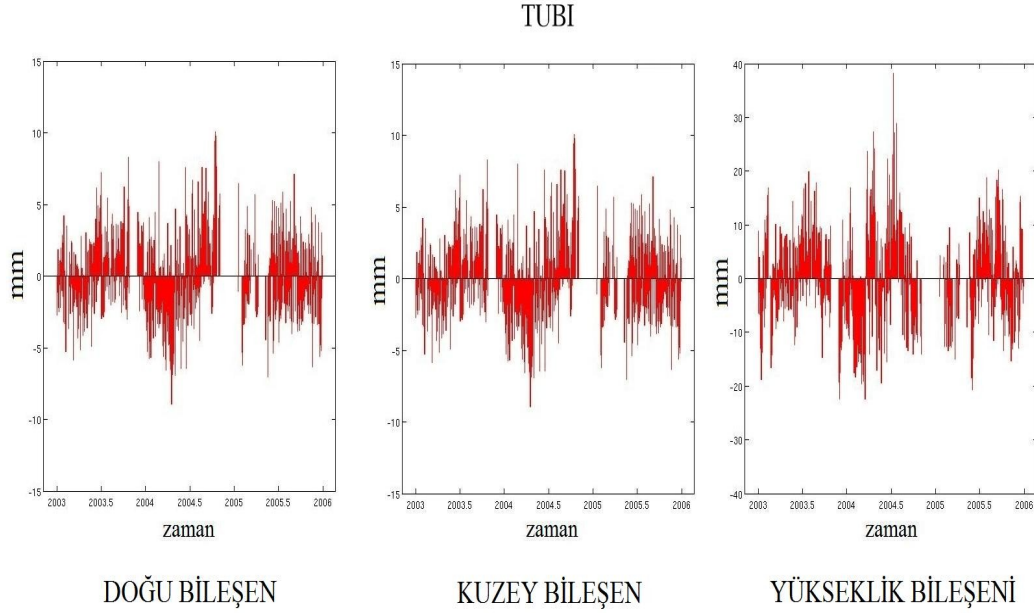


**Şekil 8:** MAGNET sürekli GPS istasyonlarının 2003–2005 yıllarındaki 3 yıllık dönem için yıllık faz diyagramı



**Şekil 9:** MAGNET sürekli GPS istasyonlarının 2003–2005 yıllarındaki 3 yıllık dönem için yarıyılılık faz diyagramı

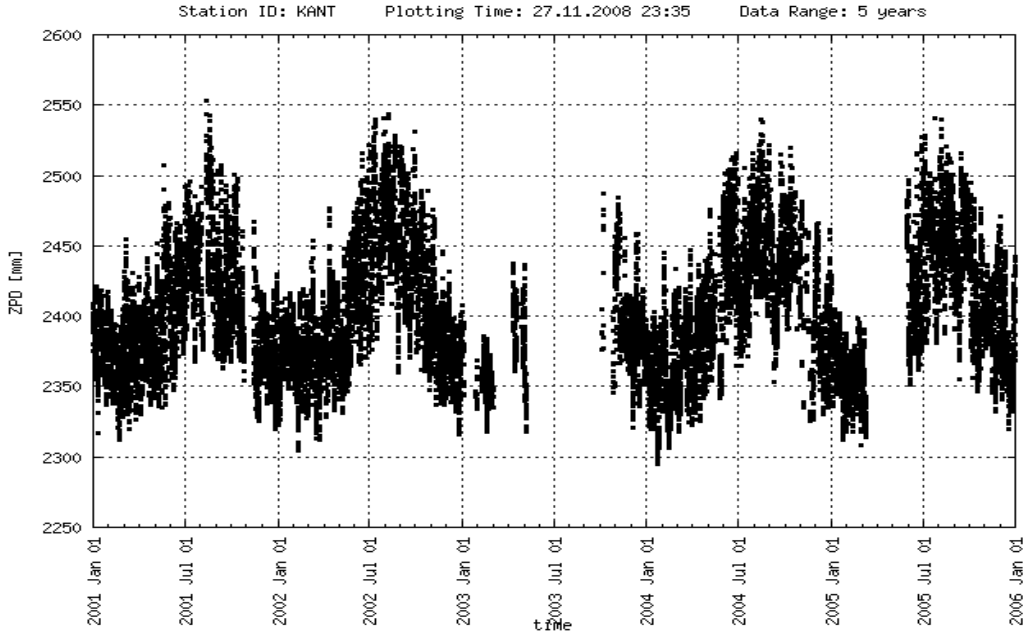
Sol üstteki grafikler kuzey yönündeki kosinüs ve sinüs bileşenleri için yarıyılılık ve yıllık sinyal genliklerini, sağ üstteki grafikler doğu yönündeki kosinüs ve sinüs bileşenleri için yarıyılılık ve yıllık sinyal genliklerini, sol alttaki grafikler düşey yöndeki kosinüs ve sinüs bileşenleri için yarıyılılık ve yıllık sinyal genliklerini göstermektedir. Genlik büyüklükleri 10 katsayısı ile çarpılarak elde edilen genlik değerleri grafik olarak verilmiştir. Sağ alttaki grafikler ise faz yönü ile yarıyılılık ve yıllık sinyal zamanları arasındaki korelasyonu göstermek için çizilmiş yardımcı şekildir. Sinyal fazları için referans 1 Ocak olarak alınmıştır ve zaman saat yönünde ilerlemektedir. Faz diyagramı ile ortaya konulan sinyal genlikleri üzerindeki yarıyılılık ve yıllık maksimum etkinin hız modelinde sinyal artıkları (residual) şeklinde tezahür etmesi nedeniyle faz diyagramlarını residual değerleri ile desteklemek mümkündür. TUBI istasyonunun doğrusal hız modeline bağlı sinyal artıkları Şekil 10'da grafiklendirilmiştir.



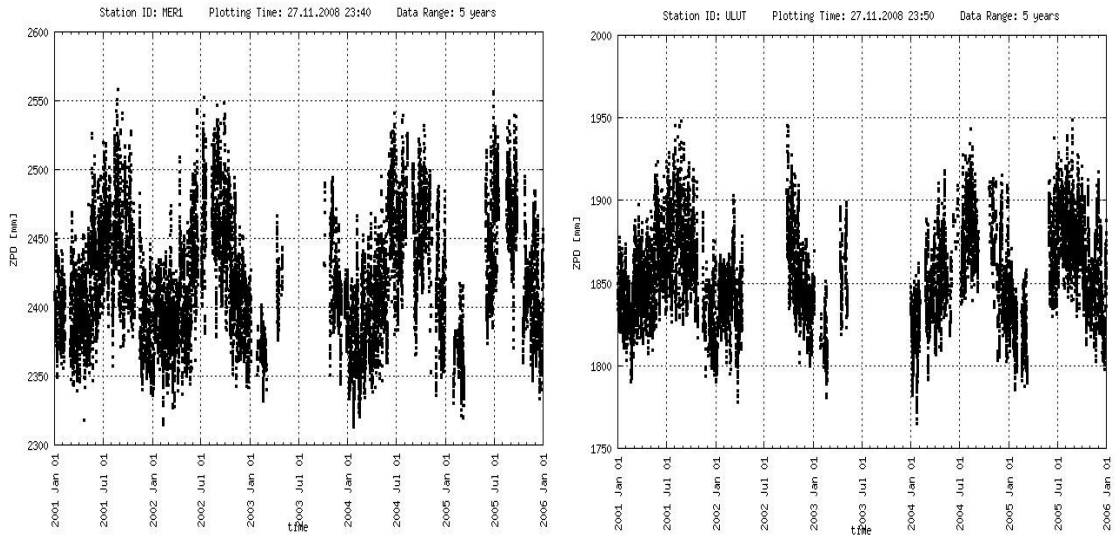
**Şekil 10:** MAGNET ağındaki TUBI sürekli GPS istasyonunun doğrusal hız modeline bağlı sinyal artıkları

GAMIT yazılımı ile veri değerlendirme işlemi sonunda GPS istasyonu etrafındaki ortalama atmosferik etkileri yansıtan zenit gecikme bilinmeyenleri hesaplanabilmektedir. Atmosferik etkiler bu gecikme bilinmeyenlerinde de dönemsel anomaliler yaratmaktadır. Şekil 11’de KANT sürekli GPS istasyonunun 2001–2005 dönemine ait 5 yıllık zenit gecikme bilinmeyeni değerleri gösterilmiştir. KANT 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. Öte yandan zenit gecikme bilinmeyenleri üzerinde dönemsel değişimlere yol açan bu etki istasyonun yüksekliği ile ters orantılı olarak değişmektedir. 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 12’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 bilinmeyeni değişim aralığı yaklaşık olarak 23 cm civarındadır. Bununla birlikte elipsoid yüksekliği 2088.9 m olan ULUT istasyonu için yıllık zenit gecikme bilinmeyeni değişim aralığı yaklaşık olarak 18 cm civarındadır. Bu da yüksekliklere çıkıldıkça zenit gecikme etkisinin çok fazla azalıp artmamasına bağlı olarak GPS sinyalinin daha az etkilendiği sonucunu ortaya koymaktadır.



Şekil 11: KANT sürekli GPS istasyonunun 2001–2005 dönemine ait 5 yıllık zenit gecikme bilinmeyenleri



Şekil 12: MER1 sürekli GPS istasyonu (solda) ile ULUT sürekli GPS istasyonu (sağda) için 2001-2005 dönemine ait 5 yıllık zenit gecikme bilinmeyenleri

## 6. Sonuçlar ve Öneriler

GLOBK ve TSVIEW yazılımları ile elde edilen hızların karşılaştırılması sonucu dönemsel anomalilerin MAGNET sürekli GPS istasyonlarındaki hız değerlerine etkisinin yatay bileşenler için 1–1,5 mm/yıl, yükseklik bileşeni için 1-3 mm/yıl ile sınırlı kaldığı ortaya konulmuştur. Tüm istasyonlardaki hız farklarının ortalaması ise yatayda doğu bileşen için  $0.38 \pm 0.20$  mm/yıl, kuzey bileşen için  $1.13 \pm 0.36$  mm/yıl ve düşeyde  $1.58 \pm 0.82$  mm/yıl olarak hesaplanmıştır.

tır. Kampanya tipi ölçme noktalarındaki yıllık hız farkları doğu bileşen için 1-11 mm/yıl arasında, kuzey bileşen için 1-15 mm/yıl, yükseklik bileşeni için 1-29 mm/yıl arasında değişmektedir. Kampanya tipi ölçme noktalarında yıllık olarak iki dönem için ayrı ayrı kestirilen hızların farklar ortalaması doğu bileşen için  $3.93 \pm 2.51$  mm/yıl, kuzey bileşen için  $6.68 \pm 3.98$  mm/yıl, yükseklik bileşeni için  $9.61 \pm 6.23$  mm/yıl hesaplanmıştır. MAGNET istasyonlarının kampanya tipi ölçme noktası gibi değerlendirilmesiyle

hesaplanan hız değerleri doğu bileşen için 1-2 mm/yıl, kuzey bileşen için 3-6 mm/yıl, yükseklik bileşeni için 1-35 mm/yıl arasında değişmektedir. Hız farklarının ortalaması ise doğu bileşen için  $1.02 \pm 0.58$  mm/yıl, kuzey bileşen için  $5.64 \pm 1.06$  mm/yıl ve yükseklik bileşeni için  $11.14 \pm 10.96$  mm/yıl olarak hesaplanmıştır.

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 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.

Gelecekte yapılması planlanan GPS kampanya planlamaları için daha kaliteli veri toplama ve ölçme stratejilerini geliştirme adına deniz seviyesine yakın bölgelerde yapılacak ölçmelerin daha fazla troposferik etkiye maruz kalma durumu göz önüne alındığında 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 dönemsel değişimlerin göz önünde bulundurularak planlama yapılması, Temmuz-Ağustos dönemindeki maksimum güneşlenme etkisinden kaçınılması gibi stratejilerin kampanya veri kalitesini olumlu yönde etkileyeceği belirlenmiştir.

## Kaynaklar

HERRING T. A.: **GLOBK: Global Kalman filter VLBI and GPS analysis program**, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA, USA, 2004

KING R. W. ve BOCK Y.: **Documentation of the MIT GPS analysis software: GAMIT**, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA, USA, 2004

SERPELLONI E., CASULA G., GALVANI A., ANZIDEI M. ve BALDI P.: **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, 2006), 897-928

URL-1.: **GAMIT/GLOBK MATLAB TOOLS**, <http://www-gpsg.mit.edu/~tah/GGMatlab/>, Aralık 2008