

GPS GÖZLEM SÜRESİNİN YÜKSEK DOĞRULUKLU ÇALIŞMALARDA ZAMAN SERİLERİ VE HIZ VEKTÖRLERİ ÜZERİNE ETKİSİ

S. S. Yıldız¹, A. Yağcı¹, A. Özkan², H. Yavaşoğlu¹, M. U. Altın¹, E. Tarı¹

¹İTÜ, İstanbul Teknik Üniversitesi, Jeodezi ve Fotogrametri Müh.Bölümü, Ölçme Tekniği Anabilim Dalı Maslak İstanbul,
yildizsel@itu.edu.tr, yagciali@itu.edu.tr, yavasoglu@itu.edu.tr, altinm@itu.edu.tr, tari@itu.edu.tr

²İTÜ, TÜBİTAK, Marmara Araştırma Merkezi, Yer ve Deniz Bilimleri Enstitüsü Gebze Kocaeli, ozkanali@itu.edu.tr

ÖZET

Kuzey Anadolu Fayı (KAF), dünyanın en aktif deprem bölgelerinden birisidir. Daha önceki çalışmalara göre, KAF yaklaşık olarak 20-24 mm/yıl kayma oranına sahiptir. Genel karakteristik olarak sağ yanallı atımlı fay olan orta bölümü İstanbul'un 20 km güneyine kadar uzanmaktadır. Güneye doğru kayan içbükey kollar Kuzey Anadolu Fayı'nı oluşturmaktadır. Levha(plaka) hareketlerinin belirlenebilmesi için yapılan çalışmalarda doğruluk ve maddi koşullar göz önünde bulundurulursa GPS gözlem süresi çok büyük öneme sahiptir. Yeni bir çalışma olan "GPS Gözlem Süresinin Yüksek Doğruluklu Çalışmalarda Zaman Serileri ve Hız Vektörleri Üzerine Etkisi" İTÜ Araştırma Fonu ve TÜBİTAK tarafından destek alınarak 2001-2004 yılları arasında yapılan 4 kampanya GPS verileri kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Sözcükler: GPS/GNSS, Güvenilirlik, IGS, Zaman Serileri ve Hız Vektörleri, Gözlem Süresi.

ABSTRACT

EFFECTS OF GPS OBSERVATION DURATION ON THE VELOCITY VECTORS AND TIME SERIES

The North Anatolian Fault (NAF) is one of the most active earthquake zones in the world. It is very long energetic strike slip systems around the world. According to previous studies, NAF has a slip rate of 20-24 mm/yr nearly. Central Part is the most important region of NAF which is a right lateral strike-slip fault and crosses Turkey east to west. It is extended about 20 km south of Istanbul. Southward splitting concave branches constitute NAF. The right-lateral slip is seen in these splines which are compared with Riedel fractures. Sungurlu, Merzifon and Lacin faults have significant splays. GPS observation time is so important in researches about determining the movement of plates because of accuracy and economic concerns. A new project "Effects of GPS observation duration on the velocity vectors and time series in the researches which high accuracy is necessary", founded by The Scientific and Technical Research Council of Turkey (TUBITAK) and Istanbul Technical University (ITU) Research Fund has been carried out in order to determine the most suitable observation time by using GPS from 2001 to 2004.

Keywords: GPS/GNSS, Reliability, IGS, Time Series and Velocity Vectors, Observation Time.

1. GİRİŞ

Yurdumuz deprem açısından oldukça aktif bir bölgede bulunmaktadır. Yurdumuzu da içine alan bu aktif bölge "Akdeniz-Himalaya deprem kuşağı" olarak adlandırılmakta ve Cebelitarık'tan başlayarak Endonezya'ya kadar uzanmaktadır. Yurdumuzda, son olarak 17 Ağustos 1999 da İzmit ve 12 Kasım 1999 da Düzce depremleri ile bu aktivite kendini göstermiş, maddi ve manevi ağır hasarlar vermiştir. 1999 yılından bu yana hasarı az şiddeti küçümsemeyecek bir çok deprem meydana gelmiştir. Yaşanan depremlerin Kuzey Anadolu Fayı (KAF) üzerinde gerçekleşmesi, bu fay hakkında daha fazla verinin toplanması ve daha fazla şeyin öğrenilmesi gerektiğini ortaya çıkarmıştır. 20. yüzyılın son çeyreğinde uzay jeodezisinin de gelişmesi ile jeodezi bilimi de levha hareketlerinin belirlenmesinde önemli roller üstlenmiştir. İlk olarak 1970'li yılların başlarında uygulanan VLBI (Very Long Baseline Interferometry – Çok Uzun Bazlı İnterferometri) ve SLR (Satellite Laser Ranging – Uydulara Lazerle Uzaklık Ölçmeleri) teknikleri ile küresel ölçekte birbirinden kilometrelerce uzakta herhangi iki noktanın üç boyutlu konumlarının doğruluğu santimetreden milimetreye inmiştir. Fakat VLBI ve SLR tekniklerinin gerek yüksek maliyeti gerekse istenen her yerde ölçme yapma imkanının 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 ekipmanlardan oluşmaması 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 gelgitler 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 (Yavaşoğlu, H., 2003).

Çalışmanın uygulama bölümü Kuzey Anadolu Fayının Sungurlu, Merzifon ve Laçın içbükey kollarını da içeren orta kısmında 2001, 2002, 2003 ve 2004 yıllarında gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada 2001 - 2004 yılları arasında 4 kampanya halinde ölçülen OKAF GPS ağına verilerinden yararlanılarak ölçme süresinin nokta konumlarına etkisi araştırılmıştır. Yapılan çalışmada GPS verileri 6 saat, 8 saat, 2 gün 6 şar saat, 2 gün 8 er saat ve 3gün 6 şar saatlik veriler olarak ayrılmış ve ayrı ayrı değerlendirilerek sonuçları incelenmiştir. Elde edilen tekrarlılıklardan yararlanılarak en uygun ölçme süresi açıklanmaya çalışılmıştır.

Ölçmeler üçer günlük iki bölüm halinde altı gün sürmüştür. Gözlemler 30 saniyelik örnekleme aralığı ile günde sekiz saat olarak gerçekleştirilmiştir ve her istasyonda en az üç gün gözlem yapılmıştır. Dört kampanyadan oluşan GPS gözlem verileri GAMIT/GLOBK akademik yazılımı ile değerlendirilmiştir.

İstasyon koordinatlarının Ağırlıklandırılmış Karesel Ortalama Hata (WRMS) değerleri dikkatlice incelendiğinde bir gün içinde daha uzun süreli gözlem yapmanın, bir günden fazla daha kısa süreli gözlem yapmaktan daha iyi sonuç verdiği görülmektedir.

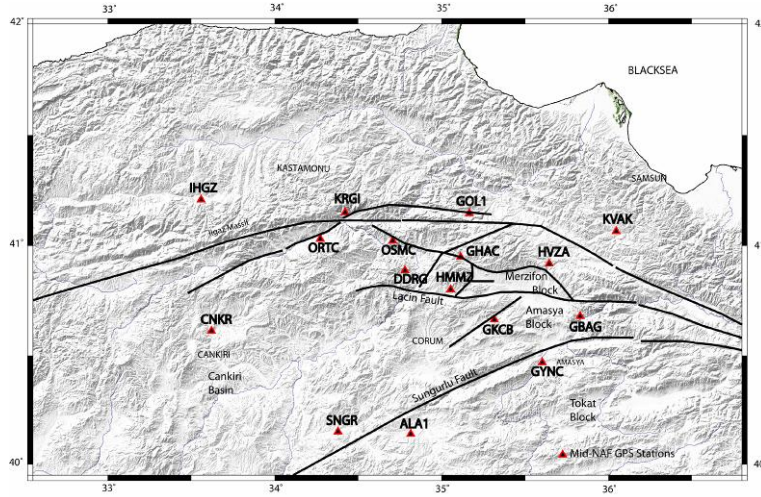
Çalışmaya ait veriler içerisinde yazarlarında yer aldıkları proje ekibinin 2001, 2002, 2003 ve 2004 yıllarında gerçekleştirdiği GPS gözlem kampanyaları sonucunda elde edilmiştir. Bu veriler yazarların 2006 yılındaki lisans bitirme projesi (Yıldız, S.S., Yağcı, A. ve Özkan, A., 2006) kapsamında değerlendirilmiştir. Çalışmaya ait ilk grup sonuçlar 2006 yılında Sofya’da gerçekleştirilen “Modern Technologies, Education and Professional Practice in Geodesy and Related Fields” uluslararası sempozyumunda sunulmuştur (Yıldız, S.S., Yağcı, A. ve Özkan, A. Ve diğerleri, 2006).

2. GPS GÖZLEMLERİ

Kuzey Anadolu Fay Hattının orta kesimine ait olan veriler, 2001, 2002, 2003 ve 2004 yıllarında bölgede yapılan GPS ölçmeleri ile elde edilmiştir. Bu çalışmalarda yukarıda da sözü edilen GPS ölçmeleri yıllık iki aşama olarak planlanmıştır ve bu aşamalardan her biri 3 günlük olmak üzere günde en az 8 saatlik ölçü içermektedir. Projede veri toplanan toplam 16 adet nokta kullanılmıştır. Kullanılan nokta listesi (Tablo 1) ve bölgedeki dağılımları (Şekil 1) aşağıda gösterilmektedir.

Tablo 1: OKAF GPS Ağı İstasyon Noktaları

İstasyon Adı	Yerleşim Bölgesi
ALAI	Alaca
CNKR	Çankırı
DDRG	Dodurga
GBAG	Göllübağlar
GHAC	Gümüşhacıköy
GKCB	Gökçebel
GOLI	Göl
GYNC	Göynücek
HMMZ	Hamamözü
HVZA	Havza
IHGZ	İhsangazi
KRGI	Kargı
KVAK	Kavak
ORTC	Ortalıca
OSMC	Osmancık
SNGR	Sungurlu



Şekil 1: OKAF Projesi GPS İstasyonları

3. GPS VERİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

3.1 Giriş

GPS verilerinin değerlendirilmesi aşamasında birçok yazılım kullanılabilir. Bu yazılımlar bilimsel ve ticari olmak üzere iki şekilde ayrılabilir. Her firmanın kendisine özgü bir yazılım paketi bulunmakta ve bu yazılımlar genelde alıcılarla beraber satılmaktadır. ASHTECH OFFICE SUITE, PINNACLE ve SKI PRO ticari yazılımlara örnek olarak verilebilir. Kabuk deformasyonlarının belirlenmesi gibi yüksek doğruluk gerektiren çalışmalarda GPS verilerini ticari yazılımlar beklenen doğrulukla değerlendirememektedirler. Bugün kabuk hareketlerinin belirlenmesi gibi yüksek doğruluk gerektiren çalışmalarda üniversitelerin ve enstitülerin kullanması amacıyla geliştirilmiş olan GAMIT/GLOBK, BERNESE ve GIPSY gibi bilimsel yazılımlar kullanılmaktadır. Yapılan bu çalışmada kullanılan GAMIT/GLOBK yazılımı Massachusetts Institute of Technology tarafından geliştirilmiştir. Dolayısıyla verilerin RINEX (The Receiver Independent Exchange Format) formatına dönüştürülmesi gerekmektedir.

RINEX formatına dönüştürülen veriler iki adımda işlenmektedir. İlk adımda çözümler GAMIT modülü ile gerçekleştirilmektedir (King ve Bock, 1998). İkinci adımda, GAMIT modülünden elde edilen işlenmiş veriler (quasi-observations) ile GLOBK modülünde kalman filtrelemesi uygulanarak değişik amaçlı çözümler gerçekleştirilir. GLOBK modülü ile ilk olarak günlük veriler yıl bazlı olarak birleştirilir. Daha sonra istasyonların farklı yıllara ait verileri birleştirilerek zaman serileri ve hız vektörleri elde edilir. Elde edilen GPS hız vektörleri Avrasya Plakası sabit alınarak ITRF 2000 sisteminde üretilmiştir. Avrasya'yı tanımlayan stabilizasyon noktaları POL2, KIT3, METS, JOZE, BOR1, GRAZ, POTS, WTZR, ONSA ve KOSG olmak üzere 10 adettir. Bu noktalar Avrasya Plakası'nı tanımlayan, uzun yıllardan beri veri toplanan, güvenilir, homojen dağılımlı ve IGS listesinde de bulunan istasyon noktalarıdır.

3.2 GAMIT

GAMIT, Scripps ve MIT (Massachusetts Institute of Technology) tarafından geliştirilmiş kapsamlı bir GPS (Global Position System) verilerini analiz eden bir programdır. Bu program yersel noktaların 3 boyutlu dolaylı konumlarını ve uyduların yörüngesini tahmin edebilmek için geliştirilmiştir. Başlangıçta bu yazılım UNIX işletim sistemlerinde çalışması için tasarlanmıştır. Programın yeni sürümlerinin çıkması ile birlikte birçok işletim sisteminde de kullanılmaya başlanmıştır. Bunlardan en önemlisi ise projemizde de kullandığımız LINUX işletim sistemidir. GAMIT yazılımının ana sonucu, veri alınan noktaların parametre tahmini ve kovaryanslarıdır (H dosyaları). Koordinatlarını yüksek doğrulukla bildiğimiz noktalar zorlanarak ve koordinatlarını düşük doğruluklu bildiğimiz noktalar gevşek bırakılarak programın sonuçları değiştirilebilir. Bu H dosyalarını üretmemizin nedeni, GLOBK yazılımına geçerek noktaların verileri birleştirilerek istasyon noktalarının koordinatları, hızları, uydü yörüngeleri ve Dünya dönüş parametrelerinin tahmin edilmesidir (King ve Bock, 1998).

3.2 GLOBK

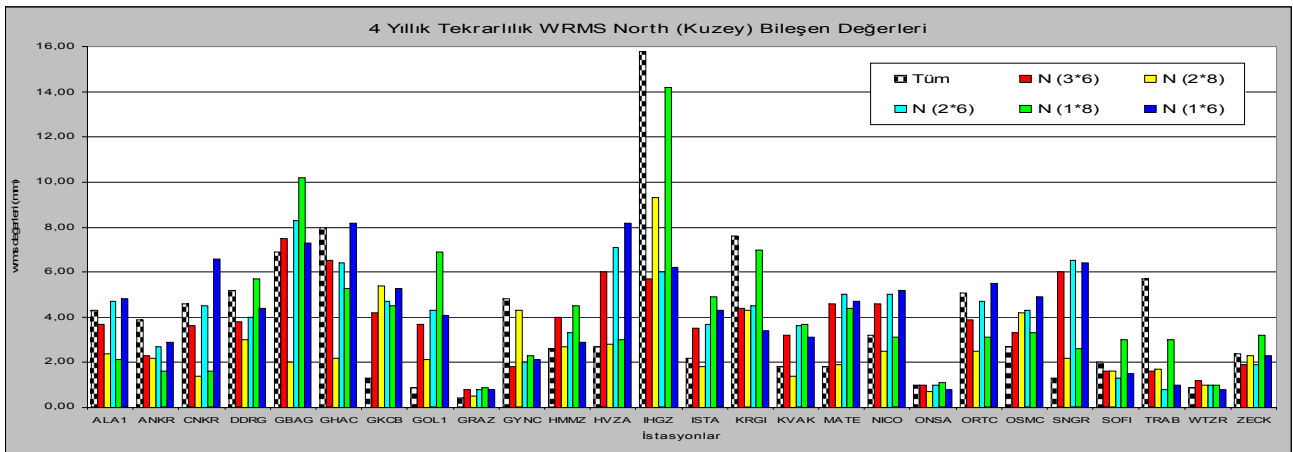
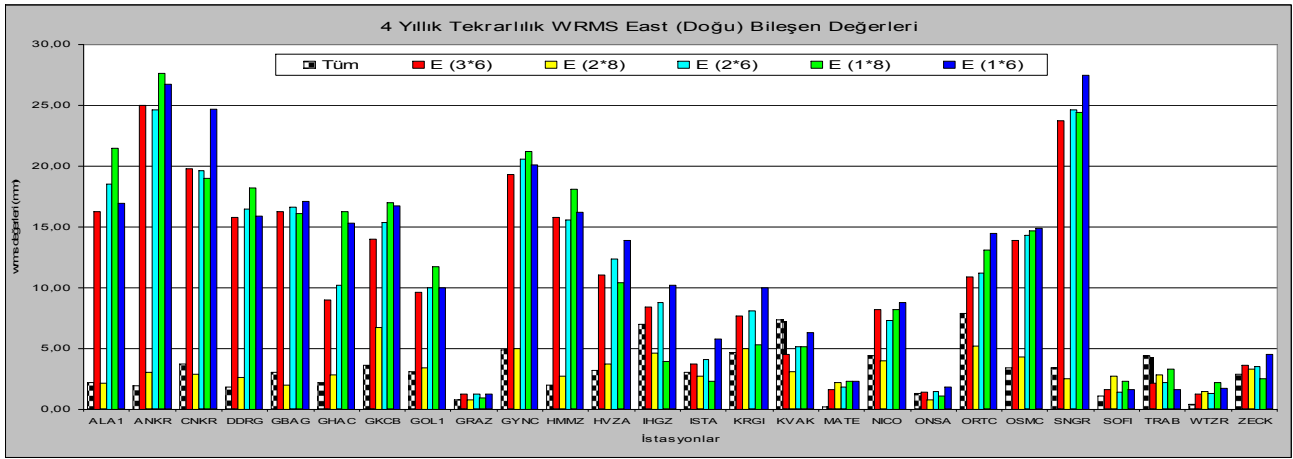
GLOBK kalman filtreleme yöntemi kullanarak parametre kestirimi yapan dünyada bir çok enstitü ve üniversite tarafından kullanılan bir programdır. Bu yazılımın temel amacı yersel gözlemler veya uzaysal jeodezi ile elde edilen birincil verilerin işlenmesiyle ortaya çıkan sonuçları birleştirmektir. GLOBK veri olarak ortak gözlemler bir başka

değişle istasyon nokta koordinatlarının tahmini ve ortak kovaryans matrisleri, dünya dönüş parametreleri, yörünge parametreleri ve birincil gözlemlerin analizinden üretilmiş konum bilgilerini kabul etmektedir. Birleştirme yapılırken uygulanacak sıkıştırılmaların tutarlı olabilmesi için serbest çözümlerin sonuçları öncül sonuçlar olarak elde edilmelidir(Herring, T. A., 1998). GLOBK, GPS (küresel konum belirleme sistemi) için tasarlanmış GAMIT ile birlikte bir ara yüzü olarak geliştirilmesine rağmen, bu iki programların yapısında kendine özgü özellikler vardır. Ama hem diğer GPS yazılımları ile üretilmiş olan çözümleri hem de yersel ve SLR (Uydu Lazer Uzunluk Ölçme) gözlemlerini, GLOBK başarılı bir şekilde de birleştirebilir.

4. SONUÇLAR

OKAF projesinde 16 noktalı GPS ve 10 noktalı IGS ağından elde edilen veriler yukarıda açıklandığı biçimde değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar ile 4 yıllık birleştirilmiş sonuçlar birlikte incelenmiştir. 4 yıllık birleştirilmiş sonuçlar “tüm” olarak ifade edilmiştir.

Dört yıllık tekrarlılık WRMS Doğu bileşen değerleri(Şekil 2) ve dört yıllık tekrarlılık WRMS Kuzey bileşen değerleri(Şekil 3) incelendiğinde ve $2g*8s=16$ saatlik ve $3g*6s=18$ saatlik veriler genel olarak kendi aralarında incelendiğinde $2g*8s=16$ saatlik verilerin daha iyi sonuç verdiği görülmektedir. Bu bağlamda günlük bazda daha uzun ölçme yapmanın çok günde parçalı ölçme yapmaktan daha iyi olduğu anlaşılmaktadır.

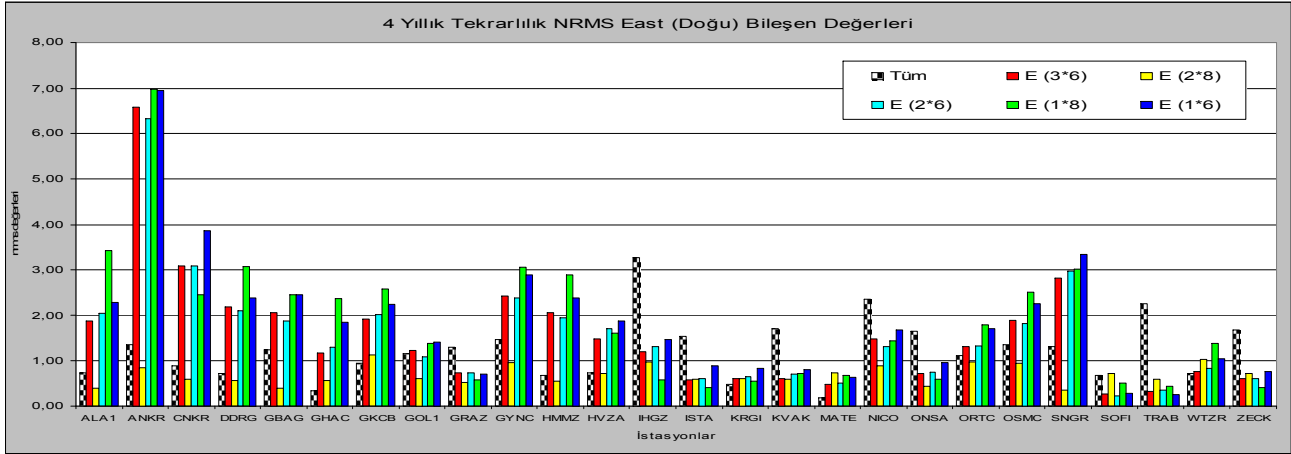


Tek gün içinde yapılan ölçmelerde 6 saatlik ve 8 saatlik veriler karşılaştırıldığında 8 saatlik verilerin 6 saatlik verilerden ortalama 1,23 mm daha iyi sonuç verdiği görülmüştür. wrms doğu bileşeni için “tüm”, $2g*8s=16$ saatlik, $3g*6s=18$ saatlik, $2g*6s=12$ saatlik ve 1 gün içinde 8 ve 6 saatlik değerlerin en iyiden en kötüye şeklinde sıralanarak sonuç verdiği söylenebilir.

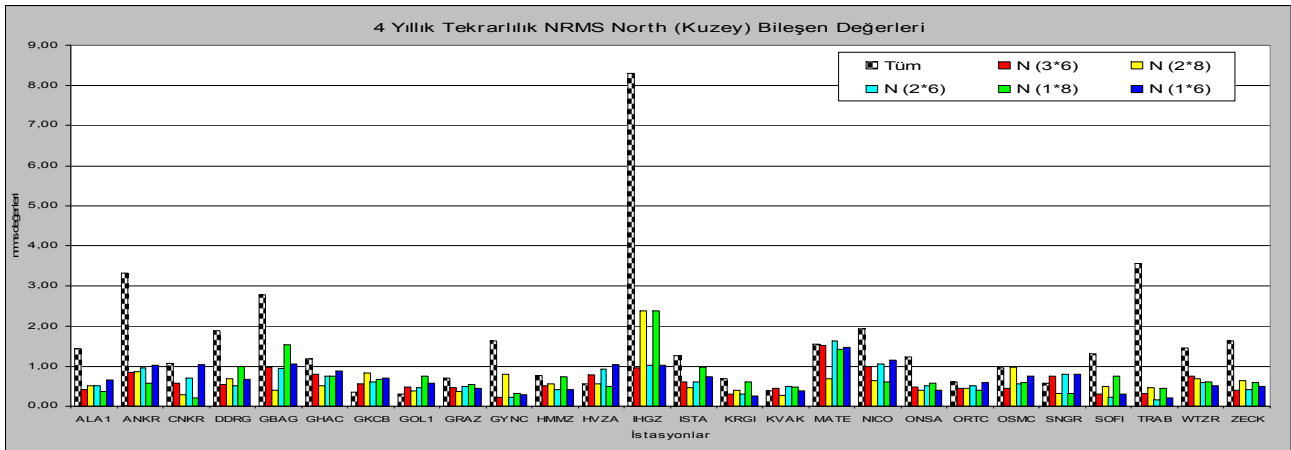
Yapılan çalışmada IHGZ noktası hariç wrms kuzey bileşeninin doğu bileşeninden daha iyi sonuçlara sahip olduğu gözlemlenmiştir. IHGZ noktasında yapılan değerlendirmede 8 saatlik ve “tüm” olarak adlandırılan ölçmelerde bozucu etkilerin çok olduğu anlaşılmaktadır.

Yapılan değerlendirmede sonuçlar, sırasıyla en iyiden en kötüye $2g*8s=16$ saatlik, “tüm”, $3g*6s=18$ saatlik, $2g*6s=12$ saatlik ve 1 gün içinde ölçülen 8 saatlik ve 6 saatlik şeklinde sıralanmıştır.

Dört yıllık tekrarlılık NRMS Doğu bileşen değerleri(Şekil 4) ve dört yıllık tekrarlılık NRMS Kuzey bileşen değerleri(Şekil 5) incelendiğinde ve tek gün içinde yapılan ölçmelerde 6 saatlik ve 8 saatlik verilerin normalize edilmiş değerleri karşılaştırıldığında bu değerlerin 1 civarında yoğunlaştığı görülmektedir. Bu da çözümlerin iyi olduğu hakkında bilgi vermektedir.



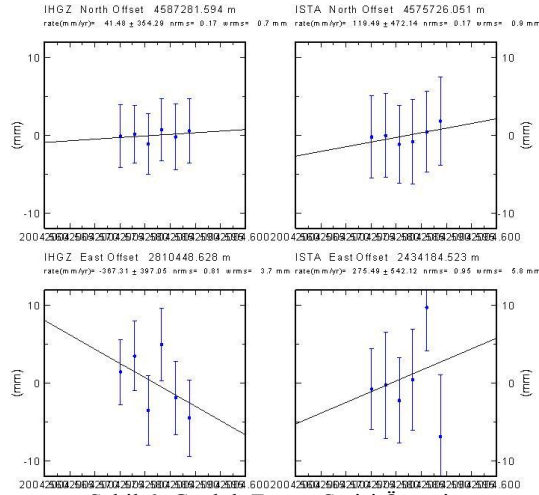
Şekil 4: Dört Yıllık Tekrarlılık NRMS Doğu Bileşen Değerleri



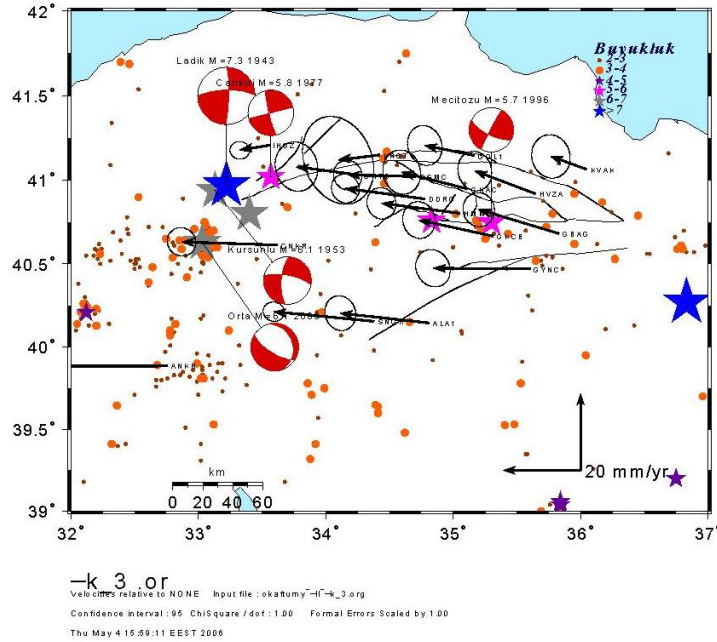
Şekil 5: Dört Yıllık Tekrarlılık NRMS Kuzey Bileşen Değerleri

Tüm grafiklere bakıldığında en iyi sonuçlar IGS istasyonlarındadır. Bunun sebebi yaklaşık nokta koordinatlarının çok iyi bilinmesi ve 24 saatlik verilerin değerlendirmede kullanılmış olmasıdır.

Ölçme sürelerinin doğruluğa etkisi OKAF GPS ağı içinde sürekli veri alınan istasyonlarda (IHGZ,SNGR,ALA1) daha açık görülmektedir. Bunun sebebi sürekli istasyonların verileri, 24 saatlik veriler halinde değerlendirmeye katılmıştır. İhsangazi(IHGZ) ve İstanbul(ISTA) istasyonlarının 2004 yılına ait 6 günlük gözlemlerden elde edilen tekrarlılıkları aşağıdaki şekilde(Şekil 6) gösterilmektedir.

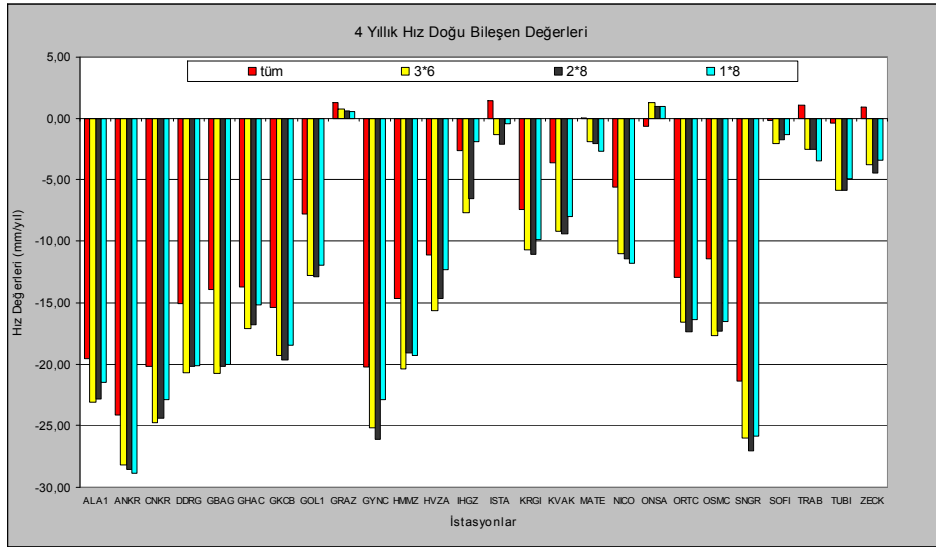


Hız farklarının yorumlanması amacıyla hız bileşenleri grafiği (Şekil 7) incelendiğinde bütün çözümlerin yön itibariyle tutarlı olduğu gözlenmektedir. Bu bağlamda yapılan çalışmanın beklenen Anadolu'nun Batı'ya kaçı sonucunu gösterdiği söylenebilir (Yavaşoğlu, 2003).

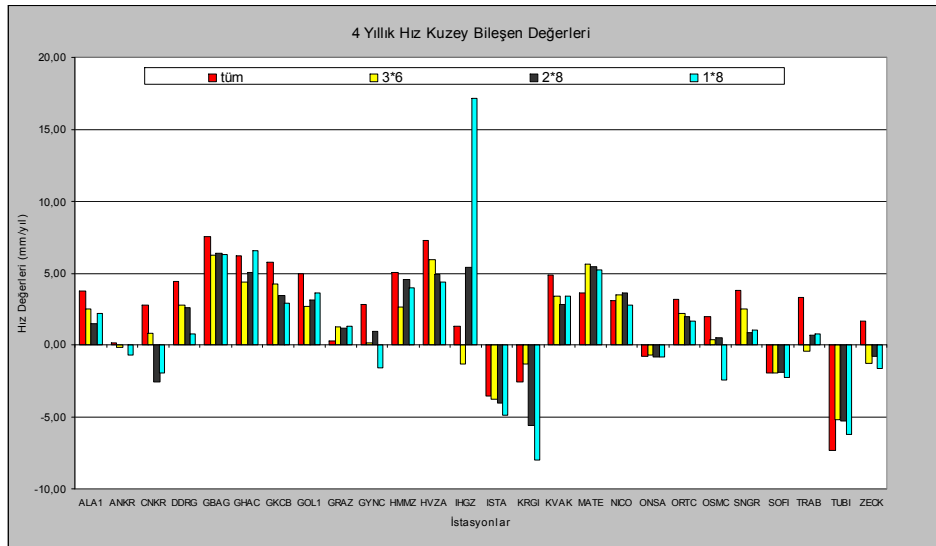


Hız büyüklükleri arasında, Kuzey Anadolu Fayı'nın kuzeyi ve güneyi arasında hız farkı olduğu bileşke hızlardan görülmektedir (Yavaşoğlu, 2003). Bileşke hızlar arasında "tüm" sonuçlar ile diğer çözümler (3g*6s=18 saatlik, 2g*8s=16 saatlik, 1g*8s=8 saatlik) arasında yaklaşık 5 mm/yıl'a varan farklar göze çarpmaktadır (Şekil 8 ve Şekil 9). Bu farklar Kuzey Anadolu Fayı'nın hem güneyinde ve hem de kuzeyindeki noktalarda görülmektedir.

IGS noktalarının çözümlerinin wrms, nrms ve hız değerleri açısından yapılan tüm çözümler için tutarlı olduğu sonucuna varılmıştır. Bu noktadan hareketle çözümlerin iyi olduğu yorumu yapılabilir.

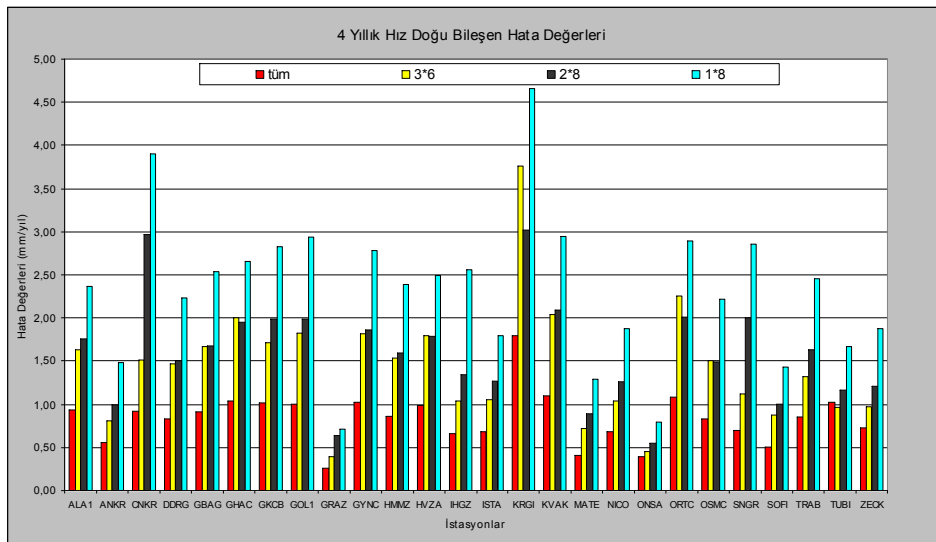


Şekil 8: Dört Yıllık Hız Doğu Bileşen Değerleri

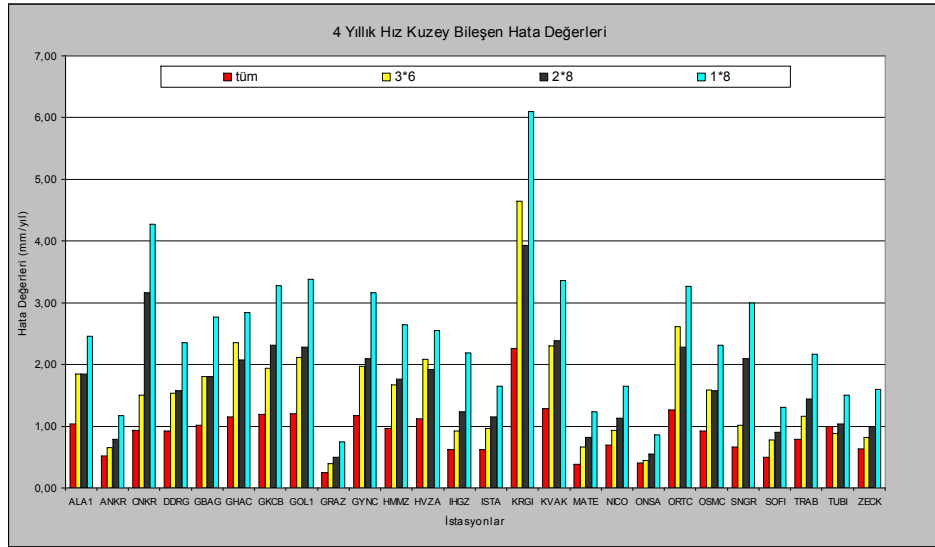


Şekil 9: Dört Yıllık Hız Kuzey Bileşen Değerleri

Hız bileşenlerinin hata değerleri grafiği (Şekil 10 ve Şekil 11) incelendiğinde, beklenen sonuç olan “gün içinde az miktarda ölçünün büyük hata değerine sahip olması” gözlenmiştir. Bundan dolayı en iyi sonuçlar “tüm” ölçülerde bulunmaktadır, daha sonraki sıralama ise sırasıyla $3g*6s=18$ saatlik, $2g*8s=16$ saatlik, $1g*8s=8$ saatlik şeklindedir.



Şekil 10: Dört Yıllık Hız Doğu Bileşen Hata Değerleri



Şekil 11: Dört Yıllık Hız Kuzey Bileşen Hata Değerleri

KAYNAKLAR

Herring, T. A., 1998. *Global Kalman Filter VLBI and GPS Analysis Program Version 4.1 Internal Memorandum*, Massachusetts Institute of Technology, ABD

King, R. W. And Bock, Y., 1998. *Documentation for the GAMIT Analysis Software, release 9.7*, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, ABD

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

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

Yıldız, S.S., Yağcı, A. ve Özkan, A., 2006. *GPS Gözlem Sürelerinin Yüksek Doğruluklu Çalışmalarda Zaman Serileri ve Hız Vektörleri Üzerine Etkisi, Lisans Bitirme Projesi*, İ.T.Ü. Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü, İstanbul

Yıldız, S. S., Yagci, A., Ozkan, A., Yavasoglu, H., Altin, M. U., Torun, M. K., Korkmaz, N., Tari, E., Sahin, M., 2006. *Effects of GPS Observation Duration on the Velocity Vectors and Time Series*, International Symposium of Modern Technologies, Education and Professional Practice in Geodesy and Related Fields, Sofia