

BÖLGESEL/ÜLKE GPS ÇALIŞMALARINDA ÖLÇME PLANLAMA

D. Uğur Şanlı¹

¹BÜ, Boğaziçi Üniversitesi, Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, Jeodezi Ana Bilim Dalı, Çengelköy, İstanbul,
ugur.sanli@boun.edu.tr

ÖZET

Bugün artık GPS'in doğruluğu büyük ölçüde formüle edilmiş bulunmaktadır. GPS bağıl konum belirlemenin kullanıldığı statik ve hızlı statik yöntemler için matematik modeller üretilmiştir. GPS hassas nokta konum belirleme için de matematik model geliştirilmiştir. Gerçek zamanlı kinematik GPS'in doğruluğu ise birkaç durum çalışmasıyla verilmiş bulunmaktadır. Bu matematiksel modeller yardımıyla ölçme planlama mümkün olabilmektedir. Bölgesel/ülke GPS ölçme planlamalarında bu matematiksel modellerden nasıl yararlanılacağı güncel çalışmalardan örnekler verilerek ele alınmaktadır.

Anahtar Sözcükler: GPS Doğruluğu, Ölçme Planlama, Bağıl Konum Belirleme, Hassas Nokta Konum Belirleme, Prediksiyon

ABSTRACT

SURVEY PLANNING IN REGIONAL/NATIONAL GPS STUDIES

Today the accuracy of GPS has been formulated in detail. Mathematical models are available for static and rapid static GPS which use relative point positioning. Mathematical models have also been developed for Precise Point Positioning (PPP). The accuracy of the real time kinematic (RTK) have been studied with a few case studies. Through these mathematical models survey planning prior to field works should be possible. The study takes into consideration how this mathematical modelling is used in regard to the regional/national GPS survey planning by giving examples from contemporary studies.

Keywords: GPS Accuracy, Survey Planning, Relative Positioning, Precise Point Positioning, Prediction

1. GİRİŞ

GPS teknolojinin jeodezik uygulamalarda rutin olarak kullanımını takiben teknikten etkin olarak yararlanabilmek amacıyla ayrıntı çalışmaları yürütülmeye başlamıştır. Bu bağlamda bir ilgi alanı da GPS'in doğruluğunun araştırılmasıdır (Eckl vd., 2001; Haklı vd. 2008, Sanli ve Engin, 2009; Sanli ve Tekic, 2010). Deneyimler teknolojinin doğruluğunun kullanılan ölçme ve değerlendirme yöntemine göre ve de dolayısıyla kullanılan yazılıma bağlı olarak değiştiğini göstermektedir (Dogan, 2007; Schwarz vd., 2009; Hastaoglu ve Sanli, 2011). Ölçme ve değerlendirme yöntemi ise kullanım amacına yani ihtiyaca bağlı olarak belirlenmektedir (Pirti, 2011; Soyman ve Ocalan, 2011; Hastaoglu ve Sanli, 2008).

Mühendislik uygulamaları için nokta sıklaştırmaları ya da çeşitli inşaat çalışmaları yapılacaksa gözlem süresi birkaç saniye ile birkaç dakika arasında değişen gerçek zamanlı kinematik (RTK) ya da hızlı statik GPS tercih edilmektedir (Pirti, 2011; Hastaoglu ve Sanli, 2008; Schwarz vd., 2009). Bu tür uygulamalarda daha ziyade hızlı ve pratik çözüm üreten, uygulamacı için özel tasarlanmış ticari yazılımlar tercih edilmektedir. Salt jeodezik kaygılar, doğal afetlerin izlenmesi, ülke ölçmeleri ve bölgesel çalışmalar gözetildiğinde ise yöntem olarak gözlemlerin 1-24 saat ya da sürekli olarak yapıldığı statik GPS öne çıkmakta ve veriler daha ziyade, ileri matematik modelleri içeren araştırma yazılımları ile değerlendirilmektedir (Eckl vd., 2001; Soler vd. 2006; Sanli ve Engin 2009).

Araştırmacılar son on yıldır statik GPS'in doğruluğunu farklı yaklaşımlarla modellemeye çalışmaktadır. Bu konudaki ilk yaklaşım GPS'in doğruluğunu ülke ölçmeleri kapsamında ele alarak 30-300 km bazları için belirlemektedir (Eckl vd., 2001). İkinci yaklaşım ise yukarıdaki baz aralığında 1-3 saat gözlemlerinin tatminkar olmadığını göstermekte ve 1-3 saatlik GPS gözlemlerinden elde edilen GPS çözümlerinin doğruluğunun farklı bir yaklaşımla modellenmesini benimsemektedir (Soler vd., 2006). Konu ile ilgili bir üçüncü yaklaşım ise var olan modellerin ülke GPS ağlarının oluşturulması ve tektonik araştırmaların yürütülmesi vb. konularında GPS'in doğruluğunu kestirmede yetersiz kaldığını ve 300-3000 km bazları için ayrı bir modelleme yapılması gerektiğini vurgulamaktadır (Sanli ve Engin, 2009). Sözü edilen çalışmalar GPS'in temel değerlendirme yöntemi olan "bağıl konum belirleme (relative positioning)" kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Oysaki son zamanlarda tek alıcı kullanarak mm duyarlılığında konum belirleme ya da diğer adıyla "hassas nokta konum belirleme (precise point positioning ya da PPP)" yaygın olarak kullanılmaya başlamıştır (Zumberge vd., 1997; Bertiger vd., 2010). Dolayısı ile çok yakın zaman önce GPS doğruluğu bir de hassas nokta konum belirleme yöntemi için belirlenmiştir (Sanli ve Tekic, 2010). Bu çalışmalar sonucunda GPS'in doğruluğu tahmin eden formüller üretilmiştir. Üretilen formüllerde doğruluğun gözlem süresi ve baz uzunluğuna bağlı olduğu görülmektedir. Beklenildiği üzere doğruluk kısa bazlarda sadece gözlem süresine, uzun bazlarda ise hem gözlem süresine ve hem de

baz uzunluğuna bağlıdır. Hassas nokta konum belirleme için de beklenildiği gibi doğruluk sadece gözlem süresinin bir fonksiyonudur.

Bu çalışmada, GPS doğruluğunu tahmin etmek için üretilen basit formüllerin ölçme planlamada nasıl kullanılacağı ele alınmaktadır. Böylesi bir incelemenin “jeodezik ağların (ya da GPS ağlarının) optimizasyonu” ve GPS ile deformasyon ölçmeleri çalışmalarına ışık tutacağı değerlendirilmektedir. Ölçek olarak ülke ölçmeleri ve bölgesel çalışmalar gözetilmekte ve GPS verilerinin değerlendirmesinde öne çıkan bağıl konum belirleme ve hassas nokta konum belirleme yöntemleri için geliştirilen kestirim formülleri karşılaştırmalı olarak tartışılmaktadır. Ülkemizde günümüze değin jeodezik anlamda yürütülen GPS kampanyalarının doğruluğu, yürürlükteki teknik yönetmelik ve sözü edilen modeller kapsamında irdelenecek ve bundan sonraki çalışmalar için önerilerde bulunulacaktır.

2. TÜRKİYE ULUSAL TEMEL GPS AĞI (TUTGA)’NIN SIKLAŞTIRILMASI

Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği BÖHHBÜY (2008)’de C_1 derece sıklaştırma noktalarının 15-20 km baz uzunluklarından oluşabileceği ve sıklaştırma için GPS gözlemlerinin minimum 2 saat alınabileceği ifade edilmektedir. Dolayısı ile 2 saatlik ölçülerin doğruluğu Soler vd. (2006) kapsamında değerlendirilebilir. Tablo 1’de Soler vd. (2006)’da verilen prediksyon formülleri kullanılarak 1 ve 2 saatlik GPS statik gözlem süreleri için beklenen doğruluk değerleri ve BÖHHBÜY’de verilen ve C_1 nolu noktaların serbest dengelemesi sonucu elde edilmesi beklenen standart sapmalar karşılaştırılmaktadır.

Tablo 1: İki saatlik statik GPS ölçümlerinden türetilen çözümlerin doğruluğu

GPS Baz Bileşenleri Karesel Ort. Hata	1 saat (cm)	2 saat (cm)	BÖHHBÜY (cm)
Kuzey	2.1	0.8	3.0
Doğu	6.3	2.1	3.0
Yukarı	8.5	3.4	3.0

Tablodan görüldüğü üzere minimum 2 saatlik GPS gözlemi ile yatay bileşenler için BÖHHBÜY kriterleri sağlanmakta ve fakat düşey bileşen için bir miktar daha ölçüm yapma gereksinimi ortaya çıkmaktadır. Tabi burada ağ geometrisinin yani ağın iç ve dış güvenilirliğinin mükemmel olduğu ve koordinatların sadece ölçme doğruluğundan etkileneceği varsayılmıştır. Sanli ve Kurumahmut 2011, baz noktaları arasında aşırı yükseklik farkı bulunduğu 1-3 saat gözlemlerden elde edilen GPS sonuçlarında düşey bileşenin daha fazla etkilendiğini göstermekte ve ülkemiz gibi engebeli bir yapıya sahip coğrafyalarda bunun da dikkate alınması gerekmektedir.

BÖHHBÜY’de ortalama 5-15 km baz uzunluklu C_2 noktalarının sıklaştırılmasında 45-60 dakika oturum süreleri ve statik yöntem önerilmekte ve dayalı dengeleme sonrası eşik değerleri olarak enlem ve boylam için 3 cm, yükseklik için ise 5cm benimsenmektedir. Oysaki tablonun 1. sütununda bir saatlik GPS gözlemlerinin doğruluğunun 2 saatliklere oranla 2-3 kat daha kötü olduğu ve bu durumda sıklaştırmada arzu edilen doğruluk değerlerine ulaşamayacağı görülmektedir. Yalnız bu noktada dikkat edilecek bir husus, Soler vd. (2006)’da yapılan prediksyonun 20-360 km bazlarından türetilmiştir. Hakli vd. (2008)’in makalelerinde, Şekil 11’de, ticari yazılım kullanarak ürettiği doğruluk sonuçlarına bakıldığında 5-15 km baz uzunluğunda ve 45-60 dk gözlem sürelerinde elde edilen mutlak konum hatasının 1-2 cm civarında olduğu ve bunun da ilgili BÖHHBÜY eşik değerleri içinde kaldığı görülmektedir. Yalnız, C_2 sıklaştırması eğer tavan değer kabul edilen 15 km baz uzunluğunda gerçekleştirilirse Tablo 1’deki değerlendirmenin de esas alınabileceği durumu gündeme gelmektedir. Bu durumda Sanli ve Kurumahmut 2011 ve Soler vd. 2006 bulguları birbirine yakınlık göstermesine rağmen Hakli vd. 2008 bulgularından ayrı düşmektedir.

3. TUTGA’NIN YAŞATILMASI VE TÜRKİYE’NİN TEKTONİĞİ

TUTGA’nın oluşturulması ve yaşatılmasında Avrasya kıtasındaki IGS noktaları ile ulusal IGS noktalarımız arasında uzunluğu 1000-2000 km’ye ulaşan bazlardan yararlanılmıştır (Ayhan vd., 2002). Benzeri bir durum Avrasya kıtası sabit tutularak yürütülen ulusal GPS tektonik çalışmaları için de söz konusudur (Reilinger vd., 2006; Aktug ve Kilicoglu, 2006; Ergintav vd., 2007; Ozener vd., 2010). Eckl vd. (2001)’de üretilen formüller sadece 30-300 km aralığı için geliştirildiğinden uzun bazlarda beklenen doğruluk düzeyini predikte etmede yetersiz kalmaktadırlar. Sanli ve Engin 2009, 300-3000 km uzunluğundaki bazlar için GPS doğruluğunu predikte eden formülleri üretmiştir.

Tablo 2’de Sanli ve Engin (2009)’da verilen formüller ile farklı süredeki GPS kampanya ölçümlerinin doğruluğu 1000 km baz uzunluğu için predikte edilmektedir. Doğruluk değerleri, bugün GPS bileşenleri için en ideal eşik değerler olarak önerilebilecek, IGS ağı sürekli GPS gözlemleri kullanılarak belirlenen baz bileşenleri doğruluk eşik değerleri ile karşılaştırılmaktadır.

Tablo 2: Uzun bazlarda 6-24 saat statik GPS gözlemlerinden elde edilen çözümlerin doğruluğu

	6 saat	8 saat	10 saat	24 saat	IGS
Kuzey (mm)	3.6	3.2	2.8	1.8	3.0
Doğu (mm)	6.0	5.2	4.7	3.0	3.0
Yukarı (mm)	12.6	10.9	9.8	6.3	6.0

Tablodan görüldüğü üzere pratikte sıkça kullanılan 8-10 saatlik gözlem süreleri uzun bazlarda doğu ve özellikle yükseklik bileşeninin çözümünde yetersiz kalmakta ve bunun da hız kestiriminde duyarlılığı etkileyebileceği değerlendirilmektedir.

Tablo 3'de 300 km'den küçük bazlar için Eckl vd. (2001) ile gerçekleştirilen prediksyon görülmektedir.

Tablo 3: 300 km'den küçük bazlar için Eckl vd. 2001 prediksyonu

	6 saat	8 saat	10 saat	24 saat	IGS
Kuzey (mm)	4.0	3.5	3.2	2.0	3.0
Doğu (mm)	4.0	3.5	3.2	2.0	3.0
Yukarı (mm)	15.0	13.0	11.7	7.5	6.0

Tablodan görüldüğü üzere kısa-orta uzunluktaki bazlarda yatay bileşenin hemen hemen beklenen doğrulukta belirlenebileceği ve fakat düşey bileşen için aynı durumun söz konusu olmadığı görülmektedir.

Sanli ve Tekic (2010) benzeri bir çalışmayı hassas nokta konum belirleme için gerçekleştirmiş ve Tablo 4'deki prediksyonu elde etmişlerdir.

Tablo 4: Hassas nokta konum belirleme (PPP) için doğruluk prediksyonu

	6 saat	8 saat	10 saat	24 saat	IGS
Kuzey (mm)	5.7	4.9	4.4	2.8	3.0
Doğu (mm)	8.6	7.4	6.6	4.3	3.0
Yukarı (mm)	16.7	14.5	13.0	8.4	6.0

Tablodan görüldüğü üzere PPP için 8-10 saat gözlem süresi tüm baz bileşenleri için arzu edilen düzeyde gerçekleşmemekte ve bunun da yatay ve düşey hız kestirimini olumsuz yönde etkileyeceği değerlendirilmektedir.

4. SONUÇ

Ülke temel GPS ağlarının oluşturulması, yaşatılması ve sıklaştırılmasında ve de kabuk hareketlerinin GPS ile izlenmesinde kampanya statik GPS ölçümleri 80'li yılların başından bu yana yaygınca kullanılmaktadır. Bugün ideal ölçme sistemi sürekli GPS olmasına karşın birçok çalışmada bu sistem masraflı olması nedeniyle malesef benimsenememektedir. Durum böyle olunca kampanya GPS ölçümlerinin arzu edilen doğruluk düzeyine göre uygun bir biçimde planlanması gerekmektedir. Bu bağlamda günümüzde kampanya GPS ölçülerinin/sonuçlarının doğruluğunu predikte eden basit formüllerden yararlanılabilir.

Yapılan incelemeler pratikçe sıkça kullanılan 8-10 saatlik GPS gözlemlerinin 1000 km ve daha uzun bazlarda bağlı GPS konum belirleme ile türetilen doğu ve yukarı bileşenleri için tatminkar sonuç vermeyeceğini göstermektedir. Benzer şekilde, 300 km'nin altındaki bazlarda ise yatay bileşenin tatminkar olarak belirlenebildiği ve fakat düşey bileşende biasa yol açabileceği değerlendirilmektedir. Hassas nokta konum belirleme için ise 8-10 saatlik gözlem süreleri, yatay biraz daha iyi olmakla birlikte üç bileşen için de tatminkar sonuç vermediği gözlenmiştir.

GPS baz bileşenlerinin arzu edilen doğruluk düzeyinde belirlenememesi sadece konum bilgisini değil hız kestirimini de etkileyecektir. Dolayısı ile kampanya ölçümlerinin özellikle uzun bazlarda tercihen 24 saatlik oturumlar ile gerçekleştirilmesi ya da bahar ve yaz aylarında güneş ışığından olabildiğince yararlanılabilecek daha uzun zaman dilimlerine uzatılması önerilmektedir. Referans noktası olarak mümkünse ülkemizdeki IGS noktalarından yararlanılması, değerlendirme kısa bazlar ile gerçekleştirildiğinden en azından yatay bileşenin doğruluğunu garanti altına alacaktır.

C₁ ve C₂ dereceli noktaların sıklaştırılması için önerilen, sırasıyla minimum 2 ve 1 saat gözlem süresinin hemen hemen tatminkar sonuçlar verdiği görülmektedir. Yine de, GPS düşey konum konum belirleme üzerine yapılan son çalışmalar göz önüne alındığında, özellikle C₁ ve C₂ noktalarının engebeli arazilerde sıklaştırılmasında düşey bileşenin daha doğru belirlenebilmesi için gözlem süresinin bir miktar daha artırılması gerektiği ortaya çıkmaktadır.

KAYNAKLAR

Aktug B. and Kilicoglu A., 2006. *Recent crustal deformation of Izmir, Western Anatolia and surrounding regions as deduced from repeated GPS measurements and strain field*, Journal of Geodynamics, no: 41, page: 471.

Ayhan M.E., Demir C., Lenk, O., Kılıçoğlu A. vd., 2002, *Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı-1999A (TUTGA-99A)*, Harita Dergisi, Özel Sayı: 16, 71 sayfa.

Bertiger W., Desai S.D., Haines B., Harvey N., Moore A.W., Owen S., Weiss J.P., 2010. *Single receiver phase ambiguity resolution with GPS data*, Journal of Geodesy, no: 84, page: 327.

BÖHHBÜY, 2008. *Açıklamalı-Örnekleme Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği*, Eds. Rasim Deniz ve Rahmi N. Çelik, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, İskur Matbaacılık Kağıtçılık San. Ve Tic. Ltd. Şti., 260 s.

Dogan U., 2007. *Accuracy Analysis of Relative Positions of Permanent GPS Stations in the Marmara Region, Turkey*, Survey Review, no: 39(304), page: 156.

Eckl M.C., Snay R.A., Soler T., Cline M.W., Mader G.L., 2001. *Accuracy of GPS-derived relative positions as a function of inter-station distance and observing-session duration*, Journal of Geodesy, no: 75, page: 633.

Ergintav S., Dogan U., Gerstenecker C., Cakmak R., Belgen A., Demirel H., Aydın C., Reilinger R., 2007. *A snapshot (2003–2005) of the 3D postseismic deformation for the 1999, Mw = 7.4 Izmit earthquake in the Marmara Region, Turkey, by first results of joint gravity and GPS monitoring*, Journal of Geodynamics, no: 44, page: 1.

Hakli p., Koivula H. and Puupponen J., 2008. *Assessment of Practical 3-D Geodetic Accuracy for Static GPS Surveying*, FIG Working Week 2008, 14-19 June, Stockholm, Sweden.

Hastaoglu K.O. and Sanli D.U., 2008. *Accuracy of GPS rapid static positioning: Application to Koyulhisar landslide, central Turkey*, Survey Review (in press)

Hataoglu K.O. and Sanli D.U., 2011. *Monitoring Koyulhisar Landslide Using Rapid Static GPS: A Strategy to Remove Biases from Vertical Velocities*, Natural Hazards, DOI: 10.1007/s11069-011-9728-5, in press.

Ozener H., Arpat E., Ergintav S., Dogru A., Cakmak R., Turgut B., Dogan U., 2010. *Kinematics of the eastern part of the North Anatolian Fault Zone*, Journal of Geodynamics, no: 49, page: 141.

Pirti A., 2011. *Evaluating the repeatability of RTK GPS*, Survey Review, sayı: 43-320, in press.

Reilinger R., McClusky S., Vernant P., Lawrence S., Ergintav S., Cakmak R., Ozener H., Kadirov F., Guliev I., Stepanyan R., Nadariya M., Hahubia G., Mahmoud S., Sakr K., ArRajehi A., Paradissis D., Al-Aydrus A., Prilepin M., Guseva T., Evren E., Dmitrova A., Filikov S. V., Gomez F., Al-Ghazzi R., Karam G., 2006. *GPS constraints on continental deformation in the Africa-Arabia-Eurasia continental collision zone and implications for the dynamics of plate interactions*, Journal of Geophysical Research, no: 111(B0), page: 5411.

Sanli D.U. and Engin C., 2009. *Accuracy of GPS positioning over regional scales*, Survey Review, no: 41(312), page: 192.

Sanli D.U. and Tekic S., 2010. *Accuracy of GPS Precise Point Positioning: A Tool for GPS Accuracy Prediction*, LAP Lambert Academic Publishing, 60 p.

Sanli D.U. and Kurumahmut F., 2011. *Accuracy of GPS positioning in the presence of large height differences*, Survey Review, no: 43(320), in press.

Schwarz R.C., Snay A.R., Soler T., 2009. *Accuracy assessment of the National Geodetic Survey's OPUS-RS utility*, GPS Solutions, no: 13, page: 119.

Soler, T., Michalak, P., Weston, N. D., Snay, R. A., Foote, R. H., 2006. Accuracy of OPUS solutions for 1- to 4-h observing sessions. *GPS Solutions*, no: 10, page: 45.

Soycan M. and Ocalan T. 2011, *A regression study on relative GPS accuracy for different variables*, Survey Review, no: 43(320), in pres.

Zumberge J. F., Heflin M. B., Jefferson D.C., Watkins, M.M., and Webb, F.H., 1997. *Precise point positioning for the efficient and robust analysis of GPS data from large networks*, Journal of Geophysical Research, no: 102, page: 5005.