

Yeni Gelişmeler Işığında Ağ Hiyerarşisi, Ölçü Süreleri ve Duyarlık Ölçütlerinin İncelenmesi

(An Overview of Network Hierarchy, Observation Time Spans and Precision Criteria of in View of the Recent Developments)

Bahadır AKTUĞ, Onur LENK
Harita Genel Komutanlığı, Ankara
bahadir.aktug@hgk.msb.gov.tr

ÖZET

Uzay tabanlı jeodezik ölçü teknikleri 1990'lı yılların başlarında tekâmülünü tamamlamakla birlikte, uygulamaya dönük gelişmeler halen büyük bir hızla devam etmektedir. Yersel ölçülerden uydu tabanlı ölçü sistemlerine geçiş sürecinde karşılaşılan birtakım sorunlar günümüzde mevcut değildir. Özellikle GPS ölçülerinin baz uzunluğuna bağlı hatalarında oldukça iyileşme sağlanmış, iyileşen yörünge parametreleri ve atmosferik modelleme teknikleriyle daha uzun bazların daha kısa süreyle ve de daha duyarlı olarak hesaplanabilmesi olanağı doğmuştur. Bu anlamda, yersel ağlar için öngörülen ölçütlerin doğrudan uydu tekniklerine dayalı ağlar için uygulanması uygun değildir. Yatay kontrol ağlarının aksine uydu tabanlı yersel ağlarda uzun bazların ölçülebilmesi olanaklı olduğundan hataların yayılması söz konusu değildir. Bilakis, bu tür ağlarda olması gerekenden fazla ağ hiyerarşisi oluşturulduğu takdirde hataların birikmesi söz konusu olmaktadır.

Bu çalışmada, Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği (BÖHHBÜY) kapsamındaki ağ hiyerarşisi ile ön görülen ölçü süreleri ve duyarlık ölçütleri, TUTGA (Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı), TUSAGA (Türkiye Ulusal Sabit GPS İstasyonları Ağı) ve TUSAGA-Aktif ile günümüz ölçü duyarlıkları kapsamında incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar, BÖHHBÜY' nde ön görülen ölçü süreleri ve baz uzunluğu sınırlamalarının günümüz koşullarında yeniden ele alınması gerektiğini ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: GPS bazı, doğruluk, duyarlık, BÖHHBÜY, ağ hiyerarşisi.

ABSTRACT

While space-based geodetic measurements techniques matured in the early 1990s, application oriented developments are still on the way. On the other hand, the problems encountered during the transition from the terrestrial measurements to space-based techniques do not exist any more. In particular, baseline length dependency of the errors has been improved and it was made possible to obtain better precision over longer baselines in shorter observation spans. In this respect, it is not appropriate to directly transfer the precision criteria conceived for terrestrial network to the space-based networks. The errors in space-based networks do not propagate over longer baselines in contrast to the terrestrial networks. On the contrary, any subnetwork hierarchy more than necessary is the main cause of precision loss.

In this study, the network hierarchy and observation duration requirements within the bylaw titled "The Production of Large-Scale Maps and Mapping Information (PLSMMI) are examined with respect to TUTGA, TUSAGA, TUSAGA-Active and the current observation accuracy. Results suggest that updating and revising the current requirements of the relevant Bylaw is necessary.

Key Words: GPS baseline, accuracy, precision, BÖHHBÜY, network hierarchy.

1. GİRİŞ

Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği (BÖHHBÜY) ile ilgili çalışmalar, 2001 yılında Bakanlıklararası Harita ve Harita İşleri Koordinasyon ve Planlama Kurulu (BHİKPK)'nin Program ve Yönetmelikler Komisyonu tarafından başlatılmış, büyük gayretlerle hazırlanmış, 23 Haziran 2005 tarihinde Bakanlar Kurulu tarafından onaylanmış ve 15 Temmuz 2005 tarihinde resmi gazetede yayınlanarak yürürlüğe girmiştir. Her ne kadar BÖHHBÜY' ün yürürlüğe girmesi 2005 yılına kadar gecikse de, hazırlık aşamasında oluşturulan taslak yönetmelik Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı (TUTGA-99A) koordinatlarının yayınlandığı 2002 yılından itibaren birçok kamu kurumu tarafından özel teknik şartnameler yoluyla uygulamaya sokulmuştur. BÖHHBÜY, temel olarak GPS ile göreceli statik yöntem kullanılarak nokta sıklaştırmasını ön görmektedir. Kullanıma girecek olan Türkiye Ulusal Sabit GPS İstasyonları Ağı (TUSAGA-Aktif) gerçek zamanlı kinematik bir sistem olarak C4 dereceli noktaların doğrudan üretilmesine olanak tanımaktadır. Bununla birlikte, nokta sıklaştırma ihtiyacının devam edeceği ve statik yöntemle konum bilgisi üretilmesinin sıkça başvurulmuş bir yöntem olarak kalacağı beklenmektedir. Statik yöntemle konumlama ihtiyacının devam etmesinin birkaç nedeni sayılabilir:

- Ülkemiz gibi engebeli topoğrafyaya sahip bir coğrafyada mevcut GSM (Global System for Mobile Communications) altyapısının yetersiz kalacağı birçok coğrafi bölge mevcuttur.

- Ülkemizde kamu kurumları ve özel şirketlerde mevcut olan yaklaşık 4000 adet çift frekanslı GPS alıcısının yarısından fazlası RTK (Real-Time Kinematic) özelliğine sahip değildir.
- Statik yöntem gerçek zamanlı kinematik yöntemden daha hassas olup, yüksek duyarlık gerektiren uygulamalar için statik yöntemle GPS gözlemi zorunludur (deformasyon analizi, jeodinamik vb.).
- RTK hizmeti ücretli olup, çalışma zamanı yönüyle bir sınırlılığı olmayan ticari kullanıcılar daha fazla zaman almasına rağmen statik yöntemi tercih edebilirler. Benzer şekilde, sahip olduğu alıcılar RTK özelliğine sahip olmayan kullanıcılar, yeni alıcılar almak yerine statik yöntemi tercih edebilirler.
- Ülkemizde önemli sayıda yersel (klasik) optik ölçme aleti (açı/uzaklık ölçerler, total station) bulunmakta olup, kullanıcıların en azından belirli bir süre daha detay alımı, poligon ölçümü gibi bazı çalışmaları ellerinde mevcut bu aletlerle gerçekleştireceği beklenmektedir. Diğer yandan yersel ölçüm aletleriyle ölçülmesi daha uygun olan bina köşesi vb. detaylar da mevcuttur. Bu aletlerin çıkış alacağı üst dereceli noktaların (C1, C2, C3) duyarlılıkları RTK ile sağlanamamakta olup, statik ölçüme ihtiyaç duyulmaktadır. Bu kapsamda, sonraki kullanımlar için nokta yer tesisine ihtiyaç uygulamalar için gerekli duyarlık statik yöntem sağlanabilmektedir.
- Aplikasyon dışında kalan ve nokta sayısının az olduğu uygulamalarda, RTK statik yöntemle göre avantaj sağlamamaktadır.
- RTK'nın aksine statik yöntem ile elde edilen ölçüler başka amaçla kullanıma da olanak sağlamaktadır (deformasyon analizi, jeodinamik vb.).
- RTK altyapısı çok güçlü olan ülkelerde dahi statik ölçülere dayanan web tabanlı konumlama hizmetleri hızla yaygınlaşmaktadır.
- RTK Ağlarının şu an için geliştirilmiş otomatik dış doğruluk kontrol vasıtaları henüz yeterli değildir.

Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı (TUTGA-99A) mekânsal çözünürlüğü (30-50 km), yersel ağlar ile çalışmaya alışmış kamu ve özel sektör meslek çalışanları tarafından ilk başlarda yadırganmıştır. Zira yersel ölçü tekniklerinin kendi kısıtlamaları nedeniyle alt derece ağ noktaları arasındaki mesafe 3-5 km olan yersel sıklaştırma noktaları ile çalışan meslek insanları, TUTGA ile zaman zaman 70 km ötedeki istasyonlara araçla gitmek durumunda kalmışlardır. Bu nedenle BÖHHBÜY'

ün hazırlanması sırasında ön görülen ağ hiyerarşisinde, gözlem tekniğinin duyarlık veya teknik sınırlamasından daha çok mevcut ağın sıklaştırması işleminin tamamlanabilmesi amacı da göze çarpmaktadır. Özellikle C1 ve C2 noktalarının üretilmesindeki temel amaç budur. Buna göre, herhangi bir bölgede ilk çalışma yapılırken, mevcut jeodezik ağ (TUTGA) sıklaştırılmakta ve sonraki çalışmalar için altyapı oluşturmaktadır. Bu anlamda BÖHHBÜY kapsamındaki ağ hiyerarşinin oluşturulması ile tekrarlı işlerin önlenmesi, kaynak ve zaman tasarrufu sağlanmasının amaçlandığı da düşünülebilir. 2001 yılından itibaren BÖHHBÜY kapsamında gerçekleştirilen uygulamalarla ülkemizin yaklaşık %30'unda söz konusu jeodezik altyapının tamamlandığı söylenebilir. Sıklaştırma çalışması, tüm ülkede başlatılan ve heryeri kapsayan bir çalışma olmamakla birlikte, altyapı faaliyeti gerçekleştirilecek bölgede mevzuat olarak zorunludur. Bu nedenle, kalan %70'lik kısmın eksik yerine, henüz bu bölgede altyapı faaliyeti gerçekleştirmediği için yapılmadığı şeklinde yorumlanması daha doğru olacaktır.

Diğer yandan jeodezik uygulamalar kurumlar arasında oldukça farklılık göstermekte olup, bazı kurumlar alansal çalışmalar yaparken, diğerleri tarafından güzergâh tipi (demiryolu, karayolu vb.) çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu durumda, uzun bir güzergâh çalışması ihtiyacı bulunan kurumlar güzergâhı sınırlayan sınırlı sayıda jeodezik noktaya ihtiyaç duymalarına rağmen, ön görülen ağ hiyerarşisi nedeniyle tüm güzergâh boyunca yüksek sıklaştırma maliyetleri ile karşı karşıya kalabilmektedir. Bu tür kurumlar, mümkün olan en az sayıda üst dereceli noktadan çıkış alarak aplikasyon yapılmasına ihtiyaç duymaktadır. Benzer şekilde, TUSAGA-Aktif'in kullanıma başlamasıyla doğrudan C4 dereceli noktaların üretilmesi olanağı doğacağından birçok bölgede C1, C2 ve C3 dereceli noktalar belki de hiçbir zaman oluşturulmayacaktır (kalan %70).

Bunların yanında, bazı uygulamalarda sıklaştırma ağ noktalarının fiziksel olarak tesisine de ihtiyaç duyulmaktadır. Örneğin, birçok detay noktasının (bina köşesi, kapalı ya da ormanlık alan vb.) alımı yersel ölçülerle yapılmaya devam edecek olup, RTK ile aplikasyon yerine bu yersel (klasik) ölçüm aletlerinin dayanak noktaları olarak kullanılabileceği GPS ile elde edilecek yüksek dereceli noktalara ihtiyaç duyulacaktır ya da aynı bölgede sıkça tekrarlanan uygulamalar için sabit tesisler tercih edilecektir. Kurumlar tarafından tesise ihtiyaç duyulmasının bir başka nedeni de, komşu bölgelerdeki kenarlaşma, ortak noktaları kullanabilme şeklinde açıklanabilir.

Kamu kurum ve kuruluşları için de benzer ihtiyaçlar devam etmektedir. Örneğin, İller Bankası tarafından yaptırılan çalışmalar herhangi bir bölgedeki tüm ölçüm hizmetlerini yerine getirmek yerine, belediyelerin kendi ölçüm ihtiyaçlarını karşılayabileceği jeodezik altyapının oluşturulması amacı gütmektedir. Bu anlamda, C4'den daha üst dereceli noktalara ve bu noktalardan yersel ölçü aletleri ile çıkış alınabilecek zemin tesislerine olan ihtiyacın süreceği değerlendirilmektedir.

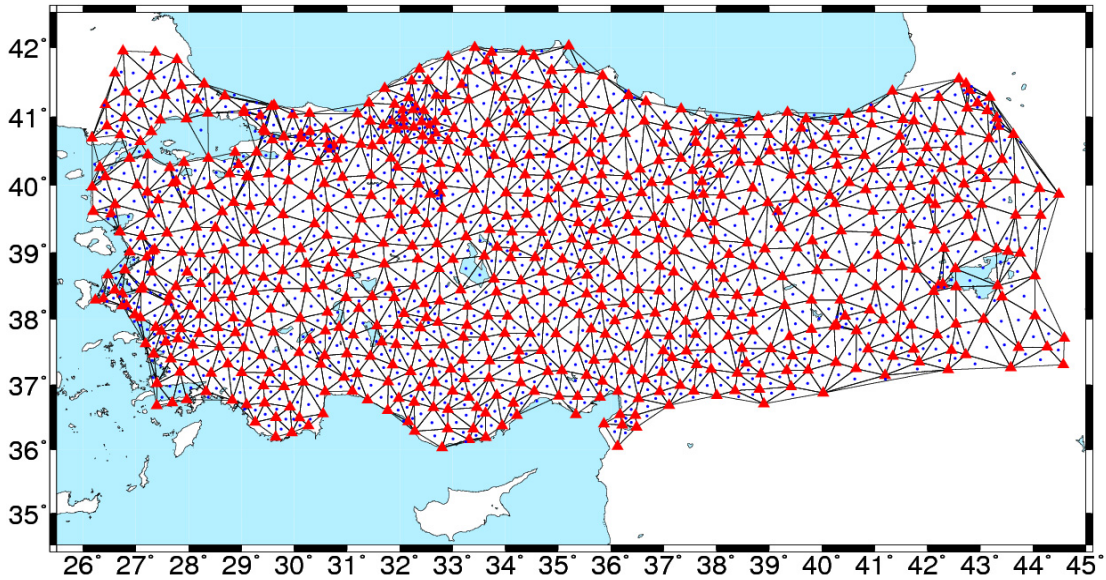
TUSAGA-Aktif'in kullanımıyla ilgili diğer önemli bir konu ise, söz konusu sistemin kullanımında farklı kurum ve kuruluşların ilgili uygulamalara ait maliyetleri ele alışlarındaki farklılıklardır. Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü tarafından yaptırılan çeşitli kadastral uygulamalarda; tesis edilen nokta başına ücretlendirme uyguladığından, çalışma alanı küçük olsa dahi, sıklaştırma nedeniyle büyük maliyetler oluşabilmektedir. Benzer durum, güzergâh tipi çalışmalar (karayolu, demiryolu vb.) yaptıran kurumlar için de söz konusudur. Toplam iş için bedel belirleyen kurumların yaptırdığı çalışmalarda ise, tesis edilen nokta sayısı önemli olmamakta ve bu nedenle kalıcı zemin tesisi özellikle bu tür kurumlar tarafından özellikle talep edilmektedir.

Bu çalışmada TUTGA ve TUSAGA-Aktif istasyonlarının coğrafi dağılımı, yörunge parametrelerinde son yıllarda yaşanan iyileşmeler ve ölçü duyarlılığı konusunda literatürde yer alan çalışmalardan yararlanarak, BÖHNBÜY kapsamındaki ağ hiyerarşisi ve buna

bağlı baz uzunlukları ve ölçü süreleri incelenmiştir.

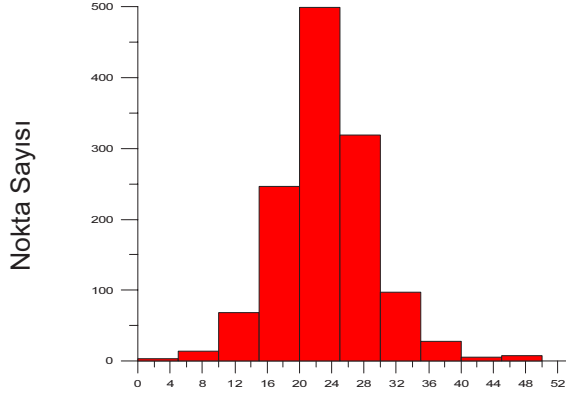
2. TUTGA VE TUSAGA - AKTİF İSTASYONLARININ DAĞILIMI

Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı, 1997-1999 yılları arasındaki GPS ölçüleri ile oluşturulmuş, Marmara Depremlerini takip eden revizyon çalışmaları ile 2002 yılında tamamlanmıştır (HGK, 1997; Ayhan vd., 2002). Toplam 594 istasyondan oluşan ağda, noktalar arası uzaklıklar ortalama 30-50 km dir. 2005-2009 yılları arasında yapılan çalışmalarda 32 adet yeni sıklaştırma noktası eklenmiş, ayrıca farklı çalışmalarla elde edilen 62 adet yeni nokta da ağa dahil edilmiştir (HGK, 2005; Aktuğ vd., 2009). Yönetmelik (BÖHNBÜY) kapsamında gerçekleştirilen çalışmalarda C1 dereceli (AGA) noktaları en az iki TUTGA noktasına bağlanmak zorundadır. Bu anlamda, büyük ölçekli çalışmalarda baz uzunluğu için, noktalar arası uzaklık yerine herhangi bir noktanın en yakın iki TUTGA noktasına uzaklığı ölçüt olarak alınabilir. Herhangi bir noktanın en yakın iki TUTGA noktasına olan uzaklıkları incelemek için öncelikle en kötü senaryo oluşturularak, tüm TUTGA-99A istasyonları için delaunay üçgenlemesi uygulanmıştır. Daha sonra, söz konusu üçgenlerin orta noktası için en yakın iki istasyondan uzak alanı ölçüt olarak kullanılmıştır. TUTGA-99A için yapılan söz konusu bölümlenme ve seçilen test noktaları Şekil 1'de gösterilmektedir. Mavi noktalar herhangi iki TUTGA istasyonuna en uzak noktaları göstermektedir.



Şekil 1. TUTGA Noktalarının dağılımı.

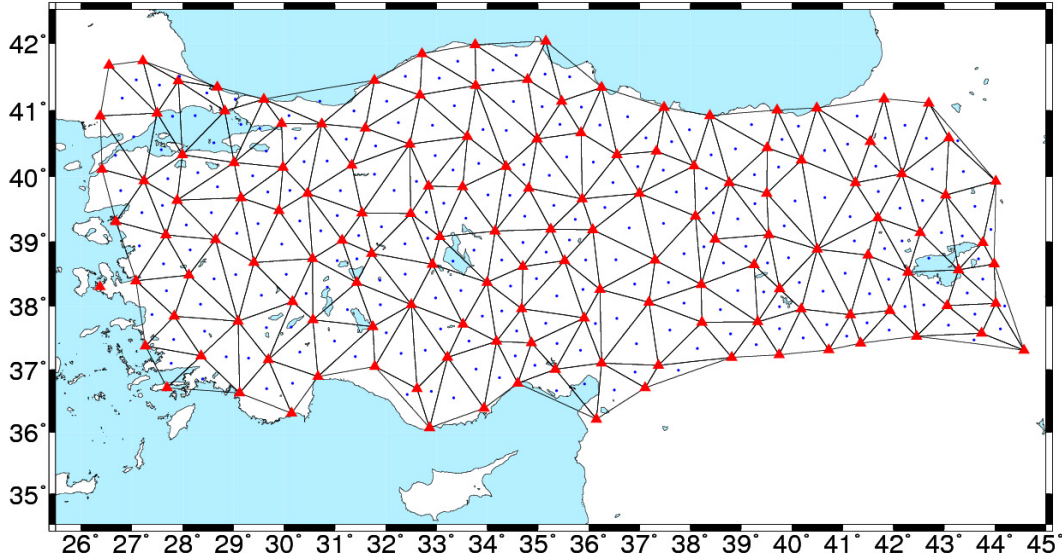
Bu yöntem ile en kötü durumda herhangi bir noktada TUTGA bağlantısı için gerekli en en büyük uzaklıklar hesaplanmıştır. Sonuçlar, ortalama uzaklığın 23.3 ± 5.8 km olduğunu göstermektedir. Bu sonuçlar en kötü durumu, diğer bir ifade ile TUTGA noktalarına en uzak bir noktadaki uygulamada TUTGA bağlantı uzaklıklarını ifade etmektedir. Uzaklıkların dağılımı Şekil 2'de gösterilmektedir.



Şekil 2. Belirlenen orta noktaların uzak TUTGA istasyonuna göre uzaklıkları.

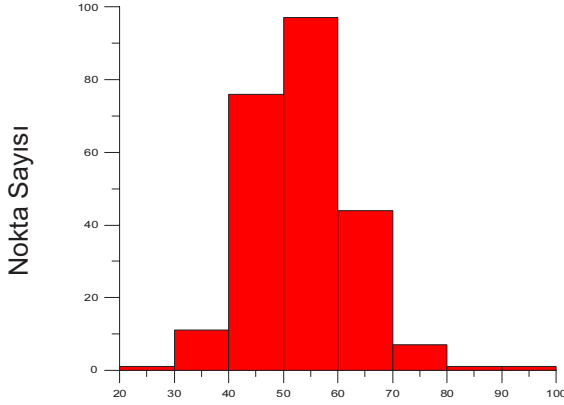
TUSAGA-Aktif, TUTGA'ya göre çok daha seyrek bir ağ olup, statik GPS ölçüleri ile sıklaştırma olanaklarının incelenmesi amacıyla TUTGA için yapıldığı gibi bir analiz yapılarak en kötü durumda, diğer bir deyimle en yakın TUSAGA-Aktif istasyonuna en uzak olduğu durum için baz uzunlukları hesaplanmıştır. Bu amaçla oluşturulan nokta kümesi Şekil 3'de gösterilmektedir. TUSAGA-Aktif istasyonları için yapılan analizde de benzer şekilde en az iki adet TUSAGA-Aktif istasyonuna bağlantı yapılacağı öngörülmüş ve bu istasyonlardan uzak olanının mesafesi ölçüt alınmıştır.

Yönetmelik kapsamında AGA noktaları için 20 km yi aşan bazlarda idare görüşünün alınması gerektiği değerlendirildiğinde, birçok uygulamada idari tasarrufun zorunlu olacağı açıktır. Bu anlamda, AGA noktaları için en görülen 20 km sınırlaması ile ağ noktalarının dağılımı uyumlu değildir. Uzaklıkların büyük bölümü 20-25 km arasındadır. En kötü senaryoya göre değerlendirme yapılırsa, AGA nokta uzaklıklarının en azından ortalama değerden büyük olacak şekilde seçilmesinin daha uygun olacağı söylenebilir. Şekil 2 incelendiğinde 25, 30, 35 ve 40 km lik bağlantı uzaklıklarının eşik değerler olduğu söylenebilir.



Şekil 3. TUSAGA-Aktif İstasyonlarının dağılımı. Mavi noktalar, herhangi iki TUSAGA-Aktif istasyonuna en uzak noktaları göstermektedir.

“TUSAGA-Aktif Sistemi İle Koordinat Belirleme, Ölçüm, Hesap ve Kontrol Yönergesi”nde de benzer şekilde iki adet TUSAGA-Aktif istasyonuna bağlantı öngörülmektedir. Yapılan incelemede, ortalama uzaklık 53.9 ± 9.4 km bulunmuş olup, söz konusu uzaklıkların dağılımı Şekil 4’de gösterilmektedir.



Şekil 4. Belirlenen orta noktaların uzak TUSAGA-Aktif istasyonuna göre uzaklıkları.

Görüleceği üzere TUSAGA-Aktif istasyonlarına olan uzaklık değerleri TUTGA noktalarına göre olanın yaklaşık iki katından fazladır. Baz uzunluklarının büyük bölümü 50-60 km arasında olup, uzaklıkların %90’ından fazlası ise 70 km den küçüktür.

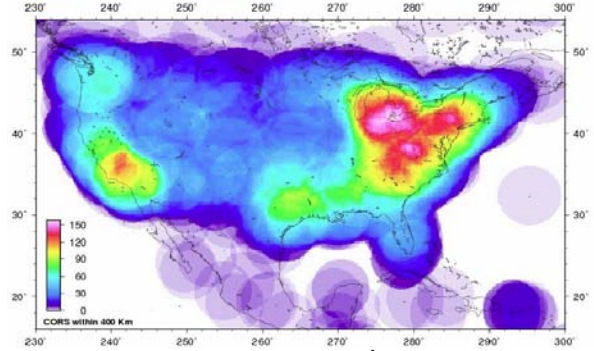
Farklı ülkelerde kurulan Sabit GPS istasyonları mekânsal yoğunluğu ülkelere göre farklılık göstermekle birlikte, genel olarak ortalama 50–150 km arasındadır. Buna göre TUSAGA-Aktif istasyon yoğunluğunun uygun olduğu söylenebilir.

Ülke temel Sabit GPS Ağı kurulmasında öncü ülkelerden A.B.D. ‘deki istasyonların yakınlık ilişkisi Şekil 5’de gösterilmektedir (Weston ve diğ., 2002). Buna göre en yakın CORS istasyonunun uzaklığı ortalama ~70 km olup, önemli sayıda 150 km aştığı durumlar bulunmaktadır.

3. ÖLÇÜ SÜRESİ VE DUYARLIK İLİŞKİSİ

Temel olarak GPS ölçülerinin duyarlığı baz uzunluğuna bağlı olarak değişmektedir. Duyarlığın baz uzunluğuna bağlı olarak tanımlanmasının nedeni, baz uzunluğu arttıkça kullanılan görel konumlama modelindeki başta yörünge ve atmosferik etkiler olmak üzere diğer fiziksel etkilere ait mekansal korelasyonunun azalmasıdır. Söz konusu hataların en büyük üç

tanesi yörünge, troposfer ve iyonosfer olarak sıralanabilir (Vollath vd., 2000; Rizos, 2002). Uluslararası Yöngüdümlü Uydu Sistemleri Servisi (IGS) ürünlerinin ortaya çıkmasından ve de günümüzdeki yüksek duyarlığa erişmesinden önce, jeodezik çalışmalarda görel GPS uygulamalarına ait ölçü duyarlıklarının baz uzunluğuna bağlı olarak ifade edilmesi temel olarak yörünge hatalarına bağlıydı (Seeber, 1993).



Şekil 5. A.B.D. Sabit GPS İstasyonlarının dağılımı (Weston vd., 2009).

Bunun diğer bir nedeni de 1990’lı yıllarda birçok ticari yazılımın IGS tarafından yayınlanan hassas efemeris bilgisini kullanamaması ya da hassas efemeris bilgisinin ancak iki hafta sonra elde edilmesi olarak düşünülebilir.

Günümüzde, hemen hemen tüm GPS yazılımları hassas yörünge bilgilerini kullanabilmekte, iyonosferden bağımsız model ile iyonosfer etkilerini model kullanarak giderebilmekte ve hatta troposfer için yerel kestirim yapabilmektedir.

Yörünge hatalarının baz uzunluğuna bağlı olarak baz doğruluğuna etkisi;

$$\frac{\Delta r}{r} = c \frac{\Delta b}{b} \quad (1)$$

şeklinde ifade edilebilir (Seeber, 1993). Burada, r uydu yörünge yüksekliği, Δr yörünge hatası, b baz uzunluğu Δb baz vektörü hatası ve c ise ampirik katsayıdır. Seeber (1993) tarafından verilen (1) eşitliğinde c katsayısı 1 olup, söz konusu katsayının 4-10 olması gerektiği yönünde görüşler de mevcuttur (Zielinski, 1989).

GPS ölçüleri ile birlikte gerçek zamanlı elde edilen yayınlanmış yörünge (broadcast ephemeris) son 15 yılda oldukça iyileşmiş olup, ilk başlarda 20 m olan duyarlığı günümüzde 1 m düzeyine gelmiştir (Kouba, 2003). Benzer

şekilde, IGS final yörünge bilgilerinin duyarlığı 1990'larda 15 cm iken günümüzde 2.5 cm dir (IGS, 2009). Bu konuyla ilgili son on yıldaki diğer bir gelişme ise IGS'in nihai yörünge bilgileri kadar olmasa da ona yakın duyarlıkta yörünge bilgilerinin yakın gerçek zamanlı olarak elde edilebilmesi olanağının doğmuş olmasıdır. Tablo 1'de IGS yörüngelerin günümüzdeki duyarlığı ve sağlanma zamanı gösterilmektedir (IGS, 2009).

Tablo 1. Yörünge duyarlıkları (IGS, 2009).

Yörünge	Duyarlık	Sağlanma Zamanı
Yayınlanmış Yörünge (Broadcast Ephemeris)	1 m	Anlık
Ultra-Rapid-kestirilmiş (predicted)	5 cm	Anlık
Ultra-Rapid- gözlenmiş (observed)	3 cm	3-9 saat
Hızlı Yörünge (rapid)	2.5 cm	17-41 saat
Nihai Yörünge (final)	2.5 cm	12 - 18 gün

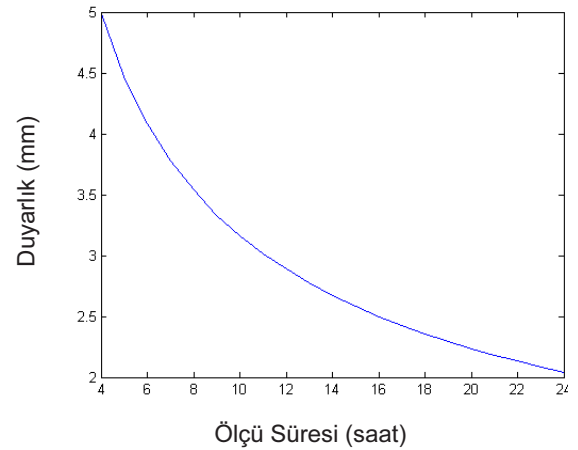
Buna göre, günümüzde 70 km lik bir bazda yörünge hatasının etkisi yayınlanmış yörünge ile 2.5 cm civarındadır (c=7 alınarak). Yönetmelikte C dereceli noktalar için öngörülen ± 3 cm sınırının aşılması için, TUSAGA-Aktif istasyonlarının statik ölçüleri ile yapılacak bir uygulamada yayınlanmış yörünge kullanılmayacağı görülmektedir. Buna karşın, anlık kestirilmiş ultra-rapid yörünge bilgilerinin kullanılması halinde bile, yörüngeden kaynaklanan baz hatası milimetre düzeyindedir.

Baz uzunluğu, duyarlık ve ölçü süresinin ilişkisi farklı çalışmalarda incelenmiştir (Hakli ve diğ., 2008; Eckl ve diğ., 2001; Snay ve diğ., 2002; Doğan, 2007; Soler ve diğ., 2006; Weston ve diğ., 2009; Psimoulis ve diğ., 2004). Bununla beraber çalışmaların çoğunluğu 4-24 saat ölçü aralıkları için yapılmıştır. İlk olarak Eckl ve diğ. (2001) tarafından yapılan çalışmada 3 saatten fazla ölçü içeren uygulamalarda baz uzunluğunun etkisini yitirdiği ve üç saatten fazla ölçü olması durumunda kısa bazlarda elde edilen duyarlığa yakın duyarlığının uzun bazlar için de elde edilebildiği gözlenmiştir. Ancak, baz uzunluğu ve ölçü süresi için elde ettikleri regresyon eşitlikleri negatif üstel dağılım izlemekte olup, 3 saatten az ölçü süresi için güvenilir değildir. Daha güncel bir çalışmada ise 600 km ye kadar olan bazların anlamlı duyarlık kaybı olmadan çözülebildiği, yatayda iki, düşeyde ise üç saatten sonra ölçü süresinin artırılması anlamlı değişim yaratmadığı

Weston vd. (2009) tarafından gözlemlenmiştir. Eckl vd. (2001) tarafından ölçü süresi ve duyarlık için elde edilen pratik olarak bir eşitlik;

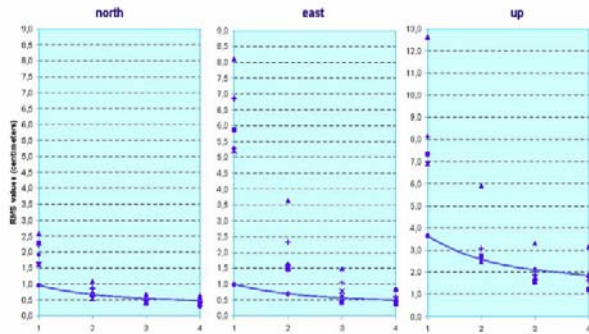
$$rms (cm) = \frac{k}{\sqrt{T}} \quad (2)$$

şeklinde. Burada, k yatay için 1.0, düşey için 3.7 olarak alınan ampirik bir katsayı, T ise saat cinsinden ölçü süresidir. Buna göre 4-24 saatli k ölçülerde, ölçü süresine bağlı olarak duyarlığın değişimi Şekil 6'da gösterilmiştir.



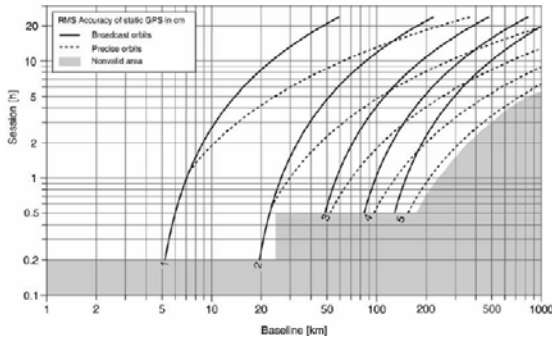
Şekil 6. Ölçü süresi ve duyarlık ilişkisi.

Görüleceği üzere, Şekil 6'da ölçü süresi sıfıra yaklaştıkça duyarlık asimtotik olarak azalmakta olup, (2) eşitliği dört saatten küçük ölçüleri için temsil edici nitelikte değildir. Söz konusu eşitlikler Soler ve diğ. (2006) tarafından da test edilmiş, benzer şekilde 3 saatten kısa gözlemler için yanıltıcı olacağı sonucuna varılmıştır. Dört saatten fazla ölçü süreleri için bu tür çalışmalar Aydın ve diğ. (2006) ve Doğan (2007) tarafından da yapılmıştır. Benzer bir çalışma Soler ve diğ. (2006) tarafından yapılan çalışmada elde edilen sonuçlar Şekil 7'de gösterilmektedir. Şekil 7 incelendiğinde, verilen eğrinin üç saatten kısa ölçülerde büyük hatalara neden olduğu görülmüştür. Psimoulis ve diğ. (2004) tarafından yapılan ve daha uzun süreli (72 saat) ölçüleri de kapsayan bir çalışma ise 10 saatten sonra, ölçü süresinin artırılmasının karesel ortalama hatada iyileşme sağlamadığı ortaya koymaktadır.



Şekil 7. Ölçü süresi ve duyarlık ilişkisi (Soler vd., 2006).

Sonuç olarak, (2) eşitliği 4 saat ve daha uzun ölçü süreleri için yeterli duyarlık sağlamakla birlikte 4 saatten kısa ölçümler için temsil edici nitelikte değildir. Snay ve diğ. (2002) benzer şekilde ölçü süresinin artırılması ile duyarlığın sadece ilk üç saatte anlamlı şekilde arttığını ortaya koymuşlardır. Kısa ölçü süreleri için Hakli ve diğ. (2008) tarafından çok daha yoğun bir veri kümesi ile yapılan güncel bir çalışmada elde edilen ölçü süresi ve duyarlık ilişkisi Şekil 8'de gösterilmektedir.



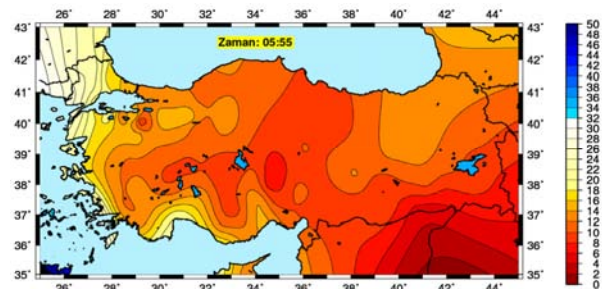
Şekil 8. Ölçü süresi ve duyarlık ilişkisi (Hakli vd., 2008)

Hakli vd. (2008) tarafından deneysel olarak elde edilen ve Şekil 8'de verilen sonuçlara göre, BÖHNBÜY kapsamında C dereceli noktalar için belirtilen ± 3 cm duyarlık için 50 km'lik baz için 30 dakika, 100 km'lik baz için ise 4 saat ölçü gerekmektedir. Hassas efemeris kullanılması durumunda söz konusu ölçü zamanları 50 km'lik baz için yine 30 dakika iken, 100 km'lik bazda 2 saatin altında ölçü yapılması yeterli olmaktadır.

BÖHNBÜY'de AGA ve SGA noktaları için ± 3 cm olarak ön görülen doğruluk standardının ise uluslararası standartlardan da yüksek olduğu değerlendirilmektedir. Örneğin, Hong Kong Jeodezi Kurumu Tarafından belirlenen standartlara göre referans istasyonu dışındaki sıklaştırma noktaları için ön görülen duyarlık 5-10 mm + 1-3 ppm şeklindedir. Bu standart,

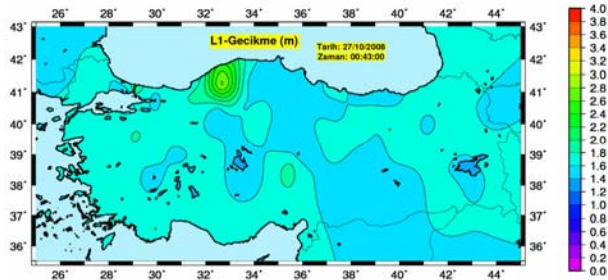
BÖHNBÜY C1 dereceli noktaları için 30 km lik bir bazda 3.5-10 cm'lik duyarlığa karşılık gelmektedir (GSSSM, 2004). Benzer şekilde, sıklaştırma noktaları için (C dereceli) noktalarda FGCC (1988) tarafından yayınlanan standartların en yükseği 10 mm + 10 ppm şeklindedir. Bu standart, bir C1 noktası için 10 cm'ye karşılık gelmektedir. Diğer yandan duyarlık ölçütlerinin günümüz koşullarında baz uzunluğu yerine nokta konum duyarlığına bağlı hale getirilmesi gerektiği McCay (2001) tarafından da vurgulanmıştır.

GPS ile görel konumlamada baz uzunluğuna bağlı hatalar temel olarak yörünge, iyonosfer ve troposfer olarak üç grupta incelenebilir. Günümüz yörünge duyarlıkları ele alındığında baz uzunluğuna bağlı hataların statik ölçümlerdeki etkisi yukarıdaki bölümde incelenmiştir. Atmosferik hatalardan troposferik hatalar hidrostatik ve su buharı bileşenlerinden oluşmakta olup, hidrostatik bileşen analitik modellerle yüksek duyarlıkta belirlenebilmektedir (Leick, 1990; Seeber, 1993). Troposferik gecikmeler hidrostatik modeller ile enlem ve yüksekliğe bağlı hesaplanmakta olup (Saastamoinen, 1973; Hopfield, 1977) uygun izdüşüm fonksiyonlarıyla (Niell, 1996; Marini, 1972), sinyal yolu üzerindeki gecikmeler yüksek duyarlıkta hesaplanabilmektedir (Mendes ve Langley, 2004). Yükseklik açısının 5° den daha büyük olduğu durumlarda izdüşüm fonksiyonunun seçimi önemli olmamakla beraber, sayısal hava modellerine dayalı yeni nesil izdüşüm fonksiyonlarıyla daha yüksek duyarlık elde edilebilmektedir (Boehm ve diğ., 2006). Bu anlamda, troposfere bağlı hataların büyük bölümünün ıslak bileşenden kaynaklandığı söylenebilir. ıslak bileşenin baz uzunluğuna bağlı duyarlılığını göstermek için örnek olarak 2008 yılının 342. gününe ait yağışa dönüşebilir su buharı miktarı Şekil 9'da verilmiştir. Aradeğerleme (enterpolasyon) ve veri eksikliğine bağlı olarak kenarlarda oluşan ani değişimler dikkate alınmadığında, yağışa dönüşebilir su miktarının mekânsal değişiminin en yüksek 2 mm/40 km olduğu söylenenebilir.



Şekil 9. 2008 yılının 342. günü için Yağışa dönüşebilir su buharı.

Yağışa dönüşebilir su miktarındaki 2 mm'lik değişimin troposferik ıslak gecikmede yaklaşık olarak ~1.2 cm'ye karşılık geldiği dikkate alındığında, 80 km'lik baz uzunluğu için en yüksek görelî troposferik ıslak gecikme ~2.5 cm'ye karşılık gelmektedir. Benzer bir analiz iyonosferik gecikme için de gerçekleştirilebilir. İyonosferik gecikme, güneş aktivitesi ile doğrudan ilişkili olup, çok yüksek değerlere ulaşabilmektedir. Bunun yanında, iyonosferik etki yüksek bile olsa, kaynağın güneş olması mekânsal korelasyonun da yüksek olmasına neden olmaktadır. Diğer bir deyimle, iyonosferik gecikmenin mekânsal değişimi, gecikmenin büyüklüğünden bağımsızdır. Örnek olarak 27 Ekim 2008 tarihine ait iyonosferik gecikmenin mekânsal değişimi Şekil 10'da gösterilmektedir. Kastamonu istasyonundaki geçici problem nedeniyle aradeğerleme hatası dışında, iyonosferik gecikmenin, maksimum 5 cm/50 km olduğu söylenebilir.



Şekil 10. 27 Ekim 2008 tarihine ait hesaplanmış iyonosferik gecikme.

TUTGA ve TUSAGA-Aktif istasyonlarıyla yapılacak statik uygulamalar için Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgilerini Üretim Yönetmeliği'nde öngörülen duyarlıkların daha uzun baz uzunlukları ile sağlanabileceği görülmektedir.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

GPS ağlarının duyarlık olarak sınıflandırılması olanaklı olmakla birlikte, günümüz koşullarında bu sınıflandırmanın 5-20 km arasındaki baz uzunluklarına bağlı olarak yapılamamaktadır. Örneğin, A.B.D.'de PBO (Plate Boundary Observatory), ya da Japonya'da GEONET gibi jeodinamik amaçlı kurulan ağların diğer kontrol noktalarına göre sahip oldukları yüksek duyarlık baz uzunlukları dışındaki faktörler (tesis türü, zemin yapısı, sayesinde sağlanmıştır. Bunlar ise istasyonların sabit olup merkezleme vb. hatalar içermemesi ve periyodik etkilerin uzun dönemli verileri ile giderilmesi vb. nedenlere bağlıdır.

Klasik yatay kontrol ağlarının aksine uydu tabanlı yersel ağlarda uzun bazların ölçülebilmesi olanaklı olduğundan hataların mesafeye bağlı olarak yayılması söz konusu değildir. Bilakis, bu tür ağlarda olması gerekenden fazla ağ hiyerarşisi oluşturulduğu takdirde hataların birikmesi söz konusu olmaktadır. Bu kapsamda 1990'lar ve 2000'li yıllar için geçerli olan ağ hiyerarşisi günümüzde geçerli olmadığı söylenebilir. BÖHKBÜY kapsamında; C1 (AGA) için serbest dengeleme sonucu duyarlık ölçütü 10 mm + 1 ppm olarak belirlenmiştir. AGA noktalarının TUTGA noktalarına bağlantıları için izin verilen azami baz uzunluğunun 20 km olduğu dikkate alındığında, bu ölçüt 3 cm ye karşılık gelmektedir. Ancak, AGA noktaları için idarenin uygun görüşü ile daha uzun baz ölçme olanağı tanınmıştır. Bu durumda, örneğin 30 km'lik baz ölçüldüğünde serbest dengeleme toleransı 4 cm olacaktır. Bunun yanında, TUTGA noktalarına dayalı dengeleme için izin verilen duyarlık ölçütleri yatayda ± 3 cm ve düşeyde ± 5 cm olarak belirlenmiştir. Sonuç olarak idare görüşü ile 20 km den uzun bazlar için verilen duyarlık ölçütleriyle uyumlu değildir. Zira, serbest dengeleme sonucu duyarlığı 4 cm olan bir ağın, dayalı dengeleme ile 3 cm duyarlık sağlaması söz konusu değildir. Diğer yandan, mevcut nokta dağılımı dikkate alındığında Şekil 2'den de görüleceği üzere, bu konuda idari tasarruf kaçınılmazdır.

C1 ve C2 dereceli noktalar için dayalı dengeleme sonucu belirlenen duyarlık ölçütleri yatayda ± 3 cm ve düşeyde ± 5 cm şeklindedir. Buna karşın söz konusu iki ağ derecesi arasında ölçü anlamındaki farklılık baz uzunlukları ve ölçü süresidir. Üst dereceli ağlara olan bağlantı bazlarının uzunluğu C1 dereceli noktalar için uzunluğu 20 km, C2 dereceli noktalar için ise 15 km dir. Ölçü süresi ise C1 dereceli noktalarda 2 saat iken C2 dereceli noktalarda 45 dakikadır. Şekil 8'den de görüleceği üzere 5 km lik baz uzunluğu farkının ya da 20 km lik baz uzunluğu için 45 dakika yerine 2 saat ölçü yapılmasının konum duyarlığına etkisi anlamlı düzeyde değildir. Bu anlamda C2 (SGA) dereceli noktaların ağ hiyerarşisine katkısı bulunmamaktadır.

C3 dereceli noktalar (ASN) 10 km ye kadar olan bazların 20-35 dakikaya kadar ölçülmesi ile oluşturulmaktadır. Buna karşın, C3 dereceli noktalar için baz uzunluğuna dayalı doğrudan bir duyarlık ölçütü mevcut olmayıp, iki ayrı bazdan hesaplanan koordinatlar arasındaki farkın maksimum ± 5 cm olması şeklinde sınırlama bulunmaktadır. Bu duyarlığın sağlanması

doğrudan ölçü duyarlığına bağlı olmayıp, üst dereceli ağ noktalarının duyarlığına da bağlıdır. Mevcut yörünge duyarlığı ve atmosferik hataların 10 km içindeki korelasyonu dikkate alındığında C3 dereceli ağ noktalarının ağ hiyerarşisine anlamlı katkı sağlamadığı değerlendirilmektedir.

C4 dereceli noktalar olarak bilinen poligon noktaları için BÖHNBÜY'nde öngörülen duyarlık ± 8 cm olarak şekildedir. Eren ve diğ. (2009) tarafından TUSAGA-Aktif Marmara istasyonları için yapılan "benchmark" testinde 70 km ye kadar olan uzaklıklar için yatayda ± 8 cm, düşeyde ise ± 9 cm nin altında değerler elde edilmiştir. TUSAGA-Aktif ile RTK yöntemiyle C4 noktalarının ölçülmesi durumunda en yakın referans istasyonunun ortalama 50 km dolayında olacağı değerlendirilerek, C4 dereceli noktaların TUSAGA-Aktif ile ölçülmesinin yeterli duyarlığı sağlayacağı söylenebilir. Bunun yanında, RTK yönteminin duyarlığının daha üst dereceli ağ noktaları için yetersiz olacağına da vurgulanması yararlı olacaktır. Ağ hiyerarşisi yapısı itibariyle hataların yayılmasına neden olmaktadır. Örneğin, tek seferde yapılabilecek bir sıklaştırma yerine birden fazla alt dereceli nokta oluşturulması durumunda her bir alt dereceli noktanın hataları birikerek tek seferdekine nazaran daha düşük duyarlık elde edilecektir. Yersel ağların geometrik distorsiyonu buna güzel bir örnek olarak verilebilir. Buna karşın kullanılan ölçü aletlerinin sınırlamaları ağ hiyerarşisini zorunlu kılabilir. Yersel ağlar için oluşturulan ağ hiyerarşisi bu tür zorunluluklara bağlı olarak doğmuştur. Bu anlamda, uzay tekniklere dayalı ağların sıklaştırması için belirlenen ağ hiyerarşisi ile baz uzunluğuna bağlı olarak artan hataların dengede tutulması gerekmektedir.

Günümüzde, web tabanlı konumlama hizmetleri yaygın bir şekilde kullanılmakta olup, bu hizmetler doğrudan sabit GPS istasyonlarına dayalı ve statik gözlemler kullanılarak yürütülmektedir. Sabit GPS istasyon ağlarında en yakın istasyonun 150 km ye kadar uzaklıkta olduğu dağılımlar göz önüne alındığında (Şekil 5), bu uzaklıklardan da doğrudan referans istasyonlarına bağlantı yapıldığı gözlenmektedir. Hizmete girecek olan TUSAGA-Aktif ile ülkemizde de benzer uygulamalara olan ihtiyaç ve talep olabileceği dikkate alındığında, BÖHNBÜY'nin bu tür uygulamaları da içerecek ağ hiyerarşisi, duyarlık ve baz uzunluğu ölçütleri içerecek şekilde güncellenmesinin yararlı olacağı değerlendirilmektedir.

Mevcut yörünge duyarlıklarının ulaştıkları düzey dikkate alındığında, kısa ölçü sürelerinde

(3 saatten az) baz uzunluğu ile en önemli sınırlamanın troposferik ve iyonosferik gecikmeden kaynaklandığı söylenebilir. Söz konusu atmosferik etkiler zaman zaman büyük değişkenlik gösterebilmekte, mekansal değişimleri toplamda 100 km lik bir baz uzunluğu için 10 cm yi geçebilmektedir. Baz uzunluğuna bağlı bu tür sınırlamaları azaltmanın diğer bir yolu ise Sanal Referans İstasyonu (SRİ) Virtual Reference Station) verilerinin kullanılmasıdır. Söz konusu atmosferik etkiler SRİ ölçülerine yüzey aradeğerlemeden geçirilmiş olarak yansıtılacağından, bu veriler kullanılarak statik yöntemle yapılacak sıklaştırmada baz uzunluğuna bağlı hatalar önemli ölçüde azaltılmış olacaktır. Bu anlamda, baz uzunluklarının 50 km'yi geçtiği TUSAGA-Aktif istasyonlarından statik yöntemle sıklaştırma yapılmasında doğrudan referans istasyonları yerine SRİ verilerinin kullanılması gerekmektedir.

Sonuç olarak;

- Uydu tabanlı ağlarda uzun bazların ölçülebilmesi olanaklı olduğundan hataların baz uzunluğuna bağlı olarak yayılmadığı, bilakis, bu tür ağlarda olması gerekenden fazla ağ hiyerarşisi (alt dereceli ağlar) oluşturulduğu takdirde hataların birikmesinin söz konusu olduğu,
- TUSAGA-Aktif ile C4 dereceli noktaların doğrudan elde edilmesi olanaklı olmakla birlikte, belirtilen birçok nedenden ötürü statik ölçümlere olan ihtiyacın devam edeceği,
- Statik yöntemle ölçme çalışmaları yapılması halinde, TUSAGA-Aktif dışında, TUSAGA'nın nokta yoğunluğu olarak özellikle Batı Anadolu'da önemli oranda katkı sağlayacağı,
- 2010 yılı itibariyle TUTGA noktalarının mevcut yapısı ve dağılımı ile yönergede C1 noktaları için ön görülen baz uzunluklarının uyumlu olmadığı,
- Günümüzde, C4 dereceli noktaların teknik olarak sıklaştırma yapılmaksızın doğrudan statik ölçümlerle TUTGA bağlantısı yapılarak belirlenebileceği, ancak yersel aletlerle birlikte kullanım amacıyla bazı kamu kurum ve kuruluşlarının özellikle pilye tesisi bulunan daha üst dereceli noktalara ihtiyacı olduğu,
- C1 (AGA) ve C2 (SGA) noktaları için BÖHNBÜY kapsamında verilen duyarlık ölçütlerinin son on yıldaki gelişmeler dikkate alınarak günümüzde 50 km ye kadar olan bazlar için ve de 2 saat yerine yarım saat ile de sağlanabileceği,

- C1 noktaları için ölçü süresinin yarım saat yerine 1 saat olarak belirlenmesi durumunda ise baz uzunluklarının yayınlanmış yörünge ile 60 km ye, hassas yörünge ile 70 km ye kadar çıkarılmasının olanaklı olduğu,
- Ülkemizde herhangi bir noktadan, iki adet TUTGA noktasına bağlantı yapılırken uzak olan TUTGA noktasının mesafesinin ortalama ~23 km olduğu ve söz konusu mesafelerin %98' inin 40 km'nin, %95'sinin 35 km'nin, %88'inin ise 30 km nin altında olduğu ve buna göre herhangi bir noktada AGA, SGA veya ASN noktası doğrudan TUTGA noktalarına dayalı olarak yarım saat ölçü ile tesis edilebileceği,
- Ülkemizde herhangi bir noktadan, iki adet TUSAGA-Aktif noktasına bağlantı yapılırken uzak olan TUSAGA-Aktif noktasının ~53 km uzaklıkta, tüm mesafelerin %95'inin ise 70 km'nin altında olduğu, buna göre herhangi bir noktada AGA, SGA veya ASN noktası doğrudan TUSAGA-Aktif istasyonlarına dayalı olarak 1 saatlik ölçü ve hassas yörünge bilgisi kullanılarak tesis edilebileceği,
- C1 ve C2 dereceli noktalar için yukarıda tanımlanan ölçü süreleri kentsel veya ormanlık alanlar gibi uydu sayısının azaldığı veya sinyal kesikliği yaşanabilecek ortamlar dikkate alınarak %50 oranında artırılarak uygulanmasının yararlı olabileceği,
- Baz uzunluğuna duyarlı atmosferik etkilerin hızlı değişebildiği ve TUISAGA-Aktif ile statik yöntemle yapılacak nokta sıklaştırma uygulamalarında doğrudan referans istasyonu yerine SRİ verilerinin kullanılmasının uygun olacağı,
- Aplikasyon çalışmalarında gerçek zamanlı yanında, gerçek zamanlı olmayan (post-processing) kinematik uygulamalara da BÖHNBÜY'de yer verilmesinin yararlı olacağı,
- Gelecekte hizmete girecek web tabanlı konumlama olanakları da dikkate alınarak, yönetmelikte bu hususa da yer verilmesinin yararlı olacağı değerlendirilmektedir.

Günümüz ölçü, yazılım ve veri standartları değerlendirildiğinde TUTGA ve TUSAGA-Aktif 'in ihtiyaca göre sıklaştırılması için dört dereceli bir ağ hiyerarşisinin ihtiyacın çok üstünde olduğu değerlendirilmektedir. Bununla beraber, sıklaştırma uygulamasının alt dereceli noktaların üretilmesi için bir araç olması yanında, altyapı hizmetleri sağlayan kurumlar için amaç da olabilmektedir. Bazı kurumlar için amaç herhangi bir bölgede detay noktaları ölçümü ya da C4

noktaları sağlamak yerine, üzerine yersel ölçü aletlerinin kurulabileceği pilye tesisi ile daha üst dereceli noktalar üretme ihtiyacı bulunmaktadır. Bu anlamda, yönetmelikte sıklaştırma ağ hiyerarşisinin ilgili kurumların görüşleri doğrultusunda yeniden ele alınmasının yararlı olacağı değerlendirilmektedir.

KAYNAKLAR

- Aktuğ, B., Lenk, O., Kılıçoğlu A., Özdemir S., Sezer S., Ekim 2009, **Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı (TUTGA) Hesap Çalışmaları**, Teknik Rapor, JEO-0600-131335-09, Jeo. D.Bşk.lığı, Ankara.
- Aydın, C., Doğan, U., Demirel, H.,2006, **GPS Deformasyon Ağlarında Gözlem Süresi İle Ağ Duyarlılığı Arasındaki İlişki**, Harita Dergisi, 135, Ankara
- Ayhan, M.E., C. Demir, O. Lenk, A. Kılıçoğlu, B. Aktuğ, M.Açıkgöz, O.Fırat, Y.S.Şengün, A.Cingöz, M.A. Gürdal, A.İ.Kurt, M.Ocak, A. Türkezer, H. Yıldız, N. Bayazıt, M. Ata, Y. Çağlar, A. Özerkan, 2002, **Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı-1999A (TUTGA-99A)**, Harita Dergisi Özel Sayı, 16, Ankara.
- Boehm J, Cerveira M, Schuh H., 2006, **The impact of tropospheric mapping functions based on numerical weather models on the determination of geodetic parameters**, Institute of Geodesy and Geophysics, Vienna University of Technology, Gusshausstrasse 27-29, 1040 Vienna, Austria
- BÖHNBÜY, 2005, **Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgilerini Üretim Yönetmeliği**.
- Deniz, R. Ayan, T., Gürkan, O., Öztürk, E., Çelik, R.N., 2003, **Uluslararası Jeodezik Referans Sistemleri ve CBS**, Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Jeodezik Ağlar Çalıştayı. Çağrılı Bildiri. 24-25-26 Eylül 2003 Konya.
- Doğan, U., 2007, **Accuracy analysis of relative positions of permanent GPS stations in the Marmara region, Turkey**. Survey Review, 39, 304, pp. 156-165.
- Eckl, M.C., R. Snay, T. Soler, M.W. Cline & G.L. Mader, 2001, **Accuracy of GPS-derived relative positions as a function of interstation distance and observing-session duration**, Journal of Geodesy, 75(12),633-640.

- Eren, K., Uzel T., Güral E., Yildirim Ö., Cingöz A., 2009, **“Results From A Comprehensive Global Navigation Satellite System Test in the CORS-TR Network: Case Study”**, *Journal of Surveying Engineering*, Volume 135 Issue 1, Ph.10-18.
- FGCC, 1988, **Geometric Geodetic Accuracy Standards and Specifications for using GPS Relative Positioning Techniques**, Federal Geodetic Control Committee.
- GSSSM, 2004, **Accuracy Standards of Control Survey, (Version 1.0)**, The Geodetic Survey Section of Survey and Mapping Office of Lands Department, Hong Kong.
- Häkli, P., Koivula, H., Puupponen, J., 2008, **Assessment of Practical 3-D Geodetic Accuracy for Static GPS Surveying, Integrating Generations**, FIG Working Week 2008 Stockholm, Sweden 14-19 June 2008
- HGK, 1997, **TUTGA Teknik Esasları**, Harita Genel Komutanlığı, Jeodezik Dairesi Başkanlığı (yayınlanmadı)
- HGK, 2005, **TUTGA Geliştirme Esasları**, Harita Genel Komutanlığı, Jeodezik Dairesi Başkanlığı (yayınlanmadı)
- Hopfield, H.S., 1977, **Tropospheric Correction of Electromagnetic Ranging Signals to a Satellite: A Study of Parameters**. Paper presented at Symposium on Electromagnetic Distance Measurements and the Influence of Atmospheric Refraction, 23-28 May.
- IGS, 2009, **IGS Products**, <http://igs.cb.jpl.nasa.gov/components/prods.html>, 01.06.2010
- Kouba, J., 2003, **A Guide to Using International GNSS Service (IGS) Products**, <http://acc.igs.org/UsingIGSProductsVer21.pdf>, 01.06.2010
- Leick, A., 1990, **GPS Satellite Surveying**. John Wiley and Sons, New York, N. Y. 352pp.
- Marini JW, 1972, **Correction of satellite tracking data for an arbitrary tropospheric profile**, *Radio Science*, Vol. 7, No. 2, pp. 223-231.
- McKay, E.J., 2001, **Positioning Accuracy Standards**, NC Society of Surveyors, October 16, 2001, New Bern, North Carolina.
- Mendes B., Langley B., 2004, **Optimization of Zenith Hydrostatic Delay Prediction Models, Modern Technologies**, Education and Professional Practice In Geodesy And Related Fields Sofia, 04 - 05 November 2004
- Niell AE, 1996, **Global mapping functions for the atmosphere delay at radio wavelengths**, *J. Geophys. Res.* 101(B2):3227-3246
- Psimoulis, P.A., Kontogianni, V.A., Nickitopoulou, A., Pytharouli, S.I., Triantafyllidis, P., Stiros, S.C., 2004, **Estimating the Optimum Duration of GPS Static Observations for Short Baseline Length Determination in Greece**, FIG Working Week 2004, Athens, Greece, May 22-27, 2004
- Rizos, C., 2002, **Network RTK Research and Implementation-A Geodetic Perspective**, *Journal of Global Positioning Systems*, 1, 2, 144-150.
- Saastamoinen J, 1973, **Contributions to the Theory of Atmospheric Refraction**, Part II, *Bulletin Geodesique*, Vol. 107, pp. 13-34
- Seeber G., 1993, **Satellite Geodesy: Foundations, Methods, and Applications**, Walter de Gruyter, Berlin-New York
- Snay, R.A., T. Soler & M. Eckl, 2002, **GPS precision with carrier phase observations: Does distance and/or time matter?**, *Professional Surveyor*, 22(10), 20, 22, 24.
- Soler, T., P. Michalak, N.D. Weston, R.A. Snay & R.H. Foote 2006). **Accuracy of OPUS solutions for 1- to 4-h observing sessions**, *GPS Solutions*, 10(1), 45-55
- Vollath U., A. Buecherl, H. Landau, C. Pagels & B. Wagner, 2000, **Multi-base RTK positioning using Virtual Reference Stations**, 13th Tech. Meeting of the Satellite Div. of the U.S. Institute of Navigation, Salt Lake City, Utah, 19-22 September, 123-131.
- Weston, N.D., T. Soler, and G.L. Mader, 2009, **Rover station positional accuracies from OPUS as a function of reference station spacing and rover station occupation time**. *Proc. FIG Working Week*, Eilat, Israel, 3-8 May 2009, 11 p.
- Zielinski, J., 1989, **GPS baseline error caused by the orbit uncertainty**. *Manus. Geod.* 14:117-124.