

Büyük Ölçekli Harita Üretimi Standartlarının Geliştirilmesine Yönelik GPS PPP Tekniğinin Doğruluğunun Araştırılması

Taylan Öcalan^{1,*}, Ayhan Cingöz², Hüseyin Duman¹, Kemal Hastaoğlu³, Tahsin Kara⁴, Mehmet Vahdet Gezer⁴, Erdem Özer⁴, Ömer Salgın⁴

¹ Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 34220, İstanbul.

² Harita Genel Komutanlığı, Jeodezi Dairesi Başkanlığı, 06100, Ankara.

³ Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, 58140, Sivas.

⁴ Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü, Harita Dairesi Başkanlığı, 06100, Ankara.

Özet

Son yıllarda başta IGS olmak üzere JPL, CODE, NRCan gibi organizasyonların sağlamış oldukları yüksek doğrulukta uydu yörünge ve saat bilgileri ile diğer hata modelleri kullanılarak geliştirilen ve uygulamada hassas mutlak konum belirleme tekniği olarak adlandırılan PPP (Precise Point Positioning) tekniği, bağıl konum belirleme ilkesine alternatif olma yönünde önemli bir gelişme göstermektedir. Tekniğin ölçü sonrası büro hesaplamaları (post-processing) için geliştirilen yazılım algoritmalarının (Bernese, Gipsy, WaPPP, BNC, RTK-LIB vb.) yanı sıra, özellikle internet tabanlı çalışan servis uygulamaları da (CSRS-PPP, GAPS, APPS, Magic-GNSS, Trimble CenterPoint RTX vb.) yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Ticari ve bilimsel yazılımlara göre kullanıcılar için uzun süreli profesyonel bir eğitim gerektirmeyen, farklı seviyedeki kullanıcıların basitçe ve rahatlıkla kullanabilecekleri ücretsiz bu servisler, PPP tekniğinin kullanımını da yaygınlaştırmıştır.

Bu çalışmada öncelikle, IGS ağına dahil olan Ankara (ANKR) istasyonuna ait 10-19 Mayıs 2014 (DoY:130-139) tarihleri arasındaki 10 günlük GPS verileri bağıl ve PPP (Precise Point Positioning) ilkesi ile hizmet veren internet tabanlı servislerde analiz ettirilmiş ve konumsal tekrarlılıkları belirlenmiştir. Analiz servislerinin 24 saatlik veriler için konum tekrarlılıkları; kuzey ve doğu bileşenler için yaklaşık ± 3 mm, yükseklik bileşeni için ± 5 mm, birbirleri arasındaki mutlak konum farklılıkları ise; kuzey ve doğu bileşenler için en yüksek 10 mm, yükseklik bileşeni için de en yüksek 15 mm bulunmuştur. Aynı veri kümesi Gamit/GLOBK yazılımı ile bağıl konum belirleme tekniği kullanılarak, Bernese v5.2 yazılımı ile de PPP tekniği kullanılarak analiz edilmiş ve konum farklarının aynı mertebeler içerisinde kaldığı görülmüştür.

Ayrıca, GPS PPP tekniğinin farklı ölçü süreleri için doğruluğunun araştırılması amacıyla, söz konusu günlere ait 24, 12, 8, 4, 3, 2 ve 1 saatlik ölçü süreleri için elde edilen statik veri seti, Bernese v5.2 sürümünün otomatik değerlendirme (BPE: Bernese Processing Engine) modülü olan PPP_BAS.PCF (PCF: Processing Control File) kullanılarak, PPP modunda değerlendirilmiştir. Bu analiz işleminde gerekli olan ve hassas düzeltme modellerini içeren gerekli tüm dosyalar (atmosferik vb.) CODE ürünlerinden seçilmiştir. Analiz sonucunda, 24 saatlik ölçümden elde edilen konum farklarına yakınsama miktarının; 1 saatlik ölçümde kuzey, doğu ve yükseklik bileşenleri için sırasıyla; 1 cm, 20 cm ve 7 cm, 2 saatlik ölçümde; 1 cm, 12 cm ve 6 cm, 3 saatlik ölçümde ise; 1 cm, 2 cm ve 2 cm civarında olduğu tespit edilmiştir. 4 saat ve üzeri ölçüm sürelerinde ise söz konusu farkların yaklaşık 1.5 cm ve daha altında olduğu görülmüştür.

Bu sonuçlarla, en az 3 saatlik statik gözlem verilerinin toplanması halinde, PPP tekniğinin bağıl konum belirleme tekniği kullanılarak hesaplanan konumlara yakın sonuçlar verdiği görülmüştür. PPP yönteminin başka bir alıcı/istasyondan toplanan verilere ihtiyaç duymaması, tek bir alıcı kullanılması nedeniyle bağıl konum belirleme tekniğine göre avantaja sahip olduğu değerlendirilebilir. Bu kapsamda, büyük ölçekli harita ve harita bilgilerinin uydu teknikleri ile üretilmesine ilişkin olarak hâlihazırda mevzuatta mevcut olmayan PPP tekniğinin statik ölçmeler için kullanılabilmesi, bu çerçevede bu teknikle ilgili ölçüm ve analiz kriterlerinin kararlaştırılarak mevzuata eklenebileceği değerlendirilmektedir.

Anahtar Sözcükler

GPS/GNSS, Hassas Mutlak Konum Belirleme, PPP, İnternet Tabanlı Servisler, Doğruluk

1. Giriş

Günümüzde temel jeodezik ağların kurulması, yapısal deformasyonların ve yer kabuğu hareketlerinin izlenmesi, mühendislik amaçlı özel ölçmeler, kinematik GPS/GNSS destekli fotogrametrik ve lidar çalışmaları, batimetrik ölçmeler gibi yüksek doğruluk ve duyarlılık gerektiren uygulamalarda, geleneksel olarak GPS/GNSS'nin bağıl (rölatif) konumlama ilkesinden yararlanılmaktadır (Öcalan ve Soyca, 2012; Öcalan, 2012; Öcalan ve Soyca, 2011). Bağıl konumlama ilkesine dayalı tüm GNSS tekniklerinde koordinatları bilinen bir ya da daha fazla referans noktasında yapılan eş zamanlı ölçümlere gereksinim vardır. Tercih edilen ölçme modu (statik yada kinematik), ölçü süresi, kullanılan ekipman ve donanımlar, kullanılan sinyal ve kodlar, veri işleme algoritmaları, referans alıcı/alıcıları altyapısı, uydu-alıcı geometrisi, ölçü sonrası değerlendirme ya da gerçek zamanlı çalışma vb. etkenler konum belirlemede farklı seviyelerde performans elde edilmesini sağlamaktadır. Örneğin tek frekans ve kod (pseudorange) ölçülerinin kullanıldığı diferansiyel GNSS (DGNSS) tekniğinde birkaç desimetre konum doğruluğu elde edilirken, çift frekans ve taşıyıcı faz (carrier phase)

* Sorumlu Yazar: Tel: +90 (212) 3835302 Faks: +90 (212) 3835102

E-posta: tocalan@yildiz.edu.tr (Öcalan T.), ayhan.cingoz@hgk.msb.gov.tr (Cingöz A.), hduman@yildiz.edu.tr (Duman H.), khastaoğlu@cumhuriyet.edu.tr (Hastaoğlu K.), tahsinkara77@gmail.com (Kara T.), mehmetvg@gmail.com (Gezer M.V.) ozerer@hotmail.com (Özer E.), osalgın@gmail.com (Salgın Ö.)

ölçülerinin kullanıldığı RTK tekniklerinde ise santimetre mertebesinde konum doğruluğu elde edilmektedir (Rizos vd., 2012).

Farklı nitelikteki pekçok jeodezik amaçlı çalışma dikkate alındığında, özellikle mm gibi yüksek konum doğruluğu gerektiren uygulamalarda bağıl konum belirleme tekniğinin ölçü sonrası büro hesaplamaları (post-processing) yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunun için GNSS üreticisi firmaların geliştirdikleri çeşitli ticari veri değerlendirme ve analiz yazılımları ile üniversite ve enstitülerin geliştirdikleri bilimsel yazılımlar (*Bernese, Gamit/GLOBK, Gipsy vb.*) uzun yıllardır kullanıcılar tarafından tercih edilmektedir. Görece maliyetleri yüksek olan bu yazılımların etkin ve profesyonel kullanımı ise uzun deneyim süreçleri gerektirmektedir. Ancak 1990'lı yılların sonlarından itibaren sayıları giderek artan pasif ve aktif yapıdaki sabit GNSS referans istasyonlarının tüm dünyada etkin kullanımıyla birlikte, bağıl konum belirleme ilkesi ile hizmet veren internet tabanlı servislerin (*AUSPOS, OPUS, SCOUT*) hizmete sunulması, GPS/GNSS verilerinin değerlendirilmesi ve analizinde ticari ve bilimsel yazılımlara önemli bir alternatif olmuştur. Birçok çalışma için yeterli olan yüksek konum doğruluğu bilgisini kullanıcı deneyimi gerektirmeyen bir şekilde ve ücretiz olarak sağlayan internet tabanlı bu servisler, günümüzde oldukça popüler hale gelmiştir. Bağıl konum belirleme ilkesine göre hizmet veren ve de oldukça yaygın olarak kullanılan bu servisler, süreç içerisinde GNSS konum belirleme algoritmalarındaki gelişmelerle çeşitlilik de kazanmıştır.

Öyle ki, son yıllarda başta IGS olmak üzere JPL, CODE, NRCan gibi organizasyonların sağlamış oldukları yüksek doğrulukta uydu yörünge ve saat bilgileri ile diğer hata modelleri kullanılarak geliştirilen ve uygulamada hassas mutlak konum belirleme tekniği olarak adlandırılan PPP (Precise Point Positioning) yöntemi, bağıl konum belirleme ilkesine alternatif olma yönünde önemli bir gelişme göstermektedir. Tekniğin ölçü sonrası büro hesaplamaları için geliştirilen yazılım algoritmalarının (*Bernese, Gipsy, WaPPP, BNC, RTK-LIB vb.*) yanı sıra, özellikle internet tabanlı çalışan servisleri de (*CSRS-PPP, GAPS, APPS, Magic-GNSS, Trimble CenterPoint RTX vb.*) yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Ticari ve bilimsel yazılımlara göre kullanıcılar için uzun süreli profesyonel bir eğitim gerektirmeyen, farklı seviyedeki kullanıcıların basitçe ve rahatlıkla kullanabilecekleri ücretsiz bu servisler, PPP tekniğinin kullanımını da yaygınlaştırmıştır. Kullanıcılar için ücretsiz hizmet veren bu internet tabanlı PPP servislerinin bir bölümüne üye olunması, sisteme yüklenecek (upload edilecek) GPS/GNSS RINEX verisi için kota sınırlaması, verilerin statik/kinematik moda değerlendirmesi, tek/çift ve çok frekanslı alıcı verilerinin değerlendirilmesi, GNSS anten marka/modeline göre hizmet verme gibi çeşitli ve farklı kısıtlar olmasına karşın, oldukça ilgi görmektedirler. Multi-GNSS (GPS, GLONASS, BeiDou, Galileo, QZSS, SBAS vd.) konseptinin gelişimine paralel olarak yeni algoritmaları ve hata modellerini içeren bu servisler, gün geçtikçe üreticisi olan ve hizmet sağlayan organizasyonlar ve ticari firmalar tarafından güncellenmeye devam etmektedirler (Öcalan, vd., 2013; Alkan, vd. 2013; Öcalan ve Alkan, 2013; Alkan ve Öcalan, 2013; Öcalan, 2011) .

Şekil 1 bağıl ve hassas mutlak konum belirleme (PPP) ilkesi ile hizmet veren bu servislerin temel çalışma sistematiğini göstermekte olup, Tablo 1 ise bu servislerin en bilinen ve yaygın olarak kullanılanlarının temel özellikleri bakımından karşılaştırılmasını göstermektedir.



Şekil 1: İnternet tabanlı konum belirleme servislerinin temel çalışma sistematiği (Öcalan ve Soycan, 2012)

Tablo 1: Bağıl ve hassas mutlak konum belirleme (PPP) tekniklerini kullanan internet tabanlı servisler

Konum Belirleme	Servis Kısa Adı	Organizasyon Şirket	Veri Türü	Ölçme Modu	Yazılım	Güncel Datum
Bağıl	AUSPOS	Geoscience/Avustralya	GPS	Statik	Bernese	ITRF2008
	OPUS	NOAA-NGS/ABD	GPS	Statik/Hızlı Statik	PAGES	ITRF2008
	SCOUT	SOPAC/ABD	GPS	Statik	Gamit	ITRF2005
Hassas Mutlak (PPP)	CSRS-PPP	NRCan/ Kanada	GNSS	Statik/Kinematik	NRCan PPP	ITRF2008
	GAPS	University of New Brunswick/Kanada	GPS	Statik/Kinematik	GAPS	ITRF2008
	APPS	NASA-JPL/ABD	GPS	Statik/Kinematik	Gipsy	ITRF2008
	magic-GNSS	GMV/İspanya	GNSS	Statik/Kinematik	magic PPP	ITRF2008
	Trimble RTX	Trimble/ABD	GNSS	Statik	Trimble	ITRF2008

2. Bağıl ve Hassas Mutlak Konum Belirleme (PPP) Teknikleri

Bağıl konum belirleme, koordinatları bilinen bir ya da daha fazla referans noktasına göre diğer nokta/noktaların koordinatlarının belirlenmesidir. Bağıl konum belirleme ile iki nokta arasındaki baz vektörü (baseline) belirlenmektedir. Bu teknikte iki ayrı noktada kurulmuş iki alıcı ile aynı uydulara eş zamanlı kod veya faz gözlemi söz konusudur. Elde edilen doğruluk mutlak konum belirlemeden daha iyidir. Alıcı tipi, ölçü süresi, uydu geometrisi, uydu sayısı ve kullanılan efemeris bilgisine bağlı olarak elde edilen doğruluklar 0.001 ile 100 ppm arasında değişmektedir. Özellikle jeodezik amaçlı yüksek doğruluk ve duyarlık gerektiren çalışmalarda kod gözlemleri yerine faz gözlemlerinden yararlanılmaktadır. Bağıl konum belirleme ilkesine göre faz gözlemleri kullanarak hassas konum bilgisi elde edebilmek için 5 farklı ölçme yöntemi kullanılmaktadır. Bunlar, statik, hızlı statik, tekrarlı, dur-git ve kinematik ölçme yöntemleridir (Kahveci ve Yıldız, 2009; Hoffman-Wellenhof vd., 2001; Öcalan, 2005).

Klasik anlamda yapılan mutlak konum belirlemenin özel bir durumu olan ve yüksek konum doğruluğu bilgisinin elde edilebildiği hassas mutlak konum belirleme (PPP) tekniğinde, koordinatı belirlenecek noktada çift frekanslı tek bir alıcı ile gözlem yapılması yeterli olmaktadır. Böylece çift frekanslı tek bir alıcı ile kod ve taşıyıcı faz gözlemleri kullanılarak, fark almaksızın (un-differenced) ve iyonosfer-bağımsız (ionosphere-free) kombinasyonlarla, dm-cm mertebesinde nokta konum doğrulukları elde edilebilmektedir (Gao ve Shen, 2002; Rizos vd., 2012; Kouba ve Héroux, 2001; Gao ve Shen, 2001; Zumberge, 1997). Teknike kullanılan yörünge ve saat ürünlerinin doğrulukları ile değerlendirilmede dikkate alınan diğer hata modelleri, elde edilecek nokta konum doğrulukları açısından büyük önem taşımaktadır. Özellikle Tablo 2’de gösterilen hata modellerinin ayrı ayrı dikkate alınması, PPP’de konum doğruluğunu arttırmada önemli bir etkidir.

Geleneksel PPP tekniğinde iyonosfer kaynaklı hataların etkisini azaltmak için çift frekanslı GPS gözlem (kod gözlemleri ve iyonosfer-bağımsız taşıyıcı faz gözlemleri) modelleri benimsenmiştir. PPP için fonksiyonel model kombinasyonlarının ilk etkin kullanımı Zumberge vd.(1997) çalışmasında ele alınmıştır. Geleneksel PPP’nin matematiksel gözlem modelleri ise Kouba ve Héroux (2001) tarafından aşağıdaki (1) ve (2) eşitlikleri ile gösterilmiştir.

$$P = \rho + C(dT - dt) + T_r + \varepsilon_p \quad (1)$$

$$\Phi = \rho + C(dT - dt) + T_r + N\lambda + \varepsilon_\Phi \quad (2)$$

Bu eşitlikte;

- P : P1 ve P2 kod ölçülerinin iyonosfer-bağımsız kombinasyonu (P3)=(2.546P1-1.546P2)
 Φ : L1 ve L2 taşıyıcı faz ölçülerinin iyonosfer-bağımsız kombinasyonu (L3)=(2.546 λ₁ Φ₁-1.546 λ₂ Φ₂)
 ρ : hesaplanan geometrik mesafe (uydu-alıcı arası)
 C : boşluktaki ışık hızı
 dT : GPS zamanına göre alıcı saat offseti
 dt : GPS zamanına göre uydu saat offseti
 T_r : Atmosferdeki sinyal gecikmesini (öncelikli troposfer)
 N : Taşıyıcı faz iyonosfer-bağımsız kombinasyonunun tamsayı belirsizliği bilinmeyi
 λ₁, λ₂, λ : Sırasıyla L1, L2 taşıyıcı fazları ve kombine edilmiş L3 (10.7 cm)’ün dalga boyu
 ε_p, ε_Φ : Multipath’de içeren, ilgili ölçme gürültü bileşenlerini

ifade etmektedir.

Geleneksel PPP tekniğinin bu avantajlarına karşın en önemli sorunu, taşıyıcı faz başlangıç tamsayı bilinmeyi (integer ambiguity) çözümü için gereken yakınsama süresinin uzun olmasıdır. Santimetre (cm) mertebesindeki doğruluklar için “ambiguity float” çözümlerinin yakınsamasında minimum 20 dakika veya daha fazla süre gözlem yapılması gerekmektedir (Rizos vd.,2012). Bu nedenle ölçü süresinin artması, PPP’de konum doğruluğunu arttırıcı diğer önemli bir faktördür.

Tablo 2: PPP ve diferansiyel GNSS konumlama teknikleri için uygulanması ya da hesaplanması gereken bias'lar ve hatalar (Rizos vd., 2012).

Düzeltilme Türü	PPP	Diferansiyel GNSS
Uydu Kaynaklı Hatalar		
Hassas uydu saat düzeltmeleri	✓	×
Uydu anteni faz merkezi offset değerleri	✓	✓
Uydu anteni faz merkezi kayıklıkları	✓	✓
Hassas uydu yörüngeleri	✓	✓/×
Diferansiyel grup gecikmeleri (group delay)	✓(L1 için)	×
Rölativite (görelilik) koşulu (relativity term)	✓	×
Uydu anteni faz dönmesi (wind-up) hatası	✓	×
Alıcı Kaynaklı Hatalar		
Alıcı anteni faz merkezi offset değerleri	✓	✓
Alıcı anteni faz merkezi kayıklıkları	✓	✓
Alıcı anteni faz dönmesi (wind-up)	✓	×
Jeofiziksel Modeller		
Katı yeryüzü gelgiti (Solid Earth Tide)	✓	×
Okyanus yüklemesi (Ocean Loading)	✓	×
Kutup gelgiti (Polar Tides)	✓	×
Plaka tektonik hareketleri (Plate tectonic motion)	✓	×
Atmosferik Modeller		
Troposferik gecikme	✓	✓
İyonosferik gecikme	✓(L1 için)	×

3. IGS Ankara (ANKR) İstasyonunda Yapılan Deneysel Çalışma

3.1. Test İstasyonu ve Verisinin Özellikleri

Türkiye’de 1988 yılında başlayan uygulamalı uydu jeodezisi faaliyetleri kapsamında uluslararası izleme ağlarına dâhil olacak bir istasyon kurulması düşünülmüş ve 1989 yılında Harita Genel Komutanlığı (HGK) ile Federal Almanya Kartografya ve Jeodezi Dairesi (BKG) tarafından ortaklaşa olarak bir izleme istasyonu kurulmasına karar verilmiştir. Bu amaçla öncelikle Ankara Sabit GPS İstasyonu (ANKR) kurulmuş ve 23 Ocak 1991 tarihinde faaliyetine başlamıştır (Özdemir, S. vd., 2011). Şekil 2’de görülen ve Uluslararası GNSS Servisi (IGS) ağının Türkiye’deki ilk istasyonu olan ANKR (Ankara), günümüzde alıcı ve anten sistemi yenilerek GNSS sinyallerini alabilen sabit referans istasyonu yapısına dönüştürülmüştür. Topcon TPS E_GGD tipi alıcıya ve Topcon TPSCR3_GGD model choke ring antene sahip olan ANKR IGS istasyonu farklı ölçü süreleri için GPS PPP tekniğinin doğruluğunun araştırılması için test noktası olarak seçilmiştir.



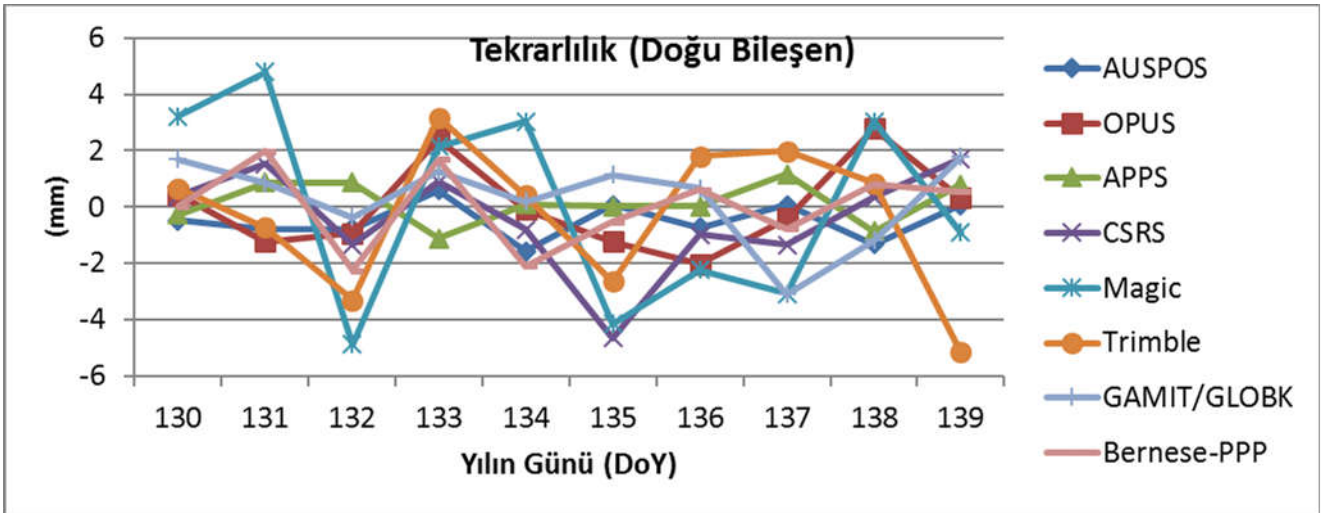
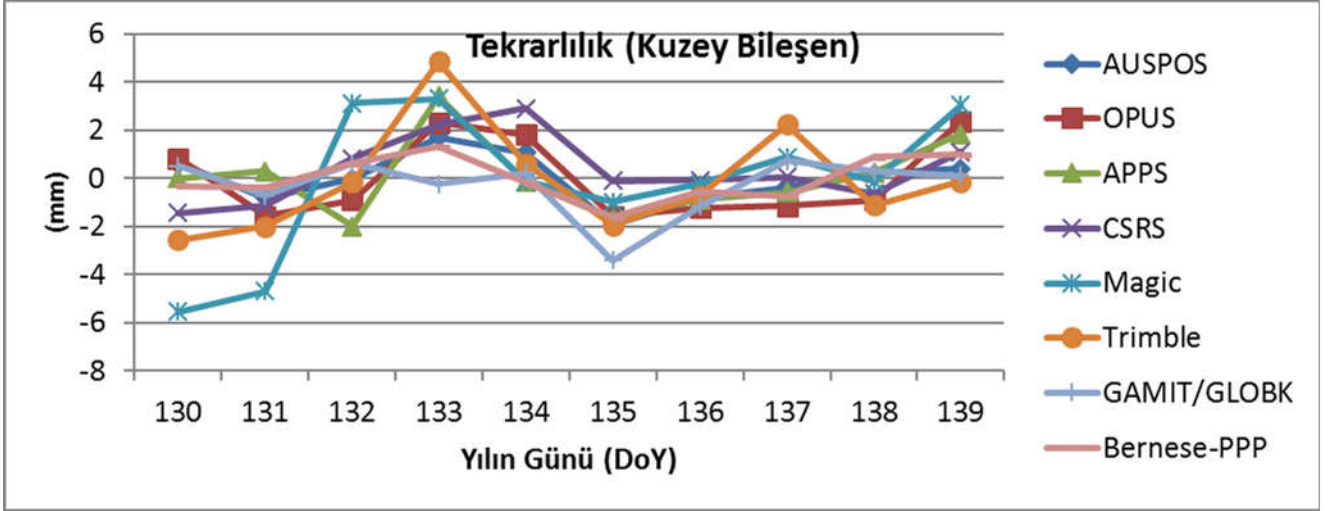
Şekil 2: IGS Ankara (ANKR) istasyonu

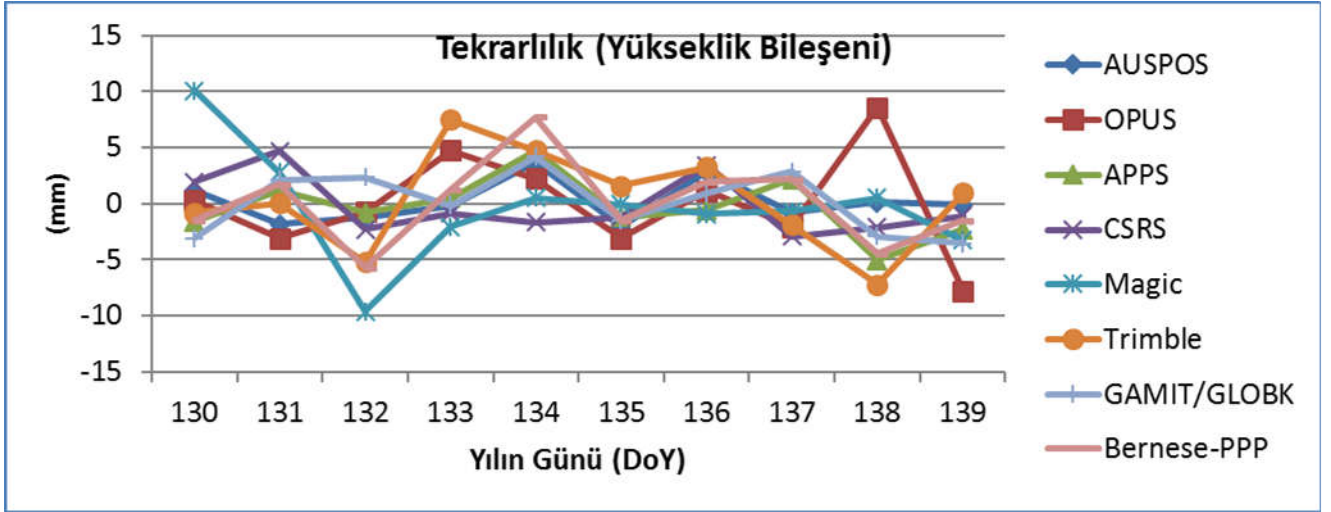
Ankara (ANKR) istasyonuna ait 10-19 Mayıs 2014 (DoY:130-139) tarihleri arasındaki 10 günlük statik veri ilgili deneysel çalışma için IGS’den temin edilmiştir. 30 saniye veri kayıt aralığına sahip RINEX formatındaki bu veriler TEQC yazılımı ile 24, 12, 8, 4, 3, 2 ve 1 saatlik farklı ölçü sürelerine ayrılmıştır. Bu kapsamda geleneksel bağıl konum belirleme tekniğine karşın, PPP tekniğinin farklı ölçü süreleri için internet tabanlı servisler ve farklı bilimsel yazılımlar (Bernese ve Gamit/GIOBK) kullanılarak performansının araştırılması amaçlanmıştır. Böylece büyük ölçekli harita üretimi standartlarının geliştirilmesine yönelik katkı sağlanması hedeflenmiştir.

3.2. Veri Değerlendirme ve Analiz

Yüksek doğruluk ve duyarlık gerektiren konum belirleme çalışmalarında geleneksel olarak tercih edilen bağıl konum belirleme yöntemine karşın PPP tekniğinin performansının farklı ölçü süreleri için test edilmesi amaçlanan bu çalışmada, internet tabanlı servisler ve bilimsel yazılımlar veri değerlendirme ve analiz aşamasında kullanılmıştır.

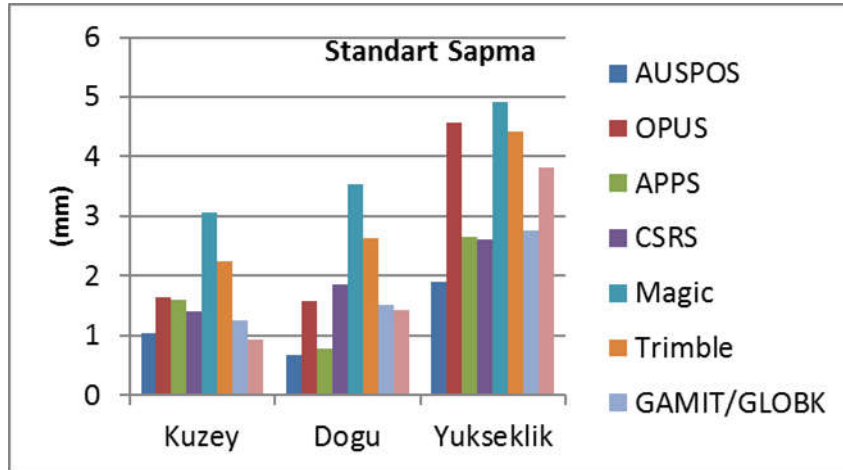
Bu noktada ilk olarak ANKR istasyonunun 24 saatlik 10 gün tekrarlı verisinin analizi gerçekleştirilmiştir. Bu tekrarlılık analizinde bağıl konum belirleme tekniğinde çözüm sağlamak için AUSPOS ve OPUS servisleri ile internet tabanlı olarak, Gamit/GLOBK yazılımı ile de manuel olarak değerlendirme ve analiz yapılmıştır. Aynı veri seti PPP tekniği kullanılarak APPS, CSRS-PPP, Macig-GNSS, Trimble-RTX servisleri ile internet tabanlı olarak, Bernese yazılımı ile de manuel olarak değerlendirilmiş ve analiz edilmiştir. Tüm değerlendirme sonuçlarına ilişkin konum tekrarlılıkları toposentrik koordinatlar kuzey (n), doğu (e), yükseklik (u) olarak Şekil 3' deki grafiklerde gösterilmiştir.





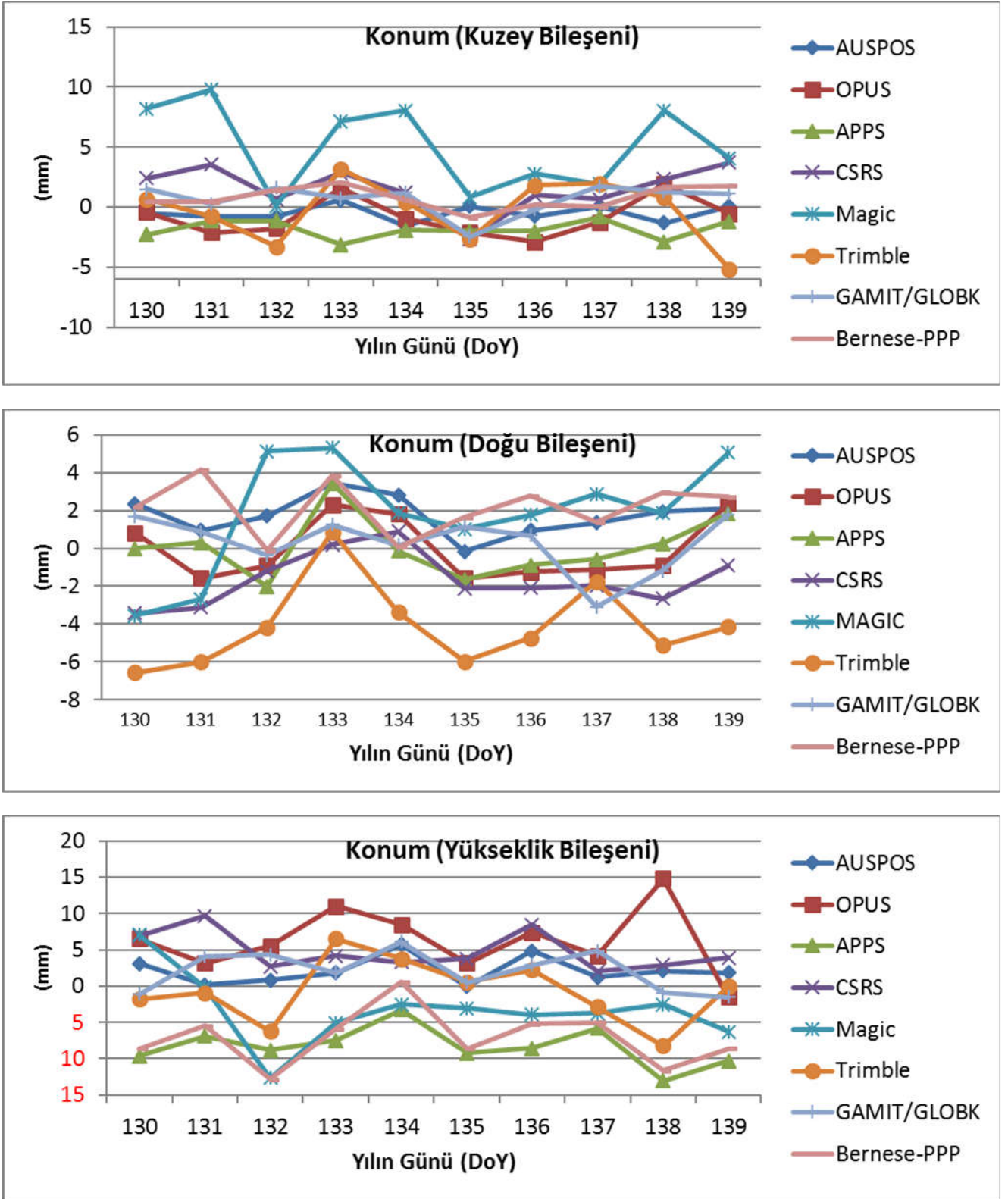
Şekil 3: Kuzey, doğu ve yükseklik bileşenleri için konum tekrarlılıkları

Elde edilen analiz sonuçları dikkate alındığında 24 saatlik veriler için konum tekrarlılıklarının gerek bağıl çözüm, gerekse PPP çözümünün kullanıldığı internet servisler ile bilimsel yazılım çözümlerinde, kuzey ve doğu bileşenler için yaklaşık ± 3 mm, yükseklik bileşeni için de ± 5 mm arasında kaldığı gözlemlenmiştir. Konumsal tekrarlılıkların on gün için elde edilen çözümlerinin standart sapmalarının ortalamasını gösteren grafik Şekil 4' de görülmektedir. Buna göre bağıl çözüm yaklaşımını kullanan AUSPOS ve OPUS servisleri ile Gamit/GLOBK yazılımından elde edilen standart sapma ortalama değerleri kuzey bileşeni için $\pm 1 - 1.6$ mm, doğu bileşeni için $\pm 0.7 - 1.6$ mm, yükseklik bileşeni için ise $\pm 1.9 - 4.6$ mm arasında değişim göstermektedir. PPP çözüm yaklaşımını kullanan APPS, CSRS-PPP, Magic-PPP, Trimble-RTX servisleri ile Bernese yazılımından elde edilen standart sapma ortalama değerlerinin ise kuzey bileşeni için $\pm 0.9 - 3.1$ mm, doğu bileşeni için $\pm 0.8 - 3.5$ mm, yükseklik bileşeni için ise $\pm 2.6 - 4.9$ mm arasında değişim gösterdiği elde edilmiştir.



Şekil 4: 10 günlük koordinat çözümlerine ilişkin standart sapma miktarlarının ortalaması

ANKR istasyonunun Gamit/GLOBK yazılımı kullanılarak bağıl konum belirleme tekniği ile hesaplanan ve referans alınan ITRF2008 datumundaki koordinatları ile internet tabanlı servisler ve diğer yazılım çözümleri arasındaki mutlak konum farklarını gösteren grafikler ise Şekil 5' de görülmektedir. Buna göre kuzey ve doğu bileşenleri için en yüksek mutlak konum farkının 10 mm, yükseklik bileşeni için de en yüksek mutlak konum farkının 15 mm olduğu bulunmuştur.



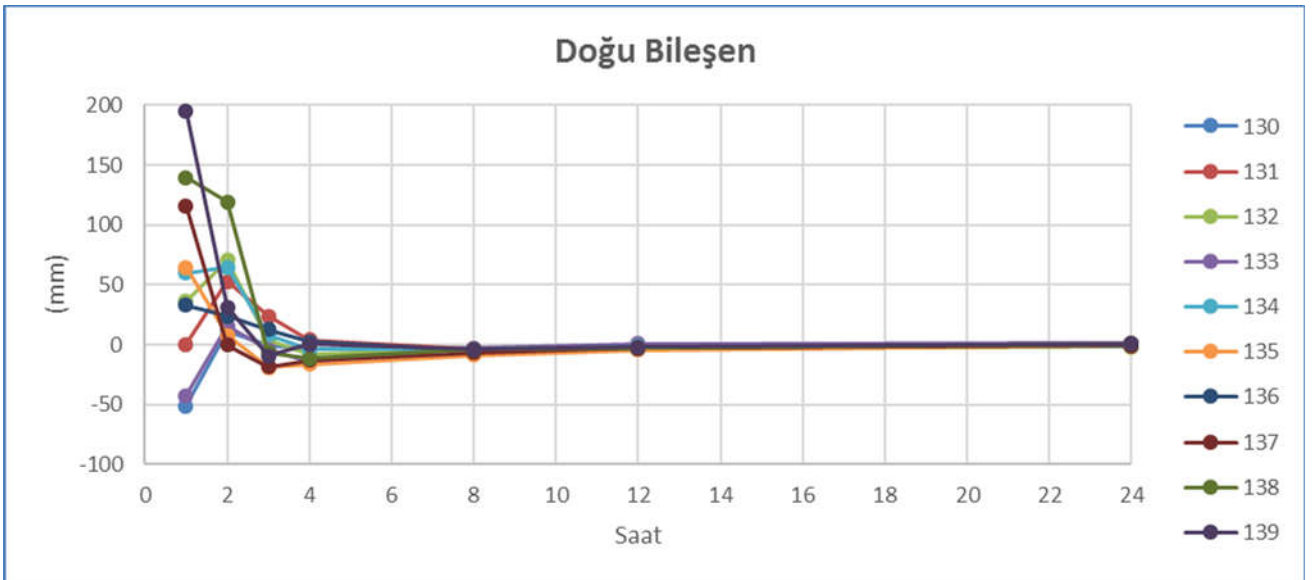
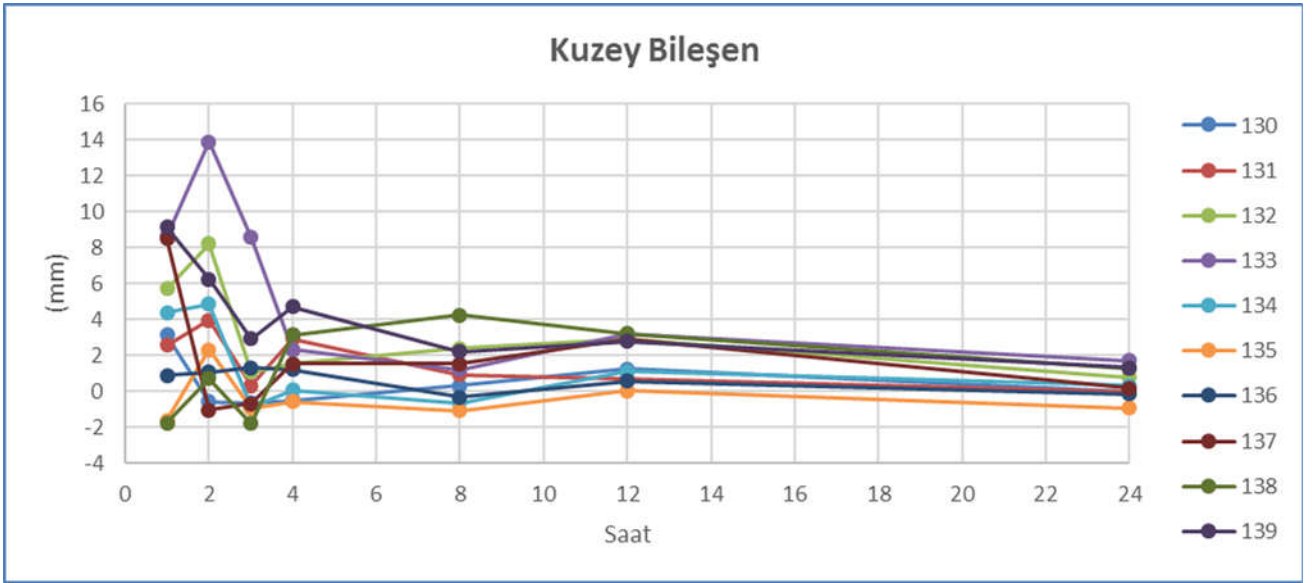
Şekil 5: Mutlak Konum Farkları

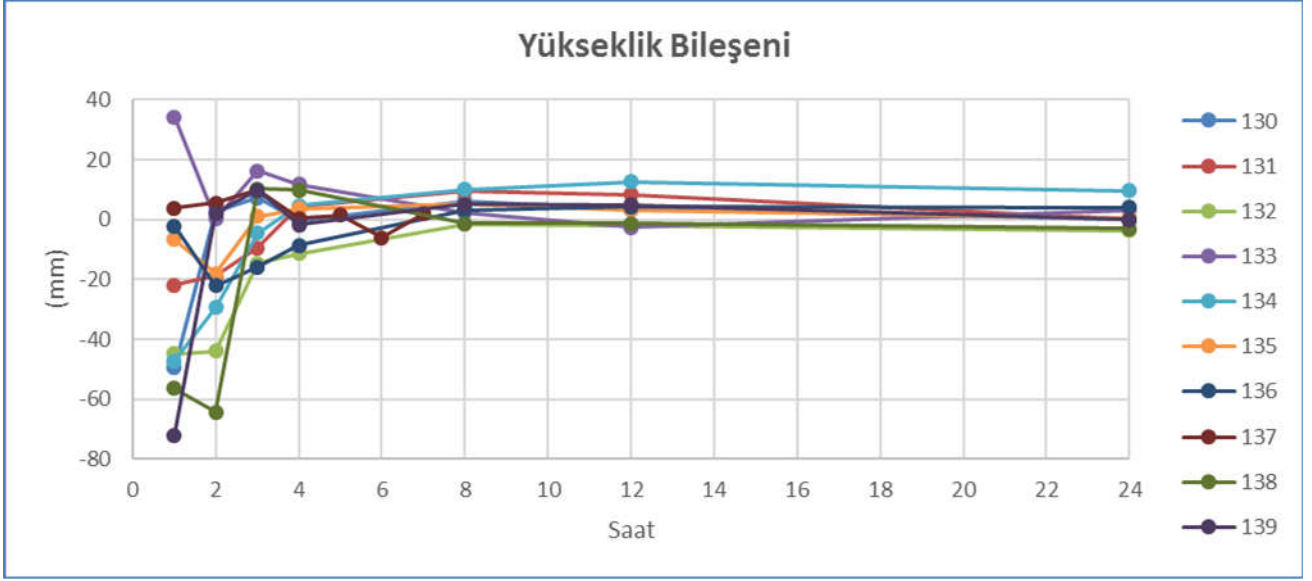
Deneysel çalışmanın ikinci adımını oluşturan bölümde PPP tekniğinin 24, 12, 8, 4, 3, 2 ve 1 saatlik farklı ölçü süreleri için performansı araştırılmıştır. Bu kapsamda söz konusu günlere ait 24, 12, 8, 4, 3, 2 ve 1 saatlik ölçü süreleri için elde edilen statik veri seti, Bernese v5.2 bilimsel yazılımının otomatik değerlendirme (BPE: Bernese Processing Engine) modülü ile PPP_BAS.PCF (PCF: Processing Control File) kullanılarak, PPP modunda değerlendirilmiştir. Bu analiz işlemi gereklilikleri ve hassas düzeltme modellerini içeren gerekli tüm dosyalar (atmosferik vb.) CODE ürünlerinden seçilmiştir. Bernese v5.2 bilimsel yazılımı ile yapılan veri değerlendirme ve analiz işlemi kullanılan bu dosyalar;

- COD17916.ION (İyonosfer Dosyası -- Günlük)
- P1C11405.DCB (Differential Code Biases – Aylık)
- COD17916.CLK (Saat Dosyası – Günlük)
- COD17916.EPH (Hassas Yörünge Dosyası – Günlük)
- COD17917.ERP (Yer Dönme Parametreleri – Haftalık)

şeklinde. Bunlara ek olarak kullanılan ürünler, okyanus yüklemesi (BLQ), atmosferik modelleme (ATL) dosyalarıdır. ITRF2008 datumuna göre gerçekleştirilen tüm çözümlerde, 24 saatlik ölçümden elde edilen konum farklarına yakınsama miktarının; 1 saatlik ölçümde kuzey, doğu ve yükseklik bileşenleri için sırasıyla; 1 cm, 20 cm ve 7 cm, 2 saatlik ölçümde; 1 cm, 12 cm ve 6 cm, 3 saatlik ölçümde ise; 1 cm, 2 cm ve 2 cm. civarında olduğu tespit edilmiştir. 4 saat ve üzeri ölçüm sürelerinde ise söz konusu farkların yaklaşık 1.5 cm ve daha altında olduğu görülmüştür.

Yedi farklı ölçü süresi için Bernese v5.2 bilimsel yazılımının PPP modülü kullanılarak hesaplanan koordinat çözümlerinin 24 saatlik ölçümden elde edilen konum farklarına yakınsama miktarları Şekil 6' da ayrıntılı olarak görülmektedir.





Şekil 6: 24 saatlik ölçümden elde edilen konum farklarına yakınsama miktarları.

4. Sonuç ve Öneriler

Bağıl konum belirleme tekniğine alternatif olma yönünde önemli bir gelişim gösteren ve kısaca PPP olarak adlandırılan hassas mutlak konum belirleme tekniği, günümüzde jeodezik ve ölçme amaçlı birçok uygulamada etkin olarak kullanılmaktadır. Bu dinamik ve değişken süreç konum belirleme tekniklerinin yanında, yazılım algoritmalarında da önemli gelişmeler yaşanmasını sağlamıştır. Öyle ki, internetin etkin kullanımının GPS/GNSS verilerinin değerlendirilmesi ve analizine sunmuş olduğu katkı, web tabanlı konum belirleme servislerinin geliştirilmesini ve hizmete sunulmasını sağlamıştır. Günümüzde masaüstü bilgisayar uygulamalarından mobil sistemlere kadar uygulamaları geliştirilen bu servisler gerek bağıl, gerekse PPP konum belirleme tekniklerinde hizmet vermektedirler. Kullanımları oldukça kolay olan bu servislerin çeşitli kısıtlamaları olmasına karşın, elde edilen veri kalitesi ve ölçü süresine bağlı olarak sağladığı yüksek doğrulukta konum bilgisi kullanıcılar için zaman, maliyet ve doğruluk kriterleri açısından önemli avantajlar sağlamaktadır.

Kullanıcıların elde ettikleri statik ya da kinematik nitelikteki verileri RINEX formatında ilgili servislere web arayüzü ile yüklemeleri (upload) neticesinde, veriler kolayca değerlendirip analiz edilerek sonuç raporları kullanıcıların e-posta adreslerine birkaç dakika içerisinde gönderilmektedir.

Bu gelişim süreci dikkate alınarak yapılan bu deneysel test çalışmasında, özellikle PPP tekniğinin farklı ölçü süreleri için performansının araştırılması ve bu kapsamda büyük ölçekli harita üretimi standartlarının geliştirilmesine yönelik mevzuat çalışmalarında kullanılması amaçlanmıştır. Elde edilen sonuçlar göstermiştir ki, en az 3 saatlik statik bir veri toplanması halinde, PPP tekniğinin bağıl konum belirleme tekniği kullanılarak hesaplanan konumlara yakın sonuçlar verdiği görülmüştür. PPP yönteminin başka bir alıcı/istasyondan toplanan verilere ihtiyaç duymaması, tek bir alıcı kullanılması nedeniyle bağıl konum belirleme tekniğine göre avantaja sahip olduğu değerlendirilebilir. Bu kapsamda, büyük ölçekli harita ve harita bilgilerinin uydu teknikleri ile üretilmesine ilişkin olarak hâlihazırda mevzuatta mevcut olmayan PPP tekniğinin statik ölçmeler için kullanılabilmesi, bu çerçevede bu teknikle ilgili ölçüm ve analiz kriterlerinin kararlaştırılarak mevzuata eklenebileceği değerlendirilmektedir.

Teşekkür

Gerçekleştirilen bu çalışma, T.C. Bakanlıklararası Harita İşlerini Koordinasyon ve Planlama Kurulu İhtisas Komisyonlarından biri olan Bilimsel Araştırma ve Koordinasyon Komisyonu (BARKOK) PPP Alt Çalışma Grubu üyelerince 2014-2015 faaliyet dönemi için gerçekleştirilmiştir. Bu bağlamda komisyon üyesi kamu kurum ve kuruluşlarına ve veri temini için Uluslararası GNSS Servisi (IGS)'ne, ayrıca internet tabanlı konum belirleme servis sağlayıcısı şirket ve organizasyonlar ile bilimsel yazılım desteği sağlayan Harita Genel Komutanlığı ve Cumhuriyet Üniversitesi Geomatik Mühendisliği Bölümü'ne katkı ve desteklerinden ötürü teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- Alkan R.M., Ocalan T., (2013), *Usability of the GPS precise point positioning technique in marine applications*, Journal of Navigation, 66(4), 579-588.
- Alkan R.M., Öcalan T., Tunaloğlu N., (2013), *Kinematic PPP performance of low-cost GPS receiver using online post-processing service*, GNSS Precise Point Positioning Workshop: Reaching Full Potential, Ottawa, Canada, 12-14 June 2013.
- Gao Y., Shen X., (2002), *A new method for carrier-phase-based precise point positioning*, Journal of Institute of Navigation, 49(2), 109-116.
- Gao Y., Shen X., (2001), *Improving ambiguity convergence in carrier phase-based precise point positioning*, Proceedings of ION GPS-2001, Salt Lake City, USA, September 11-14, 2001.
- Hoffman-Wellenhof B., Lichtenegger H., Collins, J., (2001), *GPS theory and practice*, Fifth revised edition, Springer Wien Newyork, ISBN: 3-211-83534-2
- Kahveci M., Yıldız F., (2009), *GPS/GNSS uydularla konum belirleme sistemleri teori ve uygulama*, Nobel Yayın Dağıtım, 4. Baskı, ISBN: 978-975-591-203-5, Kasım 2009.
- Kouba, J., Héroux, P., (2001), *Precise point positioning using IGS orbit and clock products*, GPS Solutions, 5(2), 12-28.
- Ocalan T., (2015), *İnternet (web) tabanlı konum belirleme servisleri ile GPS/GNSS verilerinin değerlendirilmesi ve analizi*, XYZ Dergi, Şubat 2015, 22-24.
- Öcalan T., Tunaloğlu N., Alkan R.M., (2013), *Performance analysis of trimble center point RTX post-processing service for GNSS static data*, The 2nd International Conference on Measurement Technologies in Surveying, Warsaw University of Technology, Poland, 23-25 May 2013.
- Ocalan T, Erdogan B, Tunalioglu N, (2013), *Analysis of web-based online services for GPS relative and precise point positioning techniques*, Boletim De Ciencias Geodesicas, 19(2), 191-207.
- Ocalan T., Alkan R.M., (2013), *Performance analysis of web-based online precise point positioning (PPP) services for marine applications*, Journal of The Arab Institute of Navigation, 2013(29), 24-29.
- Ocalan T., Soyacan M., (2012), *RTCM/SSR mesajları ile gerçek zamanlı hassas nokta konumlama (PPP-RTK) tekniği*, Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi, 4(2), 30-41.
- Öcalan, T., (2012), *GNSS/CORS ağları ile gerçek zamanlı konumsal bilgi*, TÜBİTAK Bilim ve Teknik Dergisi, sayfa:66-71, Ocak 2012, Yıl:45, Sayı:530
- Öcalan, T. ve Soyacan, M., (2011), *Ulusal ve yerel GNSS/CORS ağları ve Türkiye'deki yasal durum*, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi Bülteni, Sayı:2011-1, Mart 2011.
- Öcalan, T., (2011), *GPS/GNSS konum belirlemede yeni bir yöntem: PPP tekniği ve web tabanlı (online) servisler*, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi Bülteni, Sayı:2011-1, Mart 2011.
- Öcalan, T., (2005), *Sabit GPS istasyonlarına dayalı bağıl nokta konum doğruluklarının araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 2005.
- Özdemir S., Aktuğ, B., Kurt, M., Lenk, O., Erkan, Y., Peker, S., (2011), *Türkiye ulusal sabit GPS istasyonları ağı (TUSAGA) ve Türkiye ulusal sabit GPS istasyonları ağı aktif (TUSAGA-Aktif)*, Türkiye Ulusal Jeodezi Komisyonu (TUJK) 2011 Çalıştayı, İstanbul, 23-25 Kasım 2011.
- Rizos C., Janssen V., Roberts C., Grinter T., (2012), *Precise point positioning: is the era of differential GNSS positioning drawing to an end?*, FIG Working Week 2012, Rome, Italy, 6-10 May 2012.
- Zumberge J.F., Heflin M.B., Jefferson D.C., Watkins M.M., Webb F.H., (1997), *Precise point positioning for the efficient and robust analysis of gps data from large networks*, Journal of Geophysical Research, 102(B3), 5005-5017.