

İnternet Tabanlı GNSS Veri Değerlendirme Servisleri (Internet Based GNSS Processing Services)

Berkay BAHADUR¹, Aydın ÜSTÜN²

¹Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, 06800, Beytepe, Ankara

²Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 41380, Umuttepe, Kocaeli
berkaybahadur@hacettepe.edu.tr

ÖZET

Bu çalışmada, GNSS (Global Navigation Satellite Systems) verilerinin internet aracılığıyla otomatik olarak analiz edildiği konumlama servislerinin kullanılabilirlik ve doğruluk performansı incelenmiştir. Bu servislerin en önemli avantajı, sunulan hizmetin ücretsiz olması ve eşdeğer ticari veya bilimsel değerlendirme yazılımıyla karşılaştırıldığında, en alt düzeyde kullanıcı deneyimi ve bilgisi gerektirmesidir. Performans ölçümü iki aşamada ele alınmıştır. İki ayrı uygulamaya ilişkin RINEX verileri, dünyada yaygın olarak kullanılan altı farklı internet tabanlı GNSS değerlendirme servisine (AUSPOS, OPUS, TRIMBLE, APPS, CSRS-PPP ve Magic-GNSS) gönderilmiştir. Verilerin yüklenmesiyle başlayan değerlendirme süreci, oldukça hızlı bir şekilde tamamlanıp, nokta koordinatları bazı ek bilgilerle birlikte e-posta aracılığıyla elde edilmiştir. Birinci aşamada uzun gözlem süreli (7 günlük, 24 saatlik) verilerin statik ve duyarlı konum belirleme (PPP: Precise Point Positioning) analizi yapılmış ve PPP'nin performansı incelenmiştir. İkinci aşamada, yerel bir GPS kampanyasında değişik sürelerdeki verilerin PPP değerlendirme sonuçları ele alınmıştır.

En az 1 saat statik olarak elde edilmiş veriler için PPP yöntemi ile değerlendirme yapan servislerin statik yöntemle değerlendirme yapan servislere yakın sonuçlar ürettiği görülmektedir. Gözlem süresi 5 saate kadar olan noktalarda 1-2 cm mertebesinde konum doğruluğuna ulaşılmıştır. Gözlem süresi 1 saate kadar düşürüldüğünde doğruluk değerleri 3-4 cm'ye gerilemiştir. Eldeki bulgulardan yola çıkılarak, PPP tekniğini kullanan servislerin GPS konum ölçmelerinde doğruluk beklentilerini karşılayabilecek düzeyde sonuç ürettiği söylenebilir.

Anahtar kelimeler: GNSS, RINEX, İnternet tabanlı GNSS değerlendirme servisleri, PPP, nokta konum doğruluğu

ABSTRACT

In this study, the usage and accuracy performance of internet based GNSS processing services are evaluated. The main advantages of them are that the services are free and they require minimum user experience when compared with commercial and scientific software packages. After processing observation data on the internet based services, the performance evaluation of the results have been

compared with the associated static coordinates of them in two stages.

The RINEX files of two different GPS campaigns have been sent to six different internet based online GNSS processing services, AUSPOS, OPUS, TRIMBLE, CSRS-PPP, APPS and MAGIC-GNSS for the processing. The processing operation that begins with the delivery of data has been completed quickly and the coordinates of the observation stations have been obtained with some additional information via e-mail. Firstly, the results of PPP (Precise Point Positioning) technique have been interpreted in a comparative approach. The differences between static and PPP coordinates show an agreement of 1 cm in terms of horizontal components and 3-4 times worse in height component. The services and their capabilities have been discussed considering these error levels of positioning. The results of this study are promising that they meet the required accuracy for several engineering applications based on the GNSS positioning.

Keywords: GNSS, RINEX, Online GNSS processing, PPP, positioning accuracy

1. GİRİŞ

Son zamanlarda klasik değerlendirme yöntemlerine bir seçenek olarak **internet tabanlı GNSS konumlama servisleri** geliştirilmiştir. Bu servisler web sayfaları aracılığıyla yüklenen GNSS verilerini otomatik olarak değerlendirmektedir. Arazide toplanmış GNSS verileri RINEX gibi standart formatlara dönüştürüldükten sonra söz konusu servislere yüklenerek, gözlem noktalarının yermerkezli koordinatları oldukça kolay ve hızlı bir şekilde elde edilebilmektedir (örn. Ghoddousi-Fard ve Dare, 2006; Ebner ve Featherstone, 2008; Tsakiri, 2008; Subaşı ve Alkan, 2011; Gakstatter, 2013).

Son 10 yıllık zaman diliminde hizmet vermeye başlayan internet tabanlı konumlama (değerlendirme) servisleri, ticari ve bilimsel yazılımlara önemli bir seçenek olarak görülmektedir. Servislerin başlıca özelliği ücretsiz olmalarıdır. Bunların önemli bir kısmı, arka

planda bilinen bilimsel (Bernese, Gamit, Pages vb.) yazılımlara dayanırken, belirli bir kısmı da doğrudan internet üzerinden hizmet üretme amacıyla geliştirilmiş yazılımlardır. İkinci grubun gelişmesinde uydu jeodezisinde veri işleme ve yörünge iyileştirme çalışmalarının rolü büyüktür. GNSS uydularının yörünge ve saat bilgilerindeki doğruluk artışı, konum belirlemede yeni yaklaşımlar ve değerlendirme yöntemlerini ortaya çıkarmıştır.

International GNSS Service (IGS) ve benzeri kuruluşlar yüksek duyarlılık yörünge bilgileri üretmekte ve kullanıcılara sunmaktadır. Genellikle gözlem sonrası veri işlem (post-process) uygulamaları kullanarak üretilen sonuçlar bilimsel araştırmalar ve mühendislik uygulamalarında belli doğruluk beklentilerini karşılayacak düzeydedir (Zumberge ve ark., 1997; Kouba ve Héroux, 2001; Kouba, 2009).

Bu çalışmanın amacı, internet üzerinden ücretsiz olarak hizmet veren internet tabanlı GNSS konumlama (değerlendirme) servislerini tanıtmaktır. Bu amaçla internet tabanlı servisler arasında önemli bir yer tutan ve klasik değerlendirme tekniklerine seçenek oluşturan duyarlı konum belirleme tekniğinin esasları hakkında bilgi verilecek ve uygulama gerçekleştirilecektir. Değerlendirme sonuçları ele alınarak, PPP tekniğini kullanan konumlama servislerinin başarısı irdelenecek ve uygulamadaki önemi değerlendirilecektir.

2. DUYARLI NOKTA KONUM BELİRLEME

Uydular konum belirlemenin vazgeçilmez araçları haline gelmiştir. Farklı teknikler kullanarak uydular yardımıyla yüksek doğruluk da konum bilgisi elde edilmektedir. Bu teknikler, genellikle veri toplama stratejisine göre farklılık göstermektedir. Geleneksel olarak, mutlak ve görelî (rölatif) konum belirleme yöntemleri uygulama amacına göre en çok tercih edilenlerdir. Yüksek doğruluk daha çok görelî konum belirlemenin konusudur. Ancak, yöntem iki ya da daha fazla istasyonda eş zamanlı gözlem yapmayı gerektirir. Duyarlı konum belirleme tekniği (PPP) bu zorunluluğu ortadan kaldıran bir seçenek sunmaktadır.

Duyarlı konum belirleme olarak adlandırılan yöntem, tek alıcıda toplanan kod ve faz ölçülerini temel alır. Uluslararası GNSS Servisi (IGS) ve benzeri kuruluşlar tarafından yayınlanan duyarlı yörünge ve saat düzeltmelerini kullanarak konum doğrudan belirlenir (Rizos ve ark., 2012). Sonuç olarak, başka bir istasyona alıcı kurulmasına ya

da herhangi bir noktanın referans alınmasına gerek kalmaz.

Öte yandan tek GNSS alıcısı kullanmanın getirdiği sakıncalı durumlar vardır. Taşıyıcı faz gözlemlerine ilişkin "float ambiguity" çözümlerinin yakınsaması uzun sürmektedir. Santimetre seviyesinde konum doğruluğu elde edebilmek için iki alıcı arasındaki mesafeye bağlı olarak ortalama 10 kilometreye kadar 20 dakika veya daha fazla gözlem yapmak gerekir. Bu da yöntemin gerçek zamanlı olarak uygulanmasını kısıtlamaktadır (Rizos 2010).

PPP tekniğinin başarısı büyük ölçüde GPS uydularının yörünge bilgisine bağlıdır. Bu yüzden değerlendirmede yayın yörünge bilgileri yerine duyarlı yörünge (ultra-rapid, rapid, final) ve uydu saat bilgileri esas alınmaktadır. Son yıllarda IGS, CODE, JPL gibi kuruluşların hizmete sunduğu duyarlı uydu yörünge ve saat değerleri doğruluğunun gün geçtikçe artması PPP yöntemine olan ilgiyi arttırmaktadır (Alçay ve ark., 2013). Bu yolla elde edilebilecek doğruluk ölçme süresine ve iki veri kümesi (alıcı) arasındaki mesafeye bağlı olarak değişmektedir.

Tablo 1. IGS tarafından sağlanan duyarlı GPS uydu yörünge ve saat düzeltmeleri (<http://igs.org/components/prods.html>)

Ürün ve niteliği	Parametre	Doğruluk/ Duyarlık	Sunum Süreçleri
Ultra Rapid Kestirilen	Yörünge	~5 cm rms	Gerçek zamanlı
	Uydu saati	~3 ns rms ~1.5 ns σ	
Ultra Rapid Hesaplanan	Yörünge	~3 cm rms	3 - 9 saat
	Uydu saati	~150 ps rms ~50 ps σ	
Rapid Hesaplanan	Yörünge	~2.5 cm rms	17 - 41 saat
	Uydu saati	~75 ps rms ~25 ps σ	
Final Hesaplanan	Yörünge	~2.5 cm rms	12 - 18 gün
	Uydu saati	~75 ps rms ~20 ps σ	

Çift frekanslı kod (psuedorange) ve taşıyıcı faz ölçülerinin ionosferden bağımsız gözlem denklemleri alıcı konumu, saat hataları, troposferik gecikme, taşıyıcı faz bilinmeyen ve gözlem hatalarını içerir:

$$\begin{aligned}
 l_p &= \rho + c(dt - dT) + T_r + \varepsilon_p \\
 l_\phi &= \rho + c(dt - dT) + N\lambda + \varepsilon_\phi
 \end{aligned}
 \quad (1)$$

Burada l_p ve l_ϕ Sırasıyla kod ve faz ölçülerinin ionosferden bağımsız kombinasyonu,

dt alıcı saati zamanı ile sistem (örneğin GPS) zamanı arasındaki fark (receiver clock offset), dT uydu saati zamanı ile sistem zamanı arasındaki fark (satellite clock offset), c ışığın boşluktaki hızı, N iyonosferden bağımsız taşıyıcı fazın tamsayı bilinmeyenleri, T_r uydu ile alıcı arasındaki troposferik sinyal gecikmesi, λ dalga boyu ve sinyal yansımalarını da içeren ε_p , ε_ϕ gürültü bileşenleridir. Uydu (X_S, Y_S, Z_S) ve alıcı (x, y, z) arasındaki geometrik uzaklık,

$$\rho = \sqrt{(X_S - x)^2 + (Y_S - y)^2 + (Z_S - z)^2} \quad (2)$$

ile tanımlıdır (Kouba ve Heroux, 2001).

PPP yöntemi ile konum belirleyebilmek için kullanıcılar farklı yazılım seçeneklerine sahiptir. Örneğin Bernese gibi bilimsel ve eğitim amaçlı GNSS değerlendirme yazılımları kullanıcılarına PPP yöntemi ile konum belirleme hizmeti sağlamaktadır. Bunun dışında doğrudan PPP tekniğini kullanan programlar da giderek yaygınlaşmaktadır.

3. GNSS DEĞERLENDİRME YAZILIMLARI

a. Ticari Amaçlı Yazılımlar

Ticari yazılımlar pratik mühendislik uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Genellikle alıcı üreten firmalar tarafından, satın alınan GNSS setiyle birlikte önerilen yazılımlardır. Alıcılar uydulardan gelen sinyalleri kendine özgü formatlarda kaydettiği için, bu yazılımlar alıcı setinin bir parçası olarak görülmektedir. Kullanıcı düzeyinde bir sorunla karşılaşmamak ve firmanın sunduğu çözüm olanaklarından yararlanmak için bu ürünü satın alan kurum ve kuruluşlar tarafından tercih edilmektedir.

Alıcı üreten firmalar genellikle kısa baz çözümlerine odaklanmaktadır. Bunun başlıca nedeni, yukarıda ifade edildiği gibi analizlerde ortaya çıkabilecek değerlendirme sorunlarıyla olabildiğince az karşılaşmak ve kullanıcının önceden tanımlı değişkenleri kullanarak sonuçlara ulaşmasını sağlamaktır.

b. Bilimsel ve Akademik Yazılımlar

Bilimsel ve akademik yazılımlar, ülke jeodezik ağlarının kurulması, yer kabuğu hareketlerinin izlenmesi, deformasyon ölçüleri, datum parametrelerinin belirlenmesi gibi bilimsel

projelerde ve akademik faaliyetlerde kullanılmak üzere araştırma merkezleri veya üniversitelerde geliştirilmektedir. Bu gruba giren bazı yazılımlara (örn. Bernese, GAMIT/GLOBK), son yıllarda yapılan değişikliklerle, pratik uygulamalara yönelik özellikler eklenmiş, böylece ilgili tüm GNSS kullanıcılarına hizmet verecek nitelik kazandırılmıştır (Kahveci ve Yıldız, 2009).

Bilimsel yazılımların kullanımı, ticari yazılımlara ve internet tabanlı değerlendirme servislerine oranla daha karmaşıktır. Bu nedenden dolayı eğitim, bilgi ve deneyime duyulan gereklilik daha fazladır. Değerlendirme sürecindeki parametre değişiklikleri (örneğin atmosferik modellemede izlenecek değişik yaklaşımlar), sonuçlarda anlamlı sayılabilecek farklılıklara neden olur. Her ne kadar son yıllarda bilimsel yazılımlara otomatik seçenekler eklenmiş olsa dahi ticari yazılımlar ve internet tabanlı değerlendirme servisleri bu açıdan çok daha pratiktir. Söz edilen internet tabanlı değerlendirme servislerinde çoğu kez yapılması gereken sadece veri dosyalarının yüklenmesi ve e-posta adresinin belirtilmesidir.

Kullanıcıların kampanya ölçüleri kadar, sürekli gözlem istasyonlarında toplanan GNSS verileri, duyarlı yörünge, alıcı-anten kalibrasyon bilgileri, koordinat sistemi ve datum parametrelerini içeren IGS (International GNSS Service) ürünleri de temel girdiler arasında sayılır. Değerlendirmede farklı alıcı türlerine ait verilerin birlikte işlenmesi neredeyse rutin bir uygulamadır ve bu yüzden gözlem ve girdi/çıkış verileri RINEX, SINEX gibi standart dosya formatlarına dönüştürülür. Bu koşullarda, çoğu kez uzun bazların değerlendirmeye girmesi kaçınılmazdır. Dile getirilen tüm etkenler akademik yazılımları kullanacak personelin her yazılımda olduğu gibi belirli bir bilgi birikimine sahip olması gerekliliğini ortaya koymaktadır. Bu bilgi birikimi gerekliliği internet tabanlı değerlendirme servislerinde oldukça düşük seviyededir.

c. İnternet Tabanlı GNSS Değerlendirme Servisleri

Gerek ticari gerekse akademik yazılımlar tüm kullanıcılara açık değildir ve belli koşullar altında lisans anlaşmaları gerektirmektedir. Kod gözlemlerine dayalı mutlak ve taşıyıcı faz gözlemlerini kullanan bağıl konum belirleme teknikleri her iki gruptaki yazılımların standart çözümleridir. İkinci bölümde açıklanan PPP tekniğine ise üçüncü bir konum belirleme tekniği olarak yaklaşılabilir. Hangi yöntemle toplanırsa toplansın gözlem noktalarında (statik veya

kinematik) koordinat bilgisi üretebilmek için bir yazılıma ihtiyaç vardır. Bir alıcıya ve internet erişimine sahip olmak dışında ek bir maliyet ya da donanım gerektirmeyen çözüm seçeneğine olan gereksinim, internet tabanlı GNSS değerlendirme servislerinin oluşturulmasını sağlamıştır.

İnternet tabanlı GNSS servislerinin kullanımı göreceli olarak oldukça basittir ve ek yazılım bilgisine ihtiyaç duyulmaz. Alıcılardan elde edilen veriler RINEX gibi ortak formatlara dönüştürülerek servislerin internet adreslerine yüklenmektedir. Servise göre değişkenlik göstermekle beraber, anten markası, anten yüksekliği gibi önemli ayrıntılar da gerektiğinde ek bilgi olarak verilebilmektedir. Yükleme işleminden sonra başlatılan değerlendirmeye ilişkin sonuç raporu bir e-posta adresi aracılığıyla kısa süre içerisinde yüklemeyi yapan kullanıcıya gönderilmektedir.

Söz konusu servisler üzerinden gerçekleştirilen çözümler, konum belirleme tekniğine bağlı olarak IGS veya bazı ülkeler için Sürekli Gözlem Yapan Referans İstasyonları (CORS) ağlarına ait sabit istasyon noktalarını referans nokta olarak kabul eder. İstenilen noktanın gözlem verileri ve koordinatları değerlendirmeye belirli ölçüler oranında otomatik olarak dahil edilir. Nokta koordinatları bu referans istasyonlara bağlı hesaplanır. Buradan anlaşılacağı üzere, kampanya ölçüleri ve e-posta adresine gelen çözümler dışında kullanıcının bilgisayarında tutması gereken fazladan yazılım veya veri yoktur. Bu yönleriyle büyük bir maliyet tasarrufu sağlanmaktadır. Yazılım öğrenmek gibi bir sürece girmemek de önemli zaman avantajı oluşturmaktadır.

Tablo 2. İnternet tabanlı GNSS değerlendirme servisleri

Servis	Statik	RapidS tatik	PPP Statik	PPP Kin.
AUSPOS	+	-	-	-
TRIMBLE	+	-	-	-
OPUS	+	+	-	-
SCOUT	+	-	-	-
CSRS	-	-	+	+
APPS	-	-	+	+
MAGIC	-	-	+	+
GAPS	-	-	+	-

Farklı ülkeler ve kuruluşlar tarafından birçok İnternet Tabanlı GNSS Değerlendirme Servisi kullanıcıların hizmetine sunulmuştur. Bu çalışmanın yapıldığı sırada ücretsiz olarak hizmet veren servislerden en çok bilinenleri Tablo 2'de

verilmiştir. Söz konusu servisler yaygın olarak tercih edilen statik ve PPP tekniğine göre sınıflandırılmıştır.

Yukarıda listelenen servisler özellikle bilimsel yazılım kullanıcıları açısından kısıtlı seçim yeteneğine sahip olduğu söylenebilir. Ancak, bu servislerin tamamına yakını konumlama (değerlendirme) işlemini bilimsel ve akademik yazılımlar üzerinden yapmaktadır. Gözlem noktalarında koordinat üretimine yönelik en uygun çözümler literatürde genel kabul görmüş parametreler göz önüne alınarak elde edilmektedir. Atmosferik modelleme, deformasyon analizi, duyarlı jeodezik ağ çalışmaları vb. özel amaçlı çalışmalar bu tür servislerin kapsamı dışındadır.

(1) Australian Online GPS Processing Service (AUSPOS)

Url: <http://www.ga.gov.au/bin/gps.pl>

GeoScience Australia tarafından işletilen internet tabanlı bir GPS değerlendirme servisedir. Kullanıcılardan istenen, RINEX formatındaki gözlem dosyalarının sisteme yüklenmesidir. Veri dosyalarının yüklenmesi internet sayfası aracılığıyla olduğu gibi ftp servisleri ile de yapılabilmektedir. Veriler statik yöntemle ve çift frekanslı alıcılar tarafından 30 saniye aralıklarla (IGS standardı) toplanmış olmalıdır. Gözlem dosyalarında sadece GPS verileri dikkate alınmaktadır, eğer gözlem dosyası GLONASS veya GALILEO verisi içermekteyse bu kısımlar görmezden gelinmektedir. Yüklemenin ardından, 5 dakikadan az bir süre içinde sonuç raporu e-posta adresine gönderilmektedir.

Şekil 1. AUSPOS kullanıcı arayüzü

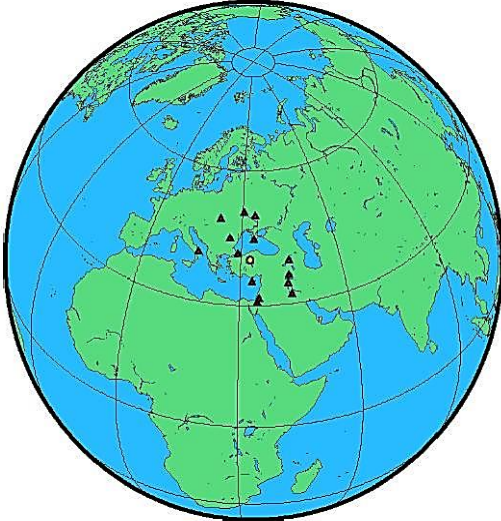
Tamamen ücretsiz olan bu servis kullanıcılara tek seferde 20 ayrı GPS gözlem dosyası yükleme olanağı sunmaktadır. Servis ayrıca, standart

RINEX dosyasından başka sıkıştırılmış formatları (GZip, Bzip, Zip ve/veya Hatanaka) da desteklemektedir. ftp adresi belirterek dosya yükleme seçeneği mümkündür. Yüklenen RINEX dosyalarına ilişkin anten tipi ve yüksekliği de girilmelidir (Şekil 1).

Servise yüklenecek verilerle ilgili dikkat edilecek önemli noktalar şunlardır:

- RINEX dosyası en az 1 saatlik gözlem verisi içermelidir (önerilen 2 saat),
- Dosya ismi boşluk içermemelidir,
- Anten kodu IGS tarafından yayınlanan listede bulunmalıdır,
- Anten yüksekliği, ölçü noktası ve anten referans noktası (ARP) arasındaki düşey uzaklık olarak ölçülmüş olmalıdır.

Değerlendirme işlemi bilimsel bir yazılım olan Bernese (5.0 sürümü) üzerinde yürütülmektedir. Koordinatların belirlenmesinde, uygun yakınlıktaki IGS'ye ait 12-15 arası sabit noktalar referans alınmakta ve analiz IGS tarafından yayınlanan duyarlı yörünge ve saat bilgileri sonuçlandırılmaktadır. Çözüm, ikili-farklar gözlem modeli ile hesaplanmaktadır. Sonuç raporu referans alınan IGS istasyonları, ITRF2008 datumundaki kartezyen ve jeodezik koordinatlar ile hata büyüklükleri hakkında bilgi içermektedir. Bunun yanı sıra Geocentric Datum of Australia 1994 (GDA94) datumundaki Kartezyen ve jeodezik koordinatlar sonuç raporunda sunulmaktadır.



Şekil 2. AUSPOS sonuç raporu-1

(2) Online Positioning User Service (OPUS)
Url: <https://www.ngs.noaa.gov/OPUS/index.jsp>

Online Positioning User Service (OPUS), Amerikan Ulusal Okyanus ve Atmosfer İdaresinin (NOAA) kurmuş olduğu bir servistir. Değerlendirme, çalışma bölgesine en yakın 3 istasyon (Amerika Birleşik Devletleri için CORS ağından, ülke dışında IGS ağından) referans seçilerek yapılmaktadır. Statik yöntemle koordinat hesabında PAGES yazılımı kullanılmaktadır (Url-1).

Arazide toplanan gözlem verileri siteye yüklendikten sonra alıcı anten bilgileri (tipi ve anten yüksekliği) sisteme girilmektedir. AUSPOS'da olduğu gibi standart RINEX dosyası dışında sıkıştırılmış formatlarda veri yüklenebilmektedir. Anten tipi seçimi, uygulamada bilinen anten marka ve modellerine ait listeden seçilmektedir. Değerlendirme sonuçlarına göre 10 cm'nin üzerindeki yükseklik hatası ortaya çıktığında kullanıcıya anten yüksekliğiyle ilgili bir problem uyarısı gönderilmektedir.

Verilerin toplanış biçimine göre OPUS'ta üç farklı değerlendirme seçeneği sunulmuştur. Ancak, bunların iki tanesi şu anda aktif görünmektedir:

Statik: Bu seçenek en az 2 saatlik gözlem verisi içeren uygulamaları kapsamaktadır. Üst sınır 48 saat olarak belirlenmiştir. Çözüm, ikili-farklar gözlem modelinden hesaplanmış ve birbirinden bağımsız üç baz vektörünü esas almaktadır.

Hızlı-Statik: Gözlem dosyası 2 saatin altında veri içeriyorsa (15 dakikanın altına düşmemek koşuluyla) sistem hızlı-statik yöntemle değerlendirme yapmaktadır.

Kinematik: Gözlemlerin hareketli platformlarda yapıldığı GPS uygulamaları için geliştirilmiş seçenektir. Ancak kinematik veri işlem seçeneği henüz aktif değildir.

Gerekli tüm verilerin siteye yüklenmesinin ardından işlem birkaç dakika sürmekte ve sonuç raporu e-posta kullanıcı adresine gönderilmektedir. Gelen iletide; kullanıcı ismi, işlem yapılan dosya ismi, yazılım versiyonu, anten tipi ve yüksekliği, referans istasyonları ve ölçme epoğunda yermerkezli koordinat değerleri gibi bilgiler yer almaktadır. Gönderilen koordinatlar ölçü epoğunda olmakla birlikte ITRF08 datumundadır.

(3) Scripps Coordinate Update Tool (SCOUT)
Url: <http://sopac.ucsd.edu/cgi-bin/SCOUT.cgi>

Scripps Coordinate Update Tool (SCOUT), Kaliforniya Üniversitesi GPS veri işleme servisi. Servis SOPAC (Scripps Orbit and Permanent Array Center) kuruluşu altında yayın yapmakta ve geri planda GAMIT yazılımını çalıştırmaktadır.

GPS veri dosyalarının yüklenmesinde ftp protokolü kullanılmaktadır. Bunun için SCOUT'a ait özel bir ftp servisi de hizmet vermektedir. Gözlem dosyaları en az 1 saatlik ve 30 saniye ölçme aralığında olmalıdır. Sistem Hatanaka veya zip dışındaki diğer sıkıştırma formatlarını kabul etmekte ve ayrıca koordinat sisteminin realizasyonu için isteğe bağlı IGS istasyonları seçilebilmektedir. Anten tipi ve yükseklik bilgileri ikinci aşamada eksiksiz sağlandıktan sonra, değerlendirme süreci başlamaktadır. Nokta koordinatları çalışma bölgesine yakın 3 CORS istasyonu ile oluşturulan bazlar üzerinden türetilmektedir. Koordinat bilgileri (ölçü epoğunda ITRF2005), referans istasyonların isimleri ve diğer bilgiler e-posta ile kullanıcıya gönderilmektedir.

(4) Trimble CenterPoint RTX Post-Processing (Trimble RTX)

Url: <http://www.trimblertx.com/UploadForm.aspx>

GNSS alıcısı üretiminde en büyük pazar payına sahip kuruluşlardan biri olan Trimble firmasınınca sunulan ücretsiz bir servistir. Servis ile internet erişimi olan her noktadan kullanıcılara veri değerlendirme fırsatının sunulması amaçlanmıştır.

Servis GPS, GLONASS ve QZSS uyduları yardımıyla elde edilmiş verileri analiz edebilmektedir. Trimble şirketi bu uygulamayı, kendisinin kurduğu 100'den fazla nokta içeren küresel bir referans ağı ile desteklemektedir (Şekil 3). Uyduların duyarlı yörünge ve saat bilgileri bu ağı üzerinden elde edilmektedir.

Servise RINEX 2.x, RINEX 3.x, Trimble T01, T02 ve DAT formatlarında gözlem dosyaları yüklenmektedir. Veri çift-frekanslı pseudorange ya da taşıyıcı faz gözlemleri içermelidir. Servise yüklenen gözlem dosyaları en az 60 dakika en fazla ise 24 saatlik olmalıdır. 14 Mayıs 2011 tarihinden önceki gözlem dosyalarının değerlendirilmesi yapılamamaktadır. Servisin giriş kısmında dosya seçiminden sonra koordinat sistemi ve tektonik plaka seçimleri yapılmaktadır.

Sonuçlar ise kısa bir süre sonra XML ve PDF olarak e-posta adresine ulaştırılmaktadır.



Şekil 3. Trimble ağına referans noktaları Alıcı sayısının kısıtlı olması servisin bir eksikliği olarak değerlendirilebilir.

(5) The Automatic Precise Positioning Service (APPS)

Url: http://apps.gdgps.net/apps_file_upload.php

APPS, NASA JPL (Jet Propulsion Laboratory) ve California Institute of Technology tarafından işletilen internet tabanlı GPS değerlendirme servisi. Geri planda, aynı kurumda geliştirilen bilimsel yazılım GIPSY (v6.2) çalıştırılmaktadır.

Servise, doğrudan web sitesi ya da ftp servisleri aracılığıyla dosyalar yüklenebilmektedir. RINEX dışında GIPSY TDP dosyaları girdi verileridir. Değerlendirme sırasında;

- JPL'in The Global Differential GPS Sisteminden gelen gerçek zamanlı GPS yörünge ve zaman bilgileri,
- JPL'in günlük ve haftalık GPS yörünge ve zaman verileri,
- JPL'in GIPSY-OASIS yazılımı kullanılır.

Servis statik ve kinematik gözlem sonrası veri işleme (process) seçeneklerini haftalık ve gerçek zamanlı yörünge ve zaman bilgileri desteğinde yakın gerçek zaman (Near Real-Time) ve yüksek doğruluklu (Most Accurate) olarak sunar. Arayüzde bulunan (anten yüksekliği, anten tipi, e-posta adresi vb.) seçenekler işaretlenip dosya servise yüklendikten hemen sonra sonuç alınmaktadır.

(6) CSRS Precise Point Positioning (CSRS-PPP)

Url: http://www.geod.nrcan.gc.ca/products-produits/ppp_e.php

Canadian Spatial Reference System Precise Point Positioning (CSRS-PPP), NRCAN (Natural Resources Canada) kuruluşunun sağladığı bir internet tabanlı GPS değerlendirme servisedir. Üyelik sistemiyle çalışan servis tek veya çift frekanslı alıcılarda statik veya PPP tekniğine dayalı kinematik ölçüleri değerlendirilebilir. yeteneğine sahiptir.

(7) Magic-GNSS

Url: <http://magicgnss.gmv.com/ppp/>

Magic-GNSS duyarlı konumlama belirleme tekniğini kullanan değerlendirme servisedir. Servisin en önemli avantajı GPS ve GLONASS verilerini birlikte değerlendirebilmesidir. Burada gözlemler statik veya kinematik moda toplanmış olabilir. PPP'nin yanı sıra sistem GNSS uyduları için duyarlı yörünge belirleme ve zaman senkronizasyonu (ODTS) ve SBAS (Space-Based Augmentation System) modüllerine de sahiptir.

PPP modülü IGS tarafından yayınlamış duyarlı saat ve yörünge bilgilerini kullanır. Sistem RINEX ve sıkıştırılmış bütün formatları desteklemekte, üye kullanıcılar için ücretsiz 1GB'lık disk alanı ayırmaktadır.

4. SAYISAL UYGULAMA

a. Tekrarlı Statik Değerlendirme

IGS Ankara (ANKR) istasyonuna ait 9-15 Nisan 2013 tarihleri arasındaki 7 günlük GPS verilerinin internet tabanlı servislerde değerlendirilmesi ve servisler göre konum duyarlılığının (tekrarlılık) belirlenmesi amaçlanmıştır. Gözlem verileri 24 saatlik ve 30 saniye gözlem aralığındadır. Bu uygulama ile statik (bağıl) konum belirleme tekniğini kullanan AUSPOS, OPUS, Trimble CenterPoint RTX ve PPP tekniğine dayalı çözüm üreten APPS, CSRS-PPP, Magic-GNSS servislerinden elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. GAPS ve SCOUT servislerinden bu uygulama sırasında cevap alınmadığı için çalışmaya eklenmemiştir.

CSRS-PPP servisi dışındaki tüm analizler doğrudan ITRF2008 datumunda elde edilmiştir. Servislere göre sonuçları birbirleriyle karşılaştırılabilir için ITRF2005 datumundaki CSRS-PPP koordinatları, HTDP (Url-3) yardımıyla ITRF2008'e dönüştürülmüştür. Tablo 3, kartezyen koordinatlar cinsinden her bir servisin 7 günlük koordinat ortalamalarını ve standart sapmalarını göstermektedir. Koordinat

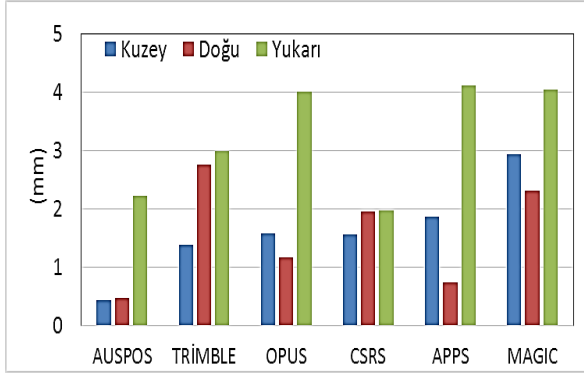
tekrarlılıkları 3 mm'nin, servisler göre ortalama koordinat farkları ise 15 mm'nin altındadır. Sonuçlardan anlaşılacağı üzere 24 saatlik gözlem sonuçlarının gerek statik gerekse PPP sonuçları 1-2 cm seviyesinde tutarlıdır.

Tablo 3. Servislere göre ANKR istasyonu için 7 günlük kartezyen koordinatlar ortalaması ve birim koordinat hataları (tekrarlanabilirlik)

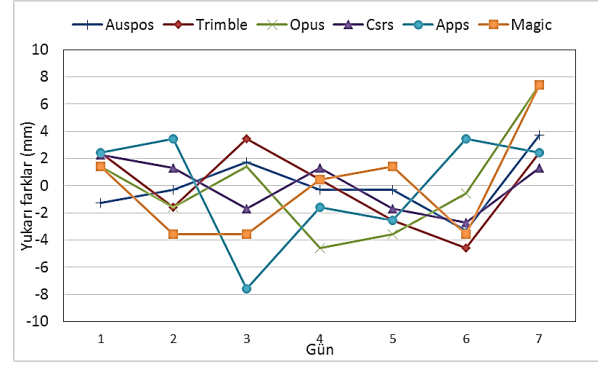
	X (m) sigma (mm)	Y (m) sigma (mm)	Z (m) sigma (mm)
Auspos	4121948.473 (+/- 1.5)	2652187.877 (+/- 0.8)	4069023.835 (+/- 1.5)
Trimble	4121948.473 (+/- 2.6)	2652187.877 (+/- 2.1)	4069023.832 (+/- 2.0)
Opus	4121948.477 (+/- 2.4)	2652187.881 (+/- 2.1)	4069023.837 (+/- 2.5)
Csrs	4121948.470 (+/- 2.1)	2652187.878 (+/- 1.7)	4069023.828 (+/- 2.0)
Magic	4121948.467 (+/- 2.2)	2652187.872 (+/- 3.3)	4069023.829 (+/- 3.0)
Apps	4121948.464 (+/- 1.8)	2652187.870 (+/- 1.3)	4069023.826 (+/- 2.8)

Şekil 4, birim koordinat hatalarının (Tablo 3'te verilen tekrarlanabilirliklerin) yerel sistemdeki karşılıklarını göstermektedir. Statik değerlendirmede AUSPOS servisi ANKR istasyonuna yaklaşık 1000 km'lik uzaklık içinde kalan 12 istasyonu değerlendirmeye dahil etmiştir. OPUS'da kullanılan referans istasyonu sayısı 3'tür. TRIMBLE'da ise kendi referans ağına ait istasyonların değerlendirmeye alındığı bilinmekle birlikte, kaçının kullanıldığı konusunda bilgi yoktur. PPP tekniğinde ise koordinatlar doğrudan duyarlı yörünge verilerine dayanır, herhangi bir referans istasyonu seçimi kullanılmaz.

Uygulama, servislerin ne kadar tutarlı sonuçlar ürettiğini izlemeyi amaçlamıştır. Bu yüzden aynı noktaya ait ve aynı şartlarda 7 gün için gözlem dosyaları değerlendirilmiştir. Amaç servislerin tutarlılıklarını ön plana çıkarmak olduğu için standart sapma değerleri de göz önüne alınarak değerlendirmeler yapılmıştır. Servislerin tutarlı sonuçlar üretmesi önemsenmiş ve tercih edilebilirlik açısından belirleyici bir ölçüt olacağı düşünülmüştür. Buna göre en iyi koordinat duyarlılığı ve tutarlılığı Bernese yazılımını kullanan AUSPOS servisten elde edildiği sonuçlardan anlaşılmaktadır. CSRS-PPP ve APPS servislerinden elde edilen koordinat duyarlılığının en az statik değerlendirme kadar başarılı olduğu kolaylıkla söylenebilir. Şekil 5, 6 ve 7 günlük koordinat tekrarlılık değişimini ortaya koymaktadır.



Şekil 4. ANKR istasyonunun 7 günlük koordinat çözümlerine ilişkin yerel sistemde standart sapmalar değerleri



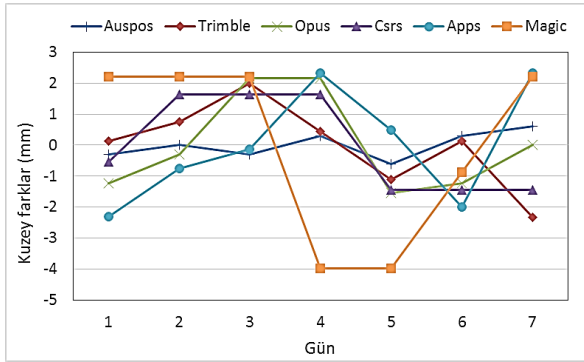
Şekil 7. Yukarı bileşeni için 7 günlük koordinat değişimi

b. Yerel uygulamalar için PPP

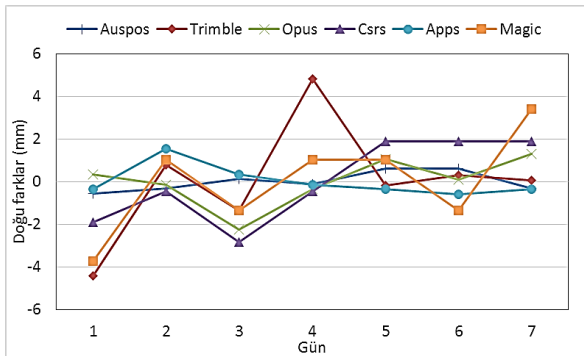
Bu uygulamada Konya çevresine dağılmış 9 noktaya ilişkin GPS gözlemleri kullanılmıştır. Farklı ölçü sürelerinde PPP tekniği ile yapılan değerlendirme ve statik teknik ile yapılan değerlendirmenin karşılaştırması ve ilgili servislerin performanslarının ölçülmesi istenmektedir. Gerçek bir uygulamaya ait bu gözlem verileri 3 noktada 1 saat, 3 noktada 5 saat ve 3 noktada 10 saat süreyle toplanmıştır. RINEX formatına dönüştürülmüş veriler uygulama 1'de kullanılan internet tabanlı PPP servislerine gönderilmiştir. Sonuçların doğruluğunu test etmek amacıyla ilgili gözlemler ayrıca AUSPOS servisinde değerlendirilerek referans koordinat olarak elde edilmiştir. Söz konusu noktaların özellikleri Tablo 4'te verilmektedir.

Tablo 4. Yerel bir ağda Ekim 2004'te farklı gözlem süreleriyle toplanmış GPS verileri

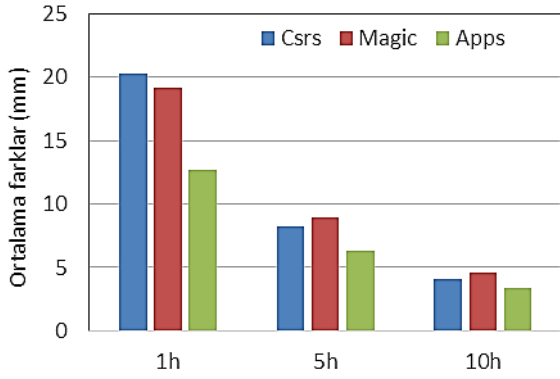
NN	An. Y. (cm)	Gün	Başl. (h)	Bitiş (h)	Süre (h)
1	11.40	24	04:06	14:11	10
2	10.15	23	04:12	14:22	10
3	11.60	24	04:00	14:06	10
4	11.60	25	04:44	09:48	5
5	11.60	25	05:58	11:13	5
6	12.05	23	03:57	09:23	5
7	13.00	24	06:00	07:00	1
8	11.95	23	04:34	05:34	1
9	11.40	25	05:17	06:18	1



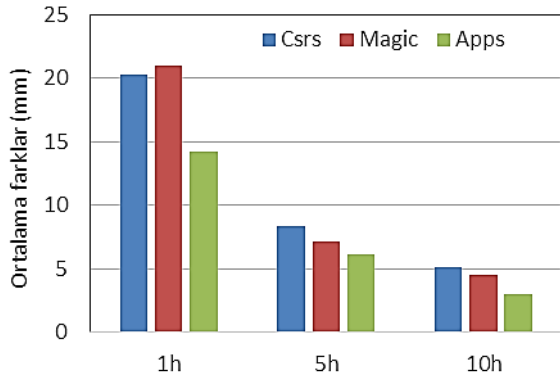
Şekil 5. Kuzey bileşeni için 7 günlük koordinat değişimi



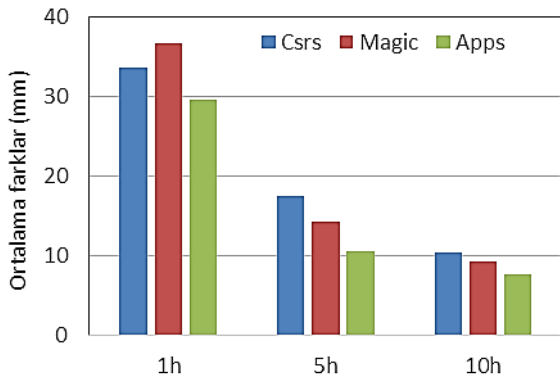
Şekil 6. Doğu bileşeni için 7 günlük koordinat değişimi



Şekil 8. Gözlem sürelerine göre ortalama farklar (Kuzey bileşen)



Şekil 9. Gözlem sürelerine göre ortalama farklar (Doğu bileşen)



Şekil 10. Gözlem sürelerine göre ortalama farklar (Yukarı bileşen)

İnternet tabanlı servislerin tercihinde, PPP tekniğinin kinematik kadar statik uygulamalar için de önem arz edeceği düşünülmüştür. Bu yüzden statik ve PPP yöntemleri arasında karşılaştırmalı bir değerlendirme amaçlanmıştır. Koordinatlar

PPP servisinden elde edildikten sonra yerel sisteme dönüştürülmüş ve AUSPOS referans alınarak koordinat farkları hesaplanmıştır. Bir referans servis ihtiyacı varlığı, AUSPOS servisinin değerlendirme işlemi sırasında Bernese yazılımını kullanması, en az 12 referans istasyonunu baz alması ve birinci uygulamada istikrarlı sonuçlar üretmesi nedeniyle tercih edilmiştir. Şekil 8, 9 ve 10 mutlak koordinat farklarının ortalama değerlerini sırasıyla kuzey, doğu ve yukarı bileşeni için göstermektedir. Hesaplanan farklar ölçü sürelerine ve servislere göre sınıflandırılmıştır.

Sonuçlar incelendiğinde 10 saat civarı gözlem verisi içeren noktalarda 1 cm altında farklar elde edilmiştir. Buna göre 24 saat gözlem verisi içeren noktalara yakın bir doğruluk elde edildiği izlenmiştir. Servisler arasında ise büyük bir farklılaşma gözlenmemiştir ve yakın sonuçlar elde edilmiştir.

5 saatlik gözlem verisi içeren noktalarda ise yatayda 1 cm'nin altında sonuçlar elde edilirken yukarı bileşeninde farklar 1-2 cm arasındadır. Gözlem süresi azaldıkça elde edilen doğruluklar oldukça düşmektedir. 1 saat gözlem verisi içeren noktalar için yatayda servisler 2 cm'ye yakın farklar üretmiştir. Yukarı bileşeninde ise her üç servisten elde edilen değerler 3 cm civarındadır. Elde edilen doğrulukların gözlem süresiyle doğrudan ilgili olduğu görülmüştür. Genel bir değerlendirme yapmak gerekirse, her saat grubundaki sonuçlara göre APPS servisi ile yatay ve düşey bileşenler için kıyasla daha yakın sonuçlar elde edilmiştir. Hepsini dikkate alındığında bu servisin başarılı olduğundan ve ciddi bir alternatif olacağından söz edilebilir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Günümüzde PPP (Duyarlı Nokta Konumlama) tekniği giderek önem kazanmaktadır. Getirdiği birçok avantajla birlikte konumlama hesap yöntemlerine ciddi bir alternatif oluşturmaktadır. Bununla birlikte PPP çözümü yapan internet tabanlı servislerin de kullanımı yaygınlaşmaktadır. Ölçme ve değerlendirmenin sadece tek alıcı ile yapılabilir olması bu sistemleri oldukça avantajlı kılmaktadır. Üstelik temel düzey dışında GNSS uzmanlığına gereksinim duyulmadan sonuç alınabilmektedir. Veri yapısına ve ölçme yöntemine en uygun çözüm stratejisini seçmek koordinat doğruluğunu en üst düzeyde tutmak için yeterlidir. Bu seçenekler hiç şüphesiz yazılım maliyetini azaltabileceği gibi,

yeterli bilgi sahibi olmayan kullanıcılardan kaynaklanan değerlendirme hatalarının da ortadan kaldırılmasına önemli ölçüde katkı sağlayacaktır.

Özellikle profesyonel kullanıcılar açısından ele alındığında sistemlerin en büyük dezavantajı, değerlendirme süreçlerine standart birkaç seçenek dışında (anten yüksekliği, IGS istasyon seçimi vb gibi) müdahale edilememesidir. Dolayısıyla özel amaçlara (Atmosferik modelleme, deformasyon analizi, duyarlı jeodezik ağ çalışmaları vb.) uygun olmadığı değerlendirilebilir.

Servislerin kullanmış olduğu değerlendirme yaklaşımlarını (modeller), iki değerlendirme esasına göre ele almak gerekmektedir. Statik değerlendirme stratejilerinin, gözlem sürelerine ve istasyonlar arasındaki baz uzunluklarına bağlı olduğu bilinmektedir. Öte yandan, servisler uygulama bölgesine en yakın istasyonları otomatik seçme veya bunları kullanıcıya seçtirme olanağı sunduğundan, standart modelleri kullanarak beklenen kalitede çözüm üretebilmektedir. Bu durumda kullanıcı açısından en önemli zorunluluk, 2 saatin üzerinde gözlem süresine sahip veri sağlayabilmektir. İki saatin üzerindeki gözlem verileri için, sonuçlar 1-2 cm içerisinde tutarlılık göstermektedir. PPP tekniğinde ise sonuçların güvenilirliği doğrudan IGS yörünge ve saat bilgisinin doğruluğuna bağlıdır. Sonuç olarak servisler farklı olsa da değerlendirmede kullanılan modeller arasında anlamlı bir fark yoktur. Bunun dışında işin niteliğine (kinematik, hızlı statik, statik) göre kullanıcı değişik gözlem sürelerinde veri toplayabilme seçeneğine sahiptir.

Uygulamalardan da görüldüğü üzere, yeterli sürede veriye sahip olunması durumunda klasik yöntemi kullanan servisler ile PPP servisler yakın sonuçlar üretmektedir. Burada AUSPOS servisi daha tutarlı sonuçlar üreterek ön plana çıkmaktadır. PPP servislerin değerlendirildiği uygulamada ise sonuçların gözlem süresiyle doğrudan ilişkili olduğu görülmüştür. Gözlem süresinin sırasıyla önce 5 sonra 1 saate kadar düşürülmesiyle doğruluk azalmakta ancak yine de birkaç cm civarı sonuç alınabilmektedir. Gözlem süresi doğruluk beklentisine paralel seçilmelidir.

İnternet Tabanlı GNSS Değerlendirme Servislerinin referans nokta ve yazılım ihtiyacını ortadan kaldırıyor olması ve ayrıca ücret ödemedi hızlı ve kolay bir biçimde sonuç üretmesi pek çok GPS kullanıcısının aradığı çözümlerdir. Gerek duyulan hususlar sadece

yeterli duyarlılıkta konum belirlenmek istenen noktalarda verinin toplanması ve bir internet bağlantısının bulunmasıdır. Zaman ve maliyet açısından ortada büyük bir kazanç vardır. Elde edilen sonuçlar harita mühendisliği ve CBS uygulamaları gibi çoğu mühendislik hizmetlerinin yürütülmesine yeterlidir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada kullanılan Ankara istasyonu gözlem verileri Uluslararası GNSS Servisi'nden sağlanmıştır. Veri ve değerlendirme hizmeti sunan ve bu çalışmada adı geçen kuruluşlara teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- Alçay S., Yiğit C. Ö., Ceylan A. (2013), **CSRS-PPP, MagicGNSS Ve APPS Web Tabanlı Yazılımların Statik PPP Modüllerinin Karşılaştırılması**, Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi, 5(1) 1-12.
- Ebner R., Featherstone W. E. (2008), **How well can online GPS PPP post-processing services be used to establish geodetic survey control networks?**, Journal of Applied Geodesy 2, 149–157.
- Ghoddousi-Fard R., Dare P. (2006), **Online GPS Processing Services: An Initial Study**, GPS Solutions, 10(1), pp. 1220.
- Gakstatter E. (2013). **A Comparison of Free GPS Online Post-Processing Services**, GPS World, url: <http://gpsworld.com/a-comparison-of-free-gps-online-post-processing-services/>
- HTDP (2014), **Geodetic Toolkit: Horizontal Time Depending Positioning**, National Oceanic and Atmospheric Administration, URL: <https://www.ngs.noaa.gov/TOOLS/Htdp/Htdp.shtml>
- Kahveci M., Yıldız F. (2009), **GPS/GNSS Uydularla Konum Belirleme Sistemleri** (4. Baskı).
- Kouba J., Héroux P., (2001), **Precise Point Positioning Using IGS Orbit and Clock Products**, GPS Solutions, Vol. 5, No. 2, pp. 12-28.

Kouba J. (2009), **A guide to using International GNSS Service (IGS) products**, url: <http://igsceb.jpl.nasa.gov/components/usage.html>

Rizos C. (2010), **Making sense of the GNSS techniques**, Chap 11 in Bossler J, Campbell JB, McMaster R, Rizos C (Eds) Manual of Geospatial Science and Technology, 2nd edition, Taylor & Francis, ISBN 978-1-4200-8733-8, 173-190.

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.

Subaşı K., Alkan R.M. (2011), **İnternet-Tabanlı GPS Değerlendirme Servislerinin Doğruluk Analizi: İstanbul Örneği**, 13. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, 18-22 Nisan 2011, Ankara.

Tsakiri M., (2008). **GPS Processing Using Online Services**, Journal of Surveying Engineering, 134(4), pp. 115-125.

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**, J. Geophys. Res., 102, 5005-5017.

URL-1:
<http://www.ngs.noaa.gov/OPUS/about.jsp#about>

URL-2 (GAPS):
<http://gaps.gge.unb.ca/indexv520a.php>

URL-3 (HTDP):
<https://www.ngs.noaa.gov/TOOLS/Htdp/Htdp.shtml>