

Gerçek Zamanlı Hassas Nokta Konumlama (RT-PPP) Yönteminin Konumlama ve Zenit Troposferik Gecikme (ZTD) Bakımından Karşılaştırmalı Analizi

Müzeyyen Turgut^{1,*}, Salih Alçay²

¹Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü, Manisa Kadastro Müdürlüğü, 45020, Manisa.

²Necmettin Erbakan Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 42140, Konya.

Özet

GNSS ile konum belirleme uygulamalarında, kullanılan yöntemlere göre elde edilen doğruluk değişmektedir. GNSS ile konum; bağıl ve mutlak konumlama yöntemleri kullanılarak belirlenmektedir. Hassas Nokta Konumlama (PPP) tekniğinde ise konumu/koordinatı belirlenecek noktada tek bir alıcının toplayacağı veriler yeterli olmakla beraber tekniğin teorisi ilkel olarak mutlak konum belirleme yöntemine dayanmaktadır. Son birkaç yılda ise IGS RT servisinin sunduğu ürünler sayesinde RTCM veri iletim formatı ve NTRIP veri iletim protokolü ile Gerçek Zamanlı Hassas Nokta Konumlama yönteminin (RT-PPP) kullanımı da geniş bir uygulama alanı bulmaktadır. Bu çalışmada RT-PPP yönteminin performansını test etmek için IGS-RTS istasyonlarından "ISTA" seçilmiştir. BKG Ntrip Client (BNC) v.2.12 yazılımı kullanılarak elde edilen sonuçlar, hem doğruluk hem de hassasiyet açısından incelenmiştir. Değerlendirmelerde GPS ve GLONASS uyduları sistemleri dikkate alındığından yayın efemerisi akışı olarak RTCM3EPH, kombine edilmiş yörünge/saat düzeltme ürünü olarak da IGS03 kullanılmıştır. Yalnız GPS ve GPS+GLONASS gözlemleri eş zamanlı kullanılarak 1 saniye aralıklarla yaklaşık 2 saatlik koordinat değerleri elde edilmiştir. Ardından CSRS-PPP yazılımı kullanılarak ilgili günde istasyonun 24 saatlik gözlem dosyası kullanılarak statik değerlendirme sonucunda koordinat değerleri elde edilmiştir. Bu koordinatlar referans koordinatlar olarak alınmıştır. Her bir epokta elde edilen RT-PPP koordinatları ile referans koordinatlar kullanılarak X, Y, Z Kartezyen (yer merkezli) sistemden Kuzey (n), Doğu (e), Yukarı (u) bileşenleri ile tanımlanan topocentrik koordinat sistemine dönüşümler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, yakınsama süresi göz ardı edildiğinde (~20 dakika) tüm bileşenlerde çoğunlukla 10 cm den daha iyi bir doğruluğun elde edilebildiğini göstermiştir. Ayrıca RT troposferik gecikmenin uygunluğunu test etmek amacıyla elde edilen RT-ZTD değerleri IGS-ZTD değerleri ile karşılaştırmalı bir yaklaşımla verilmiştir.

Anahtar Sözcükler

BNC 2.12, IGS03, RTCM3EPH, RT-PPP, ZTD

Abstract

In positioning applications using GNSS, the derived accuracy changes according to the method used. Positioning with GNSS includes relative and absolute positioning methods. In Precision Point Positioning (PPP) technique, while the position / coordinate of a single receiver is sufficient at the point where the location / coordinate will be determined, the theory of technique is principally based on absolute positioning method. In the last few years, thanks to the products offered by the IGS RT service, with the use of RTCM data transmission format and NTRIP data transmission protocol, Real Time Precise Point Positioning method (RT-PPP) is widely used. In this study, in order to examine the performance of RT-PPP method "ISTA" IGS-RTS station was selected. The results obtained using the BKG Ntrip Client (BNC) v.2.12 software were examined for both accuracy and precision. Since the GPS and GLONASS satellite systems were considered in the processes, RTCM3EPH was used as the broadcast ephemeris flow and IGS03 was used as the combined orbit / clock correction product. Using GPS-only and GPS+GLONASS observations simultaneously, approximately 2-hour coordinates were obtained at 1-second interval. Then, using the CSRS-PPP software, the coordinate values were obtained by using the station's 24-hour observation file on the related day. These coordinates were taken as reference coordinates. Using RT-PPP coordinates and reference coordinates, coordinate transformation were applied from X,Y,Z cartesian (earth centered) system to topocentric coordinate system, defined as North (n), East (e), Up (u) components. The results show that, when the convergence time is ignored (~ 20 minutes), the accuracy better than 10 cm can be obtained in all components. In addition, in order to test the suitability of RT tropospheric delay, the obtained RT-ZTD values were compared with the IGS-ZTD values.

Keywords

BNC 2.12, IGS03, RTCM3EPH, RT-PPP, ZTD

1. Giriş

Küresel Navigasyon Uyduları Sistemleri (GNSS) gündelik hayatta sıklıkla kullanılmakla beraber yüksek doğruluk gerektiren birçok mühendislik uygulamasında da yerini almaktadır. GNSS ile konum belirleme bağıl ve mutlak konum belirleme yöntemlerini kapsamaktadır. Bağıl konum belirlemede minimum iki adet GNSS alıcısı gerekmektedir. Mutlak konum belirlemede ise tek bir GNSS alıcısı ile konum belirlenebilmektedir. Hassas Nokta Konumlama (PPP) yöntemi mutlak konum belirleme yöntemlerinden olup, yöntemde tek bir alıcı kullanılarak fark alınmamış kod ve taşıyıcı faz ölçüleri kullanılmaktadır. Post-process PPP yönteminin performansı birçok bilimsel çalışmada test edilmiştir (Alkan ve ark., 2015; Cai ve Gao 2013; Choy ve ark., 2013; Dawidowicz ve Krzan 2014; Farah 2015; Guo 2015; Soyca 2012, Yiğit 2014). Son 10 yıl içerisinde uyduları sistemlerindeki gelişmelerle birlikte hassas nokta konumlama tekniğine yoğunlaşma

* Sorumlu Yazar : Tel: (0236)2801149 Faks: (0236)2314619

E-posta: tk41502@tkgm.gov.tr (Turgut M.), salcay@konya.edu.tr (Alçay S.)

beraberinde yöntemin gerçek zamanlı olarak kullanılma düşüncesini ortaya çıkarmıştır. IGS RT servisin yörünge ve saat ürünlerini anlık olarak sunması ile birlikte RT-PPP yöntemi kullanılmaya başlanmıştır (Martin ve ark, 2015; Ahmed ve ark., 2016; Krzan ve Przeszelski 2016; Alçay ve Turgut 2017; Abdi ve ark., 2017; Ding ve ark 2018; Alçay 2019). Gerçek zamanlı hassas nokta konumlama (RT-PPP) tekniğindeki araştırmalarda beklenti genel olarak zaman ve maliyetin minimal seviyelerde olması ve konum bilgisinin uluslararası bir datum sisteminde yüksek hassasiyette belirlenebilmesidir. Bu çalışmada, RT-PPP yönteminin performansı, BKG Ntrip Client (BNC) v.2.12 yazılımı kullanılarak hem konum doğruluğu ve hassasiyeti hem de ZTD kestirimi açısından test edilmiştir. Bu amaçla Türkiye’de bulunan ve GPS ve GLONASS uydularını izleyebilen IGS RTS istasyonlarından ISTA seçilmiştir. Değerlendirmeler sadece GPS ve GPS+GLONASS konfigürasyonu kullanılarak yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar karşılaştırmalı bir yaklaşımla verilmektedir.

2. Real Time PPP (RT-PPP)

Son yıllarda, gerçek zamanlı hassas yörünge ve saat düzeltme veri akışlarının kullanıma sunulmasıyla, kullanıcılar için tek alternatif gibi görünen ölçü sonrasındaki post-process işlemi zorunluluk dışında artık sadece bir tercih olarak kalmaktadır. RT-PPP yönteminde tam sayı belirsizlik çözümü dışında uydu sayısı ve uydu geometrisi yöntemin doğruluğunu etkilemektedir. GPS uyduları dışında GLONASS uydu saat ve yörünge düzeltmelerinin de IGS tarafından yayınlamasıyla (IGS03), RT-PPP uygulamalarında konum doğruluğunu arttırmak amacıyla iki uydu sistemi birlikte değerlendirilmektedir. Her ne kadar sistemlerin birlikte kullanılmasının birçok avantajı olsa da sistemler arasındaki farklılıktan kaynaklanan problemler konum doğruluğunu olumsuz etkileyebilmektedir.

2.1. Real Time PPP (RT-PPP) Servisleri ve Ürünleri

Real Time Servis (RTS) hizmeti IGS alt yapısında bulunan 218 istasyona bağlı çoklu veri merkezi ile 10 adet analiz merkezinden oluşmaktadır. RTS’ye destek sağlayan analiz merkezlerinden en bilinen analiz merkezleri; BKG, DLR, ESA/ESOC, GFZ, GMV, NRCan ve WUHAN’ dir. NRCan; RTWG başkanlığı (Real Time Work Groups), ESOC; Real Time Analiz Merkezi Koordinatörlüğü (Real Time Analysis Center Coordinator ((RTACC)) ve BKG ise veri akış koordinatörlüğünü yapmaktadır (Anonymous1, 2018; Elsobey ve Al-Harbi, 2016).

Tablo 1’de real time veri merkezleri ve bu veri merkezlerine ait uydu konfigürasyonları verilmektedir (Anonymous2, 2018). Bu ürünlere ulaşabilmek için IGS RTS web sitesinden (<http://igs.org/rts>) çevrimiçi(online) kullanıcı kaydı yapılması gerekmektedir (Elsobey ve Al-Harbi, 2016). Bu RTS abonelik sistemi ücretsiz sunulan bir kamu hizmetidir (Anonymous3, 2018). RTS ürünleri, BKG tarafından geliştirilen NTRIP Internet protokolü aracılığıyla RTCM/SSR(State-Space Representation) veri formatı standardına göre yayınlanmaktadır. NTRIP uygulaması <http://igs.bkg.bund.de/ntrip/download> adresinden indirilebilmekte olup özel lisans gerekmemektedir. RTS ürünleri içerisinde yörüngelere ilişkin düzeltme bilgileri Uluslararası Yersel Koordinat Sisteminde (ITRF2014) yayınlanmaktadır. RTS ürünleri elde edilen yayın (broadcast) efemerisi (RTCM3EPH) için GNSS uydu yörünge, saat düzeltme bilgilerini ve veri akışlarını içermektedir (Tablo 2) (Anonymous3, 2018).

Tablo.Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı. 1: Analiz merkezleri (Anonymous2, 2018)

Analiz Merkezi	Uydular	Ürünler	
		Uydu Yörüngeleri ve Saatleri	Uydu ve İstasyon Saatleri
CNES/CLS	GPS + GLO + GAL + BDS (G) + (R) + (E) + (C)	15 dk	30 sn
CODE	GPS + GLO + GAL + BDS + QZS (G) + (R) + (E) + (C) + (J)	5 - 15 dk	30 sn -5 dk
GFZ	GPS + GLO + GAL + BDS + QZS (G) + (R) + (E) + (C) + (J)	15 dk	30 sn -5 dk
TUM	GAL + QZS (E) + (J)	5 dk	5 dk
JAXA	GPS + GLO + QZS (G) + (R) + (J)	5 dk	30 sn
SHAO	GPS + GLO + GAL + BDS (G) + (R) + (E) + (C)	15 dk	5 dk
Wuhan Üniversitesi	GPS + GLO + GAL + BDS + QZS (G) + (R) + (E) + (C) + (J)	15 dk	5 dk

Tüm epokların birbirinden bağımsız olduğu IGS01/IGC01 tek-epok içeren bir kombinasyon çözümüdür. ESA/ESOC tarafından geliştirilen bir yazılımla üretilmektedir. IGS02, BNC yazılımı kullanılarak oluşturulan kalman filtre kombinasyonudur. Birkaç dakikalık yakınsama süresi sonrasında tam doğruluğa ulaşılmaktadır (Anonymous3, 2018).

IGS03 ise IGS02 ile benzer yaklaşım sunan bir kalman filtreleme kombinasyonu olup, IGS02 den farklı olarak GLONASS düzeltmelerini de içermektedir (Anonymous3, 2018).

Tablo.2: RTS verileri (Anonymous3, 2018)

Ürün Adı	Açıklama	Referans Noktası	RTCM Mesajları	Sağlayıcı / Çözüm Kimliği	Bant genişliği kbits	Yazılım
IGS01	Yörünge/Saat Düzeltmesi, Tek Epok Kombinasyonu	APC	1059 (5), 1060 (5)	258/1	1.8/sn	ESA/ESOC
IGC01	Yörünge/Saat Düzeltmesi, Tek Epok Kombinasyonu	CoM	1059 (5), 1060 (5)	258/9	1.8/sn	ESA/ESOC
IGS02	Yörünge/Saat Düzeltmesi, Kalman Filtre Kombinasyonu	APC	1057 (60), 1058 (10), 1059 (10).	258/2	0.6/sn	BKG
IGS03	Yörünge/Saat Düzeltmesi, Kalman Filtre Kombinasyonu	APC	1057 (60), 1058 (10), 1059 (10), 1063 (60), 1064 (10), 1065 (10).	258/3	0.8/sn	BKG

3. Uygulama

Bu çalışmada RT-PPP yönteminin konumlama performansını test etmek amacıyla IGS-RTS istasyonlarından ISTA seçilmiştir. İstasyona ait RT koordinat değerleri GPS ve GPS+GLONASS gözlemleri eş zamanlı kullanılarak 1 saniye aralıklarla ikiye saatlik üç dilimde elde edilmiştir. İlk iki saat dilimi 29.01.2019 tarihinde son iki saatlik dilimin 38 dakikalık bölümü ise 30.01.2019 tarihinde elde edilmiştir. İlgili günlerde konum doğruluğunu etkileyebilecek jeomanyetik ve solar fırtına kaynaklı iyonosferde düzensiz bir değişimin olup olmadığını incelemek amacıyla jeomanyetik fırtına (Kp) (<https://omniweb.gsfc.nasa.gov/form/dx1.html>), jeomanyetik aktivite (Dst) (<https://omniweb.gsfc.nasa.gov/form/dx1.html>) ve solar aktivite (F10.7) (<https://omniweb.gsfc.nasa.gov/form/dx1.html>), indisleri incelenmiştir. İyonosferde konumlama için sorun teşkil edecek bir fırtınadan söz edebilmek için indis değerlerinin sınır değerlerini aşması gerekir (Kp>5, Dst <-20 (nT), F10.7>150 (sfu)). Tablo 3 ve 4’de görüldüğü gibi tüm indis değerleri incelendiğinde ilgili günlerde herhangi bir fırtınanın söz konusu olmadığı görülmektedir.

Tablo 3. 29.01.2019 tarihine ait Kp, Dst ve F10.7 indis değerleri

İndisler	29.01.2019											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Kp	1.7	1.7	1.7	0	0	0	0	0	0	0.3	0.3	0.3
Dst (nT)	-1	1	2	2	1	0	3	5	8	10	11	8
F10.7 (sfu)	70.9	70.9	70.9	70.9	70.9	70.9	70.9	70.9	70.9	70.9	70.9	70.9
İndisler	29.01.2019											
	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Kp	0.7	0.7	0.7	0.3	0.3	0.3	0	0	0	0	0	0
Dst (nT)	8	6	2	-1	0	0	-1	0	2	4	6	6
F10.7 (sfu)	70.9	70.9	70.9	70.9	70.9	70.9	70.9	70.9	70.9	70.9	70.9	70.9

Tablo 4. 30.01.2019 tarihine ait Kp, Dst ve F10.7 indis değerleri

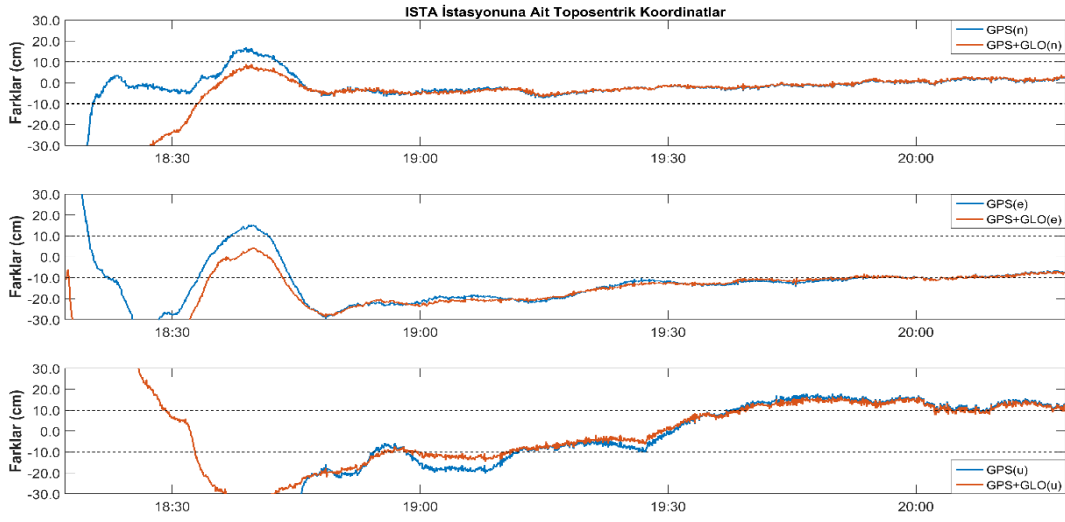
İndisler	30.01.2019											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Kp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Dst (nT)	7	7	5	3	1	1	4	4	2	2	4	7
F10.7 (sfu)	71.4	71.4	71.4	71.4	71.4	71.4	71.4	71.4	71.4	71.4	71.4	71.4
İndisler	30.01.2019											
	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Kp	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
Dst (nT)	9	9	9	10	10	11	10	8	7	10	11	11
F10.7 (sfu)	71.4	71.4	71.4	71.4	71.4	71.4	71.4	71.4	71.4	71.4	71.4	71.4

ISTA istasyonuna ait RT-PPP koordinatları BKG Ntrip Client (BNC) v.2.12 yazılımı kullanılarak 1 saniye aralıklarla ikişer saatlik üç dilimde elde edilmiştir. Ardından istasyonun her iki güne ait 24 saatlik gözlem dosyaları CSRS-PPP (<https://webapp.geod.nrcan.gc.ca/geod/tools-outils/ppp.php>) servisine gönderilerek statik değerlendirme sonucunda koordinat değerleri elde edilmiştir. Bu koordinatlar referans koordinatlar olarak alınmıştır. Referans koordinatlar ve her bir epokta elde edilen RT-PPP koordinatları kullanılarak yer merkezli Kartezyen sistemden (X,Y,Z), Kuzey (n), Doğu (e) ve Yukarı (u) bileşenleri ile ifade edilen toposentrik koordinat sistemine dönüşüm gerçekleştirilmiştir. Şekil 1-3’ de ISTA istasyonuna ait referans koordinatlardan olan farkları temsil eden toposentrik koordinat bileşenleri verilmektedir.

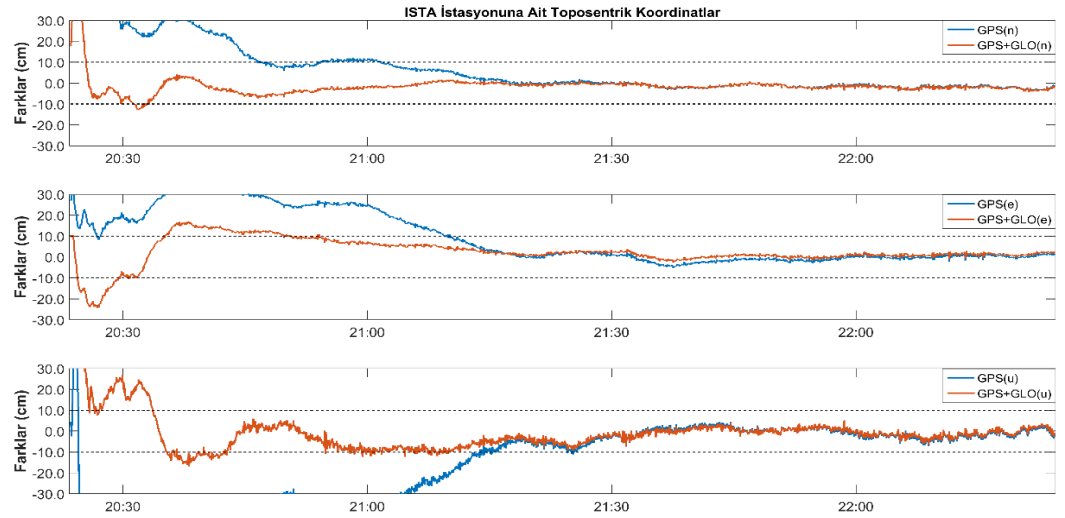
Şekil 1’de 18:18-20:18 saat diliminde elde edilen koordinat bileşenleri verilmektedir. İlk koordinat değerleri oldukça yüksek olup, GPS ile -1.71 m (n), 1.28 m (e), -2.32 m (u), GPS+GLONASS ile -1.26 m (n), -0.11 m (e), 0.80 m (u) koordinat değerleri elde edilmiştir. Genel olarak GPS ve GPS+GLONASS koordinatları benzer nitelikte olup, özellikle “n” bileşeninde ilk 20 dakikalık yakınsama süresinden sonra 10 cm den daha küçük koordinat değerleri elde edilmiştir. “e” ve “u” bileşenlerinin ise ilk 1 saatlik dilimden sonra 15 cm nin altına indiği görülmektedir.

Şekil 2’de ikinci 2 saatlik dilimde elde edilen koordinat değerleri verilmektedir. İlk 20 dakikalık yakınsama süresinden sonra GPS+GLONASS sonuçlarının GPS sonuçlarına göre özellikle ilk saat diliminde çok daha iyi olduğu ve “n” ve “e” bileşenlerinin çoğunlukla 5 cm nin altında olduğu görülmektedir.

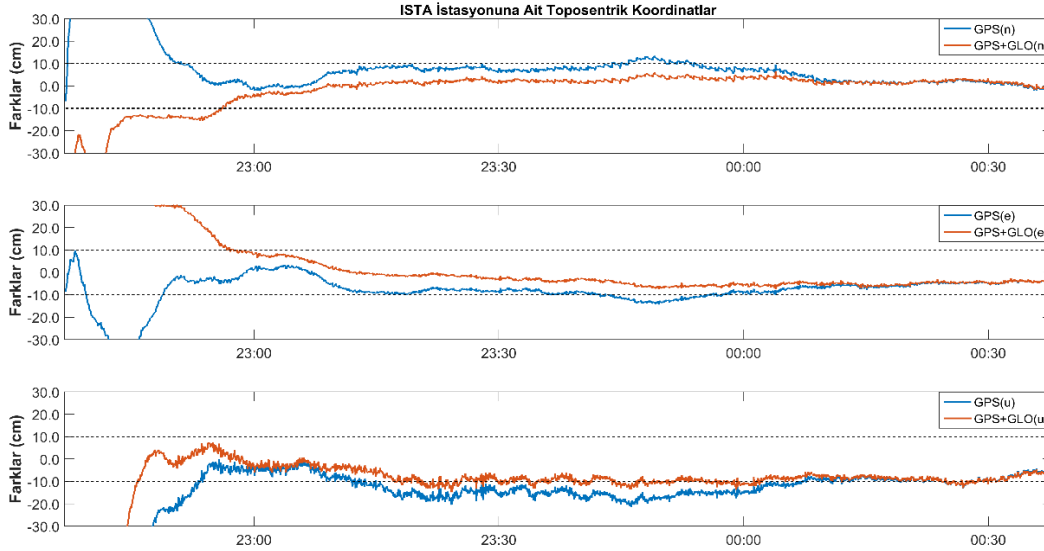
Son iki saatlik zaman dilimine (22:38-00:38) ait koordinat değerleri ise Şekil 3’de verilmektedir. İlk koordinat değerleri özellikle “u” bileşeninde yüksek seviyede olup, GPS ve GPS+GLONASS ile sırasıyla -2.92 m ve -3.40 m koordinat değerleri elde edilmiştir. İlk 20 dakikalık yakınsama süresinden sonra is GPS+GLONASS sonuçlarının üstünlüğü net olarak görülmektedir. GPS+GLONASS sonuçları yatay bileşende (n, e) ± 6 cm seviyesinde olup, düşey bileşende ise (u) çoğunlukla 10 cm’nin altındadır.



Şekil 1. 18:18-20:18 dilimine ait koordinat değerleri



Şekil 2. 20:24-22:24 dilimine ait koordinat değerleri



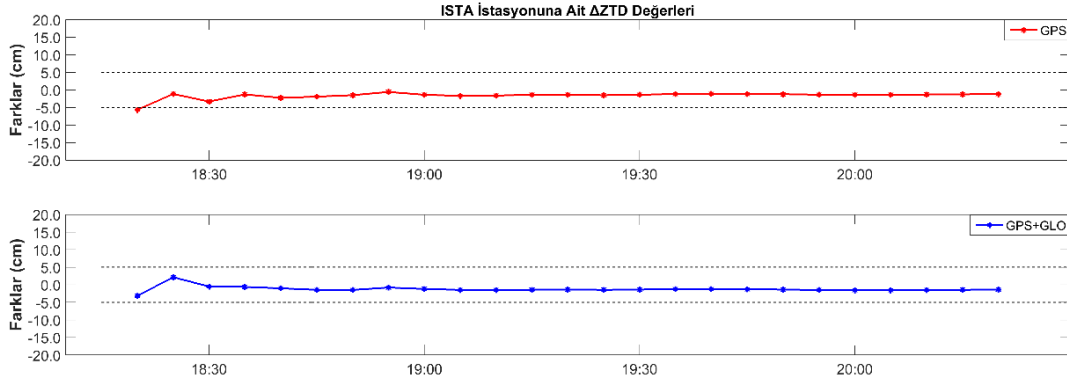
Şekil 3. 22:38-00:38 dilimine ait koordinat değerleri

RT-PPP sonuçlarının doğruluk yönünden test edilmesinin yanı sıra tekrarlılıklarını da incelemek amacıyla ilk 20 dakikalık yakınsama süresi göz ardı edilerek standart sapma (Std) değerleri hesaplanmıştır. Std değerlerinin yanı sıra koordinatlara ilişkin mutlak maksimum, mutlak minimum ve ortalama gibi temel istatistik değerler belirlenerek Tablo 5’de verilmiştir. Maksimum değerleri incelendiğinde en büyük değer 22:38-00:38 zaman diliminde GPS+GLONASS sonuçlarına ait “u” bileşeninde olduğu görülmektedir (342.3 cm). Minimum değerler ise referans koordinatlarla aynı değerlerin elde edilebildiğini göstermektedir. İlk 20 dakikalık yakınsama süreleri göz ardı edilerek hesaplanan ortalama ve std değerleri incelendiğinde ise GPS+GLONASS sonuçlarının genelde daha iyi olduğu görülmektedir. Özellikle bu durum düşey bileşende net olarak görülmektedir.

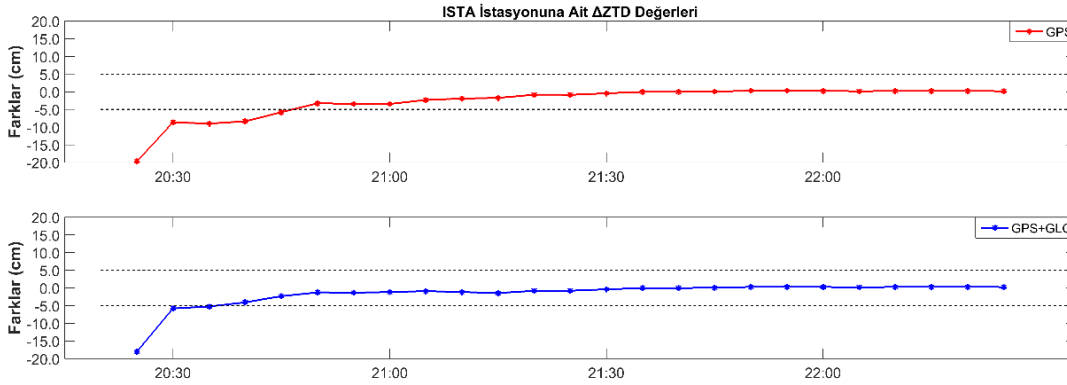
Tablo 5. Koordinatlara ilişkin temel istatistik değerler (Ortalama ve Standart sapma (Std) değerleri elde edilirken yakınsama süresine ait koordinat değerleri (20 dk) dikkate alınmamıştır)

Zaman Dilimi	Temel İstatistikler	GPS			GPS+GLONASS		
		Kuzey (n) (cm)	Doğu (e) (cm)	Yukarı (u) (cm)	Kuzey (n) (cm)	Doğu (e) (cm)	Yukarı (u) (cm)
18:18-20:18	Maksimum	173.2	129.0	236.5	127.1	68.8	119.1
	Minimum	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Ortalama	-1.0	-13.5	-3.8	-1.4	-14.2	-1.4
	Std	4.2	7.9	19.7	3.0	6.5	14.3
20:24-22:24	Maksimum	140.6	37.0	150.7	79.0	24.3	209.1
	Minimum	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Ortalama	1.7	6.0	-11.3	-1.7	2.9	-2.5
	Std	4.8	10.5	15.8	1.5	3.5	3.8
22:38-00:38	Maksimum	63.0	46.0	297.8	67.1	95.4	342.3
	Minimum	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0
	Ortalama	5.3	-6.9	-11.7	1.6	-2.7	-8.2
	Std	3.7	3.6	4.3	2.1	3.9	2.8

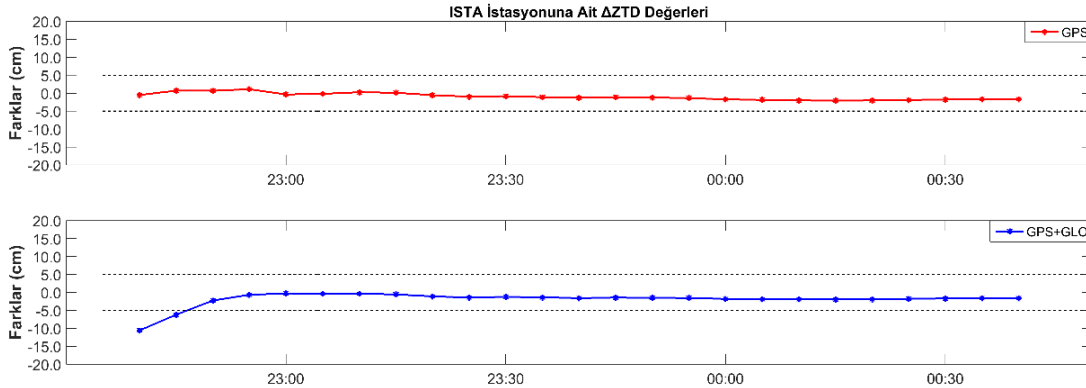
RT-PPP yönteminin konumlama açısından test edilmesinin yanı sıra RT-ZTD değerlerinin uygunluğu test edilmiştir. Bu amaçla elde edilen RT-ZTD değerleri IGS-ZTD değerleri ile karşılaştırılmıştır. IGS-ZTD değerleri 5 dakika aralıklarla kestirildiğinden bu değerlere karşılık gelen RT-ZTD değerleri belirlenerek aralarındaki farklar (ΔZTD) Şekil 4-6’da verilmiştir. İlk 10 dakika göz ardı edildiğinde GPS ve GPS+GLONASS ΔZTD değerlerinin 4 cm’nin altında olduğu görülmektedir.



Şekil 4. RT-PPP ZTD ile IGS-ZTD arasındaki farklar (18:18-20:18)



Şekil 5. RT-PPP ZTD ile IGS-ZTD arasındaki farklar (20:24-22:24)



Şekil 6. RT-PPP ZTD ile IGS-ZTD arasındaki farklar (22:38-00:38)

4. Sonuçlar

Bu çalışmada RT-PPP yönteminin konumlama ve ZTD kestirimi açısından performansı test edilmiştir. Bu amaçla İSTA istasyonuna ait yalnız GPS ve GPS+GLONASS gözlemleri eş zamanlı kullanılarak ikişer saatlik üç zaman diliminde 1 saniye aralıklarla koordinatlar elde edilmiştir. Elde edilen RT-PPP koordinat değerleri CSRS-PPP yazılımı kullanılarak 24 saatlik statik değerlendirme sonucunda elde edilen koordinat değerleri ile karşılaştırmalı yaklaşımla verilmiştir. Sonuçlara göre ilk yakınsama süresi (~20 dk) dikkate alınmadığında özellikle GPS+GLONASS ile tüm bileşenlerde çoğunlukla 10 cm den daha iyi bir doğruluk elde edilebilmektedir. RT-PPP yöntemiyle elde edilen koordinatların tekrarlılık yönünden test edilmesi amacıyla std değerleri hesaplanmış ve tüm bileşenlerde en iyi sonuçların son zaman diliminde (22:38-00:38) elde edildiği görülmüştür (<4.3 cm). Ayrıca RT-PPP yöntemi ZTD kestirimi açısından da test edilmiştir. Bu amaçla elde edilen RT-ZTD değerleri IGS ZTD değerleri ile karşılaştırmalı yaklaşımla verilmiştir. Elde edilen sonuçlar farkların hem GPS hem de GPS+GLONASS için 4 cm den daha iyi olduğunu göstermiştir. Tüm sonuçlar değerlendirildiğinde RT-PPP yönteminin sağladığı konum doğruluğu açısından henüz jeodezik çalışmalarda kullanılmayacağını göstermiştir.

Teşekkür

Bu çalışmada kullanılan BNC yazılımı için Federal Agency for Cartography and Geodesy (BKG)'ye, CSRS-PPP yazılımı için Natural Resources Canada (NRCan)'ya ve kullanılan ürünler için IGS RTS' ye teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- Abdi, N., Ardalan, A.A., Karimi, R.,B, Rezvani, M.H., (2017), *Performance assessment of Multi-GNSS Real-Time PPP over Iran*, Advances in Space Research, 59, 2870–2879, <https://doi.org/10.1016/j.asr.2017.03.024>.
- Ahmed, F., Va' Clavovic, P., Teferle, F.N., Dous'a, J., Bingley, R., Laurichesse, D., (2016), *Comparative analysis of Real-Time Precise Point Positioning zenith total delay estimates*, GPS Solut, 20, 187–199, <https://doi.org/10.1007/s10291-014-0427-z>.
- Alçay, S., Turgut, M., (2017), *Performance evaluation of Real-Time Precise Point Positioning method*, IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science, 95, 032023, doi :10.1088/1755-1315/95/3/032023.
- Alçay, S. (2019), *Gerçek zamanlı hassas nokta konumlama (RT-PPP) yönteminin konum belirleme performansının doğruluk ve hassasiyet bakımından incelenmesi*, ÖHÜ Müh. Bilim Derg., 8, 121-133, doi: 10.28948/ngumuh.516842.
- Alkan, R.M., İlçi, V., Ozulu, İ.M., Saka, M.H., (2015), *A comparative study for accuracy assessment of PPP technique using GPS and GLONASS in urban areas*, Measurement, 69, 1–8, <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2015.03.012>.
- Anonymous1, The International GNSS Service (IGS), Real Time Service Contributors, <http://www.igs.org/rts/contributors> [Erişim 12 Aralık 2018]
- Anonymous2, The Multi-GNSS Experiment and Pilot Project (MGEX), Precise Orbit and Clock Products. http://mgex.igs.org/IGS_MGEX_Products.php. [Erişim 09 Aralık 2018]
- Anonymous3, Real-time Servis Sağlayan Ürünler. <http://www.igs.org/rts/products> [Erişim 12 Aralık 2018]
- Cai, C, Gao, Y., (2013), *GLONASS-based Precise Point Positioning and performance analysis*, Advances in Space Research 51, 514–524, <https://doi.org/10.1016/j.asr.2012.08.004>.
- Choy S, Zhang S, Lahaye, F., Héroux, P., (2013), *A comparison between GPS-only and combined GPS+GLONASS Precise Point Positioning*, Journal of Spatial Science, 58, 2, 169-190, <https://doi.org/10.1080/14498596.2013.808164>.
- Dawidowicz, K., Krzan, G., (2014), *Coordinate estimation accuracy of static Precise Point Positioning using on-line PPP service, a case study*, Acta Geod Geophys, 49, 37–55, <https://doi.org/10.1007/s40328-013-0038-0>.
- Ding, W., Tan, B., Chen, Y., Teferle, F.N., Yuan, Y., (2018), *Evaluation of a regional Real-Time Precise Positioning system based on GPS/BeiDou observations in Australia*, Advances in Space Research, 61, 951–961, <https://doi.org/10.1016/j.asr.2017.11.009>.
- Elsobeiey, M., Al-Harbi, S., (2016), *Performance of real-time Precise Point Positioning using IGS real-time service*. GPS Solut, 20: 565-571, <https://doi.org/10.1007/s10291-015-0467-z>.
- Farah, A., (2015), *Accuracy assessment study for kinematic GPS-PPP using single- and dual-frequency observations with various software packages*, Arab J Sci Eng, 40, 2013–2019. <https://doi.org/10.1007/s13369-015-1613-1>.
- Guo, Q., (2015), *Precision comparison and analysis of four online free PPP services in static positioning and tropospheric delay estimation*, GPS Solut, 19, 537–544, <https://doi.org/10.1007/s10291-014-0413-5>.
- Krzan, G., Przeszrzelski, P., (2016), *GPS/GLONASS Precise Point Positioning with IGS real-time service products*, Acta Geodyn. Geomater, 13 (1), 69–81, doi: 10.13168/AGG.2015.0047.
- Martin, A., Anquela A.B., Dimas-Pagés, A., Cos-Gayón, F., (2015), *Validation of performance of Real-Time Kinematic PPP. A possible tool for deformation monitoring*, Measurement, 69, 95–108, <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2015.03.026>.
- Soycan, M., (2012), *A quality evaluation of Precise Point Positioning within the Bernese GPS Software Version 5.0*. Arab J Sci Eng, 37, 147–162, <https://doi.org/10.1007/s13369-011-0162-5>.
- Yiğit, C.O., Gikas, V., Alçay, S, Ceylan, A., (2014), *Performance evaluation of short to long term GPS, GLONASS and GPS/GLONASS post-processed PPP*, Survey Review, 46, 336, 155-166, <https://doi.org/10.1179/1752270613Y.0000000068>.