

## Farklı Gözlem Sürelerinde GPS-PPP ve GPS/GLONASS-PPP Yöntemlerinin Konum Belirleme Performanslarının İncelenmesi

Salih Alçay

Necmettin Erbakan Üniversitesi Müh. ve Mim. Fak. Harita Müh. Böl. Meram/Konya.  
e-posta: salcay@konya.edu.tr

Geliş Tarihi: 28.03.2016; Kabul Tarihi: 31.08.2016

### Özet

Yüksek doğruluk sağlaması, tek GNSS alıcısı kullanıldığı için maliyetinin düşük olması ve kullanımının kolay olması nedeniyle Hassas Nokta Konumlama (PPP) yöntemine olan ilgi her geçen gün artmaktadır. Ayrıca GPS'in yanı sıra GLONASS'ın da tam kapasiteye ulaşması ve bu iki sistemin birlikte kullanılabilir olması Hassas Nokta Konumlama uygulamalarına olumlu etki sağlamaktadır. Bu çalışmada GPS ve GPS/GLONASS gözlem verileri kullanılarak statik PPP sonuçlarının kapsamlı bir istatistiki değerlendirmesi yapılmıştır. Değerlendirme işlemi farklı enlemlerdeki 4 IGS noktasına ilişkin kısa (1s, 3s) ve uzun (6s, 12s, 24s) gözlem süreleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar uzun gözlem sürelerinde GPS ve GPS/GLONASS sonuçlarının arasındaki farkların doğruluk ve tekrarlılık bakımından anlamlı olmadığını göstermiştir. Kısa gözlem sürelerinde ve özellikle 1 saatlik çözümlerde ise GPS/GLONASS daha iyi sonuç vermektedir.

### Anahtar kelimeler

IGS; PPP; GPS;  
GLONASS.

## Investigation of the Positioning Performance of GPS-PPP and GPS/GLONASS-PPP in Different Observation Time

### Abstract

In terms of providing high accuracy, low cost due to use of single GNSS receiver and ease of use, Precise Point Positioning (PPP) method has increasing interest day by day. In addition, since the GLONASS reached full capacity like GPS, and both system could be used together, this provide positive influence on the Precise Point Positioning applications. In this study using GPS and GPS/GLONASS observation data, a comprehensive statistical evaluation of static observation data was made using PPP results. Evaluation process was performed with 4 IGS stations at different latitude regions by using short (1h, 3h) and long (6h, 12h, 24h) observation durations. The results obtained in the long observation period showed that differences between GPS and GPS/GLONASS results were not significant in terms of accuracy and repeatability. For the short observation periods, particularly 1 hour, GPS/GLONASS gives better results.

### Keywords

IGS; PPP; GPS;  
GLONASS.

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

### 1. Giriş

Uydu teknolojileri ve uzay jeodezisindeki gelişmeler sayesinde tek GNSS (Global Navigation Satellite System) alıcısı kullanılarak yapılan konumlama çalışmalarına ilgi gün geçtikçe artmaktadır. Bu sayede konum doğruluğunu arttırmak amacıyla bir dizi yeni teknik ve algoritma geliştirilmiştir. Hassas GNSS uydu yörünge ve saat bilgileriyle doğrudan

ilişkili olan PPP tekniği sağladığı konum doğruluğu nedeniyle son zamanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır (Gao,2006; Huber ve ark. 2012; Martin ve ark. 2011; Moschas ve ark. 2013; Rizos ve ark. 2012). PPP yöntemi birçok avantaja sahip olmasına rağmen birkaç husus söz konusudur. Bunlardan en önemlisi doğru ve güvenilir konum doğruluğuna ulaşmak için uzun süreye gereksinim duymasıdır. Bu sorunu aşabilmek için IGS

(International GNSS Service)' in öncülüğünde pilot proje çalışması gerçekleştirilmektedir. Uydu yörünge ve saat düzeltme verilerinin yanı sıra PPP tekniğinin performansını etkileyen diğer bir faktör ise mevcut uyduların sayısı ve geometrisidir (Yigit ve ark. 2014).

Son zamanlarda GLONASS (GLObal NAVigation Satellite System) sistemindeki gelişmeler ve sistemlerin birlikte kullanılabilmesi gözlenen uydu sayısını yalnız GPS (Global Positioning Sytem)' e nazaran iki katına çıkmasına olanak sağlamış ve bu durumun PPP ile yapılan değerlendirme işlemine olumlu etkisinin olacağı düşüncesini ortaya çıkarmıştır. Bu katkı Galileo (Ji ve ark. 2013), Beidou/Compass (Jin,2013), (Verhagen ve Teunissen 2014), ve diğer sistemlerin (Jin,2013) devreye girmesiyle daha net olarak görülebilir. Ancak çok sayıda sistemin PPP için birlikte kullanılması, yörünge parametrelerinde ve onların taşıyıcı frekans modülasyonlarında farklılığa neden olacaktır. Bu farklar kod ve faz gözlemlerinde hatalara (Bias) neden olacak ve bu durum konum doğruluğunu olumsuz etkileyecektir (Cai ve Gao 2007, 2012, 2013; Zhang ve ark. 2011). Bu nedenle sistemlerin uyum içinde kullanılabilmesi PPP için son derece önemlidir.

GLONASS'ın PPP yöntemine katkısını belirlemek amacıyla bir dizi çalışma gerçekleştirilmiştir (Yigit ve ark. 2014; Alkan ve ark. 2015; Piriz ve ark. 2009; Zhang ve ark. 2011). Yigit ve ark. (2014) GPS, GLONASS ve GPS/GLONASS gözlemlerini kullanarak post-proses PPP tekniğinin performansını incelemiştir. Farklı gözlem süreleri kullanılarak yapılan değerlendirme işlemi magicGNSS web tabanlı yazılımıyla gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar özellikle kısa gözlem sürelerinde (1s, 2s) GPS/GLONASS sonuçlarının daha iyi olduğunu göstermiştir. Alkan ve ark. (2015), PPP tekniğinin kentsel alanda kullanılabilirliğinin GPS ve GPS/GLONASS gözlemleri kullanarak test etmişlerdir. Bu amaçla CSRS-PPP ve magicGNSS web tabanlı yazılımları kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre kentsel alanda tek uydu sistemiyle çözüm sağlanamadığında sistemlerin birlikte kullanılmasının çözüm imkanı sağladığı

belirtmiştir. Piriz ve ark. (2009), 19 IGS noktası kullanarak 24 saatlik veri kümeleriyle magic GNSS yazılımı (Piriz ve ark. 2008) kullanarak yaptığı değerlendirme neticesinde yalnız GPS ve yalnız GLONASS sonuçlarının RMS (root mean square) değerleri arasındaki farkın yatayda 5 mm düzeyde ise 12 mm olduğu görülmüştür. Cai ve Gao (2013) statik ve kinematik GPS/GLONASS PPP tekniğinin performansının kapsamlı bir analiz işlemiyle değerlendirmiştir. Analiz sonuçları normal şartlar altında (yeterli uydu sayısı ve geometrisinin tek uydu sistemiyle sağlanabildiği durumda) GPS/GLONASS sonuçlarının yalnız GPS'e göre konum doğruluğu açısından dikkate değer bir iyileştirme gösterdiği belirtilmiştir. Yiğit ve ark. (2016) ise CSRS-PPP web tabanlı yazılım kullanarak GPS ve GPS/GLONASS sonuçlarını doğruluk ve tekrarlılık anlamında test etmişlerdir. Elde edilen sonuçlara ölçü süresinin 2 saatten az olması durumunda yöntemlerin birlikte kullanılmasının duyarlılık açısından önemli olduğunu göstermiştir.

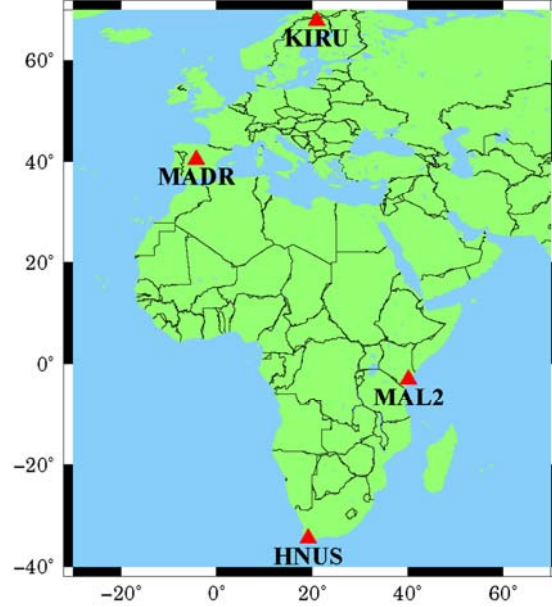
Bu çalışmada ise statik PPP tekniğinin performansı farklı enlem bölgesinden seçilen 4 IGS noktasına ilişkin GPS ve GPS/GLONASS verileri Bernese 5.2 akademik yazılımının PPP modülü kullanılarak test edilmiştir. Ayrıca gözlem sürelerinin sonuçlar üzerindeki etkisini görebilmek amacıyla uzun (12s, 24s, 6s) ve kısa (1s, 3s) gözlem süreleri dikkate alınmıştır.

## **2. Materyal ve Metot**

### **2.1. Materyal**

Bu çalışmada, GPS-PPP ve GPS/GLONASS-PPP yöntemlerinin konum duyarlılıkları ve tekrarlılığını test etmek ve karşılaştırmak amacıyla farklı enlem bölgelerinde GPS/GLONASS alıcılarına sahip 4 IGS istasyonu seçilmiştir. Bunlar kuzey yarım kürede sırasıyla yüksek enlem ve orta enlem bölgelerinde bulunan KIRU ve MADR noktaları ile güney yarım kürede sırasıyla ekvator ve orta enlem bölgesinde bulunan MAL2 ve HNUS noktalarıdır (Şekil 1). Çalışmada 01.01.2015 ile 30.01.2015 tarihleri arasındaki toplam 30 günlük bir veri seti incelenmiştir. Buradaki asıl amaç, dünya üzerinde

farklı enlem bölgelerinde bulunan veri setlerinin aynı şartlar altında olması ve böylelikle farklı bölgelerdeki noktalarında duyarlıklarının istatistiksel açıdan karşılaştırılabilmesidir. Değerlendirmede kullanılan noktalara ilişkin detaylar tablo 1 de verilmektedir.



Şekil 1. Çalışmada kullanılan IGS istasyonları (Wessel ve Smith, 1998)

Tablo 1. IGS Noktalarına ilişkin detaylar.

Nokta	Ülke	Enlem (Derece)	Boylam (Derece)	Yük. (m)	Alıcı	Anten	Radom
KIRU	İsveç	67.86	20.97	391.1	SEPT POLARX4	SEPCHOKE_MC	SPKE
MADR	İspanya	40.43	-4.25	829.5	JAVAD TRE_G3TH DELTA	AOAD/M_T	NONE
MAL2	Kenya	-3.00	40.19	-20.4	SEPT POLARX4	LEIAR25.R4	NONE
HNUS	G. Afrika	-34.42	19.22	63.0	TRIMBLE NETR3	ASH701941.B	SCIS

Çalışmada belirlenen zaman dilimine ilişkin GNSS verileri SOPAC (Scripps Orbit and Permanent Array Center)'ın web sitesinden indirilmiştir (<http://sopac.ucsd.edu/dataBrowser.shtml>). Çalışmada GPS ve GPS/GLONASS ölçülerinin PPP yöntemi ile elde edilen konum belirleme duyarlıklarına etkisini daha iyi görebilmek için 24 saatlik gözlem verileri 1, 3, 6 ve 12 saatlik zaman dilimlerine bölünmüştür. Değerlendirmelerde zaman dilimlerine ilişkin tüm veriler kullanılmayıp kullanılan kısımlar tablo 2 de özetlenmiştir. Bu işlem her dört nokta için 30 gün boyunca ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir.

Tablo 2. Bir güne ait değerlendirilmesi yapılmış RINEX gözlem dosyası zaman dilimleri.

Saat	Değerlendirmesi Yapılan RINEX Gözlem Süreleri (Başlangıç zamanı-Bitiş zamanı)
24s	0-24
12s	0-12
6s	6-12
3s	9-12
1s	8-9

## 2.2. Yöntem

### 2.2.1 Bernese 5.2- PPP Yazılımı

Bernese GNSS yazılımı (Versiyon 5.2) GPS in yanı sıra GPS/GLONASS PPP çözümü sunabilen akademik bir yazılımdır. GPS ve GLONASS faz gözlemleri kullanılarak yapılan PPP çözümleri uyuşumsuz ölçü (bias) içermez. Bunun nedeni faz bilinmeyenlerinin sistemler arasındaki farkları bünyesinde barındırmasıdır. Kod ölçüleri

kullanıldığında ise ilave frekans bağımlı alıcı hata parametrelerinin elde edilmesi gerekmektedir (Dach ve ark. 2015).

BPE kullanılarak gerçekleştirilen PPP çözümü için iki uygulama seçeneği söz konusudur. Bunlardan ilki standart PPP (PPP\_BAS.PCF) seçeneğidir. Bununla koordinat, troposfer ve alıcı saat değerleri hem GPS hem de GPS/GLONASS çözümü için elde Tablo 3. PPP (zero-difference) çözüm için değerlendirme aşamaları.

Değerlendirme Aşaması	Dahil Edilen Programlar
1-Veri transferi, verilerin kampanyaya kopyalanması	ftp
2-Veri ön değerlendirmesi-1	RNXSMT
3-Verilerin Bernese formatına alınması	RXOBV3
4-Yörünge ve yer dönme parametrelerin hazırlanması	POLUPD,PRETAB,
5-Veri ön değerlendirmesi-2	CODSPP,GPSEST,
6-Epok parametreleri için çözüm ve normal denklemlerin (NEQ) oluşturulması	GPSEST
7-NEQ-tabanlı final çözümü	ADDNEQ2

Değerlendirme işlemi hazırlanan verilerin (rinex, iyonosfer dosyası, istasyon bilgileri, okyanus yüklemesi .vb) ilgili klasörlere kopyalanması ile başlar. Ardından RNXSMT programı ile faz kesikliklerinin yanı sıra kod ölçülerinden uyuşumsuz olanların ayıklanmasıyla düzeltilmiş RINEX dosyaları tekrar oluşturulur. RXOBV3 programı ile gözlem verileri Bernese formatına dönüştürülür. Ardından POLUPD. PRETAB ve ORBGEN ile yörünge ve yer dönme parametreleri hazırlanır. CODSPP programı ile ise kod ölçüleri kullanılarak çözüm gerçekleştirilir. Daha sonra GPSEST ile L3-iyonosfer bağımsız lineer kombinasyona dayalı ilk PPP çözümü gerçekleştirilir. RESRMS ile sınır değerlerini aşan aykırı ölçüler belirlenir. SATMARK ile ise bu aykırı değerler kötü ölçü olarak işaretlenir. Değerlendirmenin 6. aşamasında ise yine GPSEST ile bu sefer kötü ölçülerden ayıklanmış gözlem verileri ile değerlendirme işlemi yapılır ve nokta koordinatları ile normal denklemler elde edilir. Nihai çözüm ise ADDNEQ2 programı kullanılarak normal denklemler ile sonuç ürünlerin elde edilmesidir. Değerlendirmeye dahil edilen programlarla ilgili detaylar için Dach ve ark. (2015)'e bakınız.

### 2.2.2 Tekrarlılık Araştırması

edilmektedir. İkincisi ise genişletilmiş seçenek olup (PPP\_DEMO.PCF), ilave olarak pseudo-kinematik, yüksek dereceden troposfer ve iyonosfer çözümü sağlamaktadır. Bu çalışmada PPP çözümleri PPP\_DEMO.PCF kullanılarak gerçekleştirilmiştir. PPP çözümü için gerçekleştirilen değerlendirme adımları ve bu amaçla kullanılan programlar tablo 3 te verilmektedir.

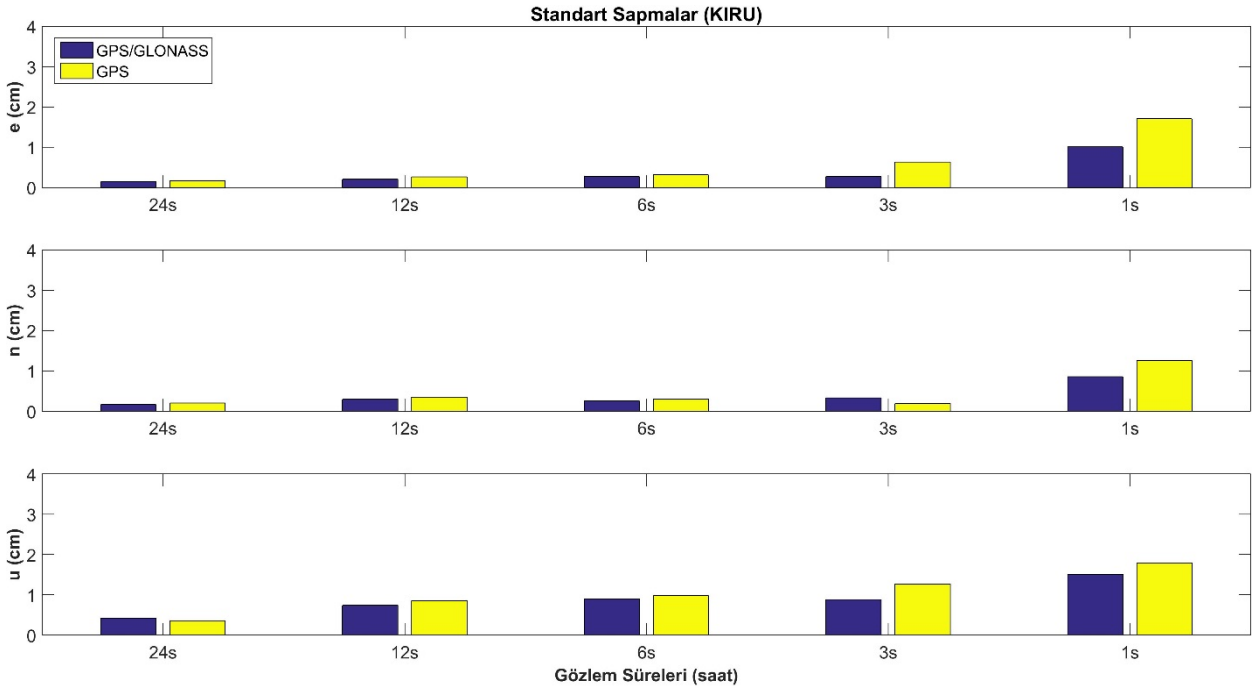
Değerlendirme işleminin ardından elde edilen koordinatların doğruluğunun ve tekrarlılıklarının araştırılması amacıyla 24 saatlik GPS/GLONASS çözümünden elde edilen her dört noktaya ilişkin 30 günlük koordinat değerlerinin aritmetik ortalaması kesin koordinatlar olarak dikkate alınmıştır. Kesin koordinatlar ile her bir ölçü süresine ait koordinat değerleri kullanılarak X, Y, Z yer merkezli (jeosentrik) kartezyen sistemden Doğu (e), Kuzey (n), Yukarı (u) bileşenleri ile ifade edilen toposentrik kartezyen sistemine dönüşüm gerçekleştirilmiştir (Yigit,2016; Yigit ve ark. 2016; Kızılarıslan,2014). Burada toposentrik sistemin orijin noktasının koordinatları her bir nokta için 30 gün boyunca (01.01.2015-30.01.2015) 24 saatlik GPS/GLONASS çözümleriyle bulunan koordinatların ortalamaları alınarak elde edilmiştir. Her bir noktaya ait GPS ve GPS/GLONASS çözümlerinin tekrarlılıklarının karşılaştırmalı bir yaklaşımla incelenmesi için her hangi bir ölçü süresi göz önüne alındığında; o ölçü süresine ait 30 günlük hataların ortalaması ve standart sapması hesaplanmıştır.

### 3. Uygulama

Bu çalışmada ölçü süresine bağlı tekrarlılığın elde edilebilmesi için tüm zaman dilimlerine ilişkin 30 günlük ölçü süreleri dikkate alınmıştır. Ayrıca her

bir nokta ve ölçü süresine ilişkin maksimum, minimum, ortalama hata ve standart sapma değerleri de hesaplanmıştır. Farklı enlem bölgelerinde bulunan her bir nokta için elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

Şekil 2 de kuzey yarım küre yüksek enlem bölgesinde bulunan KIRU noktasının tüm bileşenlerine ilişkin her bir zaman dilimi için elde edilen standart sapmalar verilmiştir.

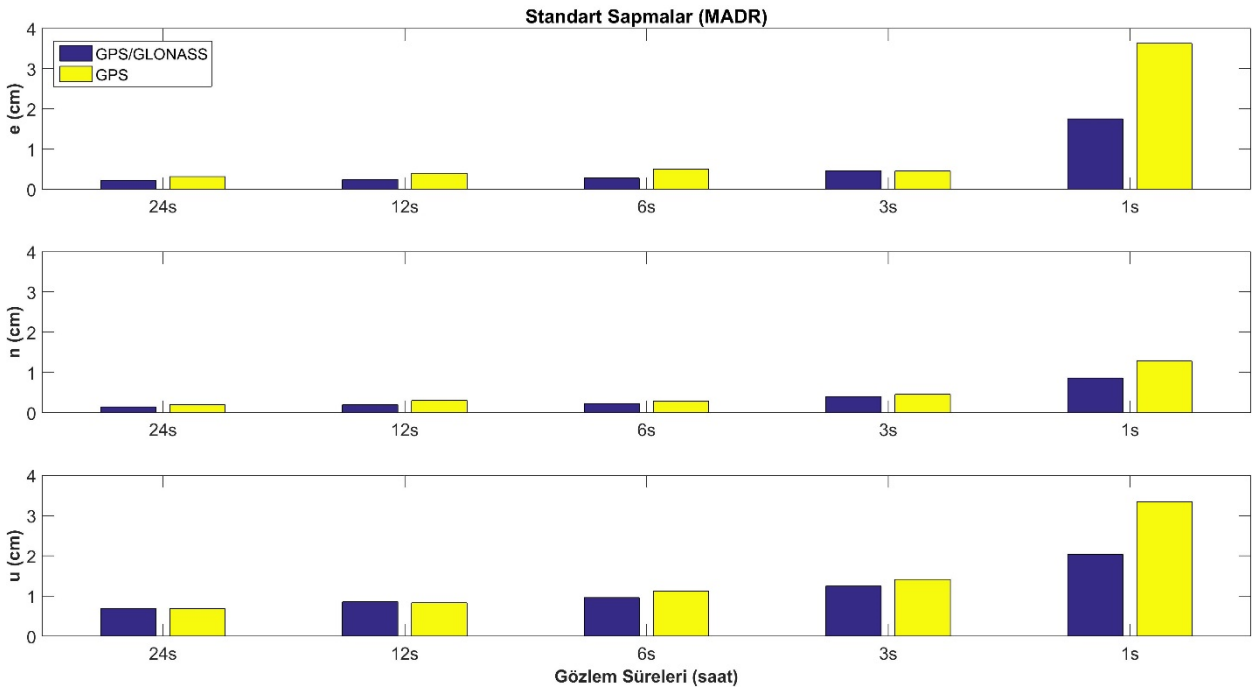


Şekil 2. KIRU Noktasına ait ölçülerin standart sapmaları

Üç bileşene ait 1 saatlik ölçüler için elde edilen standart sapma değerleri diğer ölçü sürelerine göre daha büyüktür. “e” bileşeninde, 1 ve 3 saatlik zaman dilimleri hariç diğer zaman dilimlerinde benzer standart sapma değerleri elde edilmiş olup GPS ile 3 saatlik ölçüler için  $\pm 0.63$  cm, bir saatlik ölçüler için ise  $\pm 1.70$  cm olarak elde edilmiştir. GLONASS’ın dahil edilmesi ile ise 3 ve 1 saatlik ölçüler için standart sapmalar sırasıyla  $\pm 0.27$  cm ve  $\pm 1.01$  cm değerine inmiştir. “n” bileşeninde ise GPS ölçülerine ilişkin 1 saatlik ölçüler için  $\pm 1.26$  cm olan standart sapma miktarı, diğer zaman dilimleri için  $0.40$  cm’nin altına inmektedir. GLONASS ölçülerinin dahil edilmesiyle ise 1 saatlik ölçülerin tekrarlılığı iyileşmekte olup  $\pm 1.26$  cm den  $\pm 0.86$  cm ye düşmektedir. Diğer zaman dilimleri için ise GPS sonuçları ile GPS/GLONASS sonuçlarının benzer

olduğu söylenebilir. “u” bileşenine ilişkin sonuçlar, “e” ve “n” bileşenlerine nazaran tüm zaman dilimleri için daha büyük olup, GLONASS ölçülerinin dahil edilmesiyle özellikle 1 ve 3 saatlik sonuçların tekrarlılığının iyileştiği söylenebilir.

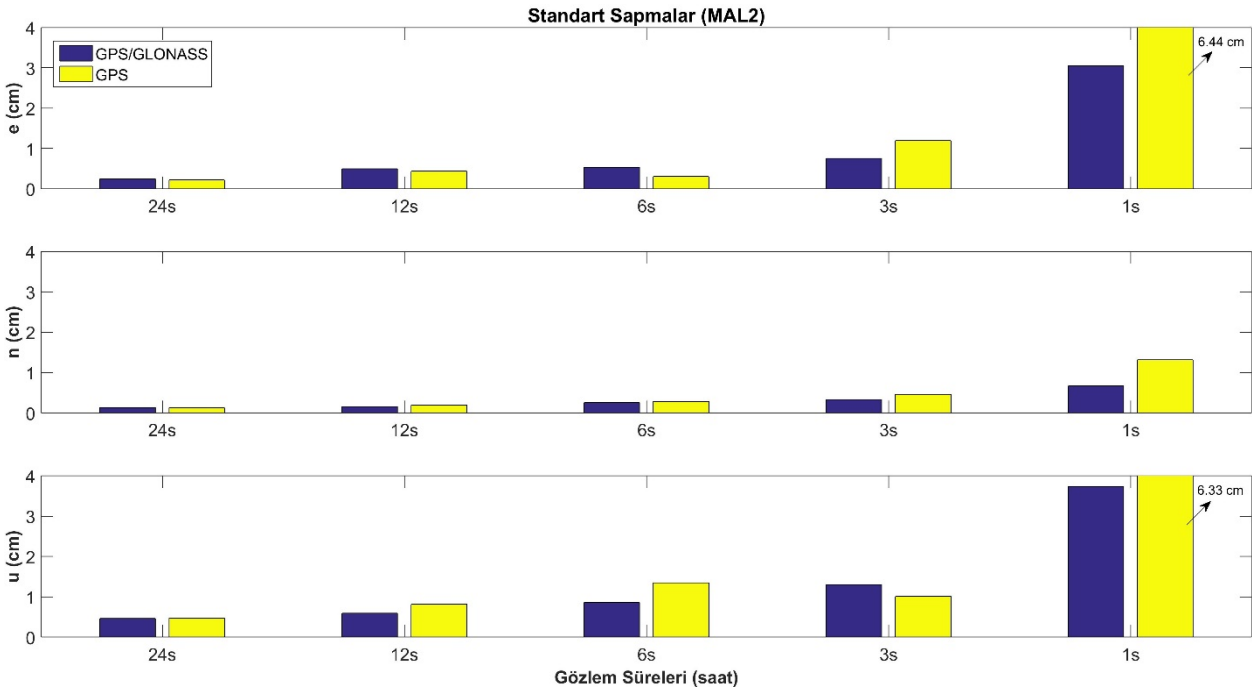
Kuzey yarım küre orta enlem bölgesinde bulunan MADR noktasına ilişkin sonuçlar incelendiğinde (Şekil 3) KIRU noktasında olduğu gibi “u” bileşenine ilişkin standart sapma miktarları daha yüksektir. “n” bileşenine ait sonuçlar diğerlerine nazaran küçük olmakla birlikte 1 saatlik “e” ve “u” bileşenlerine ait GPS sonuçlarına ilişkin standart sapma miktarları GLONASS ölçülerinin dikkate alınması ile sırasıyla  $2$  cm ve  $1$  cm lik iyileşme olarak sağlamıştır. Diğer ölçü dilimlerinde ise GPS ile GPS/GLONASS sonuçları arasındaki farklar oldukça küçüktür.



Şekil 3. MADR Noktasına ait ölçülerin standart sapmaları

Şekil 4 de ise güney yarım kürede ekvator bölgesinde bulunan MAL2 noktasının tüm bileşenlerine ilişkin her bir zaman dilimi için elde edilen standart sapmalar verilmiştir. Kuzey yarım küredeki noktalarda olduğu gibi 1 saatlik ölçülerde özellikle “e” ve “u” bileşenlerinde değerler oldukça yüksektir. “e”, “n” ve “u” bileşenlerine

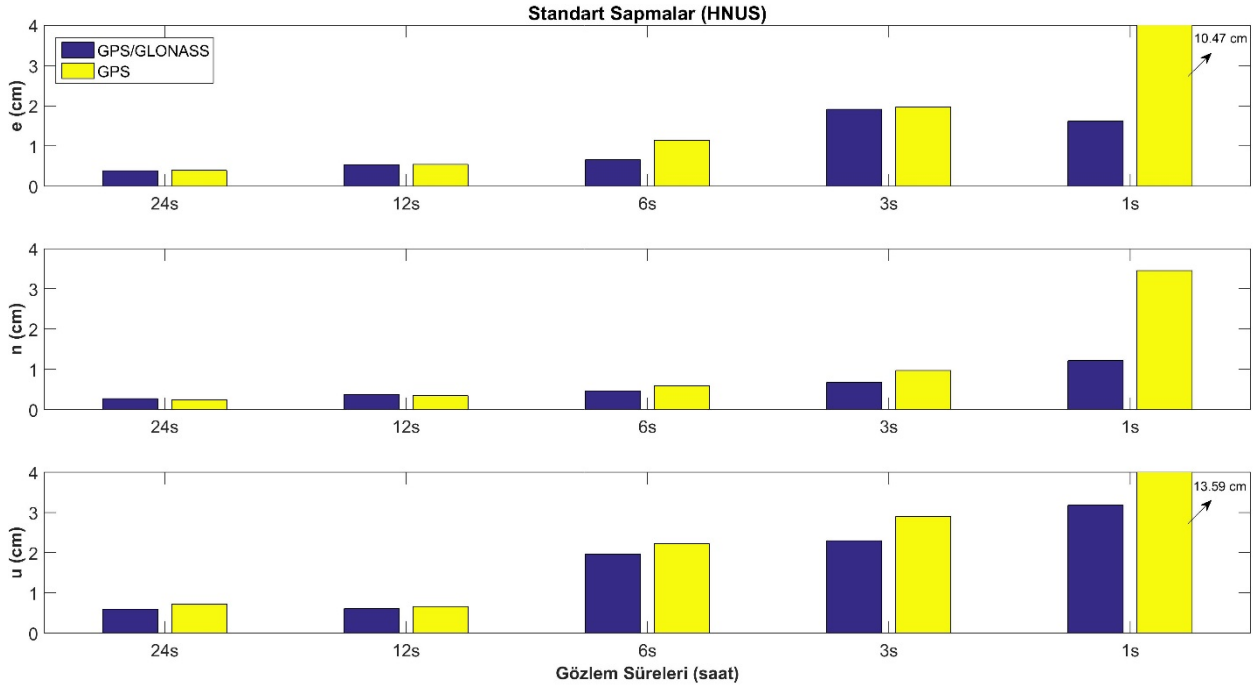
ait GPS sonuçları için 1 saatlik ölçülerde sırasıyla  $\pm 6.44$  cm,  $\pm 1.31$  cm ve  $\pm 6.33$  cm olan standart sapma miktarları GLONASS ölçülerinin hesaba katılmasıyla sırasıyla  $\pm 3.05$  cm,  $\pm 0.67$  cm ve  $\pm 3.74$  cm değerlerine inmiştir.



Şekil 4. MAL2 Noktasına ait ölçülerin standart sapmaları

Güney yarım küre orta enlem bölgesinde bulunan HNUS noktasına ilişkin sonuçlar incelendiğinde (Şekil 5) ise, diğer noktalara nazaran standart sapma miktarlarının özellikle 1 saatlik ve 3 saatlik sonuçlar için daha yüksek olduğu görülmüştür. 12

ve 24 saatlik ölçülerde GPS ve GPS/GLONASS sonuçları tutarlı olup, özellikle 1 saatlik ölçülerde GLONASS'ın katkısı açık bir şekilde görülmektedir. "e" ve "u" bileşenleri için bu katkı yaklaşık  $\pm 9$  cm olup "n" bileşeni için bu katkı  $\pm 2$  cm civarındadır.



Şekil 5. HNUS Noktasına ait ölçülerin standart sapmaları

Tekrarlılıkla ilgili verilen grafiklerin yanı sıra her bir noktaya ilişkin hesaplanan temel istatistiksel büyüklükler Tablo 4-7 de verilmiştir. Tablolardan da görüldüğü gibi GPS ve GPS/GLONASS sonuçlarına ilişkin hataların ortalaması 1 saatlik dilimler hariç +4.5 cm ile -3.0 cm aralığında değişmektedir. Ayrıca

maksimum hata ve minimum hata değerleri incelendiğinde GPS/GLONASS çözümlerine ilişkin sonuçların özellikle kısa süreli gözlemlerde GPS çözümlerine göre daha küçük olduğu görülmektedir.



Tablo 4. KIRU noktasına ait temel istatistik değerleri

Ölçü Süresi	Temel İstatistikler	GPS/GLONASS			GPS		
		e (cm)	n (cm)	u (cm)	e (cm)	n (cm)	u (cm)
24s	Maksimum	0.21	0.35	0.80	0.47	0.28	-0.45
	Minimum	-0.36	-0.32	-0.92	-0.16	-0.55	-1.89
	Ortalama	0.00	0.00	0.00	0.18	-0.26	-1.12
	Std.Sapma	0.14	0.17	0.43	0.17	0.20	0.36
12s	Maksimum	0.94	0.70	1.36	-0.02	0.32	-0.01
	Minimum	0.24	-0.56	-1.66	-1.06	-1.10	-3.77
	Ortalama	0.66	-0.25	-0.10	-0.60	-0.70	-1.85
	Std.Sapma	0.20	0.30	0.74	0.27	0.35	0.86
6s	Maksimum	0.83	0.32	1.51	0.80	-0.02	0.42
	Minimum	-0.22	-0.97	-2.14	-0.47	-1.28	-4.18
	Ortalama	0.31	-0.54	-0.66	0.20	-0.91	-2.25
	Std.Sapma	0.27	0.25	0.90	0.31	0.30	0.98
3s	Maksimum	0.83	0.17	0.52	1.20	-0.23	-1.47
	Minimum	-0.27	-1.41	-3.17	-1.09	-1.26	-6.39
	Ortalama	0.24	-0.58	-1.37	0.14	-0.83	-3.39
	Std.Sapma	0.27	0.33	0.88	0.63	0.19	1.27
1s	Maksimum	3.63	0.29	4.43	3.82	0.10	4.18
	Minimum	-0.44	-3.58	-2.62	-2.42	-4.29	-2.22
	Ortalama	1.75	-1.36	1.33	0.72	-2.45	1.04
	Std.Sapma	1.01	0.86	1.51	1.70	1.26	1.80

Tablo 5. MADR noktasına ait temel istatistik değerleri

Ölçü Süresi	Temel İstatistikler	GPS/GLONASS			GPS		
		e (cm)	n (cm)	u (cm)	e (cm)	n (cm)	u (cm)
24s	Maksimum	0.51	0.27	3.10	1.04	1.14	1.98
	Minimum	-0.45	-0.29	-0.76	-0.18	0.29	-2.01
	Ortalama	0.00	0.00	0.00	0.35	0.66	-1.12
	Std.Sapma	0.23	0.14	0.69	0.32	0.19	0.68
12s	Maksimum	1.06	0.44	4.16	1.23	0.80	3.14
	Minimum	-0.07	-0.32	-0.77	-0.38	-0.37	-1.62
	Ortalama	0.57	0.02	0.20	0.34	0.22	-0.02
	Std.Sapma	0.25	0.20	0.86	0.40	0.31	0.83
6s	Maksimum	0.59	0.21	3.52	2.25	0.54	1.81
	Minimum	-0.45	-0.89	-1.17	0.39	-0.55	-2.18
	Ortalama	0.07	-0.53	0.61	1.35	-0.10	-0.17
	Std.Sapma	0.27	0.23	0.96	0.50	0.29	1.13
3s	Maksimum	0.93	0.85	0.92	2.80	1.60	0.61
	Minimum	-0.73	-0.65	-3.06	0.75	-0.16	-4.16
	Ortalama	-0.03	-0.03	-1.34	1.40	0.74	-2.06
	Std.Sapma	0.46	0.40	1.25	0.45	0.46	1.41



<b>1s</b>	Maksimum	6.05	0.95	7.34	13.96	2.08	12.78
	Minimum	-1.50	-1.77	-1.93	1.31	-2.90	-2.76
	Ortalama	1.35	-0.56	1.53	7.17	-0.19	1.52
	Std.Sapma	1.75	0.86	2.03	3.63	1.29	3.35

Tablo 6. MAL2 noktasına ait temel istatistik değerleri

Ölçü Süresi	Temel İstatistikler	GPS/GLONASS			GPS		
		e (cm)	n (cm)	u (cm)	e (cm)	n (cm)	u (cm)
<b>24s</b>	Maksimum	0.46	0.26	0.95	0.44	0.71	0.69
	Minimum	-0.57	-0.32	-0.71	-0.45	0.20	-1.22
	Ortalama	0.00	0.00	0.00	-0.02	0.45	-0.36
	Std.Sapma	0.25	0.13	0.46	0.22	0.13	0.47
<b>12s</b>	Maksimum	0.46	0.12	1.22	0.53	0.76	0.78
	Minimum	-1.29	-0.50	-1.44	-1.06	0.03	-2.45
	Ortalama	-0.54	-0.21	-0.29	-0.28	0.37	-1.39
	Std.Sapma	0.50	0.15	0.59	0.44	0.19	0.82
<b>6s</b>	Maksimum	0.87	-0.12	1.32	0.10	0.82	1.20
	Minimum	-1.26	-1.31	-2.17	-1.08	-0.31	-3.67
	Ortalama	-0.54	-0.64	-0.67	-0.41	0.17	-1.73
	Std.Sapma	0.53	0.26	0.86	0.31	0.28	1.35
<b>3s</b>	Maksimum	0.74	-0.30	1.72	3.03	0.87	2.22
	Minimum	-2.32	-1.61	-3.18	-2.46	-0.88	-2.36
	Ortalama	-0.58	-0.88	-0.79	0.14	-0.09	-0.53
	Std.Sapma	0.76	0.33	1.30	1.20	0.46	1.01
<b>1s</b>	Maksimum	8.03	0.85	8.22	12.82	4.35	9.32
	Minimum	-3.44	-1.87	-6.44	-6.55	-0.40	-14.90
	Ortalama	2.99	-0.56	1.25	4.91	1.55	0.76
	Std.Sapma	3.05	0.67	3.74	6.44	1.31	6.33

Tablo 7. HNUS noktasına ait temel istatistik değerleri

Ölçü Süresi	Temel İstatistikler	GPS/GLONASS			GPS		
		e (cm)	n (cm)	u (cm)	e (cm)	n (cm)	u (cm)
<b>24s</b>	Maksimum	1.35	0.55	1.07	1.32	0.48	-0.15
	Minimum	-0.47	-0.45	-2.14	-0.55	-0.43	-4.28
	Ortalama	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	-1.17
	Std.Sapma	0.39	0.27	0.60	0.40	0.24	0.72
<b>12s</b>	Maksimum	1.79	0.55	1.22	1.35	0.20	1.34
	Minimum	-0.70	-0.82	-1.20	-1.24	-1.01	-1.91
	Ortalama	0.43	-0.25	0.38	-0.51	-0.45	-0.85
	Std.Sapma	0.54	0.38	0.61	0.54	0.34	0.66
<b>6s</b>	Maksimum	2.95	0.84	6.29	0.97	0.26	2.94
	Minimum	0.53	-0.83	-0.72	-2.94	-1.78	-5.30
	Ortalama	2.08	0.05	2.92	-0.92	-0.66	-0.92
	Std.Sapma	0.66	0.47	1.96	1.15	0.59	2.23
<b>3s</b>	Maksimum	7.64	1.50	7.98	2.36	1.15	5.94

	Minimum	0.51	-1.00	0.32	-4.75	-3.15	-3.76
	Ortalama	3.38	-0.09	4.28	-1.39	-0.51	0.05
	Std.Sapma	1.92	0.67	2.30	1.97	0.97	2.90
<b>1s</b>	Maksimum	8.20	2.89	8.90	32.04	6.30	31.03
	Minimum	0.97	-1.87	-4.64	-7.30	-5.07	-18.07
	Ortalama	4.45	0.06	1.70	7.08	0.43	1.22
	Std.Sapma	1.62	1.21	3.18	10.47	3.46	13.59

#### 4. Sonuçlar

Bu çalışmada farklı enlem bölgelerinden seçilen 4 IGS noktasına ilişkin GPS ve GPS/GLONASS gözlem verileri kullanılarak statik PPP yönteminin performansı farklı gözlem süreleri de dikkate alınarak Bernese 5.2 yazılımı kullanılarak incelenmiştir. Beklenildiği gibi ölçü süresinin artmasıyla birlikte tekrarlılık ve ulaşılan konum doğruluğu hem GPS hem de GPS/GLONASS çözümlerinde artış göstermiştir. Tüm noktalarda her bir ölçü süresi için “e” ve “n” bileşenlerinin tekrarlılığı “u” bileşeninden daha iyi çıkmıştır. Kuzey yarım kürede yüksek ve orta enlem bölgelerinde bulunan KIRU ve MADR noktalarında “e” ve “n” bileşenlerinin tekrarlılığı benzer olup, güney yarım kürede ekvator ve orta enlem bölgelerinde bulunan MAL2 ve HNUS noktalarında ise “n” bileşeninin tekrarlılığı “e” bileşenine göre daha iyi çıkmıştır.

Değerlendirmelere GLONASS gözlem verilerinin dahil edilmesiyle özellikle kısa ölçü süresinde (1 saat) dikkate değer bir iyileşme söz konusudur. Bu iyileşme MAL2 ve HNUS noktalarında daha net görülmektedir. Ölçü sürelerinin artmasıyla birlikte tekrarlılık açısından GPS sonuçları, GPS/GLONASS sonuçları ile benzerlik göstermekte olup, özellikle 6 ve daha uzun süreli gözlemlerde GLONASS gözlemlerinin dahil edilmesinin tekrarlılığı çok fazla etkilemediği görülmüştür.

Elde edilen sonuçlar, PPP yöntemi kullanılarak yapılan uygulamalarda GPS ve GPS/GLONASS çözümlerinin tekrarlılık açısından iyi sonuç verdiğini ancak kısa gözlem sürelerinde ve özellikle 1 saatlik çözümlerde ise hassas sonuç elde etmek için çözümlere GLONASS gözlemlerinin dahil edilmesinin ne derece önemli olduğunu göstermiştir.

#### 4. Teşekkür

Şekil 1’ in GMT programı yarımıyla çizimi aşamasındaki yardımlarından dolayı Yrd. Doç. Dr. Hüseyin Zahit Selvi’ye çok teşekkür ediyorum.

#### 5. Kaynaklar

- 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.
- Cai, C., Gao, Y., 2012. GLONASS-based precise point positioning and performance analysis, *Advances in Space Research*, **51**(3), 514–524.
- Cai, C., Gao, Y., 2007. Precise Point Positioning using combined GPS and GLONASS observations, *Journal of Global Positioning Systems*, **6**(1), 13–22.
- Cai, C., Gao, Y., 2013. Modelling and assessment of combined GPS/GLONASS precise point positioning, *GPS Solutions*, **17**(2), 223–236.
- Dach, R., Lutz, S., Walser, P., Fridez, P., 2015. Bernese GNSS software version 5.2, user manual Astronomical Institute, University of Bern.
- Gao, Y., 2006. GNSS solutions: Precise Point Positioning and its challenges. *Inside GNSS*, 16–18.
- Huber, K., Heuberger, F., Abart, C., Karabatic, A., Weber, R., Berglez, P., 2012. PPP: Precise Point Positioning – constraints and opportunities. In Proc. FIG Working Week, Sydney, Australia, 11– 16 April.
- Ji, S.Y., Chen, W., Ding, X.L., Chen, Y.Q., Zhao, C.M., Hu, C.W., 2013. An improved cascading ambiguity resolution (CAR) method with Galileo multiple frequencies, *Survey Review*, **45**(328), 51–58.
- Jin, S., 2013. Recent progresses on Beidou/COMPASS and other Global Navigation Satellite Systems (GNSS) – I, *Advances in Space Research*, **51**(6), 941.
- Kızılarlan, M., 2014. GPS-PPP ve GPS/GLONASS-PPP Yöntemlerinin konum belirleme performansının

değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, GYTE, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, Türkiye.

Martín, A., Anquela, A.B., Capilla, R., Berne, J.L., 2011. Case study PPP technique analysis based on time convergence, repeatability, IGS products, different software processing and GPS+GLONASS constellation, *Journal of Surveying Engineering*, **137**(3), 99–108.

Moschas, F., Avallone, A., Moschonas, N., Saltogianni, V., Stiros, S., 2013. Assessment of the accuracy of PPP for very-high-frequency dynamic, satellite positioning and earthquake modeling, *Geophysical Research Abstracts*, EGU General Assembly, **14**, EGU2012–4289.

Píriz, R., Calle, D., Mozo, A., Navarro, P., Rodriguez, D., Tobias, G., 2009. Orbits and clocks for GLONASS precise-point-positioning In Proc. ION/ GNSS 22th Int. Technical Meeting of the Satellite Division, Savannah, Georgia, USA, 2415–2424.

Píriz, R., Mozo, A., Navarro, P., Rodríguez, D., 2008. MagicGNSS: Precise GNSS products out of the box, In Proc. ION/GNSS 21th Int. Technical Meeting of the Satellite Division, Savannah, Georgia, USA, 1242–1251.

Rizos, C., Janssen, V., Roberts, C., Grinter, T., 2012. GNSS: Precise Point Positioning PPP versus DGNSS. *Geomatics World* (October), 18–20.

Verhagen, S., Teunissen, P.J.G., 2014, Ambiguity resolution performance with GPS and BeiDou for LEO formation flying, *Advances in Space Research*, **54**(5), 830-839.

Wessel, P., Smith, W.H.F., 1998. New improved version of generic mapping tools released EOS Trans. Am. Geophys. Union, **79** (47), p. 579.

Yigit, C.O., 2016. Experimental assessment of post-processed kinematic Precise Point Positioning method for structural health monitoring, *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, **7**(1), 360-383.

Yigit, C.O., Kızıllarlan, M., Çalışkan, E., 2016. GPS-PPP ve GPS/GLONASS-PPP yöntemlerinin konum belirleme performanslarının ölçü süresine bağlı olarak değerlendirilmesi, *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, **8**(1), 22-39. doi: 10.15659/hartek.16.03.289.

Yigit, 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**(3), 155-166.

Zhang, X., Li, X., Guo, F., 2011. Satellite clock estimation at 1 Hz for realtime kinematic PPP applications, *GPS Solutions*, **15**, 315-324.