

Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi
Cilt: 8, No: 1, 2016 (22-39)

Electronic Journal of Map Technologies
Vol: 8, No: 1, 2016 (22-39)

Geliş Tarihi:11.12.2015; Kabul Tarihi: 17.03.2016

**HARİTA TEKNOLOJİLERİ
ELEKTRONİK DERGİSİ**

www.haritateknolojileri.com
e-ISSN: 1309-3983

doi: 10.15659/hartek.16.03.289

**Makale
(Article)**

GPS-PPP ve GPS/GLONASS-PPP Yöntemlerinin Konum Belirleme Performanslarının Ölçü Süresine Bağlı Olarak Değerlendirilmesi

Cemal Özer YİĞİT¹, Mahmut KIZILARSLAN², Emrah ÇALIŞKAN²

¹Gebze Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 41400 Gebze-Kocaeli/TÜRKİYE

²Ümraniye Belediyesi, 34761 Ümraniye-İstanbul/TÜRKİYE

cyigit@gtu.edu.tr

Öz

Bu makalede, Hassas Nokta Konumlama (Precise Point Positioning - PPP) yönteminin yüksek duyarlılıklı konum bilgisi gerektiren çalışmalarda ölçü süresine bağlı konum belirleme performansının hem GPS ölçüleri hem de GPS/GLONASS ölçüleri kullanılarak araştırılması hedeflenmiştir. Bu amaçla, düşük (ekvator), orta ve yüksek (kutup) enlem olmak üzere 3 farklı enlem bölgesinde seçilen 3 IGS noktasına ilişkin 30 günlük ardışık 24 saatlik (günlük) RINEX verileri kullanılmıştır. Her bir noktaya ilişkin 24 saatlik RINEX verileri 1, 2, 3, 4, 8 ve 12 saatlik dilimlere ayrılarak yeni veri setleri elde edilmiştir. Daha sonra tüm veri setleri yalnızca GPS ve GPS/GLONASS ölçüleri, web tabanlı online CSRS-PPP yazılımı kullanılarak değerlendirilmiştir. Tüm veri setlerine ait GPS-PPP ve GPS/GLONASS-PPP sonuçları hem doğruluk hem de tekrarlılık açısından ölçü süreleri de dikkate alınarak karşılaştırmalı bir yaklaşımla değerlendirilmiş ve yorumlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: PPP, GPS, GLONASS, Tekrarlılık.

Evaluating Positioning Performance of Static GPS-PPP and GPS/GLONASS-PPP Methods Based On Observation Durations

Abstract

In this study, it is aimed to investigate the performance of Precise Point Positioning (PPP) method depending on observation duration using GPS and GPS/GLONASS data. For this purpose, 30-day consecutive 24-hour (daily) RINEX data of three points from the IGS network, where is low (equatorial), medium and high (polar) latitude regions, are used. 24-hour RINEX data for each point are divided into 1, 2, 3, 4, 8 and 12-hour segments. Then, the entire data set of both only GPS and GPS/GLONASS measurements were processed using CSRS-PPP web-based online software. Results of GPS-PPP and GPS/GLONASS-PPP in terms of both measurement accuracy and repeatability is evaluated and interpreted with a comparative approach.

Keywords: PPP, GPS, GLONASS, Repeatability.

1. GİRİŞ

GPS ve GLONASS sırasıyla Amerika ve Rusya tarafından işletilen uydu tabanlı küresel konumlama sistemleridir. 17 Temmuz 1995 yılında, GPS uydularının en az 24 tanesinin kullanımda ve verilerine ulaşılabilir olduğu resmi olarak bildirilmiştir [1]. GLONASS uydu sistemi yakın zamanda 24 uydusuyla tam kapasiteye ulaştı. İki sistem arasında uydu sayısı, yörünge düzlemi ve ekvatorla olan açısı, zaman frekansı, jeodezik datum v.b. gibi birçok farklılıklar vardır. İki sistem hakkında daha fazla bilgi için Hoffman-Wellenhof ve diğerlerine [2] başvurulabilir.

GNSS ölçmelerine dayalı olarak konum bilgileri ya mutlak ya da bağıl yöntemlerle elde edilir. Bağıl yöntemde noktalar arasında eş zamanlı ölçmeler gerekirken mutlak yöntemde tek noktada gerçekleştirilmiş GNSS ölçmeleri yeterli olmaktadır. Bağıl konum belirleme jeodezik ve yerbilimleri uygulamalarında eskiden beri yaygın bir şekilde yüksek hassasiyetli konum bilgileri üretmek için uzun yıllardır kullanılmaktadır.

GNSS sistemlerinde hızla devam eden modernizasyon çalışmaları sonucunda ve başta International GNSS Service (IGS) olmak üzere, Jet Propulsion Laboratory (JPL), Center for Orbit Determination in Europe (CODE) gibi kuruluşlar tarafından üretilen hassas uydu yörünge ve saat düzeltmelerinin hizmete sunulması tek bir alıcı ile yüksek duyarlılıklı konum belirlemeye imkan sağlamıştır. Böylece, daha yüksek doğruluklu uydu ve saat bilgilerinin ulaşılabilir olması ve tek GNSS alıcısı ile konumların hesaplanmasına imkan veren algoritmaların geliştirilmesi PPP (Precise Point Positioning-Hassas Nokta Konumlama) olarak adlandırılan yöntemin ortaya çıkmasına sebep olmuştur. PPP yöntemi mutlak konum belirleme yöntemi olup, yöntemle ilişkin ilk teorik bilgiler Zumberge ve diğerleri [3] tarafından verilmiştir. Son yıllarda yapılan çalışmalar PPP yönteminin neredeyse bağıl konum belirleme hassasiyetine daha uzun süreli gözlem yapmak suretiyle ulaştığı ve bağıl konum belirlemenin yerini almaya başladığını göstermiştir.

Son yıllarda PPP yöntemi hem konum belirleme duyarlılığının artması hem de kullanım kolaylığı açısından birçok araştırmada yaygın bir şekilde kullanılmaya başlamıştır. PPP [3,4] yöntemi tek bir GPS/GNSS alıcısı ile toplanan ölçülerden global referans çerçevesinde yüksek doğruluklu konum bilgilerinin hesaplanması yöntemidir [5]. Çift frekanslı alıcılarda cm-dm mertebesinde doğruluklar elde edilebilmektedir [3,4,6]. Ancak bu doğrulukların elde edilebilmesi için alıcı saat hatası, troposferik gecikme, uydu anten hatası, uydu faz dönmesi (wind-up) etkisi, gel-git etkileri gibi birçok diğer etkinin de dikkate alınması gerekmektedir [1]. Ayrıca, kullanılan alıcı-anten donanımının kalitesi, ölçü süresi ve uydu görünürlük şartları, yöntemle dışarıdan alınan bilgilerin doğruluğu (hassas yörünge, uydu saat hatası v.b.), kullanılan yazılımın modelleme başarısı v.b. gibi etkenlerle PPP yönteminin doğruluğu cm ve hatta cm altı doğruluklara ulaşabilir.

PPP yönteminin yer kabuğu hareketlerinin izlenmesi [7-10], GPS sismolojisi [6,11], deprem ön uyarı sistemi [12], GPS mareograf [13,14], yer-yakın uyduların hassas yörüngelerinin belirlenmesi [15], kara, hava ve denizde hareketli objelerin hassas konum bilgileri [16-19], yapı sağlığı izlemeleri [20] v.b. gibi birçok bilimsel ve sivil uygulamalarda etkili bir şekilde kullanıldığı gösterilmiştir [21].

Dağlık bölge, ormanlık alanlar, yüksek yapıların bulunduğu şehir içleri, açık maden ocakları ve hatta açık gökyüzü olup da zayıf uydu geometrisinin olduğu bölgeler PPP ile konum belirlemenin doğruluğunu azaltabilir. PPP yönteminin doğruluğu, tam sayı belirsizliğinin çözümü v.b. gibi etkenlerin yanı sıra, güçlü bir şekilde görünen uydu sayısı ve geometrisine bağlıdır. Bundan dolayı ikinci bir uydu sisteminin ilave edilmesi ve birlikte değerlendirilmesi bu tür şartlar altındaki ortamlarda PPP yönteminin konum belirleme performansını iyileştirebilir ve olası uygulamalarını arttırabilir [22,23].

Günümüze kadar, Hassas Nokta Konumlama yöntemi sadece GPS uyduları ile gerçekleştiriliyordu. Son yıllarda GLONASS uydu yörüngelerinin de hassas bir şekilde IGS tarafından hesaplanması ve kullanıcıya

sunulması ile artık konum belirleme sadece GPS uydularıyla değil GPS/GLONASS uydularının birlikte kullanılması ile yapılabilmektedir.

GLONASS gözlemlerinin GPS gözlemleri ile birlikte değerlendirilmesi ve konum belirleme performansının yalnızca GPS ile elde edilen sonuçlarla karşılaştırılarak değerlendirilmesi üzerine birçok çalışma bağıl yöntem kullanılarak gerçekleştirilmiştir [24-30]. Benzer şekilde, PPP yönteminde de GLONASS ölçülerinin GPS'e ilave edilerek birlikte çözülmesi ve konum belirleme performansının test edilmesi üzerine farklı çalışmalar literatürde gerçekleştirilmiştir. Aşağıda bunlar arasından bazı çalışmalardan elde edilen sonuçlar kısaca özetlenmiştir.

Cai ve Gao [22] GPS ve GLONASS gözlemlerini kullanarak PPP yönteminin konum belirleme performansının bir değerlendirmesini yapmıştır. Çalışmanın gerçekleştirildiği dönemde toplamda 12 GLONASS uydusu mevcuttu. Çalışma sonuçları, sınırlı sayıda GLONASS uydularına rağmen, arzu edilen hassasiyetteki konum bilgisine yakınsama süresinin uydu geometrisindeki iyileşme seviyeleriyle ilişkili olduğunu ve GPS ve GLONASS entegrasyonunun konum doğruluğunu arttırdığını göstermiştir.

Ebner ve Featherstone [31] GPS-PPP yöntemiyle jeodezik kontrol ağlarının tesis edilebilirliğini incelemiştir. Güneybatı Avustralya'da 550 km x 440 km'lik bir alanda Bernese bilimsel yazılım ile elde edilmiş bağıl GPS çözümü ile CSRS-PPP yazılımı ile elde edilmiş PPP çözümü karşılaştırılmıştır. Çalışmada, CRSS-PPP çözümlerinin Bernese çözümlerinden önemli ölçüde farklı olmadığı rapor edilmiştir. Sonuç olarak PPP'nin jeodezik kontrol ağlarının kurulmasında bağıl yönteme alternatif olarak kullanılabilenliği öngörülmüştür.

Piriz ve diğerleri [32] MagicGNSS yazılımının PPP modülü kullanarak 19 IGS istasyonuna ait 24 saatlik gözlem verilerini analiz etmiştir. Yalnızca GPS ve yalnızca GLONASS çözümlerinden elde edilen konum değerleri arasındaki farkın KOH (Karesel Ortalama Hata) değeri yatay bileşende yaklaşık 5 mm ve düşey bileşende yaklaşık 12 mm olarak bulunmuştur. Buna ek olarak, 1 saat gözlem verileri de değerlendirilmiş ve GPS/GLONASS çözümünün yalnızca GPS çözümünden daha doğru olduğu rapor edilmiştir.

Azab ve diğerleri [23] GPS ve GLONASS çift frekanslı ölçümleri birleştirmenin statik PPP çözümündeki etkilerini ve farklı PPP veri değerlendirme stratejilerinin duyarlılığını incelemiştir. Çalışmada, Bernese 5.0 bilimsel ve akademik yazılım paketi kullanılmıştır. Sonuçlar, GPS/GLONASS çözümünün performansının yalnızca GPS çözümünden daha iyi sonuçlar verdiğini göstermiştir. Ancak, 24 saatlik (günlük) PPP çözümlerinde her iki yöntem arasında anlamlı bir fark bulunmadığı rapor edilmiştir.

Cai ve Gao [33] hem fonksiyonel hem de stokastik bileşenin dahil edildiği bir GPS/GLONASS modelini kullanarak analizler gerçekleştirmiştir. Çalışmada, GPS/GLONASS PPP yönteminin performansı hem statik hem de kinematik olarak değerlendirilmiştir. Bu çalışmada, iyi uydu geometrisi ile yeterli sayıda GPS uydularının mevcut olması durumunda, GLONASS verilerinin çözüme dahil edilmesinin konumlandırma doğruluğunu önemli derecede iyileştirmediği sonucuna ulaşılmıştır.

Anquaela ve diğerleri [34] statik ve kinematik platformlarda yalnızca GPS-PPP ve yalnızca GLONASS-PPP çözümlerine karşı, GPS/GLONASS PPP çözümünün performansını test etmiştir. Bu çalışmanın sonuçları, eklenen GLONASS verisinin her zaman statik PPP'nin yakınsama süresini iyileştirmediğini göstermiştir. Bu çalışmadaki kinematik testin sonuçları ise, doğruluk açısından GPS/GLONASS çözümünün yalnızca GPS çözümünden daha iyi olduğunu göstermiştir.

Yiğit ve diğerleri [35] yalnızca GPS, yalnızca GLONASS ve birleştirilmiş GPS/GLONASS ölçülerini kullanarak statik PPP yönteminin ölçü sürelerine bağlı konum belirleme performansını MagicGNSS yazılımı kullanarak 11 IGS istasyonu verisini değerlendirilerek test etmiştir. Çalışma, özellikle 1 ve 2 saatlik ölçü sürelerinde GPS/GLONASS-PPP yönteminin yalnızca GPS-PPP ve yalnızca GLONASS-PPP

yöntemlerinden daha üstün olduğunu göstermiştir. Günlük çözümler açısından her üç yöntemin benzer sonuçlar verdiği rapor edilmiştir.

Bu çalışmada, GPS-PPP ve GPS/GLONASS-PPP yöntemlerinin ölçü süresine bağlı statik konum belirleme doğruluğu ve duyarlılığı 3 farklı enlem bölgesinden seçilen 3 IGS noktasında CSRS-PPP yazılımı kullanılarak test edilmiştir. Birbirini aralıksız takip eden 30 gün boyunca 24 saatlik, 12 saatlik, 8 saatlik, 4 saatlik, 3 saatlik, 2 saatlik ve 1 saatlik RINEX verileri GPS-PPP ve GPS/GLONASS-PPP yöntemleri ile tek tek değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar detaylı olarak tekrarlılıkları açısından, ölçü süreleri ve noktaların bulunduğu enlemler de göz önünde bulundurularak incelenmiş ve karşılaştırılmıştır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1 Materyal

Bu çalışmada, GPS-PPP ve GPS/GLONASS-PPP yöntemlerinin konum duyarlılıkları ve tekrarlılıkları test etmek ve karşılaştırmak amacıyla hem GPS hem de GLONASS uydu verilerini gözlemleyebilen GNSS alıcılarının bulunduğu IGS istasyonlarından MBAR, TIXI ve UNBJ noktaları seçilmiştir (Şekil 1).



Şekil 1. Çalışmada kullanılan IGS istasyonları

Bu noktalardan TIXI yüksek enlemde ($71^{\circ}.63$ Kuzey Yarı Küre) ve kuzey kutbuna yakın, UNBJ orta enlemde ($45^{\circ}.95$ Kuzey Yarı Küre) ve MBAR düşük enlemde ($0^{\circ}.60$ Güney Yarı Küre) ve ekvatora yakındır. Bu noktaların yüksek, orta ve düşük enlemlerde seçilmesinin temel sebebi farklı uydu dağılımına sahip veri gruplarının incelenmesidir. Böylece, GPS-PPP ve GPS/GLONASS-PPP yöntemlerinin farklı enlemlerdeki konum belirleme duyarlılığı farklı uydu sayısı ve dağılımı kullanılarak test edilebilecektir.

Çalışmada, 05.04.2013 (95'inci GPS günü) tarihinden 04.05.2013 (124'üncü GPS günü) tarihine kadar toplam 30 günlük bir veri seti incelenmiştir. Bu tarih aralığının seçilmesinin temel nedeni her üç istasyon içinde 30 gün boyunca RINEX verisi doluluk oranlarının yaklaşık %100 olmasıdır. Buradaki temel hedef, dünya üzerinde farklı bölgelerde bulunan veri setlerinin aynı şartlar altına olması ve böylelikle farklı bölgelerdeki noktalarında duyarlılıklarının istatistiksel açıdan karşılaştırılabilmesidir.

Çalışmada belirlenen zaman dilimine ilişkin GNSS verileri SOPAC(Scripps Orbit and Permanent Array Center)'ın internet sayfasından indirilmiştir (<http://sopac.usd.edu/cgi-bin/dbDataBySite.cgi>). Çalışmada GPS ve GPS/GLONASS ölçülerinin PPP yöntemi ile elde edilen konum belirleme duyarlılıklarına etkisini daha iyi görebilmek için 24 saatlik RINEX verileri 1, 2, 3, 4, 8, 12 saatlik zaman dilimlerine bölünmüştür. Şekil 2 günlük RINEX verisinin nasıl bir strateji izlenerek bölündüğünü özetlemektedir. Şekil 2'den görüldüğü üzere, her bir nokta için, 1'er saatlik 24 oturum, 2'şer saatlik 12 oturum, 3'er saatlik 8 oturum,

4'er saatlik 6 oturum, 8'er saatlik 3 oturum, 12'şer saatlik 2 oturum olmak üzere toplam 56 oturum RINEX gözlem dosyası elde edilmiştir. Bu işlem her üç nokta için 30 gün boyunca ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir.

Saat	Değerlendirmesi Yapılan RINEX Gözlem Süreleri (Başlangıç zamanı– Bitiş zamanı)																							
24s	0-24																							
12s	0-12											12-24												
8s	0-8						8-16						16-24											
4s	0-4			4-8			8-12			12-16			16-20			20-24								
3s	0-3		3-6		6-9		9-12		12-15		15-18		18-21		21-24									
2s	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	16-18	18-20	20-22	22-24												
1s	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19	19-20	20-21	21-22	22-23	23-24

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

2.2 Yöntem

2.2.1 CSRS-PPP Yazılımı

CSRS-PPP (The Canadian Spatial Reference System - PPP), GNSS (GPS+GLONASS) kullanıcıları için PPP tekniği algoritmalarını kullanarak yüksek doğrulukta konum bilgisi elde edilmesini sağlayan ücretsiz online veri işleme servsidir. Bu servis PPP algoritmaları ile tek veya çift frekanslı alıcılardan elde edilen ham GPS ve de GPS+GLONASS (GLONASS için 1650 haftasından başlayarak) verilerini, statik veya kinematik modda işleyebilir.

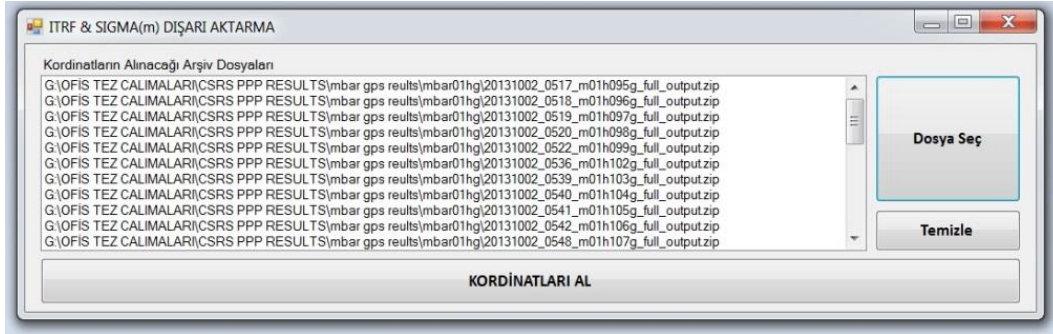
CSRS-PPP 2003 yılında ilk olarak hizmet vermeye başladığında IGS ürünlerini kullanmasına karşın, günümüzde NRCAN ve IGS'in ortak ürünlerini (EMR) kullanmaktadır. NRCAN ürünlerinin hesaplanması için IGS küresel izleme ağı verilerini kullanır. Hızlı bir erişim sağlamak için 30 saniyelik GPS ve GLONASS uydu yörünge ve saat verilerine ihtiyaç duyar. Online olarak ham veriler gönderildikten sonra, kullanıcılar NAD83 veya güncel ITRF referans sisteminde düzeltilmiş koordinatları e-posta yoluyla alırlar. CSRS-PPP servisinde GNSS verilerinin değerlendirilmesi için minimum gözlem süresi için bir kısıt yoktur [36,37]. PPP de statik veya kinematik modda kestirimi yapılan parametreler, istasyon koordinatları, istasyon saat durumları, lokal troposferik zenith gecikmeleri ve taşıyıcı faz belirsizlikleridir. PPP algoritmaları, model ve teknik özellikleri hakkında daha fazla ayrıntı Kouba ve Héroux'da [4] bulunabilir. PPP, çıkışları (output) iki formda üretilir, hem kısa ve detaylı özet raporları ve grafiksel zaman serileri çizimleridir. CSRS-PPP özet raporu, üç bölümden oluşan bir başlıkta kaydedilir (<http://webapp.geod.nrcan.gc.ca/geod/toolsoutils/ppp.php?locale=en>).

- Bölüm 1, işleme sırasında kullanılan giriş, çıkış ve iç dosya adlarını belirten bir dosya özetidir.
- Bölüm 2, CSRS-PPP sitesinde merkezi tutulan, iç dosyalardan çıkarılan işleme parametreleridir. Raporda, (i) sinyal sıçraması (cycle slip), (ii) uydu anten faz merkezi kayıklıkları, (iii) kullanıcı anteni faz merkezi kayıklığı, (vi) CSRS, ITRF ve NAD83 arasında dönüşüm parametreleri, referans çerçevesi, (v) okyanus yüklemesi katsayıları ve (vi) yüzey meteorolojik veriler bulunur.
- Bölüm 3, a) işleme seçenekleri b) gözlem oturumu c) koordinat tahminleri d) koordinat farkları e) alıcı saat kestirimleri ve f) artık gözlemleri raporlayan bir değerlendirme özetidir [38,39].

2.2.2 Değerlendirme İşlemleri ve Tekrarlılıkların Hesaplanması

Her üç noktaya ait RINEX veri setleri hazırladıktan sonra verilerin değerlendirmesi işlemine geçilmiştir. Bu çalışmada birçok verinin değerlendirilmesi ve değerlendirme işlemlerinin sonuçlarının ".sum" uzantılı dosyadan alınıp koordinat bilgilerinin günlere ve saatlere göre ayrı ayrı tasnif edilmesi, ilgili dosyalardan sonuç koordinatlar alınırken oluşabilecek hataların önüne geçilmesi, karşılaştırmanın kolay ve hızlı

yapılabilmesi amacıyla 'visual-basic' dilinde bir ara program yazılmıştır (Şekil 3). Program CSRS-PPP tarafından gönderilen 'zip' sonuç dosyalarından ".sum" uzantılı dosyayı alıp onun içerisinde ITRF(IGS05) Kartezyen koordinat ve standart sapmalarını otomatik olarak alıp bir excell dosyası içerisine sırasıyla yazdırmaktadır. Böylece hazırlanan bu ara program sayesinde her üç nokta için, bütün veri setlerinin sonuçlarının hızlı ve güvenli bir biçimde excell dosyasında özetlenmesi sağlanmış, tüm sonuçlar düzenli şekilde organize edilmiştir.



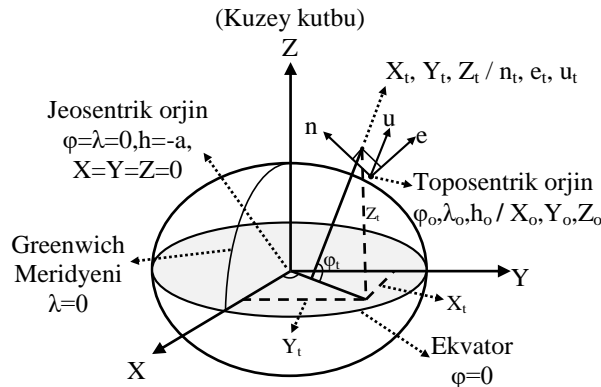
Şekil 3. Visual Basic dilinde hazırlanmış programın ekran görüntüsü.

Elde edilen koordinatların doğruluğu ve tekrarlılıklarının değerlendirilmesi için her bir nokta için 30 gün boyunca (05.04.2013-04.05.2013) GPS/GLONASS ölçüleri kullanılarak günlük (24 saatlik) çözümlerden elde edilmiş koordinatların ortalamaları hesaplanmıştır. Bu, 24 saatlik GPS/GLONASS verilerin çözümünden elde edilen ortalama koordinat değerleri kesin koordinat olarak kabul edilmiştir.

Hesaplanan kesin koordinatlar ve her bir ölçü süresine ait elde edilen koordinatlar kullanılarak X, Y, Z yer merkezli Kartezyen sistemden Doğu (e), Kuzey (n), Yukarı (u) bileşenleri ile ifade edilen toposentrik kartezyen sistemine aşağıdaki bağıntılarla dönüşüm gerçekleştirilmiştir.

$$\begin{bmatrix} e_t \\ n_t \\ u_t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\sin(\lambda_0) & \cos(\lambda_0) & 0 \\ -\sin(\varphi_0) \cos(\lambda_0) & -\sin(\varphi_0) \sin(\lambda_0) & \cos(\varphi_0) \\ \cos(\varphi_0) \cos(\lambda_0) & \cos(\varphi_0) \sin(\lambda_0) & \sin(\varphi_0) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_t - X_0 \\ Y_t - Y_0 \\ Z_t - Z_0 \end{bmatrix} \quad (1)$$

Burada X_0, Y_0, Z_0 noktanın hesaplanan yer-merkezli (jeosentrik) kesin kartezyen koordinatlarını, φ_0, λ_0 noktanın X_0, Y_0, Z_0 jeosentrik kartezyen koordinatları kullanılarak hesaplanan coğrafi koordinatlarını, X_t, Y_t, Z_t , t zamanındaki jeosentrik kartezyen koordinatlarını, e_t, n_t, u_t ise noktanın toposentrik kartezyen koordinatlarını göstermektedir (Şekil 4). Bu çalışmada, toposentrik sistemin orjini noktanın yer-merkezli kesin koordinatları seçildiği için toposentrik sisteme dönüştürülmüş koordinatlar t zamanındaki koordinat hatasına karşılık gelmektedir.



Şekil 4. Jeosentrik ve toposentrik koordinat sistemleri [20].

Bu çalışmada, her bir noktaya ait farklı ölçü süreleri için ayrı ayrı tekrarlılıkların değerlendirilmesi ve GPS ile GPS/GLONASS çözümlerinin karşılaştırılabilmesi için aşağıdaki hesaplama işlem adımları benimsenmiştir.

Örneğin her hangi bir ölçü süresi göz önüne alınırsa; o ölçü süresine ait bir aylık hataların ortalaması,

$$\begin{aligned} e_{ort} &= \frac{\sum_{i=1}^k e_i}{k}, & i &= (1, \dots, k) \\ n_{ort} &= \frac{\sum_{i=1}^k n_i}{k}, & i &= (1, \dots, k) \\ u_{ort} &= \frac{\sum_{i=1}^k u_i}{k}, & i &= (1, \dots, k) \end{aligned} \quad (2)$$

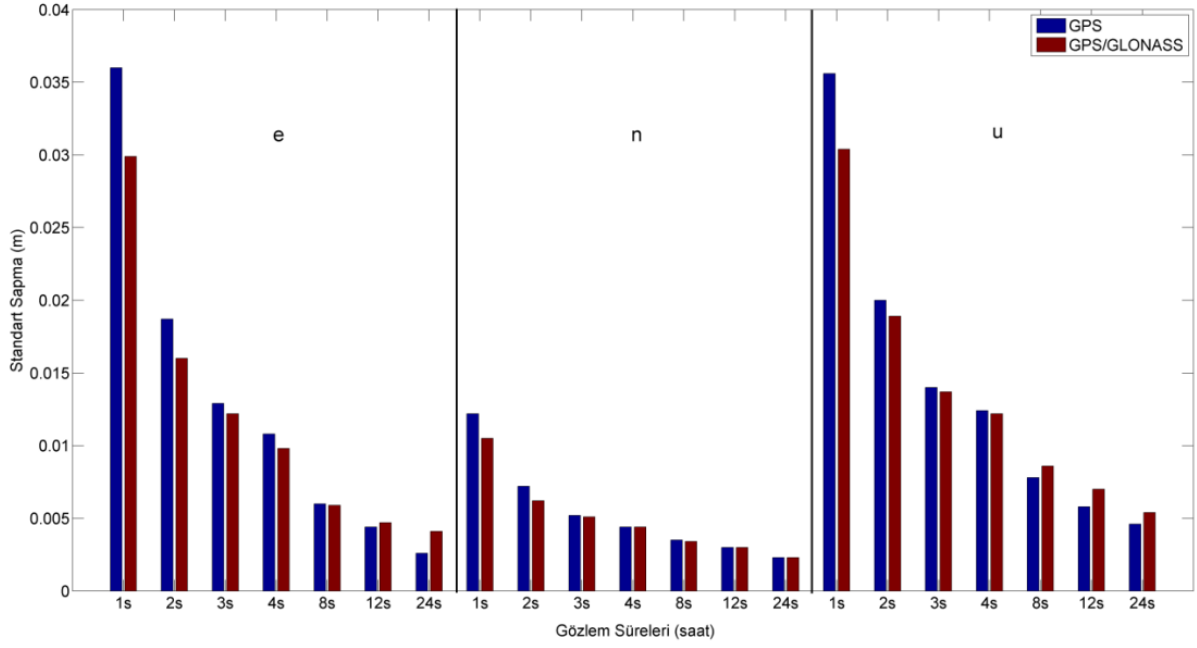
ve standart sapmaları,

$$\begin{aligned} \sigma_{e_{ort}} &= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^k (e_i - e_{ort})^2}{k-1}}, & i &= (1, \dots, k) \\ \sigma_{n_{ort}} &= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^k (n_i - n_{ort})^2}{k-1}}, & i &= (1, \dots, k) \\ \sigma_{u_{ort}} &= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^k (u_i - u_{ort})^2}{k-1}}, & i &= (1, \dots, k) \end{aligned} \quad (3)$$

şeklinde hesaplanmıştır. Burada, 'k' ölçü süresinin 30 gün içerisindeki toplam sayısını göstermektedir. 'k' değeri, 1 saatlik ölçü süresi için 720, 2 saatlik ölçü süresi için 360, 3 saatlik ölçü 240, 4 saatlik ölçü süresi için 180, 8 saatlik ölçü süresi için 90, 12 saatlik ölçü süresi için 60 ve 24 saatlik ölçü süresi için 30 a karşılık gelmektedir.

3. UYGULAMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, ölçü süresine bağlı olarak tekrarlılıkların daha gerçekçi elde edilmesi için, her bir ölçü süresine ait standart sapmalar günlük değil aylık ölçüler dikkate alınarak hesaplanmış. Böylelikle her bir nokta ve ölçü süresine ait maksimum, minimum, aralık, ortalama hata değeri ve standart sapma gibi temel istatistiksel bilgilerin daha geniş bir örneklem kitlesinden elde edilmesi hedeflenmiştir. Böylece, 1 saatlik veriler için 720, 2 saatlik veriler için 360, 3 saatlik veriler için 240, 4 saatlik veriler için 180, 8 saatlik veriler için 90, 12 saatlik veriler için 60 ve 24 saatlik veriler için 30 veri grubu kullanılarak standart sapmalar hesaplanmıştır. Bu işlem her bir nokta için ayrı ayrı yapılmış ve sonuçlar Şekil 5, Şekil 6 ve Şekil 7'de verilmiştir.

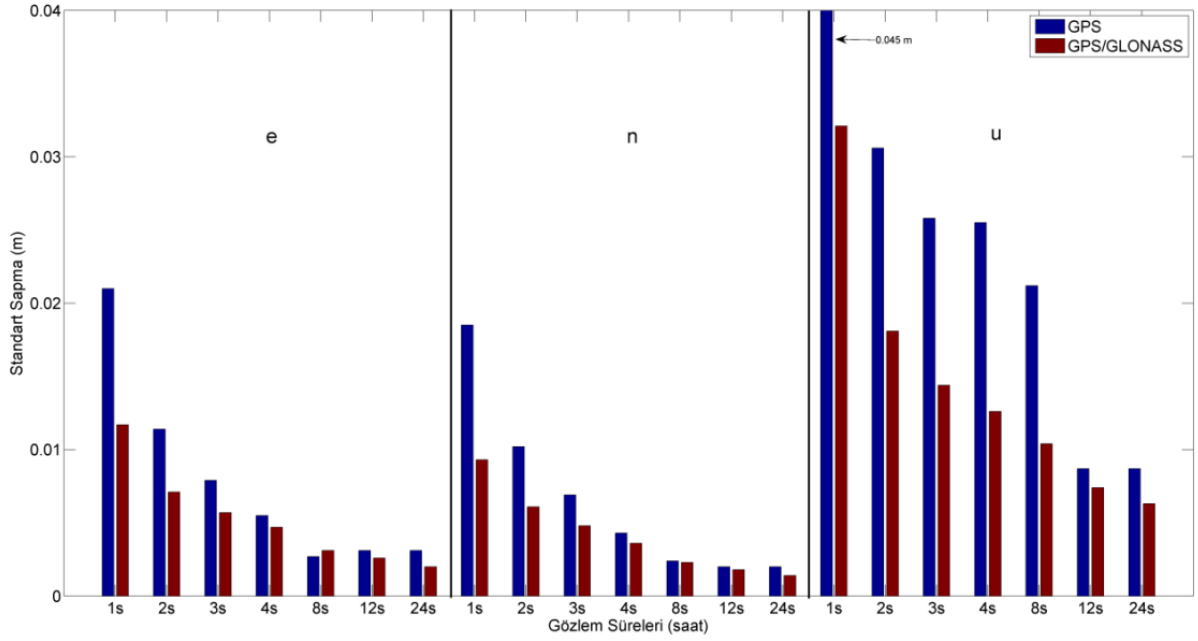


Şekil 5. MBAR Noktasına ait bütün ölçülerin standart sapmaları.

MBAR noktası (Şekil 5) e bileşenine ait bütün ölçülerin her bir zaman dilimi için standart sapmaları birbiriyle kıyaslandığında, GPS ölçüleri için 1 saatlik ölçülerde $\pm 3,5$ cm'den başlayan standart sapma değerinin, 2 saatlik ölçülerde ± 2 cm, 3 saatlik ölçülerde $\pm 1,25$ cm, 4 saatlik ölçülerde ± 1 cm, 8 saatlik ölçülerde $\pm 0,5$ cm, 12 saatlik ve 24 saatlik ölçülerde ise $\pm 0,5$ cm'nin altına indiği görülmektedir. GLONASS ölçülerinin hesaba katılması ile özellikle 1 saatlik ölçülerin tekrarlılığını iyileştirdiği $\pm 3,5$ cm den ± 3 cm ye düşürdüğü açıkça görülebilir. 2 saatlik ölçüler de GLONASS'ın tekrarlılığa katkısı 1 saatlik ölçülerle karşılaştırıldığında daha az görünmektedir. Fakat, 3 saatlik gözlemlerden sonra GLONASS'ın tekrarlılığa katkısı görülmemektedir.

n bileşenine ait bütün ölçülerin her bir zaman dilimi için standart sapmaları birbiriyle kıyaslandığında, her iki yöntemin de tüm ölçü sürelerinde benzer olduğu ve ölçü süresinin artmasıyla tekrarlılığın iyileştiği görülmektedir. Ayrıca sonuçlar gösteriyor ki, n bileşeninin tekrarlılığı e bileşeninkinden daha iyidir.

u bileşenine ait bütün ölçülerin her bir zaman dilimi için standart sapmaları birbiriyle kıyaslandığında, e bileşenine benzer yapıda bir durumun olduğu açıkça görülebilir. Görüldüğü gibi ölçü süresinin artması tekrarlılığı gittikçe iyileştirmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi 1 saatlik ölçülerin tekrarlılığı GLONASS'ın dahil edilmesiyle $\pm 0,5$ cm daha iyileşmiştir. Şekil 5'den açıkça görüldüğü üzere, ölçü süresi arttıkça hem GPS hem de GPS/GLONASS ölçülerinde her üç bileşende de tekrarlılık daha da iyileşmiş, GLONASS ölçülerinin eklenmesi özellikle 1 saatlik ölçü süresinde e ve u bileşeninin tekrarlılığını iyileştirmiştir.



Şekil 6. TIXI Noktasına ait bütün ölçülerin standart sapmaları.

TIXI noktası (Şekil 6) e bileşenine ait bütün ölçülerin her bir zaman dilimi için standart sapmaları birbiriyle kıyaslandığında, GPS ölçüleri için 1 saatlik ölçülerde ± 2 cm den başlayan standart sapma değerinin, 2 saatlik ölçülerde ± 1 cm, 3 saatlik ölçülerde $\pm 0,75$ cm, 4 saatlik ölçülerde $\pm 0,5$ cm, 8 saatlik ölçülerde $\pm 0,4$ cm altına ve 12 saatlik ve 24 saatlik ölçülerde $\pm 0,5$ cm'nin altına indiği görülmektedir. GLONASS ölçülerinin hesaba katılmasıyla 1 saatlik ölçülerde yaklaşık ± 1 cm lik iyileşme, 2 saatlik ölçülerde yaklaşık $\pm 0,5$ cm lik bir iyileşme, 3 saatlik ölçülerde $\pm 0,3$ cm lik bir iyileşme olmuştur.

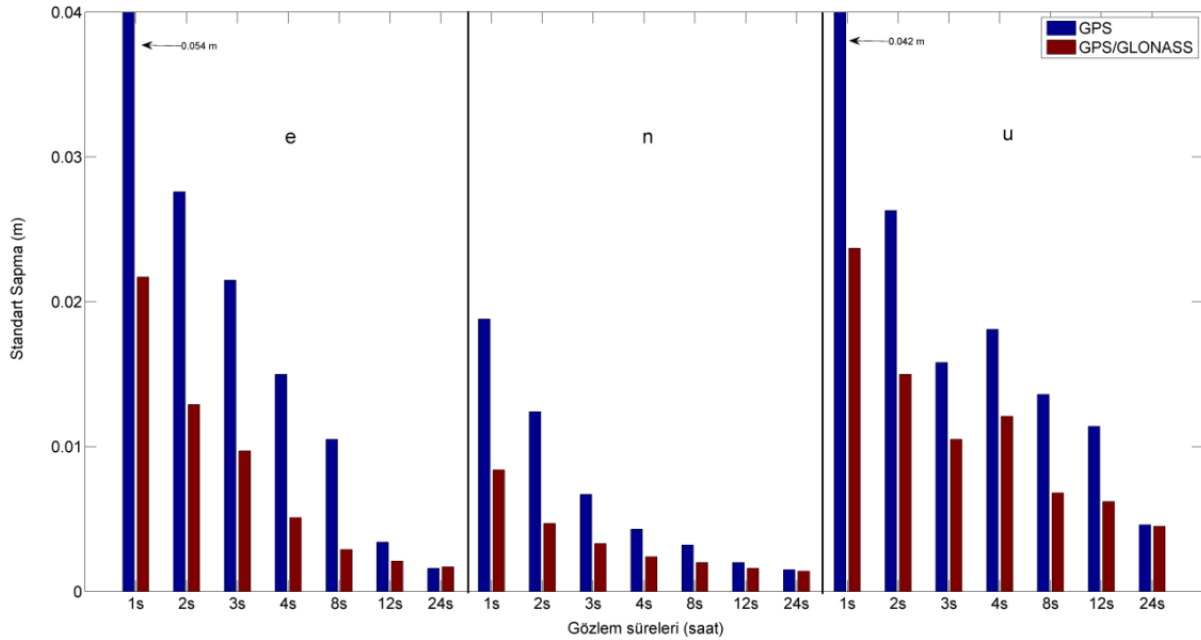
n bileşenine ait bütün ölçülerin her bir zaman dilimi için standart sapmaları birbiriyle kıyaslandığında, GPS ölçüleri için 1 saatlik ölçülerde $\pm 1,75$ cm den başlayan standart sapma değerin, 2 saatlik ölçülerde $\pm 1,25$ cm, 3 saatlik ölçülerde $\pm 0,50$ cm, 4 saatlik ölçülerden sonra $\pm 0,5$ cm'nin altına indiği görülmektedir. GLONASS ölçülerinin hesaba katılmasıyla, 1, 2 ve 3 saatlik ölçülerde, e bileşeni de benzer yapıda iyileşmeler olduğu görülmektedir. Ölçü süresi uzadıkça standart sapma değerinin düştüğü 1 saatlik ölçülerde $\pm 0,75$ cm'in biraz üzerinde ve 2 saatlik ölçülerden itibaren $\pm 0,50$ cm' nin altına indiği görülmektedir. MBAR noktasından farklı olarak, TIXI noktasında e bileşeni ile n bileşeni arasında tekrarlılık açısından çok büyük farklar olmamış, neredeyse aynı tekrarlılık elde edilmiştir.

TIXI noktasına ait u bileşeni incelendiği zaman GPS ölçüleri için $\pm 4,5$ cm' den başlayan standart sapma değeri, ölçü süresi artıkça azalmaktadır. GLONASS ölçülerinin eklenmesiyle tekrarlılık 1, 2, 3, 4 ve 8 saatlik ölçülerde yaklaşık $\pm 1,5$ cm'ye ulaşan iyileşmeler görülmektedir. 12 ve 24 saatlik ölçülerde her iki çözümde benzer sonuçlar çıkmıştır. MBAR noktasından farklı olarak, TIXI noktasında GLONASS ölçülerinin özellikle düşey bileşen u da fazlasıyla katkı sağladığı ve ölçülerin tekrarlılığını daha da iyileştirdiği açıkça görülmektedir.

TIXI noktasına ait her üç bileşeninin ölçü süresi artıkça hem GPS hem de GPS/GLONASS ölçülerinde tekrarlılıkta iyileşme olduğu görülmüştür. GLONASS ölçülerinin eklenmesinin e ve n bileşenlerinin 1 ve 2 saatlik ölçü sürelerinde, u bileşeninde ise 1, 2, 3, 4 ve 8 saatlik ölçü sürelerindeki tekrarlılığı iyileştirdiği sonuçlardan anlaşılmaktadır.

UNBJ noktasında (Şekil 7) e bileşenine ait bütün ölçülerin her bir zaman dilimi için standart sapmaları birbiriyle kıyaslandığında, ölçü süresi artıkça iyileşme olduğu görülür. GPS ölçüleri için 1 saatlik ölçülerde $\pm 5,4$ cm den başlayan standart sapma değerinin, 2 saatlik ölçülerde $\pm 2,75$ cm, 3 saatlik ölçülerde ± 2 cm, 4

saatlik ölçülerde $\pm 1,5$ cm, 8 saatlik ölçülerde ± 1 cm, 12 saatlik ve 24 saatlik ölçülerde ise $\pm 0,5$ cm'nin altına indiği görülmektedir. GLONASS ölçülerinin hesaba katılmasıyla GPS ölçüleriyle kıyaslandığında belirgin bir şekilde katkı sağladığı, 1 saatlik ölçü süresinde yaklaşık ± 3 cm, 2 saatlik ölçü süresinde $\pm 1,5$ cm, 3 ve 4 saatlik ölçü süresinde ± 1 cm ve 8 saatlik ölçü süresinde $\pm 0,8$ cm civarlarında iyileşmeler görülebilir. 12 ve 24 saatlik ölçü sürelerinde her iki çözüm sonucu benzer çıkmıştır. Yatay bileşen e için hem GPS hem de GPS+GLONASS ölçüleri için ölçü süresinin artmasının ve GLONASS ölçülerinin eklenmesinin tekrarlılığa olumlu katkı sağladığını söyleyebiliriz.



Şekil 7. UNBJ Noktasına ait bütün ölçülerin standart sapmaları.

n bileşenine ait bütün ölçülerin her bir zaman dilimi için standart sapmaları birbiriyle kıyaslandığında, TIXI noktasından farklı fakat UNBJ ye benzer şekilde e bileşeninden daha hassas yani tekrarlılığı daha iyi çıkmıştır. GPS ölçüleri için tekrarlılık 1 saatlik ölçülerde $\pm 1,7$ cm, 2 saatlik ölçülerde $\pm 1,2$ cm, 3 saatlik ölçülerde $\pm 0,5$ cm, 4 saatlik ölçülerde ve diğerlerinde $\pm 0,5$ cm den daha azdır. GLONASS ölçülerinin hesaba katılmasıyla, 1 saatlik ölçü süresinde $\pm 1,2$ cm, 2 saatlik ölçü süresinde $\pm 0,7$ cm, 3 saatlik ölçü süresinde $\pm 0,4$ cm ve 4 saatlik ölçü süresinde $\pm 0,2$ cm ye ulaşan iyileşmeler görülmektedir. 8, 12 ve 24 saatlik ölçü sürelerinde neredeyse her iki çözümde benzer sonuçlar üretmiştir.

u bileşeni incelendiği zaman GPS ölçüleri için 1 saatlik ölçülerde $\pm 4,2$ cm den başlayan standart sapma değerinin, 2 saatlik ölçülerde $\pm 2,6$ cm, 3 saatlik ölçülerde $\pm 1,6$ cm, 4 saatlik ölçülerde $\pm 1,8$ cm, 8 saatlik ölçülerde $\pm 1,4$ cm, 12 saatlik ölçülerde yaklaşık ± 1 cm ve 24 saatlik ölçülerde $\pm 0,5$ cm nin altına indiği görülmektedir. GLONASS ölçülerinin eklenmesiyle 1 saatlik ölçülerde yaklaşık ± 2 cm, 2 saatlik ölçülerde ± 1 cm, 3, 4, 8 ve 12 saatlik ölçülerde yaklaşık $\pm 0,5$ civarında iyileşmeler olmuştur. 24 saatlik ölçü süresinde her iki çözümde benzer sonuçlar çıkmıştır.

UNBJ noktasına ait sonuçlar, GLONASS ölçülerinin eklenmesinin e ve n bileşenlerinin 1, 2, 3, 4 ve 8 saatlik ölçü sürelerinde, u bileşeninde ise 1, 2, 3, 4, 8 ve 12 saatlik ölçü sürelerinde tekrarlılığı anlamlı derecede iyileştirdiğini açıkça göstermiştir.

Çizelge 1. MBAR noktasına ait temel istatistik değerleri.

Ölçü Süresi (saat)	Temel İstatistikler	GPS			GPS/GLONASS		
		e (m)	n (m)	u (m)	e (m)	n (m)	u (m)
1s	Maksimum	0.156	0.049	0.222	0.143	0.040	0.171
	Minimum	-0.162	-0.078	-0.200	-0.114	-0.079	-0.173
	Aralık	0.318	0.127	0.422	0.257	0.119	0.344
	Ortalama	-0.003	0.001	0.003	-0.003	0.000	0.000
	Std. S.	0.036	0.012	0.036	0.030	0.011	0.030
2s	Maksimum	0.048	0.047	0.076	0.041	0.021	0.068
	Minimum	-0.055	-0.022	-0.073	-0.048	-0.029	-0.093
	Aralık	0.103	0.069	0.149	0.089	0.050	0.161
	Ortalama	-0.002	0.000	0.003	-0.002	0.000	0.000
	Std. S.	0.019	0.007	0.020	0.016	0.006	0.019
3s	Maksimum	0.026	0.022	0.058	0.032	0.021	0.051
	Minimum	-0.038	-0.012	-0.045	-0.038	-0.021	-0.037
	Aralık	0.064	0.034	0.103	0.070	0.042	0.088
	Ortalama	-0.002	0.000	0.002	-0.002	0.000	0.000
	Std. S.	0.013	0.005	0.014	0.012	0.005	0.014
4s	Maksimum	0.025	0.016	0.037	0.038	0.018	0.040
	Minimum	-0.032	-0.010	-0.032	-0.027	-0.010	-0.034
	Aralık	0.057	0.026	0.069	0.065	0.028	0.074
	Ortalama	-0.001	0.000	0.002	-0.001	0.000	-0.001
	Std. S.	0.011	0.004	0.012	0.010	0.004	0.012
8s	Maksimum	0.013	0.008	0.030	0.016	0.009	0.024
	Minimum	-0.016	-0.009	-0.011	-0.015	-0.008	-0.018
	Aralık	0.029	0.017	0.041	0.031	0.017	0.042
	Ortalama	0.000	0.000	0.003	0.000	0.000	0.000
	Std. S.	0.006	0.004	0.008	0.006	0.003	0.009
12s	Maksimum	0.012	0.007	0.016	0.013	0.008	0.017
	Minimum	-0.008	-0.006	-0.013	-0.011	-0.005	-0.013
	Aralık	0.020	0.013	0.029	0.024	0.013	0.030
	Ortalama	-0.001	0.000	0.001	-0.001	0.000	0.000
	Std. S.	0.004	0.003	0.006	0.005	0.003	0.007
24s	Maksimum	0.005	0.005	0.012	0.016	0.006	0.011
	Minimum	-0.005	-0.005	-0.006	-0.006	-0.004	-0.010
	Aralık	0.010	0.010	0.018	0.022	0.010	0.021
	Ortalama	0.001	-0.001	0.002	0.000	0.000	0.000
	Std. S.	0.003	0.002	0.005	0.004	0.002	0.005

Çizelge 2. TIXI noktasına ait temel istatistik değerleri.

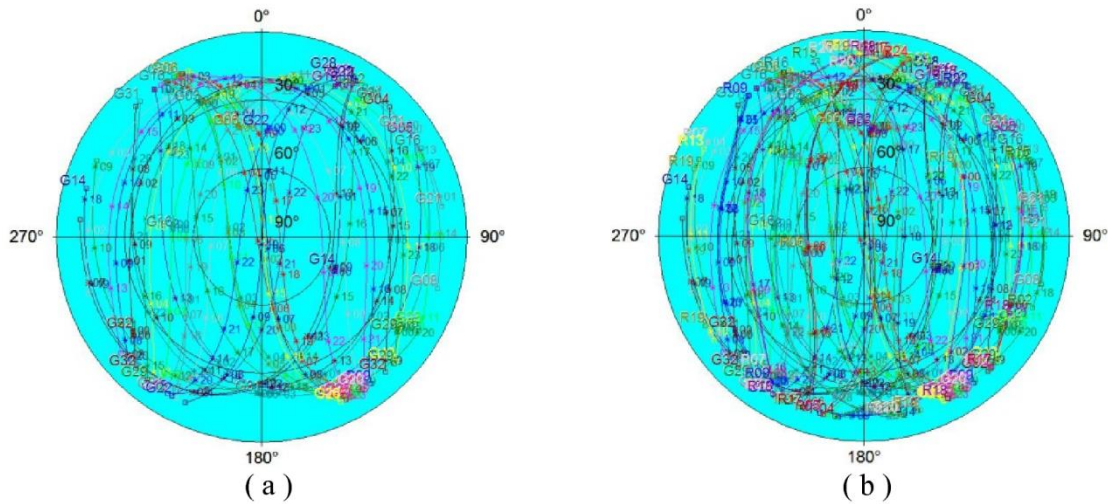
Ölçü Süresi (saat)	Temel İstatistikler	GPS			GPS/GLONASS		
		e (m)	n (m)	u (m)	e (m)	n (m)	u (m)
1s	Maksimum	0.059	0.073	0.139	0.041	0.029	0.072
	Minimum	-0.086	-0.118	-0.279	-0.049	-0.027	-0.195
	Aralık	0.145	0.191	0.418	0.090	0.056	0.267
	Ortalama	-0.001	-0.001	0.002	0.000	-0.001	-0.008
	Std. S.	0.021	0.019	0.045	0.012	0.009	0.032
2s	Maksimum	0.031	0.040	0.075	0.020	0.017	0.057
	Minimum	-0.040	-0.022	-0.066	-0.025	-0.026	-0.059
	Aralık	0.071	0.062	0.141	0.045	0.043	0.116
	Ortalama	-0.001	-0.002	0.003	0.000	-0.001	-0.002
	Std. S.	0.011	0.010	0.031	0.007	0.006	0.018
3s	Maksimum	0.016	0.021	0.069	0.022	0.011	0.059
	Minimum	-0.028	-0.018	-0.053	-0.016	-0.014	-0.037
	Aralık	0.044	0.039	0.122	0.038	0.025	0.096
	Ortalama	-0.001	-0.002	0.003	0.000	-0.001	0.000
	Std. S.	0.008	0.007	0.026	0.006	0.005	0.014
4s	Maksimum	0.008	0.006	0.060	0.010	0.007	0.037
	Minimum	-0.023	-0.018	-0.057	-0.014	-0.011	-0.033
	Aralık	0.031	0.024	0.117	0.024	0.018	0.070
	Ortalama	-0.002	-0.004	-0.004	0.000	-0.001	-0.003
	Std. S.	0.006	0.004	0.026	0.005	0.004	0.013
8s	Maksimum	0.005	0.006	0.042	0.008	0.006	0.026
	Minimum	-0.011	-0.008	-0.039	-0.006	-0.006	-0.021
	Aralık	0.016	0.014	0.081	0.014	0.012	0.047
	Ortalama	-0.002	-0.002	0.000	0.000	0.000	0.000
	Std. S.	0.003	0.002	0.021	0.003	0.002	0.010
12s	Maksimum	0.003	0.003	0.018	0.006	0.003	0.023
	Minimum	-0.012	-0.006	-0.028	-0.007	-0.004	-0.012
	Aralık	0.015	0.009	0.046	0.013	0.007	0.035
	Ortalama	-0.004	-0.002	-0.003	0.000	0.000	-0.001
	Std. S.	0.003	0.002	0.009	0.003	0.002	0.007
24s	Maksimum	0.003	0.003	0.018	0.004	0.002	0.019
	Minimum	-0.012	-0.006	-0.028	-0.004	-0.003	-0.009
	Aralık	0.015	0.009	0.046	0.008	0.005	0.028
	Ortalama	-0.004	-0.002	-0.003	0.000	0.000	0.000
	Std. S.	0.003	0.002	0.009	0.002	0.001	0.006

Çizelge 3. UNBJ noktasına ait temel istatistik değerleri.

Ölçü Süresi (saat)	Temel İstatistikler	GPS			GPS/GLONASS		
		e (m)	n (m)	u (m)	e (m)	n (m)	u (m)
1s	Maksimum	0.224	0.074	0.254	0.141	0.047	0.272
	Minimum	-0.246	-0.079	-0.157	-0.153	-0.024	-0.069
	Aralık	0.470	0.153	0.411	0.294	0.071	0.341
	Ortalama	-0.000	-0.002	0.009	0.004	0.001	0.003
	Std. S.	0.054	0.019	0.042	0.022	0.008	0.024
2s	Maksimum	0.092	0.032	0.131	0.107	0.027	0.141
	Minimum	-0.082	-0.050	-0.064	-0.037	-0.014	-0.049
	Aralık	0.174	0.082	0.195	0.144	0.041	0.190
	Ortalama	0.002	-0.001	0.004	0.003	0.001	-0.000
	Std. S.	0.028	0.012	0.026	0.013	0.005	0.015
3s	Maksimum	0.120	0.019	0.051	0.091	0.013	0.078
	Minimum	-0.040	-0.018	-0.045	-0.016	-0.009	-0.024
	Aralık	0.160	0.037	0.096	0.107	0.022	0.102
	Ortalama	0.004	0.001	0.000	0.002	0.000	-0.001
	Std. S.	0.022	0.007	0.016	0.010	0.003	0.011
4s	Maksimum	0.046	0.013	0.132	0.017	0.006	0.126
	Minimum	-0.024	-0.012	-0.026	-0.018	-0.008	-0.029
	Aralık	0.070	0.025	0.158	0.035	0.014	0.155
	Ortalama	0.003	0.000	0.001	0.001	0.000	-0.001
	Std. S.	0.015	0.004	0.018	0.005	0.002	0.012
8s	Maksimum	0.019	0.008	0.065	0.008	0.006	0.040
	Minimum	-0.017	-0.011	-0.023	-0.009	-0.006	-0.014
	Aralık	0.036	0.019	0.088	0.017	0.012	0.054
	Ortalama	-0.001	0.001	0.001	0.000	0.000	-0.001
	Std. S.	0.011	0.003	0.014	0.003	0.002	0.007
12s	Maksimum	0.005	0.004	0.037	0.004	0.003	0.031
	Minimum	-0.012	-0.003	-0.017	-0.006	-0.003	-0.014
	Aralık	0.017	0.007	0.054	0.010	0.006	0.045
	Ortalama	-0.003	0.001	0.002	0.000	0.000	0.000
	Std. S.	0.003	0.002	0.011	0.002	0.002	0.006
24s	Maksimum	0.001	0.004	0.014	0.004	0.003	0.015
	Minimum	-0.005	-0.002	-0.009	-0.004	-0.003	-0.008
	Aralık	0.006	0.006	0.023	0.008	0.006	0.023
	Ortalama	-0.003	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
	Std. S.	0.002	0.002	0.005	0.002	0.001	0.005

Tekrarlılıkla ilgili verilen grafiklere ilave olarak her bir noktanın tüm ölçüler dikkate alınarak hesaplanan temel istatistiksel büyüklükleri Çizelge 1, Çizelge 2 ve Çizelge 3’de verilmiştir. Çizelgelerden de görüldüğü üzere hem GPS hem de GPS/GLONASS sonuçlarının hatalar ortalaması genellikle +3 mm ile -3 mm aralığında değişmektedir. Bu durum, ölçü hatalarının sıfır etrafında rastgele dağıldığına işaret etmektedir. Maksimum hata, minimum hata ve aralık değerleri incelendiğinde GPS/GLONASS çözümlerinde özellikle kısa süreli gözlemlerde bu değerlerin GPS çözümlerine göre küçüldüğü gözlemlenmektedir.

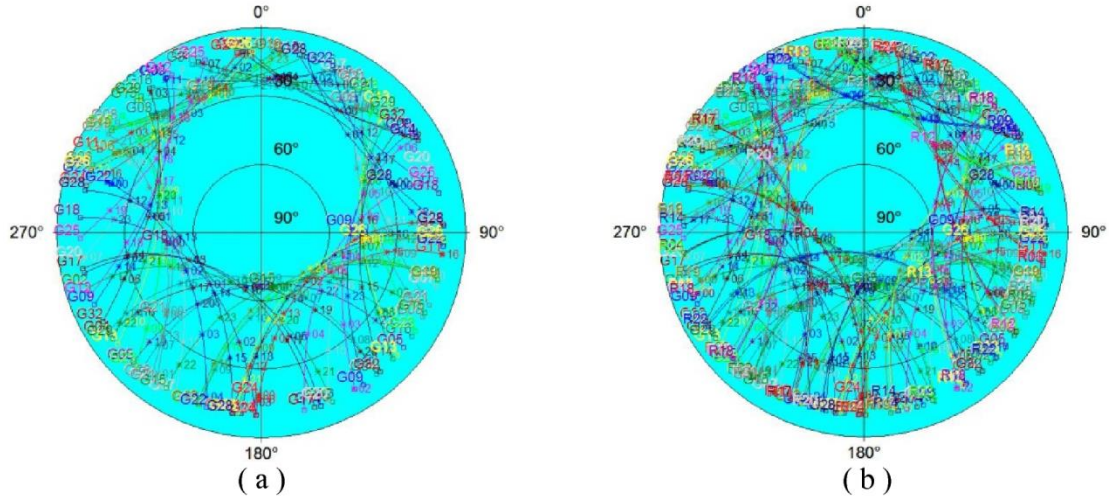
MBAR, TIXI ve UNBJ noktalarından elde edilen sonuçlardan görüldüğü üzere e ve n bileşenlerinin benzerliği ve farklılığı, GLONASS ölçülerinin dahil edilmesinin tekrarlılığı ne derece etkilediği ve hangi ölçü sürelerinde katkı sağladığı açısından farklılıklar göstermiştir. Örneğin, MBAR noktasında GLONASS ölçüleri her üç bileşende 1 saatlik ölçülerin tekrarlılığını anlamlı derecede iyileştirirken, TIXI noktasında yatay bileşende 1, 2 ve 3 saatlik ölçü süresinde, u bileşeninde ise 1, 2, 3, 4 ve 8 saatlik ölçü süresinde anlamlı derecede iyileştirmelere sebep olmuştur. UNBJ noktasında ise, tekrarlılık GLONASS ölçülerinin katılması ile hem e hem de u bileşeninde anlamlı derecede ortaya çıkmıştır. Bu farklılıkların sebebi, noktaların farklı enlem bölgelerinde olmaları dolayısıyla uydu alıcı sinyal yolundaki troposferik yapının farklılık göstermesi, ekvator, orta enlem ve yüksek enlem bölgelerinde ki GPS ve GLONASS uydu sayı ve dağılımlarının farklılık göstermesi vb. gibi etkiler olabilir. Bu nedenle, her bir noktaya ait uydu görünürlüklerini gösteren çizimleri yalnızca GPS ve GPS/GLONASS ölçüleri için verilmiş ve aşağıda yorumlanmıştır.



Şekil 8. MBAR 24 saatlik a) GPS; b) GPS/GLONASS uydu geometrisi.

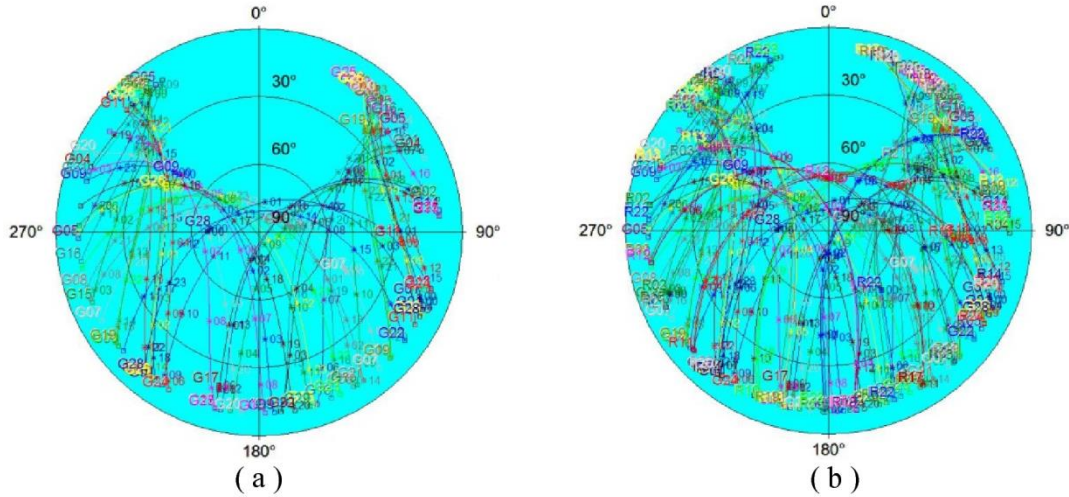
Şekil 8 incelendiğinde, MBAR noktasında 24 saatlik GPS uydu dağılımı genel anlamda alıcının bulunduğu gökyüzünü kaplamış fakat Kuzey ve Güney uçlarda hafif açıklık olduğu bu açıklığın GLONASS uydularının dahil edilmesi ile neredeyse kapandığı görülebilir. İki uydu sistemi arasındaki bu farkın temel sebebi, GPS ve GLONASS uydu yörüngelerinin ekvatorla yaptığı açılarının farklı olmasından dolayıdır. Şekilden de görüldüğü gibi GLONASS uydularının dahil edilmesi ile hemen hemen bir açık alan kalmamıştır.

Şekil 9 incelendiğinde, TIXI noktasında MBAR noktasından farklı olarak, noktanın kutba yakın olmasından dolayı özellikle kutup bölgesinde GPS uydularının yörüngesinden kaynaklı bir açıklık göze çarpmaktadır. Bu açıklık GLONASS uydularının dahil edilmesi ile daha öncede belirtilen iki sistem arasındaki yörüngelerin ekvator ile yapıldığı açının farklı olmasından dolayı daha da azalmıştır.



Şekil 9. TIXI 24 saatlik a) GPS; b) GPS/GLONASS uydu geometrisi.

Şekil 10 incelendiğinde ise, UNBJ noktasında da TIXI noktasına benzer şekilde GLONASS ölçülerinin dahil edilmesi ile kutup bölgesindeki uydu taramasını artırmaktadır.



Şekil 10. UNBJ 24 saatlik a) GPS; b)GPS/GLONASS uydu geometrisi.

Noktaların uydu görünürlük çizimlerinden de görüldüğü gibi GPS ve GLONASS uydu izlerinin ve geometrisinin alıcının bulunduğu enleme göre farklılık gösterdiğini ve konum doğruluk ve duyarlıklarını nasıl etkilediğini kısmen açıklamaktadır. Sonuçlarda göstermiştir ki, TIXI ve UNBJ noktalarında GLONASS ölçülerinin dahil edilmesi konum belirleme duyarlılığını iyileştirmiştir. Bu iyileşme özellikle ölçü süresinin kısalması ile daha da belirgin olarak kendini göstermiştir [38].

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, ekvator, orta enlem ve yüksek enlem olmak üzere üç farklı enlem bölgesinde bulunan üç IGS istasyonunun ölçü süresine bağlı GPS-PPP ve GPS/GLONASS-PPP statik konum belirleme performansı karşılaştırmalı bir yaklaşımla değerlendirilmiştir. Çalışmada hem konum doğruluğu hem de tekrarlılık incelenmiş olup aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

Ekvator bölgesindeki MBAR ve orta enlem bölgesindeki UNBJ noktalarında, n bileşeninin tekrarlılığı e bileşeninkinden genellikle daha iyi çıkmıştır. Fakat yüksek enlem noktasındaki TIXI noktasında n ve e

bileşenlerinin tekrarlılıkları neredeyse benzer hassasiyette sonuçlar vermiştir. Bu durum, diğer sebepler arasından, GPS ve GLONASS uydu yörüngelerinin yörünge doğrultusu ve yörünge doğrultusuna dik bileşenlerinin farklı hassasiyette belirlenmesi ve bu yörüngelerin ekvator, orta enlem ve yüksek enlem bölgelerindeki izlerinin farklılık göstermesinden kaynaklanıyor olabilir. u yükseklik bileşeninin tekrarlılığı ise, her üç noktada da, beklenildiği gibi yatay bileşenlerden daha düşük çıkmıştır [38].

MBAR noktası sonuçları, ölçü süresinin 2 saatten fazla olması durumunda sadece GPS ölçülerinin yeterli olduğu ve GLONASS ölçülerinin dahil edilmesinin tekrarlılığı çok fazla etkilemediğini göstermiştir. Fakat ölçü süresinin 1 saat olması durumunda tekrarlılık GLONASS ölçülerinin GPS ölçülerine dahil edilmesi % 15 seviyelerinde iyileştirmiştir. Bu durum, ekvator bölgesinde özellikle ölçü süresinin 2 saatten az olması durumunda GLONASS ölçülerinin de toplanması ve değerlendirmede dikkate alınmasının önemini ortaya çıkartmıştır.

UNBJ ve TIXI noktalarına ait değerlendirme sonuçları, orta ve özellikle yüksek enlem bölgelerinde GPS uydu yörüngelerinin ekvator ile yaptığı açıdan dolayı kutup bölgelerinin üzerinden uydu geçişlerinin GLONASS ile karşılaştırıldığında daha uzaktan olması sebebiyle, GPS ölçülerine GLONASS ölçülerinin dahil edilmesinin konumsal doğruluğu ve tekrarlılığı iyileştirdiğini göstermiştir. TIXI noktasında, yatay bileşenler de 1, 2 ve 3 saatlik ölçü sürelerinde GLONASS ın katkısı anlamlı derecede görülürken, u bileşeninde bunlara ilave olarak 4 ve 8 saatlik ölçü sürelerinde de bu olumlu katkı görülmüştür. UNBJ noktasında ise, GLONASS' ın katkısı yatay bileşenlerde 1, 2, 3, 4 ve 8 saatlik ölçü sürelerinde, u bileşeninde bunlara ilave olarak 12 saatlik ölçü süresinde de görülmüştür.

Bu çalışmanın sonuçları, orta enlem ve yüksek enlem bölgesinde ölçü süresinin 12 saatten az olması, ekvator bölgesinde ise ölçü süresinin 2 saatten az olması durumunda sadece GPS-PPP yerine GPS/GLONASS-PPP yönteminin tercih edilmesinin, daha yüksek duyarlıkları sonuçlara ulaşılması açısından, önemli olduğunu göstermiştir. Özellikle yer kabuğunda, toprak kayması, deprem, yer altı madenciliği v.b. sebeplerden kaynaklanan yatay ve düşey deformasyonların GNSS ile izlenmesi ve konumsal değişimlerin PPP yöntemi kullanılarak belirlenmesi planlanırsa, GPS-PPP yerine GPS/GLONASS-PPP modelinin tercih edilmesi hem ölçü süresinin kısalması hem de ulaşılan hassasiyetin artması açısından daha iyi olacaktır.

5. BİLGİLENDİRME

Bu çalışma Doç.Dr. Cemal Özer Yiğit'in danışmanlığında 2014 yılında Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü-Mühendislik ve Fen Bilimleri Bilimleri Enstitüsü-Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Anabilim Dalında tamamlanan Yük. Müh. Mahmut Kızıllarslan'ın tez çalışmasından türetilmiştir. Yazarlar olarak, çalışmada kullanılan CSRS-PPP yazılımı için Natural Resources Canada (NRCan)'ya teşekkür ederiz.

6. KAYNAKLAR

1. El- Rabbany, A. (2006). Introduction to GPS: The Global Positioning System. 2nd edition, Artech House Publisher.
2. Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger H., Wasle, E. (2008). GNSS—Global Navigation Satellite Systems: GPS, GLONASS, Galileo & more. Springer, Wien, New York, NY.
3. 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(3), 5005-5017.
4. Kouba, J., Héroux, P. (2001). GPS Precise Point Positioning Using IGS Orbit and Clock Products. GPS Solutions, 5(2), 12-28.
5. Li, T., Wang, J., Laurichesse, D. (2014). Modeling and quality control for reliable precise point positioning integer ambiguity resolution with GNSS modernization. GPS Solutions, 18(3), 429-442.

6. Kouba, J. (2003). Measuring seismic waves induced by large earthquakes with GPS. *Stud Geophys Geod*, 47, 741–755.
7. Savage, J.C., Gan W., Prescott W.H., Svarc J.L. (2004). Strain accumulation across the coast ranges at the latitude of San Francisco 1994–2000. *Journal of Geophysical Research*, 109(B03413), 1-11.
8. Hammond, W.C., Thatcher, W. (2005). Northwest Basin and Range tectonic deformation observed with the global positioning system: 1999–2003. *Journal of Geophysical Research Letters*, 110(B10405), 1-12.
9. Calais, E., Han, J.Y., Demets, C., Nocquet, J.M. (2006). Deformation of the North American plate interior from a decade of continuous GPS measurements. *Journal of Geophysical Research*, 111(B06402), 1-23.
10. Ohta, Y., Ohzono, M., Miura, S., Inuma, T., Tachibana, K., Takatsuka, K., Miyao, K., Sato, T., Umino N. (2008). Coseismic fault model of the 2008 Iwate-Miyagi Nairiku earthquake deduced by a dense GPS network. *Earth Planets Space*. 60, 1197–1201.
11. Avallone, A., Marzario, M., Cirella, A., Piatanesi, A., Rovelli, A., Di Alessandro, C., D’Anastasio, E., D’Agostino, N., Giuliani, R., Mattone, M. (2011). Very high rate (10 Hz) GPS seismology for moderate-magnitude earthquakes: The case of the Mw 6.3 L’Aquila (central Italy) event. *Journal of Geophysical Research*, 116, 1-14.
12. Li, X., Ge, M, Zhang, X., Zhang, Y., Guo, B., Wang, R., Klotz, J., Wickert, J. (2013). Real-time high-rate co-seismic displacement from ambiguity-fixed precise point positioning: Application to earthquake early warning. *Geophysical Research Letters*, 40, 295–300.
13. Kuo, C., Chiu, K., Chiang, K., Cheng, K., Lin, L., Tseng, H., Chu, F., Lan, W., Lin, H. (2012). High-Frequency Sea Level Variations Observed by GPS Buoys Using Precise Point Positioning Technique. *Terrestrial Atmospheric and Oceanic Science*, 23, 209–218.
14. Fund, F., Perosanz, F., Testut, L., Loyer, S. (2013). An Integer Precise Point Positioning technique for sea surface observations using a GPS buoy. *Advances in Space Research*, 51, 1311–1322.
15. Bock H., Hugentobler U., Beutler G., (2003). “Kinematic and dynamic determination of trajectories for low Earth satellites using GPS” In: Reigber C., Luhr H., Schwintzer P., Editors, “First CHAMP mission results for gravity magnetic and atmospheric studies”, Springer.
16. Gao, Y., Wojciechowski, A., Chen, K. (2005). Airborne kinematic positioning using precise point positioning methodology. *Geomatica*, 59, 275–282.
17. Zhang, X., Andersen, O.B. (2006). Surface ice flow velocity and tide retrieval of the Amery ice shelf using precise point positioning. *Journal of Geodesy*, 80, 171–176.
18. Geng, J., Teferle, F.N., Meng, X., Dodson, A.H. (2010). Kinematic precise point positioning at remote marine platforms. *GPS Solutions*, 14, 343-350.
19. Alkan, R.M., Öcalan, T. (2013). Usability of the GPS Precise Point Positioning Technique in Marine Applications. *The Journal of Navigation*, 66, 579–588.
20. Yigit, C.O. (2016) Experimental assessment of post-processed Precise Point Positioning for Structural Health Monitoring. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 7(1), 360-383.
21. Li, P., Zhang, X. (2014). Integrating GPS and GLONASS to accelerate convergence and initialization times of precise point positioning. *GPS Solutions*, 18(3), 461-471.
22. Cai, C., Gao, Y. (2007). Precise Point Positioning using combined GPS and GLONASS observations. *Journal of Global Positioning Systems*, 6(1),13-22.
23. Azab, M., El Rabbany, A., Shourky, M.N., Khalil, R. (2011). Precise Point Positioning using combined GPS/GLONASS measurements. *FIG Working Week*, 1-8, Marrakech, Morocco, 18-22 May.
24. Martin, W., Ladd, J. (1997). GPS+GLONASS Surveying. *Proceeding of ION GPS-97*, 851-856, Kansas City, MO, USA, 16-19 September.
25. Raffaella, C., Marco, G. (2000). Dual Frequency GPS+GLONASS measurements in the static relative positioning. *Bollettino di geodesia e scienze afini*, 59, 391-403.
26. Stewart, M.P., Tsakiri, M., Wang, J., Monico, J.F. (2000). The contribution of GLONASS measurements to regional and continental scale geodetic monitoring regimes. *Earth Planets Space*, 52, 877-880.

27. Bruyninx, C. (2007). Comparing GPS-only with GPS+GLONASS Positioning in a Regional Permanent GNSS Network. *GPS Solutions*, 11, 97-106.
28. Wang, J., Wang, J. (2007). Comparing long baseline results from GPS and GPS/GLONASS. *Combined Int. Symp. & Exhibition on Geoinformation & GNSS*, 1-10, Johor Bahru, Malaysia, 5-7 November.
29. Alcay, S., Inal, C., Yigit, C.O., Yetkin, M. (2012). Comparing GLONASS-only with GPS-only and hybrid positioning in various length of baselines. *Acta Geodaetica Geophysica et Hungarica*, 47(1), 1-12.
30. Zheng, Y., Nie, G., Fang, R., Yin, Q., Yi, W., Liu, J. (2012). Investigating of GLONASS performance in differential positioning. *Earth Science Informatics*, 5(3-4), 189-199.
31. 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(3), 149-157.
32. Piriz, R., Calle, D., Mozo, A., Navarro, P., Rodriguez, D., Tobias, G.G. (2009) Orbits and clocks for GLONASS precise-point-positioning. *Proceedings of ION GNSS-2009*, 2415-2424, Savannah, Georgia, USA, 22-25 September.
33. Cai, C., Gao, Y. (2013). Modelling and assessment of combined GPS/GLONASS precise point positioning. *GPS Solutions*, 17, 223-236.
34. Anquela, A.B., Martín, A., Berné, J.L., Padín, J. (2013) GPS+GLONASS Static and Kinematic PPP Results, A Case Study. *Journal of Surveying Engineering*, 139(1), 47-58.
35. Yigit, C.O., Gikas, V., Alcay, 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.
36. El-Mowafy, A. (2009). Alternative post-processing relative positioning approach based on precise point positioning. *Journal of Surveying Engineering*, 135(2), 56-65.
37. El-Mowafy, A. (2011). Analysis of Web-Based GNSS Post-Processing Services for Static and Kinematic Positioning Using Short Data Spans. *Survey Review*, 43(323), 535-549.
38. Kızıllarslan, M. (2014). GPS-PPP ve GPS/GLONASS-PPP Yöntemlerinin Konum Belirleme Performansının Değerlendirilmesi. *Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*.
39. Yiğit, C.Ö., Özdemir, B.N., Alçay, S., Ceylan, A. (2016). CSRS-PPP Yazılımının Uzun Dönemli GNSS Zaman Serilerinin Oluşturulmasında ve Nokta Hızlarının Kestirilmesinde Kullanılabilirliği. *Harita Dergisi*, 155, 23-31.