

AKÜ FEMÜBİD 21 (2021) 065503 (1377-1392)

AKU J. Sci. Eng. 21 (2021) 065503 (1377-1392)

DOI: 10.35414/akufemubid.1003382

Araştırma Makalesi / Research Article

GPS/Galileo PPP-AR ve PPP Yöntemlerinin Doğruluklarının Gözlem Süresi ve Uydu Kombinasyonları Açısından İncelenmesi

Barış KARADENİZ¹, Mert BEZCİOĞLU¹, Ömer Faruk BİLGİN², Cemal Özer YİĞİT¹¹Gebze Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Kocaeli.²Gebze Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Mezun Lisans Öğrencisi.

Sorumlu yazar e-posta: b.karadeniz@gtu.edu.tr
e-posta: mbezcioğlu@gtu.edu.tr
e-posta: omertfaruk0361@gmail.com
e-posta: cyigit@gtu.edu.tr

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-5093-5467>
ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-7179-8361>
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-7221-066X>
ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-1942-7667>

Geliş Tarihi: 01.10.2021

Kabul Tarihi: 10.12.2021

Öz

Anahtar kelimeler

GPS; Galileo; PPP;
PPP-AR; IGS; MGEX

Bu çalışmada farklı enlemlerde seçilen üç farklı Uluslararası GNSS Servisi (IGS) istasyonunun ardışık 15 günlük GPS/Galileo gözlem verileri kullanılmış, elde edilen bu gözlemler, hem geleneksel-PPP hem de PPP-AR teknikleri kullanılarak statik modda değerlendirilmiştir. Kısa ve uzun ölçü süresinin yöntemler üzerindeki etkisini değerlendirmek için, üç farklı istasyondan elde edilen gözlem dosyaları 0.75, 1, 1.5, 2, 3, 4 ve 24 saatlik verilere ayrılmış, Galileo uydu gözlemlerinin GPS uydu gözlemlerine katkısını incelemek için PPP ve PPP-AR yöntemleri sadece-GPS ve GPS/Galileo uydu kombinasyonları açısından da incelenmiştir. Sonuçlar gözlem sürelerinin artması ile PPP yönteminde konum doğruluğunun arttığını ve PPP-AR tekniğinde ise faz başlangıç belirsizliğinin yanlış değere sabitleme riskini azalttığını göstermiştir. Çalışmanın bulguları, PPP ve PPP-AR tekniklerinde Galileo uydu sisteminin GPS gözlemlerine dahil edilmesiyle konum doğruluğunun geliştiğini, PPP ve PPP-AR yöntemlerinin birbirleriyle karşılaştırıldıklarında ise PPP-AR yönteminin konum doğruluğunun genellikle tüm ölçü sürelerinde PPP yönteminden daha iyi çıktığı açıkça ifade edilmektedir.

Investigating the Accuracy of GPS/Galileo PPP-AR and PPP Methods In Terms of Observation Duration and Satellite Combinations

Abstract

Keywords

GPS; Galileo; PPP;
PPP-AR; IGS; MGEX

In this study, 15 consecutive days of GPS/Galileo observations of three different International GNSS Service (IGS) stations selected at different latitudes were used, and these observations were evaluated in static mode using both traditional-PPP and PPP-AR techniques. In order to evaluate the effect of short and long observation duration on discussed the methods, observation files obtained from three different stations were divided into 0.75, 1, 1.5, 2, 3, 4 and 24 hour data. In order to examine the contribution of Galileo satellite observations to GPS satellite observations, PPP and PPP-AR methods were also examined in terms of GPS-only and GPS/Galileo satellite combinations. The results showed that with the increase of the observation duration, the position accuracy increased in the PPP method and the risk of fixing wrong integer ambiguity in the PPP-AR technique was reduced. The findings of the study clearly state that in PPP and PPP-AR techniques, the inclusion of Galileo observations to GPS has improved the positioning accuracy, and when the PPP and PPP-AR methods are compared with each other, the horizontal positioning accuracy of the PPP-AR method is generally better than the PPP method at all observation periods.

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

1. Giriş

GNSS tekniği 20 yılı aşkın bir süredir konum belirlemeye gereksinim duyan birçok alanda kullanılmaktadır. Günümüzde konum belirleme

sistemlerinde yaşanan gelişmelerle beraber bu sistemler insan yaşamının birçok alanında kolaylık sağlamaktadır.

GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou gibi küresel ölçekte kullanıcılara hizmet veren uydu sistemlerine ek olarak, Quasi-Zenith Satellite System (QZSS) ve Indian Regional Navigation Satellite System (IRNSS) gibi bölgesel konum belirleme sistemlerinin kullanıma sunulması GNSS sistemlerini sürekli genişletmektedir. GNSS takım yıldızları içerisinde geniş kullanıcı kitlesine sahip ilk sistem, ABD savunma bakanlığı tarafından geliştirilen Navstar-GPS sistemidir (Yionoulis 1998, Lou *et al.* 2016). Tam kapasiteli çalışan ikinci küresel uydu sistemi olan GLONASS ise diğer mevkidaşları gibi askeri ve sivil kullanıcılara hizmet veren uydu tabanlı bir konum belirleme sistemidir (Hofmann *et al.* 2008, Li *et al.* 2014). Bu iki sisteminin ilk çıkış sebebi askeri amaçlı olup ilerleyen zamanlarda sivil kullanıma açılmıştır. Çıkış amacı tamamen sivil kullanımına yönelik olan ve Avrupa Birliği ve Avrupa Uzay Ajansı (ESA) tarafından geliştirilen Galileo takım yıldızı, arama-kurtarma ve güvenlik gibi hizmetler sunan uydu tabanlı küresel konum belirleme sistemidir (Neilan *et al.* 2013, Guo *et al.* 2017, Li *et al.* 2017). İlk kapsama alanı Asya Pasifik ve Çin Halk Cumhuriyeti bölgeleri olan ve Çin Halk Cumhuriyeti tarafından geliştirilen BeiDou uydu sistemi (BDS), günümüzde küresel ölçekte hizmet vermektedir (Hobiger and Jakowski 2017, Koca ve Ceylan 2018, Li *et al.* 2020). GNSS gözlemlerine bağlı olarak bir noktanın konumu mutlak veya bağıl yöntemle belirlenir. Bağıl yöntemde noktanın konumu, en az bir referans istasyonundan aynı uydulara eş zamanlı ölçüm yapılarak elde edilirken, mutlak konum belirlemede tek bir GNSS alıcısı ile noktanın konumu belirlenebilmektedir. Bağıl konum belirlemeye alternatif olarak ortaya çıkan PPP tekniği ise son yıllarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Aktif olarak çalışan GPS ve GLONASS sistemlerine, Galileo, BeiDou, QZSS ve SBAS gibi uydu sistemlerinin de eklenmesi neticesinde, IGS tarafından The Multi-GNSS Experiment (MGEX) projesi başlatılmıştır (Dow *et al.* 2009, Neilan *et al.* 2013, Montenbruck *et al.* 2014). MGEX projesi kapsamında aktif uydu sistemlerinin bir arada olduğu (çoklu-GNSS) hassas yörünge ve saat ürünleri ile faz ve kod kayıklığı (bias) ürünleri sağlanmıştır (Rizos *et al.* 2013). Bu

ürünlerin hassas bir şekilde sağlanması PPP tekniğinin konum belirleme performansını arttırmış ve birçok araştırmada kullanılmaya başlanmıştır. PPP yöntemi ile ilgili çalışmalar önceden sadece GPS uyduları ile yapılırken, ilerleyen zamanlarda GLONASS uyduları da eklenerek iki GNSS sistemin birlikte kullanılmasının katkısı araştırılmıştır. Cai and Gao (2007) tarafından 12 ve 3 saatlik oturumlar ile elde edilen GPS ve GLONASS gözlem verileri, sadece-GPS ve GPS/GLONASS uydu kombinasyonları ile PPP tekniği kullanılarak değerlendirilmiş ve kombinasyonların faz belirsizliği yakınsamasına ve konum doğruluğuna olan katkısı araştırılmıştır. Yapılan çalışmada GLONASS gözlemlerinin konum belirleme doğruluğunu arttırdığı, yakınsama süresinin ise uydu geometrisine bağlı olduğu sonucuna varılmıştır. Cai and Gao (2013) iyonosfer-bağımsız kombinasyona dayanan bir model geliştirerek, bu modeli GPS/GLONASS uydu kombinasyonlarına dayanan PPP yöntemi ile değerlendirmiş, bu modelin yakınsama süresi ve konum bilgisi doğruluğunu iyileştirdiğini öne sürmüşlerdir. Aynı dönemde Anquela vd. (2013) çift frekanslı GPS/GLONASS uydu kombinasyonuna dayanan PPP çözümlerini hem statik hem de kinematik modda sadece-GPS ve sadece-GLONASS çözümleri ile karşılaştırmıştır. Kinematik sonuçların GPS/GLONASS PPP de daha iyi doğruluk sağladığı, statik modda ise sadece GPS-PPP çözümlerinin GPS/GLONASS'a göre yakınsama zamanının daha iyi olduğunu ifade etmişlerdir. Yigit vd. (2014) sadece-GPS, sadece-GLONASS ve GPS/GLONASS uydu kombinasyonları ile sonradan-değerlendirme (post-process (PP)) PPP tekniğinin kısa ve uzun süreli ölçülerdeki performansını araştırmayı hedeflemiş, verilerini MagicGNSS yazılımı kullanılarak değerlendirmiştir. Kısa dönemli çözümlerde GPS/GLONASS PP-PPP yönteminin diğerlerine göre iyi olduğu, fakat uzun dönemli çözümlerde üç yöntemde birbiri ile benzer sonuçlar verdiğini öne sürmüşlerdir. Yigit vd. (2016) farklı enlemlerde 3 farklı IGS istasyonundan alınan gözlem verileri ile sadece GPS-PPP ve GPS/GLONASS-PPP yöntemini web tabanlı CSRS-PPP yazılımı kullanarak ölçü süresine bağlı olarak değerlendirmiştir. GPS/GLONASS-PPP

yönteminin sadece-GPS PPP yöntemine göre kısa ölçü sürelerinde daha yüksek duyarlıklı sonuçlar verdiğini ifade etmişlerdir. IGS' in yürüttüğü MGEX projesi dâhilinde çeşitli analiz merkezleri PPP yönteminde gerekli parametreler olan hassas uydu yörünge ve saat ürünlerini Galileo ve BDS GNSS sistemleri için sağlamıştır (Hackel *et al.* 2013, Zhao *et al.* 2013). BDS sistemindeki hızlı gelişmeler neticesinde Ge vd. (2012) hem statik hem de kinematik BDS-PPP yöntemini değerlendirmiştir. Bu yöntemler ile sağa, yukarı ve yükseklik bileşenlerinde santimetre seviyesinde doğruluk elde edilebileceği, ayrıca gözlem süresinin artması ile konum doğruluğunun daha iyi olduğu belirtilmiştir. BDS gözlemlerinin diğer uydularla kombinasyonun araştırılması için Li vd. (2014) BeiDou gözlemleri toplama yeteneğine sahip istasyonlardan elde edilen gözlem verileri ile BeiDou ve BeiDou/GPS uydu kombinasyonlarına sahip statik ve kinematik-PPP yöntemlerini PANDA yazılımı ile değerlendirmiştir. Çalışmada BeiDou ile elde edilen konum bilgilerinin statik ve kinematik modda santimetre seviyesinde olduğu, BeiDou/GPS gözlemlerine dayanan kinematik-PPP çözümlerinin sadece-GPS ve sadece-BeiDou kombinasyonlarına göre konum doğruluğunun daha iyi olduğunu göstermişlerdir. Ayrıca PPP çözümünde BeiDou/GPS uydu kombinasyonunun yakınsama süresini azaltmıştır. Bununla birlikte, GPS, GLONASS, Galileo ve BeiDou uydu sistemlerinin analiz merkezleri tarafından üretilen MGEX ürünleri ile çoklu-GNSS çift ve tek frekanslı PPP teknikleri de analiz edilmiştir (Lou *et al.* 2016). Çift frekanslı Çoklu-GNSS PPP ve tek frekanslı PPP yöntemlerinin sadece-GPS sonuçlarıyla karşılaştırıldığında yakınsama süresinde önemli bir iyileşme olduğu, konum bilgisi doğruluğunda önemli bir gelişme olmadığı görülmüştür. Xia vd. (2019) çoklu-GNSS PPP tekniğine Galileo uydu sisteminin katkısını ve sadece-Galileo PPP yönteminin performansını değerlendirmiştir. Bu çalışma ile Galileo uydu sisteminin GPS/GLONASS kombinasyonlarına dahil edilmesi ile yakınsama süresinin azaldığı ifade edilmiştir. Buna ek olarak, GPS/Galileo PPP yönteminin sadece-GPS PPP ile karşılaştırılması sonucunda kinematik modda elde edilen koordinat bilgilerinin doğruluğunun arttığı,

fakat statik modda önemli bir değişime sebep olmadığı belirtilmiştir.

Yaklaşık 20 yıldır uydu sayılarındaki artış ve uydu sistemlerindeki gelişmeler, ayrıca üretilen hassas ürünler ve geliştirilen algoritmalarla birlikte PPP yöntemi kapsamında yapılan çalışmalar artmış ve bu teknikte santimetre seviyesinde konum bilgisi doğruluğuna ulaşılmıştır (Gao 2006, Kouba and Héroux 2001, Bulbul *et al.* 2021). PPP yönteminin doğası gereği konum doğruluğunun santimetre seviyesine ulaşması için ölçü süresinin yeteri uzunlukta olması gereklidir (Choy *et al.* 2017). Bu süre uydu dağılımı, uydu sayısı ve kombinasyonu, sinyal kalitesi, çevresel faktörler ve kullanılan ürün doğruluğu ile ilişkili değişiklik gösterebilmektedir. PPP yönteminin aksine, PPP-AR yönteminde başlangıç tam sayı belirsizliği kesirli olarak değil tam sayı olarak çözülmektedir. PPP-AR yönteminin geliştirilmesi ile yakınsama süresi ve konum doğruluğunun uydu kombinasyonları açısından incelenmesi ile ilgili çalışmalar da güncel literatüre dahil olmaya başlamıştır. Li vd. (2017) statik ve kinematik-PPP/PPP-AR yöntemlerini, GPS ve BDS gözlemleri ile yakınsama süresi ve konum doğruluğu açısından karşılaştırmış, GPS/BDS PPP-AR yönteminin sadece-GPS PPP-AR ve sadece-BDS PPP-AR yöntemlerinden yakınsama süresi ve konum doğruluğu açısından daha iyi olduğunu sonucuna varmışlardır. Li vd. (2018) GPS, GLONASS, Galileo ve BDS uydu gözlemleri kullanılarak çoklu-GNSS PPP-AR yöntemini tekli ve ikili uydu kombinasyonlarına sahip PPP-AR yöntemi ile kıyaslamıştır. Tüm koordinat bileşenlerinde ilk sabitleme zamanının (Time to first fix) ve en yüksek konumsal doğruluğun çoklu-GNSS PPP-AR çözümüyle sağlandığı sonucuna varıldığını ifade etmişlerdir. Geng vd. (2020) PPP-AR çözümlerinde tam sayı belirsizliğinin ne kadar hızlı elde edilebileceğini araştırmak için GPS, BeiDou, Galileo ve QZSS uydu sistemleri ile üçlü frekans verilerini kullanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre üçlü frekans PPP-AR çözümüne ne kadar fazla uydu sayısı eklenirse tam sayı belirsizliğinin çözülme süresinin kısaldığı gözlemlenmiştir. Katsigianni vd. (2019) sadece-GPS, sadece-Galileo ve çoklu-GNSS uydu

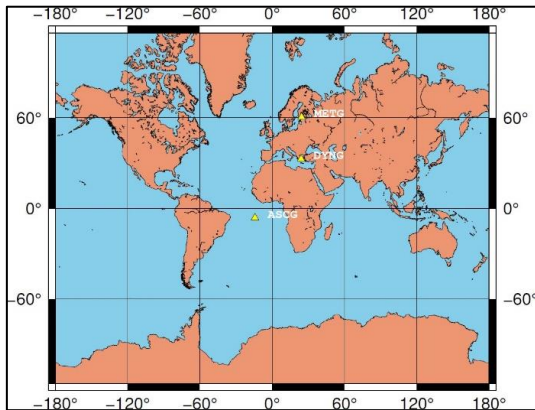
kombinasyonlarının kinematik PPP ve PPP-AR tekniklerinin performansını değerlendirmişlerdir. Çalışmada sadece-GPS ve sadece-Galileo konum doğruluğunun aynı seviyede olduğu ancak GPS uydu sistemine Galileo sisteminin dahil edilmesiyle PPP ve PPP-AR yöntemleri ile elde edilecek konum bilgisi doğruluğunu arttırılabileceği ifade edilmiştir. Psychas vd. (2020) farklı uydu ve frekans kombinasyonlarının konum bilgisi ve belirsizlik çözümüne olan etkisini analiz etmiştir. Çalışmada frekans sayısındaki artışın konum bilgisi ve tam sayı belirsizliği çözümünü iyileştirdiği ifade edilmiştir.

Bu çalışmada 3 farklı enlemde bulunan GPS ve Galileo uydu gözlem verileri toplayan IGS istasyonlarının 30 saniyelik verileri kullanılarak, farklı uydu kombinasyonları ile Net_diff yazılımında statik modda PPP ve PPP-AR çözümü yapılmıştır. PPP ve PPP-AR yöntemlerinin verdiği sonuçlar farklı uydu kombinasyonları kullanılarak çoklu-GNSS sisteminin çözüme katkısı incelenmiştir. Ayrıca PPP ve PPP-AR yöntemlerinin statik modda performansları farklı ölçü süresi açısından da karşılaştırılmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1 Materyal

PPP ve PPP-AR yöntemlerinin konum belirleme doğruluklarını karşılaştırmak ve test etmek amacıyla çift frekanslı GPS ve Galileo verilerini toplayabilen üç farklı enlemde bulunan ASCG, DYNG, METG isimli IGS istasyonları seçilmiştir (Şekil 1).



Şekil 1. Çalışmada kullanılan IGS istasyonlar

ASCG noktası düşük enlemde ve ekvatora yakın, DYNG noktası orta enlemde ve METG noktası yüksek enlemde ve kuzey kutbuna yakındır. Farklı istasyonlar seçilmesindeki temel sebep farklı uydu görünürlük ve çevresel şartlardaki GNSS alıcılarının gözlemlerinin incelenmesidir. Seçilen IGS istasyonları hakkında temel bilgiler ve coğrafi koordinatları sırasıyla Çizelge 1 ve Çizelge 2’de verilmiştir. Yapılan çalışmada, 01/05/2020 (122’nci GPS günü ve 2103 GPS haftası) tarihinden başlayarak 15/05/2020 (136’nci GPS günü ve 2105 GPS haftası) tarihine kadar 15 günlük bir veri seti statik modda PPP ve PPP-AR yöntemleri ile incelenmiştir. Bu tarihin seçilmesinin nedeni CDDIS (The Crustal Dynamics Data Information System) arşivinde RINEX verisi doluluk oranının %100 olmasıdır. Çalışmada belirtilen zaman dilimindeki tüm GNSS veri setleri CDDIS’ in web sayfasından indirilmiştir (Int Kyn. 2). Uydu kombinasyonları ile statik olarak yapılan PPP ve PPP-AR yöntemlerinde uydu sistemlerinin konum belirleme duyarlılığına etkisini görebilmek için RINEX verileri 0.75, 1, 1.5, 2, 3, 4 ve 24 saatlik zaman dilimlerine bölünmüştür. Farklı ölçü sürelerindeki RINEX dosyalarının başlangıç zamanı UTC (Coordinated Universal Time) ye göre 00.00.00 seçilmiştir. Örneğin, 0.75 saatlik dosyanın başlangıç zamanı 00.00.00 ile 00.45.00 aralığında iken, 1.5 saatlik dosyanın başlangıç zamanı yine 00.00.00 olup bitiş zamanı 01.30.00 dir.

2.2 Yöntem

2.2.1. Net_Diff Yazılımı

Net_Diff, IGS ve diğer sunuculardan GNSS gözlem veri ve ürünlerinin indirilebildiği, ayrıca konumlandırma ve analizin yapılabildiği bir yazılımdır. Dr. Yize Zhang tarafından geliştirilmiş bir yazılım olup, kullanıcıların PPP, PPP-AR, RTK (Real Time Kinematic), PPP-RTK gibi konum belirleme yöntemleriyle GNSS verilerini işleyebilmesine imkan vermektedir. Hali hazırda bulunan küresel çapta aktif 4 GNSS (GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou) uydu sistemi ve bölgesel bazda QZSS, IRNSS’ in tüm sinyallerini tek, çift ve üçlü frekansa kadar desteklemektedir (Int Kyn. 1). Konumlandırma kısmında yapılan işlemler

sonrasında herhangi bir ek yazılıma gerek duymadan noktaya ait ECEF(Earth-Centered Earth-Fixed) koordinat sisteminde ve ITRF-2014 (International Terrestrial Reference Frame-) datumunda üç koordinat bileşeninin konum-zaman grafiğini, noktaya ait karesel ortalama hata(KOH), standart sapma(STD) gibi istatistiksel parametrelerini vermektedir. Ayrıca uydu sayısı, uydu görünürlükleri, uyduların gökyüzündeki dağılımı gibi birçok bilgiyi görsel olarak sağlamaktadır.

Çizelge 1. Deneylerde kullanılan IGS istasyonları hakkında temel bilgiler.

IGS Noktaları	Alıcı Tipi	Anten Tipi	Uydu Sistemleri	Bulunduğu Şehir/Ülke
ASCG	TRIMBLE ALLOY	TRM59800.00 NONE	GPS/GLONAS GALILEO/BDS	Ascension Island/ Saint Helena
DYNG	TRIMBLE NETR9	TRM59800.00 NONE	GPS/GLONAS GALILEO/BDS	Dionysos/Yunanistan
METG	SEPT POLARX5	TRM59800.00 SCIS	GPS/GLONAS GALILEO/BDS	Metsahovi/Finlandiya

Sürekli gözlem yapan 3 IGS istasyonuna ait bulunduğu şehir ve ülke, alıcı tipi, anten tipi ve gözlem yapılan uydu sistemlerini içerir.

Çizelge 2. IGS istasyonlarının coğrafi koordinatları

IGS Noktaları	λ°	Φ°	h (m)
ASCG	-14.332665	-7.9162810	37.953
DYNG	23.932433	38.0785528	510.600
METG	24.384175	60.2419667	59.700

Sürekli gözlem yapan 3 IGS istasyonuna ait enlem, boylam ve elipsoidal yükseklik bilgileri içerir.

15 günlük veri setleri statik modda PPP ve PPP-AR çözümü için Net_Diff programında gözlem verisi, ilgili saat (.clk), yörünge (.sp3) ve bias (.bia) dosyaları programa okutulup ilgili parametre ayarları yapılarak farklı uydu kombinasyonları seçilerek prosesler yapılmıştır. Ayrıca okyanusa kıyısı olan ve okyanus yüklemesinden kaynaklı yer değiştirmelerin sebep olduğu hatalar, kullanılan program tarafından FES2004 okyanus gel-git modeli kullanılarak oluşturulan "tide.txt" dosyası çözümlerde dikkate alınmıştır. Çıktı olarak noktaların üç konum bileşenine ait istatistiksel değerleri ve hataları kaydedilmiştir. Ayrıca analiz kısmında proses esnasında görünür uydu sayısı, uyduların gökyüzündeki dağılımları, ilk fix olma zamanı (TTFF) ve proses boyunca fix olma oranı gibi değerlendirme sonuçları çıkarılmıştır. Elde edilen sonuçların konum doğrulukları hesaplanması için referans olarak 15 günlük GPS/Galileo Statik PPP-AR ve PPP çözümleri ile elde edilen koordinatların ortalaması

2.2.2. Değerlendirme İşlemleri ve Konum Duyarlılıklarının Hesaplanması

Çalışmada seçilen üç IGS noktasına ait RINEX veri setleriyle beraber o güne ait GFZ (Geo Forschungs Zentrum Potsdam) merkezinin ürettiği hassas yörünge ve saat ürünü ile kod ve faz kayıklığı ürünlerini internet servisinden indirilerek değerlendirme işlemine geçilmiştir (Int Kyn. 2).

hesaplanmıştır. PPP-AR ve PPP sonuçlarının birbirleriyle çok iyi örtüştüğü ve CDDIS tarafından sağlanan ilgili zamandaki haftalık SINEX (Solution Independent Exchange) formatında bulunan koordinatlarla uyumlu olduğu görülmüştür. Bu çalışmanın ana hedefi Galileo uydularının GPS uydularına katkısının ve PPP-AR tekniğinin PPP tekniğine göre avantajlarının ölçü süresine bağlı incelenmesi olduğu için 15 günlük 24 saatlik GPS/Galileo PPP-AR sonuçlarından hesaplanan ortalama değeri referans kabul edilmiştir. Referans koordinatlar ve her bir ölçü süresine ait elde edilen koordinatlar kullanılarak X, Y, Z yer merkezli Kartezyen sisteminden, Doğu (E), Kuzey (N), Yükseklik (U) bileşenleri ile ifade edilen toposentrik kartezyen sistemine dönüşüm gerçekleştirilmiştir (Yigit vd. 2016).

3. Bulgular ve Tartışma

Bu çalışmada 3 farklı IGS istasyonuna ait GPS ve Galileo gözlem verilerini kullanarak noktaların konum duyarlılığı açısından PPP ve PPP-AR yöntemleri karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. 15 günlük veriler her gün için ayrı ayrı 0.75, 1, 1.5, 2, 3, 4 ve 24 saatlik veri setlerine ayrılarak toplam 105 veri grubunu kullanarak Statik PPP-AR ve PPP yöntemleri ile değerlendirme sonucu istatistiksel

hesaplamalar yapılmıştır. Bu hesaplamalar 3 IGS istasyonun hem yatay hem de düşey konum bileşenlerine uygulanmıştır. Hesaplamalarda noktalara ait Kuzey, Doğu ve Yükseklik bileşenlerinin KOH değerleri elde edilmiştir. PPP ve PPP-AR yöntemleri ile hem GPS hem de GPS/Galileo uydu kombinasyonlarını değerlendirme aşamasında Çizelge 3' de Net_Diff yazılımında kullanılan hassas yörünge ve saat ürünleri, kod ve faz kayıklığı (bias), örnekleme aralığı gibi bazı parametreler ve değişkenler gösterilmiştir. Yazılımda PPP-AR yöntemi ile değerlendirme yaparken hangi analiz merkezi seçilmişse kullanılan kod ve faz kayıklığı (bias) ürünü o analiz merkezinin ürettiği bias dosyası olmalıdır. Bu nedenle proses süreci boyunca Net_Diff v 1.12 kullanıldığı için CNES, WHU ve JAXA analiz merkezlerinden CNES analiz merkezi seçilip bu merkezin ürettiği ürünler ile Statik PPP-AR ve PPP çözümleri yapılmıştır. Net_Diff v 1.14 yeni çıkan versiyonu ile birlikte daha fazla analiz merkezinin ürettiği ürünler ile PPP-AR yöntemini desteklemektedir. Net_Diff yazılımında yapılan prosesler ile 3 IGS istasyonuna ait her bir noktanın Kuzey, Doğu ve Yükseklik bileşeninin KOH değerleri, belirtilen gözlem sürelerince ayrı ayrı hesaplanmış ve sonuçları Şekil 2'den başlayarak Şekil 10 aralığında gösterilmiştir. İstatistiksel hesaplamalarda her güne ait toplamda 15 günlük 0.75, 1, 1.5, 2, 3, 4 ve 24 saatlik periyotlarla KOH değerleri hesaplanmıştır. Fakat istatistiksel analizler yapılırken tüm gözlem sürelerinde ve tüm eşik değerinin üstündeki günlere ait sonuçlar KOH hesaplamalarına dahil edilmemiştir. Bu çalışmada yatay koordinat bileşenleri için eşik değer 4 cm, düşey bileşen için 8 cm seçilmiştir. Örneğin ASCG ve METG noktasında 0.75 ve 1 saatlik sonuçlarda birkaç gün eşik değeri üzerinde çıkarken, DYNG noktasında hem PPP hem de PPP-AR çözümlerinde eşik değer üzerinde bir sonuç çıkmamıştır. PPP yönteminin kısa zamanlı ölçülerde bazı günlerde eşik değerinin üzerinde değerlerin çıkması, faz başlangıç belirsizliğinin gerçek değere yakınsaması için daha uzun ölçü süresine ihtiyaç duymasından, o güne ait uydu sinyal kalitesi, atmosferik koşullar ve kullanılan ürünün doğruluğundan kaynaklanmaktadır. PPP de sıralanan benzer

sebeplerin yanı sıra, PPP-AR çözümünde ise kısa zamanlı ölçülerde eşik değerinin üzerinde değerlerin çıkması faz başlangıç değerinin bazen yanlış sabitlenmesinden (fix) kaynaklanmaktadır.

ASCG noktasının Kuzey bileşenine ait GPS ve GPS/Galileo uydu kombinasyonu gözlem verileri kullanılarak farklı gözlem sürelerindeki PPP ve PPP-AR çözümlerinden hesaplanan KOH değerleri birbiriyle kıyaslandığında, her iki yöntemden elde edilen çözümlerde, GPS gözlemlerine Galileo uydu gözlemlerinin eklenmesi ile beraber genelde KOH değerlerinin düştüğü böylece ölçülerin koordinat duyarlılığının arttığı görülmüştür. 4 saatlik ve 24 saatlik ölçü süresinde PPP çözümlerinde Galileo nun katkısı belirgin olarak gözükmezken, PPP-AR çözümlerinde tüm ölçü sürelerinde bu katkı görülmektedir. Ayrıca aynı gözlem sürelerinde PPP-AR çözümlerinden hesaplanan KOH değerlerinin PPP çözümlerden hesaplanana göre daha düşük olduğunu ve böylelikle noktanın konum duyarlılığının daha iyi olduğu anlaşılmaktadır. 0.75 saatlik kısa süreli ölçülerde PPP-AR' ın, PPP çözüme göre GPS ve GPS/Galileo uydu kombinasyonlarında, KOH değerlerinin anlamlı derecede düşük olması, kısa ölçü süresinde daha yüksek doğruluklu konum elde edilebildiğini göstermektedir. Bu noktaya ait Kuzey bileşeninin GPS gözlemleri ile PPP çözümlerinde 2.6 mm ile 12.2 mm arasında, PPP-AR çözümlerinde 3.0 mm ile 11.6 mm arasında değiştiği, GPS/Galileo gözlemleri ile PPP çözümlerinde 3.0 mm ile 10.3 mm arasında, PPP-AR çözümlerinde ise 2.4 mm ile 7.7 mm arasında değiştiği gözlemlenmiştir. Benzer sonuçlar ASCG noktasının Doğu bileşeninde de görülmektedir. Şekil 3'de görüldüğü gibi GPS gözlemlerine Galileo uydu gözlemlerinin eklenmesi sonucu koordinat duyarlılığının arttığı, PPP yöntemi ile elde edilen çözümlerde KOH değerlerinin PPP-AR yöntemine göre daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Kısa zamanlı gözlemlerde PPP-AR yönteminin PPP'ye göre koordinat duyarlılığını iyileştirdiği görülmüştür. Bu noktaya ait Doğu bileşeninin GPS gözlemleri ile PPP çözümlerinde 3.6 mm ile 22.3 mm arasında, PPP-AR çözümlerinde 5.8 mm ile 14.3 mm arasında değişmiştir. Bununla birlikte

GPS/Galileo gözlemleri ile PPP çözümlerinde 2.5 mm ile 20.5 mm arasında, PPP-AR çözümlerinde ise 3.6 mm ile 9.0 mm arasında değiştiği gözlemlenmiştir. ASCG noktasının Yükseklik bileşeni incelendiğinde, Yükseklik bileşeninin ölçü süresinin artması ile GPS ve GPS/Galileo uydu gözlemlerine ait ölçülerin koordinat duyarlılığı, hem PPP-AR hem de PPP tekniğinde benzer şekilde iyileşmeler göstermiştir. Yatay bileşendeki sonuçlara benzer şekilde, Galileo uydu gözlemlerinin GPS' e dahil olması PPP-AR ve PPP sonuçlarını iyileştirmiştir. Fakat, yatay bileşende PPP-AR sonuçları, PPP sonuçlarına göre konum doğruluğu daha yüksek iken, yükseklik bileşeninde

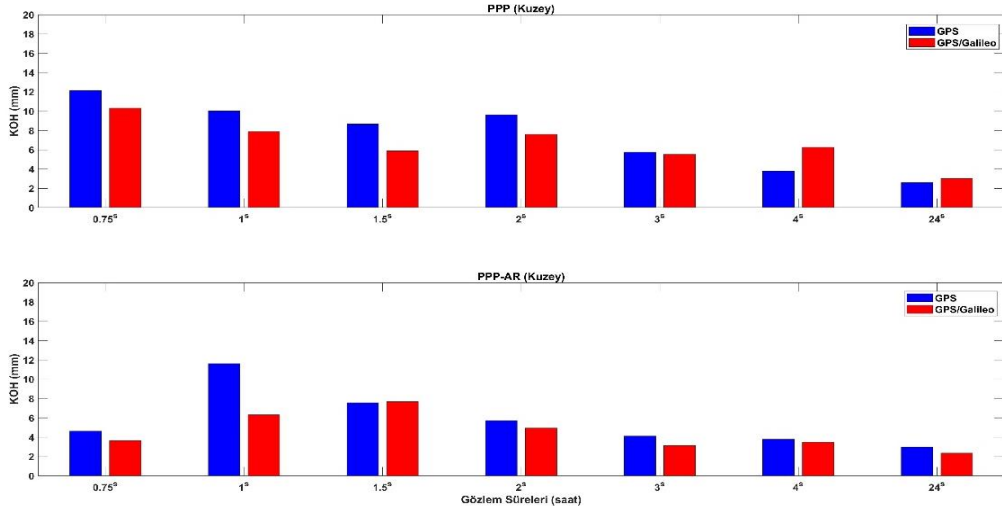
Çizelge 3. PPP ve PPP-AR yöntemleri için uygulanan parametre ve değişkenler.

Yazılım	Net_Diff v1.12 (Int Kyn. 1)
Veri (GNSS, Frekans)	GPS(L1, L2, L5), Galileo(E1, E5a, E5b, E5)
Konulandırma Durumu	S (Statik)
Konulandırma Modu	SPP/PPP and PPP-AR
Saat ve uydu yörünge ürünleri için Analiz Merkezi	CNES *
Uydu yörünge ve Saat Ürünü	GBM Final ürünleri
Kod ve Faz kayıklığı (bias)	GBM Final ürünü *
Örnekleme Aralığı (s)	30 s
Yükseklik Açısı	10°
Troposferik Model	GPT2_5w+SAAS+VMF1
Islak Zenit Gecikmesi (s)	7200
ISB(inter-system bias)	✓ (Random Walk)
Frekans	L1+L2
Gözlemler	Pseudorange + Carrier phase
Frekanslar Arası Kombinasyon	IF(Iono-Free) (Çift Frekanslı SPP/PPP) P1P2 *
Faz sıçrama Methodu	DD or GF+MW
Gözlemlerin stokastik Modeli	Ele(a+b/sind(Ele))
Proses Modu	Forward
Mod *	Long Baseline (Dual/Triple)
AR Mod *	Continuous
Kısmi AR *	Data Driven Par AR
Oran *	1.5

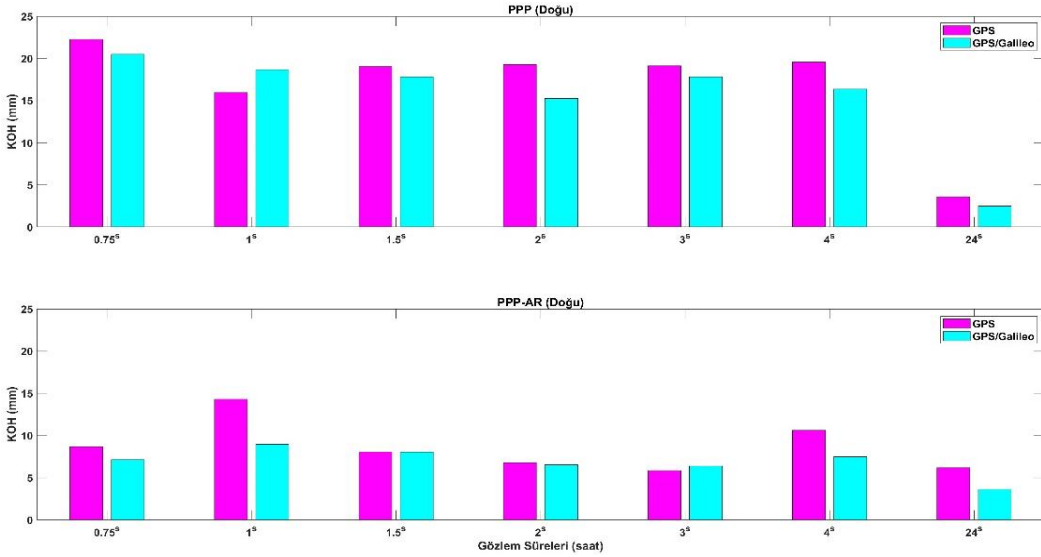
PPP-AR yöntemi için sadece gerekli parametre ve değişkenler yukarıda * ile gösterilmiştir.

Sonuç olarak ASCG noktasına ait üç bileşende de gözlem sürelerinin artmasıyla konum duyarlılığının iyileştiği görülmüştür. Bu noktaya ait hem yatay konum bileşenleri hem de düşey bileşenin Galileo uydu gözlemlerinin eklenmesi ile sadece-GPS' e göre iyileştiği görülmüştür. ASCG noktasının KOH değerlerinin, belirlenen eşik değer üzerindeki hata değerleri GPS' e kıyasla GPS/Galileo' nun

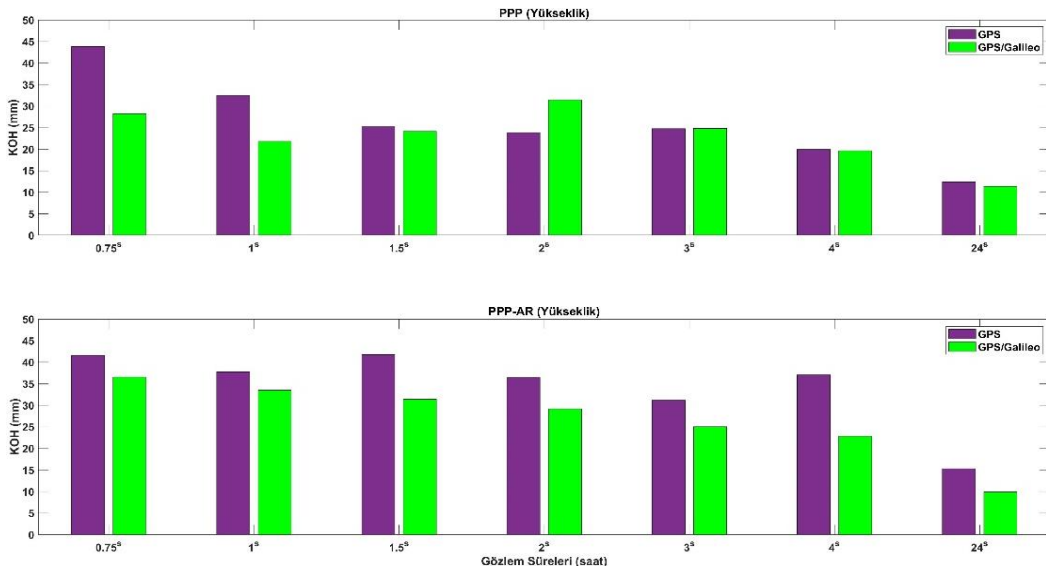
daha az olduğu ayrıca PPP-AR çözümlerinin 0.75 ve 1 saatlik kısa zamanlı ölçülerde eşik değer üzerinde KOH değerlerinin çıktığı fakat uzun zamanlı çözümlerde olmadığı görülmüştür. Şekil 5'de DYNG noktasının Kuzey bileşenine ait GPS ve GPS/Galileo uydu kombinasyonu gözlem verileri kullanılarak farklı gözlem sürelerindeki PPP ve PPP-AR çözümlerinden hesaplanan KOH değerleri birbiriyle kıyaslandığında, hem PPP hem de PPP-AR çözümünden, GPS gözlemlerine Galileo uydu gözlemlerinin eklenmesi ile beraber genelde koordinat duyarlılığının arttığı görülmüştür. GPS/Galileo ile yapılan PPP-AR çözümlerinde 0.75 saatlik ve 1.5 saatlik ölçü süresinde GPS ile yapılan çözümlere kıyasla mm seviyesinin altında bir artışın olduğu bu artışın istatistiksel olarak anlamlı olmadığı gözlemlenmiştir. Ayrıca aynı gözlem sürelerinde PPP-AR çözümlerden elde edilen sonuçlar ile hesaplanan KOH değerlerinin PPP çözümlerden hesaplanana göre konum duyarlılığının daha iyi olduğu anlaşılmaktadır. Bu durum GPS ve GPS/Galileo uydu kombinasyonları için geçerlidir. Bu noktaya ait Kuzey bileşeninin GPS gözlemleri ile PPP çözümlerinde 3.3 mm ile 15.8 mm arasında, PPP-AR çözümlerinde 2.4 mm ile 3.9 mm arasında değişmiştir. Bununla birlikte GPS/Galileo gözlemleri ile PPP çözümlerinde 2.1 mm ile 13.7 mm arasında, PPP-AR çözümlerinde 1.7 mm ile 2.9 mm arasında değiştiği gözlemlenmiştir. DYNG noktasının Kuzey bileşenindeki benzer durumlar Doğu bileşeninde de görülmektedir. GPS gözlemlerine Galileo uydu gözlemlerinin eklenmesi özellikle PPP sonuçlarını iyileştirmiştir. Bazı gözlem sürelerinde sadece-GPS gözlemlerinin PPP-AR çözümlerinde GPS/Galileo gözlemlerine göre düşük olduğu görülse de bu farkların genellikle mm altında olduğu görülmüştür. Bu farkın oluşmasında gözlem dosyasında bulunan kod ve faz gözlemlerinin, CNES analiz merkezinin ürettiği kod ve faz kayıklığı(bias) dosyasında bulunan faz ve kod ölçülerine getirilen düzeltmelerin bulunmadığı ya da Galileo uydularından gelen sinyallerde faz ölçülerinin gözlem dosyasında bulunmamasından kaynaklı olduğu düşünülmektedir. Buda PPP yöntemine kıyasla PPP-AR yönteminde aynı uydu kombinasyonunda görünür uydu sayısının daha



Şekil 2. ASCG noktasının Kuzey bileşeninin tüm gözlem sürelerine ait KOH değerleri.



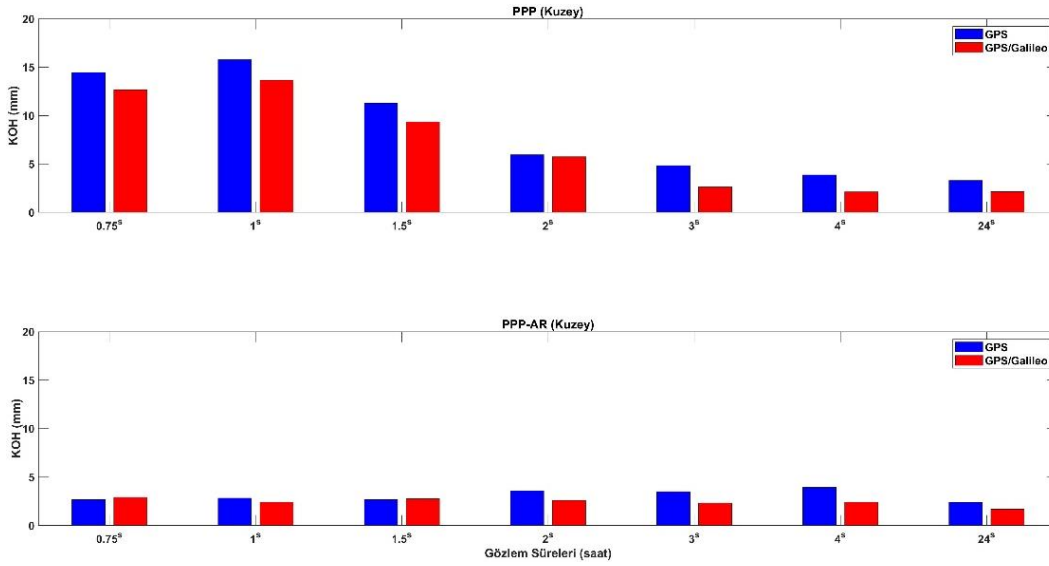
Şekil 3. ASCG noktasının Doğu bileşeninin tüm gözlem sürelerine ait KOH değerleri.



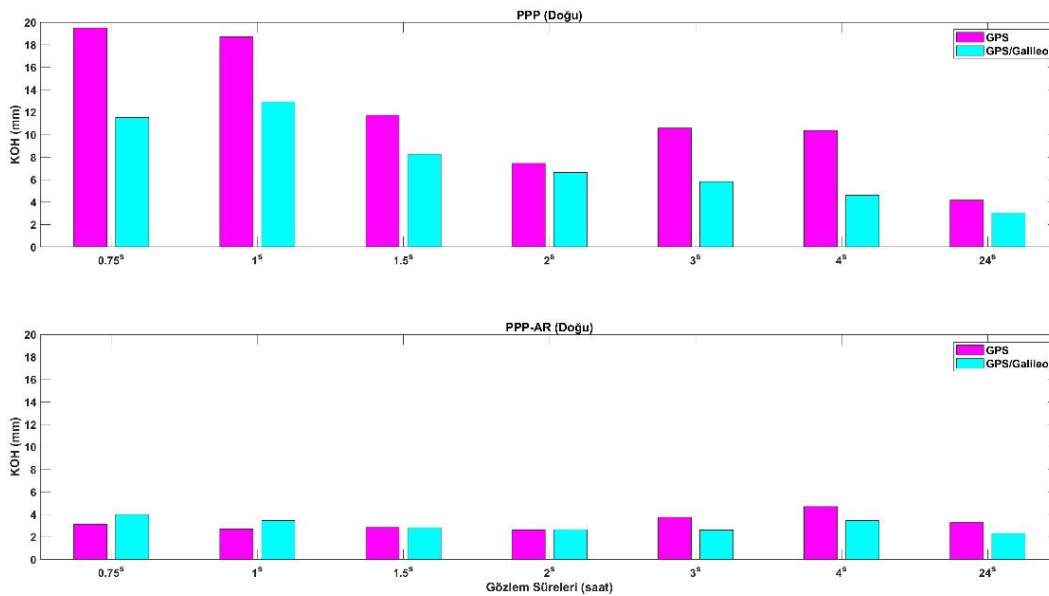
Şekil 4. ASCG noktasının Yükseklik bileşeninin tüm gözlem sürelerine ait KOH değerleri.

düşük olduğu anlamına gelmektedir. Bu detaya ilişkin bilgiler ilerleyen kısımda ayrıca incelenmiştir. Ayrıca PPP-AR çözümlerinden elde edilen koordinat doğruluğunun özellikle kısa zamanlı ölçülerde PPP yöntemine göre anlamlı bir şekilde daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Bu noktada, ölçü süresinin PPP-AR sonuçlarında bir etkisi görülmemiş genellikle benzer doğrulukta sonuçlara ulaşıldığı görülmüştür. Bu noktaya ait Doğu bileşeninin GPS gözlemleri ile PPP çözümlerinde 4.2 mm ile 19.5 mm arasında, PPP-AR çözümlerinde 2.6 mm ile 4.7 mm arasında değiştiği, GPS/Galileo gözlemleri ile PPP çözümlerinde 3.0 mm ile 12.9 mm arasında, PPP-

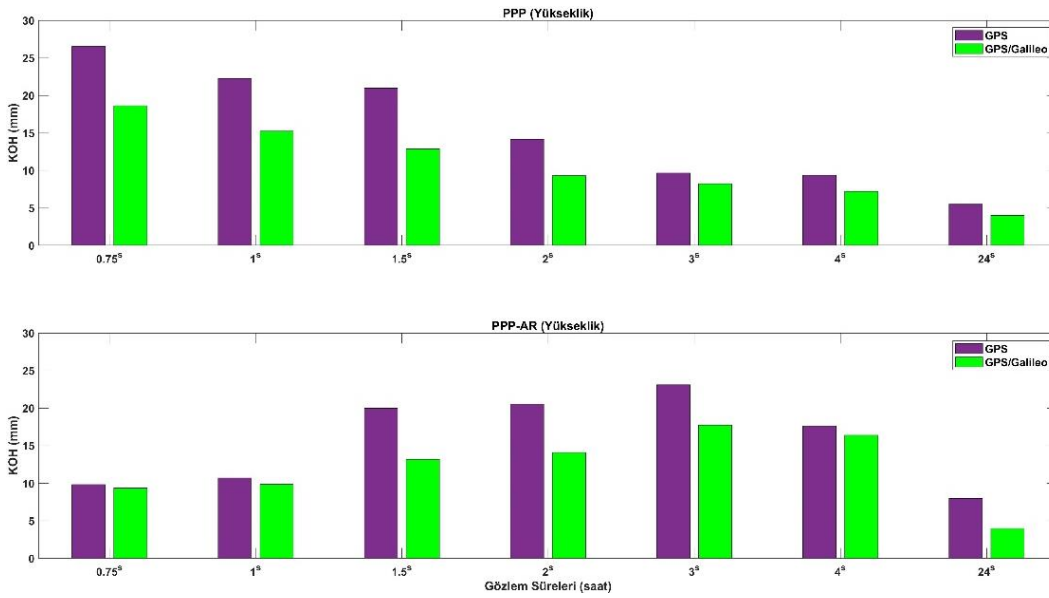
AR çözümlerinde 2.3 mm ile 4.0 mm arasında değişmektedir. DYNG noktasının Yükseklik bileşeninin duyarlılığı, ölçü süresinin artması ile hem GPS hem de GPS/Galileo uydu gözlemlerine ait ölçülerin PPP yönteminde iyileştiği gözlemlenirken, PPP-AR yönteminde bu durum farklılık göstermiştir. Galileo uydu gözlemlerinin GPS gözlemlerine eklenmesi PPP ve PPP-AR sonuçlarını konum doğruluğu açısından iyileştirmiştir. PPP-AR tekniğinin PPP tekniğine kıyasla bu noktaya ait Yükseklik bileşeninin doğruluğunu kısa zamanlı ölçülerde iyileştirdiğini ancak uzun zamanlı gözlemlerde katkı sağlamadığı gözlemlenmiştir. Noktanın yükseklik bileşeninin GPS



Şekil 5. DYNG noktasının Kuzey bileşeninin tüm gözlem sürelerine ait KOH değerleri.



Şekil 6. DYNG noktasının Doğu bileşeninin tüm gözlem sürelerine ait KOH değerleri.



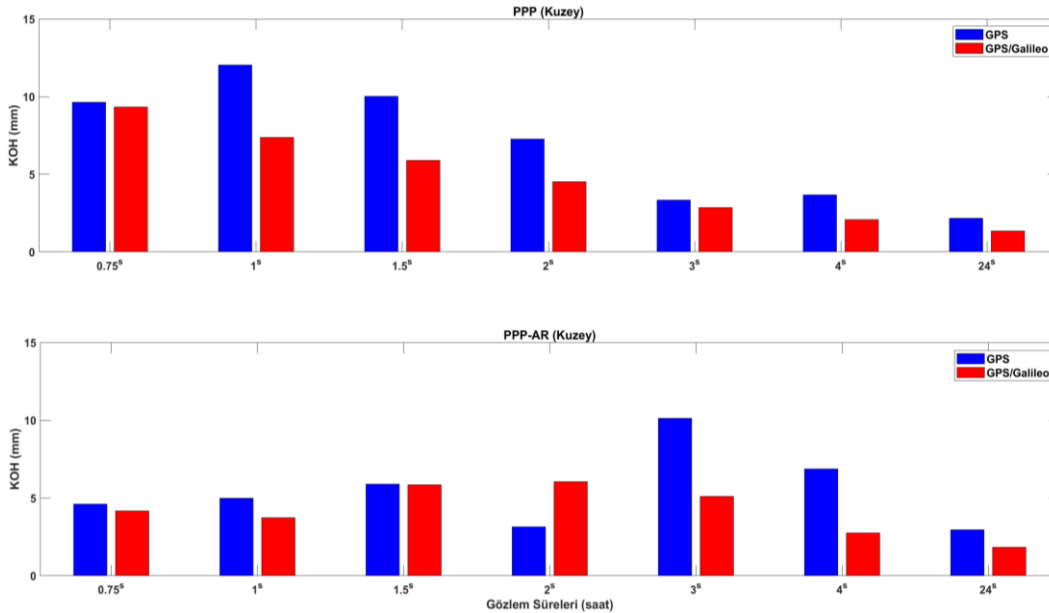
Şekil 7. DYNG noktasının Yükseklik bileşeninin tüm gözlem sürelerine ait KOH değerleri.

gözlemleri ile PPP çözümlerinde KOH değerleri 7.6 mm ile 40.2 mm arasında, PPP-AR çözümlerinde 5.3 mm ile 34.1 mm arasında değişmiştir. Bununla birlikte GPS/Galileo gözlemleri ile PPP çözümlerinde KOH değerleri 6.1 mm ile 30.6 mm arasında, PPP-AR çözümlerinde 4.0 mm ile 26.4 mm arasında değişmiştir. Sonuç olarak DYNG noktasına ait üç bileşende de PPP çözümünden elde edilen konum duyarlılıklarının gözlem sürelerinin artmasıyla iyileştiği görülmüştür. PPP-AR yönteminden elde edilen sonuçların ise yatay olarak Kuzey ve Doğu bileşenlerinde PPP'ye göre konumsal duyarlılığını arttırdığı gözlemlenmiştir. Fakat Yükseklik bileşeninde PPP-AR'ın kısa ölçü süresi haricinde bir katkısı gözlemlenmemiştir. Bu noktanın KOH değerlerinin, belirlenen eşik değer üzerinde hata GPS' e kıyasla GPS/Galileo' nun daha az olduğu görülmüştür. Ayrıca PPP-AR çözümlerinin PPP yöntemine kıyasla, eşik değeri üzerinde KOH değerlerinin sadece-GPS PPP-AR çözümünde 0.75 saatlik ölçülerde olduğu gözlemlenmiştir. Şekil 8'de METG noktasının Kuzey bileşenine ait GPS ve GPS/Galileo uydu kombinasyonu gözlem verilerinin hem PPP hem de PPP-AR çözümünden hesaplanan KOH değerleri birbiriyle karşılaştırıldığında, GPS gözlemlerine Galileo uydu gözlemlerinin eklenmesi ile beraber genelde koordinat duyarlılığının arttığı görülmüştür. GPS/Galileo PPP-AR çözümlerden elde edilen konum doğruluklarının kısa zamanlı

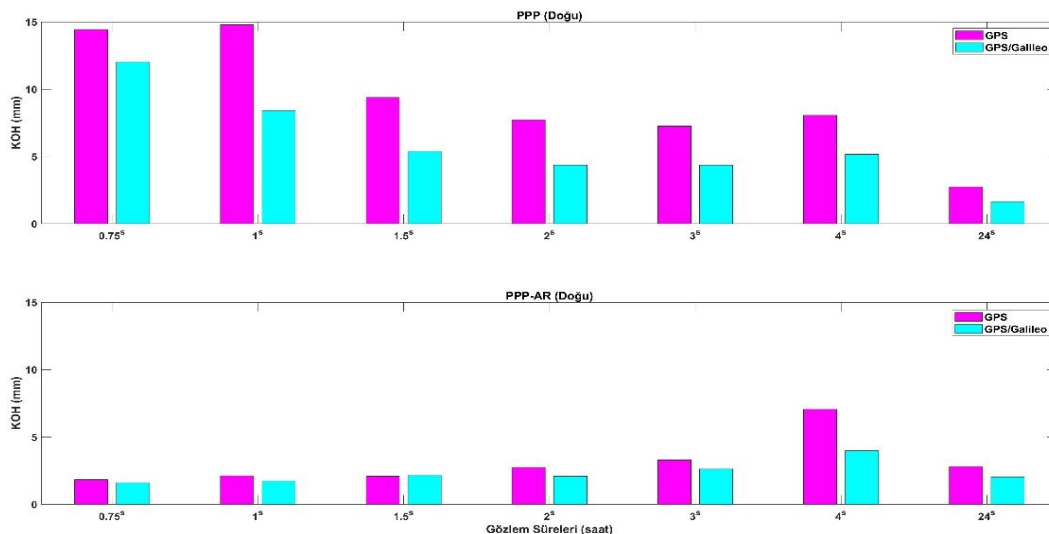
ölçü sürelerinde (0.75, 1 ve 1.5) GPS/Galileo PPP ile yapılan çözümlere kıyasla iyileşmektedir. Ayrıca uzun zamanlı ölçülerde şekilde de görüldüğü gibi PPP çözümünün PPP-AR çözüme göre GPS ve GPS/Galileo uydu kombinasyonlarıyla elde edilen KOH değerlerinin daha düşük olduğundan dolayı konumsal doğruluğun iyileştiği görülmüştür. Bu noktaya ait Kuzey bileşeninin GPS gözlemleri ile PPP çözümlerinde KOH değerleri 2.2 mm ile 12.0 mm arasında, PPP-AR çözümlerinde 3.0 mm ile 10.1 mm arasında değişmiştir. Bununla birlikte GPS/Galileo gözlemleri ile PPP çözümlerinde KOH değerleri 1.4 mm ile 9.3 mm arasında, PPP-AR çözümlerinde 1.8 mm ile 6.1 mm arasında değişmiştir. Şekil 9'da açıkça görüldüğü gibi METG noktasında, GPS gözlemlerine Galileo uydu gözlemlerinin eklenmesi ile PPP ve PPP-AR çözümünde GPS gözlemlerine göre iyileşmenin olduğu, ayrıca PPP-AR çözümlerinden türetilen koordinat duyarlılığının tüm ölçü sürelerinde, PPP yöntemine göre daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Özellikle kısa zamanlı ölçülerde bu durum daha belirgin gözlemlenebilmektedir. Ölçü süresinin artması PPP ile elde edilen doğruluğu arttırırken PPP-AR çözümlerinde ölçü süresinin doğruluğu arttırdığı gözlemlenmemiştir. Bu noktaya ait Doğu bileşeninin GPS gözlemleri ile PPP çözümlerinde KOH değerleri 2.7 mm ile 14.8 mm arasında, PPP-AR çözümlerinde 1.8 mm ile 7.1 mm arasında değiştiği, GPS/Galileo gözlemleri ile PPP çözümlerinde KOH değerleri 1.6 mm ile 12.0

mm arasında, PPP-AR çözümlerinde ise 1.6 mm ile 4.0 mm arasında değiştiği gözlemlenmiştir. METG noktasının Yükseklik bileşeninin duyarlılığı, ölçü süresinin artması ile hem GPS hem de GPS/Galileo uydu gözlemlerine ait ölçülerin PPP yönteminde iyileştiği gözlemlenirken, PPP-AR yönteminde bu durum farklılık göstermiştir. Galileo uydu gözlemlerinin GPS gözlemlerine eklenmesi hem PPP hem de PPP-AR sonuçlarını doğruluk açısından iyileştirmiştir. PPP-AR çözümünün PPP yöntemine kıyasla bu noktanın Yükseklik bileşeninin doğruluğunu kısa zamanlı ölçülerde iyileştirdiğini ancak uzun zamanlı gözlemlerde katkı sağlamadığı gözlemlenmiştir. Bu noktaya ait Yükseklik bileşeninin GPS gözlemleri ile PPP çözümlerinde KOH değerleri 5.5 mm ile 26.5 mm arasında, PPP-

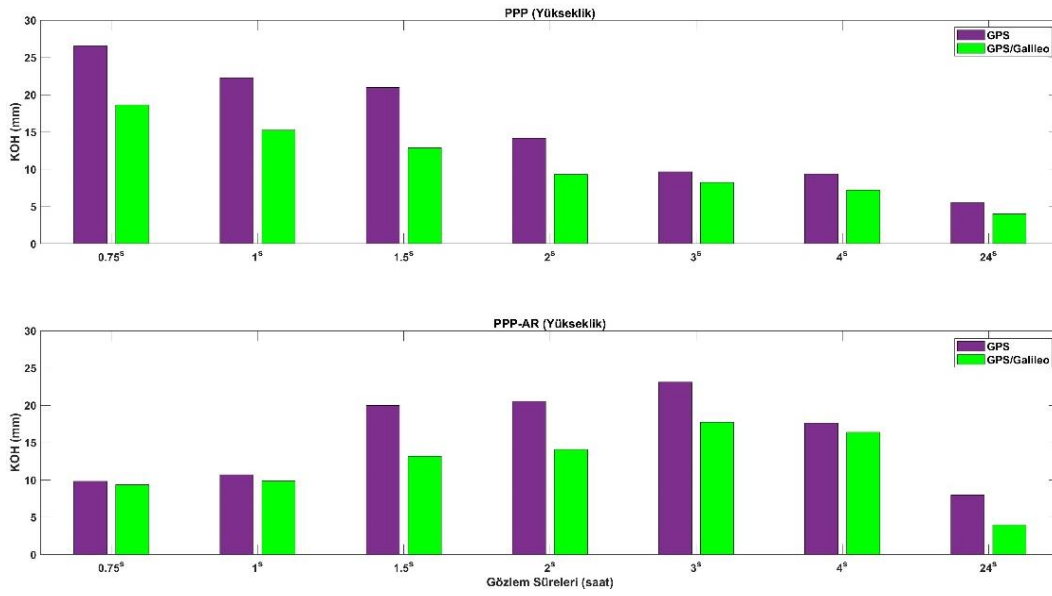
AR çözümlerinde 8.0 mm ile 23.1 mm arasında değiştiği görülmüştür. Bununla birlikte GPS/Galileo uydu gözlemleri ile PPP çözümlerinde KOH değerleri 4.0 mm ile 18.6 mm arasında, PPP-AR çözümlerinde 4.0 mm ile 17.8 mm arasında çıkmaktadır. Sonuç olarak METG noktasına ait üç bileşende de PPP ve PPP-AR çözümlerinden elde edilen konum duyarlılıklarının tüm gözlem sürelerinde Galileo uydu gözlemlerinin eklenmesi ile iyileştiği görülmüştür. PPP-AR yönteminden elde edilen sonuçların ise Kuzey ve Doğu bileşenlerinde PPP'ye göre genel olarak konum duyarlılığını arttırdığı gözlemlenmiştir. Fakat Yükseklik bileşeni için katkı sağlamamıştır. Sürekli gözlem yapan ASCG, DYNG ve METG IGS noktalarına ait değerlendirme sonuçlarından yatay



Şekil 8. METG noktasının Kuzey bileşeninin tüm gözlem sürelerine ait KOH değerleri.



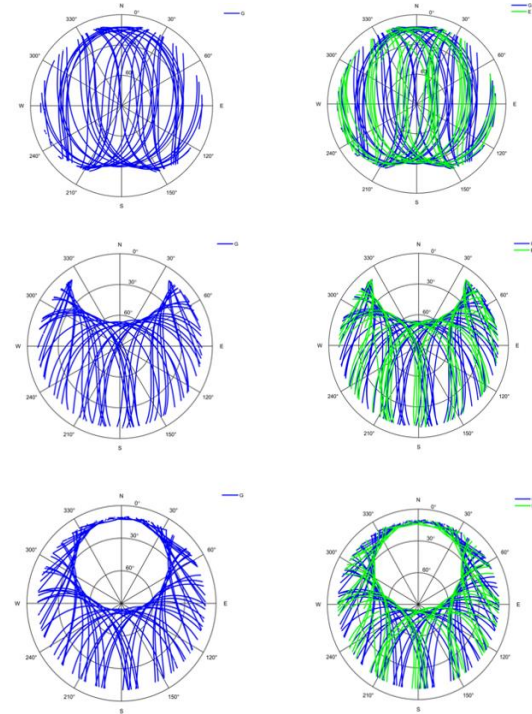
Şekil 9. METG noktasının Doğu bileşeninin tüm gözlem sürelerine ait KOH değerleri.



Şekil 10. METG noktasının Yükseklik bileşeninin tüm gözlem sürelerine ait KOH değerleri.

konumda Kuzey ve Doğu bileşeninin GPS uydusuna Galileo uydusunun eklenmesi ile konumsal duyarlılığı ne derece iyileştirdiği, ölçü süresine göre katkısının farklılık gösterdiği gözlemlenmiştir. Ayrıca üç noktanın PPP-AR yöntemi ile değerlendirme yapılırken, kısa zamanlı ölçülerde PPP'ye kıyasla katkısı açısından farklılıklar görülmüştür. Örneğin, METG noktasının Doğu bileşeninin PPP yöntemi ile proseslerinde 0.75, 1, 1.5, 2, 3 ve 4 saatlik gözlem sürelerinde ölçülerin KOH değerlerini iyileştirirken, ASCG noktasının aynı bileşeninde 0.75, 1, 3 ve 4 saatlik periyotlarda anlamlı derecede iyileşmeler görülmektedir. DYNG noktasında ise Doğu bileşeninde 0.75, 1, 1.5, 3 ve 4 saatlik gözlem sürelerinde Galileo uydularının eklenmesi ile sadece-GPS'e göre konumsal duyarlılığın daha iyi olduğu görülmüştür. Bu noktaların diğer bileşenlerinde de PPP yöntemi ile değerlendirilirken farklı gözlem sürelerinde iyileşmeler gözlemlenmiştir. Bu farklılıkların sebepleri, 3 IGS noktasının farklı enlem bölgelerinde olmasından dolayı uydu ile alıcı arasındaki atmosferik etkinin farklı olması, GPS ve Galileo uydu sayısının ve uydu geometrisinin farklılık göstermesi, GNSS alıcılarının bulunduğu noktaların çevresindeki yansıtıcı nesnelerin farklılık göstermesi gibi etkiler sayılabilir. Noktaların hem sadece-GPS hem de GPS/Galileo uydu izlerini gösteren grafikleri aşağıda verilmiştir. Şekil 11'e bakıldığında, ASCG noktasında 24 saatlik

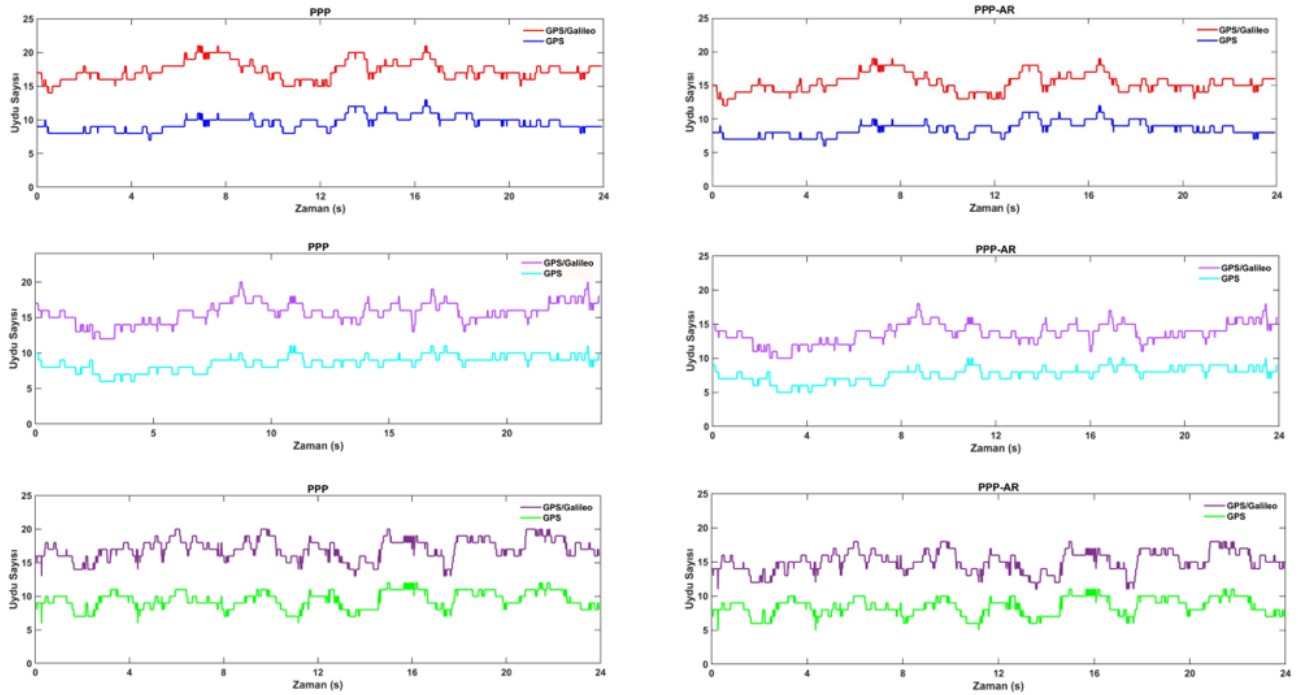
GPS uydu geometrisinin, alıcının bulunduğu yere göre gökyüzünü kaplarken, DYNG noktasında Kuzey yönlü boşlukların olduğu, bu boşluğun yüksek enlemdeki METG noktasında daha da fazla olduğu görülebilir. Galileo uydularının eklenmesi ile kuzey yönlü uydu taramasının kısmen boşlukları doldurmaktadır. Bunun sebebi GPS ile Galileo uydularının ekvator ile yaptıkları açının birbirine yakın olmasından kaynaklanmaktadır (GPS: 55°; Galileo: 56°).



Şekil 11. ASCG, DYNG, METG (üstten alta doğru) 24 saatlik uydu izi.

3 noktaya ait uydu geometrisinden de görüldüğü gibi GPS ve Galileo uydu sistemlerinin farklı enlemlerde uydu izlerinin ve uydu geometrisinin farklılık gösterdiğini ve konum doğruluğuna etkisi açıklanmaktadır. Bununla birlikte sonuçlar gösteriyor ki 3 IGS noktasının PPP ve PPP-AR ile değerlendirildiğinde, Galileo ölçülerinin dahil edilmesiyle konum duyarlılığını iyileştirmiştir. Ayrıca anlamlı derecede iyileşmelerin kısa zamanlı gözlem sürelerinde daha belirgin olduğu görülmüştür. Noktaların PPP-AR yöntemi ile değerlendirilmesinde Şekil 12’de görüldüğü gibi PPP’ ye kıyasla ortalama uydu görünümü sayısı azalmaktadır. Bunun sebebi, gözlem dosyasında bulunup, kod ve faz kayıklığı (bias) dosyasında uyduların faz ölçülerine ait düzeltmelerin

bulunmadığı durumlarda yazılım o uyduyu değerlendirmeye katmamaktadır. Değerlendirme aşamasında PPP-AR ile çözüm yapıldığında kullanılacak bias ürün dosyasındaki kod ve faz frekanslarını destekleyen ölçüler önem taşımaktadır. Şekil 12’de gösterilen 24 saatlik uydu sayılarının minimum, maksimum olduğu durumlar ile ortalama uydu sayısı Çizelge 4’de gösterilmiştir. Sonuçlara bakıldığında PPP-AR çözümlerinin her durumda PPP çözümlerine göre proses aşamasında çözüme kattığı uydu sayısı azalmıştır. Fakat bu durum PPP-AR sonuçlarının doğruluğunda olumsuz bir etki oluşturmamış, PPP-AR sonuçlarının PPP sonuçlarına göre özellikle yatay konum bileşenleri açısından daha doğru sonuçlar ürettiği görülmüştür.



Şekil 12. ASCG, DYNG, METG (üstten alta doğru) noktalarının 24 saatlik uydu sayısı grafiği.

Çizelge 4. IGS istasyonlarına ait 24 saatlik çözüm baz alınarak hesaba katılan maksimum, minimum ve ortalama uydu sayısı.

Nokta Adı	PPP						PPP-AR					
	GPS			GPS/Galileo			GPS			GPS/Galileo		
	Min	Max	Ort.	Min	Max	Ort.	Min	Max	Ort.	Min	Max	Ort.
ASCG	7	13	9.6	14	21	17.4	6	12	8.6	12	19	15.4
DYNG	6	11	8.6	12	20	15.7	5	10	7.6	10	18	13.7
METG	6	12	9.5	13	20	17.1	5	11	8.5	11	18	15.1

4. Sonuç

Bu çalışmada, PPP ve PPP-AR yöntemlerinin GPS, GPS/Galileo uydu kombinasyonlarının ölçü süresine bağlı konum belirleme doğrulukları üç

farklı enlemdeki ardışık 15 günlük IGS istasyonu GNSS gözlemleri kullanılarak incelenmiştir. Elde edilen bulgular doğrultusunda çıkarılan sonuçlar (1) PPP ve PPP-AR, (2) ölçü süresi ve (3) Galileo

uydu gözlemlerinin katkısı açısından aşağıda açıklanmıştır. Beklendiği üzere uydu sayısı ve ölçüm süresi arttıkça KOH değerleri azalarak daha hassas konum ve yükseklik bilgileri elde edilmiştir. PPP yönteminde ölçü süresi arttıkça ulaşılan konum doğruluğunun arttığı bu çalışma ile bir kez daha ortaya çıkarılmıştır. PPP-AR yönteminde ölçü süresinin artmasının konum doğruluğuna etkisi belirgin olarak gözlemlenmez iken, kısa ölçü süresinde (0.75 ve 1 saat) bazı günlerde yanlış değere sabitlendiği gözlemlenmiştir. GPS ve GPS/Galileo çözümleri incelendiğinde tüm ölçü sürelerinde GPS/Galileo çözümlerinin hem PPP hem de PPP-AR yönteminde konum doğruluğunu iyileştirdiği görülmüştür. Özellikle kısa ölçü süresinde Galileo'nun konum doğruluğunu belirgin şekilde iyileştirdiği ve ayrıca çalışmada seçilen eşik değeri aşan çözüm sayısının GPS' li çözümlere göre daha az olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışmada incelenen bir diğer durum da PPP ve PPP-AR yöntemlerinin konum doğruluğu açısından karşılaştırılmasıdır. Bu bağlamda KOH değerleri göz önüne alındığında, PPP-AR yöntemi PPP yöntemine göre özellikle yatay bileşen açısından daha duyarlıklı ve gerçek değere yakın sonuçlar vermiştir. Özellikle, tüm ölçü sürelerinde olmakla birlikte, özellikle kısa süreli gözlem periyotlarında (0.75-1 saatlik ölçü sürelerinde) PPP-AR yönteminin PPP yöntemine göre daha duyarlıklı sonuç verdiği görülmüştür. Ölçü süresi arttıkça PPP ve PPP-AR yöntemleriyle elde edilen sonuçların birbirlerine yakınsamakta olduğu gözlemlenmiştir. Ortaya çıkan sonuçlar üzerinden bakıldığında kısa süreli ölçümler yapılması durumunda PPP yöntemi yerine PPP-AR yönteminin kullanılması daha hassas sonuçlar vereceğinden dolayı tercih edilebilir. Ayrıca tek bir uydu sistemi yerine çoklu uydu kombinasyonu kullanımı sayesinde daha hassas sonuçlar elde etmek mümkün olmakta ve bu bağlamda yüksek doğrulukta konum bilgisi üretmek için çoklu GNSS yöntemi tercih edilmesi daha uygun olacaktır. Ayrıca PPP-AR yöntemi için değerlendirme yaparken kullanılan alıcının toplayabildiği sinyal yapısı önemlidir. PPP-AR yöntemi ile verileri değerlendirebilmek için gerekli olan bias dosyasındaki sinyallere getirilen düzeltmelerin,

GNSS alıcısı tarafından toplanıyor olması gerekmektedir.

Bu yüzden kullanıcılar PPP-AR yöntemini tercih etmeleri durumunda hangi analiz merkezinin ürettiği bias ürününü kullanacaksa ona göre GNSS alıcısı seçimi yapması gerektiğini bilmelidir.

Sonuç olarak GPS/Galileo uydu kombinasyonun kısa zamanlı ölçülerde PPP-AR yönteminin daha yüksek doğrulukta sonuçlara ulaşabileceği görülmüştür. Günümüz bilimsel çalışmalarında, özellikle lokal ve küresel ölçekteki deformasyon ölçmelerinde ve yer kabuğu hareketlerinin izlenmesinde, sürekli gözlem yapan GNSS ağ noktalarının zamana bağlı değişimlerinin izlenmesinde ve tespit edilmesinde, yersel veya hava fotogrametrisinde yer kontrol noktalarının koordinatlarının belirlenmesinde v.b. birçok alanda GPS-PPP yerine GPS/Galileo-PPP-AR yönteminin tercih edilmesi hem ölçü süresinin kısılması hem de konumsal doğruluğun yüksek olmasını sağlayacaktır.

Teşekkür

Bu çalışmada PPP ve PPP-AR çözümlerinde kullanılan açık kaynak Net_Diff yazılımı (Int Kyn. 3) için Dr. Yize Zhang'a teşekkür ederiz.

5. Kaynaklar

- Anquela, A.B., Martin, A., Berne, J.L., Padin, J., 2013. GPS+GLONASS Static and Kinematic PPP Results, A Case Study. *Journal of Surveying Engineering*, **139**(1), 47-58.
- Bulbul, S., Bilgen, B., Inal, C., 2021. The performance assessment of Precise Point Positioning (PPP) under various observation conditions. *Measurement*, **171**, 108780.
- 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. Modeling and assessment of combined GPS/GLONASS precise point positioning. *GPS Solutions*, **17**(2), 223-236.

- Choy, S., Bisnath, S., Rizos, C., 2017. Uncovering common misconceptions in GNSS Precise Point Positioning and its future prospect. *GPS Solutions*, **21**, 13-22.
- Dow, J.M., Neilan, R.E., Rizos, C., 2009. The international GNSS service in a changing landscape of global navigation satellite systems. *Journal of Geodesy*, **83**(3-4), 191-198.
- Gao, Y., 2006. Precise point positioning and its challenges, aided-gnss and signal tracking. *Inside GNSS*, **1**, 16-18.
- Ge, M., Zhang, H., Jia, X., Song, S., Wickert, J., 2012. What is achievable with current COMPASS constellations ?, *Proceedings of the 25th International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation (ION GNSS 2012)*, Nashville, TN, 331-339.
- Geng, J., Guo, J., Meng, X., Gao, K., 2020. Speeding up PPP ambiguity resolution using triple-frequency GPS/BeiDou/Galileo/QZSS data. *Journal of Geodesy*, **94**(6), 1-15.
- Guo, F., Li, X., Zhang, X., Wang, J., 2017. Assessment of precise orbit and clock products for Galileo, BeiDou, and QZSS from IGS Multi-GNSS Experiment (MGEX). *GPS Solutions*, **21**, 279-279.
- Hackel, S., Steigenberger, P., Hugentobler, U., Uhlemann, M., Montenbruck, O., 2013. Galileo orbit determination using combined GNSS and SLR observations. *GPS Solutions*, **19**(1), 15-25.
- Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H., Wasle, E., 2008. GNSS-Global Navigation satellite Systems: GPS, GLONASS, Galileo & more. *Springer*, Wien, Newyork, 516.
- Katsigianni, G., Loyer, S., Perosanz, F., 2019. PPP and PPP-AR Kinematic Post-Processed Performance of GPS-Only, Galileo-Only and Multi-GNSS. *Remote Sensing*, **11**, 2477.
- Koca, B., Ceylan, A., 2018. Uydu Konum Belirleme Sistemlerindeki(GNSS) Güncel Durum ve Son Gelişmeler. *Geomatik*, **3**(1), 63-73.
- Kouba, J. and Héroux, P., 2001. GPS Precise Point Positioning using IGS orbit products. *GPS Solutions*, **5**(2), 12-28.
- Li, M., Qu, L., Zhao, Q., Guo, J., Su, X., Li, X., 2014. Precise point positioning with the BeiDou navigation satellite system. *Sensors*, **14**(1), 927-943.
- Li, P., Zhang, X., Guo, F., 2017. Ambiguity resolved precise point positioning with GPS and BeiDou. *Journal of Geodesy*, **91**, 25-40.
- Li, X., Li, X., Yuan, Y., Zhang, K., Zhang, X., Wickert, J., 2018. Multi-GNSS phase delay estimation and PPP ambiguity resolution: GPS, BDS, GLONASS, Galileo. *Journal of Geodesy*, **92**, 579-608.
- Li, R., Zheng, S., Wang, E., Chen, J., Feng, S., Wang, D., Dai, L., 2020. Advances in BeiDou Navigation Satellite System (BDS) and satellite navigation augmentation Technologies. *Satellite Navigation*, **1**, 12.
- Lou, Y., Zheng, F., Gu, S., Wang, C., Guo, H., 2016. Multi-GNSS precise point positioning with rawsingle-frequency and dual-frequency measurement models. *GPS Solutions*, **20**, 849-862.
- Montenbruck, O., Steigenberger, P., Khachikyan, R., Weber, G., Langley, R.B., Mervart, L., Hugentobler, U., 2014. IGS-MGEX: preparing the ground for multi-constellation GNSS science. *Inside GNSS*, **9**(1), 42-49.
- Neilan, R., Fisher, S., Khachikyan, R., Ceva, J., Craddock, A., Donnelly, N., Maggert, D., Walia, G., 2013. IGS technical report 2012 Central Bureau. *IGS technical report*, 13-18.
- Pırtı, A., Hoşbaşı, R.G., Şenel, B., Köroğlu, M., Bilim, S., 2021. Galileo uydu sistemi ve sinyal yapısı. *Journal of Geomatics*, **6**(3), 207-216.
- Psychas, D., Verhagen, S., Teunissen, P.J.G., 2020. Precision analysis of partial ambiguity resolution-enabled PPP using multi-GNSS and multi-frequency signals. *Advances in Space Research*, **66**, 2075-2093.
- Rizos, C., Montenbruck, O., Weber, R., Neilan, R., Hugentobler, U., 2013. The IGS MGEX experiment as a milestone for a comprehensive multi-GNSS

service. *Institute of Navigation*, Honolulu, HI, 289-295.

Hobiger, T., Jakowski N., 2017. Handbook of Global Navigation Satellite Systems. Ed:Teunissen, P., Montenbruck, O., *Springer*, **59**, 165-193.

Xia, F., Ye, S., Xia, P., Zhao, L., Jiang, N., Chen, D., Hu, G. 2019. Assessing the latest performance of Galileo-only PPP and the contribution of Galileo to Multi-GNSS PPP. *Advances in Space Research*, **63**, 2784–2795.

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.

Yigit, C.O., Kizilarlan, M., Caliskan, E., 2016. GPS-PPP ve GPS/GLONASS-PPP Yöntemlerinin Konum Belirleme Performanslarının Ölçü Süresine Bağlı Olarak Değerlendirilmesi. *Electronic Journal of Map Technologies*, **8**(1), 23-29.

Yionoulis, S.M., 1998. The Transit Satellite Geodesy Program. *Johns Hopkins University APL Technical Digest*, **19**(1), Washington.

Zhao, Q., Guo, J., Li, M., Qu, L., Hu, Z., Shi, C., Liu, J., 2013. Initial results of precise orbit and clock determination for COMPASS navigation satellite system. *Journal of Geodesy*, **87**(5), 475-486.

İnternet kaynakları

1- https://github.com/YizeZhang/Net_Diff(20.08.2021)

2- <https://cdis.nasa.gov/archive/gnss/data/daily/2020/>
(05.09.2021)

3-<ftp://ftp.gfz-potsdam.de/pub/GNSS/products/mgex>
(30.07.2021)