

## Web tabanlı CSRS-PPP uygulamasının farklı uydu sistemleri üzerindeki performansı

Tuna Erol<sup>1\*</sup> 

<sup>1</sup>Balıkesir Üniversitesi, Çarşı Yerleşkesi, Yapı İşleri ve Teknik Daire Başkanlığı, Altteylül, Balıkesir, Türkiye.

**Öz:** Küresel Navigasyon Uydu Sistemleri'nden (Global Navigation Satellite Systems, GNSS) elde edilen veriler değerlendirilirken bilimsel/akademik, ticari yazılımlar ve kullanımı gittikçe artan web tabanlı uygulamalar kullanılmaktadır. GNSS veri değerlendirme stratejisi mutlak ve bağıl olarak temelde ikiye ayrılmaktadır. Kullanımı artan web tabanlı servisler temelde mutlak yöntemi kullanan ya da bağıl yöntemi kullananlar olarak ayrılmaktadır. Hassas mutlak nokta konumlama (Precise Point Positioning, PPP) yöntemi tek bir alıcı ile cm mertebesinde konum belirlemeyi mümkün kalmakta ve kullanıcılar açısından oldukça pratik olarak konum belirleme imkânı sunmaktadır. PPP yönteminin gerçek zamanlı uygulamaları da gittikçe yaygınlaşmakta, bu durum kullanıcılar açısından hem zaman hem de maliyet tasarrufu imkânları sunmaktadır. Konum belirleme tarafında bu gelişmeler yaşanırken, ilk ortaya çıktığı günden bu yana askeri amacının yanında insanlığın hayatına her alanda giren Küresel Konumlama Sistemi (GPS), diğer sistemlerin de (GLONASS, BeiDou, QZSS, IRNSS vb.) devreye alınması ile oldukça yaygınlaşmıştır. Bugün artık GNSS olarak hayatımızın içinde daha fazla var olmaya devam etmektedir. Çeşitli ülkeler tarafından geliştirilen ve kullanılan uydu sistemlerinin dünya üzerine yayılmış bulunan Uluslararası GNSS Servisi (International GNSS Service, IGS) istasyonlarında veri toplanarak, konum belirleme sürecine dahil edilmesi ile The Multi-GNSS Experiment (MGEX) projesi geliştirilmiş ve belirlenen istasyonlarda, tüm uydu sistemlerinden veri toplanmasına başlanılmıştır. Bu çalışmada, web tabanlı CSRS-PPP uygulaması ile dünya üzerinde dağılmış 5 MGEX istasyonunda toplanan 10 günlük GNSS gözlem verileri değerlendirilmiştir. MGEX projesi kapsamında istasyonlardan gözlem verileri 1 saniyeden 30 saniyeye kadar gözlem aralığında ve çoklu uydu sistemlerinden (GPS, GLONASS, Galileo, QZSS, NAVIC, BeiDou, SBAS) veri toplama imkânı bulunmaktadır. CSRS-PPP uygulamasının değerlendirme stratejisinde kullandığı GPS ve GLONASS (GPS, GLONASS ve GPS+GLONASS) uydu sistemleri ile 1 ile 30 saniye aralıklı toplanmış gözlem verilerinin en az 15 dakikadan 24 saate kadar gözlem aralığında ve farklı iyonosferik koşullardaki performansı değerlendirilmiş ve yorumlanmıştır.

**Anahtar Sözcükler:** Küresel navigasyon uydu sistemleri, Hassas mutlak nokta konumlama, CSRS-PPP, Web tabanlı servis, MGEX

### Performance of Web Based CSRS-PPP Service in Different Satellite Systems

**Abstract:** In evaluating the data provided by Global Navigation Satellite Systems (GNSS), scientific/academic, commercial software, and web-based applications, which are used increasingly, are implemented. The strategy of GNSS data processing is basically divided into two as absolute and relative. The web-based services increasing in use are mainly divided into either using the absolute method or the relative method. Precise Point Positioning (PPP) method makes possible to obtain cm level positioning by using a single receiver and offers possibility of a quite practical positioning for users. Real-time applications of the PPP method are also becoming more and more widespread, which offer both time and cost savings for users. While developments on positioning continue, GPS introduced to the life of human beings in every field besides its military purpose since its first appearance, has become quite common with the introduction of other systems (GLONASS, BeiDou, QZSS, IRNSS etc.). Today, as GNSS, it continues to exist more in our lives. The Multi-GNSS Experiment (MGEX) project has been developed by collecting data at International GNSS Service (IGS) stations spread worldwide, received signals from the satellite systems developed by several countries and by including them to the processing stage and then data collection at the specified stations from all of the satellite systems has been started. In this study, the GNSS observation data collected at 5 MGEX stations scattered around the world for a duration of 10-day were evaluated with a web-based service, namely CSRS-PPP. In the concept of MGEX Project, it is possible to collect data from the stations with an observation duration ranging from 1 to 30 seconds and from multiple satellite systems (GPS, GLONASS, Galileo, QZSS, NAVIC, BeiDou, SBAS). In the evaluation stage of CSRS-PPP application, the evaluation performance was examined and concluded in terms of satellite systems used as GPS and GNSS (GPS, GLONASS, and GPS+GLONASS), data record interval ranging as 1 and 30 seconds, and observation duration from 15 minutes to 24 hours.

**Keywords:** Global navigation satellite systems, Precise point positioning, CSRS-PPP, Web-based service, MGEX

\* Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Tel: +90 266 612 1425

Geliş Tarihi/Received: 21.06.2020  
Kabul Tarihi/Accepted: 23.10.2020



## 1. Giriş

İlk ortaya çıktığı günden bu yana askeri amacının yanında insanoğlunun hayatına her alanda giren GPS, diğer sistemlerin de (GLONASS, BeiDou, QZSS, IRNSS vb.) devreye alınması ile bugün artık Küresel Navigasyon Uydu Sistemleri (GNSS) olarak hayatımızın içinde daha fazla var olmaktadır. Uydularla konum belirleme yöntemi, temelde uzay geriden kestirme yöntemine dayalı olarak geliştirilmiş olup, elde edilen gözlemler ile konum belirleme mutlak ve bağıl yöntemlerle yapılmaktadır.

Yıllar içerisinde sistemdeki yenilemeler, diğer sistemlerin devreye alınmaları, farklı hesap yöntemlerinin ortaya çıkması ile temelde mutlak ve bağıl olan konum belirleme mantığı değişmemiş olsa da, her bir yaklaşım altında yeni yöntemler hayatımıza girmiştir. İstenilen amaca, doğruluğa, konum bilgisini elde etme süresine, sahip olunan teknik imkânlarla bağıl olarak birçok yöntem bugün hayatımızda bulunmaktadır. Kullanıcılar açısından seçilen her yöntemin avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır.

Jeodezik amaçlı çalışmalar için bağıl ve mutlak konum belirleme yöntemleri, uydulara dayalı konum belirleme sistemlerinin ilk ortaya çıkmasından günümüze kadar ve yaygın olarak kullanılmaktadır. Bağıl değerlendirme yöntemi ve temelde bu yöntemi kullanan alternatif yöntemler yıllar içerisinde geliştirilmiş ve bu yöntemler üzerine çeşitli araştırmalar yapılmıştır (Betti, Biagi, Crespi, & Riguzzi, 1999; Dong & Bock, 1989; Eckl, Snay, Soler, Cline, & Mader, 2001; Feigl vd., 1993; Firuzabadi & King, 2011; Häkli & Koivula, 2008; Larson & Agnew, 1991; Soler, Michalak, Weston, Snay, & Foote, 2006; Tiryakioğlu, Dereli, Erdoğan, & Güllal, 2010). Hassas mutlak nokta konumlama (Precise Point Positioning, PPP) yönteminin geliştirilmesi ve tek bir alıcı ile küresel ölçekte yüksek konum doğruluğu elde edilmesi konusunda araştırmalar yapılmaktadır. PPP yöntemi ilk olarak 1997 yılında ortaya konulmuştur (Zumberge, Heflin, Jefferson, Watkins, & Webb, 1997). Kod ve faz ölçülerinin lineer kombinasyonları ve Uluslararası GNSS Servisi (International GNSS Service, IGS) tarafından sağlanan hassas saat ve yörünge ürünleri kullanılarak PPP'nin matematiksel modeli 2001 yılında geliştirilmiştir (Kouba & Héroux, 2001). PPP yöntemi ile gerçekleştirilen 24 saatlik oturum sürelerinde yatayda 2-3 mm, düşeyde ise 5 mm hassasiyetinde konum bilgisine ulaşılabilmektedir (Wang, 2013).

Her yöntemde olduğu gibi standart PPP yönteminde de faz belirsizliklerinin tam sayı olarak belirlenememesi nedeniyle, faz belirsizliklerinin yakınsaması ve dolayısıyla yüksek konum doğruluğuna erişilebilmesi için ölçüme başlanıldığında bağıl yöntemden daha fazla gözlem süresine ihtiyaç duyulur. Yakınsama süresi olarak adlandırılan bu süre PPP yönteminin dezavantajı olarak söylenebilir (Choy, Bisnath & Rizos, 2017). Tamsayı belirsizliği çözümünde uzun yakınsama süresi PPP yönteminin dezavantajı olarak ifade edilse de PPP ile elde edilen konum doğruluğunun, bağıl konum belirlemeye alternatif olabileceği ifade edilmektedir (Tekiç, 2009; Öcalan, 2015).

PPP ile geliştirilen modelde hem taşıyıcı faz hem de kod gözlemlerinin birlikte kullanılması, yüksek doğrulukla konum bilgisinin elde edilmesi için önemlidir. PPP yönteminde de iyonosfer kaynaklı hataların etkisini azaltmak için çift frekanslı GPS gözlem modelleri kullanılmaktadır. Taşıyıcı faz ve kod gözlemleri sırasıyla L3 ve P3 iyonosfer-bağımsız yapıya dönüştürülmekte, bu sayede GNSS sinyalinin iyonosfer tabakasında uğradığı kayıklıklar (bias, refraksiyon) büyük oranda giderilebilmektedir (Öcalan, 2015).

PPP yöntemi ortaya çıktığından bu yana hem ölçü sonrası (post-process) hem de gerçek zamanlı (real-time) uygulamalardan elde edilen doğruluklar üzerine çeşitli araştırmalar yapılmış olup, sistemdeki yenilikler ve gelişmeler ile birlikte bu çalışmalar devam etmektedir (Bahadur & Nohutcu, 2018; Bahadur & Nohutcu, 2019; Choy. vd., 2017; Doğan, Tunalıoğlu, Erdoğan, & Öcalan, 2018; El-Mowafy, 2011; Erdoğan, Kayacık, & Doğan, 2019; Erol, 2019; Geng, Meng, Teferle, & Dodson, 2010;

Isioye, Moses, & Abdulmumin, 2019; Jha, Singh, Upadhyay, & Khare, 2016; Öcalan, 2015; Rapiński & Cellmer, 2011; Şanlı & Engin, 2009; Şanlı ve Kurumahmut, 2011; Tariq, Hadi, & Hafedh, 2017; Yiğit & Gürlek, 2017).

GNSS'den elde edilen veriler değerlendirilirken bilimsel/akademik, ticari yazılımlar ve kullanımı gittikçe artan web tabanlı uygulamalar kullanılmaktadır. Özellikle PPP yönteminin yaygınlaşması ile web tabanlı değerlendirme servisleri de oldukça yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. PPP yöntemi de web tabanlı servisler tarafından tercih edilmektedir. Bu uygulamada kullanılan CSRS-PPP servisinin yanında APPS (URL-1), Magic-GNSS (URL-2), GAPS (URL-3) gibi web tabanlı servisler de PPP yöntemiyle konum belirlemektedir.

GPS ile başlayan ve yıllar içerisinde farklı uydu sistemlerinin (GPS, GLONASS, QZSS, Galileo) devreye alınması ile gelişen IGS The Multi-GNSS Experiment (MGEX) projesi 2016 yılında hayata geçirilmiştir. Dünya üzerine yayılmış belirli sayıda istasyonda mevcut tüm uydu sistemlerinden verilerin toplanması (hem 30 saniye aralıklı hem de yüksek çözünürlüklü 1 saniye aralıklı), IGS'in uydu yörünge, saat bilgileri vb. ürünlerini de kullanıcılara açık olarak sunması, PPP yöntemi ile elde edilen doğruluklar üzerinde olumlu katkı sağlamaktadır.

Tüm olumlu gelişmeler yanında uydulara dayalı yöntemlerle konum bilgisinin elde edilmesinde bağıl ya da PPP çözüm tekniklerinin yanı sıra sistemi etkileyen birçok hata kaynağı ve etki de (uydu kaynaklı, alıcı kaynaklı, atmosferik etkiler, jeofiziksel etkiler, kullanıcı hataları) doğruluğu etkilemektedir. Arzu ettikleri doğruluklara ulaşmak isteyen kullanıcıların hata kaynaklarını, gözlem öncesi planlama sürecinde, gözlem anında ve değerlendirme aşamasında göz önünde bulundurması ve dikkate alması gerekmektedir.

Bu çalışmada, web tabanlı CSRS-PPP uygulaması ile dünya üzerinde dağılmış 5 MGEX istasyonundan toplanan 10 günlük GNSS gözlem verileri değerlendirilmiştir. MGEX projesi kapsamında istasyonlardan 1 saniyeden 30 saniyeye kadar gözlem aralığında ve çoklu uydu sistemleri ile (GPS, GLONASS, Galileo, QZSS, NAVIC, BeiDou, SBAS) veri toplama imkânı bulunmaktadır. CSRS-PPP uygulamasının değerlendirme stratejisinde kullandığı GPS ve GLONASS (GPS, GLONASS ve GPS+GLONASS) uydu sistemleri ile 1 saniye ile 30 saniye aralıklı toplanmış gözlem verilerinin en az 15 dakikadan 24 saate kadar gözlem süresinde ve farklı iyonosferik koşullardaki performansı değerlendirilmiştir. Aynı zamanda elde edilen sonuçlar, 26 Haziran 2018 tarihli ve 30460 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe giren, ülkemizdeki tescile esas olarak üretilen harita ve harita bilgileri açısından referans olarak kabul edilen "Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği (BÖHHBÜY)" tarafından istenilen doğruluklar açısından da yorumlanmıştır.

## 2. GNSS Verilerinin Elde Edilmesi ve Değerlendirilmesi

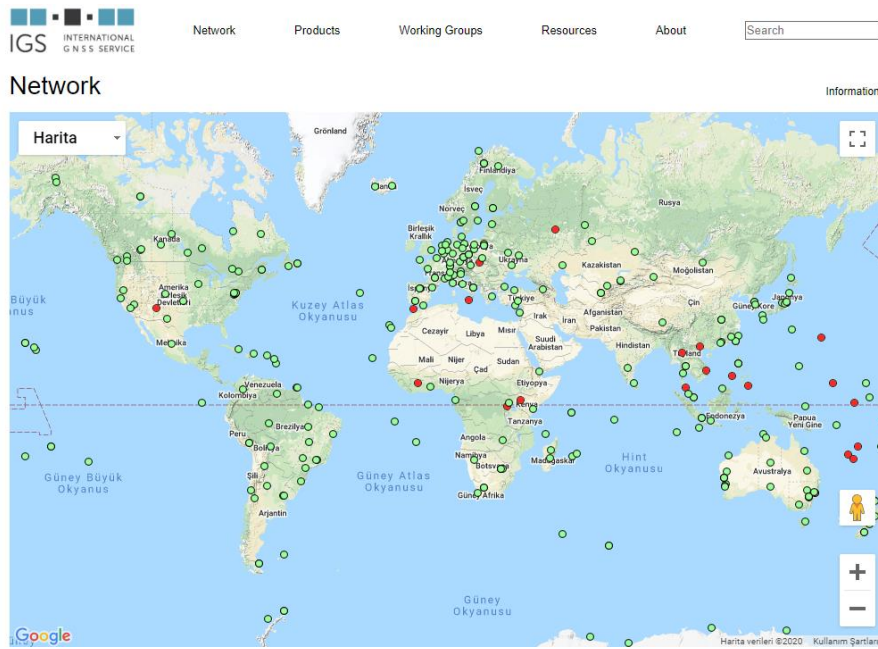
### 2.1 IGS MGEX Projesi

GNSS'de bilimsel kurumlar; sistemin herkes tarafından çok daha kolay kullanılan dünya genelinde çok yönlü bir izleme sistemi haline getirilmesinde, bilimsel, eğitsel ve ticari uygulamalar için yüksek doğruluklu küresel referans çerçevesinin oluşturulmasında, halkın hizmet aldığı birçok uygulamaya altlık hizmetinin sunulmasında, bilimsel birçok çalışmaya katkı sağlanmasında ve GNSS verilerinin uluslararası standartlarda toplanıp değerlendirilmesinde çalışmalarını sürdürmektedirler. Bu kuruluşlardan birisi de IGS'dir. Galileo gibi, diğer uydu sistemlerinin de gündeme gelmesiyle adı Uluslararası GPS Servisi'nden, "Uluslararası GNSS Servisi" olarak değiştirilmiştir (URL-4).

MGEX projesi mevcut tüm GNSS sinyallerini izlemek, bir araya getirmek ve analiz etmek için IGS tarafından oluşturulmuştur (URL-4). MGEX projesi BeiDou, Galileo, QZSS ve NAVIC sistemlerinin yanı sıra GPS ve GLONASS

uyduları ile uydu destekli sistemlere ait (SBAS) sinyallerini de içermektedir. Analiz merkezleri yeni uyduları ve sinyalleri analiz etmekte, farklı kurulum ve ekipmanların performanslarını karşılaştırmakta ve birden fazla GNSS gözlem verisini işleyebilecek veri değerlendirme yazılımı geliştirmektedir. IGS böylelikle GPS ile başladığı yüksek doğruluklu veri setleri ve veri değerlendirme sürecinden tüm uydu sistemlerini kapsayacak şekilde yüksek doğruluklu parametreler ile kapsamını genişletmektedir.

Dört yıllık bir süre boyunca, küresel çoklu GNSS istasyon ağı kurulmuş ve mevcut GPS/GLONASS referans istasyon ağı ile bütünleştirilmiştir. Buna paralel olarak diğer sistemler için de yörünge ve saat bilgilerini, rutin olarak üretebilecek noktaya gelinmiştir. 2016 yılının başında MGEX'in deneme aşamasının sonlandırılması ve bir pilot proje olarak IGS çoklu GNSS faaliyetlerini sürdürmesi kararlaştırılmıştır (URL-4).



Şekil 1: IGS MGEX projesi kapsamındaki istasyonlar (URL-4)

Şekil 1’de sunulan görselde dünya üzerine dağılmış MGEX istasyonlarından yeşil renkte olanlar aktif, kırmızı renkte olan istasyonlar ise pasif durumda bulunan istasyonları göstermektedir.

IGS çoklu GNSS istasyonlarının son gözlem verileri, RINEX3 formatında ve IGS’nin dünya çapındaki veri merkezlerinden temin edilebilmektedir. Bu merkezler;

- Crustal Dynamics Data Information System (CDDIS)
- Institut Géographique National (IGN)
- Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG) altında ftp hizmeti sunmaktadır (URL-5).

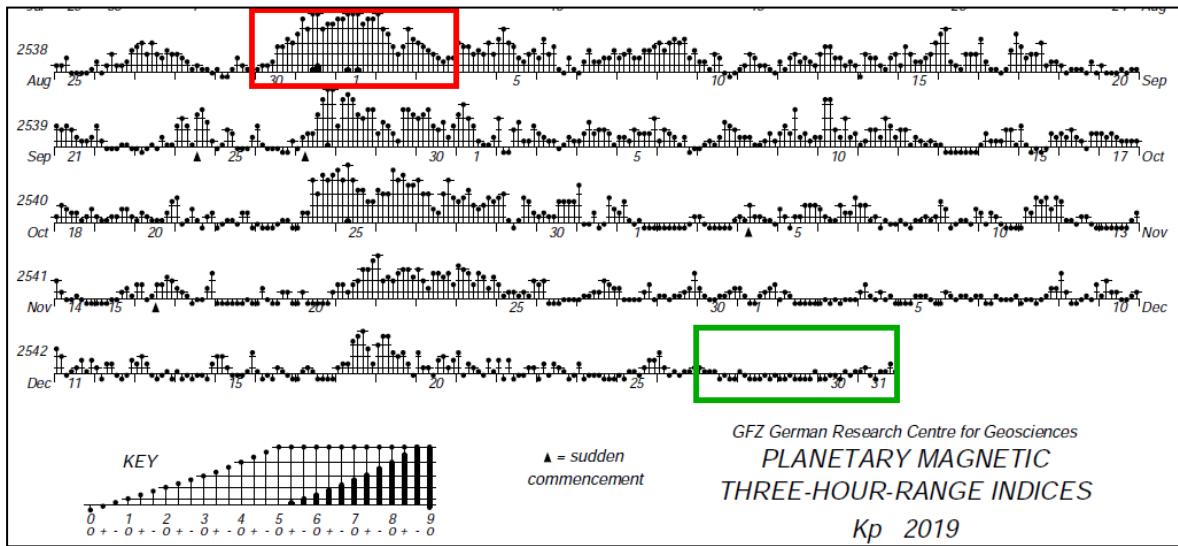
MGEX projesi kapsamında yürütülen çalışmalar neticesinde analiz merkezleri tarafından elde edilen deneysel ve resmi ürünler dört ana grupta toplanmaktadır. Bunlar, hassas yörünge ve saat ürünleri, yayın efemerisleri, diferansiyel kod sinyal kayıklığı ve gerçek zamanlı ürünlerden oluşmaktadır.

MGEX projesinin gerçek zamanlı ürünlerin sunumu amacıyla RTS (Real-time service) projesi ile entegrasyonu

bulunmaktadır. IGS MGEX istasyonlarından sağlanan gözlemler ile IGS-IP (Ntrip Broadcaster) ağında; veri temin merkezi (URL-6) üzerinden gerçek zamanlı olarak yayın efemerisi akışı da (RTCM3EPH) sağlanmaktadır. Bu yayın efemerisi kombine edilmiş GPS, GLONASS ve Galileo gözlemlerinden elde edilmektedir (URL-5).

## 2.2 Veri Temini

Farklı iyonosferik koşullarda da test yapmak amacıyla Alman Yerbilimleri Araştırma Merkezi'nin "www.gfz-potsdam.de" (URL-7) internet adresinden güneş aktivitesine ait aylık ve günlük veriler temin edilmiştir. Bu verilerden 5 günlük minimum iyonosferik koşul için 2019 yılının 361-365. günleri (Aralık, 27-31) ile daha kötü 5 günlük iyonosferik koşul için 2019 yılının 242-246. günleri (Ağustos, 30-31, Eylül, 1-3) uygulama kapsamında dikkate alınmıştır (Şekil 2). Uygulamada belirlenen 5 adet istasyon IGS'in MGEX projesi kapsamında dünya üzerine dağılmış istasyonlarından seçilmiştir. İstasyonların kuzey-güney kutup enlemleri ile doğu-batı boylamları arasında dağılımı ile geneli temsil etmesi sağlanmıştır (Şekil 3). Kullanılan istasyonların MGEX veri toplama başlangıç tarihi, anten tipi, fotoğrafı ile yaklaşık enlem, boylam ve elipsoidal yükseklikleri Tablo 1'de sunulmuştur. İstasyonlara ait 30 saniye aralıklı ve 1 saniye aralıklı toplanan gözlem dosyaları IGS'in veri temin merkezinden (URL-5) indirilmiştir.



Şekil 2: 2019 yılı Kp indeks grafiği ve belirlenen günler (URL-7)





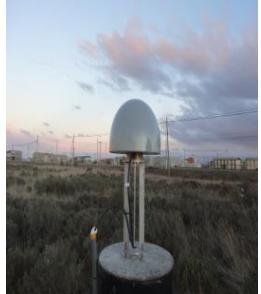
## 3. CSRS-PPP Web Tabanlı Servis

CSRS-PPP (Canadian Spatial Reference System Precise Point Positioning), NRCan (Natural Resources Canada) kuruluşunun sağladığı internet tabanlı GNSS değerlendirme servisidir. Diğer web tabanlı değerlendirme servislerinde olduğu gibi basit bir arayüz ile kullanıcılara hizmet sunmaktadır (Şekil 4).

Sistem, statik ve kinematik olarak toplanan verilerin çözümlerinin, NAD83 ya da ITRF datumunda ve kullanıcının tercih ettiği düşey datumda elde edilmesine olanak vermektedir. Ek bir seçenek olarak kullanıcılara kendi ölçüm yaptıkları istasyona ait okyanus yükleme dosyalarını (sistem tarafından uygun formatta) tanımlama imkânı vermektedir. CSRS-PPP kullanıcılara web tabanlı değerlendirme hizmeti verirken arka planda NRCan-PPP yazılımını kullanmaktadır. Servis tek veya çift frekanslı alıcılara toplanmış statik ya da kinematik gözlem verilerini, RINEX formatında olmak üzere (gzip, zip, unix compression tekli ya da çoklu dosyaları) farklı uydu sistemlerinden elde edilen GNSS verisini (GPS, GLONASS) değerlendirebilme özelliğine sahiptir. CSRS-PPP uygulaması Final, Rapid ya da UltraRapid uydu efemeris bilgilerinden en uygununu kullanmaktadır (Final ( $\pm 2$  cm): 13-15 günde, Rapid ( $\pm 5$  cm): ertesi gün, UltraRapid ( $\pm 15$  cm): her 90 dakikada bir).

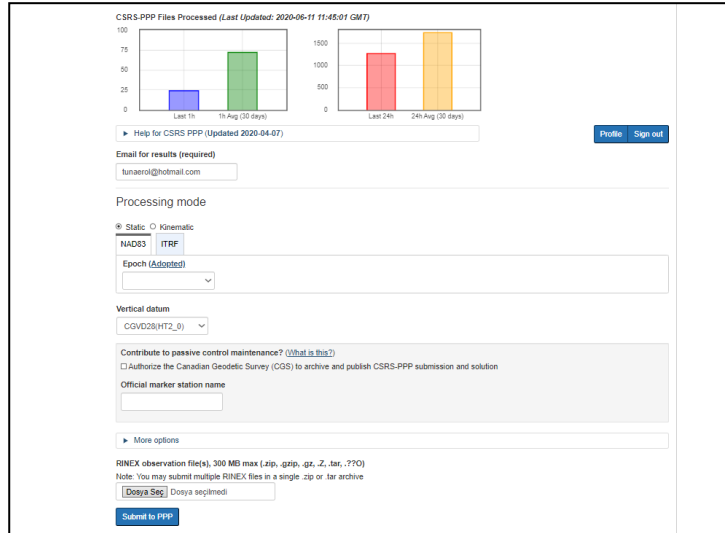
Sistem, en erken değerlendirmeyi ölçüm yapılan saatten yaklaşık 90 dakika sonra yapabilmektedir. Ancak GPS+GLONASS verisi birlikte kullanılacak ise bu süre 3 saate çıkmaktadır. Sistem tarafından kullanıcılara 4 farklı dosya formatında (\*.csv, \*.pdf, \*.pos, \*.sum) çözüm linki gönderilmektedir. 48 saat içerisinde indirilmeyen sonuç dosyaları sistem tarafından otomatik olarak silinmektedir (URL-8).

**Tablo 1:** Uygulamada kullanılan istasyonların bilgileri ve yaklaşık enlem, boylam ve elipsoidal değerleri (WGS-84)

İstasyon Kodu	Enlem (°/'/'')	Boylam (°/'/'')	Elipsoidal Yükseklik (m)	MGEX Data Başlangıcı	Anten Tipi	İstasyona ait Fotoğraf
ISTA	+41°06'16'''	+29°01'09"	147.20	2016-05-09	LEIAR25.R4 LEIT	
JPLM	+34°12'17"	-118°10'23"	423.98	2018-12-05	AOAD/M_T NONE	
KIRO	+67°52'39"	+21°03'36"	498.00	2019-02-20	JNSCR_C146- 22-1 OSOD	
NNOR	-31°02'55"	+116°11'33"	234.984	2012-10-02	SEPT POLARX5TR	
RGDG	-53°47'09"	-67°45'05"	32.364	2013-06-20	TRIMBLE ALLOY	



Şekil 3: Uygulamada kullanılan istasyonların dağılımı



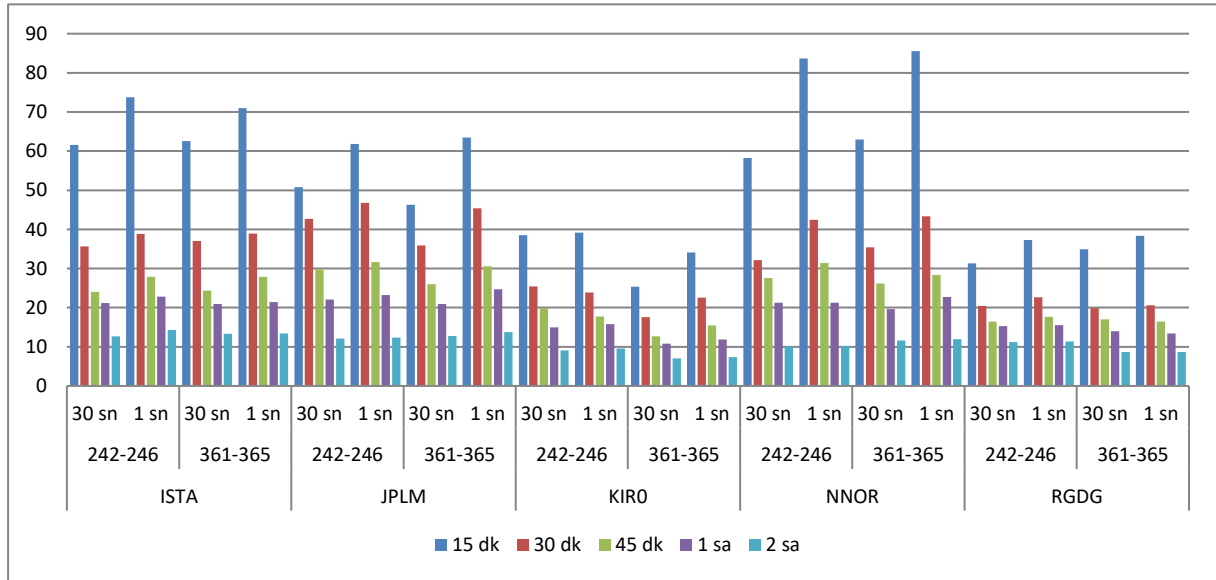
Şekil 4: CSRS-PPP kullanıcı ara yüzü (URL-8)

#### 4. Değerlendirme ve Analiz

Uygulamada tüm alt gözlemler için (15 dakikadan 24 saate kadar) her bir istasyonun 24 saatlik gözlemlerinden elde edilen konumları değişmez kabul edilerek koordinat farkları hesaplanmıştır. Uygulamada kullanılan CSRS-PPP servisinin yanında diğer web tabanlı servislerden olan OPUS (Online Positioning User Service) (URL-9) ve Trimble RTX (URL-10)'den de tüm istasyonların koordinatları 24 saatlik gözlemleri kullanılarak ITRF 2014 datumunda elde edilmiştir. Belirlenen 5'er günlük dönemler (2019 yılının 361-365. günleri, Aralık, 27-31, 2019 yılının 242-246. günleri, Ağustos, 30-31, Eylül 1-3) için 24 saatlik gözlemler değerlendirilerek elde edilen konum bilgilerinin ortalaması kullanılmıştır. Sadece CSRS-PPP uygulamasından elde edilen 24 saatlik gözlemlerin 5'er günlük ortalamalarını kullanmak yerine, diğer uygulamalardan da elde edilen konum bilgileri ile hem CSRS-PPP uygulamasının kontrolü sağlanmış hem de dış bir doğruluk ilave edilerek, sonuçların yorumlanmasında daha tutarlı olmaya çalışılmıştır. Burada, CSRS-PPP uygulamasının yanında diğer 2 GNSS değerlendirme servisinin de dâhil edilmesi bir dış doğruluk sağlamasına rağmen elde edilen sonuçları başka bir gözlem

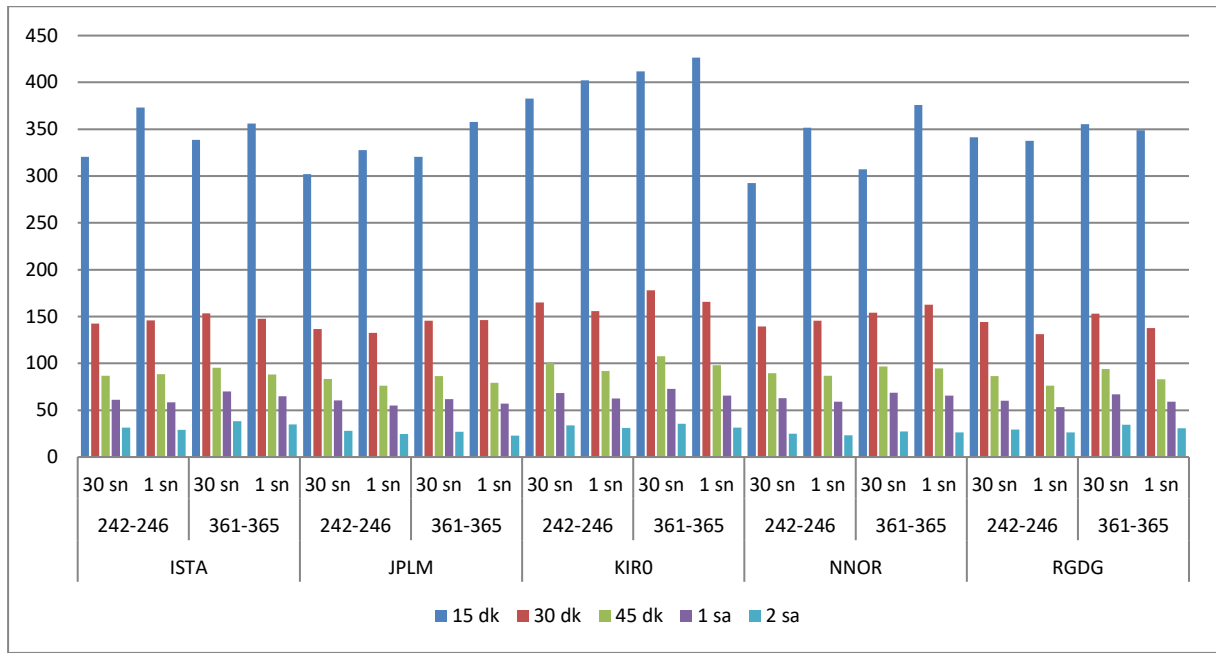
teknîği (elektronik mesafe ölçme teknolojisi, VLBI; Very Long Baseline Interferometry, SLR; Satellite Laser Ranging) ile karşılaştırma imkânı olmadığından GNSS çözümleri içindeki tekrarlanabilecek etkilerin standart hataların içinde kaldığı söylenebilir.

Her bir istasyon için 24 saatlik gözlem dosyalarından elde edilen kesin değerlerden, her istasyon için oluşturulan 30 saniye aralıklı gözlem dosyalarının (15 dk, 30 dk, 45 dk, 1 sa, 2 sa, 3 sa, 4 sa, 6 sa, 8 sa, 12 sa ve 24 sa), 1 saniye aralıklı gözlem dosyalarının (15 dk, 30 dk, 45 dk, 1 sa, 2 sa) farklı uydu sistemleri ile sadece GPS gözlem verisi (GPS-Only), sadece GLONASS gözlem verisi (GLONASS-Only) ve GPS+GLONASS gözlem verilerinin kullanılması durumunda elde edilen çözümlerin farkları hesaplanmıştır. Elde edilen farklar üç koordinat bileşeni için (kuzey-güney;north, doğu-batı;east , yükseklik; up) ayrı ayrı hesaplanmıştır. 24 saatlik gözlem verilerinden sadece GPS gözlemlerinin değerlendirildiği ve sadece GLONASS gözlemlerinin değerlendirildiği gözlem dosyaları TEQC yazılımı (URL-11) ile düzenlenerek sisteme yüklenmiştir. Uygulama kapsamında toplam 46 000 değerlendirme planlanmış ve gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar BÖHNBÜY açısından da irdelenmiştir. CSRS-PPP uygulamasında 30 saniye ve 1 saniye aralıklı veri kullanımı durumunda (GPS+GLONASS) tüm istasyonların üç koordinat bileşeni (kuzey-güney, doğu-batı ve yükseklik) için referans olarak kabul edilen koordinatlardan farkları Şekil 5, Şekil 6 ve Şekil 7’de sunulmuştur.

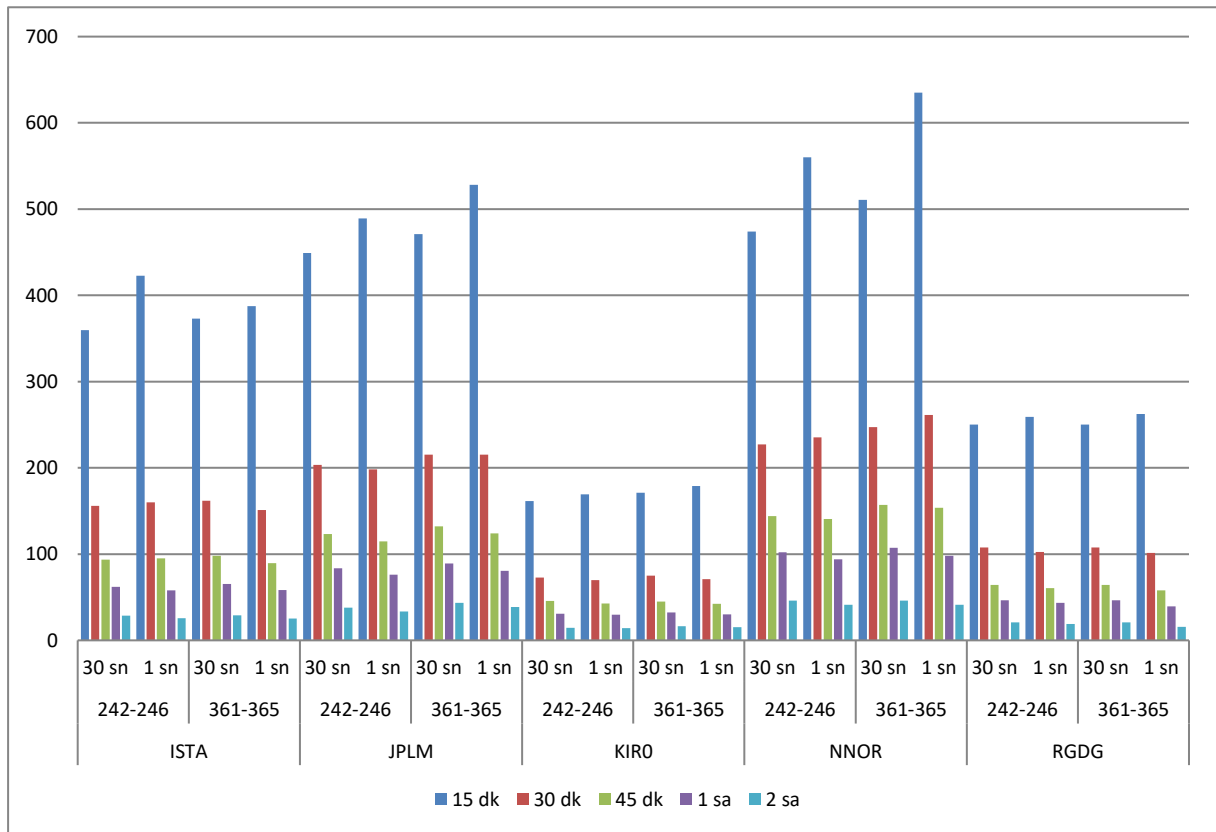


Şekil 5: Kuzey-güney koordinat bileşeni: 242-246. ve 361-365. günleri ile 30 dk ve 1 sa aralıklı gözlemler için sonuçlar



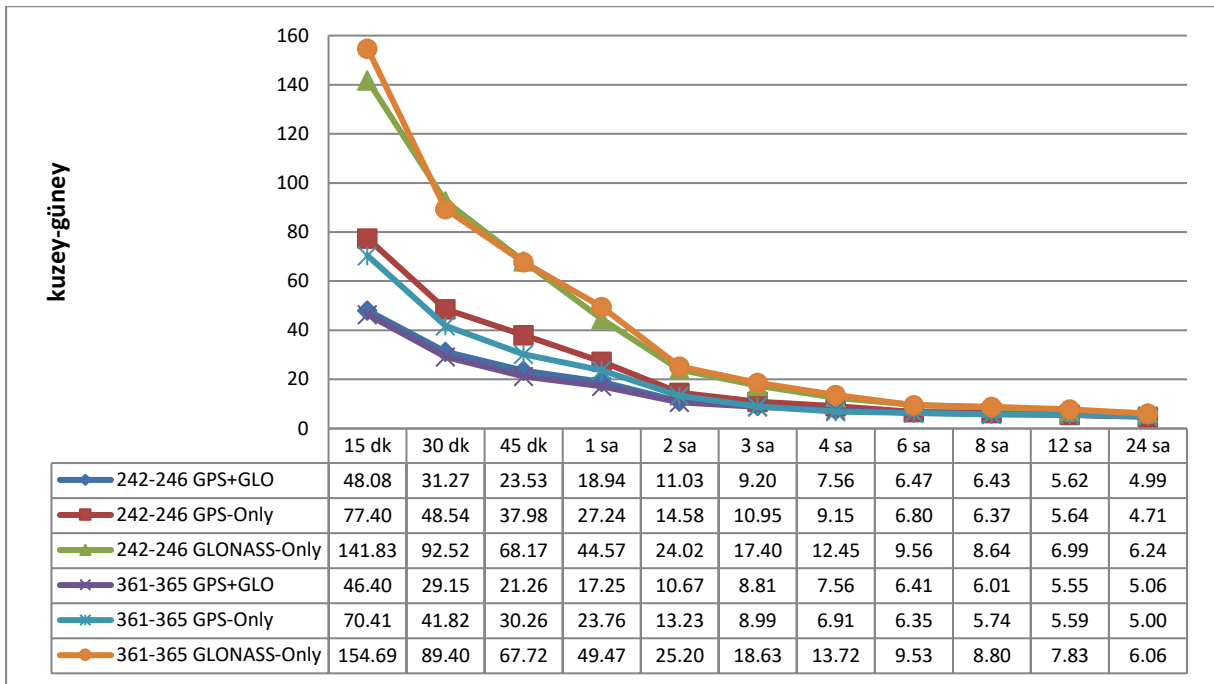


Şekil 6: Doğu-batı koordinat bileşeni 242-246 ve 361-365 günleri ile 30 dk ve 1 sa aralıklı gözlemler için sonuçlar

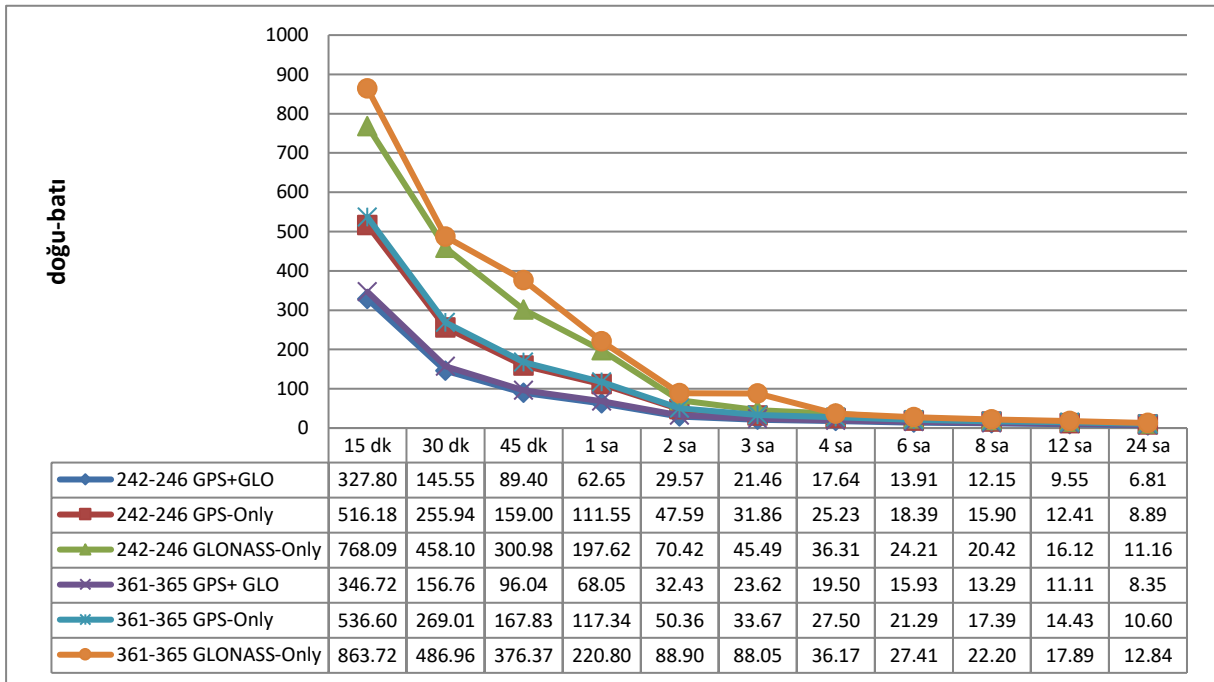


Şekil 7: Yükseklik koordinat bileşeni 242-246 ve 361-365 günleri ile 30 dk ve 1 sa aralıklı gözlemler için sonuçlar

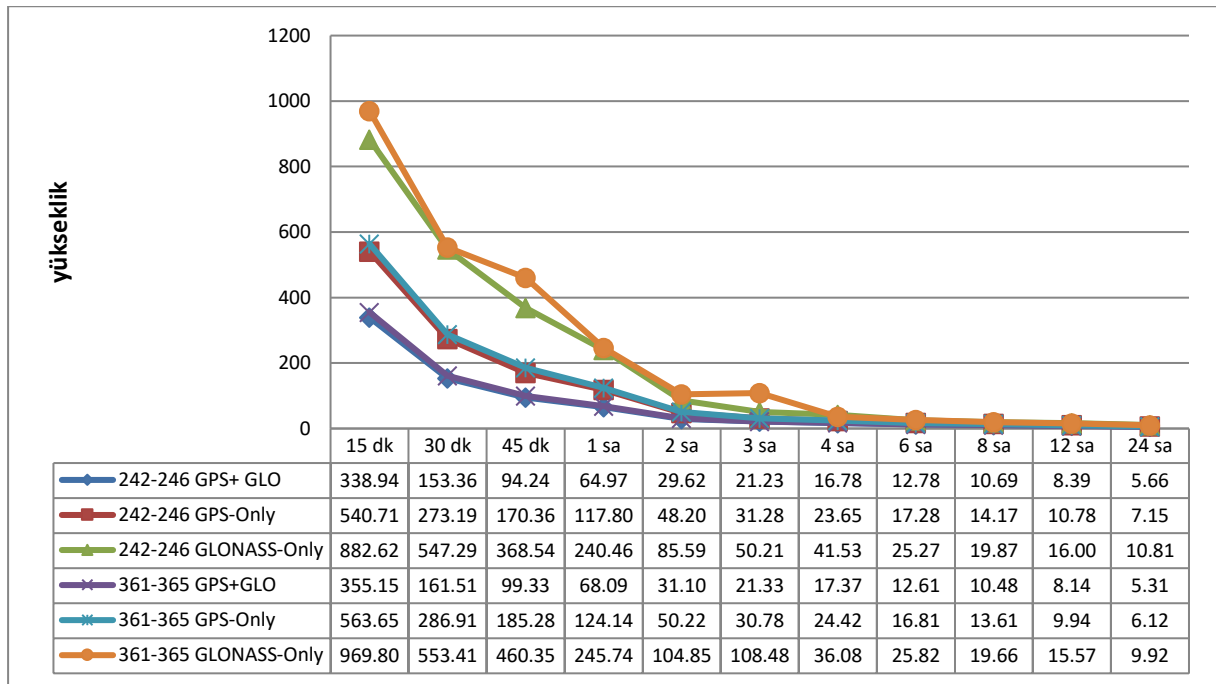
Farklı uydu sistemleri tek tek (GPS-Only ve GLONASS-Only) ve birlikte değerlendirme (GPS+GLONASS) sürecine dâhil edildiğinde her üç koordinat bileşeni (kuzey-güney, doğu-batı, yükseklik) için elde edilen koordinat farklarına ait grafikler Şekil 8, Şekil 9 ve Şekil 10'da sunulmuştur. Grafikler altındaki tablolarda verilen değerler milimetre (mm) birimindedir.



Şekil 8: Kuzey-güney koordinat bileşeninde tüm istasyonların GPS-Only, GLONASS-Only ve GPS+GLONASS 30 sn aralıklı gözlem dosyaları için ortalama sonuçlar

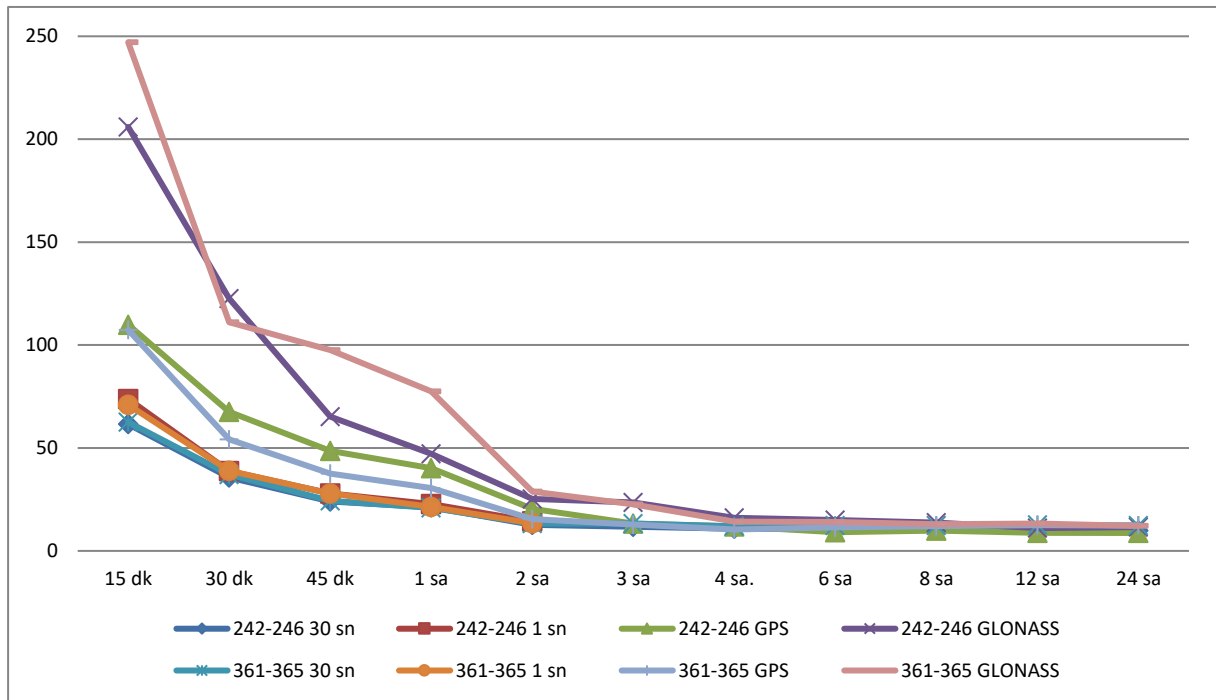


Şekil 9: Doğu-batı koordinat bileşeninde tüm istasyonların GPS-Only, GLONASS-Only ve GPS+GLONASS 30 sn aralıklı gözlem dosyaları için ortalama sonuçlar

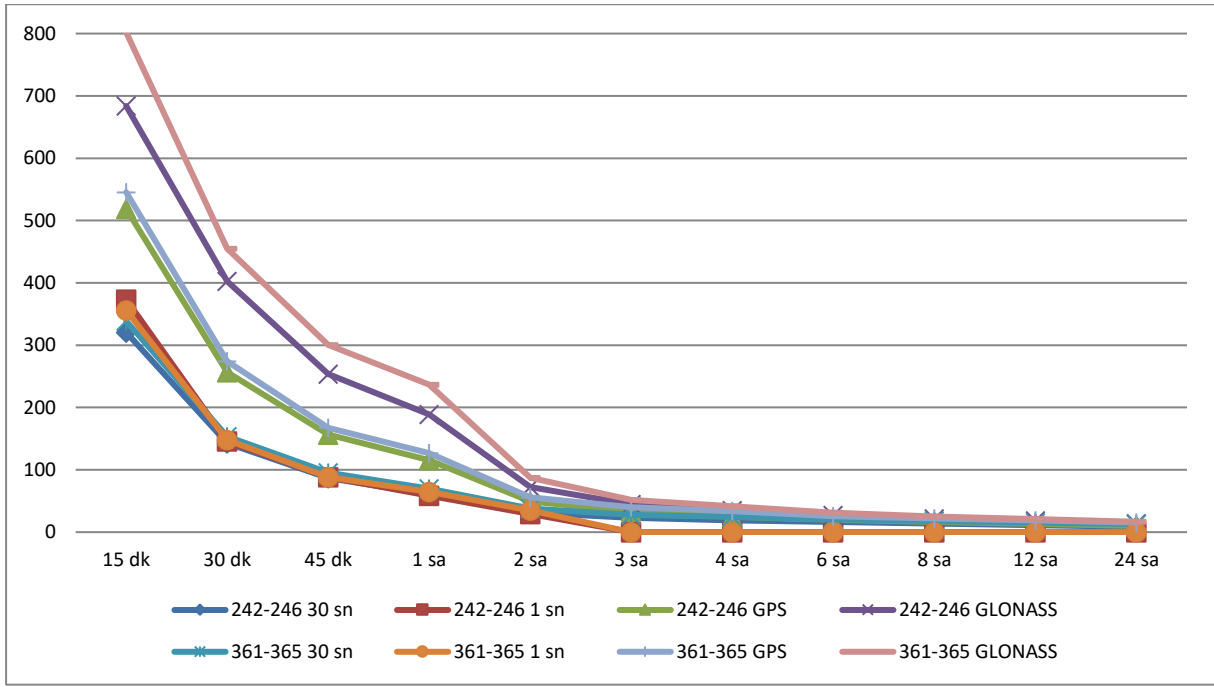


Şekil 10: Yükseklik koordinat bileşeninde tüm istasyonların GPS-Only, GLONASS-Only ve GPS+GLONASS 30 sn aralıklı gözlem dosyaları için ortalama sonuçlar

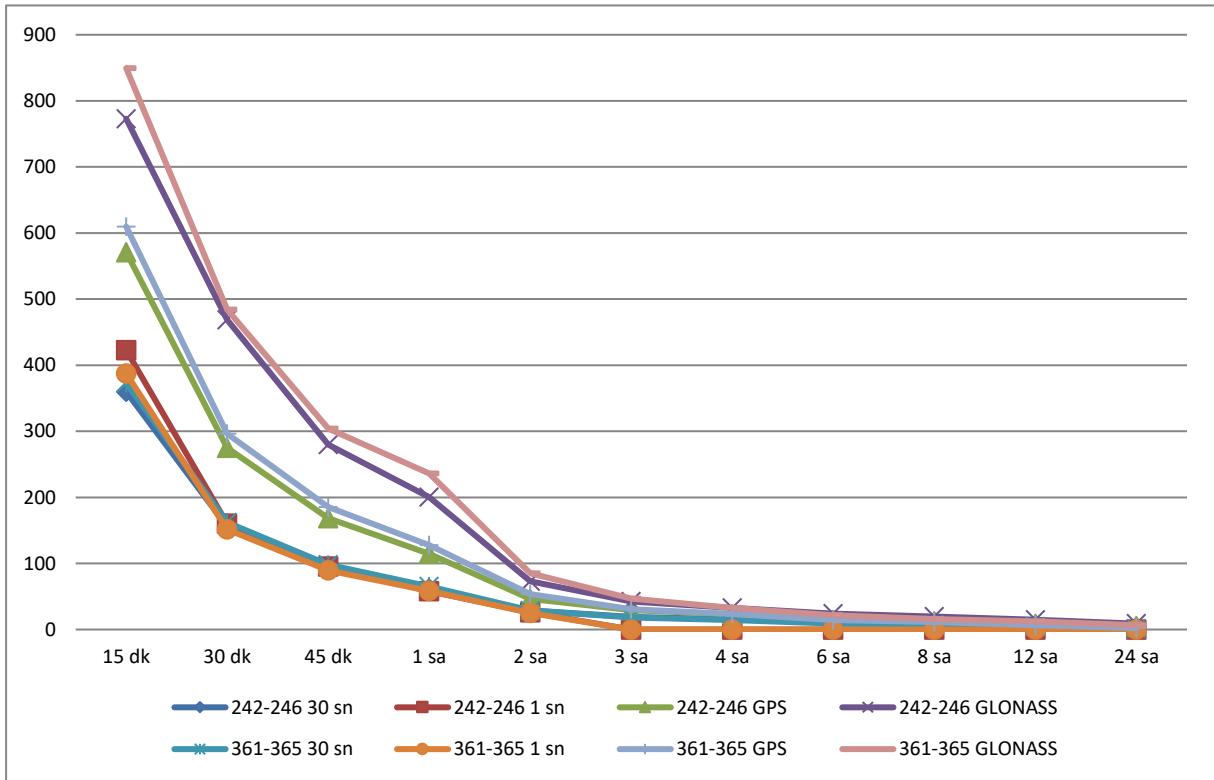
ISTA istasyonu için 2019 yılı 242 ila 246. günleri arasındaki ve 361 ila 365. günleri arasındaki 5'er günlük periyotlardaki her üç koordinat bileşeni için elde edilen koordinat farklarına ait grafikler Şekil 11, Şekil 12 ve Şekil 13'te sunulmuştur.



Şekil 11: ISTA istasyonuna ait kuzey-güney koordinat bileşeni sonuçları



Şekil 12: ISTA istasyonuna ait doğu-batı koordinat bileşeni sonuçları



Şekil 13: ISTA istasyonuna ait yükseklik koordinat bileşeni sonuçları

## 5. Sonuç ve Öneriler

Üç koordinat bileşeni kuzey-güney, doğu-batı ve yükseklik için Şekil 5, Şekil 6, Şekil 7’de sunulan sonuçlar irdelendiğinde, uygulama kapsamında belirlenen kötü iyonosferik koşulları (Şekil 2) temsil eden 2019 yılı 242 ila 246. günlerine (30-31 Ağustos, 1-3 Eylül 2019) ait değerlendirme sonuçları, uygun iyonosferik koşullar (Şekil 2) için belirlenen 2019 yılı 361 ila

365. günlerine (27-31 Aralık 2019) ait sonuçlar ile kıyaslandığında her iki veri grubunda da özellikle kısa süreli gözlemlerde (15 dk, 30 dk ve 45 dk) PPP yönteminin yakınsama süresindeki dezavantajının doğruluk üzerindeki olumsuz etkisi daha fazla görülmektedir. Bu durumun temel sebepleri; PPP çözümünde kullanılan modeller için yeterince verinin toplanmamış olması, başlangıç tamsayı belirsizliği için geçen süre, uyduların kısa süreli gözlem anındaki geometrik konumu olarak düşünülmektedir.

Uygulamada belirlenen 5'er günlük iki farklı zaman diliminde farklı iyonosferik koşullar (Şekil 2) test edilmiştir. İyonosferin GNSS sinyallerine etkisi iyonosferdeki elektron yoğunluğuna bağlı olduğu ve bu durumun da güneş ışınımı ile ilgili olduğu bilinmektedir. GNSS sinyalleri zayıf yapıları sinyallerdir ve elektronik olarak sinyal girişimine maruz kalabilirler. Belirlenen günler arasında her ne kadar Şekil 2'de görüldüğü gibi iyonosferik aktivitede farklılık bulunsada, verileri kullanılan istasyonlar için sinyallerde kesintiye sebep olmamıştır. Bunun yanında yüksek seviyede iyonosferik aktivitelerde GNSS sinyallerinde kesintiler meydana gelebilmektedir. Bu durumda özellikle kısa süreli gözlem yapıldığında başlangıç tam sayı belirsizliğinin çözümünde yeniden hesap yapılması için belli bir süre geçmesi gerekmekte ve bu durum doğruluk kayıplarına sebep olabilmektedir. Bağlı yöntemden daha fazla gözlem süresine ihtiyaç duyan PPP yönteminde gözlemlerin kesintiye uğramaması daha önemlidir.

MGEX kapsamındaki kullanılan istasyonlarda bulunan GNSS antenleri çift frekanslı özelliğe sahiptir. PPP yönteminde de iyonosfer kaynaklı hataların etkisini azaltmak için çift frekanslı GPS gözlem modelleri kullanılmaktadır. Taşıyıcı faz ve kod gözlemleri sırasıyla L3 ve P3 iyonosfer-bağımsız yapıya dönüştürülmekte, bu sayede GNSS sinyalinin iyonosfer tabakasında uğradığı kayıklıklar (bias, refraksiyon) büyük oranda giderilebilmektedir. Uygulamada belirlenen günler ve istasyonlar açısından Şekil 5-12'deki sonuçlar incelendiğinden farklı iyonosferik koşulları temsil eden günler (2019 yılı 242 ila 246. günleri ile 2019 yılı 361 ila 365. günleri) arasında anlamlı bir fark görülmemiş olup iyonosferik etkinin büyük oranda giderildiği düşünülmektedir.

Uygulamada kullanılan istasyonlarda her iki frekansta (L1/L2) GNSS verisi toplanmış olup, istasyonlar yüksek kalitede ve uzun yıllardır gözlem yapan istasyonlardır. Kullanıcılar için kullanıcı hataları, çevresel etkiler ve kullandıkları alıcıların teknik özellikleri elde edecekleri doğruluklar açısından önemlidir. Kullanıcıların gözlem yapmayı planladıkları tarihi ve gözlem gününde ölçü yapacakları saati de dikkate alarak, yerel ya da uluslararası kaynaklardan hava olaylarını takip etmeleri elde edecekleri doğruluk açısından önemlidir.

30 saniye ve 1 saniye aralıklı toplanan gözlem verilerinin değerlendirme sonuçları incelendiğinde, 1 saatlik gözlem süresinden sonra sonuçların birbirine oldukça yakınsadığı tespit edilmiştir. Daha kısa süreli gözlemlerde (15 dk, 30 dk ve 45 dk) 1 saniye aralıklı toplanan gözlem verisinin, 30 saniye aralıklı toplanan gözlem dosyalarından üretilen çözümlerin ortalamasına göre daha kötü sonuç verdiği görülmüştür. Bu durumda oturum süresi boyunca daha fazla veri toplamaktan ziyade, uyduların konum değişimlerinin (uyduların geometrisinin) daha önemli olduğu düşünülmektedir. IGS'nin veri servislerinden yayınladığı uydu yörünge ve saat bilgilerini içeren dosyalar (\*.sp3) en az 5 dakika aralıklı, uydu ve alıcı saat bilgilerine ait (\*.clk) dosyası ise 30 saniye aralıklı olarak 5'er dakikalık periyotlar halindedir. CSRS-PPP web uygulamasının çözüm dosyasında IGS'nin sunduğu yüksek kalitedeki bu dosyalar kullanılmaktadır. 30 saniye aralıklı toplanan gözlem verisinin, IGS'nin sunduğu yüksek kalitedeki veri setleri ile daha uyumlu olduğu, bu durumun kısa süreli gözlemlerde olumlu katkı yaptığı düşünülmektedir. PPP yöntemi için yakınsama süresinden (~60 dakika) sonra her iki veri grubundan (30 sn & 1 sn) elde edilen doğrulukların birbirine yakınsadığı tespit edilmiştir.

CSRS-PPP uygulamasının değerlendirme stratejisinde GPS ve GLONASS verileri birlikte değerlendirilebilmektedir. Uygulamada her bir uydu sisteminin tek başına ve birlikte değerlendirildiği 15 dakikadan 24 saate kadar olan oturum

sürelerinde, GPS sisteminin tek başına (GPS-only), GLONASS sisteminden (GLONASS-Only) her üç bileşende de daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Bu durumun, farklı sistemlerden daha fazla gözlem verisi toplanmasından ziyade, temel mantığı uzay geriden kestirme olan uydularla konum belirleme yönteminde, farklı ve birden çok uydu sistemi kullanıldığında alıcı-uydu arasındaki 3 boyutlu geometrik dağılımın çeşitlenmesinin bir sonucu olduğu düşünülmektedir.

Uydu sistemlerinin birlikte değerlendirildiği (GPS+GLONASS) çözümlerin özellikle kısa süreli gözlemlerde (15 dk,30 dk ve 45 dk) önemli hale geldiği, gözlem süresinin 2 saat üzerine çıktığında ise çözüm doğruluklarının birbirine yakınsamaya başladığı tespit edilmiştir. PPP yönteminin bahsedilen dezavantajı olan yakınsama süresi dikkate alındığında özellikle kısa süreli gözlemlerde (<1 saat) çoklu GNSS sistemlerinden (uygulama açısından GPS ve GLONASS) veri toplamanın elde edilecek doğruluklar açısından önemli olduğu tespit edilmiştir.

Ülkemizdeki tescile esas olarak üretilen harita ve harita bilgileri açısından referans olarak kabul edilen BÖHHBÜY 26 Haziran 2018 tarihli ve 30460 sayılı Resmî Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe girmiştir. Bahsi geçen yönetmeliğe göre GNSS tekniği ile ülkemizde yürütülmekte olan jeodezik çalışmalarda statik yöntem için bağıl konum belirleme tekniklerinin uygulamaları esas alınmakta ve uygulanmaktadır.

Yönetmelikte temel jeodezik noktalar için teknik sınırlamalar ve beklenen doğruluklar, bağıl değerlendirme yapılması şartı ile C1 derece noktalar (AGA; Ana GPS Ağı) için en az 2 saat oturum yapılması şartıyla yatayda  $\pm 3.0$  cm, düşeyde  $\pm 5.0$  cm, (Yönetmelik Madde 14-15), C2 derece noktalar (SGA; Sıklaştırma GPS Ağı) için en az 1 saatlik oturum süresi ile yatayda  $\pm 4.0$  cm, düşeyde  $\pm 5.0$  cm (Yönetmelik Madde 19-20), C3 derece noktalar (ASN; Alım için Sıklaştırma Noktaları) en az 20 dakikalık oturum yapılması koşuluyla yatayda  $\pm 5.0$ cm düşeyde  $\pm 6.0$  cm (Yönetmelik Madde 22), C4 poligon noktalarında en az 10 dakikalık oturum ile yatayda ve düşeyde en az  $\pm 8$  cm doğrulukla (Yönetmelik Madde 27), detay noktalarında ise  $\pm 7$  cm doğruluklar (Yönetmelik Madde 46) istenilmektedir (BÖHHBÜY, 2018).

CSRS-PPP web tabanlı uygulamadan elde edilen sonuçlara göre, çift frekanslı bir alıcı ve 30 saniye veri aralığıyla uydulara gözlem yapıldığında, PPP yöntemiyle BÖHHBÜY’de C1, C2 ve C3 derece noktalar için istenilen doğruluğa 2 saatlik, C4 derece noktalar ile detay noktaları için istenilen doğruluğa ise 1 saatlik oturum süresi ile ulaşılmıştır. PPP tekniğinden elde edilen nokta konum doğrulukları göstermektedir ki, yeni mevzuat oluşturma süreçlerinde statik yöntem dikkate alındığında bağıl konum belirleme tekniklerinin yanında, PPP tekniğinin kullanımı da etkin bir potansiyel taşımaktadır.

Uygulamada kullanılan istasyonların yüksek standartlarda olması, çevresel etkilerin (multipath, sinyal kesici engellerin olmaması, vs.) ve kullanıcı hatalarının (anten kurulumunda, anten yüksekliğinin ölçümünde hatalar, vb.) gözlem sonuçları üzerindeki olumsuz etkilerinin oldukça düşük hatta yok denecek seviyede olduğunu göstermiştir. Bu durum dikkate alındığında temel jeodezik (jeodezik nokta tesisi, nokta sıklaştırması ve ölçümü, halihazır, şeritvari harita yapımı vb.) ve mühendislik ölçme (karayolu ölçmesi, inşaat proje aplikasyonu, altyapı ölçmeleri vb.) uygulamaları yapan kullanıcıların elde edecekleri doğrulukların farklı olabileceği söylenebilir.

## Teşekkür

İstasyonlara ait verileri hiçbir uğraşı içinde olmadan, her yerden erişme imkânı sunan IGS’ye, CSRS-PPP uygulaması Natural Resources Canada çalışanlarına, iyonosferik aktivite verilerini arşivleyen ve sunan GZF, Alman Yerbilimleri Araştırma Merkezine, uygulamadaki istasyon haritalarının hazırlanmasında kullanılan açık kaynak kodlu QGIS programına ve altlık harita için OpenStreetMaps yetkililerine teşekkür ederim.

## Kaynaklar

- Bahadur, B., & Nohutcu, M. (2018). PPPH: a MATLAB-based software for multi-GNSS precise point positioning analysis. *GPS solutions*, 22(4), 113.
- Bahadur, B., & Nohutcu, M. (2019). Galileo Temelli Hassas Nokta Konumlama Yönteminin Performans Değerlendirmesi: Türkiye Örneği. *Harita Dergisi*, 162, 1-11.
- Betti, B., Biagi, L., Crespi, M., & Riguzzi, F. (1999). GPS sensitivity analysis applied to non-permanent deformation control networks. *Journal of Geodesy*, 73(3), 158-167.
- BÖHHBÜY (2018). Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği.
- Choy, S., Bisnath, S., & Rizos, C. (2017). Uncovering common misconceptions in GNSS Precise Point Positioning and its future prospect. *GPS solutions*, 21(1), 13-22.
- Doğan, A. H., Tunahöglü, N., Erdoğan, B., & Öcalan, T. (2018). Evaluation of the GPS Precise Point Positioning technique during the 21 July 2017 Kos-Bodrum (East Aegean Sea) Mw 6.6 earthquake. *Arabian Journal of Geosciences*, 11(24), 775.
- Dong, D. N., & Bock, Y. (1989). Global Positioning System network analysis with phase ambiguity resolution applied to crustal deformation studies in California. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 94(B4), 3949-3966.
- Eckl, M. C., Snay, R. A., Soler, T., Cline, M. W., & Mader, G. L. (2001). Accuracy of GPS-derived relative positions as a function of interstation distance and observing-session duration. *Journal of geodesy*, 75(12), 633-640.
- 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.
- Erdoğan, B., Kayacık, O., & Doğan, A. H. (2019). Hassas mutlak nokta konumlamada GIPSY-OASIS II v6. 4 yazılımı ile elde edilen varyans kovaryans matrisinin güvenilirliğinin araştırılması. *Jeodezi ve Jeoinformasyon Dergisi*, 6(2) 75-86.
- Erol, T. (2019). *Ticari Yazılımlar ile Üretilen GNSS Çözümlerinin Doğruluğu* (Doktora Tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Feigl, K. L., Agnew, D. C., Bock, Y., Dong, D., Donnellan, A., Hager, B. H., Herring, T. A., Jackson, D. D., Jordan, T. H., King, R. W., Larsen, S., Larson, K. M., Murray, M. H., Shen, Z., & Larsen, S. (1993). Space geodetic measurement of crustal deformation in central and southern California, 1984–1992. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 98(B12), 21677-21712.
- Firuzabadi, D., & King, R. W. (2012). GPS precision as a function of session duration and reference frame using multi-point software. *GPS solutions*, 16(2), 191-196.
- Geng, J., Meng, X., Teferle, F. N., & Dodson, A. H. (2010). Performance of precise point positioning with ambiguity resolution for 1-to 4-hour observation periods. *Survey Review*, 42(316), 155-165.
- Häkli, P., & Koivula, H. (2008). *Assessment of practical 3-D geodetic accuracy for static GPS surveying*. FIG Working Week, Stockholm, İsveç.
- Isioye, O. A., Moses, M., & Abdulmumin, L. (2019). *Comparative Study of Some Online GNSS Post-Processing Services at Selected Permanent GNSS Sites in Nigeria*. Şanlı, D. U. (ed) *Accuracy of GNSS Methods*, (s. 89-106).
- Jha, M. K., Singh, S., Upadhyay, N., & Khare, N. (2016). Comparative Study of Online GPS Post Processing Services and Effects on DGPS Data Processing. *IRSMST*, 7(1), 2348-9367.
- Kouba, J., & Héroux, P. (2001). Precise point positioning using IGS orbit and clock products. *GPS solutions*, 5(2), 12-28.
- Larson, K. M., & Agnew, D. C. (1991). Application of the Global Positioning System to crustal deformation measurement: 1. Precision and accuracy. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 96(B10), 16547-16565.
- Öcalan, T. (2015). *GNSS Ağlarında GPS Hassas Nokta Konumlama (GPS-PPP) Tekniği Yaklaşımli Çözümler* (Doktora Tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Rapiński, J., & Cellmer, S. (2011). Tests of selected automatic positioning systems in post-processing mode. *Technical Sciences/University of Warmia and Mazury in Olsztyn*, 14(1), 45-56.
- Soler, T., Michalak, P., Weston, N. D., Snay, R. A., & Foote, R. H. (2006). Accuracy of OPUS solutions for 1-to 4-h observing sessions. *GPS solutions*, 10(1), 45-55.
- Şanlı, D. U., & Engin, C. (2009). Accuracy of GPS positioning over regional scales. *Survey Review*, 41(312), 192-200.
- Şanlı, D. U., & Kurumahmut, F. (2011). Accuracy of GPS positioning in the presence of large height differences. *Survey Review*, 43(320),

162-176.

- Tariq, M., Hadi, A., & Hamed, H. (2017). Accuracy Assessment of Different GNSS Processing Software. *Imperial Journal of Interdisciplinary Research*, 3(10), 469-478.
- Tekiç, S. (2009). *Accuracy Of GPS Precise Point Positioning (PPP)* (Yüksek Lisans Tezi). Boğaziçi Üniversitesi, Deprem Araştırma Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Tiryakioğlu, İ., Dereli, M. A., Erdoğan, S., & Güral, E. (2010). Tektonik Hareketlerin Belirlenmesine Yönelik Ölçü Kampanyalarında GNSS Gözlem Sayı ve Sürelerinin Konum Doğruluğuna Olan Etkilerinin Araştırılması. *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 2(2), 32-38.
- Wang, G. Q. (2013). Millimeter-accuracy GPS landslide monitoring using Precise Point Positioning with Single Receiver Phase Ambiguity (PPP-SRPA) resolution: a case study in Puerto Rico. *Journal of geodetic science*, 3(1), 22-31.
- Yiğit, C. Ö., & Gürlek, E. (2017). Experimental testing of high-rate GNSS precise point positioning (PPP) method for detecting dynamic vertical displacement response of engineering structures. *Geomatics, natural hazards and risk*, 8(2), 893-904.
- 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: solid earth*, 102(B3), 5005-5017.
- URL-1: [https://apps.gdgps.net/apps\\_file\\_upload.php](https://apps.gdgps.net/apps_file_upload.php), (Erişim Tarihi: 14 Nisan 2020).
- URL-2: <http://magicgnss.gmv.com/ppp/>, (Erişim Tarihi: 14 Nisan 2020).
- URL-3: <http://gaps.gge.unb.ca>, (Erişim Tarihi: 15 Nisan 2020)
- URL-4: <http://www.igs.org/mgex>, (Erişim Tarihi: 15 Nisan 2020).
- URL-5: <ftp://ftp.cddis.eosdis.nasa.gov/pub/gnss/data/daily>, (Erişim Tarihi: 15 Nisan 2020).
- URL-6: <http://www.igs-ip.net/home>, (Erişim Tarihi: 15 Nisan 2020).
- URL-7: <https://www.gfz-potsdam.de>, (Erişim Tarihi 9 Nisan 2020).
- URL-8: <https://webapp.geod.nrcan.gc.ca/geod/tools-outils/ppp.php>, (Erişim Tarihi: 10 Nisan 2020).
- URL-9: <https://www.ngs.noaa.gov/OPUS/>, (Erişim Tarihi: 15 Nisan 2020).
- URL-10: <https://www.trimblertx.com/UploadForm.aspx>, (Erişim Tarihi: 15 Nisan 2020).
- URL-11: <https://www.unavco.org/software/data-processing/teqc/teqc.html>, (Erişim Tarihi: 20 Nisan 2020).