

## Çoklu-GNSS çözümlerinin performansının internet tabanlı Trimble RTX servisi ile incelenmesi

Gizem Sezer<sup>1</sup> , Ali Hasan Doğan<sup>1</sup> , Bahattin Erdoğan<sup>1\*</sup> 

<sup>1</sup>Yıldız Teknik Üniversitesi, Davutpaşa Kampüsü, İnşaat Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Esenler, İstanbul, Türkiye.

**Öz:** Günümüzde jeodezik amaçlı yapılan çalışmaların birçoğunda Küresel Konumlama ve Uydular Sistemi'ne (Global Navigation Satellite System, GNSS) ait veriler kullanılmaktadır. GNSS yapısında, GPS, GLONASS, Galileo ve BeiDou uydular sistemleri beraber değerlendirilerek konum bilgisi elde edilebilmektedir. Uluslararası GNSS Servisi (International GNSS Service, IGS) bu amaç doğrultusunda farklı sinyal ve uydular sistem verilerinin toplanması, izlenmesi ve analiz edilmesi için Multi-GNSS Experiment (MGEX) adında bir proje başlatmıştır. Çoklu-GNSS çözümlerinin kullanılmaya başlamasından dolayı, bu çözümlerden elde edilen konum doğruluğunun belirlenmesi kullanıcılar açısından büyük önem arz etmektedir. Bu nedenle bu çalışmada; 10 noktaya ait GNSS verileri; GPS, GPS/GLONASS, GPS/GLONASS/Galileo ve GPS/GLONASS/Galileo/BeiDou olmak üzere 4 farklı senaryo ile değerlendirilmiş ve doğruluk analizleri gerçekleştirilmiştir. GNSS verilerinin değerlendirilmesi bir internet tabanlı yazılım olan ve Çoklu-GNSS hassas mutlak nokta konumlama (Precise Point Positioning, PPP) çözüm kapasitesine sahip Trimble RTX servisi ile gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, sadece GPS çözümleri yerine farklı uydular kombinasyonlarını birlikte kullanarak daha yüksek doğrulukla konum bilgisi elde edilebileceğini göstermiştir. Ayrıca, Çoklu-GNSS çözüm doğruluklarının gözlem süresi ve enlem bilgisine bağlı olup olmadığı da incelenmiştir. Sonuçlara göre Çoklu-GNSS çözüm doğruluklarının sadece gözlem süresine bağlı olarak değiştiği vurgulanmıştır.

**Anahtar Sözcükler:** Çoklu-GNSS, Doğruluk, Hassas mutlak nokta konum belirleme, Trimble RTX servisi

### Investigation of the performance of the Multi-GNSS analysis with web based Trimble RTX service

**Abstract:** Nowadays, Global Navigation Satellite Systems (GNSS) data are used in most of the geodetic studies. Positioning information can be obtained by using GPS, GLONASS, Galileo and BeiDou in the structure of the GNSS. International GNSS Service (IGS) has initiated a project, called Multi-GNSS Experiment (MGEX), to collect, track and analyze different signals and satellite system data. Since, the Multi-GNSS solutions have started to use, positioning accuracy obtained from Multi-GNSS solutions is very important for users. Therefore, in this study, GNSS data of 10 stations were analyzed in 4 different scenarios as GPS, GPS/GLONASS, GPS/GLONASS/Galileo and GPS/GLONASS/Galileo/BeiDou. The GNSS data were processed using Trimble RTX service which is a web based precise point positioning (PPP) software that is capable of processing Multi-GNSS data. Results have demonstrated that, it has been shown that the higher positioning accuracy can be obtained using different satellite systems together, instead of using GPS-Only. Moreover, accuracy of Multi-GNSS solutions was investigated whether it depends on session duration and latitude or not. According to the results, it was emphasized that accuracy of Multi-GNSS solutions only depends on session duration.

**Keywords:** Multi-GNSS, Accuracy, Precise point positioning, Trimble RTX service

\* Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Tel: +90 212 383 5291

Geliş Tarihi/Received: 06.07.2020  
Kabul Tarihi/Accepted: 15.10.2020



0000-0002-4190-5776, sezergizem1306@gmail.com (Sezer G.)  
0000-0002-8490-890X, alihasan@yildiz.edu.tr (Doğan A.H.)  
0000-0002-8060-9208, berdogan@yildiz.edu.tr (Erdoğan B.)\*

## 1. Giriş

Küresel Konumlama ve Uydu Sistemleri (Global Navigation Satellite System, GNSS); mühendislik, navigasyon, meteorolojik çalışmalar gibi birçok alanda tercih edilmektedir. GNSS yönteminin klasik yöntemlere göre tercih edilme sebepleri; noktaların birbirlerini görme zorunluluğunun olmaması, günün her saatinde ve her türlü hava koşulunda çalışabilir olması şeklinde sıralanabilir. Her ne kadar GNSS yöntemi ile geçmişte yüksek doğrulukta konum bilgisi elde edilebilmesi için en az iki GNSS alıcısı (bağıl konum belirleme) ihtiyacı olsa da; son yıllarda geliştirilen hassas mutlak nokta konumlama (Precise Point Positioning, PPP) tekniği ile tek alıcı ile cm mertebesinde konum bilgisi elde edilebilmektedir (Gao & Shen, 2001; Kouba & Héroux, 2001; Zumberge, Heflin, Jefferson, Watkins, & Webb, 1997).

PPP tekniği ilk olarak Zumberge vd. (1997) tarafından öne sürülmüş, daha sonra Kouba ve Héroux (2001) ve Gao ve Shen (2001) tarafından geliştirilmiştir. PPP tekniği her ne kadar mühendislik uygulamalarında maliyeti düşürse de, cm mertebesinde doğruluğa ulaşabilmesi için uzun yakınsama süresi gerektirmektedir (Geng, Teferle, Meng, & Dodson, 2011). GNSS ile konum belirlemede genelde GPS uydu verileri tercih edilmektedir. Ancak, GPS uydularına farklı uydu sistemlerinin (GLONASS, Galileo, BeiDou) eklenmesi ile yakınsama süresi kısalabilmektedir (Bisnath & Gao 2009; Rizos, Janssen, Roberts, & Grinter, 2012; Toluc, 2016).

Uluslararası GNSS Servisi (International GNSS Service, IGS) farklı sinyal ve uydu sistem verilerinin toplanması, izlenmesi ve analiz edilmesi için Multi-GNSS Experiment (MGEX) projesini başlatmıştır. Bu projenin amaçlarından biri de farklı uydu sistemlerinin bir arada (Çoklu-GNSS) tüm özellikleri ile kullanılabilmesi olarak ifade edilmektedir (Montenbruck vd., 2017; URL-1). Bu bağlamda bilim dünyasında birçok çalışma gerçekleştirilmiştir. Li vd. (2015) Çoklu-GNSS çözümleri ile yakınsama süresinin %70 kısaldığını, konum belirleme doğruluğunun ise %25 arttığını vurgulamıştır. Xia vd. (2019) Galileo sisteminin diğer uydu sistemlerine olan katkısını incelemiştir. Çalışmada, Galileo kullanımının sadece GPS çözümlerine göre yakınsama süresini %30.45, GPS/GLONASS kombinasyon süresini ise %7.80 azalttığı gösterilmiştir. Ayrıca; Galileo'nun kinematik çözümlerde sadece GPS çözümlerinden elde edilen konum doğruluğunu %20-30 oranında arttırdığı ifade edilmiştir. Wang vd. (2019) ise Çoklu-GNSS çözümlerinin yoğunlaşabilir su buharı miktar doğruluğunu %10 arttırdığını göstermiştir. Ögütçü (2019)'da, 6 IGS istasyonunun farklı gözlem sürelerine ait Çoklu-GNSS verileri GipsyX yazılımı kullanılarak değerlendirilmiştir. Farklı uydu sistemlerinin özellikle kısa süreli gözlemlere büyük oranda katkı yaptığı belirtilmiştir. Ögütçü (2020) ise Galileo sisteminin yakınsama süresini statik çözümlerde düşey bileşende %45, yatay bileşende %50; kinematik çözümlerde düşey bileşende %62, yatay bileşende %89 oranında kısalttığını ifade etmiştir.

GNSS verileri akademik, ticari ve internet tabanlı yazılımlar kullanılarak değerlendirilebilmektedir. Öcalan, Erdoğan ve Tunahioğlu (2013) internet tabanlı yazılımlar ile mm mertebesinde yatay konum doğruluğu elde edilebileceğini göstermiştir. Ayrıca, Albayrak, Erdoğan ve Erkaya (2020) ise internet tabanlı yazılımların jeodezik çalışmalarda kullanılabilir olduğunu ve gelecekte daha verimli olacağını vurgulamıştır. Literatür incelendiğinde ise uzun süreli gerçekleştirilen gözlemler dikkate alınarak hesaplanan güvenilir kestirim değerlerine göre GNSS çözüm doğruluklarının karesel ortalama hataları (Root Mean Square, RMS) ile incelendiği görülebilmektedir (Eckl, Snay, Soler, Cline, & Mader, 2001; Soler, Michalak, Weston, Snay, & Foote, 2006; Soycan & Öcalan, 2011; Tut, Şanlı, Erdoğan, & Hekimoğlu, 2013). Bu çalışmada, Çoklu-GNSS çözüm doğruluklarının internet tabanlı bir servis kullanılarak belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda, 10 adet noktaya ait 2, 4, 6, 8, 12 ve 24 saatlik Çoklu-GNSS verileri internet tabanlı Trimble RTX servisi kullanılarak analiz edilmiştir. Konum doğrulukları GPS (G), GPS/GLONASS (GR), GPS/GLONASS/Galileo (GRE) ve GPS/GLONASS/Galileo/BeiDou (GREC) olmak üzere dört farklı senaryo üzerinden incelenmiştir. Ayrıca, hem gözlem süresinin hem de nokta enlem bilgisinin Çoklu-GNSS çözüm doğruluğuna etkisini irdelemek amacıyla doğruluk fonksiyonları belirlenmiştir.

## 2. Hassas Mutlak Nokta Konumlama

PPP tekniği, tek bir GNSS alıcısı ile cm mertebesinde konum doğruluğu elde edilmesini sağlamaktadır. PPP tekniğinde, kod ve faz ölçülerinin iyonosferden bağımsız lineer kombinasyonları birlikte kullanılarak yüksek doğrulukta konum bilgisi elde edilmesi sağlanır (Gao & Shen, 2001; Kouba & Héroux, 2001). Bu sayede GNSS'in en büyük hata kaynaklarından biri olan iyonosfer hatası büyük oranda elimine edilmiş olur (Öcalan, 2015). Ancak, PPP tekniğinde mutlak konumlama ile tek alıcı kullanarak konum bilgisi elde edildiğinden, bağıl konum belirlemede olduğu gibi fark alma teknikleri ile diğer hata kaynakları giderilememektedir. Bu hata kaynaklarının farklı kurum ve kuruluşlar tarafından üretilen ürünler yardımıyla veya modellenerek giderilmesi gerekmektedir. PPP tekniğinin hata kaynakları Tablo 1'de özetlenmiştir.

**Tablo 1:** PPP hata kaynakları (Rizos vd., 2012)

Hata Kaynakları ve Modelleri	Düzeltilme Türü
Uydu Kaynaklı Hatalar	Hassas uydu saat düzeltmeleri
	Uydu anteni faz merkezi offset değerleri
	Uydu anteni faz merkezi kayıklıkları
	Hassas uydu yörüngeleri
	Diferansiyel grup gecikmeleri
	Görelilik koşulu
Alıcı Kaynaklı Hatalar	Uydu anteni faz dönmesi
	Alıcı anteni faz merkezi offset değerleri
	Alıcı anteni faz merkezi kayıklıkları
Jeofiziksel Modeller	Alıcı anteni faz dönmesi
	Katı yeryuvarı gelgiti
	Okyanus yüklemesi
	Kutup gelgiti
Atmosferik Modelleme	Plaka tektonik hareketleri
	Troposferik gecikme
	İyonosferik gecikme

Bu çalışmada veri analizleri internet tabanlı Çoklu-GNSS PPP servisi olan Trimble RTX kullanılarak gerçekleştirilmiştir (URL-2). Trimble RTX Eşitlik 1 ve 2'yi temel alarak çözümleri gerçekleştirmektedir (Doucet vd., 2012).

$$P_{i,k}^j = \rho_i^j + c\Delta t_i - c\Delta t^j + T_1^j + I_{P,i,k}^j + b_{P,i,k} - b_{P,k}^j + m_{P,i,k}^j + \epsilon_{P,i,k}^j \quad (1)$$

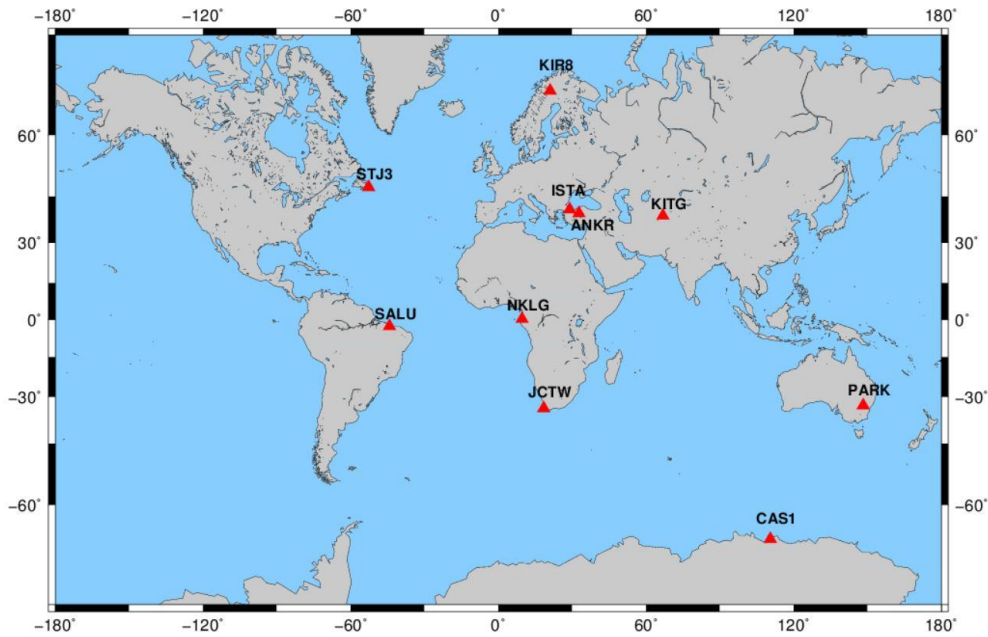
$$\phi_{i,k}^j = \rho_i^j + c\Delta t_i - c\Delta t^j + T_1^j + I_{\phi,i,k}^j + b_{\phi,i,k} - b_{\phi,k}^j + \lambda_k N_{i,k}^j + m_{\phi,i,k}^j + \epsilon_{\phi,i,k}^j \quad (2)$$

Burada;  $P_{i,k}^j$  ve  $\phi_{i,k}^j$  kod ve faz ölçülerini,  $\rho_i^j$  uydu ve alıcı arasındaki geometrik uzaklığı,  $c$  ışık hızını  $\Delta t_i$  ve  $\Delta t^j$  sırasıyla alıcı ve uydu saat hatalarını,  $T_1^j$  troposferik gecikmeyi,  $I_{P,i,k}^j$  ve  $I_{\phi,i,k}^j (= -I_{P,i,k}^j)$  kod ve faz ölçüleri için iyonosferik gecikmeyi,  $b_{P,i,k}$  ve  $b_{\phi,i,k}$  alıcı kod ve alıcı faz hatalarını,  $b_{P,k}^j$  ve  $b_{\phi,k}^j$  uydu kod ve uydu faz hatalarını,  $\lambda_k$   $k$  frekansı için taşıyıcı dalga boyunu,  $N_{i,k}^j$  başlangıç tamsayı faz belirsizliğini,  $m_{P,i,k}^j$  ve  $m_{\phi,i,k}^j$  kod ve faz ölçüleri için çok yolluluk etkisini,  $\epsilon_{P,i,k}^j$  ve  $\epsilon_{\phi,i,k}^j$  kod ve faz ölçüleri için gürültüleri ifade etmektedir.

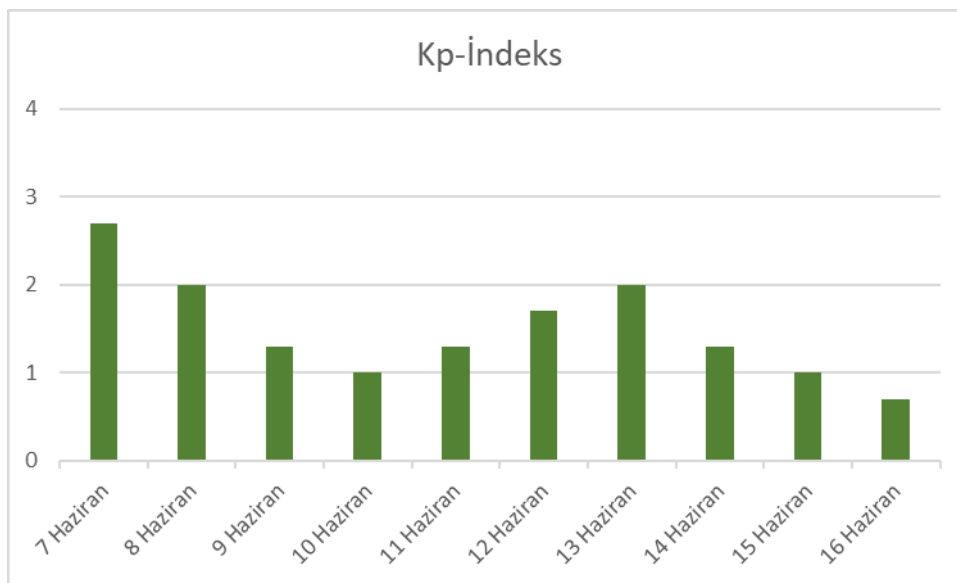
Analizlerde Trimble-RTX tarafından üretilen hassas yörünge ve saat bilgileri kullanılmaktadır. Bu ürünlerin 1 saniyelik zamansal çözünürlüğe sahip olduğu belirtilmektedir. Yakınsama süresi yaklaşık 15 dakika olan Trimble RTX servisi ile statik çözümlerde mm mertebesinde doğrulukla konum bilgisi elde edilebilmektedir (Doucet vd., 2012). İyonosferik etki, iyonosferden bağımsız sinyal kombinasyonları ile giderilmektedir. Alıcı saat hataları, troposferin ıslak bileşeni ve gradyentler bilinmeyen olarak kestirilmektedir. Ayrıca, Tablo 1'de yer alan hata kaynakları Trimble RTX servisi ile çözümlerde göz önünde bulundurulmaktadır.

### 3. Veri Analizi

Bu çalışmada IGS ağına ait 10 noktanın, 7-16 Haziran 2018 günlerine ait 10 günlük verisi değerlendirilmiştir (Şekil-1). Hesaplamalarda bu tarih aralıkları seçilirken; iyonosferik etkilerin ve manyetik fırtınaların etkisini en aza indirmek için Kp- indeks değerleri de göz önüne alınmıştır (Şekil-2). Kp- indeks değeri küresel ölçekte jeomanyetik etkiyi ifade etmektedir ve 3 saatlik gözlemler sonucunda elde edilmektedir. Bu değer 0 ile 9 arasında değişmektedir. Bu çalışmada sınır değeri “4” olarak belirlenmiştir. Literatürdeki çalışmalar, 4’ün üzerindeki değerlerin şiddetli jeomanyetik etkiyi ifade ettiğini belirtmiştir (Yapıcı, 2007; URL-3). Ayrıca, noktalar seçilirken Çoklu-GNSS çözümlerinin farklı enlemlerdeki etkileri de incelenmek istendiğinden nokta enlem bilgileri de dikkate alınmıştır. Tablo 2, yaklaşık nokta konum bilgilerini ve noktaların hangi günlerde hangi uydu sistemi verilerini içerdiğini göstermektedir.



Şekil 1: Çalışmada kullanılan noktalar



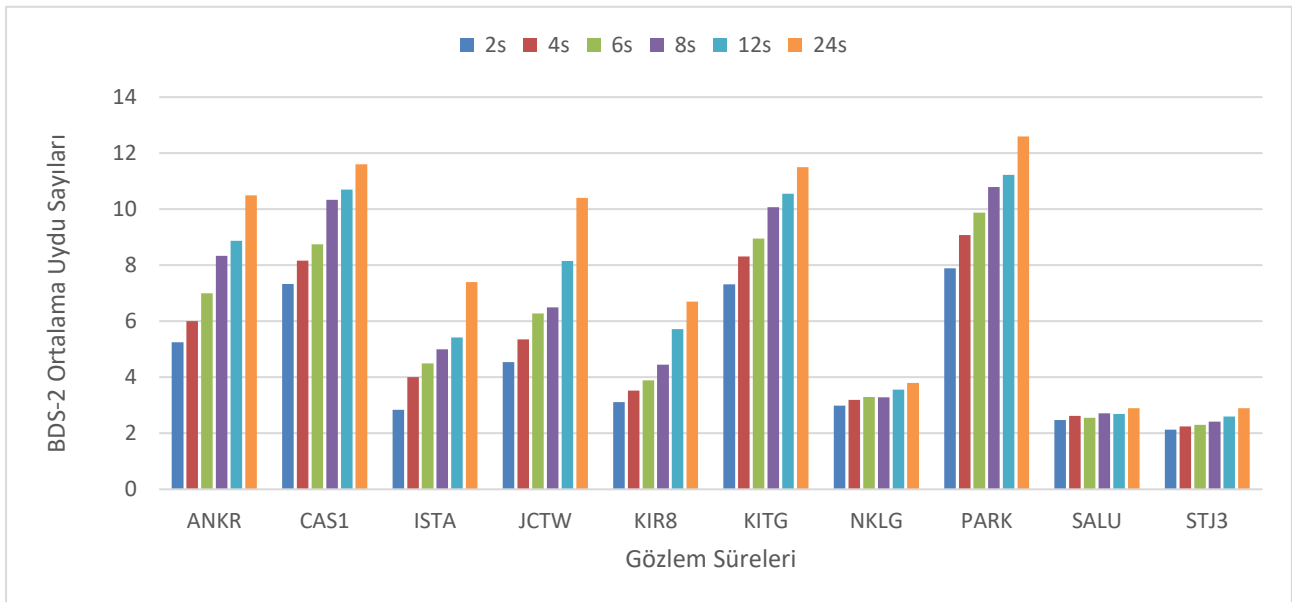
Şekil 2: Seçilen günlere ait Kp-İndeks değerleri (URL-3)

**Tablo 2:** Çalışmada kullanılan nokta bilgileri (WGS84 elipsoidine göre)

Nokta	Enlem (°)	Boylam (°)	Yükseklik (m)	DOY	Uydu Sistemi
ANKR	39.88737	32.75847	976.008	160-167	G-R-E-C
CAS1	-66.28336	110.51971	22.478	158-167	G-R-E-C
ISTA	41.10445	29.01934	147.240	158-167	G-R-E-C
JCTW	-33.95143	18.46855	83.601	158-167	G-R-E-C
KIR8	67.87755	21.06019	498.162	158-167	G-R-E-C
KITG	39.13339	66.88674	620.654	158-167	G-R-E-C
NKLG	0.35391	9.67213	31.498	158-167	G-R-E-C
PARK	-32.99876	148.26461	397.374	158-167	G-R-E-C
SALU	-2.59346	-44.21248	18.977	158-167	G-R-E-C
STJ3	47.59544	-52.67831	154.516	158-167	G-R-E-C

DOY: Yılın günü (Day of Year), G: GPS, R: GLONASS, E: Galileo, C: BeiDou

Çoklu-GNSS çözümlerinden elde edilen konum doğrulukları GPS (G), GPS/GLONASS (GR), GPS/GLONASS/Galileo (GRE) ve GPS/GLONASS/Galileo/BeiDou (GREC) olmak üzere dört farklı senaryo üzerinden incelenmiştir. BeiDou uydu sisteminde küresel boyutta bazı bölgelerde uydu görünürlüklerinde BDS-2 uyduları kullanıldığında sorun yaşanmaktadır. Bu çalışmada da sadece BDS-2 uyduları kullanıldığından farklı gözlem süreleri için noktalarda görülen ortalama BDS-2 uydu sayılarını gösteren grafik Şekil 3'te verilmektedir. Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde konum doğruluklarının ve güvenilirliklerinin tekrarlılıklardan elde edilen RMS değerleri ile ilişkilendirildiği görülebilmektedir (Eckl vd., 2001; Erdoğan, Kayacık, & Doğan, 2019; Erdoğan & Doğan, 2019; Soler vd., 2006; Soyacan & Ocalan, 2011; Tut vd., 2013). Ayrıca GPS ile elde edilen konum doğruluklarının gözlem süresine bağlı olduğu birçok çalışmada gösterilmiştir (Eckl vd., 2001; Erdoğan & Doğan, 2019; Şanlı & Engin, 2009; Tut vd., 2013). Bu nedenle Çoklu-GNSS çözümlerinin gözlem süresine bağlı olup olmadığını belirlemek için veriler 2, 4, 6, 8, 12 ve 24 saatlik gözlem sürelerine bölünmüştür.

**Şekil 3:** Noktalardaki gözlem sürelerine göre ortalama BDS-2 uydu sayıları

Trimble RTX servisi kullanıcıya farklı datumlarda çözüm yapma imkânı tanımaktadır. Bu çalışmada çözümler ITRF2014 datumunda gerçekleştirilmiştir. Yazılım sonuç ürünü, ölçü epoğunda yer merkezci Kartezyen koordinat sistemi koordinatlarını ve koordinatların varyans kovaryans bilgilerini içermektedir. Ancak bu çalışmada konum doğrulukları doğu

(d), kuzey (k) ve yukarı (y) bileşenleri şeklinde incelenmek istendiğinden; yer merkezci koordinatlar toposentrik koordinatlara Eşitlik 3 yardımıyla dönüştürülmüştür.

$$\mathbf{R} = \begin{pmatrix} -\sin(\lambda) & \cos(\lambda) & 0 \\ -\sin(\varphi)\cos(\lambda) & \sin(\varphi)\sin(\lambda) & \cos(\varphi) \\ \cos(\varphi)\cos(\lambda) & \cos(\varphi)\sin(\lambda) & \sin(\varphi) \end{pmatrix} \quad (3a)$$

$$\begin{pmatrix} d \\ k \\ y \end{pmatrix} = \mathbf{R} \times \begin{pmatrix} X - X_R \\ Y - Y_R \\ Z - Z_R \end{pmatrix} \quad (3b)$$

Burada;  $\mathbf{R}$ , dönüşüm matrisini,  $X$ ,  $Y$  ve  $Z$  yer merkezci Kartezyen koordinatları,  $X_R$ ,  $Y_R$  ve  $Z_R$  referans yer merkezci Kartezyen koordinatları ve  $d$ ,  $k$  ve  $y$  toposentrik koordinatları ifade edilmektedir. Referans koordinatlar her bir senaryo için 24 saatlik çözümlerin ortalaması olarak seçilmiştir.

Bu çalışmada Çoklu-GNSS çözümlerinden elde edilen konum doğrulukları; literatürdeki çalışmalarda olduğu gibi RMS değerleri ile ilişkilendirilmiştir. RMS değerleri hesaplanmadan önce koordinat serilerindeki uyumsuz ölçüler; %50 kırılma noktasıyla en güvenilir Robust yöntemlerden biri olan Medyan yöntemiyle analizlerden çıkarılmıştır (Hampel, Ronchetti, Rousseeuw, & Stahel, 2011; Hekimoğlu, 2005). Medyan yöntemi Eşitlik 4 ile ifade edilir.

$$mad = \begin{cases} 1.2533 \times \frac{1}{n} \times \Sigma |\mathbf{X} - \text{medyan}(\mathbf{X})|, & \text{medyan}(\mathbf{X} - \text{medyan}(\mathbf{X})) = 0 \\ 1.4826 \times \text{medyan}(\mathbf{X} - \text{medyan}(\mathbf{X})), & \text{medyan}(\mathbf{X} - \text{medyan}(\mathbf{X})) \neq 0 \end{cases} \quad (4)$$

Burada;  $\mathbf{X}$ ; kuzey, doğu ve yukarı bileşenleri için koordinat serilerini,  $n$  ölçü sayısını ifade etmektedir. Bu yöntemde  $|\mathbf{X} - \text{medyan}(\mathbf{X})|$  düzeltme değerleri  $3 \times mad$  sınır değeri ile karşılaştırılır. Sınır değerden büyük olan düzeltmeye ilişkin koordinat değeri, koordinat serisinden çıkarılır. Uyumsuz ölçü analizinden sonra RMS değerinin hesabında Eşitlik 5 kullanılmıştır.

$$RMS = \sqrt{\frac{\Sigma_{i=1}^n (X_i - X_R)^2}{n}} \quad (5)$$

Burada;  $X_i$  i. koordinat değerini,  $X_R$  referans koordinatı,  $n$  ölçü sayısını ifade etmektedir.

Tablo 3'te tüm gözlem süreleri ve tüm senaryolar için Medyan yöntemi sonrası hesaplanmış RMS değerleri gösterilmektedir. RMS değerleri incelendiğinde, literatürdeki çalışmalarda olduğu gibi gözlem süresi arttıkça doğruluğunun arttığı görülmektedir. Tablo 3 senaryolar özelinde incelendiğinde, 24 saatlik çözümlerin dışındaki tüm çözümlerde Galileo ve BeiDou sistemlerinin GPS ve GLONASS sistemlerine katkı sağladığı açıkça görülmektedir. Özellikle kısa süreli gözlemlerde Çoklu-GNSS çözümleri nokta konum doğruluğunu olumlu etkilemektedir. 24 saatlik çözümlerde GPS çözümleri ile Çoklu-GNSS çözümleri benzerlik göstermektedir.

Koordinat bileşenleri ayrı ayrı incelendiğinde yine benzer sonuçların elde edildiği görülebilmektedir. Doğu bileşeninde; 8 saatten daha kısa gözlem süresine sahip çözümlerde en yüksek doğruluk GREC kombinasyonu ile elde edilirken, 8 ve 12 saatlik gözlem sürelerinde GRE kombinasyonu en yüksek doğruluğu sağlamıştır. 24 saatlik çözümlerde ise sadece GPS çözümleri daha yüksek doğruluğa ulaşmıştır. Kuzey bileşeninde; 12 saatten daha kısa olan gözlem sürelerinde GRE ve GREC kombinasyonları ile daha yüksek doğruluk elde edilmişken; 12 ve 24 saatlik gözlem sürelerinde G ve GR kombinasyonları daha yüksek doğruluk sağlamıştır. Yukarı bileşeni incelendiğinde kısa süreli gözlemlerde Galileo ve BeiDou sistemlerinin

GPS ve GLONASS sistemlerine büyük katkı yaptığı görülmektedir. Bu sonuçlar Ögütçü (2019) ile de benzerlik göstermektedir.

**Tablo 3.1:** G ve GR senaryolarına ait farklı gözlem süreleri için RMS değerleri (mm)

Senaryo		G						GR					
Nokta	Bileşen	Gözlem Süresi (sa)						Gözlem Süresi (sa)					
		2	4	6	8	12	24	2	4	6	8	12	24
ANKR	d	16.75	6.68	5.75	4.31	4.37	1.60	10.10	5.62	4.38	4.24	3.00	2.86
	k	6.23	3.24	3.40	2.03	2.21	1.08	4.63	2.44	2.32	1.84	1.68	0.88
	y	19.21	11.57	11.29	8.34	4.78	4.90	13.34	10.13	7.68	7.04	4.81	1.43
CASI	d	6.90	5.45	5.71	5.00	3.43	1.30	6.57	5.79	5.67	4.94	5.12	2.02
	k	6.69	4.27	4.02	2.86	2.75	1.32	6.23	4.29	4.82	2.92	3.16	1.89
	y	17.18	7.98	7.31	6.34	5.11	3.46	16.42	6.94	7.45	6.52	5.13	4.00
ISTA	d	19.08	7.60	5.36	3.44	2.49	1.44	8.68	6.31	4.19	3.44	3.59	1.97
	k	7.15	4.49	2.55	2.29	2.05	1.68	5.27	3.63	1.85	2.02	1.63	1.49
	y	20.85	12.04	11.68	8.02	5.26	4.71	13.71	10.79	9.07	7.02	5.83	4.68
JCTW	d	6.49	5.90	5.04	3.99	4.21	1.74	6.09	5.49	4.47	3.70	4.05	2.27
	k	4.18	3.67	3.45	3.18	2.44	2.28	4.39	3.34	2.90	2.87	1.90	2.15
	y	17.04	14.08	15.04	13.92	11.65	6.79	16.46	11.66	12.16	11.45	9.05	6.67
KIR8	d	2.42	1.91	1.93	1.64	1.25	0.88	2.01	1.59	1.25	1.49	0.84	0.58
	k	2.74	2.31	2.18	1.87	1.46	0.89	2.23	1.77	1.79	1.21	0.96	1.15
	y	10.72	7.58	6.41	5.45	4.04	2.35	8.51	5.65	5.02	4.91	3.08	3.15
KITG	d	3.09	2.43	2.33	1.57	2.08	1.81	3.01	2.34	2.44	2.03	2.30	0.93
	k	3.00	2.88	2.47	1.84	2.14	1.86	2.91	2.70	2.16	1.94	1.85	2.05
	y	12.98	10.99	9.20	8.12	6.00	2.86	12.03	9.79	7.63	7.91	7.55	6.95
NKLK	d	3.21	2.63	1.97	2.07	1.93	2.17	3.34	2.57	2.03	1.62	1.69	1.15
	k	3.69	2.16	2.17	1.88	1.83	1.02	3.48	2.58	2.33	1.54	1.45	0.20
	y	11.79	10.24	6.14	5.25	7.00	3.26	11.65	9.33	7.53	6.86	5.44	4.06
PARK	d	3.01	3.16	2.77	2.29	2.48	1.31	2.76	2.49	2.29	1.93	1.53	0.94
	k	3.80	2.65	2.16	2.23	1.95	1.82	3.36	2.65	2.38	2.15	2.19	1.78
	y	8.01	6.62	5.44	5.10	4.64	3.36	6.57	5.38	5.04	4.52	4.23	4.04
SALU	d	4.13	3.54	2.31	2.55	1.46	1.46	3.86	2.96	2.32	2.37	1.27	0.99
	k	4.56	4.31	4.07	3.52	2.96	0.98	3.98	3.20	3.25	2.53	2.14	0.75
	y	18.34	12.48	10.12	8.01	7.46	3.43	16.14	10.87	10.19	8.16	5.82	4.36
STJ3	d	12.55	6.48	3.72	2.52	1.47	0.86	9.98	6.12	4.21	2.69	2.10	1.52
	k	8.29	5.96	2.45	1.56	0.94	0.49	6.10	5.09	2.64	2.24	1.48	0.93
	y	14.37	11.61	5.98	4.99	2.82	1.49	11.55	10.21	6.01	5.92	3.29	1.76

**Tablo 3.2:** GRE ve GREC senaryolarına ait farklı gözlem süreleri için RMS değerleri (mm)

Senaryo		GRE						GREC					
Nokta	Bileşen	Gözlem Süresi (sa)						Gözlem Süresi (sa)					
		2	4	6	8	12	24	2	4	6	8	12	24
ANKR	d	9.35	5.66	4.73	3.87	2.63	1.98	9.42	5.43	4.08	4.12	2.29	1.60
	k	4.61	2.32	2.35	1.59	1.79	1.06	4.50	2.23	2.29	1.70	1.80	1.26
	y	12.69	9.34	8.25	5.66	4.95	3.00	12.15	9.75	7.71	5.75	4.34	3.50
CASI	d	5.90	5.37	4.55	4.72	4.71	1.88	5.83	5.37	4.26	4.83	4.53	1.74
	k	5.71	4.18	4.35	3.15	2.80	2.10	5.51	4.04	4.38	3.27	2.95	2.63
	y	13.76	7.62	7.62	6.94	5.96	3.86	14.13	8.29	7.70	7.61	6.26	2.91
ISTA	d	8.57	5.36	4.26	3.09	1.48	1.92	7.70	5.21	4.15	3.13	3.43	2.12
	k	5.55	3.41	1.96	1.98	1.81	1.48	5.77	3.44	1.78	2.02	1.91	1.46
	y	12.94	9.76	9.05	6.69	3.83	4.74	13.27	8.58	7.14	6.26	5.51	3.97
JCTW	d	6.44	5.86	4.40	3.66	3.85	2.80	6.47	5.70	4.54	4.18	3.87	2.83
	k	3.94	3.27	2.72	2.42	2.85	2.21	3.97	3.18	2.96	2.72	2.78	2.14
	y	15.61	11.41	11.47	9.32	9.35	7.16	15.93	11.73	10.66	10.24	9.37	7.44
KIR8	d	1.76	1.38	1.30	1.27	0.87	0.68	1.72	1.35	1.28	1.29	0.77	0.64
	k	2.53	1.84	1.43	1.27	0.73	1.19	2.57	1.86	1.46	1.27	1.33	1.06
	y	8.22	5.90	5.04	4.60	3.83	2.65	8.74	5.76	5.13	4.65	3.36	2.47
KITG	d	2.81	2.19	2.01	1.99	1.87	1.54	3.19	2.57	2.50	2.08	2.24	1.09
	k	3.09	2.77	2.12	2.29	1.87	1.02	3.24	2.99	2.15	1.79	2.03	1.58
	y	11.28	9.39	7.03	7.55	6.64	5.35	13.01	11.54	8.12	7.97	6.48	4.95
NKLK	d	3.14	2.43	1.77	1.50	1.56	0.72	3.10	2.42	1.86	1.85	1.75	1.26
	k	3.22	2.49	1.99	1.60	1.42	0.93	2.86	2.63	2.38	1.75	1.51	0.67
	y	10.58	8.26	5.58	5.22	4.96	2.49	10.58	8.54	5.39	5.39	4.23	2.51
PARK	d	2.93	2.77	2.23	1.73	1.50	0.73	2.83	2.45	2.06	1.78	1.43	0.76
	k	3.42	3.06	2.59	2.43	2.09	1.66	3.59	2.51	2.76	2.47	2.15	1.76
	y	9.10	6.80	4.11	4.25	4.13	2.81	9.76	5.23	5.36	4.89	3.79	4.70
SALU	d	3.25	2.86	2.17	2.24	1.24	0.96	3.08	2.66	2.11	1.50	1.54	1.09
	k	3.89	3.21	3.06	2.56	1.95	0.86	4.27	3.17	2.95	2.36	1.90	0.83
	y	16.07	12.72	10.34	8.22	6.44	5.50	18.42	13.62	11.32	10.50	8.02	5.65
STJ3	d	9.63	5.99	4.22	2.95	2.19	1.35	9.61	5.33	3.91	1.97	2.07	1.20
	k	5.25	3.74	2.40	2.05	1.35	0.77	6.23	4.58	2.02	1.55	1.24	0.77
	y	11.34	8.04	5.63	5.10	3.77	2.33	11.11	8.81	5.17	5.11	3.56	2.40

Trimble RTX servisi ile elde edilen sonuçlar incelendiğinde; yatay bileşende, ANKR, ISTA ve STJ3 noktaları hariç tüm

noktalarda bütün senaryolarla 2 saatlik gözlemlerle bile mm mertebesinde doğruluk değerlerinin elde edilebildiği görülmektedir. ANKR, ISTA ve STJ3 noktalarında ise farklı uydu kombinasyonu çözümleri ile 2 saatlik gözlem süresinde mm mertebesinde doğruluğa ulaşılabilmektedir. Düşey bileşende ise; sadece GPS çözümlerinde mm mertebesinde doğruluk çoğunlukla 6-8 saatlik gözlemler ile sağlanabilmektedir. Ancak, bu doğruluk değeri GR senaryosunda 4-6; GRE ve GREC senaryolarında 4 saatlik gözlem süreleriyle elde edilmiştir.

Çalışmada ayrıca, GNSS gözlem süresi ve nokta enlemlerinin Çoklu-GNSS çözümlerine olan etkisini incelemek amacıyla Eşitlik 6'daki doğruluk fonksiyonları belirlenmiştir (Eckl vd., 2001; Saraçoğlu ve Şanlı, 2020; Şanlı & Tekic, 2010).

$$S_i(\varphi, T) = \sqrt{\frac{a_i}{T} + \frac{b_i\varphi^2}{T} + c_i + d_i\varphi^2} \quad (6)$$

Burada;  $i$  indisi koordinat bileşenini ( $k, d, y$ ),  $S$  ilgili koordinat bileşenine ait RMS değerini,  $a_i, b_i, c_i$  ve  $d_i$  fonksiyon parametrelerini,  $T$  saat biriminde gözlem süresini ve  $\varphi$  derece biriminde enlem bilgisini ifade etmektedir. Bu eşitlikte  $a_i$  parametresi sadece gözlem süresine,  $b_i$  parametresi hem gözlem süresine hem de istasyon enlem bilgisine ve  $d_i$  parametresi istasyon enlem bilgisine göre değişmektedir.  $c_i$  parametresi ise gözlem süresi ve enlem bilgisi dışındaki olası değişkenler ile ilişkilendirilmiştir.

Her bir senaryoya ait fonksiyon parametreleri En Küçük Kareler (EKK) yöntemiyle belirlenmiş ve Tablo 4'te gösterilmiştir (Koch, 2013). Ayrıca bu parametrelerin anlamlılığı Student T-testi ile incelenmiştir. Tablo 4 incelendiğinde tüm fonksiyonlarda sadece gözlem süresine bağlı parametrenin ( $a_i$  parametresinin) anlamlı; yani test değerinin sınır değerden büyük olduğu (2.003), diğer parametrelerin ise anlamsız olduğu görülmektedir.

**Tablo 4: Doğruluk fonksiyonlarının parametre değerleri**

Parametre	G			GR			GRE			GREC		
	Değer	Standart Sapması	Test Değeri	Değer	Standart Sapması	Test Değeri	Değer	Standart Sapması	Test Değeri	Değer	Standart Sapması	Test Değeri
$a_D$ (mm <sup>2</sup> .sa)	203.572	72.122	2.823	76.071	23.660	3.215	73.057	21.630	3.378	67.690	20.755	3.261
$b_D$ (mm <sup>2</sup> .sa /der <sup>2</sup> )	-0.001	0.031	0.018	0.003	0.010	0.257	0.001	0.009	0.132	0.002	0.009	0.219
$c_D$ (mm <sup>2</sup> )	-14.945	17.778	0.841	-2.204	5.832	0.378	-2.240	5.332	0.420	-1.430	5.116	0.280
$d_D$ (1/der <sup>2</sup> )	0.001	0.008	0.098	0.001	0.002	0.472	0.001	0.002	0.417	0.001	0.002	0.311
$a_K$ (mm <sup>2</sup> .sa)	45.807	12.662	3.618	31.482	7.994	3.938	29.237	6.293	4.646	33.366	7.393	4.513
$b_K$ (mm <sup>2</sup> .sa /der <sup>2</sup> )	0.007	0.005	1.292	0.004	0.003	1.180	0.003	0.003	1.155	0.002	0.003	0.732
$c_K$ (mm <sup>2</sup> )	1.082	3.121	0.347	0.582	1.970	0.296	0.813	1.551	0.524	0.313	1.822	0.172
$d_K$ (1/der <sup>2</sup> )	-0.001	0.001	0.727	0.000	0.001	0.018	0.000	0.001	0.051	0.000	0.001	0.224
$a_Y$ (mm <sup>2</sup> .sa)	496.579	83.784	5.927	329.729	54.622	6.037	339.709	45.701	7.433	386.198	54.714	7.058
$b_Y$ (mm <sup>2</sup> .sa /der <sup>2</sup> )	-0.006	0.035	0.164	-0.003	0.023	0.145	-0.024	0.019	1.259	-0.033	0.023	1.414
$c_Y$ (mm <sup>2</sup> )	12.871	20.653	0.623	20.200	13.464	1.500	12.610	11.265	1.119	13.190	13.487	0.978
$d_Y$ (1/der <sup>2</sup> )	-0.008	0.009	0.865	-0.007	0.006	1.152	-0.003	0.005	0.565	-0.003	0.006	0.598

$$t_{f,1-\alpha/2} = 2.003, \alpha = 0.05$$

Fonksiyonda sadece gözlem süresine bağlı parametrenin anlamlı olarak ortaya çıktığı belirlendikten sonra fonksiyon Eşitlik 7'deki şekliyle yeniden düzenlenmiştir. Her bir koordinat bileşeni için  $k$  katsayı değerleri EKK yöntemi kullanılarak hesaplanmış ve sonuçlar Tablo 5'te sunulmuştur.

$$S_i(T) = \frac{k_i}{\sqrt{T}} \quad (7)$$



Burada  $k_i$ , fonksiyon parametresini ifade etmektedir.

**Tablo 5:** Senaryolara ait gözlem süresine bağlı parametre değerleri

	$k_D$	$k_K$	$k_Y$
<b>G</b>	12.61	7.51	21.97
<b>GR</b>	8.97	6.38	18.70
<b>GRE</b>	8.58	6.11	17.88
<b>GREC</b>	8.40	6.29	18.67

Tablo 5 incelendiğinde en küçük fonksiyon parametresi değerinin doğu bileşeni için GREC ile; kuzey ve yukarı bileşenleri için ise GRE senaryosu ile elde edildiği görülebilmektedir. Bu sonuca dayanarak da uydu kombinasyonları ile elde edilen çözümlerin daha yüksek doğruluğa sahip olduğu söylenebilir.

#### 4. Sonuçlar

Bu çalışmada internet tabanlı bir servis olan Trimble RTX ile gerçekleştirilen Çoklu-GNSS çözümlerinin doğruluğu araştırılmıştır. Seçilen 10 adet noktanın 10'ar günlük verileri 6 farklı gözlem süresinde değerlendirilmiştir. RMS değerleri incelendiğinde doğruluğun gözlem süresine bağlı olarak değiştiği görülmektedir. Analizlerde en uzun süre olarak 24 saat seçilmiştir. Bu gözlem süresine ilişkin sonuçlarda tüm sistemlerin en yüksek doğruluğa sahip olduğu görülmektedir. Analizlerde kullanılan ürünlerin doğrulukları ve Trimble RTX servisinin analizlerde standart bir çözüm kullandığı düşünüldüğünde elde edilebilecek maksimum doğruluğa 24 saatlik gözlemlerde ulaşılabilir. Çalışmada kullanılan farklı uydu kombinasyonlarının 24 saatlik gözlem verisi ile elde edilen doğruluk değerlerinin, sadece GPS verisi kullanılarak elde edilen doğruluğa yakınsadığı görülmüştür. Ancak, bu durum farklı uydu kombinasyonlarının çözümlere herhangi bir katkısı olmadığı anlamına gelmemektedir. Gözlem süresi kısaldıkça bu etki ortaya çıkmaktadır. Sadece GPS çözümü ile 6-8 saatlik gözlem süresinde elde edilen doğruluğa GRE kombinasyonu ile 4 saatte ulaşılabilirdiği gösterilmiştir. Ayrıca, Çoklu-GNSS çözüm doğruluklarının gözlem süresi ve enleme bağlı olup olmadığını incelemek için doğruluk fonksiyonu belirlenmiştir. Fonksiyonda  $a_i$  parametresi sadece gözlem süresine,  $b_i$  parametresi hem gözlem süresine hem de istasyon enlem bilgisine ve  $d_i$  parametresi istasyon enlem bilgisine bağlılığı ifade etmektedir.  $c_i$  parametresi ise gözlem süresi ve enlem bilgisi dışındaki olası değişkenler ile olan ilişkiyi ortaya koymaktadır. Tüm senaryolarda ve koordinat bileşenlerinde, doğruluk fonksiyonunun sadece gözlem süresine bağlı parametreleri ( $a_i$  parametresi) anlamlı çıkmış diğer enlem ve olası tüm değişkenlere ait parametreler ( $b_i$ ,  $c_i$  ve  $d_i$  parametreleri) anlamsız çıkmıştır. Eğer sadece  $d_i$  parametresi anlamlı çıksaydı bu durum çözümlerden elde edilen doğruluğun sadece enleme bağlı olduğu; sadece  $a_i$ ,  $b_i$  ve  $d_i$  parametreleri anlamlı olsaydı bu durumda ise çözümlerin doğruluğunun hem noktanın enlemine hem de gözlem süresine bağlı olduğu ortaya çıkacaktı. Sadece  $a_i$  parametresinin anlamlı çıkması, Çoklu-GNSS çözümlerinin enleme veya ek bir parametreye bağlı olmadığını, sadece gözlem süresine bağlı olduğunu göstermektedir. Tüm sonuçlar incelendiğinde Galileo ve BeiDou sistemlerinin GPS ve GLONASS sistemlerine konum doğruluğu açısından katkı sağladığı söylenebilir. Özellikle kısa süreli gözlemlerde sadece GPS ölçülerini kullanmak yerine doğruluğu arttırmak için farklı uydu kombinasyonları tercih edilebilir. Bununla birlikte Trimble RTX servisi ile mm mertebesinde doğruluk elde edilebildiğinden; yüksek doğruluk gerektiren mühendislik ölçmeleri çalışmalarında bu servis kullanılabilir.

#### Teşekkür

Bu çalışmada IGS-MGEX ağına ait noktalar kullanılmıştır. Verileri sağladığı için IGS kurumuna ve verilerin değerlendirildiği Trimble RTX servisini geliştiren araştırmacılara teşekkür ederiz. Şekil 1 Generic Mapping Tools (GMT)

kullanılarak çizilmiştir (Wessel & Smith, 1998).

## Yazar Katkısı

**Gizem Sezer:** Tasarım, Literatür taraması, Analiz ve yorumlama, Yazım, Veri toplama ve işleme. **Ali Hasan Doğan:** Denetleme, Yazım, Literatür taraması, Analiz ve yorumlama, Veri toplama ve işleme. **Bahattin Erdoğan:** Fikir, Tasarım, Analiz ve yorumlama, Denetleme, Yazım.

## Kaynaklar

- Albayrak, M., Erdoğan, B., & Erkaya, H. (2020). Performance analysis of web-based relative and precise point positioning techniques with different satellite visibility conditions. *Boletim de Ciências Geodésicas*, 26(1).
- Bisnath, S., & Gao, Y. (2009). Current state of precise point positioning and future prospects and limitations. *Observing our changing earth*, s. 615-623. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Doucet, K., Herwig, M., Kipka, A., Kreikenbohm, P., Landau, H., Leandro, R., Moessmer, M., & Pagels, C. (2012). Introducing ambiguity resolution in webhosted global multi-GNSS precise positioning with Trimble RTX-PP. *Proceedings of the 25th International Technical Meeting of The Satellite Division of the Institute of Navigation*, 17, 1115-1125.
- 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.
- 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.
- Erdoğan, B., & Doğan, A.H. (2019). Scaling of the variance covariance matrix obtained from Bernese software. *Acta Geodaetica et Geophysica*, 54(2), 197-211.
- Gao, Y., & Shen, X. (2001). Improving ambiguity convergence in carrier phase-based precise point positioning. *Proceedings of the 14th international technical meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation*, 1532-1539.
- Geng, J., Teferle, F. N., Meng, X., & Dodson, A. H. (2011). Towards PPP-RTK: Ambiguity resolution in real-time precise point positioning. *Advances in space research*, 47(10), 1664-1673.
- Hampel, F. R., Ronchetti, E. M., Rousseeuw, P. J., & Stahel, W. A. (2011). *Robust statistics: the approach based on influence functions*. John Wiley & Sons.
- Hekimoğlu, Ş. (2005). Do Robust Methods Identify Outliers More Reliably Than Conventional Tests for Outliers ?. *ZfV magazine for geodesy, geoinformation and land management*, 3, 174-180.
- Koch, K.-R. (2013). *Parameter estimation and hypothesis testing in linear models*, Springer Science & Business Media.
- Kouba, J., & Héroux, P. (2001). Precise point positioning using IGS orbit and clock products. *GPS solutions*, 5(2), 12-28.
- Li, X., Ge, M., Dai, X., Ren, X., Fritsche, M., Wickert, J., & Schuh, H. (2015). Accuracy and reliability of multi-GNSS real-time precise positioning: GPS, GLONASS, BeiDou, and Galileo. *Journal of Geodesy*, 89(6), 607-635.
- Montenbruck, O., Steigenberger, P., Prange, L., Deng, Z., Zhao, Q., Perosanz, F., Romero, I., Noll, C., Stürze, A., & Weber, G. (2017). The Multi-GNSS Experiment (MGEX) of the International GNSS Service (IGS)—achievements, prospects and challenges. *Advances in Space Research*, 59(7), 1671-1697.
- Öcalan, T., Erdoğan, B., & Tunalioglu, N. (2013). Analysis of web-based online services for GPS relative and precise point positioning techniques. *Boletim de ciencias geodesicas*, 19(2), 191-207.
- Öcalan T. (2015). *GNSS Ağlarında GPS Hassas Nokta Konumlama (GPS-PPP) Tekniği Yaklaşımli Çözümler* (Doktora Tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Öğütçü, S. (2019). The contribution of Multi-GNSS Experiment (MGEX) to precise point positioning over Turkey: Consideration of observation time and satellite geometry. *El-Cezeri Journal of Science and Engineering*, 6(3), 642-658.
- Öğütçü, S. (2020). Assessing the contribution of Galileo to GPS+ GLONASS PPP: Towards full operational capability. *Measurement*, 151,

107143.

- Rizos, C., Janssen, V., Roberts, C., & Grinter, T. (2012), Precise Point Positioning: Is the Era of Differential GNSS Positioning Drawing to an End? *FIG Working Week 2012*, Roma, İtalya.
- Saraçoğlu, A., & Şanlı, D. U. (2020). Effect of meteorological seasons on the accuracy of GPS positioning. *Measurement*, 152, 107301.
- 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.
- Soycan, M., & Öcalan, T. (2011). A regression study on relative GPS accuracy for different variables. *Survey Review*, 43(320), 137-149.
- Şanlı, D. U., & Engin, C. (2009). Accuracy of GPS positioning over regional scales. *Survey Review*, 41(312), 192-200.
- Şanlı, D. U., & Tekiç, S. (2010). *Accuracy of GPS precise point positioning: A tool for GPS accuracy prediction*. Lambert Acad. Publ.
- Toluc, A. B. (2016). *Multi-GNSS Precise Point Positioning Using GPS, GLONASS and Galileo* (Yüksek Lisans Tezi). The Ohio State University, Graduate School of The Ohio State University, Ohio, Amerika Birleşik Devletleri.
- Tut, İ., Şanlı, D. U., Erdoğan, B., & Hekimoğlu, Ş. (2013). Efficiency of BERNESE single baseline rapid static positioning solutions with search strategy. *Survey review*, 45(331), 296-304.
- Wang, J., Wu, Z., Semmling, M., Zus, F., Gerland, S., Ramatschi, M., Ge, M., Wickert, J., & Schuh, H. (2019). Retrieving Precipitable Water Vapor From Shipborne Multi-GNSS Observations. *Geophysical Research Letters*, 46(9), 5000-5008.
- Wessel, P., & Smith, W. H. (1998). New, improved version of Generic Mapping Tools released. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 79(47), 579-579.
- 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(9), 2784-2795.
- Yapıcı, T. (2007). Influences of interplanetary magnetic field on the variability of aerospace media (Yüksek Lisans Tezi), Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- 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: International GNSS Service, <http://mgex.igs.org/>, (Erişim Tarihi:1 Nisan 2020).
- URL-2: Web Based Trimble RTX Service, <https://www.trimblertx.com/UploadForm.aspx>, (Erişim Tarihi:1 Nisan 2020).
- URL-3: Space Weather Archive, <https://www.spaceweatherlive.com/en/archive>, (Erişim Tarihi:3 Nisan 2020).