

Hassas Nokta Konumlamada (PPP) Hata Kaynaklarının Konum Doğruluğuna Etkisi: PPPH Yazılımı Örneği

Nezih Furkan ERBAŞ¹  İbrahim KALAYCI² 

¹ Necmettin Erbakan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya, Türkiye, furkanerb999@gmail.com (Sorumlu Yazar/ Corresponding Author)

² Necmettin Erbakan Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye, ikalayci@erbakan.edu.tr

Makale Bilgileri

ÖZ

Makale Geçmişi

Geliş: 28.06.2023

Kabul: 21.09.2023

Yayın: 31.12.2023

Anahtar Kelimeler:

CSRS-PPP, PPPH, Troposferik.

Son yıllarda Hassas Nokta Konumlama (Precise Point Positioning, PPP) yöntemiyle gerçek zamanlı (real-time) ve ölçü sonrası(post processing) değerlendirme uygulamaları yaygın hale gelmiştir. PPP yönteminin diğer konum belirleme tekniklerine göre bir ya da daha fazla referans istasyonuna gerek duymadan, tek bir GNSS alıcısıyla dm/cm seviyesinde yüksek konum bilgisi elde edilerek maliyet ve zamandan avantaj sağladığı görülmüştür. Çalışma kapsamında ölçü sonrası-PPP (Post Processing, PP-PPP) tekniği ile konum bilgisi elde etmeye imkân sağlayan PPPH yazılımı kullanılarak PPP hata kaynaklarının nokta konum doğruluklarına etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla BALK, SINP, YOZ1, IGR1 ve ONIY TUSAGA-Aktif istasyonlarının on günlük (3.04.2021-12.04.2021) gözlem verileri analiz edilmiştir. Değerlendirmede çoklu-GNSS gözlemleri yerine, tercihen ve herhangi bir sebep olmaksızın sadece-GPS uyu sistemi kullanılmıştır. PPPH yazılımından elde edilen sonuçlar istasyonların CSRS-PPP servisinin referans koordinat değerleriyle karşılaştırılmıştır. Çalışmada karesel ortalama hata değerleri dikkate alınarak troposferik gecikme düzeltmesinde yatayda ortalama 0.8 cm ve düşeyde 10.6 cm konum doğruluğuna ulaşırlarken, rölativistik mesafe düzeltmesinde sırasıyla 0.75 cm ve 1.0 cm konum doğruluğu elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar troposferik gecikme düzeltmesi hata kaynağının konum doğruluğunda en fazla etkiye, rölativistik mesafe düzeltmesi hata kaynağının ise konum doğruluğunda en az etkiye sahip olduğunu açıkça ortaya koymaktadır.

The Effect of Error Sources on Position Accuracy in Precise Point Positioning (PPP): The Case of PPPH Software

Article Info

ABSTRACT

Article History

Received: 28.06.2023

Accepted: 21.09.2023

Published: 31.12.2023

Keywords:

CSRS-PPP, PPPH, Tropospheric.

In recent years, real-time and post-processing evaluation applications have become common with the Precise Point Positioning (PPP) method. It has been seen that the PPP method provides cost and time advantages by obtaining high position information at the level of dm/cm with a single GNSS receiver, without the need for one or more reference stations compared to other positioning techniques. Within the scope of the study, it was aimed to determine the effect of PPP error sources on point location accuracies by using PPPH software, which allows obtaining position information with the post-measurement-PPP (Post Processing, PP-PPP) technique. For this purpose, ten-day (3.04.2021-12.04.2021) observation data of BALK, SINP, YOZ1, IGR1 and ONIY TUSAGA-Aktif stations were analyzed. In evaluation used only-GPS satellite system preferably and without any reason, instead of multi-GNSS observations. The results obtained from the PPPH software were compared with the reference coordinate values of the CSRS-PPP service of the stations. Considering the root mean square error values in the study, an average position accuracy of 0.8 cm horizontally and 10.6 cm vertically was achieved in the tropospheric delay correction, while a position accuracy of 0.75 cm and 1.0 cm was achieved in the relativistic distance correction respectively. The obtained results clearly demonstrate that tropospheric delay correction has the most impact on the location accuracy of the error source, while relativistic distance correction has the least impact on the location accuracy of the error source.

Atf/Citation: Erbaş, N.F. & Kalaycı, İ. (2023). Hassas nokta konumlamada (PPP) hata kaynaklarının konum doğruluğuna etkisi: PPPH yazılımı örneği, *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 5(2), 147-161. <https://doi.org/10.47112/neufmbd.2023.15>



"This article is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) (CC BY-NC 4.0)"

GİRİŞ (INTRODUCTION)

Günümüzde teknolojinin gelişmesiyle arazi sınırlarının belirlenmesi, deprem büyüklüğü, araç takip sistemi, sivil-bilimsel çalışmalar gibi Küresel Konum Belirleme Sistemi (Global Navigation Satellite Systems, GNSS) donanım ve yazılımlarına yönelik kullanımlar yoğunlaşmıştır. Aynı zamanda hem ölçü sonrası (ofiste/büroda) hem de gerçek zamanlı kinematik tekniği, arazide toplanan GNSS uydu sistemlerindeki verilerin koordinatlarını uygulayarak kullanıcılar için kolay ve pratik çözümler sunmuştur. Diğer taraftan uygulamaların geliştirilmesi ve teknolojinin ilerlemesiyle birlikte GNSS/GPS konum belirleme yöntemlerinden Hassas Nokta Konumlama (Precise Point Positioning, PPP) tekniğine yönelik çalışmalar yaygın hale gelmiştir. PPP, çift frekanslı tek bir GNSS alıcısıyla ölçüm süresi ve kullanılan veriye (kod/taşıyıcı faz – tek frekans/çift frekans) bağlı olarak iyonosferden bağımsız kombinasyonlarla (ionosphere-free) fark alınmaksızın, dm/cm seviyesinde yüksek konum doğruluğu elde eden, zaman ve maliyetten avantaj/tasarruf sağlayan bir yöntemdir. PPP yöntemiyle ilgili yapılan çalışmalar genel olarak incelendiğinde daha çok yakınsama süresi çoklu GNSS çözümlerinin konum doğruluğuna ve yakınsama süresine etkisi troposferik ve iyonosferik hataların koordinat kestirimine ilişkin konular üzerinde yoğunlaştığı görülmektedir [1-6].

Kahveci [7], 128 IGS noktasının GAMIT/GLOBK yazılımında 1996'dan beri süregelen 4.5 yıllık verileri incelenmiştir. 128 IGS noktası için kutup gelgiti ve okyanus gelgiti düzeltmeleri, yörünge, faz merkezi ve troposferik gecikme düzeltmesi uygulanmıştır. Sonuç olarak kutup gelgiti düzeltmelerinde yaklaşık 0.4 cm, okyanus gelgiti düzeltmelerinde 0.01 cm bir büyüklük meydana gelirken, uydu yörünge, uydu faz merkezi ve troposferik gecikme düzeltmesinde ise kesin bir sonucun ve büyüklüğün olmadığını belirtmişlerdir. Li ve Zhang [8], PPP tekniğiyle uydu yörünge ve saat bilgileri, kalibrasyona uğramamış faz gecikmesi/düzeltilmeleri üreterek konum doğrulukları elde etmişlerdir. Sonuç olarak ortalama beş saniye sonra sabitlemenin yapılabildiğini ve konum doğruluklarını ise kuzey, doğu ve düşey yönde sırasıyla 10 mm, 12 mm ve 25 mm olarak elde etmişlerdir. Malinowski ve Kwiecień [9], ölçü sonrası (post-process) ölçümde hızlı gelişen ürünler kullanarak sonuçları beklemezsizin PPP yöntemiyle yüksek konum doğruluğu elde etmenin mümkün olabildiğini ve PPP algoritmalarında hızlı meydana gelen ürünlerde ölçü sonrası nihai ürünleri kullandıkları için elde edilen koordinatların birbirlerine daha yakın konumsal doğruluk sağladıklarını göstermişlerdir. Bolbol vd. [10], PPP yöntemini statik ve kinematik ölçüm modunda GPS ve GLONASS uydu sistemleri kullanarak yakınsama süresiyle ilgili araştırmalar yapmışlardır. Çalışma sonucunda araştırmacılar PPP tekniğinin kinematik ölçüm modunda yakınsama süresini iyileştirmede ancak statik ölçüm modundaki yakınsama süresinde iyileşme olduğunu belirtmişlerdir. Bahadır ve Nohutcu [11], Türkiye ve yakın bölgeler için çoklu-GNSS uydu sistemlerinin PPP yöntemine olan etkisini araştırmışlardır. 7 günlük gözlem dosyalarını 9 farklı PPP yaklaşımı altında PPPH yazılımında değerlendirmişlerdir. Değerlendirmelerinde yazılımdan uydu ve alıcı anten faz merkezi düzeltmesi, rölativistik düzeltmeler, faz dönüklüğü düzeltmesi ve katı-yer gelgiti hata kaynakları uygulanmıştır. Uygulama sonucunda çoklu-GNSS gözlemlerinin PPP performanslarının sadece-GPS gözlemlerine göre daha yüksek iyileştirme sağladığını göstermişlerdir. Bahadır ve Nohutcu [12], farklı robust kalman filtresi tekniğinin PPP yöntemine olan etkilerini araştırmışlardır. Çalışmalarında rölativistik düzeltme, faz dönüklüğü düzeltmesi, katı-yer gelgiti düzeltmesi, uydu anten faz merkezi düzeltmesi ve alıcı anten faz merkezi düzeltmesi uygulamışlardır. Statik PPP çözümlerinde robust kalman filtresi tekniğinin yakınlaştırma süresinde daha iyi iyileştirme sağladığını belirtmişlerdir. Guanbin vd. [13], Bölgesel PPP-RTK atmosferik modelleme için gözlemler olarak tahmini iyonosferik ve troposferik gecikme hatası kullanılmıştır. Çalışmalarında 646 set PPP-RTK deneyi oluşturmuşlardır. Şangay'da CORS ağı kullanılarak yaptıkları deney sonuçlarında GPS, Galileo ve BDS sistemlerinin hem iyonosferik hem de troposferik modelinin birkaç mm'lik bir doğruluk elde ettiğini tespit etmişlerdir. Yatay koordinatlar için tüm çözümlerin %89,16'sı 30 saniyede, %91,80'i 1 dakikada ve %95,98'i 2 dakikada oluştuğunu belirtmişlerdir. Li vd. [14], Asya-Pasifik bölgesindeki GPS, GPS/QZSS, BDS, BDS/QZSS, GLONASS ve GALİLEO donanımlarını statik ve kinematik PPP performanslarıyla değerlendirmişlerdir. Statik PPP için konum doğruluğunda GPS'in GLONASS'tan daha iyi olduğunu, kinematik PPP'de ise doğu ve kuzey yöndeki bileşenlerde GPS'in, yukarı bileşende de BDS'nin Galileo'dan daha iyi olduğunu elde etmişlerdir. Ayrıca yakınsama süresini iyileştirme açısından kinematik PPP performansının daha yüksek olduğunu

belirtmişlerdir. Wu vd. [15], araştırmada beş frekanslı (FF1, FF2, FF3, FF4 ve FF5) PPP modellerinin statik ve kinematik ölçüm modlarını farklı konumlandırma performansı açısından incelemişlerdir. Statik ölçüm modunda beş frekanslı PPP modellerinden FF5 frekansının yakınsama süresi ve konum doğruluğunda iyileştiğini, kinematik ölçüm modunda ise FF3 frekansının yakınsama süresinde ve konum doğruluğunda iyileşme olduğunu göstermişlerdir.

Yapılan literatür çalışmalarında PP-PPP (ölçü sonrası, Post Process-PPP) yöntemi kullanılarak PPP hata kaynaklarının nokta konum belirlemeye olan etkilerinin karşılaştırmalı olarak detaylı bir şekilde incelenmediği, PPP hata kaynaklarının konum doğruluklarının istasyon bazlı olarak ele alınmadığı görülmüştür. Bu amaçla çalışmada öncelikle Türkiye’de bulunan 5 TUSAGA-Aktif istasyonu seçilerek PP-PPP yöntemiyle 10 günlük veri setinin (03.04.2021-12.04.2021) koordinat değerleri elde edilmiştir. Elde edilen bu koordinatlar sadece-GPS uydu sistemiyle, statik ölçüm modunda, 24 saatlik 30 saniyelik epok aralıklarında değerlendirilmiştir. PPPH yazılımından elde edilen kartezyen koordinatlardan ve referans değerlerden olan farkları gösteren toposentrik koordinat bileşenleri elde edilmiştir. Elde edilen bu bileşenlerden karesel ortalama hata (Root Mean Square (RMS), KOH) değerleri hesaplanarak PPP hata kaynaklarının konum doğruluklarına olan etkileri, istasyonların doğu-batı ve kuzey-güney yönlü seçilerek PPP hata kaynaklarının birbirlerine göre konum doğruluklarının artış/azalış durumları karşılaştırmalı bir yaklaşımla incelenmiştir. Aynı zamanda çalışmada 10 günlük veri setinin 24 saatlik Kp indisi (Planetary K-index) ve Dst indisi (Disturbance storm time-index) değerleri elde edilerek manyetik fırtınalara olan etkileri (fırtına seviyesinin altında, sakin, zayıf, orta şiddetli, güçlü ve aşırı fırtına) belirlenmiştir.

MATERYAL VE METOT (MATERIALS AND METHODS)

Hassas Nokta Konumlama (PPP)

Hem mutlak konum belirleme yöntemi hem de sıfır fark yönteminin özel bir durumu olarak bilinen, taşıyıcı dalga faz ile kod gözlemlerinin uygulandığı PPP yöntemi, sabit istasyon ve eş zamanlı gözlem gereksizdir tek bir GNSS alıcısıyla çözümler elde eden, zaman ve maliyetten avantaj/tasarruf sağlayan bir ölçü tekniğidir [16-18]. PPP’nin tarihsel gelişim süreci Anderle (1976) ile başlamıştır [19]. PPP’nin GPS ile ilgili olduğunu içeren ilk çalışma 1997 yılında Zumberge ve arkadaşları tarafından yapılmaya başlanmıştır. Çalışmalarında PPP’nin kuramsal temelini taşıyıcı dalga faz ve kod gözlemleri kullanarak iyonosferden bağımsız kombinasyonlar ile modelleme yapılması sonucu oluşturmuşlardır [20]. Zamanla PPP yönteminin birçok farklı uygulamada gelişmeleri sağlanmıştır [20-25]. PPP’ nin tanımı SPP (Tek Nokta Konumlama) prensibi benzerliğiyle karşılaştırılarak gerçekleştirilmiştir [20]. SPP, tek bir alıcı kullanılarak navigasyon mesajında gösterilen uydu yörünge parametrelerinin sabit (fixed) alındığı, mutlak konumlama tekniğiyle nokta konum doğruluğunun elde edildiği bir yöntemdir. PPP yönteminin SPP yönteminden iki önemli farkı bulunmaktadır. Bunlardan birincisi; iyonosferik-troposferik gecikmeler, hassas uydu saat/yörünge hatalar ile diğer modellenmemiş bozulmaları gideremeyen ya da en aza indirgemeyen SPP tekniğinin geliştirilmiş durumudur. Diğer ikincisi de; SPP tekniğinde yalnızca C/A kod gözlemleri kullanılarak mm düzeyinde hataların meydana gelmesi, PPP yönteminde ise hassas uydu yörünge/saat bilgilerinin kod ve faz gözlemleri kullanılarak cm düzeyinde hataların olmasıdır [26]. PPP’de ultra-rapid, rapid ve final etkileri olan hassas yörünge ve saat bilgileri yayın efemerisi yerine kullanılır. PPP yönteminin dezavantajı; tam sayı belirsizlik çözümünün (float ambiguity-AR) GNSS’in meydana getirdiği hatalardan dolayı bilinmeyen ya da kesirli sayı olarak çözülmesidir. [21, 27]. Dolayısıyla tamsayı belirsizlik çözümü için yakınsama süresi uzun olacağından gerçek zamanlı PPP yönteminin kullanılması kısıtlanmıştır.

Eşitlik (1)’de çift frekanslı iyonosferden bağımsız (ionosphere-free) kombinasyonlarla taşıyıcı kod ve faz gözlemlerinde PPP yönteminin matematiksel gösterimi verilmektedir.

$$\begin{aligned} l_P &= \rho + c(dT - dt) + T_r + \varepsilon_p \\ l_\phi &= \rho + c(dT - dt) + T_r + \left[N\lambda + \varepsilon \right]_\phi \end{aligned} \quad (1)$$

Burada l_P ve l_ϕ ; sırasıyla iyonosferden bağımsız kod ve faz gözlemlerini, ρ ; geometrik uzaklığı, dt ve dT ; sırasıyla alıcı saat zamanı ve uydu saat zamanının GPS zamanı arasındaki farkını, c ; boşluktaki ışık hızını,

N ; iyonosferden bağımsız taşıyıcı faz gözlem belirsizliğini, T_r ; uydu ölçü arasında oluşan sinyal gecikmesini, λ ; dalga boyunu ε_p ve ε_ϕ ; sırasıyla kod ve faz gözlemlerinin gürültü bileşenlerini ifade etmektedir [28].

Eşitlik (2)'de ise, troposferik gecikmenin (ztd), haritalama fonksiyonu (M) ile bilinen uydu koordinatları alındığında meydana gelen matematiksel model gösterilmektedir [28].

$$f_p = + cdt + Mzpd + \varepsilon_p - \ell_p = 0$$

$$f_\phi = + cdt + Mzpd + N\lambda + \varepsilon_\phi + I_\phi = 0 \quad (2)$$

Eşitlik (1) ve (2)'ye ilişkin detaylı matematiksel model Alçay vd. [28]'de detaylı olarak ifade edilmiştir.

CSRS-PPP (Canadian Spatial Reference System-PPP) Servisi

CSRS-PPP, 2003 yılında NRCan (Natural Resources Canada) tarafından basit bir ara yüzle kullanıcılara sunulan dünyada en çok tercih edilen web tabanlı GNSS değerlendirme servsidir. Servis tek veya çift frekanslı statik ve kinematik ölçüm modunda toplanan verileri ile gözlem dosyalarını NAD83 ya da ITRF koordinat sistemi, RINEX veri formatında (gzip, zip) hızlı bir şekilde kaydetmektedir. Hassas uydu saat ve yörünge bilgilerinin yanında uydu efemeris bilgilerini de Final, Rapid veya UltraRapid olarak kullanarak PPP hata kaynaklarına imkân sağlamaktadır. Bu servisi kullanabilmek için kullanıcıların ilk olarak [29] adresinden ücretsiz üye olmaları gerekmektedir [28,31]. CSRS-PPP servisi kullanıcı web ara yüzü Şekil 1'de gösterilmiştir.

The screenshot shows the CSRS-PPP web interface. At the top, there is a navigation bar with a link to 'CSRS-PPP Yardımı (Güncellendi 2021-03-26)' and a 'Profil oturumu Kapat' button. Below this, there is a form for user registration. The form includes a field for 'Sonuçlar için e-posta (gerekli)' with the email 'furkanerbas99@gmail.com'. The 'işleme modu' section has radio buttons for 'Statik' (selected) and 'Kinematik', and a dropdown menu for 'NAD83' and 'ITRF'. Below this, there is a section for 'dikey veri' with a dropdown menu for 'CGVD2013'. The form also includes a checkbox for 'Pasif kontrol bakımına katkıda bulunuyor musunuz? (Bu nedir?)' and a field for 'Resmi işaretleyici istasyon adı'. There is a 'Daha fazla seçenek' link and a section for 'RINEX gözlem dosyası/dosyaları, maksimum 300 MB (.zip, .gz, .z, .tar, .7z)' with a 'Dosya Seç' button. At the bottom, there is a 'PPP'ye Gönder' button and a footer with 'Kanada Jeodezi Araştırma ürünlerinin ve verilerinin kullanımı Açık Devlet Lisansına tabidir - Kanada Jeodezik Referans Sistemleri Bilgileri' and 'Değiştirilme tarihi: 2021-06-03'.

Şekil 1. CSRS-PPP servisi kullanıcı web ara yüzü

PPPH (A MATLAB-based Software for Multi-GNSS Precise Point Positioning Analysis) Yazılımı

PPPH, çoklu-GNSS (GPS, GLONASS, Galileo ve BeiDou) uydu sistemlerini işleyerek kullanıcılara çözümler sunan, çoklu işlemlerin yapılabildiği bir GNSS-PPP yazılımıdır. Bu yazılım Duyarlık Kaybı (Dilution of Precision, DOP) olarak adlandırılan uydu geometrisinin ve navigasyon ölçümlerinin konum doğruluklarına yapılan etkilerde kullanıldığı bir uygulamadır. Kullanıcı ara yüzünden dolayı kullanıcılara PPP aşamasıyla ilgili modellemeler, parametreler, filtrelemeler ve seçenekler aktarmaktadır. Yapısı Matris tabanlı olduğu için MATLAB programlama dilinde geliştirilmiştir. MATLAB programlama dili dışında herhangi bir araç kutusu ya da işleve gereksinim duymamaktadır. Yazılım için MATLAB 2016a veya daha yeni bir sürümün desteklenmesiyle kullanıcı ara yüzleri okunur ve çalıştırılır. Beş ana bileşenden veri girişi, ön işleme, modelleme, filtreleme ve analiz seçeneklerinden oluşmaktadır. Bunlardan veri girişi (Data Impoting),

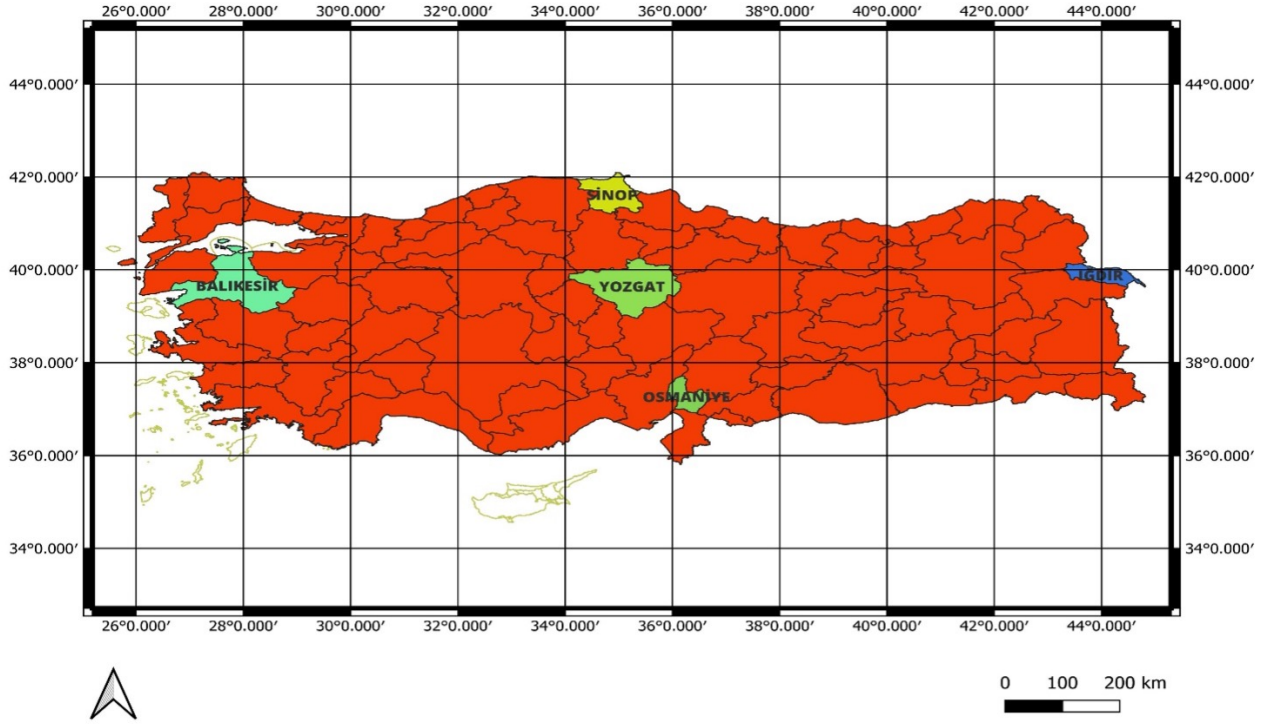
yazılımın ilk bileşeni olup PPP yönteminin aşamalarını farklı bir formatta sürdürerek diferansiyel kod gözlemleri, hassas uydu yörünge ve saat bilgileri, gözlem dosyaları ve anten faz düzeltmeleri PPPH yazılımına sunmaktadır. RINEX (Receiver Independent Exchange Format), gözlem dosyası (sp3), saat dosyası (clk), anten dosyası (atx) gibi veri formatları yazılımı aktif hale getirmektedir. İkinci bileşen olan ön işleme (Preprocessing); RINEX veri formatı, GNSS uydu sistemleri için standarttır. Yazılım multi-GNSS uydu sistemleri için RINEX 2 ya da RINEX 3 veri formatında gösterilmiştir. RINEX veri formatındaki herhangi bir gözlem dosyası format seçim bölümünde tercih edilebilir. Üçüncü bileşen olan modelleme seçenekleri (Modelling Options), tercih edeceğimiz ya da kullanacağımız PPP hata kaynaklarını ve bu hata kaynaklarından ne gibi sonuçların elde edileceğini göstermektedir. Dördüncü bileşen olan filtreleme seçenekleri (Filtering Options), yazılımda aktarılabilir kalman filtreleme tekniğini uygular ve ölçümlerde denk olan ağırlık matrisi, gözlem ve tahmin edilen parametrelerin etkilerini eşitlemek için uyarlanmaktadır. Kalman filtresi, iyi tanımlanmış bilinmeyen parametrelerin ve ölçümlerin istatistiksel özelliklerini ortaya çıkarır. Filtreleme işlemi de yazılımı aktif hale getirerek kalman filtre seçeneklerini ve parametrelerini uygulamaktadır. Son bileşen olan analiz işlemi (Analysis)'nde ise, CSRS-PPP servisinden sağlanan referans koordinatlardan (X, Y, Z) kuzey (n), doğu (e) ve yukarı (u) bileşenlerini ifade eden toposentrik koordinatlara dönüşüm sağlanmaktadır. Çünkü bu dönüşümler referans değerlerden olan farkları temsil etmektedir. Yazılımdaki ilk dört bileşende ilgili modeller ve kuram/teori uygulanırken, analiz işleminde görselleştirme ve değerlendirme süreçleri uygulanmaktadır [32, 33]. PPPH yazılımının MATLAB programlama dilindeki genel görünümü ve uygulandığı beş ana bileşen Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. PPPH yazılımının genel görünümü ve beş ana bileşeni

UYGULAMA (APPLICATION)

Bu çalışmada sadece-GPS gözlemi ile PP-PPP yöntemi kullanılarak PPPH yazılımı ile PPP hata kaynaklarının performanslarını değerlendirerek nokta konum doğruluğuna etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu bağlamda Türkiye'den Balıkesir'de bulunan BALK, Sinop' ta bulunan SINP, Yozgat' ta bulunan YOZ1, Iğdır' da bulunan IGR1 ve Osmaniye' de bulunan ONIY olmak üzere 5 TUSAGA-Aktif (CORS-TR) istasyonları seçilmiştir. Seçilen istasyonların dağılımı Şekil 3'te verilmiştir. Bu istasyonların seçilmesinin iki temel sebebi olup, bunlardan birincisi CSRS-PPP servisinde 24 saatlik 30 saniyelik epok aralıklarında ölçülmüş referans koordinatlarının olması, ikincisi ise PPP hata kaynaklarının seçilen istasyonlarda konum doğruluklarının doğu-batı ve kuzey-güney yönde artış/azalış durumlarının incelenmesidir. Çalışma kapsamında kullanılan istasyonlara ilişkin coğrafi koordinat bilgileri Tablo 1'de gösterilmiştir.



Şekil 3. Çalışmada kullanılan istasyonlar ve konumları

TUSAGA-Aktif (CORS-TR) İSTASYONLARI	ENLEM(°)	BOYLAM(°)	YÜKSEKLİK(m)
BALK (BALIKESİR)	39.63	27.89	202.49
SINP (SİNOP)	42.03	35.15	54.57
YOZ1 (YOZGAT)	39.83	34.84	1455.68
ONİY (OSMANİYE)	37.10	36.25	127.22
IGR1 (İĞDIR)	39.93	44.05	881.05

BULGULAR (RESULTS)

Çalışmada PPP hata kaynaklarının performansı, 03.04.2021 tarihinden 12.04.2021 tarihine kadar 10 günlük gözlem veri seti kullanılarak statik ölçüm modunda PP-PPP yöntemiyle değerlendirilmiştir. MATLAB tabanlı PPPH yazılımında herhangi bir işlem yapılmadan önce GNSS Takvimi ve Uygulamasından 10 günlük veri setinin GPS haftası ve numarası belirlenmiştir. Bunlardan uydu yörünge (.sp3) ve saat dosyaları (.clk) çıkartılarak CDDIS (The Crustal Dynamics Data Information System) arşivinde bulunması sonucunda PPPH yazılımına yüklenmiştir. 5 TUSAGA-Aktif istasyonlarının 10 günlük veri setinde 30 saniyelik ölçüm aralıklarında RINEX veri formatında dosyalar yüklenmiştir. Statik ölçüm modu, Uluslararası Yersel Referans Çerçevesi (International Terrestrial Reference Frame, ITRF) koordinat sistemi ve 30 saniyelik ölçüm aralıklarında yüklenen RINEX veri dosyaları '.zip' veya '.tar' olarak CSRS-PPP servisine gönderilerek gerçek/referans koordinat sistemine dönüşüm gerçekleştirilmiştir. Çalışmada 10 günlük veri setinin kullanılmasının iki temel sebebi bulunmaktadır. Bunlardan birincisi 10 günlük veri setinin istatistiki olarak yeterli olması, ikincisi ise RINEX verisi dosyalarının doluluk oranı %95'ten büyük olanlar değerlendirme işleminde kullanıldığı için seçilen 5 TUSAGA-Aktif istasyonlarının [34] adresinin CDDIS (The Crustal Dynamics Data Information System) arşivinde %100 oranına ulaştığı gözlemlenmiş ve değerlendirmede kullanılmıştır. İstasyonlara ait koordinat değerleri 10 günlük verileri dikkate alınarak PPPH yazılımıyla 24 saatlik 30 saniye kayıt aralıklarında elde edilmiştir. Yazılım kullanılırken seçilen parametreler verilmiştir (Tablo 2). Yazılımda epok aralığı, uydu sistemi, yöntem gibi değişkenler Tablo 2'de verilmiştir. Diğer parametrelerde yazılım standart/varsayılan seçenekleri sağlamıştır.

Tablo 2. Çalışmada kullanılan yazılım ve parametre seçenekleri

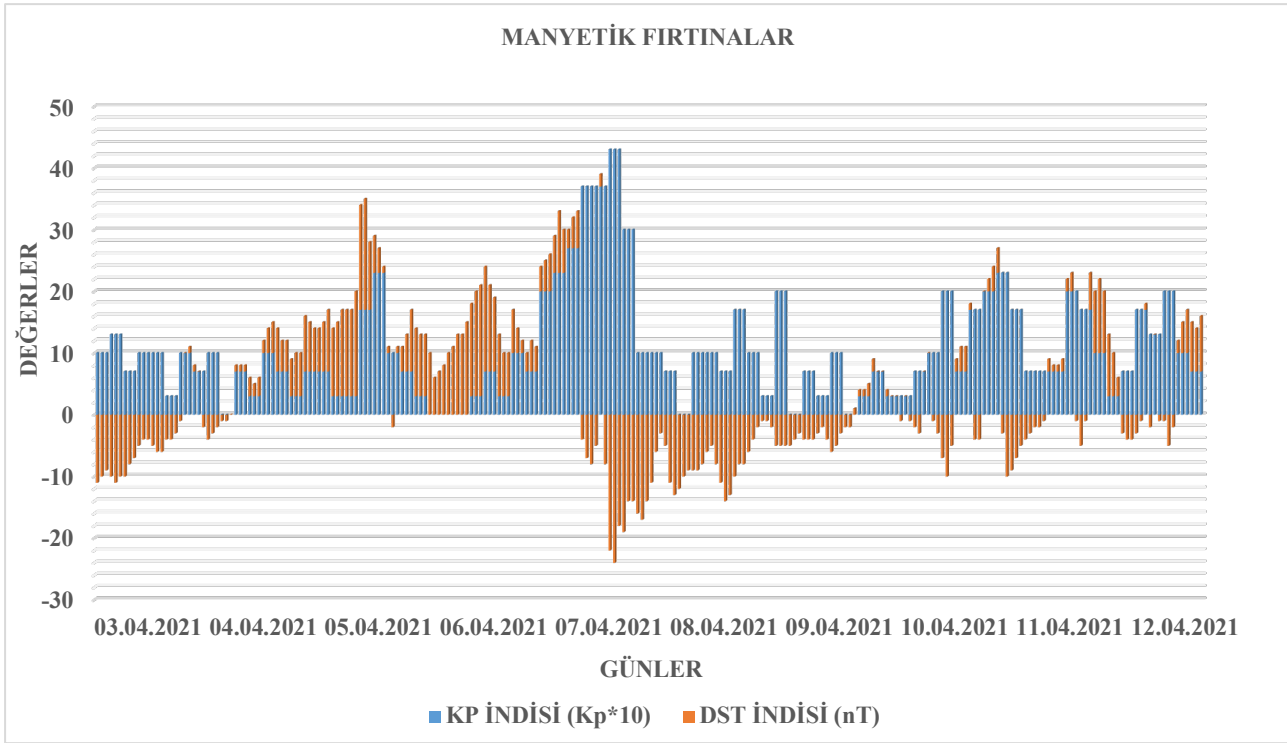
PARAMETRELER	PPPH
Yükseklik Açısı	10°
Uydu Sistemi	GPS
İşlem Modu	Statik
Epok (Kayıt) Aralığı	30 saniye
Yöntem	PP-PPP
Yörünge, Saat ve Anten dosyası	Manuel
DCB Dosyası	P1-C1
Troposfer Model	Saastamoinen
Uydu Anteni Faz Merkezi Düzeltmesi	Var
Uydu Faz Dönüklüğü Düzeltmesi	Var
Alıcı Anten Faz Merkezi Düzeltmesi	Var
Alıcı Anten Referans Noktası Düzeltmesi	Var
Troposferik Gecikme Düzeltmesi	Var
Rölativistik Mesafe Düzeltmesi	Var
Katı-yer Gelgiti Düzeltmesi	Var

Değerlendirme kısmında sadece-GPS gözlemleri kullanılmıştır. Ardından istasyonların ilgili günlerdeki gözlem dosyaları CSRS-PPP servisine gönderilerek referans koordinat sistemi oluşturulmuştur. CSRS-PPP servisinde sağlanan referans koordinat sisteminden kuzey (n), doğu (e) ve yukarı (u) bileşenleri olarak ifade edilen toposentrik koordinat sistemine dönüşümler gerçekleştirilmiştir. Bu dönüşümün kullanılmasının sebebi referans değerlerden olan farklar hata miktarını temsil ederek doğruluk değerlerini vermesidir. Tablo 3'te, 5 TUSAGA-Aktif istasyonlarının 10 günlük veri setine ait PPPH yazılımı kullanılarak yatay ve dikey bileşenlerden oluşan toposentrik koordinatlara ilişkin temel istatistiksel değerler (maksimum, minimum, ortalama ve karesel ortalama hata (KOH)) gösterilmiştir.

Tablo 3. Çalışmada kullanılan istasyonların toposentrik koordinatlara ilişkin temel istatistiksel değerler

PPP Hata Kaynakları	Temel İstatistikler	BALK			SINP			YOZI			IGRI			ONİY		
		n (cm)	e (cm)	u (cm)	n (cm)	e (cm)	u (cm)	n (cm)	e (cm)	u (cm)	n (cm)	e (cm)	u (cm)	n (cm)	e (cm)	u (cm)
Uydu Anteni Faz Merkezi Düzeltmesi	Maksimum	0.00	-3.40	7.50	-0.20	-3.80	6.80	-0.30	-4.00	6.10	0.10	-2.50	4.70	-0.20	-3.20	6.80
	Minimum	-1.3	-4.50	5.50	-1.20	-5.00	5.60	-0.90	-4.50	5.30	-1.10	-4.10	3.20	-1.00	-5.30	4.30
	Ortalama	-0.54	-3.96	6.06	-0.62	-4.17	6.11	-0.55	-4.24	5.72	-0.54	-3.30	3.84	-0.56	-3.99	6.07
	KOH	0.65	3.97	6.08	0.70	4.18	6.12	0.58	4.24	5.72	0.67	3.34	3.86	0.61	4.03	6.10
Uydu Faz Dönüklüğü Düzeltmesi	Maksimum	1.00	1.60	-0.80	1.30	1.90	-0.70	0.90	1.40	-0.90	1.20	2.60	-1.20	0.80	1.60	-0.70
	Minimum	0.3	0.70	-2.10	0.20	1.10	-1.60	0.40	0.70	-1.70	0.30	1.50	-2.20	0.20	0.60	-1.90
	Ortalama	0.63	1.05	-1.49	0.90	1.39	-1.12	0.63	1.02	-1.33	0.65	1.94	-1.69	0.42	1.15	-1.17
	KOH	0.66	1.08	1.52	0.94	1.40	1.16	0.65	1.03	1.35	0.68	1.96	1.73	0.46	1.18	1.22
Alıcı Anten Faz Merkezi Düzeltmesi	Maksimum	1.00	1.30	8.10	1.00	1.60	8.40	0.80	1.50	8.50	0.80	1.70	7.30	0.70	1.40	8.80
	Minimum	0.3	-0.10	6.00	0.10	-0.30	6.60	0.20	0.60	6.80	-0.20	-0.40	4.50	-0.10	-0.30	7.30
	Ortalama	0.59	0.40	6.83	0.65	0.88	7.44	0.43	1.04	7.51	0.34	0.43	5.58	0.34	0.81	8.00
	KOH	0.62	0.57	6.86	0.69	1.06	7.46	0.47	1.09	7.53	0.44	0.74	5.64	0.43	0.95	8.01
Alıcı Anten Referans Noktası Düzeltmesi	Maksimum	0.7	1.50	8.70	0.70	1.80	9.10	0.50	1.70	9.20	0.50	1.90	8.30	0.40	1.60	9.40
	Minimum	0.00	0.00	6.60	-0.20	-0.10	7.20	-0.10	0.80	7.40	-0.40	-0.30	5.60	-0.30	-0.20	7.90
	Ortalama	0.29	0.56	7.46	0.37	1.03	8.09	0.15	1.19	8.15	0.08	0.61	6.59	0.05	0.95	8.64
	KOH	0.36	0.70	7.49	0.44	1.18	8.11	0.24	1.23	8.17	0.27	0.87	6.64	0.26	1.08	8.65
Troposferik Gecikme Düzeltmesi	Maksimum	0.7	1.90	12.00	0.80	2.20	12.20	0.50	1.80	10.00	0.30	2.00	8.30	0.40	2.00	12.70
	Minimum	0.10	0.40	9.30	-0.30	1.10	10.10	-0.10	0.80	9.00	-0.40	0.40	6.10	-0.20	0.20	10.60
	Ortalama	0.35	0.87	10.67	0.41	1.49	11.10	0.20	1.32	9.57	-0.02	1.08	6.98	0.07	1.10	11.89
	KOH	0.39	0.96	10.71	0.51	1.52	11.11	0.25	1.36	9.57	0.22	1.17	7.00	0.22	1.19	11.90
Rölativistik Mesafe Düzeltmesi	Maksimum	0.7	1.50	0.50	0.70	1.80	0.80	0.50	1.70	0.90	0.50	1.80	0.10	0.40	1.60	1.20
	Minimum	0.00	0.00	-1.70	-0.20	-0.10	-1.00	-0.10	0.80	-0.90	-0.40	-0.30	-2.70	-0.30	-0.20	-0.40
	Ortalama	0.29	0.57	-0.78	0.37	1.02	-0.17	0.16	1.19	-0.11	0.07	0.59	-1.66	0.05	0.96	0.37
	KOH	0.36	0.71	1.02	0.44	1.18	0.65	0.24	1.23	0.61	0.27	0.85	1.85	0.26	1.09	0.65
Katı-yer Gelgiti Düzeltmesi	Maksimum	-0.50	5.20	-1.40	-0.20	3.80	7.10	-0.20	4.00	-2.40	-1.50	3.20	-4.30	-1.20	3.60	-0.10
	Minimum	-3.5	0.10	-8.90	-3.60	0.30	-7.90	-3.00	-0.30	-7.40	-3.60	-0.80	-7.80	-4.00	0.10	-6.40
	Ortalama	-2.18	2.56	-4.56	-1.73	1.69	-4.76	-1.70	1.82	-5.71	-2.56	0.97	-6.08	-2.72	1.94	-3.26
	KOH	2.32	2.93	5.09	2.02	1.97	6.36	1.93	2.38	5.91	2.66	1.57	6.16	2.86	2.22	3.76

Tablo 3’deki maksimum değerler incelendiğinde en yüksek değer ONIY istasyonunun “u” bileşenindeki troposferik gecikme düzeltmesi olduğu ve bu düzeltmenin 12.70 cm büyüklüğünde olduğu minimum değerler incelendiğinde en düşük değer BALK istasyonunun “u” bileşeninde katı-yer gelgiti düzeltmesi olduğu ve bu düzeltmenin -8.90 cm bir büyüklükte olduğu açıkça görülmektedir. Ortalama değerler incelendiğinde n ve e bileşeninde en iyi değerler sırasıyla SINP ve ONIY istasyonlarının 1.69 cm ve 0.42 cm ile uydu faz dönüklüğü düzeltmesi olduğu, u bileşeninde ise ONIY istasyonunun -3.26 cm ile katı-yer gelgiti düzeltmesinin olduğu açıkça görülmektedir. Karesel ortalama hata değerleri incelendiğinde genel olarak ± 10 cm’nin altında olduğu görülmektedir. Her üç bileşen için en iyi değerler ortalama ± 1.53 cm ile rölativistik mesafe düzeltmesi olduğu ve bu düzeltmenin n ve u bileşenlerinde en iyi değerler sırasıyla ± 0.24 cm ve ± 0.61 cm ile YOZ1 istasyonu, e bileşeninde ± 0.71 cm ile BALK istasyonunda olduğu açıkça görülmektedir. Genel anlamda PPP hata kaynaklarının maksimum ve minimum değerleri incelendiğinde rölativistik mesafe düzeltmesi hata kaynağının yatayda 0.26 cm ile 1.23 cm, düşey bileşenlerde 0.61 cm ile 1.85 arasında değiştiği görülürken, troposferik gecikme düzeltmesi hata kaynağının yatayda 0.22 cm ile 1.36 cm, düşeyde 7.00 cm ile 11.90 cm arasında değiştiği görülmektedir. Şekil 4’te, 10 günlük veri setinin 24 saatlik gözlemlerinde elde edilen manyetik fırtınaları tanımlayan Kp indisi ve Dst indisi değerleri verilmiştir.



Şekil 4. 10 günlük veri setinin 24 saatlik Kp indisi ve Dst indisi değerleri

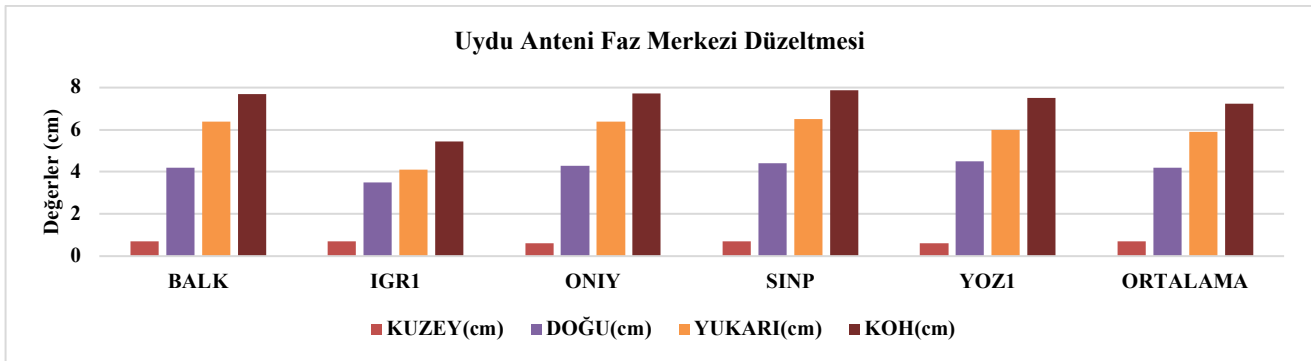
Manyetik fırtına indisi olan Kp indisi “0” ile “9” arasında gösterilen ve 3 saatlik aralıklarla üretilen bir indistir. “4” ve altındaki Kp indisi değerleri, fırtına seviyesinin altındaki manyetik fırtına etkisine karşılık gelirken; diğerleri “5” zayıf fırtına ve “9” aşırı fırtına arasında sınıflandırılmaktadır [35]. 10 günlük veri setindeki değerlerin iyi yapılabilmesi için Kp indisinde her bir değer on ile çarpılarak yani Kp*10 cinsinden hesaplanarak verilmiştir. Dst indisi, manyetik fırtınanın şiddetini belirleyen, 1 saatlik zaman aralıklarında ve 4 farklı gözlemevinden elde edilen indistir. Dst indisinin değerinin azalması manyetik fırtınanın şiddetinin artması anlamına gelmekte ve sınıflandırılması yoğunluğuna göre yapılmaktadır. Birimi nanoTesla (nT)’dir [35]. Kp indisi ve Dst indisinin değeri ile manyetik fırtına etkileri Tablo 4’te verilmiştir. Bu indislerin değerleri NASA’nın Uzay Fiziği Veri Tesisi (Space Physics Data Facility, SPDF) OMNIWeb veri merkezinden [36] sağlanmıştır. Şekil 4’te görüldüğü üzere, Kp indisi değerlerinin 0 ile 43 arasında değiştiği görülürken; Dst indisi değerlerinde ise sırasıyla -24 nT ve 18 nT arasındadır. Diğer taraftan 10 günlük veri setinin ilgili saat dilimlerinde maksimum Kp indisi değeri ve minimum Dst indisi değerleri incelendiğinde; Kp indisinin 43 olan

maksimum değeri, 07.04.2021 gözlem gününe ait 16., 17. ve 18. saatlerinde gerçekleştiği için manyetik fırtına etkisinin “fırtına seviyesinin altında” olarak gözlemlendiği, Dst indisinin -30 nT değerinden büyük olanlar sakin fırtına olarak tanımlandığından dolayı minimum nT değeri olan -24 nT değeriyle 07.04.2021 gözlem gününün 17. saatinde sakin fırtına etkisinin oluştuğu görülmüştür. Genel anlamda Şekil 4 incelendiğinde, Kp indisine göre 50 ve üzeri, Dst indisine göre -30 nT ve altı manyetik fırtına gerçekleşmemiştir.

Tablo 4. Kp indisi ve Dst indisi sınır değerleri ile manyetik fırtına etkileri [35]

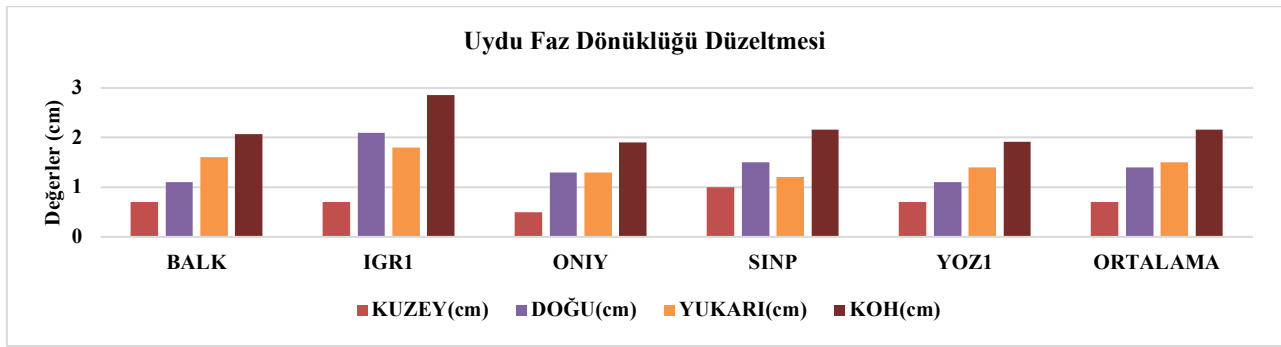
MANYETİK FIRTINA ETKİSİ	Kp İNDİSİ
Fırtına Seviyesinin Altında	4 ve altı
Zayıf Fırtına	5
Orta Şiddetli Fırtına	6
Güçlü/Yoğun Fırtına	7
Şiddetli/Çok Yoğun Fırtına	8
Aşırı Fırtına	9
MANYETİK FIRTINA ETKİSİ	Dst İNDİSİ (nT)
Sakin Fırtına	$Dst_{min} \geq -30$
Zayıf Fırtına	$-30 \geq Dst_{min} \geq -50$
Orta Şiddetli Fırtına	$-50 \geq Dst_{min} \geq -100$
Güçlü/Yoğun Fırtına	$-100 \geq Dst_{min} \geq -200$
Şiddetli/Çok Yoğun Fırtına	$-200 \geq Dst_{min} \geq -350$
Aşırı Fırtına	$-350 \geq Dst_{min}$

Şekil 5-11’de, PPP hata kaynaklarının 5 TUSAGA-Aktif istasyonlarında 10 günlük veri setine ait yatay ve düşey bileşenlerden oluşan ve referans değerlerden olan farkları temsil eden toposentrik koordinat bileşenleri verilmektedir. Bu bileşenler referans değerlerden olan farkları temsil ettiğinden sonuçlara ait doğruluk değerlerini de yansıtmaktadır. Şekiller genel olarak incelendiğinde karesel ortalama hatanın (KOH) en yüksek değerde, kuzey bileşenin ise en düşük değerlere sahip olduğu görülmektedir. Seçilen istasyonlar arasından karesel ortalama hatada en iyi değer ise IGR1 istasyonunda olduğu belirlenmiştir.



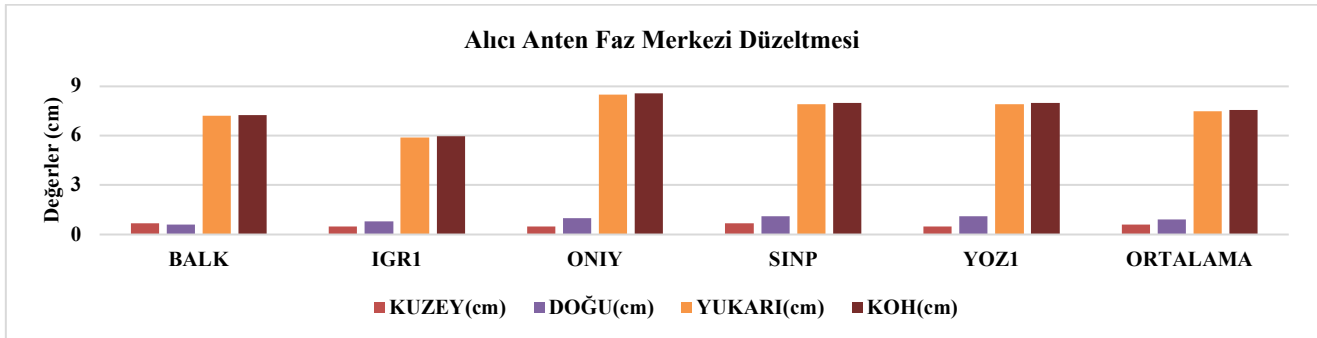
Şekil 5. Uydu anteni faz merkezi düzeltmesi hata kaynağının toposentrik koordinatları ve KOH değerleri

Şekil 5’te uydu anteni faz merkezi düzeltmesi hata kaynağının seçilen TUSAGA-Aktif istasyonlarındaki toposentrik koordinatları ve karesel ortalama hata değerleri verilmiştir. Kuzey, doğu ve yukarı bileşenlerinin ortalama olarak sırasıyla 0.7 cm, 4.2 cm ve 5.9 cm bir büyüklüğe sahip olduğu görülmektedir. Kuzey bileşen için ONIY ve YOZ1 istasyonlarında 0.6 cm en düşük değere diğer istasyonların 0.7 cm ile en yüksek değere sahip olduğu, doğu bileşen için en düşük değer 3.5 cm ile IGR1 istasyonunda, en yüksek değer 4.5 cm ile YOZ1 istasyonu ve yukarı bileşen için en düşük değer 6.0 cm ile YOZ1 istasyonu, en yüksek değer 6.5 cm ile SINP istasyonunda olduğu açıkça görülmektedir. Seçilen istasyonların ortalama değerlerine bakılırsa en yüksek değer ± 7.2 cm ile karesel ortalama hata değerinde, en düşük değer ise 0.7 cm ile kuzey bileşeninde olduğu görülmektedir. Karesel ortalama hatada en iyi değer ± 5.43 cm ile IGR1 istasyonu en yüksek değer ± 7.88 cm ile SINP istasyonuna ait olduğu gözlemlenmiştir.



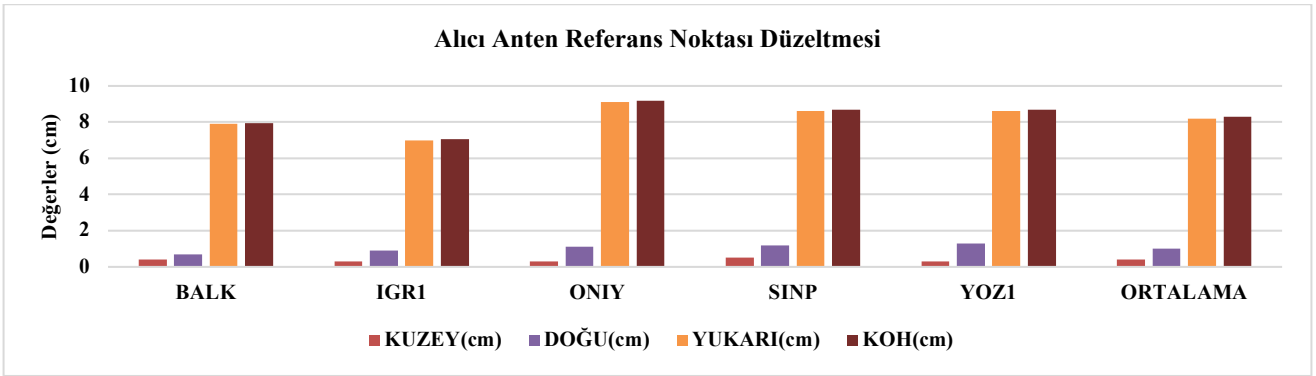
Şekil 6. Uydu faz dönüklüğü düzeltmesi hata kaynağının toposentrik koordinatları ve KOH değerleri

Şekil 6’da uydu faz dönüklüğü düzeltmesi hata kaynağının seçilen TUSAGA-Aktif istasyonlarındaki toposentrik koordinatları ve karesel ortalama hata değerleri verilmiştir. Kuzey, doğu ve yukarı bileşenlerinin ortalama olarak sırasıyla 0.7 cm, 1.4 cm ve 1.5 cm bir büyüklüğe sahip olduğu görülmektedir. Kuzey bileşen için 0.5 cm ile ONIY istasyonunda en düşük değere, 1.0 cm ile SINP istasyonunda en düşük değere ve diğer istasyonların ise 0.7 cm bir büyüklüğe sahip olduğu, doğu bileşen için en düşük değer 1.1 cm ile BALK ve YOZ1 istasyonları, en yüksek değer 2.1 cm ile IGR1 istasyonu, yukarı bileşen için en düşük değerin 1.2 cm ile SINP istasyonu en yüksek değer 1.8 cm ile IGR1 istasyonunda olduğu açıkça görülmektedir. Seçilen istasyonların ortalama değerlerine bakıldığında karesel ortalama hata değerinin en yüksek değere (± 2.16 cm), kuzey bileşenin en düşük değere (0.7 cm) sahip olduğu, doğu bileşeni (1.4 cm) ile yukarı bileşeninin (1.5 cm) çok yakın sonuçlar verdiği de görülmektedir. Karesel ortalama hatada en iyi değer ± 1.90 cm ile ONIY istasyonunda, en yüksek değerin ise ± 2.85 cm ile IGR1 istasyonuna ait olduğu gözlemlenmiştir.



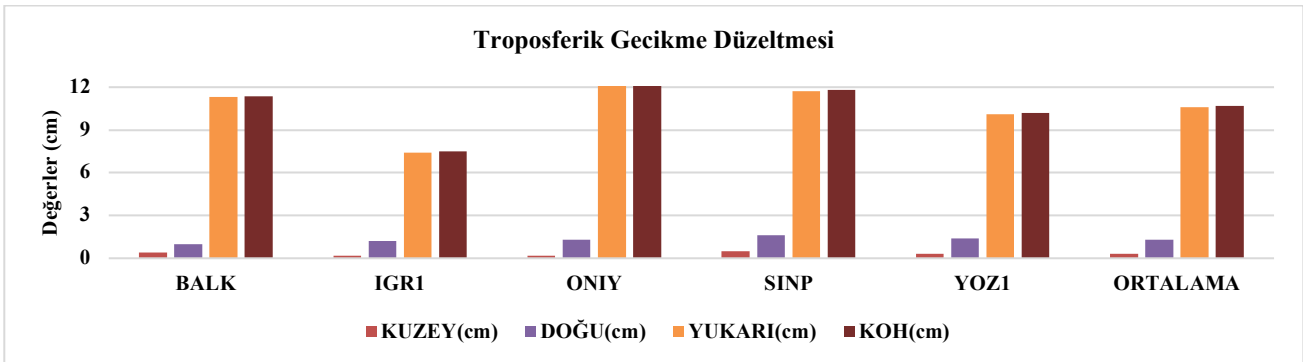
Şekil 7. Alıcı anten faz merkezi düzeltmesi hata kaynağının toposentrik koordinatları ve KOH değerleri

Şekil 7’de alıcı anten faz merkezi düzeltmesi hata kaynağının seçilen TUSAGA-Aktif istasyonlarındaki toposentrik koordinatları ve karesel ortalama hata değerleri verilmiştir. Kuzey, doğu ve yukarı bileşenlerinin ortalama olarak sırasıyla 0.6 cm, 0.9 cm ve 7.5 cm bir büyüklüğe sahip olduğu görülmektedir. Kuzey bileşen için 0.5 cm ile IGR1, ONIY ve YOZ1 istasyonlarında en düşük değere, 0.7 cm ile BALK ve SINP istasyonlarında en yüksek değere sahip olduğu, doğu bileşen için en düşük değerin 0.6 cm ile BALK istasyonu, en yüksek değerin 1.1 cm ile SINP ve YOZ1 istasyonları, yukarı bileşen için en düşük değerin 5.9 cm ile IGR1 istasyonu en yüksek değerin 8.5 cm ile ONIY istasyonunda olduğu açıkça görülmektedir. İstasyonların ortalama değerlerine bakıldığında ± 7.55 cm ile karesel ortalama hata değerinin en yüksek değere, 0.6 cm ile kuzey bileşenin en düşük değerde olduğu görülmüştür. Aynı zamanda karesel ortalama hata değeri (± 7.55 cm) ile yukarı bileşeninin (7.5 cm) çok yakın sonuçlar verdiği de görülmektedir. Karesel ortalama hatada en iyi değer ± 5.97 cm ile IGR1 istasyonu, en yüksek değerin ± 8.57 cm ile ONIY istasyonuna ait olduğu gözlemlenmiştir.



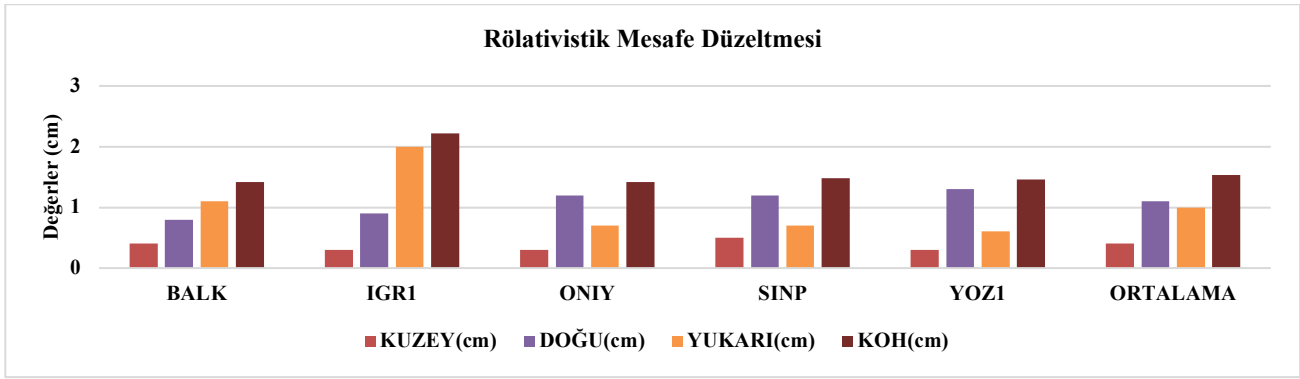
Şekil 8. Alıcı anten referans noktası düzeltmesi hata kaynağının toposentrik koordinatları ve KOH değerleri

Şekil 8’de alıcı anten referans noktası düzeltmesi hata kaynağının seçilen TUSAGA-Aktif istasyonlarındaki toposentrik koordinatları ve karesel ortalama hata değerleri verilmiştir. Kuzey, doğu ve yukarı bileşenlerinin ortalama olarak sırasıyla 0.4 cm, 1.0 cm ve 8.2 cm bir büyüklüğe sahip olduğu görülmektedir. Kuzey bileşen için 0.3 cm ile IGR1, ONIY ve YOZ1 istasyonlarında en düşük değere, 0.5 cm ile SINP istasyonunda en yüksek değere sahip olduğu, doğu bileşen için en düşük değer 0.7 cm ile BALK istasyonu en yüksek değer 1.3 cm ile YOZ1 istasyonu, yukarı bileşen için en düşük değerin 7.0 cm ile IGR1 istasyonu en yüksek değer 9.1 cm ile ONIY istasyonunda olduğu açıkça görülmektedir. Tüm istasyonların ortalama değerlerine bakıldığında 8.3 cm ile karesel ortalama hata değerinin en yüksek değerde, 0.4 cm ile kuzey bileşenin en düşük değerde olduğu görülmektedir. Diğer taraftan karesel ortalama hata değeri (± 8.3 cm) ile yukarı bileşenin (± 8.2 cm) çok yakın sonuçlar verdiği de görülmektedir. Karesel ortalama hatada en iyi değer ± 7.06 cm ile IGR1 istasyonu, en yüksek değerin ise ± 9.17 cm ile ONIY istasyonuna ait olduğu gözlemlenmiştir.



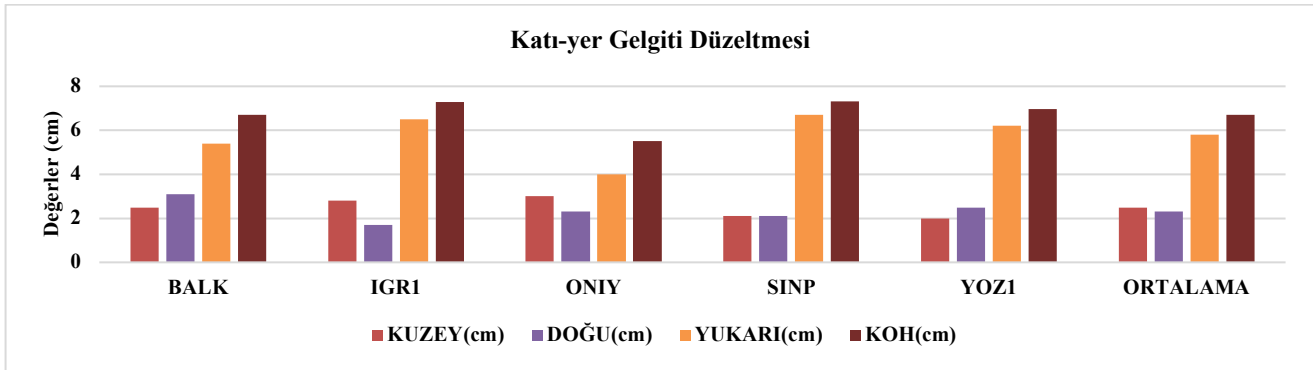
Şekil 9. Troposferik gecikme düzeltmesi hata kaynağının toposentrik koordinatları ve KOH değerleri

Şekil 9’da troposferik gecikme düzeltmesi hata kaynağının seçilen TUSAGA-Aktif istasyonlarındaki toposentrik koordinatları ve karesel ortalama hata değerleri verilmiştir. Kuzey, doğu ve yukarı bileşenlerinin ortalama olarak sırasıyla 0.3 cm, 1.3 cm ve 10.6 cm bir büyüklüğe sahip olduğu görülmektedir. Kuzey bileşen için 0.2 cm ile IGR1 ve ONIY istasyonlarında en düşük değere, 0.5 cm ile SINP istasyonunda en yüksek değere sahip olduğu, doğu bileşen için en düşük değerin 1.0 cm ile BALK istasyonu en yüksek değerin 1.6 cm ile SINP istasyonu, yukarı bileşen için en düşük değerin 7.4 cm ile IGR1 istasyonu en yüksek değerin 12.6 cm ile ONIY istasyonunda olduğu açıkça görülmektedir. İstasyonların ortalama değerlerine bakıldığında karesel ortalama hata değerinin ± 10.7 cm ile en yüksek değerde, kuzey bileşenin 0.3 cm ile en düşük değerde olduğu görülmektedir. Aynı zamanda karesel ortalama hata değeri (± 10.7 cm) ile yukarı bileşenin (± 10.6 cm) çok yakın sonuçlar verdiği de görülmektedir. Karesel ortalama hatada en iyi değer ± 7.49 cm ile IGR1 istasyonu en yüksek değerin ise ± 12.66 cm ile ONIY istasyonuna ait olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 10. Rölativistik mesafe düzeltmesi hata kaynağının toposentrik koordinatları ve KOH değerleri

Şekil 10’da rölativistik mesafe düzeltmesi hata kaynağının seçilen TUSAGA-Aktif istasyonlarındaki toposentrik koordinatları ve karesel ortalama hata değerleri verilmiştir. Kuzey, doğu ve yukarı bileşenlerinin ortalama olarak sırasıyla 0.4 cm, 1.1 cm ve 1.0 cm bir büyüklüğe sahip olduğu görülmektedir. Kuzey bileşen için 0.3 cm ile IGR1, ONIY ve YOZ1 istasyonlarında en düşük değere 0.5 cm ile SINP istasyonunda en yüksek değere sahip olduğu, doğu bileşen için en düşük değer 0.8 cm ile BALK istasyonu en yüksek değeri 1.3 cm ile YOZ1 istasyonu, yukarı bileşen için en düşük değeri 0.6 cm ile YOZ1 istasyonu en yüksek değeri 2.0 cm ile IGR1 istasyonunda olduğu açıkça görülmektedir. Tüm istasyonların ortalama değerlerine bakıldığında karesel ortalama hata değerinin ± 1.53 cm ile en yüksek değerde, kuzey bileşeninin 0.4 cm ile en düşük değerde olduğu görülmektedir. Diğer taraftan doğu bileşeni (1.1 cm) ile yukarı bileşeninin (1.0 cm) çok yakın sonuçlar verdiği de görülmektedir. Karesel ortalama hatada en iyi değeri ± 1.41 cm ile BALK istasyonu en yüksek değeri ise ± 2.21 cm ile IGR1 istasyonuna ait olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 11. Kati-yer gelgiti düzeltmesi hata kaynağının toposentrik koordinatları ve KOH değerleri

Şekil 11’de kati-yer gelgiti düzeltmesi hata kaynağının seçilen TUSAGA-Aktif istasyonlarındaki toposentrik koordinatları ve karesel ortalama hata değerleri verilmiştir. Kuzey, doğu ve yukarı bileşenlerinin ortalama olarak sırasıyla 2.5 cm, 2.3 cm ve 5.8 cm bir büyüklüğe sahip olduğu görülmektedir. Kuzey bileşen için 2.0 cm ile YOZ1 istasyonunda en düşük değere 3.0 cm ile ONIY istasyonunda en yüksek değere sahip olduğu, doğu bileşen için en düşük değeri 1.7 cm ile IGR1 istasyonu en yüksek değeri 3.1 cm ile BALK istasyonu, yukarı bileşen için en düşük değeri 4.0 cm ile ONIY istasyonu en yüksek değeri 6.7 cm ile SINP istasyonunda olduğu açıkça görülmektedir. Tüm istasyonların ortalama değerlerine bakıldığında ± 6.7 cm ile karesel ortalama hata değerinin en yüksek değerde, 2.3 cm ile doğu bileşeninin en düşük değerde olduğu görülmektedir. Aynı zamanda kuzey bileşeni (2.5 cm) ile doğu bileşeninin (2.3 cm) yakın sonuçlar verdiği de görülmektedir. Karesel ortalama hatada en iyi değeri ± 5.50 cm ile ONIY istasyonu en yüksek değeri ise ± 7.27 cm ile IGR1 istasyonuna ait olduğu gözlemlenmiştir.

TARTIŞMA VE SONUÇLAR (DISCUSSION AND CONCLUSIONS)

Bu çalışmada sadece-GPS uydu sistemi ve PP-PPP yöntemi ile konum bilgisi elde etmeye imkan

sağlayan PPP hata kaynaklarının nokta konum doğruluklarına olan en fazla ve en az etkileri test edilmiştir. Bu amaçla TUSAGA-Aktif ağlarına ait BALK, YOZ1, ONIY, IGR1 ve SINP istasyonlarının 24 saatlik 30 saniyelik gözlem verileri değerlendirilmiş ve PPPH yazılımından elde edilen koordinatlar referans kabul edilerek karşılaştırılmıştır. Çalışmadaki bulgularda hesaplanan karesel ortalama hata değerleri yardımıyla 5 TUSAGA-Aktif istasyonlarından rölativistik mesafe düzeltmesinin yatay ve düşey bileşenlerde ortalama olarak sırasıyla 0.66 cm ve 0.96 cm konum doğruluğu sağladığını göstermiştir. Bu değerler troposferik gecikme düzeltmesi hata kaynağı için sırasıyla 0.78 cm ve 10.06 cm olduğu açıkça görülmektedir. İstasyon bazlı incelemelerde KOH değerlerine bakıldığında kuzey bileşenin BALK istasyonu (± 2.32 cm), e bileşenin YOZ1 istasyonu (± 4.24 cm), u bileşenin ONIY istasyonunda (± 11.90 cm) daha yüksek sonuçlar ortaya koyduğu açıkça görülmektedir. Çalışma kapsamında yapılan KOH değerleri, noktaların konumsal doğruluklarını yansıttığından dolayı PPP hata kaynaklarının istasyonlardaki doğu-batı, kuzey-güney yönlü olarak konumsal doğrulukları yorumlanacak olursa, doğu bölgesinde kalan istasyonların (IGR1, YOZ1) batı bölgesindeki istasyonlara göre (BALK); troposferik gecikme düzeltmesi ve uydu anteni faz merkezi düzeltmesi hata kaynaklarının konum doğruluklarında artma, katı-yer gelgiti düzeltmesi rölativistik mesafe düzeltmesi hata kaynaklarının ise konum doğruluklarında azalma olduğu belirlenmiştir. Güney bölgede kalan istasyonların (ONIY, YOZ1) kuzey bölgedeki istasyonlara göre (SINP); katı-yer gelgiti, uydu faz dönüklüğü düzeltmesi, rölativistik mesafe düzeltmesi hata kaynaklarının konum doğruluklarında artma, alıcı anten referans noktası düzeltmesi hata kaynağının konum doğruluğunda azalma olduğu görülmüştür. Elde edilen sonuçlardan hareketle troposferik gecikme düzeltmesi hata kaynağının konum doğruluğunda etkisi en fazla olurken, rölativistik mesafe düzeltmesinin etkisinin en az olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışmada ulaşılan sonuçlar doğrultusunda troposferik gecikme düzeltmesi hata kaynağının diğer PPP hata kaynakları ile kıyaslandığında yüksek nokta konum doğruluğu elde etmede etkisinin önemli olduğu görülmüştür. Bu bağlamda troposferik gecikme düzeltmesi hata kaynağının hem PP-PPP yöntemi kullanılarak yüksek konum doğruluğu ve duyarlılığın sağlanmasında önemli çözümler sunması hem de bu hata kaynağının PPP’de oluşan hataları en aza indirilmesi bakımından önem taşımaktadır.

Teşekkür (Acknowledgements)

Gerçekleştirilen çalışmada referans koordinat sistemlerini kullanmada web tabanlı online CSRS-PPP servisi için Natural Resources Canada (NRCan)’a, TUSAGA-Aktif (CORS-TR) istasyonları için Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğüne, manyetik fırtınalar için NASA’nın Uzay Fiziği Veri Tesisi (SPDF) OMNIWeb veri merkezine teşekkür ederiz.

Bu çalışma Prof. Dr. İbrahim Kalaycı’nın danışmanlığında Nezih Furkan Erbaş’ın Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Harita Mühendisliği Anabilim Dalında 2021 yılında tamamladığı ‘‘Hassas Nokta Konumlama (PPP) Hata Kaynaklarının Konum Doğruluğuna Etkileri’’ başlıklı Yüksek Lisans tezinden üretilmiştir.

KAYNAKÇA (REFERENCES)

- [1] S. Bisnath, Y. Gao, Current State of Precise Point Positioning and Future Prospects and Limitations, *Observing Our hanging earth*. 615-623133 (2008), 615-623. doi:10.1007/978-3-540-85426-5_71
- [2] Y. Yao, R. Zhang, W. Song, C. Shi, Y. Lou, An improved approach to model regional ionosphere and accelerate convergence for precise point positioning, *Advances in Space Research*. 52 (2013), 1406-1415. doi:10.1016/j.asr.2013.07.020
- [3] C. Ö. Yiğit, B. N. Özdemir, S. Alçay, A. Ceylan, CSRS-PPP Yazılımının Uzun Dönemli GNSS Zaman Serilerinin Oluşturulmasında ve Nokta Hızlarının Kestirilmesinde Kullanılabilirliği, *Harita Dergisi*. 82 (2016), 23-31.
- [4] C. Cai, Y. Gao, L. Pan, J. Zhu, Precise point positioning with quad-constellations: GPS, BeiDou, GLONASS and Galileo, *Advance in Space Research*. 56 (2015), 133-143. doi:10.1016/j.asr.2015.04.001
- [5] K. Su, S. Jin, Improvement of Multi-GNSS Precise Point Positioning Performances with Real Meteorological Data, *Journal of Navigation*. 71 (2018), 1-17. doi:10.1017/S0373463318000462
- [6] C. Shi, Y. Lou, M. Ge, G. Shengfeng, An improved approach to model ionospheric delays for single-frequency Precise Point Positioning, *Advances in Space Research*. 49 (2012), 1698-1708. doi:10.1016/j.asr.2012.03.016
- [7] M. Kahveci, GPS/GNSS Gözlemlerini Değerlendirme Yöntemlerinde Son Gelişmeler. *Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi*. 102 (2010), 3-9.
- [8] P. Li, X. Zhang, Integrating GPS and GLONASS to accelerate convergence and initialization times of precise point positioning, *Article in GPS Solutions*. 18 (2014), 461-471. doi:10.1007/s10291-013-0345-5
- [9] M. Malinowski, J. Kwiecień, A Comparative Study of Precise Point Positioning (PPP) Accuracy Using Online Services, *Reports on Geodesy and Geoinformatics*. 102 (2016), 15-31. doi:10.1515/rgg-2016-0025
- [10] S. Bolbol, A. H. Ali, M. S. Elsayed, M. Nasr, Performance Evaluation of Precise Point Positioning (PPP) Using CSRS-PPP Online Service, *American Journal of Geographic Information System*. 6 (2017), 156-167. doi:10.5923/j.ajgis.20170604.03
- [11] B. Bahadur, M. Nohutcu, Türkiye ve yakın çevresi için çoklu-GNSS kombinasyonlarının PPP performansına etkisi, *Harita Dergisi*. (2018), 1-11.
- [12] B. Bahadur, M. Nohutcu, Hassas Nokta Konumlama İçin Robust Kalman Filtresi Yöntemlerinin Analizi. *Harita Dergisi*. 86 (2020), 29-42.
- [13] W. U. Guanbin, C. Junping, w. U. Xiaomeng, H. U. Jinlin, Modeling and assessment of regional atmospheric corrections based on undifferenced and uncombined PPP-RTK, *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*. 49 (2020), 1407-1418. doi: 10.11947/j.AGCS.2020.20200103
- [14] M. Li, G. Huang, L. Wang, W. Xie, F. Yue, Performance of Multi-GNSS in the Asia-Pacific Region: Signal Quality, Broadcast Ephemeris and Precise Point Positioning (PPP), *Remote Sensing*. 14 (2022), 3028. doi:10.3390/rs14133028
- [15] Z. Wu, Q. Wang, C. Hu, Z. Yu, W. Wu, Modeling and assessment of five-frequency BDS precise point positioning, *Satellite Navigation*. 3 (2022), 1-14. doi:10.1186/s43020-022-00069-z
- [16] Y. Gao, Precise point positioning and its challenges, aided-gnss and signal tracking. *Inside GNSS*. 16-18 (2006), 16-21.
- [17] J. Kouba, P. Heroux, Precise point positioning using IGS orbit and clock products. *GPS Solutions*. 5 (2001), 12-28. doi:10.1007/PL00012883
- [18] S. Bülbül, B. Bilgen, C. İnal, The performance assessment of Precise Point Positioning (PPP) under various observation conditions. *Measurement*. 171 (2021). doi: 10.1016/j.measurement.2020.108780
- [19] R. J. Anderle, Satellite Doppler Positioning. Proceedings of the International Geodetic

Symposium, Las Cruces, New Mexico, (1976), 47-75.

[20] J. F. Zumberge, M. B. Hefflin, D. C. Jefferson, M. M. Watkins, F. H. Webb, Precise point positioning for the efficient and robust analysis of GPS data from large networks, *Journal of Geophysical Research*. 102 (1997), 5005-5017. doi:10.1029/96JB03860

[21] C. Rizos, V. Janssen, C. Roberts, T. Grinter, Precise Point Positioning: Is the Era of Differential GNSS Positioning Drawing to an End?, *Proceedings of FIG Working Week*, 2012, 1-17.

[22] Y. Facio ve M. Berber, Subsidence is Determined in the Heart of the Central Valley Using Post Processed Static and Precise Point Positioning Techniques, *Journal of Applied Geodesy*. 14 (2020), 113-118. doi: 10.1515/jag-2019-0043

[23] D. Kiliszek ve K. Kroszczyński, Performance of the Precise Point Positioning Method Along with the Development of GPS, GLONASS and Galileo Systems, *Measurement*. 164 (2020), 1-26. doi: https://doi.org/10.1016/j.measurement.2020.108009

[24] R. Liu, B. Guo, A. Zhang & B. Yimwadsana, Research on GPS Precise Point Positioning Algorithm with a Sea Surface Height Constraint, *Ocean Engineering*. 197 (2020). doi: 10.1016/j.oceaneng.2019.106826

[25] A. C. Uçarlı, F. Demir, S. Erol & R. M. Alkan, Farklı GNSS Uydu Sistemlerinin Hassas Nokta Konumlama (PPP) Tekniğinin Performansına Etkisinin İncelenmesi, *Geomatik Dergisi*. 6 (2021), 247-258. doi: 10.29128/geomatik.779420

[26] E. Ayso ve M. Kahveci, GNSS Kod (Pseudorange) Ölçüleri ile Tek Nokta Konum Belirleme Yazılımı: KTUN_SPP, *Konya Mühendislik Bilimleri Dergisi*. 10 (2022), 578-598. doi: 10.36306/konjes.1112955

[27] M. Ge, G. Gendt, M. Rothacher, C. Shi, J. Liu, Resolution of GPS carrier-phase ambiguities in Precise Point Positioning (PPP) with daily observations, *Journal of Geodesy*. 82 (2008), 389-399. doi: 10.1007/s00190-007-0187-4

[28] S. Alçay, C. Ö. Yiğit ve A. Ceylan, CSRS-PPP, MagicGNSS ve APPS web tabanlı yazılımların statik PPP modüllerinin karşılaştırılması. *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*. 5 (2013), 1-12.

[29] CSRS-PPP: The Canadian Spatial Reference System-PPP, <https://webapp.csrsc-scrs.nrcan-ncan.gc.ca/geod/account-compte/login.php> (erişim 13 Eylül 2021).

[30] N. F. Erbaş, Hassas Nokta Konumlama (PPP) Hata Kaynaklarının Konum Doğruluklarına Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Necmettin Erbakan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya, 2021.

[31] T. Erol, Web tabanlı CSRS-PPP uygulamasının farklı uydu sistemleri üzerindeki performansı, *Jeodezi ve Jeoinformasyon Dergisi*. 8 (2021), 41-56. doi: 10.9733/JGG.2021R0004.T

[32] B. Bahadur & M. Nohutcu, PPPH: A MATLAB-Based Software for Multi-GNSS Precise Point Positioning Analysis, *GPS Solutions*. 113 (2018). doi: 10.1007/s10291-018-0777-z

[33] B. Bahadur & M. Nohutcu, Comparative Analysis of MGEX Products for Post-Processing Multi-GNSS PPP, *Measurement*. 145(2019), 361-369. doi: 10.1016/j.measurement.2019.05.094

[34] CDDIS: The Crustal Dynamics Data Information System, <https://cddis.nasa.gov/archive/gnss/products/> (erişim 13 Haziran 2023).

[35] F. Başçiftçi, 24. Güneş Döngüsü Boyunca Meydana Gelen Jeomanyetik Fırtınaların Dağılımı, *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*. 10(4) (2021), 1394-1403. doi: 10.17798/bitlisfen.955034

[36] OMNIWeb: Goddard Space Flight Center-SPDF, <https://omniweb.gsfc.nasa.gov/form/dx1.html> (erişim 13 Haziran 2023).