



MEVSİMSEL DEĞİŞİMLERİN HASSAS NOKTA KONUMLAMAYA ETKİSİ

¹Sercan BÜLBÜL , ²Cevat İNAL , ³Burhaneddin BİLGİN 

Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Konya,
TÜRKİYE

¹sbulbul@ktun.edu.tr, ²cinal@ktun.edu.tr, ³bbilgen@ktun.edu.tr

(Geliş/Received: 16.11.2021; Kabul/Accepted in Revised Form: 23.02.2022)

ÖZ: Hassas Nokta Konumlama (Precise Point Positioning-PPP), tek bir GNSS alıcısıyla hassas uydu yörünge ve saat bilgilerini kullanarak santimetre doğruluğunda konum bilgisi sağlayan bir yöntemdir. Son zamanlarda bu yöntem pek çok bilimsel çalışmaya konu olmaktadır. Bu çalışmada, mevsimlerin PPP konum belirleme doğruluğu üzerindeki etkisini araştırmak amacıyla kuzey yarım kürede yer alan yüksek enlem (KIR8 (İsveç), NYA2 (Norveç)), orta enlem (ANKR(Türkiye), DLF1(Hollanda)) ve ekvatorial bölgede (NKLG(Gabon), SIN1(Singapur)) bulunan Uluslararası GNSS Servisi (International GNSS Service: IGS) istasyonları seçilmiştir. Seçilen istasyonlara ait 365 gün 24 saat 30 saniyelik RINEX verileri çözümlerde kullanılmak üzere elde edilmiştir. 01.12.2019-30.11.2020 tarihleri arasında elde edilen veriler çözümlerin yapılabildiği web tabanlı PPP servislerinden CSRS-PPP, MagicGNSS ve APPS ile değerlendirilmiştir. Web tabanlı servislerden elde edilen koordinatların hassasiyetlerini araştırmak amacıyla her ay için ortalama koordinat değerleri kullanılarak karesel ortalama hatalar (KOH) hesaplanmış, daha sonra mevsimlere bağlı doğrulukları ortaya koymak için istasyonların IGS'den temin edilen bilinen koordinatları kullanılarak konum ortalama hataları hesaplanmıştır. Aynı istasyonlar ve servisler için farklı mevsimlerde elde edilen konum ortalama hataları Bartlett testi ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonunda ANKR istasyonu hariç diğer istasyonlarda konum ortalama hatalarının uyuşum içinde olduğu, konum doğruluklarının mevsimlerden ziyade kullanılan servislere bağlı olduğu ve en iyi sonuçların MagicGNSS ile elde edildiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: IGS, online-PPP, CSRS-PPP, MagicGNSS, APPS

The Effect of Seasonal Changes on Precise Point Positioning

ABSTRACT: Precise Point Positioning (PPP) is a method that provides centimeter-level positioning accuracy using precise satellite orbit and clock products with a single GNSS receiver. Recently, this method has been the subject of many scientific studies. In this study, International GNSS Service (IGS) stations located in high latitude (KIR8 (Sweden), NYA2 (Norway)), mid-latitude (ANKR (Turkey), DLF1 (Netherlands)) and equatorial region (NKLG (Gabon), SIN1 (Singapore)) in northern hemisphere were selected to investigate the effect of seasons on position accuracy of PPP. RINEX data of 365 days 24 hours 30 seconds of selected stations were obtained to be used in solutions. The data obtained between 01.12.2019 and 30.11.2020 were evaluated with CSRS-PPP, MagicGNSS and APPS, which are web-based PPP services where solutions can be made within the specified date range. In order to investigate the precisions of the coordinates obtained from the web-based services, root mean square errors (RMSE) were calculated using the average coordinate values for each month, and then the 3D RMSE were calculated using the known coordinates of the stations obtained from IGS to reveal seasonal accuracies. The 3D RMSE obtained for the same stations and services in different seasons were compared with the Bartlett test. At the end of the comparison, it was seen that the 3D RMSE were in agreement at the other stations, except for the ANKR

station, the positioning accuracy was dependent on the used services rather than seasons, and the best results were obtained with MagicGNSS.

Keywords: IGS, online-PPP, CSRS-PPP, MagicGNSS, APPS

GİRİŞ (INTRODUCTION)

Geçmişten günümüze bilim dünyasında yaşanan önemli gelişmeler günümüz yaşam şartlarına kolaylık sağlamakla birlikte jeodezik, jeodinamik ve kadastral amaçlarla konum belirleme alanında da daha doğru ve daha güvenilir sonuçların elde edilmesine olanak sağlamıştır. İlk yapay uydu olan Sputnik-1 uydusunun 04 Ekim 1957 tarihinde uzaya fırlatılmasıyla uzay jeodezisi, jeodezi bilimi içerisinde yer almaya başlamış ve böylece uydu jeodezisinin temelleri atılmıştır (Kahveci ve Yıldız, 2017). İlerleyen süreçte, hesaplama tekniği ve elektronik biliminin gelişmesiyle uzay çalışmalarının hız kazanması sonucu Global Konum Belirleme Sistemleri (GNSS) günlük yaşam içerisine girmiştir.

GNSS ölçmelerine dayalı olarak konum bilgileri hem mutlak hem de bağıl yöntemlerle elde edilebilmektedir. Bağıl konum belirleme uygulamalarında en az iki GNSS alıcısına gereksinim duyulurken, mutlak konum belirlemede tek bir GNSS alıcısı ile konumlama işlemi gerçekleştirilmektedir. Uluslararası kuruluşlar tarafından üretilen hassas uydu yörünge ve saat bilgilerinin ulaşılabilir olması ve tek bir GNSS alıcısı ile nokta konumlarının hesaplanmasına imkân veren algoritmaların geliştirilmesi mutlak konum belirleme yöntemlerinden biri olan Hassas Nokta Konumlama (PPP) yönteminin ortaya çıkmasına sebep olmuştur. PPP yönteminin geçmişi 1976 yılına kadar gitmektedir. Fakat 1990'lı yıllarda Uluslararası GNSS Servisi'nin (IGS) yüksek kaliteli GNSS verilerini yayınlamaya başlamasından sonra yaygınlaşmaya başlamıştır (<https://igs.org/network/>). 1976 yılında Anderle, (1976)'nin Doppler etkisinden yararlanarak uydu yörüngesini 2 metre doğruluk ile hesaplayabildiği çalışma yüksek bir doğruluk taşımamasına rağmen, PPP kavramının ilk kez ortaya çıkışına neden olmuştur. 1990'lı yıllarda hassas uydu yörünge ve saat bilgilerine erişilebilmiş, 1997 yılında çift frekanslı alıcıların çıkması ile iyonosferden kaynaklanan hatalar modellenebilmiştir (Xu ve diğ., 2011). Aynı yıl, Zumberge ve diğ. (1997) tarafından kod ve taşıyıcı faz gözlemleri birlikte kullanılarak PPP yönteminin teorik temeli verilmiştir.

Son yıllarda yapılan çalışmalar, uzun gözlem sürelerinde statik PPP yönteminin neredeyse bağıl konum belirleme yönteminin hassasiyetine yaklaştığını göstermiştir. Yigit ve diğ. (2016), PPP yönteminin yüksek duyarlık istenen çalışmalarda ölçü süresine bağlı konum belirleme performansını hem GPS ölçüleri hem de GPS+GLONASS ölçülerini kullanarak araştırmıştır. Alçay (2016), farklı gözlem sürelerinde GPS-PPP ve GPS+GLONASS-PPP yöntemlerinin konum belirleme performanslarını, Gelişkan ve diğ. (2018) ise PPP tekniğinin deformasyon belirlemede kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Bahadır ve Nohutçu (2019), ilk sivil tabanlı navigasyon sistemi olan Galileo uydu takımının Türkiye için tek başına PPP yöntemindeki performansını, Özdemir ve Gülal (2019), web tabanlı PPP yazılımlarının konum doğruluklarını, Erdoğan ve diğ. (2017), GPS kinematik ölçü sonrası değerlendirme şeklinde gerçekleştirilen PPP (Post Process PP-PPP) ve gerçek zamanlı PPP (Real Time RT-PPP) çözümlerinin doğruluklarını, Alçay ve Atiz (2021) ise farklı yazılımlar kullanarak RT-PPP yönteminin performansını araştırmışlardır.

Yukarıda bahsedilen çalışmalar incelendiğinde, genel olarak PPP ölçü süresinin göz önüne alındığı ancak mevsimsel etkilerin çok az ilgi gördüğü görülmektedir. Bu çalışmada ise mevsimsel değişimlerin PPP yöntemine ve web tabanlı PPP servislerinin doğruluğuna etkisinin araştırılması hedeflenmiştir. Bu amaçla, kuzey yarım kürede bulunan yüksek enlem bölgesi, orta enlem bölgesi ve ekvatorial bölgede seçilen ikişer adet IGS istasyonlarına ilişkin ardışık 365 gün 24 saat ve 30 saniyelik Alıcıdan Bağımsız Veri Değişim Formatı (RINEX) verileri kullanılmıştır. Daha sonra tüm veri setleri web tabanlı servislerden The Canadian Spatial Reference System-PPP (CSRS-PPP), MagicGNSS ve The Automatic Precise Positioning Service (APPS) kullanılarak değerlendirilmiştir. Seçilen IGS istasyonlarına ait günlük koordinat verileri hem aylara hem de mevsimlere göre gruplandırılmış ve bilinen koordinat değerleriyle karşılaştırılmıştır.

Bu karşılaştırmalar sonucunda mevsimlerin, web tabanlı PPP servislerinin değerlendirme sonuçlarına nasıl bir etkisi olduğu ortaya konulmuştur.

MATERYAL VE METOT (MATERIAL AND METHOD)

PPP Yöntemi ve Web Tabanlı PPP Servisleri (PPP Method and Web-based PPP Services)

PPP yönteminde, tek bir GNSS alıcısı kullanılarak cm/mm seviyelerinde doğruluğa ulaşmak amaçlanmaktadır. Son yıllarda gelişen teknoloji ve geliştirilen algoritmalar sayesinde bu amaca adım adım ulaşılmaya çalışılmaktadır. PPP yöntemi sıfır fark (zero difference) yönteminin özel bir durumu olup, Diferansiyel GPS ve Gerçek Zamanlı Kinematik (RTK) gibi konum belirleme yöntemlerinden farklı olarak sabit istasyona ve neticesinde eş zamanlı gözleme gereksinim duymamaktadır (Alçay, 2019; Cai ve Gao, 2013; Soycan, 2012). PPP yöntemi IGS, Avrupa Uluslararası Yörünge Belirleme Merkezi (CODE), Jet Propulsion Laboratuvarı (JPL) gibi merkezlerden yayınlanan GNSS uydularına ait uydu yörünge ve saat düzeltmelerini kullanarak tek bir GNSS alıcısının konumunun hassas bir şekilde belirlenmesine dayanmaktadır (Ebner, 2008; Pan ve diğ., 2014). Sadece RINEX verileriyle gözlem süresine bağlı olarak cm mertebesinde konumlama gerçekleştirilebilmektedir (Alçay ve diğ., 2013). Ancak konum bilgisinin yüksek doğrulukla elde edilebilmesi için PPP'ye etki eden bazı etkilerin (phase wind-up, ocean tide vb) dikkate alınması gerekmektedir (Kouba ve Héroux, 2001).

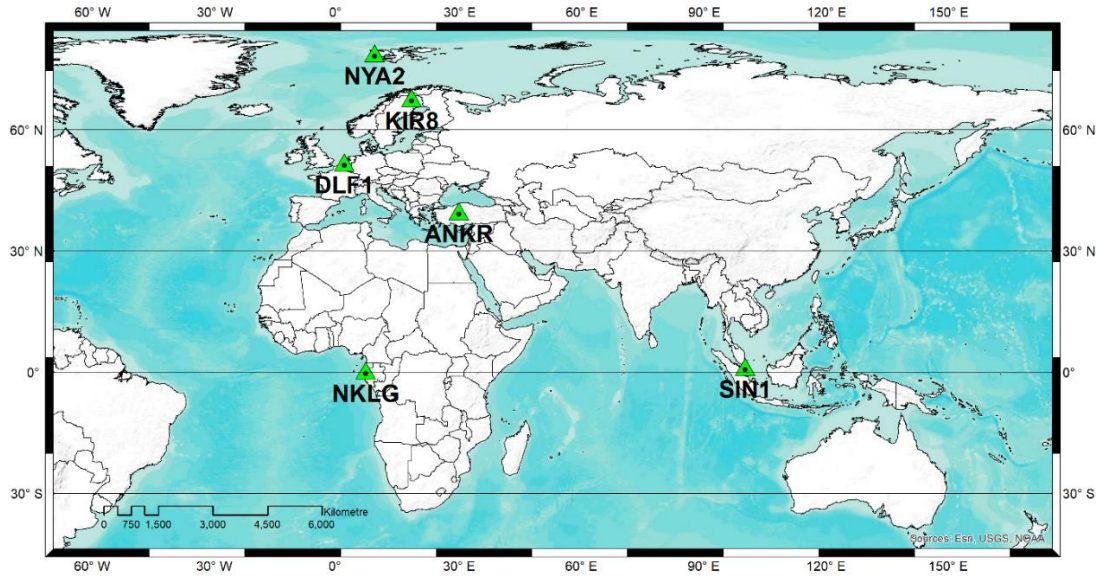
Günümüzde son gelişmelerle birlikte PPP yöntemi ile hem RT hem de PP ile konum belirlenebilmektedir (Soycan, 2012). Elde edilen ham ölçü verilerinin değerlendirilmesi için; RT-PPP'de anlık düzeltme verilerini alabilen RTKLIB, BNC vb. yazılımlar, PP-PPP ile konum belirlemede düzeltmeler anlık olarak alınmadığından akademik yazılımlar (Bernese, GIPSY- OASIS, GNSS-Lab Tool-gLAB vb.) veya web tabanlı servisler (CSRS-PPP, MagicGNSS, APPS, GAPS vb.) kullanılabilir. CSRS-PPP, 2003 yılında NRCan (Natural Resources Canada) kuruluşunun sağladığı web tabanlı GNSS değerlendirme servisedir. Diğer web tabanlı değerlendirme servislerinde olduğu gibi basit bir ara yüz ile kullanıcılara hizmet sunmaktadır. Sistem, tek veya çift frekanslı alıcılara toplanmış statik ya da kinematik gözlem verilerinin (GPS, GLONASS) çözümlerinin, North American Datum-1983 (NAD83) ya da The International Terrestrial Reference Frame (ITRF) datumunda elde edilmesine olanak vermektedir (Choy ve diğ., 2013; Dawidowicz ve Krzan, 2014). Ek bir seçenek olarak kullanıcılara kendi ölçüm yaptıkları istasyona ait okyanus yükleme dosyalarını tanımlama imkânı sağlamaktadır. CSRS-PPP kullanıcılara web tabanlı değerlendirme hizmeti verirken arka planda NRCan-PPP yazılımı ile çözüm yapmaktadır. CSRS-PPP sonuç (final), hızlı (rapid) ya da çok hızlı (ultra rapid) uydu efemeris bilgilerinden en uygununu kullanmaktadır (Erol, 2021). Ekim 2020 itibariyle CSRS-PPP servisinde bir güncelleme gerçekleştirilmiş ve 1 Ocak 2018 ve sonrasında toplanan verilerin değerlendirilmesinde geleneksel PPP algoritmasından, PPP-AR (Ambiguity Resolution) algoritmasına geçilmiştir. PPP-AR algoritması ile faz başlangıç belirsizliği kesirli olarak belirlenmeyip tam sayı olarak kestirilmektedir. Ayrıca bu güncelleme ile RINEX versiyon 3 (v.3) veri formatı da çözümlenmeye başlanmıştır. Mart 2021'de yapılan diğer bir güncelleme ile CSRS-PPP, yüksek frekanslı statik verileri otomatik olarak 30 saniyelik kayıt aralığına indirmektedir. Bundan, yalnızca beklenen 30 saniyelik aralıkların en az %75'inin mevcut olduğu hem kod hem de faz ölçülerini içeren çift frekanslı statik veriler etkilenmekte, diğer veriler etkilenmemektedir (<https://webapp.geod.nrcan.gc.ca>).

MagicGNSS, 2008 yılında İspanya'da GMV (Innovation solutions) tarafından geliştirilen web tabanlı bir GNSS veri değerlendirme servisedir. Bu servisin ücretsiz olan e-posta hizmeti (magicppp@gmv.com) aracılığıyla GPS ve GLONASS verileri değerlendirilebilirken, belirli bir ücret ödeyerek kayıt yaptıran kullanıcılar GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou ve QZSS uydularından alınan verileri de değerlendirebilmektedir. Statik ve kinematik değerlendirme seçeneklerine sahip servis, IGS ve GMV'nin ürettiği uydu yörünge ve saat ürünlerini kullanarak gönderilen çift frekanslı GNSS verilerini değerlendirmektedir. Verilerin değerlendirilmesi sonucunda; PPP koordinatları, değerlendirme işlemine ait pek çok istatistiksel bilgiyi de içeren rapor ve grafikler, e-posta ile kullanıcılara kısa bir süre içerisinde gönderilmektedir (Uçarlı ve diğ., 2021).

APPS, NASA JPL tarafından işletilen web tabanlı bir GPS değerlendirme servisi. Servis JPL tarafından üretilen gerçek zamanlı, günlük ve haftalık GPS yörünge ve saat bilgilerini kullanmaktadır. APPS, sadece GPS uydularından alınan çift frekanslı verileri değerlendirerek GIPSY 6.4 bilimsel yazılımı ile statik veya kinematik (kayıtlı kullanıcılar için) yöntemlerle PPP koordinatlarını hesaplamaktadır. Veriler, servisin web sayfası aracılığıyla veya e-posta/FTP ile gönderilebilmektedir. Değerlendirme aşamasında NASA JPL tarafından üretilen hassas uydu yörünge ve saat ürünlerinden (real-time, ultra rapid, rapid ve final) yararlanılmaktadır. Yüksek doğruluklu hassas uydu yörünge ve saat düzeltmeleri haftalık periyotlarda üretilerek yayınlanmakta olup, en yüksek doğruluk için bu sürenin beklenmesi gerekmektedir (Alkan ve diğ., 2017, Uçarlı ve diğ., 2021). APPS tarafından gönderilen sonuçlar ITRF datumunda olup diğer ek veriler ile kullanıcılara sunulmaktadır.

Çalışma Alanı ve Yöntem (Study Area and Method)

Bu çalışmada, mevsimlerin PPP üzerindeki etkisini araştırmak amacıyla kuzey yarım kürede yüksek enlem (KIR8, NYA2), orta enlem (ANKR, DLF1) ve ekvatorial bölgede (NKLG, SIN1) bulunan IGS istasyonları kullanılmıştır (Şekil 1). Seçilen istasyonlara ait bilgiler Çizelge 1'de verilmiştir. Çalışma kapsamında kullanılan istasyonlara ait 01.12.2019-30.11.2020 tarihleri arasındaki 24 saatlik 30 saniye kayıt aralıklı RINEX verileri temin edilmiştir.



Şekil 1. Çalışmada kullanılan IGS istasyonları

Figure 1. IGS stations used in the study

Çizelge 1. Kullanılan istasyonlara ait tanımlayıcı bilgiler*Table 1. Descriptive information of the stations used*

| İstasyon | Ülke | Enlem (°) | Boylam (°) | Yükseklik (m) | Uydular | Alıcı | Anten |
|----------|----------|-----------|------------|---------------|---------------------------------|---------------|----------------|
| KIR8 | İsveç | 67.878 | 21.060 | 498.00 | GPS+GLO+GAL+BDS+QZSS+SBAS | TRIMBLE ALLOY | LEIAR25.R |
| NYA2 | Norveç | 78.930 | 11.859 | 82.00 | GPS+GLO+GAL+BDS+QZSS+IRNSS+SBAS | SEPT POLARX5 | JAVRINGANT_G5T |
| ANKR | Türkiye | 39.888 | 32.759 | 975.00 | GPS+GLO+GAL+BDS+QZSS+SBAS | LEICA GR30 | LEIAR10 |
| DLF1 | Hollanda | 51.986 | 4.387 | 76.00 | GPS+GLO+GAL+BDS+QZSS+SBAS | TRIMBLE NETR9 | LEIAR25.R3 |
| NKLG | Gabon | 0.354 | 9.672 | 31.00 | GPS+GLO+GAL+BDS+SBAS+IRNSS | SEPT POLARX5 | TRM59800.00 |
| SIN1 | Singapur | 1.343 | 103.679 | 93.00 | GPS+GLO+GAL+BDS+QZSS+SBAS | TRIMBLE NETR9 | LEIAR25.R3 |

365 gün 24 saat ve 30 saniyelik RINEX verileri PPP tekniği için geliştirilmiş olan web tabanlı servislerden CSRS-PPP, MagicGNSS ve APPS kullanılarak değerlendirilmiştir. Değerlendirme stratejisi Çizelge 2’de verilmektedir.

Çizelge 2. Kullanılan değerlendirme stratejileri*Table 2. Used processing strategy*

| Bilgi | Web tabanlı PPP Servisleri | | |
|-----------------------------------|---------------------------------|-------------------------|---------------------------------|
| Servis | CSRS-PPP | magicGNSS | APPS |
| Kurum | Natural Research Canada (NRCan) | GMV Innovation Solution | Jet Propulsion Laboratory (JPL) |
| Referans Çerçevesi | ITRF08 | ITRF08 | ITRF08 |
| Anten Bilgileri | IGS | IGS | IGS |
| Uydu yörünge ve saat kayıklıkları | IGS Final | IGS Final | JPL Final |
| Yükseklik açısı | 10° | 10° | 10° |
| GNSS Sistemi | GPS + GLONASS | GPS + GLONASS | GPS |
| Yazılım | NRCan-PPP | Magic GNSS 5.3 | GIPSY v. 6.2 |
| Mod | Statik | Statik | Statik |
| Frekans | Çift | Çift | Çift |
| Belirsizlik çözümü | Fixed | Fixed | Fixed |

Web tabanlı servislerden elde edilen kartezyen koordinatların (X, Y, Z) yılın her ayındaki hassasiyetlerini incelemek amacıyla aylara ilişkin KOH hesaplanmıştır. KOH’un hesaplanmasında her bir aya ait kesin koordinatlar kullanılmıştır. n kesin değerlerin hesaplanmasında kullanılan koordinat sayısını ve X_i, Y_i, Z_i her ayın günlerine ait koordinatları göstermek üzere, ilgili aya ait kesin koordinatlar (X_a, Y_a, Z_a) ;

$$X_a = \frac{[X_i]}{n}, \quad Y_a = \frac{[Y_i]}{n}, \quad Z_a = \frac{[Z_i]}{n} \quad a = 1, 2, 3, \dots, 12 \quad (1)$$

denklemleri, kesin ve her bir güne ait koordinatlar arasındaki farklar;

$$V_{X_i} = X_i - X_a, \quad V_{Y_i} = Y_i - Y_a, \quad V_{Z_i} = Z_i - Z_a \quad (2)$$

denklemleri, koordinat bileşenleri yönündeki KOH ise;

$$m_{X_i} = \pm \sqrt{\frac{[V_{X_i}V_{X_i}]}{n-1}}, \quad m_{Y_i} = \pm \sqrt{\frac{[V_{Y_i}V_{Y_i}]}{n-1}}, \quad m_{Z_i} = \pm \sqrt{\frac{[V_{Z_i}V_{Z_i}]}{n-1}} \quad (3)$$

denklemleri kullanılarak hesaplanmıştır. Koordinat bileşenleri yönündeki KOH'dan yararlanılarak nokta konumlarına ilişkin KOH;

$$m_{3P} = \pm \sqrt{m_{X_i}^2 + m_{Y_i}^2 + m_{Z_i}^2} \quad (4)$$

denklemleri ile elde edilmiştir. Web tabanlı servislerin farklı mevsim koşulları altında sağladığı konum ortalama hatalarını hesaplamak amacıyla PPP servisleri ile elde edilen koordinatlar her bir istasyon için bilinen koordinat değerleriyle karşılaştırılmıştır. Bu amaçla, (<http://ftp.aiub.unibe.ch/BSWUSER52/STA/>) web adresinden alınan 2010.00 epoğundaki gerçek koordinatlar;

$$\begin{bmatrix} X_T \\ Y_T \\ Z_T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_{T_0} \\ Y_{T_0} \\ Z_{T_0} \end{bmatrix} + (T - T_0) \cdot \begin{bmatrix} V_X \\ V_Y \\ V_Z \end{bmatrix} \quad (5)$$

denklemleri kullanılarak ölçü epoğuna kaydırılmıştır. Denklem (5)'te; X_{T_0} , Y_{T_0} , Z_{T_0} IGS istasyonlarının 2010.00 epoğundaki güncel koordinat değerlerini, T ölçü epoğunu, T_0 referans epok olan 2010.00 epoğunu, V_X , V_Y , V_Z istasyonların 2010.00 epoğundaki hızlarını göstermektedir. Her bir ölçü gününde web tabanlı PPP servislerinden elde edilen koordinatlar (X_i , Y_i , Z_i) ile ölçü epoğundaki koordinatlar arasındaki farklar alınarak gerçek hatalar;

$$\varepsilon_{X_i} = X_i - X_T, \quad \varepsilon_{Y_i} = Y_i - Y_T, \quad \varepsilon_{Z_i} = Z_i - Z_T \quad (6)$$

denklemleri ile hesaplanmıştır. Koordinat eksenleri yönündeki karesel ortalama hatalar (KOH);

$$m_{X_i} = \pm \sqrt{\frac{[\varepsilon_{X_i}\varepsilon_{X_i}]}{n}}, \quad m_{Y_i} = \pm \sqrt{\frac{[\varepsilon_{Y_i}\varepsilon_{Y_i}]}{n}}, \quad m_{Z_i} = \pm \sqrt{\frac{[\varepsilon_{Z_i}\varepsilon_{Z_i}]}{n}} \quad (7)$$

denklemleri kullanılarak hesaplanmıştır. Denklem (7)'de n , elde edilen ardışık gerçek hata sayısını göstermektedir. İstasyonlara ait konum ortalama hatası;

$$m_{3P} = \pm \sqrt{m_{X_i}^2 + m_{Y_i}^2 + m_{Z_i}^2} \quad (8)$$

denklemleri ile elde edilmiştir.

Normal dağılımlı iki ölçü grubunun varyanslarının istatistiksel olarak uyumlu olup olmadığının test edilmesinde Fisher dağılımı kullanılırken, ölçü gruplarının sayısının ikiden fazla olduğu durumlarda Bartlett testi kullanılır. Bu nedenle aynı istasyonlara ait aynı yazılım ve farklı mevsimlerdeki varyansların istatistiksel olarak birbirleri ile karşılaştırılmasında Bartlett testinden yararlanılırken sıfır hipotezi;

$$H_0 = E(m_1^2) = E(m_2^2) = \dots = E(m_k^2) = \sigma_0^2 \quad (9)$$

şeklinde ileri sürülmüş ve ölçü gruplarının varyansları hesaplanırken f_i serbestlik derecesi olmak üzere,

$$M = [f_i] \ln\left(\frac{[f_i m_i^2]}{[f_i]}\right) - [f_i \ln(m_i^2)] \quad (10)$$

$$C = 1 + \frac{1}{3(k-1)} \left(\left[\frac{1}{[f_i]} \right] - \frac{1}{[f_i]} \right) \quad (11)$$

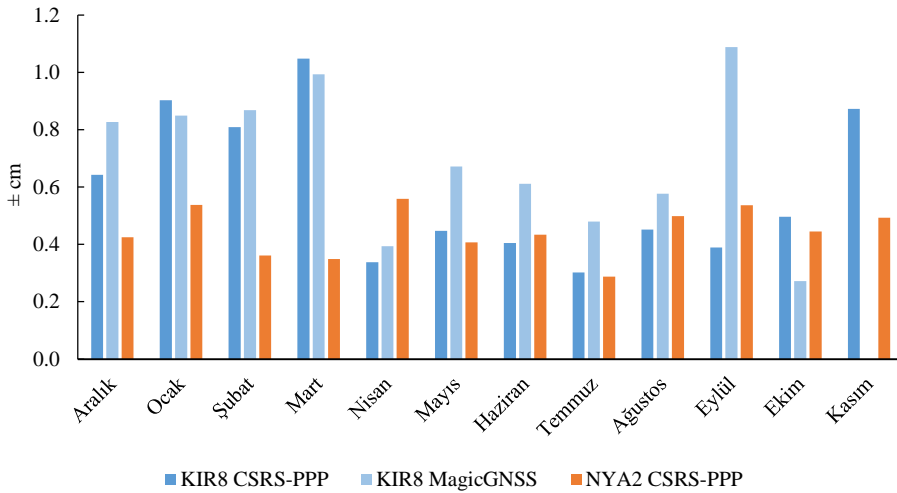
denklemlerinden yararlanarak test büyüklüğü;

$$\chi^2 = \frac{M}{C} \quad (12)$$

eşitliği ile hesaplanmıştır. $1 - \alpha$ istatistik güven aralığında ve $k - 1$ serbestlik derecesine karşılık $\chi^2_{k-1,1-\alpha}$ sınır değeri χ^2 tablosundan alınmıştır. $\chi^2 < \chi^2_{k-1,1-\alpha}$ ise sıfır hipotezi kabul edilmiş ve ölçü gruplarının varyanslarının eşit olduğu sonucuna varılmıştır (Lim ve Loh, 1996; Ott, 1998; Zar, 1999).

BULGULAR (RESULTS)

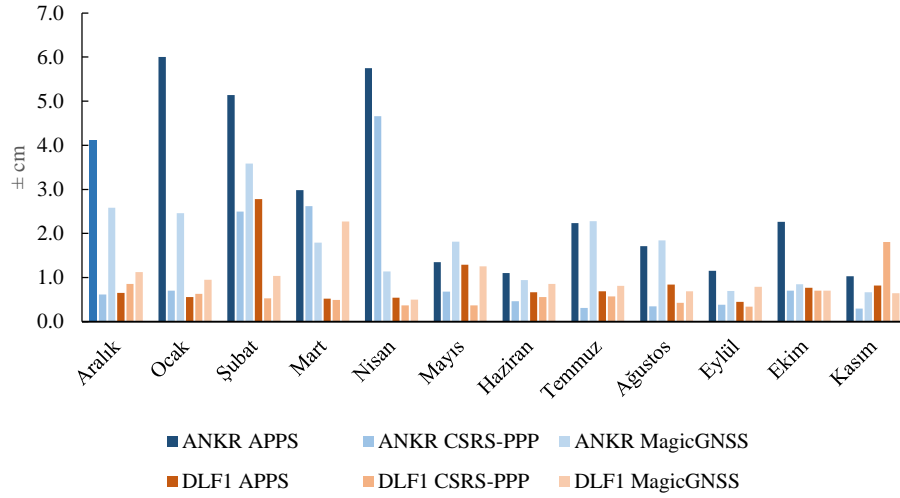
Seçilen istasyonların 365'er günlük RINEX verileri web tabanlı PPP servislerinden CSRS-PPP, MagicGNSS ve APPS kullanılarak işlenmiş ve her güne ait koordinatlar elde edilmiştir. Koordinatlar elde edildikten sonra her mevsim için o mevsimdeki ayların kendi içinde ortalama koordinatları ve bunlara dayalı olarak KOH Denklem (1) - (3) kullanılarak hesaplanmıştır. Denklem (4) ile nokta konumlarına ilişkin KOH hesaplanmış ve yüksek enlem bölgesindeki istasyonlar için Şekil 2'de, orta enlem bölgesindeki istasyonlar için Şekil 3'te, ekvatorial bölgede yer alan istasyonlar için Şekil 4'te grafik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2. Yüksek enlem bölgesindeki istasyonlara ait KOH

Figure 2. RMSE for the stations in high-latitude region

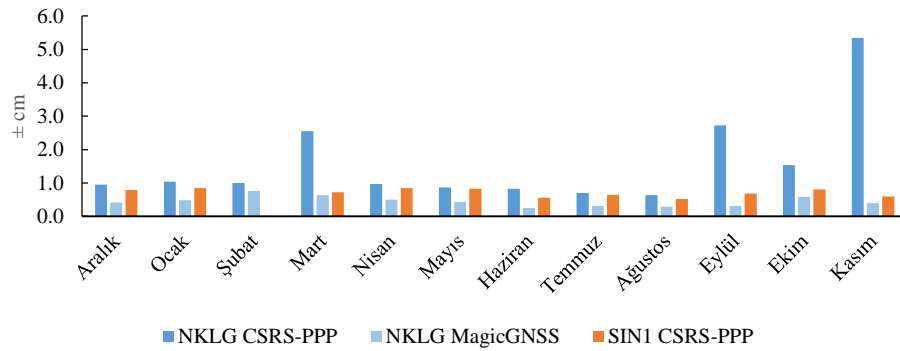
Şekil 2'de, yüksek enlem bölgesinde, APPS ile hem KIR8 hem de NYA2 istasyonlarında, MagicGNSS ile NYA2 istasyonunda çözümlerin elde edilemediği görülmektedir. İstasyonlarda KOH $\pm 0.3 - \pm 1.0$ cm arasında değişmektedir. NYA2 istasyonunda elde edilen KOH'un genellikle KIR8'e göre daha küçük olması, koordinatların tekrar edilebilirliklerinin daha iyi seviyede olduğunu göstermektedir. KIR8 istasyonunda ise kış ve ilkbahar mevsimlerini kapsayan Aralık, Ocak, Şubat ve Mart aylarında tekrar edilebilirliklerin kötüleşmesi nedeniyle KOH değerlerinin yükseldiği gözlemlenmiştir.



Şekil 3. Orta enlem bölgesindeki istasyonlara ait KOH

Figure 3. RMSE for the stations in mid-latitude region

Şekil 3, orta enlem bölgesindeki istasyonlarda KOH'un; APPS için $\pm 0.3 - \pm 6.0$ cm arasında, CSRS-PPP için $\pm 0.3 - \pm 4.7$ cm arasında, MagicGNSS içinse $\pm 0.5 - \pm 3.6$ cm arasında değiştiğini ve genel olarak ANKR istasyonunda daha yüksek olduklarını göstermektedir. ANKR istasyonu kış ve ilkbahar mevsimlerinden etkilenmiş ve bu nedenle Aralık, Ocak, Şubat ve Mart aylarını kapsayan dönemlerde koordinatlarının tekrar edilebilirlik seviyeleri düşük seyretmiştir. DLF1 istasyonunda ise yılın tüm aylarında daha tutarlı koordinat değerlerinin elde edildiği ve dolayısıyla KOH'un ANKR istasyonuna göre daha küçük olduğu görülmektedir.



Şekil 4. Ekvatorial bölgedeki istasyonlara ait KOH

Figure 4. RMSE for the stations in equatorial region

Ekvatorial bölgede NKLK istasyonunda APPS ile, SIN1 istasyonunda ise hem APPS hem de MagicGNSS ile sonuçlar elde edilememiştir. Şekil 4'te KOH'un genel olarak $\pm 0.2 - \pm 1.5$ cm arasında değiştiği, sadece Mart, Eylül ve Kasım aylarında bir sıçrama olduğu görülmektedir. Ekvatorial bölgede her iki istasyon için de koordinatların tekrar edilebilirliklerinin iyi seviyede olduğu söylenebilir. CSRS-PPP servisinin NKLK istasyonunda Mart, Eylül, Ekim ve Kasım aylarındaki mevsimsel değişimlerden etkilendiği ve buna bağlı olarak KOH'un yükseldiği görülmüştür.

Web tabanlı servislerin mevsimlere bağlı doğruluğunu incelemek için istasyonların web adresinden temin edilen bilinen koordinatları Denklem (5) ile ölçü epoğuna kaydırılmış ve elde edilen koordinatlarla karşılaştırılmıştır. Bu amaçla mevsimlere ilişkin KOH bilinen koordinatlara dayalı olarak Denklem (6) ve (7) yardımıyla elde edilmiştir. KIR8 ve NYA2 istasyonlarında yılın her bir mevsimi için koordinat bileşenleri yönündeki KOH Çizelge 3'te, ANKR ve DLF1 istasyonlarına ait olan koordinat bileşenleri

yönündeki KOH Çizelge 4'te, NKLK ve SIN1 istasyonlarına ait koordinat bileşenleri yönündeki KOH ise Çizelge 5'te verilmiştir.

Çizelge 3. KIR8 veNYA2 istasyonları için koordinat bileşenleri yönündeki KOH (cm)

Table 3. RMSE (cm) in the direction of the coordinate components for stations KIR8 and NYA2

| İstasyonlar | Servisler | APPS | | | CSRS-PPP | | | MagicGNSS | | |
|-------------|-----------|----------------------|-------|-------|----------|-------|-------|----------------------|-------|-------|
| | Mevsimler | m_x | m_y | m_z | m_x | m_y | m_z | m_x | m_y | m_z |
| KIR8 | Kış | Sonuç alınamamıştır. | | | ±8.2 | ±5.3 | ±6.1 | ±6.9 | ±4.4 | ±5.3 |
| | İlkbahar | | | | ±7.9 | ±5.0 | ±6.9 | ±7.7 | ±4.3 | ±4.9 |
| | Yaz | | | | ±7.6 | ±4.7 | ±6.6 | ±7.3 | ±3.9 | ±5.7 |
| | Sonbahar | | | | ±8.0 | ±5.1 | ±6.7 | ±6.6 | ±4.0 | ±5.2 |
| NYA2 | Kış | | | | ±5.8 | ±0.9 | ±14.0 | Sonuç alınamamıştır. | | |
| | İlkbahar | | | | ±5.8 | ±0.7 | ±13.9 | | | |
| | Yaz | | | | ±5.8 | ±0.9 | ±14.4 | | | |
| | Sonbahar | | | | ±5.6 | ±1.3 | ±14.9 | | | |

Çizelge 3 incelendiğinde; KIR8 ve NYA2 istasyonlarının yüksek enlem bölgesinde olması dolayısıyla, bu istasyonlara ait 24 saatlik RINEX verilerinin APPS ile çözümlenemediği, KIR8 istasyonuna ait koordinat eksenleri yönündeki KOH'un $\pm 3.9 - \pm 8.2$ cm arasında değiştiği, MagicGNSS'in daha iyi sonuçlar verdiği ve NYA2 istasyonunda koordinat eksenleri yönündeki en iyi karesel ortalama hatanın ± 0.7 cm ile ilkbahar aylarında m_y koordinat bileşeninde elde edildiği görülmektedir.

Çizelge 4. ANKR ve DLF1 istasyonları için koordinat bileşenleri yönündeki KOH (cm)

Table 4. RMSE (cm) in the direction of the coordinate components for stations ANKR and DLF1

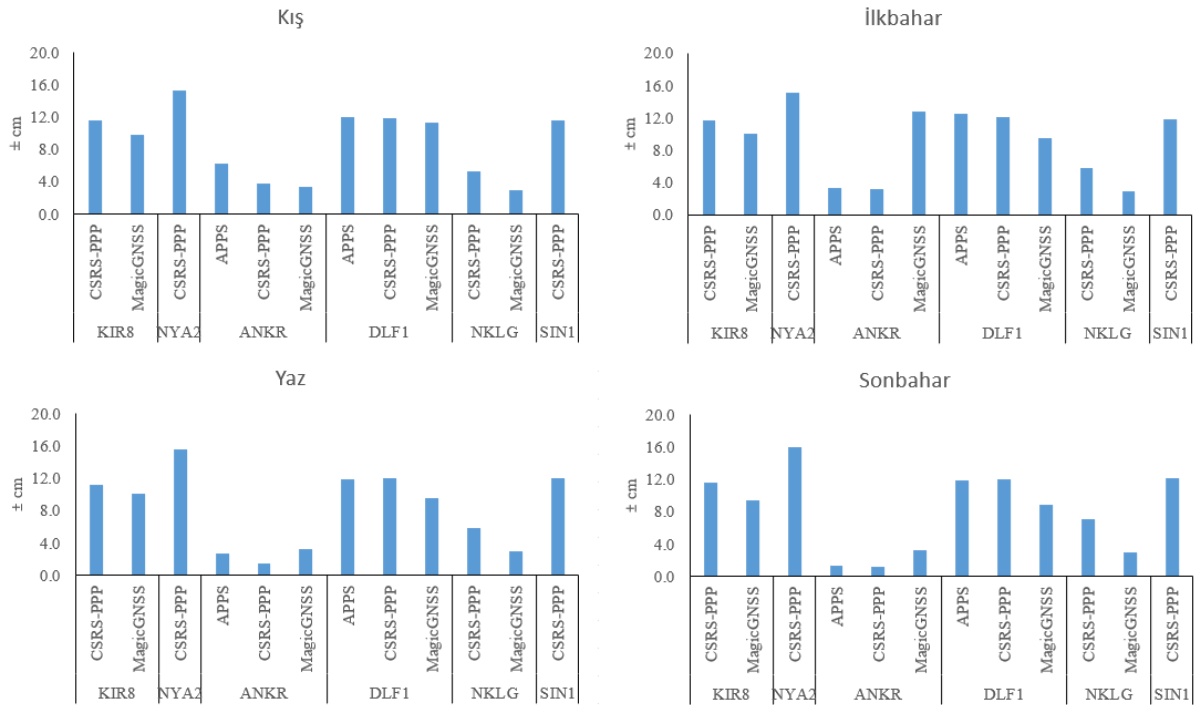
| İstasyonlar | Servisler | APPS | | | CSRS-PPP | | | MagicGNSS | | |
|-------------|-----------|-------|-------|-------|----------|-------|-------|-----------|-------|-------|
| | Mevsimler | m_x | m_y | m_z | m_x | m_y | m_z | m_x | m_y | m_z |
| ANKR | Kış | ±4.0 | ±3.0 | ±3.7 | ±3.4 | ±1.0 | ±1.1 | ±2.0 | ±1.7 | ±2.0 |
| | İlkbahar | ±2.6 | ±1.7 | ±1.2 | ±1.8 | ±1.8 | ±2.0 | ±2.5 | ±8.3 | ±9.3 |
| | Yaz | ±2.0 | ±1.1 | ±1.5 | ±0.9 | ±0.9 | ±0.7 | ±2.4 | ±1.6 | ±1.6 |
| | Sonbahar | ±0.7 | ±1.1 | ±0.4 | ±0.6 | ±0.9 | ±0.3 | ±2.5 | ±0.7 | ±1.9 |
| DLF1 | Kış | ±7.4 | ±8.0 | ±4.9 | ±7.6 | ±7.9 | ±4.5 | ±6.3 | ±8.5 | ±4.2 |
| | İlkbahar | ±7.9 | ±8.2 | ±5.4 | ±7.6 | ±8.0 | ±4.9 | ±6.1 | ±6.4 | ±3.3 |
| | Yaz | ±7.0 | ±7.8 | ±5.6 | ±7.1 | ±7.9 | ±5.4 | ±5.8 | ±6.5 | ±3.9 |
| | Sonbahar | ±7.3 | ±7.8 | ±5.1 | ±7.7 | ±7.9 | ±4.8 | ±5.5 | ±6.1 | ±3.2 |

Çizelge 4'te orta enlem bölgesinde bulunan istasyonların 24 saatlik RINEX verilerinin web tabanlı üç PPP yazılımı ile değerlendirilebildiği görülmektedir. ANKR istasyonu genel anlamda DLF1'e göre koordinat eksenleri yönünde daha iyi karesel ortalama hatalara sahiptir. Her iki istasyonda da genellikle yaz aylarında daha iyi sonuçlar elde edilmiştir.

Çizelge 5. NKLG ve SIN1 istasyonları için koordinat bileşenleri yönündeki KOH (cm)*Table 5. RMSE (cm) in the direction of the coordinate components for stations NKLG and SIN1*

| İstasyonlar | Servisler Mevsimler | APPS | | | CSRS-PPP | | | MagicGNSS | | | | | |
|-------------|------------------------|----------------------|-------|-------|----------------------|-------|-------|-----------|-------|-------|----------------------|--|--|
| | | m_x | m_y | m_z | m_x | m_y | m_z | m_x | m_y | m_z | | | |
| NKLG | Kış | Sonuç alınamamıştır. | | | ±0.8 | ±3.9 | ±3.5 | ±0.6 | ±2.3 | ±1.8 | | | |
| | İlkbahar | | | | ±1.5 | ±4.2 | ±3.7 | ±0.8 | ±2.3 | ±1.8 | | | |
| | Yaz | | | | ±0.6 | ±4.2 | ±3.9 | ±0.4 | ±2.2 | ±1.9 | | | |
| | Sonbahar | | | | ±3.4 | ±4.7 | ±3.9 | ±0.5 | ±2.4 | ±1.7 | | | |
| SIN1 | Kış | | | | Sonuç alınamamıştır. | | | ±11.2 | ±2.4 | ±1.1 | Sonuç alınamamıştır. | | |
| | İlkbahar | | | | | | | ±11.7 | ±1.5 | ±1.1 | | | |
| | Yaz | | | | | | | ±11.8 | ±1.6 | ±1.1 | | | |
| | Sonbahar | | | | | | | ±11.9 | ±2.2 | ±0.8 | | | |

Ekvatorial bölgede bulunan NKLG ve SIN1 istasyonlarına ait 24 saatlik RINEX verilerinin değerlendirilmesinde (Çizelge 5), diğer enlem bölgelerinde bulunan istasyonlardan farklı olarak CSRS-PPP servisinden X koordinat eksenı yönünde yaklaşık olarak ±11 cm civarında KOH elde edilmiştir. Koordinat eksenleri yönündeki KOH elde edildikten sonra konum ortalama hataları (m_{3p}) Denklem (8) ile hesaplanmış ve Şekil 5'te gösterilmiştir.

**Şekil 5.** Mevsimlere göre gruplandırılmış konum ortalama hataları*Figure 5. 3D RMSE grouped by four season*

Konum ortalama hatalarını içeren Şekil 5 değerlendirildiğinde, en kötü sonuçlar yüksek enlem bölgesinde bulunan KIR8 ve NYA2 istasyonlarında elde edilmiş, en iyi sonuçlara ise orta enlem bölgesinde bulunan ANKR istasyonunda ulaşılabilmektedir. Doğruluk açısından ANKR istasyonunu ekvatorial bölgede bulunan NKLG ve orta enlem bölgesinde bulunan DLF1 istasyonları izlemiştir. Ekvatorial bölgede bulunan SIN1 istasyonunda ise sadece CSRS-PPP yazılımı ile sonuçlar elde edilebilmiş ve bunların DLF1 istasyonundaki sonuçlara benzer oldukları görülmüştür. Mevsimsel etkiler dikkate alındığında, tüm

istasyonlarda yaz ve sonbahar mevsimlerinde genel anlamda daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Web tabanlı servisler açısından bir karşılaştırma yapıldığında, tüm bölgelerde CSRS-PPP ile sonuç elde edilebilirken, diğer servisler ise bazı bölgelerde sonuç vermemiştir. Genel olarak en iyi sonuçlar MagicGNSS ile elde edilirken bu durum CSRS-PPP tarafından takip edilmiştir. Aynı istasyonlara ait aynı yazılım ve farklı mevsimlerdeki KOH'un istatistiksel olarak birbirleri ile karşılaştırılmasında (9)-(12) denklemlerinden yararlanılarak χ^2 test büyüklükleri hesaplanmış ve Çizelge 6'da verilmiştir. Test büyüklükleri $\chi^2_{k-1,1-\alpha} = \chi^2_{3,0.95}=7.815$ sınır değeri ile karşılaştırılmıştır. Sonuç alınamayan servisler "-" sembolü ile gösterilmiştir.

Çizelge 6. İstasyonların aynı servis farklı mevsimlerdeki istatistiksel karşılaştırması

Table 6. Statistical comparison of stations in the same service in different seasons

| Servis İstasyon | APPS | CSRS-PPP | MagicGNSS |
|--------------------|----------|----------|-----------|
| KIR8 | - | 0.211 | 0.688 |
| NYA2 | - | 0.355 | - |
| ANKR | 184.661* | 153.507* | 297.963* |
| DLF1 | 0.404 | 0.034 | 6.180 |
| NKLG | - | 7.798 | 0.073 |
| SIN1 | - | 0.255 | - |

* anlamlı test büyüklüğü

Çizelge 6 incelendiğinde, dört mevsimin daha belirgin yaşandığı orta enlem bölgesinde bulunan ANKR istasyonunda konum ortalama hataları üzerinde mevsimlerin istatistiksel olarak etkili olduğu ancak orta enlem bölgesinde bulunan DLF1 istasyonunun ise yüksek enlem bölgesine yakın seviyelerde olmasından dolayı mevsimlerin konum ortalama hataları arasında istatistiksel olarak bir fark oluşturmadığı görülmektedir. Yüksek enlem ve ekvatorial bölgede bulunan diğer istasyonlarda ise konum ortalama hataları yıl boyunca birbirleri ile istatistiksel olarak uyumludur.

SONUÇ VE TARTIŞMALAR (CONCLUSION and DISCUSSIONS)

PPP tekniği tek bir GNSS alıcısı ile cm mertebesinde nokta konumlamaya imkan veren bir yöntemdir. Gerçekleştirilen çalışmada, mevsimsel etkilerin web tabanlı PPP servisleri ile elde edilen statik PPP koordinatlarının doğruluğunu ne oranda etkilediği araştırılmıştır. Bu amaçla, yüksek enlem bölgesinde bulunan KIR8 ve NYA2, orta enlem bölgesinde bulunan ANKR ve DLF1 ve ekvatorial bölgede bulunan NKLG ve SIN1 istasyonları seçilmiştir. Seçilen istasyonlara ait 01.12.2019-30.11.2020 tarihleri arasındaki 365 gün 24 saat ve 30 saniyelik RINEX verileri temin edilmiştir. Daha sonra tüm veri setleri web tabanlı servislerden CSRS-PPP, MagicGNSS ve APPS kullanılarak değerlendirilmiştir. Seçilen IGS istasyonlarına ait günlük koordinat verileri aylara göre gruplandırılmış ve hassasiyetleri incelenmiştir. Yüksek enlem bölgesindeki KOH karşılaştırıldığında; NYA2 istasyonunda KIR8 istasyonundan daha hassas sonuçların elde edildiğini göstermiştir. Orta enlem bölgesindeki ANKR istasyonda Aralık, Ocak, Şubat ve Mart aylarını kapsayan dönemlerde koordinatlarının tekrar edilebilirlik seviyelerinin düşük olduğu, DLF1 istasyonunun ise yıl bazında tekrar edilebilirliğinin daha iyi olduğu belirlenmiştir. Ekvatorial bölgede ise her iki istasyon için de koordinatların tekrar edilebilirliklerinin iyi seviyede oldukları görülmüştür.

Web tabanlı PPP servislerinden elde edilen koordinatlar mevsimlere göre gruplandırılmış ve bilinen koordinat değerleriyle karşılaştırılarak X, Y ve Z koordinat eksenleri yönündeki karesel ortalama hatalar ve konum ortalama hataları hesaplanmıştır. Kış ve ilkbahar mevsimlerinde elde edilen konum ortalama hatalarının yaz ve sonbahar mevsimlerine göre daha yüksek seviyelerde olduğu görülmüştür. Farklı enlem bölgelerinde seçilen tüm istasyonlarda da benzer durumun gözlemlenmesi kış ve ilkbahar aylarında toplanan GNSS gözlemlerinin daha sağlıklı olduğunu göstermektedir. Ancak, farklı mevsimlerde elde edilen konum ortalama hatalarının genel olarak birbirine çok yakın değerlerde

seyretmesi mevsimsel etkilerin konum doğruluklarını anlamlı seviyede değiştirmediklerine işaret etmektedir. Bu durumu doğrulamak için aynı istasyonlarda farklı mevsimlerde aynı yazılımlardan elde edilen KOH birbirleriyle istatistiksel olarak karşılaştırılmıştır.

Web tabanlı yazılımların mevsimsel etkilere ve enlem bölgelerine karşı çözümleme başarıları incelendiğinde, CSRS-PPP üç farklı bölgede ve dört farklı mevsimde de sonuç verirken, diğer yazılımlar bazı durumlarda sonuç verememiştir. Bütün yazılımların sonuç verdiği durumlar incelendiğinde en iyi sonuçları MagicGNSS'in verdiği görülmüştür. Ancak orta enlem bölgesinde istasyona bağlı olarak en iyi sonucu veren web tabanlı servisler değişmektedir.

Bu karşılaştırmalar sonucunda ANKR istasyonu hariç diğer istasyonlarda konum ortalama hatalarının uyum içinde olduğu, konum doğruluklarının mevsimlerden ziyade kullanılan servislere bağlı olduğu ve en iyi sonuçların MagicGNSS ile elde edildiği görülmüştür. Her durumda KOH değerleri ± 16 cm'nin altında kalmaktadır. Mevsimsel etkilerin enlem bölgelerine bağlı olarak sonuçları çok az etkilediği, aynı istasyon noktasında farklı mevsimlerde yapılan ölçüler aynı servisle değerlendirilirse sonuçların genel anlamda istatistik olarak aynı olduğu görülmüştür.

Web tabanlı PPP servislerinin ekonomik olması, verilerin değerlendirilmesi için yazılım satın almaya gerek olmaması, hızlı ve kolay sonuç üretmesi, zaman ve maliyet açısından avantajdır. Sistemin dezavantajı değerlendirme sürecinde anten yüksekliği, istasyon seçimi gibi seçenekler dışında müdahale edilememesi, internet hızına ve veri setinin boyutuna bağlı olarak sonuçların elde edilme sürecinin uzaması ve bölgeye/zamana bağlı olarak çözüm yapamaması olarak söylenebilir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENT)

Gerçekleştirdiğimiz çalışmada, IGS tarafından sağlanan RINEX verileri kullanıldığı için IGS'e, RINEX verilerinin çözümlenmesinde kullanılan web tabanlı yazılımlardan CSRS-PPP için Natural Resources Canada (NRCAN), Geodetic Survey Division'a, MagicGNSS için GMV'ye ve APPS için NASA-Jet Propulsion Laboratory'ye teşekkür ederiz.

ÇIKAR ÇATIŞMASI (DECLARATION OF CONFLICT INTEREST)

Yazarlar çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- Alçay, S., 2016, "Farklı Gözlem Sürelerinde GPS-PPP ve GPS/GLONASS-PPP Yöntemlerinin Konum Belirleme Performanslarının İncelenmesi", *AKÜ Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, Cilt 16, Sayı 2, ss. 292-302.
- Alçay, S., 2019, "Gerçek Zamanlı Hassas Nokta Konumlama (RT-PPP) Yönteminin Konum Belirleme Performansının Doğruluk ve Hassasiyet Bakımından İncelenmesi", *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, Cilt 8, Sayı 1, ss. 121- 133.
- Alçay, S., Atiz, Ö. 2021, "Farklı Yazılımlar Kullanılarak Gerçek Zamanlı Hassas Nokta Konum Belirleme (RT-PPP) Yönteminin Performansının İncelenmesi", *Geomatik*, Cilt 6, Sayı 1, ss. 77-83.
- Alçay, S., Yiğit, C. Ö., Ceylan, A., 2013, "CSRS-PPP, MagicGNSS ve APPS web tabanlı yazılımların statik PPP modüllerinin karşılaştırılması", *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, Cilt 5, Sayı 1, ss. 1- 12.
- Alkan, R.M., Ozulu, İ.M., İlçi, V., 2017, "Klasik GNSS Veri Değerlendirme Yazılımlarına Alternatif Olarak Web-tabanlı Online Değerlendirme Servisleri", *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, Cilt 17, Sayı 2, ss. 603-619.
- Anderle, R. J., 1976, "Point Positioning Concept Using Precise Ephemeris", *Proc. Int. Geodetic Symp. On Satellite Doppler Positioning*, 12-14 October 1976, Las Cruces, New Mexico, ss. 47-75.
- Bahadır, B., Nohutcu, M., 2019, "Galileo Temelli Hassas Nokta Konumlama Yönteminin Performans Değerlendirmesi: Türkiye Örneği", *Harita Dergisi*, Cilt 85, Sayı 162, ss. 1-11.

- Cai, C., Gao, Y., 2013, "GLONASS-Based Precise Point Positioning and Performance Analysis", *Advances in Space Research*, Cilt 51, Sayı 3, ss. 514-524.
- Choy S, Zhang S, Lahaye, F., Héroux, P., 2013, "A Comparison Between GPS-only and Combined GPS+GLONASS Precise Point Positioning", *Journal of Spatial Science*, Cilt 58, Sayı 2, ss. 169-190.
- Dawidowicz, K., Krzan, G., 2014, "Coordinate Estimation Accuracy of Static Precise Point Positioning Using on-line PPP Service, a Case Study", *Acta Geod Geophys*, Cilt 49, ss. 37-55.
- Ebner, R., 2008, *Validation and application of free-online and commercial post-processing PPP packages*, Graz University of Technology, Institute of Navigation and Satellite Geodesy, Doktora Tezi, Graz.
- Erdoğan, B., Karlıtepe, F., Öcalan, T., 2017, "GPS Kinematik PPP'nin Gerçek Zamanlı PPP (RT-PPP) Çözümleri ile Karşılaştırılması Üzerine Bir Çalışma", 16. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, 3 - 6 May 2017, Ankara.
- Erol, T., 2021, "Web tabanlı CSRS-PPP uygulamasının farklı uydu sistemleri üzerindeki performansı", *Jeodezi ve Jeoinformasyon Dergisi*, Cilt 8, Sayı 1, ss. 41-56.
- Gelişkan, Ş., İnal, C., Bülbül, S., 2018, "The Comparison of Accuracies of Results Obtained from Bernese v5.2 Software and Web-Based PPP Services", *Presented at the FIG International Congress 2018*, İstanbul.
- Kahveci, M., Yıldız, F., 2017, *Global Konum Belirleme Sistemleri Teori-Uygulama*, Nobel Yayın Dağıtım, 8. Baskı, Ankara, 1-3.
- Kouba, J., Héroux, P., 2001, "Precise Point Positioning Using IGS Orbit and Clock Products", *GPS Solutions*, Cilt 5, ss. 12-28.
- Lim, T. S., Loh, W. Y., 1996, "A Comparison of Tests of Equality of Variances", *Computational Statistics and Data Analysis*, Cilt 22, ss. 287-301.
- Ott, L., 1998, *An Introduction to Statistical Methods and Data Analysis*, Third Edition, PWS-Kent Publishing Company.
- Özdemir, E. G., Güllal, V. E., 2019, "İnternet Tabanlı Hassas Nokta Konum Belirleme (PPP) Yazılımlarının İrdelenmesi ve Belirsizlik Analizi" *Presented at the 17. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı (THBTK)*, 25 - 27 Nisan 2017, Ankara.
- Pan, L., Cai, C., Santerre, R., Zhu, J., 2014, "Combined GPS/GLONASS Precise Point Positioning with Fixed GPS Ambiguities", *Sensors*, Cilt 14, ss. 17530-17547.
- Soycan, M., 2012, "A Quality Evaluation of Precise Point Positioning within the Bernese GPS Software Version 5.0", *Arab J Sci Eng.*, Cilt 37, ss. 147-162.
- Uçarlı, A. C., Demir, F., Erol, S., Alkan, R. M., 2021, "Farklı GNSS Uydu Sistemlerinin Hassas Nokta Konumlama (PPP) Tekniğinin Performansına Etkisinin İncelenmesi" *Geomatik*, Cilt 6, Sayı 3, ss. 247-258.
- Xu, C., Wang, J., Gao, J., Wang, J., Hu, H., 2011, "Precise Point Positioning and its application in mining deformation monitoring", *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, Cilt 21, ss. 499-505.
- Yigit, C.Ö., Kızıllarslan, M., Çalışkan, E., 2016, "GPS-PPP ve GPS/GLONASS-PPP Yöntemlerinin Konum Belirleme Performanslarının Ölçü Süresine Bağlı Olarak Değerlendirilmesi", *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, Cilt 8, Sayı 1, ss. 22-39.
- Zar, J. H., 1999, *Biostatistical Analysis*, New Jersey: Prentice Hall Inc. Simon and Schuster, A Viacom Company.
- 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*, Cilt 102, ss. 5005-5017.