

Hassas Nokta Konumlama Yönteminin Hidrografik Çalışmalardaki Kinematik Çözüm Performansının Araştırılması

Nedim Onur AYKUT^{1*}, Burak AKPINAR¹

¹ Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, İstanbul.

Sorumlu yazar e-posta: oaykut@yildiz.edu.tr ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-5052-6217>
e-posta: bakpinar@yildiz.edu.tr ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-3076-1578>

Geliş Tarihi: 01.05.2021 Kabul Tarihi: 08.08.2021

Öz

Anahtar kelimeler

Hidrografi;
Batimetri; GNSS;
Hassas Nokta
Konumlama; PPP

GPS teknolojinin gelişmesiyle hidrografik çalışmalarda konum belirleme doğruluğu bu alanda geliştirilen yeni yöntemlerle daha da iyileşmektedir. Gerçek zamanlı kinematik (RTK) ile ölçü sonrası kinematik değerlendirme (PPK) yöntemleri hidrografik çalışmaların çoğunda kullanılmaktadır. Hidrografi bilim dalında yapılan çoğu çalışmada Hassas Nokta Konumlama (PPP) yöntemi tercih edilen bir yöntem haline gelmiştir. Bu çalışmada İstanbul Boğazı'nda Çubuklu semti açıklarında yapılan bir hidrografik çalışmada Thales Z-Max alıcıları kullanılarak 1 saniye kayıt aralığında sadece GPS verisi toplanmıştır. Çözümler için literatürde en çok kullanılan servislerden CSRS-PPP ve APPS-PPP servisleri tercih edilmiştir. Leica Infinity yazılımı ile gerçekleştirilen PPK çözümleri referans alınarak, her iki PPP servisine ilişkin çözümler ile epok epok karşılaştırılmıştır. Hesaplanan farklar analiz edilerek sadece GPS verisi toplanarak yapılan hidrografik çalışmalarda elde edilen doğruluk değerlerinin Uluslararası Hidrografik Ölçme Standartları (IHO-S44.6.baskı) kapsamında yeterli olup olmadığı incelenmiştir.

A Research on Kinematic Processing Performance of Precise Point Positioning Method in Hydrographic Surveys

Abstract

Keywords

Hydrography;
Bathymetry; GNSS;
Precise Point
Positioning; PPP

With the development of GPS technology, the accuracy of positioning in hydrographic studies is getting better with new techniques developed in this area. Real-time kinematics (RTK) and post processing kinematic (PPK) methods are used in most of the hydrographic surveys. The Precise Point Positioning (PPP) method has become a preferred method in most applications in the field of hydrography. In this study, only GPS data were collected at 1 second recording interval using Thales Z-Max receivers in a hydrographic survey carried out in the Bosphorus, in Çubuklu district. CSRS-PPP and APPS-PPP services, which are the most used services in the literature, were preferred for analysis. Using the PPK solutions realized with Leica Infinity software as a reference, the solutions for both PPP services were compared with each epoch by epoch. By analyzing the calculated differences, it was examined whether the accuracy values obtained in hydrographic surveys by collecting only GPS data are sufficient within the scope of International Hydrographic Survey Standards (IHO-S44.6. Edition).

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

1. Giriş

Küresel Navigasyon Uydu Sistemleri (GNSS), bireysel kullanım taleplerinin de artmasıyla hayatımızda vazgeçilmez bir yere sahip oldu. Günümüzde GNSS, cep telefonlarından otonom araçlara, gemilerin seyirinden mühendislik uygulamalarına kadar çok geniş bir yelpazede konum belirleme uygulamalarında kullanılmaktadır.

Kod ölçüleri kullanılarak yapılan hidrografik çalışmalarda diferansiyel GPS ölçmeleri (DGPS) ile ulaşılan konum belirleme doğruluğu metre altı iken, sonraki yıllarda RTK yönteminin kullanılmasıyla birlikte doğruluk cm/dm seviyelerine yükselmiştir. En az iki alıcıyla yapılan diferansiyel GPS veya RTK GPS ölçmelerinde çalışma bölgesine yakın bir yerde koordinatı bilinen bir nokta referans olarak seçiliyor

ve hidrografik ölçüm teknesindeki alıcı gezici olarak veri topluyordu. Alıcılar arasındaki iletişim kullanılan yöntemlere göre VHF veya UHF bantlarından kuruluyordu. 10-20 km' den daha uzun mesafelerde ise iletişim internet/GSM şebekeleri yardımıyla kurulmaktaydı (El-Mowafy 2012). Tek baz RTK ölçümünde GSM şebekeleri üzerinden şehir içinde 50 km'ye kadar düzeltmeler alınabilmektedir (Aykut vd. 2015). Referans ve gezici alıcı arasındaki uzaklığa bağlı olarak değişen uydu efemeris hatası, uydu saat hataları, iyonosfer hatası ve troposfer hatası gibi hata kaynakları en aza indirmek ve iletişim kısıtlarını ortadan kaldırmak için Dünyada GNSS Referans Ağları kurulmuştur (Farah 2015, Rizos and Han 2003). Türkiye'de kurulan TUSAGA-Aktif (CORS-TR) sistemiyle birlikte hidrografik çalışmalarda da referans istasyonu kurma zorunluluğu bir nevi ortadan kalmıştır. Bu sayede deniz ekiplerine destek için kurulan kara ekipleri gereksinimi de ortadan kaldırılmıştır. Ancak yakın kıyı çalışmaları dışındaki ölçmelerde, kıydan uzaklaştıkça GSM şebekesindeki iletişim kesikliği sebebiyle bazen Ağ RTK yönteminin de yetersiz kaldığı durumlar olmaktadır. Her ne kadar Omnistar gibi uydu düzeltmesi sağlayan sistemler kullanılsa da bunların ücretli olmaları nedeniyle çoğu çalışmada GSM iletişimi tercih edilmektedir.

GNSS yöntemleri kullanılarak ulaşılabilecek konum doğruluğu, kullanılacak ölçme yöntemine, ölçme aletlerine ve toplanan verilerin değerlendirme yöntemine bağlıdır. Günümüzde GNSS ile konum belirleme yöntemlerinden Hassas Nokta Konumlama Yöntemi (PPP), sahip olduğu pek çok önemli avantajıyla klasik rölatif (bağıl) konum belirleme yöntemlerine karşı güçlü bir alternatif oluşturmuştur (Erol vd. 2020).

Alkan ve Öcalan (2013), İstanbul Haliç koyunda çift frekanslı Ashtech Z-Xtreme GNSS alıcısı ile toplanılan verilerin değerlendirilmesiyle elde edilen sonuçların rölatif çözüm sonuçları ile karşılaştırılması ile yatayda 0 ile 10 cm aralığında, düşeyde ise -20 ile +20 cm aralığında doğruluk elde etmişlerdir.

Anquela *et al.* (2013), şehir içinde araç ve yürüme stratejileri ile 5 saniye kayıt aralığı ile kinematik

olarak toplanan çift frekanslı GNSS verilerin değerlendirilmesiyle elde edilen GPS/GLONASS sonuçlarının sadece GPS sonuçlarına göre az daha iyi olduğunu belirlemiştir.

Farah (2015) yılındaki makalesinde çift frekanslı ölçülerin CSRS-PPP web servisi kullanılarak değerlendirilmesi sonucunda enlem, boylam ve yükseklik koordinat hatalarını sırayla 2.2 cm, 2.1 cm ve 5.3 cm olarak 0.4 cm, 0.2 cm ve 0.5 cm standart sapma ile belirlemiştir.

Abdallah and Schwieger (2015), Almanya'da Rhine nehrinde Leica GX1230 GNSS alıcısı ile 1 saniye kayıt aralığında iki farklı stratejide veri toplanarak Bernese yazılımında değerlendirilmiştir. Birinci stratejide elde edilen standart sapmalarının Doğu yönünde 6 cm, Kuzey yönünde 2.1 cm ve yükseklik yönünde 6.8 cm olduğu anlaşılmaktadır. Verilerden %5'i kaba hatalı olarak kabul edilip, elemine edildiğinde standart sapma değerlerinin sırasıyla 5 cm, 1.2 cm ve 5 cm olarak hesaplandığı görülmektedir. İkinci stratejide ise ölçüme başladıktan sonra 40 dakika boyunca hareketsiz beklenmiş ve bu verilerin değerlendirilmesiyle elde edilen sonuçların 1.stratejiye göre daha iyi olduğu ve standart sapma değerlerinin sırasıyla 1.7 cm, 2.6 cm ve 4.9 cm olduğu görülmektedir.

Akpınar ve Aykut (2017) yılında hidrografik ölçmelerde kullanılan referans noktalarının koordinatlarının PPP yöntemiyle statik olarak belirlenmesine yönelik yaptığı çalışmada Türkiye kıyılarında yer alan 7 TUSAGA-Aktif noktasının ölçüleri kullanılmıştır. Verilerin değerlendirme aşamasında APPS servisi seçilmiş ve 1 saatlik GPS ölçülerinin değerlendirilmesiyle IHO Hidrografik Ölçme Standartlarının öngördüğü 10 cm konum doğruluğu değerini sağladığını ifade etmişlerdir.

Alkan vd. (2017) Çorum ilinde baraj gölünde Spectra Precision Epoch50 çok frekanslı GNSS alıcısı kullanarak yapılan çalışmadan sadece GPS ile GPS/GLONASS çözümlerinden elde edilen sonuçlarda GLONASS verisinin konum doğruluğuna çok da etkisinin olmadığını belirlemiştir. Bu

çalışma sonucunda yatayda ≤ 1 dm, düşeyde ise ≤ 2 dm doğruluklara ulaşılmıştır.

Farah (2018) Mısır'da Nil nehrinde GPS, GLONASS ve GPS/GLONASS ölçümleri yaparak hem tek frekanslı hem de çift frekanslı verilerin değerlendirilmesiyle kinematik PPP çözüm performansını araştırmıştır. Ölçüler Leica Viva GS15 alıcısı ile 1 saniye kayıt aralığında, 10 derece yükseklik açısıyla toplanarak, 27.5 km uzunluğundaki hatta ölçüm 4 saat sürmüştür. CSRS-PPP web servisi veri değerlendirmeleri için seçilmiştir. Sadece GPS verilerinin değerlendirmesi sonucunda standart sapmaların ortalama değerleri enlem yönünde 1.9 cm, boylam yönünde 1.8 cm ve yükseklik yönünde 4.9 cm olarak belirlenmiştir. Maksimum değerlerin sırasıyla 3.6 cm, 2.7 cm ve 10.6 cm oldukları anlaşılmaktadır. GPS ve GLONASS ölçümleri birlikte değerlendirildiğinde ise 1.3 cm, 1.4 cm ve 3.7 cm ortalama değerlere ulaşıldığı sadece GPS değerlendirmelerine yükseklikte 1.2 cm'lik bir iyileşme olduğunu ifade etmektedir.

Bezicioğlu vd. (2019), Antarktika Yarımadasında deniz ölçmelerinde çift frekanslı Topcon Hiper Pro GNSS alıcıları kullanılmış, bir alıcı kıyıda referans istasyonu olarak veri toplarken diğer alıcı da ölçme botunda 1 Hz aralıklarla kinematik GNSS verisi toplamıştır. Ölçümlere başlamadan önce başlangıç tamsayı belirsizliğinin çözülebilmesi için yaklaşık 25 dakika ölçme botu durağan şekilde veri toplamıştır. Bu çalışmada GNSS verileri hem PPP-AR hem de Geleneksel PPP yöntemiyle değerlendirilerek yöntemlerin konum belirleme performansı bağlı GNSS çözümleri referans alınarak incelenmiştir. CSRS-PPP servisinin Geleneksel PPP ve PPP-AR sürümleri kullanılarak yapılan değerlendirmeler sonucunda, PPP-AR çözümlerinin standart sapmalarının Geleneksel PPP yönteminden biraz daha küçük değerlere sahip olduğu görülmektedir. Rölatif, CSRS-PPP ve PPP-AR çözümleri sonucunda ortalama koordinat değerlerinden farklar alınarak standart sapmalar hesaplanmıştır. Standart sapmalar, rölatif çözüm için Kuzeyde 1.1 cm, Doğuda 6.0 cm ve yükseklikte 1.1 cm'dir. CSRS-PPP çözümü için sırasıyla 1.2 cm, 5.8 cm ve 2.4 cm'dir. PPP-AR yöntemi için ise 1.2 cm, 5.9 cm ve 2.9 cm'dir.

Bu çalışmada hidrografik ölçüm teknesinin konumunun sadece GPS gözlemleri kullanılarak hassas nokta konumlama yöntemi (PPP) ile belirlenmesi amaçlanmaktadır. PPP çözümleri için, literatürde yapılan çalışmalarda en çok tercih edilen CSRS-PPP ile APPS-PPP web servisleri kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar referans olarak alınan Leica Infinity yazılımı ile belirlenen PPK sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Yatay ve düşey yönlerde hesaplanan hataların IHO Hidrografik Ölçme Standartlarını sağlayıp sağlamadığı belirlenmiştir.

2. Uluslararası Hidrografik Ölçme Standartları

Özel Yayın (S-44) 6.baskısı hidrografik ölçmeler için geçerli standartları tanımlayarak, deniz ortamının seyir güvenliğini, bilgisini ve korunmasını artırmak için tasarlanmış diğer Uluslararası Hidrografik Organizasyonu (IHO) yayınları arasında yer almaktadır. İlk baskı 1968 yılında "Hidrografik Ölçmeler için Önerilen Doğruluk Standartları" ismiyle yayınlanmıştı. Sonrasında 1982 yılında 2.Baskı, 1987 yılında 3.Baskı, 1998 yılında 4.Baskı ve 2008 yılında ise 5.Baskısı yayınlamıştı (IHO 2020).

Bu baskıda hidrografik ölçmelerin yapılacağı sahalar için Ayrıcalıklı Derece, Özel Derece, 1a Derece, 1b Derece ve 2. Derece olmak üzere 5 farklı sınıflandırma yapılmıştır (Çizelge 1). 6.Baskıda tablolardaki standartların daha iyi anlaşılabilmesi için matris tanımlamaları yapılmış ve doğruluk değerleri bütüncül olarak bu matrislerde belirtilmiştir.

Toplam düşey belirsizlik (TVU) aşağıdaki eşitlik yardımıyla Çizelge 1'de verilen sahalar için a ve b parametreleri kullanılarak hesaplanmaktadır. Burada "a" derinlikle değişmeyen belirsizlik payı, "b" bir katsayı olmak üzere derinlik ile değişen belirsizlik payı ve "d" ise derinliktir. Buradaki değerler %95 güvenilirlik seviyesine göre hesaplanmaktadır (IHO 2020):

$$TVU_{max}(d) = \sqrt{a^2 + (b \times d)^2} \quad (1)$$

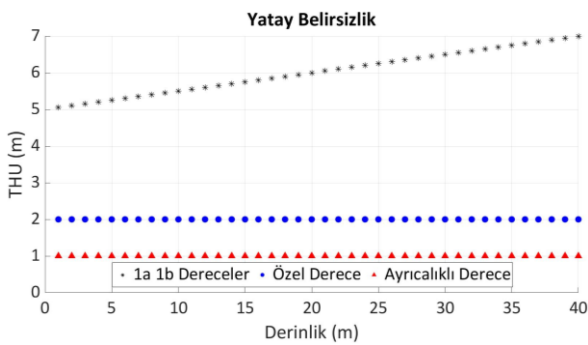
Toplam yatay belirsizlik (THU) Çizelge 1’de ilgili alanlar için verilmiş maksimum yatay belirsizlik değerleri toplamıdır. IHO Hidrografik Ölçme Standartlarına (6.Baskı) göre 0-40 metre derinlik aralığında tablodaki a ve b parametreleri ile (1) eşitliği kullanılarak hesaplanan TVU değerleri Şekil 1’de görülmektedir. Bu baskıyla kullanılmaya başlanan ayrıcalıklı derece alanlar için 40 metre

derinlikte hesaplanan TVU değeri 33 cm iken özel derece alanlar için bu değer 39 cm’dir. 1a ve 1b derece alanlarda ise bu değer 72 cm civarındadır.

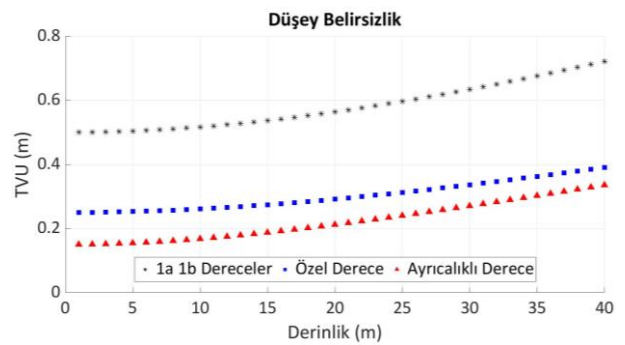
Ayrıcalıklı alanlarda toplam yatay belirsizlik (THU) 1 metre iken, özel derece alanlarda asgari 2 metredir. 1a ve 1b derece alanlarda ise bu değer derinliğe göre değişiklik göstermekle birlikte ≥ 5 metredir (Şekil 2).

Çizelge 1. Hidrografik ölçmelerin güvenliği için asgari batimetrik standartlar (IHO 2020)

| Kriter | 2.Derece | 1b Derece | 1a Derece | Özel Derece | Ayrıcalıklı Derece |
|--|---|--|---|--|---|
| Alan Tanımı | 200 metreden derin deniz tabanının genel tanımının yeterli olduğu alanlar, açık denizler. | Gemi taşımacılığı için omurga altı geçiş derinliğinin (UKC) kritik olmadığı alanlar. | Gemi taşımacılığı için UKC’ nin kritik olmadığı ancak deniz tabanındaki özelliklerin etkili olacağı alanlar. Limanlar, demirleme sahaları, kanallar, kıyı alanları. | UKC’ nin kritik olduğu sahalar. Demirleme sahaları, limanlar, kritik geçiş sahaları, kanallar. | UKC ve manevra kabiliyetinin daha katı olduğu alanlar |
| Derinlik THU (m)+ Derinliğin %’si | 20 m + Derinliğin %10’u | 5 m + Derinliğin %5’i | 5 m + Derinliğin %5’i | 2 m | 1 m |
| Derinlik TVU (a) m ve (b) | a = 1.0 m b = 0.023 | a = 0.5 m b = 0.013 | a = 0.5 m b = 0.013 | a = 0.25 m b = 0.0075 | a = 0.15 m b = 0.0075 |
| Obje Yakalama (m) veya Derinliğin %’si | - | - | 40 m’ye kadar derinliklerde kübik cisimler > 2 m, 40 m’den derinde derinliğin % 10’u | Kübik cisimler > 1 m | Kübik cisimler > 0.5 m |
| Obje Arama | Önerilir ancak gerekli değil | Önerilir ancak gerekli değil | %100 | %100 | %200 |
| Batimetrik Kaplama (%) | %5 | %5 | \leq %100 | %100 | %200 |



Şekil 1. Yatay belirsizlik değeri (0-40 metre)



Şekil 2. Düşey belirsizlik değeri (0-40 metre)

3. Verilerin Toplanması ve Değerlendirilmesi

Türkiye’de hidrografik çalışmalar kıyıya yakın yerlerde yapılıyor ise konumlandırma TUSAGA-Aktif sistemi yardımıyla gerçek zamanlı kinematik GPS (RTK) yöntemiyle yapılmaktadır. Ham GPS verisinin kaydedildiği durumlarda çalışma sonrasında da PPK yöntemiyle konum bilgisi hesaplanmaktadır.

PPP çözümleri için, literatürde yapılan çalışmalarda en çok kullanılan CSRS-PPP ile APPS PPP web servisleri tercih edilmiştir. CSRS-PPP servisi Natural Resources Canada-NRCan tarafından işletilen, veri yükleme ve değerlendirme aşamaları açısından kullanıcı dostu bir web servisi olup e-posta ile üyelik gerektirmektedir. Hem GPS hem de GLONASS uydularıyla toplanan verilerin değerlendirilmelerinde kullanılabilir. Bu servisle statik ve kinematik verilerin değerlendirilmesi yapılabilmektedir. APPS-PPP, JPL laboratuvarı tarafından işletilen, sadece GPS uydularının değerlendirilmesini sağlayan, altyapısında GIPSY-OASIS yazılımı yardımıyla hem statik hem de kinematik çözümlere yapabilen, e-posta üyeliği gerektiren bir web servisidir (Alçay vd. 2013).

PPP yöntemiyle statik veya kinematik olarak, kestirimi yapılan parametreler, üç boyutlu konum koordinatları, alıcı saat hatası, yerel troposferik zenit gecikmeleri ve taşıyıcı faz belirsizlikleridir. En iyi konum doğrulukları, çift frekanslı GNSS alıcısı ve hassas uydu yörünge ve saat hata ürünleri kullanılarak elde edilmektedir (Yiğit vd. 2016). Hassas uydu yörünge ve saat ürünlerini IGS, CODE, JPL, GFZ, IGU, NGS, vb. merkezlerden temin etmek mümkün olabilmektedir. CSRS-PPP ve APPS-PPP web servisleri yardımıyla, ölçünün yapıldığı tarihe göre otomatik olarak çok hızlı, hızlı ve sonuç hassas yörüngeler kullanılarak çözüm elde edilmektedir. Her iki serviste güncel verilerin değerlendirilmesinde küresel olarak ITRF2014 datumunu kullanmaktadır. CSRS-PPP servisi ayrıca bölgesel olarak NAD83 sisteminde değerlendirme olanağı da sunmaktadır.

3.1 Veri toplama

Çalışma sahası olarak, İstanbul Boğazi Çubuklu semti açıkları seçilmiştir (Şekil 3). Ölçümlerde iki adet Thales Z-Max GPS alıcısı kullanılmıştır.



Şekil 3. Ölçme sahası (Google Earth)

Alıcılardan biri referans alıcı olarak hidrografi dairesinin eski yerleşim binasının terasına kurulmuş, diğeri ise ölçümlerin yapıldığı hidrografik ölçüm teknesine yerleştirilmiştir (Şekil 4).



Şekil 4. Referans alıcı ve ölçüm teknesindeki gezici alıcı

Thales Z-Max alıcısı çift frekanslı veri toplayabilme özelliğine sahip olup ancak sadece GPS sinyallerini toplayabilen, kinematik çözümde yatayda 0.010 m + 1.0 ppm düzeyde ise 0.020 m + 1.0 ppm konum duyarlılığına sahip alıcılardır (Aykut 2009).

Hidrografik ölçüm teknesinin hareketinden önce, iskeleye bağlı durağan bir şekilde yaklaşık 30 dakika süresince GPS verisi toplanmıştır. Ölçüm teknesi ile yaklaşık 1 saat süresince hidrografik ölçümler yapılmıştır. Hem referans alıcı da hem de gezici alıcıda 1 saniyelik kayıt aralığında GPS verisi toplanmıştır. Ölçmelerde 7.5 derece yükseklik açısıyla ortalama 8 adet uydu görüşü sağlanmış olup,

değerler ortalama olmak üzere, GDOP değeri 2.1, PDOP değeri 1.8, HDOP değeri 1.0 ve VDOP değeri 1.5 olarak hesaplanmıştır.

3.2 Veri değerlendirme

Hidrografi dairesinin eski yerleşim binasının terasında yer alan referans noktasının koordinatları, hidrografik ölçüm süresince bu noktada yaklaşık 4 saat boyunca toplanan GPS verilerinin AUSPOS servisi tarafından statik yöntemle değerlendirilmesiyle hesaplanmıştır (Çizelge 2). Değerlendirmede konum belirsizliği Kuzeyde 1.2 cm, Doğuda 1.3 cm ve yükseklikte 4.8 cm'dir.

Çizelge 2. Referans noktanın koordinat değerleri

| X (m) | Y (m) | Z (m) |
|-------------|-------------|-------------|
| 4206302.784 | 2338912.579 | 4171390.971 |

PPK çözümleri ise Leica Infinity 8.0 programında IGS sonuç hassas yörünge bilgileri kullanılarak yapılmıştır. Değerlendirmede referans alıcının ITRF2014 ölçü epoğundaki koordinat değerleri sabit alınarak, PPK yöntemine göre referans-gezici bazları çözülmüş ve 1 saniyelik epoklarla gezici alıcının koordinatları hesaplanmıştır. Çözüm standart

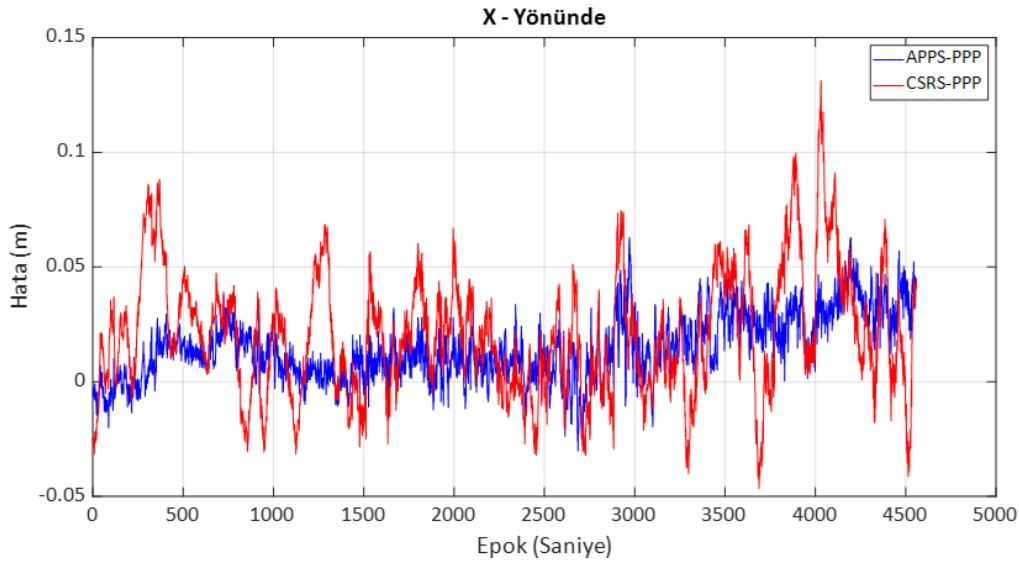
sapması ortalaması yukarı (X) yönde 0.4 cm, sağa (Y) yönde 0.3 cm ve yükseklikte 2.3 cm'dir.

CSRS-PPP servisi ile yapılan değerlendirme sonrasında elde edilen sonuçlar IGS05 (ITRF2005) sisteminde ölçü epoğunda hesaplanmıştır. APPS-PPP servisi ile yapılan değerlendirmeler ITRF2014 datumunda ölçü epoğunda hesaplanmıştır. Her iki servis kullanılarak yapılan değerlendirmelerde anten yükseklik açısı 7.5 derece olarak alınmıştır. Tüm sonuçlar karşılaştırmaların yapıldığı ITRF2014 datumuna NRCan TRX masaüstü yazılımından yararlanılarak dönüştürülmüştür. PPK yöntemiyle yapılan değerlendirmeler referans (bilinen) olarak kabul edilmiş ve ε_X ve ε_Y hataları koordinat farklarından aşağıdaki eşitlikler yardımıyla hesaplanmıştır:

$$\varepsilon_{X(i)} = X_{PPP(i)} - X_{PPK(i)} \quad (2)$$

$$\varepsilon_{Y(i)} = Y_{PPP(i)} - Y_{PPK(i)} \quad (3)$$

Burada ε_X , yukarı (X) yöndeki koordinat hatası, ε_Y ise sağa (Y) yöndeki koordinat hatasıdır. Hata miktarları CSRS-PPP ve APPS-PPP servisleri için ayrı ayrı hesaplanmış olup, Şekil 5 ve Şekil 6'da gösterilmiştir.



Şekil 5. X yönündeki hatalar

Hidrografik ölçme standartlarına göre yatay ve düşey konumlandırma hataları ayrı ayrı incelenmektedir. Düşey yöndeki değişimlere ait hata miktarı (4) eşitliği ile belirlenebilir. Burada ε_h ölçüm sonuçlarını düşey yönde etkileyen elipsoidal

yükseklik farkı hatasıdır. Düşey yöndeki hatalar Şekil 7'de gösterilmiştir.

$$\varepsilon_{h(i)} = h_{PPP(i)} - h_{PPK(i)} \quad (4)$$

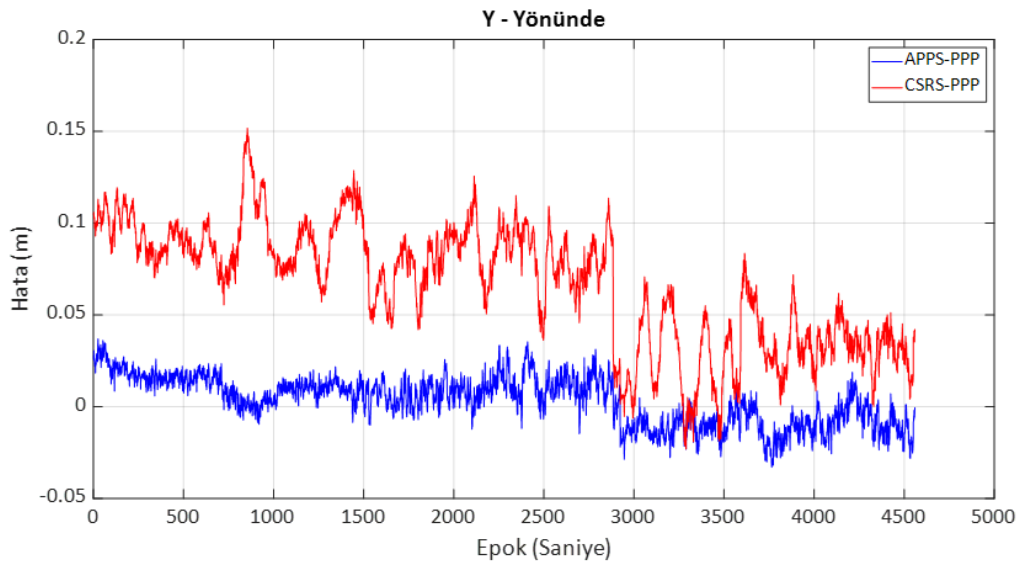
APPS-PPP servisi kullanılarak hesaplanan hata miktarlarının daha az olduğu, ortalama değer olarak X yönünde 0.3 cm, Y yönünde 1.5 cm ve düşey yönde -10.6 cm olduğu belirlenmiştir. Standart sapma değerleri sırasıyla 1.3 cm, 1.4 cm ve 5.3 cm'dir.

CSRS-PPP servisi çözümleri sonrasında hesaplanan hatalar ortalama değer olarak X yönünde 6.6 cm, Y

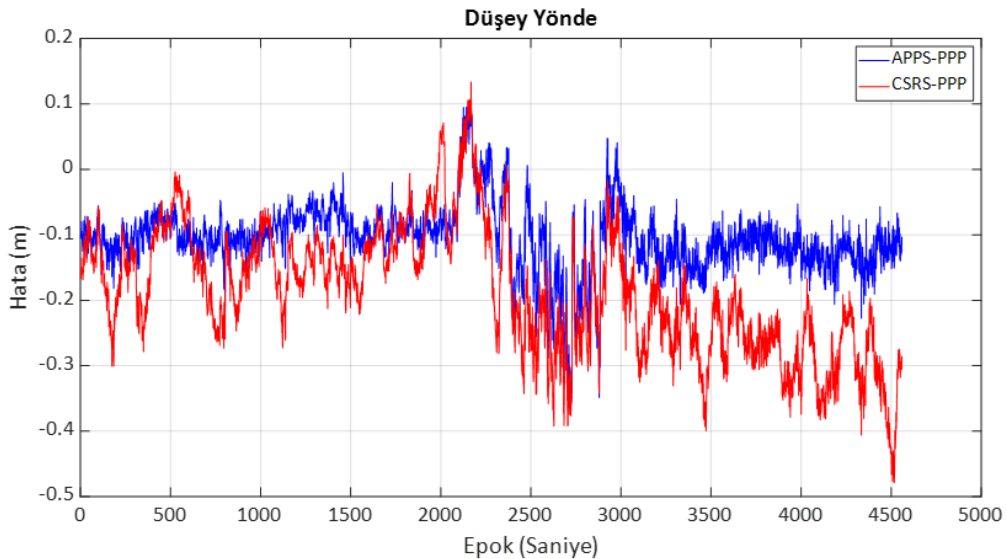
yönünde 2.1 cm ve düşey yönde -18.7 cm'dir. Standart sapma değerleri sırasıyla 3.3 cm, 2.7 cm ve 9.7 cm'dir. Çözüm sonuçlarında hesaplanan ortalama hata değerleri, minimum ve maksimum hata miktarları ve standart sapma değerleri Çizelge 3'de özetlenmiştir.

Çizelge 3. PPP çözümlerinin yatay ve düşey yöndeki hata miktarları

| Web Servisi | APPS-PPP | | | CSRS-PPP | | | |
|----------------|----------|---------|---------|----------|---------|---------|---------|
| | Yön | X (m) | Y (m) | h (m) | X (m) | Y (m) | h (m) |
| Ortalama | | 0.0034 | 0.0145 | -0.1058 | 0.0662 | 0.0205 | -0.1869 |
| Standart Sapma | | 0.0129 | 0.0143 | 0.0525 | 0.0330 | 0.0268 | 0.0969 |
| Maksimum | | 0.0370 | 0.0629 | 0.1093 | 0.1518 | 0.1312 | 0.1335 |
| Minimum | | -0.0330 | -0.0301 | -0.3683 | -0.0231 | -0.0467 | -0.4790 |



Şekil 6. Y yönündeki hatalar



Şekil 7. Düşey yöndeki hatalar

3.3. Sonuçların IHO standartları açısından analizi

Hassas nokta konumlama yöntemi ile ulaşılan sonuçların, IHO Hidrografik Ölçme Standartlarını sağlayıp sağlamadıklarını belirlemek için öncelikle iki boyutlu (2D) konum belirsizliğinin hesaplanması gerekmektedir. X ve Y yönündeki hatalardan Eşitlik 5'e göre belirlenen karesel ortalama hata PPP çözümlerinin iki boyutlu konum doğruluğuna (2D) ilişkin uygun bir istatistiktir (Aydın vd. 2018):

$$RMS_{(2D)} = \sqrt{\frac{[\varepsilon\varepsilon]_X + [\varepsilon\varepsilon]_Y}{n}} \quad (5)$$

APPS-PPP çözümleri ile elde edilen yatay konum doğruluğu 2.4 cm (1σ) ve CSRS-PPP çözümleri ile hesaplanan değer ise 8.1 cm'dir. Düşey yöndeki değişimlerin (1D) doğruluğuna ilişkin n sayıda ölçü için karesel ortalama hata 6 no.lu eşitlik ile hesaplanabilir (Aydın vd. 2018).

$$RMS_{(1D)} = \sqrt{\frac{[\varepsilon\varepsilon]_h}{n}} \quad (6)$$

Bu çalışmada APPS-PPP çözümleri ile elde edilen düşey doğruluk değeri 11.8 cm (1σ) iken, CSRS-PPP çözümleri ile elde edilen değer 21.0 cm'dir.

Düşey konum doğruluğu açısından incelendiğinde öngörülen toplam düşey belirsizlik değerleri Şekil 2'de verilmektedir. 40 metre derinlikte yapılan bir çalışmada, ayrıcalıklı sahalar için 33 cm olan bu değer, özel derece için 39 cm iken 1a ve 1b dereceler için 72 cm'dir. Diğer bir deyişle düşey yöndeki maksimum hata miktarları olarak ifade edilen bu değerler düşey yöndeki tüm hata kaynaklarını içermekte ve (7) no.lu eşitlik ile ifade edilebilir:

$$\sigma_d = \sqrt{\sigma_{ses\ hızı}^2 + \sigma_{hareket}^2 + \sigma_{draft}^2 + \sigma_{gel-git}^2 + \sigma_{tespit}^2} \quad (7)$$

Düşey yöndeki toplam hata miktarı, sırasıyla ses hızı profilindeki eğim değişimine bağlı hata, ölçme teknesinin hareketine bağlı hata, teknenin su çekimine bağlı hata, gel-git ölçümüne bağlı hata ve obje tespit hatalarının toplamıdır (Aykut, 2009). (7)

no.lu eşitlikteki $\sigma_{hareket}^2$, σ_{draft}^2 , $\sigma_{gel-git}^2$ hataları teknenin hareketine, çökmesine, inip kalkmasına, su seviyesinin değişimine bağlı hatalar olup, zaten PPP yöntemiyle belirlenen düşey konumlandırma hataları içerisinde de yer almaktadır.

4. Sonuç ve Öneriler

Sadece GPS uyduları ile yapılan PPP çözümlerinde yatay konum doğruluklarının %95 güvenilirlik seviyesinde sırasıyla APPS-PPP için 4.9 cm (2σ) ve CSRS-PPP için 16.2 cm olduğu ve bu değerlerin Şekil 1'de verilen IHO Hidrografik Ölçme Standartları kapsamında tüm saha tanımlamaları için öngörülen maksimum değerlerin altında olduğu görülmektedir. Diğer bir deyişle, hidrografik çalışmalarda yatay konumlandırmanın (2D) hassas nokta konumlama yöntemi kullanılarak sadece GPS gözlemleri ile hem APPS-PPP ve hem de CSRS-PPP servisleri ile belirlenebilir olduğu yapılan analizlerden anlaşılmaktadır.

Bu çalışmada, PPP yöntemiyle hesaplanan düşey konumlandırma hatası %95 güvenilirlik seviyesinde APPS-PPP çözümleri için 23.6 cm (2σ), CSRS-PPP çözümleri için ise 42.1 cm'dir. Sadece GPS gözlemleri kullanılarak yapılan bu çalışmada, düşey belirsizlik değerleri açısından ayrıcalıklı ve özel derece alanlar için IHO standartlarının öngördüğü asgari standartları sağlamadığı görülmektedir. APPS-PPP çözümlerindeki hata miktarlarının CSRS-PPP'ye göre daha az olduğu ve omurga-altı geçiş derinliğinin (UKC) kritik olmadığı 1a, 1b ve 2.derece alanlar için tercih edilebilir olduğu anlaşılmaktadır.

Teşekkür

Bu çalışmada ölçümlerin yapılmasında destek veren Seyir, Hidrografi ve Oşinografi Dairesi Başkanlığı'na, PPK çözümlerinde kullanılan Leica Infinity 8.0 yazılımı için SİSTEM A.Ş' ye ve CSRS-PPP, APPS-PPP ve AUSPOS web servislerine teşekkür ederiz.

5. Kaynaklar

- Abdallah, A. and Schwieger, V., 2015. Kinematic Precise Point Positioning (PPP) Solution for Hydrographic Applications. From the Wisdom of the Ages to the Challenges of the Modern World, *FIG Working Week 2015*, Bulgaria, 1-18.
- Akçay, S., Yiğit, C.Ö. ve Ayhan, C., 2013. CSRS-PPP, MagicGNSS ve APPS Web Tabanlı Yazılımların Statik PPP Modüllerinin Karşılaştırılması. *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, **5(1)**, 1-12.
- Akpınar, B. and Aykut, N.O., 2017. Determining the Coordinates of Control Points in Hydrographic Surveying by the Precise Point Positioning Method. *The Journal of Navigation*, **70(2)**, 1241-1252.
- Alkan, R.M., Saka, M.H., Ozulu, İ.M. and İlçi, V., 2017. Kinematic Precise Point Positioning Using GPS and GLONASS Measurements In Marine Environments. *Measurement*, **109**, 36-43.
- Alkan, R.M. and Öcalan, T., 2013. Usability of the GPS Precise Point Positioning Technique in Marine Applications. *Journal of Navigation*, **66(4)**, 579-588.
- Anquela, A.B., Martin, A., Berne, J.L. and Padin, J., 2013. GPS and GLONASS Static and Kinematic PPP Results. *Journal of Surveying Engineering*, **139(1)**, 47-58.
- Aydın, C., Aykut, N.O. ve Akpınar, B., 2018. GNSS-PPP ile Elde Edilen Düşey Yerdeğiştirmenin Doğruluğu. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, **18(2)**, 605-615.
- Aykut, N.O., Gülal, E., and Akpınar, B., 2015. Performance of Single Base RTK GNSS Method versus Network RTK. *Earth Sciences Research Journal*, **19(2)**, 135-139.
- Aykut, N.O., 2009. Sığ Sulardaki Hidrografik Ölçmelerde Çok Bimli İskandillerin Kullanımı ve Hata Analizi. Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 135.
- Beziçioğlu, M., Yiğit, C.Ö. ve Bodur, M.N., 2019. Kinematik PPP-AR ve Geleneksel PPP Yöntemlerin Performanslarının Değerlendirilmesi: Antarktika Yarımadası Örneği. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, **19(1)**, 162-169.
- El-Mowafy, A., 2012. Global Navigation Satellite Systems -Signal, Theory and Applications, Chapter 7, Precise Real-Time Positioning Using Network RTK, Shuanggen Jin (Editor), IntechOpen, 161-164.
- Erol, S., Mutlu, B., Erol, B., Katıgöz, S. ve Alkan, R.M., 2020. Antarktika Kıtasında Hassas Nokta Konumlama (Precise Point Positioning-PPP) Tekniğinin Performansının İncelenmesi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, **20(5)**, 844-856.
- Farah, A., 2018. Kinematic-PPP using Single/Dual Frequency Observations from (GPS, GLONASS and GPS/GLONASS) Constellations for Hydrography. *Artificial Satellites*, **53(1)**, 37-46.
- Farah, A., 2015. Accuracy Assessment Study for Kinematic GPS-PPP Using Single- and Dual-Frequency Observations with Various Software Packages. *Arab J Sci Eng*, **40**, 2013-2019.
- International Hydrographic Organization (IHO), 2020. IHO Standards for Hydrographic Surveys S-44 Edition 6.0.0., *IHO Publication No.44*, Monaco, 1-49.
- Rizos C. and Han, S., 2003. Reference Station Network Based RTK Systems-Concepts and Progress, *Wuhan University Journal of Natural Sciences*. **8(2B)**, 566-574.
- Yiğit, C.Ö., Özdemir, B.N., Akçay, S. ve Ceylan, A., 2016. CSRS-PPP Yazılımının Uzun Dönemli GNSS Zaman Serilerinin Oluşturulmasında ve Nokta Hızlarının Kestirilmesinde Kullanılabilirliği. *Harita Dergisi*, **155**, 23-31.