





# Net\_Diff ile PRIDE yazılımlarının hassas nokta konumlama-belirsizlik çözümü (PPP-AR) performanslarının karşılaştırılması

## Comparison of precise point positioning-ambiguity resolution (PPP-AR) performances of Net\_Diff and PRIDE software

Nezih Furkan Erbaş<sup>1\*</sup> , Haluk Bal<sup>2</sup> 

<sup>1,2</sup> Necmettin Erbakan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, 42090, Konya, Türkiye

### Öz

Mutlak konum belirleme tekniği olan Hassas Nokta Konum Belirleme (Precise Point Positioning, PPP) yöntemi tek bir Küresel Navigasyon Uydu Sistemleri (Global Navigation Satellite Systems, GNSS) alıcısıyla konum bilgisi elde etmeye olanak sağlamaktadır. Bu durumun maliyet ve zaman tasarrufu, gözlem süresine bağlı olarak yüksek konum doğruluğu, pratik çözümler sunmasının yanı sıra yüksek hassasiyeti de beraberinde getirmesi son yıllarda PPP ve Hassas Mutlak Konum Belirleme-Belirsizlik Çözümü (PPP-Ambiguity Resolution, PPP-AR) yöntemlerine olan ilgiyi arttırmış ve bu sayede çok sayıda yazılım üretilmiştir. Bu çalışmada son yıllarda geliştirilmiş PPP-AR tekniği ile konum bilgisi elde etmeye imkân tanıyan Net\_Diff ve PRIDE yazılımları kullanılarak yazılımların konum belirleme performansı incelenmiştir. Bu amaçla ISTA ve MERS Uluslararası GNSS Hizmeti (International GNSS Service, IGS) istasyonlarının yirmi günlük (29.10.2022-17.11.2022) gözlem verileri analiz edilmiştir. Değerlendirmelerde GPS, GLONASS, Galileo ve BeiDou uydu sistemleri kullanılmıştır. Yazılımlardan elde edilen sonuçlar istasyonların referans (IGS günlük çözüm) koordinat değerleriyle karşılaştırılmıştır. Çalışmada, Net\_Diff yazılımı ile yatayda ortalama 6.2 mm ve düşeyde 12.9 mm konum doğruluğuna ulaşılırken, PRIDE yazılımında sırasıyla 2.7 mm ve 5.3 mm düzeyinde konum doğruluğu elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar PRIDE yazılımının, Net\_Diff yazılımına göre daha yüksek nokta konumlandırma doğruluğuna ve hassasiyete sahip olduğunu açıkça ortaya koymaktadır.

**Anahtar kelimeler:** Net\_Diff, PPP-AR, PRIDE

### 1 Giriş

Son yıllarda teknolojinin gelişmesiyle birlikte Küresel Navigasyon Uydu Sistemleri (Global Navigation Satellite Systems, GNSS) tekniği; deformasyonların izlenmesi, jeodezik ağların ölçülmesi gibi yüksek doğruluk ve hassasiyet gerektiren uygulamalarda kullanılabilir duruma gelmiştir [1]. Bu bağlamda, GNSS yöntemi ile elde edilen konum doğruluğunu artırmak için yeni algoritmalar ve yazılımlar geliştirilmiş, konum belirleme sistemleri için hassas uydu yörünge ve saat düzeltmelerindeki doğruluğun artırılmasına ek olarak maliyet ve zamandan tasarruf

### Abstract

Precise Point Positioning (PPP) method, which is an absolute positioning technique, allows to obtain position information with a single Global Navigation Satellite Systems (GNSS) receiver. This situation has increased the interest in PPP and Precise Point Positioning-Ambiguity Resolution (PPP-Ambiguity Resolution, PPP-AR) methods in recent years, as it offers cost and time savings, high positional accuracy depending on the observation time, practical solutions, resulting in the development of numerous software programs. In this study, the location determination performance of the software was examined by using Net\_Diff and PRIDE software, which allows to obtain location information with the PPP-AR technique developed in recent years. For this purpose, twenty-day (29.10.2022-17.11.2022) observation data of ISTA and MERS International GNSS Service (International GNSS Service, IGS) stations were analyzed. GPS, GLONASS, Galileo and BeiDou satellite systems were used in the evaluations. The results obtained from the software were compared with the reference (IGS daily solution) coordinate values of the stations. In the study, while an average location accuracy of 6.2 mm horizontally and 12.9 mm vertically was achieved by Net\_Diff software, location accuracy of 2.7 mm and 5.3 mm was obtained by PRIDE software respectively. The obtained results clearly demonstrate that PRIDE software has higher point location accuracy and sensitivity than Net\_Diff software.

**Keywords:** Net\_Diff, PPP-AR, PRIDE

sağlanmasıyla birlikte Hassas Mutlak Konum Belirleme (Precise Point Positioning, PPP) yöntemi ile ilgili çalışmalar da ortaya çıkmıştır. Bu nedenle özellikle tarım, madencilik, jeolojik-jeodezik çalışmalar, deformasyon bilgileri, oşinografi, inşaat, atmosferik araştırmalar vb. gibi uygulamalarda tercih edilmektedir [2, 3]. PPP yöntemi ilk olarak 1976'da Anderle tarafından yapılmış olsa da, asıl olarak günümüzde 1997 yılında Zumberge vd. [4] tarafından yapılan çalışmayla geniş kullanıma sahip olmaya başlamıştır. Bu tarihten itibaren yöntem tüm dünyada birçok farklı bilimsel uygulamalarda tercih edilmiştir [4, 5, 6, 7-17].

\* Sorumlu yazar / Corresponding author, e-posta / e-mail: furkanerbas999@gmail.com (N. F. Erbaş)  
Geliş / Received: 21.01.2023 Kabul / Accepted: 23.06.2023 Yayımlanma / Published: 15.07.2023  
doi: 10.28948/ngumuh.1240321

PPP yönteminin birkaç dezavantajı vardır. Bunlardan en önemlisi tam sayı belirsizliğinin (float ambiguity) bilinmeyen olarak başka bir deyişle faz belirsizliğinin kesirli sayı olarak kabul edilmesidir [7, 18]. Bu bağlamda tamsayı belirsizliği çözümünde yakınsama süresi uzun olacağı için gerçek zamanlı PPP yöntemi kısıtlanmıştır [19]. PPP yönteminde tamsayı belirsizlik çözümü, GNSS'nin meydana getirdiği hatalar sebebiyle bilinmeyen olarak kabul edilir [20]. PPP-AR yönteminin, PPP yönteminden farkı başlangıç tamsayı belirsizliğinin kesirli (bilinmeyen) olarak değil, tamsayı olarak çözülmesidir. PPP-AR yönteminin üzerine çalışılmasıyla konum doğruluğu ve PPP'nin temel kısıtlaması olan yakınsama süresi bakımından güncel verileri ve araştırmaları da içermeye başlamıştır [21]. GNSS servis ve yazılımların, yapılan araştırmalarda genel olarak Hassas Nokta Konumlama-Belirsizlik Çözümü (Precise PPP-Ambiguity Resolution, PPP-AR) yönteminin PPP'ye göre yüksek konum doğruluğu elde etmesi, PPP yönteminin dezavantajı olan yakınsama süresinde iyileştirme sağlaması, daha iyi performans göstermesi gibi sebeplerle üstünlükleri belirtilmiştir.

Atiz [20] PPP-AR çözümünün DSC (Decoupled Satellite Clock) modeli yardımıyla konum doğruluğuna etkisini gözlemlemiş, kuzey ve doğu bileşenlerde 1.7 mm/1.4 mm, yukarı bileşende 4.6 mm büyüklükte karesel ortalama hata değeri (KOH) elde etmiştir. Diğer taraftan çalışmada PPP-AR yöntemiyle troposferik gecikme farklarının 6.0 mm den az bulunmasıyla troposfer kestiriminde de iyileştirme sağladığı sonucuna ulaşmıştır. Li vd. [21] çoklu-GNSS PPP-AR yöntemini GPS, GLONASS, Galileo ve BeiDou uydu gözlemlerine dayalı olarak incelemiş ve çoklu-GNSS PPP-AR yönteminin tekli ve ikili uydu kombinasyonlarına kıyasla, daha hassas konum bilgisi sağladığı sonucuna ulaşmışlardır. Hu vd. [22] çalışmalarında altı adet IGS istasyonu seçerek, PPP-AR tekniğini kullanıp madencilikte deformasyon izleme çalışmasında tamsayı belirsizliklerin kısa süre içerisinde düzelebileceğini belirtmişlerdir. Tamsayı belirsizlik çözümü yapıldıktan sonraki konum doğrulukları ise, özellikle kuzey ve doğu yönlerinde mm seviyesine ulaştığı, yukarı yönde ise cm seviyesine ulaşarak arttığı ve yakınsama süresinde de etkili olduğunu yorumlamışlardır. Bezcioglu vd. [23] Antarktika Yarımadası'nda yer alan Livingston adası etrafında iki farklı güne ait ölçümler gerçekleştirmiş, PPP ve PPP-AR yöntemlerini bağıl yöntemle kıyaslayarak PPP-AR yönteminin PPP'ye göre üstün olduğu sonucuna varmışlardır. Tegedor vd. [24] Norveç yakınlarında hareket halinde bulunan bir geminin konum bilgisini gerçek zamanlı kinematik (Real-Time Kinematic, RTK) ve PPP-AR yöntemleri kullanarak elde etmişlerdir. PPP-AR yönteminde kullanılan faz bias bilgileri iki farklı istasyondan elde edilerek PPP-AR çözümünün ortalama olarak %10 iyileşme sağladığını ortaya koymuşlardır. Katsigianni vd. [25] sadece-GPS, sadece-Galileo ve çoklu-GNSS gözlemlerinin kinematik PPP ve PPP-AR yöntemlerine olan etkisini araştırmışlardır. Araştırmada sadece-GPS ve sadece-Galileo yöntemlerinden elde edilen konum doğruluğunun benzer seviyede olduğu, GPS uydu sistemine Galileo sisteminin eklenmesiyle birlikte PPP ve PPP-AR yöntemlerinden elde edilen konum

doğruluğunun artacağı belirtmiştir. Geng vd. [26] PPP-AR yöntemindeki başlangıç faz belirsizliğinin çözüm süresini üçlü frekans gözlemlerine dayalı ile GPS, Galileo, BeiDou ve QZSS uydu kombinasyonlarını kullanarak incelemişlerdir. Sonuç olarak üçlü frekans gözlemlerine dayalı PPP-AR yöntemine çoklu-GNSS gözlemlerinin eklenmesiyle başlangıç faz belirsizliğinin tam sayı olarak çözülme süresinin kısaltıldığını belirtmişlerdir. Du vd. [27] PPP-AR yönteminin yakınsama süresini kısaltsa da faz kesikliklerinden dolayı gözlemlerin tekrarlı olarak yenilenmesi gerektiğini yorumlamışlardır. Çalışmalarında çoklu-GNSS ve INS (Inertial Navigation System)'nin faz kesikliği esnasında tamsayı belirsizlik çözümüne katkısını kıyaslamışlardır. Sonuçlar incelendiğinde tamsayı belirsizlik çözümü yapılmadan çoklu-GNSS sisteminin INS'deki tamsayı belirsizlik düzeltmesine katkısının az olduğunu, INS'nin ise GNSS kesintileri esnasında belirsizlik çözümünü sağlayarak konum doğruluğunda iyileşme sağladığını belirtmişlerdir. Naciri ve Bisnath [28] üçlü frekans gözlemlerine dayalı PPP-AR tekniğinin çift frekanslı gözlemlere kıyasla daha yüksek konum doğruluğu sağladığını belirtmiş ve üçlü frekans gözlemlerinin yakınsama süresini kısalttığı sonucuna ulaşmışlardır. Yigit vd. [29] GPS ve GLONASS uydu sistemlerine bağlı PPP ve PPP-AR yöntemlerinin dinamik hareketleri tespit edebilme yeteneklerini araştırarak PPP-AR yönteminin PPP yöntemine olan üstünlüğünü göstermişlerdir. Bezcioglu vd. [30] PPP ve PPP-AR yöntemlerinin performanslarını değerlendirmek amacıyla PPP yönteminde Net\_Diff yazılımını ve PPP-AR tekniği içinse PRIDE yazılımı kullanılarak çoklu-GNSS gözlemlerinin PPP-AR ve PPP yöntemlerine olan etkisini ve açıkça göstermişlerdir. Wang vd. [31] birleştirilmemiş PPP modelini kullanan IGMAS (International GNSS Monitoring & Assessment System) gözlemlerinden çoklu-GNSS hassas uydu yörünge ve saat düzeltmelerine dayanan FCB (Fractional Cycle Bias) tahmin yöntemini sunmuşlardır. FCB ürünleri tahmin edildikten sonra, GPS, BDS-2 ve Galileo gözlemleri ile PPP-AR tekniğini, statik ve kinematik ölçüm modunda analiz etmişlerdir. Statik ölçüm modunda tamsayı belirsizlik çözümlerinde önemli düzeyde iyileşmeler görülmezken, kinematik ölçüm modunda gerçekleştirilen PPP-AR çözümleri ile konumlandırma doğruluklarında iyileşme olduğunu belirtmişlerdir. Ogutcu vd. [32] BDS-3 uydu sisteminin belirsizlik çözümünün (AR), statik ve kinematik modda gerçekleştirilen çoklu-GNSS PPP-AR tekniğine olan katkısını üç farklı uydu yükseklik açısı (7°, 30° ve 45°) ve farklı gözlem sürelerini dikkate alarak incelemişlerdir. Uygulama sonucunda statik modda gerçekleştirilen BDS-3 sisteminin çoklu-GNSS PPP-AR tekniğinde elde edilen yatay ve düşey konum doğruluğunu bozarak kötü performans ortaya koyduğunu, kinematik modda ise BDS-3 sisteminin çoklu-GNSS PPP-AR tekniğinin 30° ve 45° uydu yükseklik açıları altında sağladığı doğruluğa önemli ölçüde katkı sağladığını belirtmişlerdir. Wang vd. [33] çalışmalarında UPD (Uncalibrated Phase Delay) tabanlı PPP-AR yönteminin ayrıntılı bir algoritması anlatılmıştır. Ardından, performansı belirlemek için gölge/engellenmiş bir gözlem ortamında kinematik PPP-AR tekniğinin sayısal

deneyleri yapılmıştır. UPD tabanlı PPP-AR yöntemi geleneksel yöntemlerle karşılaştırıldığında her sistem için yalnızca üç uydunun gözlemlendiği bir ortamda kullanılmış ve düzeltme oranının ortalama %83'ten %100'e yükseldiği sonucuna ulaşılmıştır.

İlgili literatür çalışmaları incelendiğinde Net\_Diff ve PRIDE yazılımlarının PPP-AR yöntemine dayalı konum belirleme performanslarının araştırmacılar tarafından henüz karşılaştırmalı olarak detaylı bir şekilde incelenmediği veya herhangi bir çalışma yapılmadığı görülmektedir. Bu çalışmada Türkiye'de bulunan 2 IGS istasyonu (ISTA ve MERS) seçilerek PPP-AR yöntemiyle 20 güne ait (29.10.2022-17.11.2022) koordinat değerleri elde edilmiştir. Elde edilen bu koordinatlar çoklu-GNSS (GPS, GLONASS Galileo ve BeiDou) uydusu sistemleriyle, statik ölçüm modunda, 24 saatlik ve 30 saniyelik örnekleme aralıklarında değerlendirilmiştir. Değerlendirme sonucunda Net\_Diff ve PRIDE yazılımlarının nokta konum doğrulukları, hassasiyetleri ve performansları belirlenerek karşılaştırmalı bir yaklaşımla incelenmiştir.

## 2 Materyal ve metod

### 2.1 Hassas mutlak konum belirleme (PPP)

Mutlak konumlama tekniği olan PPP yöntemi, diğer yöntemlerle kıyaslandığında hassas uydusu yörünge ve uydusu saat bilgileri tek bir GNSS alıcısıyla santimetre seviyesinde konum doğruluğu elde ederek koordinatı bilinen bir ya da daha fazla referans istasyona, eş zamanlı gözleme ihtiyaç duymadan kullanım imkânı sunan, taşıyıcı dalga faz gözlemleri ve kod gözlemlerinin kullanıldığı, zaman-maliyet açısından tasarruf/avantaj sağlayan, mesafe kısıtlamasının olmadığı bir tekniktir [5, 6, 19, 34, 35]. PPP deformasyon izleme, jeodezik ve jeodinamik uygulamalarda kullanılmasının yanı sıra gerçek zamana yakın GPS hava şartları bilgisinde, Dünya yörüngesindeki uyduların tayini ve hareketli nesnelerin hassas konumlanmasında da kullanılabilir [4, 5, 36-49]. PPP tekniğinde işlemler navigasyon mesajından yayınlanan uydusu ve saat efemeris bilgisini kullanmayıp, bunun yerine hassas saat ve efemeris bilgileri tercih edilir [19].

2001 yılında Kouba ve Héroux, PPP yöntemindeki kod ve faz gözlemlerinin, IGS'den meydana gelen hassas uydusu yörünge ve saat bilgilerini kullanarak iyonosferden bağımsız (ionosphere-free, IF) kombinasyonlarla PPP'nin matematiksel modelini elde etmişlerdir. Matematiksel modelde hem faz hem kod gözlemlerinden yararlanılması yüksek konum doğruluğu açısından önemli bir yere sahiptir.

Eşitlik (1)'de Kouba ve Héroux'un ortaya koyduğu kod ve faz gözlemlerinin kullanıldığı PPP yönteminin matematiksel modeli verilmektedir [35].

$$\begin{aligned} \ell_p &= \rho + c(dt - dt_r) + T_r + \varepsilon_p \\ \ell_\phi &= \rho + c(dt - dt_r) + T_r + N\lambda + \varepsilon_\phi \end{aligned} \quad (1)$$

Burada  $\ell_p$  ve  $\ell_\phi$ ; sırasıyla iyonosfer bağımsız (Ionosphere Free, IF) kod ve faz gözlemlerini,  $\rho$ ; uydusu ve alıcı arasındaki geometrik mesafeyi,  $dt$ ; uydusu alıcı hatasını,  $dt_r$ ; uydusu saat hatasını,  $c$ ; boşluktaki ışık hızını,  $T_r$ ; troposferik gecikmeyi,  $N$ ; faz gözlemlerindeki başlangıç

tamsayı belirsizliğini  $\varepsilon_p$  ve  $\varepsilon_\phi$ ; kod ve faz gözlemlerindeki ölçü gürültülerini ifade etmektedir [35].

Uydusu ve alıcı arasındaki geometrik mesafe olarak tanımlanan  $\rho$ , bir t epogündeki uydusu konumu ( $X_s, Y_s, Z_s$ ) ile alıcı ( $X_r, Y_r, Z_r$ ) konumunun denklemi eşitlik (2)'de gösterilmektedir.

$$\rho = \sqrt{(X_s - X_r)^2 + (Y_s - Y_r)^2 + (Z_s - Z_r)^2} \quad (2)$$

Eşitlik (1) ve (2)'e ilişkin detaylı matematiksel model Erdoğan vd. [35]'te detaylı olarak ifade edilmiştir.

PPP-AR yöntemi için ise; IRC (Integer Recovery Clock), DSC (Decoupled Satellite Clock), UPD (Uncalibrated Phase Delay) ve FCB (Fractional Cycle Bias) modeli gibi farklı yaklaşımlar yer almaktadır [20]. Eşitlik (3)'te PPP-AR yönteminin DSC modeli, eşitlik (4)'te ise IRC modelinin IF kod ve faz gözlemleri verilmektedir.

$$P_{IF} = \rho + c * (dt^r - dt^s) + d_{trop} + b_{P,IF}^r - b_{P,IF}^s + \varepsilon_{P,IF}$$

$$\phi_{IF} = \rho + c * (dt^r - dt^s) + d_{trop} - \lambda_{IF} * N_{IF} + b_{\phi,IF}^r - b_{\phi,IF}^s + \varepsilon_{\phi,IF}$$

$$\lambda_{IF} = \frac{f_1^2}{f_1^2 - f_2^2} * \lambda_1 - \frac{f_2^2}{f_1^2 - f_2^2} * \lambda_2 \quad (3)$$

$$N_{IF} = \frac{f_1^2 * N_1}{f_1^2 - f_2^2} * \lambda_1 - \frac{f_2^2 * N_2}{f_1^2 - f_2^2} * \lambda_2$$

Burada  $P_{IF}$  ve  $\phi_{IF}$ ; sırasıyla IF kod ve faz gözlemlerini  $b_{P,IF}^r$  ve  $b_{P,IF}^s$ ; sırasıyla alıcı ve uydusu için IF kod bias (code bias),  $b_{\phi,IF}^r$  ve  $b_{\phi,IF}^s$ ; alıcı ve uydusu için IF faz bias (phase bias)  $\lambda_{IF}$ ; dalga boyunu,  $N_{IF}$  ise gerçek değerli tamsayı belirsizliğini ifade etmektedir [20]. Eşitlik (3)'e ait detaylı matematiksel model Atiz [20]'de detaylı olarak ifade edilmiştir.

$$P_3 = \rho + c * (dt_{r,G} - dt_G^s) + T + (d_{r,3} - b_{r,3} - d_3^s + b_3^s)$$

$$L_3 = \rho + c * (dt_{r,G} - dt_G^s) + T + (\lambda_n N_1 - \beta_1 \lambda_2 N_w)$$

$$N_w = N_1 - N_2$$

$$dt_{r,G} = dt_r + \frac{b_{r,3}}{c} \quad (4)$$

$$dt_G^s = dt^s + \frac{b_3^s}{c}$$

$$\lambda_n = \frac{c}{f_1 + f_2}$$

Burada,  $dt_{r,G}$ ; kullanıcı tarafından tahmin edilen alıcı saat ofseti (receiver clock offset),  $dt_G^s$ ; uydusu saat ofseti (satellite clock offset),  $c$ ; ışığın boşluktaki hızı,  $N_w$ ; geniş şeritli belirsizliği,  $\lambda_n$ ; dar şeritli dalga boyunu,  $f_1$  ve  $f_2$  taşıyıcı

faz frekansını ifade edip,  $(d_{r,3} - b_{r,3} - d_3^s + b_3^s)$  ise kod gözlemlerinin değerlendirilmesinde kullanılmaktadır [50]. Eşitlik (4)'e ait detaylı matematiksel model Liu ve Yuan [50]'de detaylı olarak ifade edilmiştir.

Uydu alıcısı ile GNSS alıcısı arasında kaç adet tamsayı faz döngüsü olduğu belirlenmemektedir. İletişimi kurulan faz ölçüsü ilk olarak tam bir dalga boyunun kesirli kısmına karşılık gelmektedir. Bu nedenle de başlangıçta ölçülen dalga boyunda belirsizlik meydana gelir [18, 51-54]. RTKLIB, Bernese, MagicGNSS gibi çeşitli PPP yazılımları tamsayı belirsizlik çözümünü uygular [55]. PPP yönteminde tamsayı belirsizliği kesirli olarak elde edildiği için hesaplanan kartezyen koordinatların doğruluğu bağıl yönteme göre daha düşüktür. PPP-AR tekniğinin PPP tekniğinden bir diğer farkı ise bir ağ yapısı içerisinde UHD'lerin giderilerek kullanıcılara sunulmasıdır. [9, 56]. PPP belirsizlik çözümü (AR)'nü engelleyen temel sebep, tamsayı olmayan kalibre edilmiş donanım gecikmesidir (Determination of uncalibrated hardware delays, UHD). Bu gecikmede hem alıcılardan elde edilen hem de uydulardan meydana gelen bağıl konumlandırmada çift fark algoritmasıyla yok edilir [57]. Son olarak PPP, yapılan ölçümlerin statik ve kinematik ürünlerde kullanılarak elde edilebilmesinin yanı sıra her iki üründe de gerçek zamanlı hassas uydu yörünge ve saat ürünleri oluşturulur. [58]. GNSS donanımında gerçek zamanlı uygulamaların artan kullanımına eşdeğer olarak 2013 yılında IGS gerçek zamanlı hizmetini başlatmıştır [59]. Bu hizmet yoluyla hassas uydu yörünge ve saat bilgileriyle gerçek zamanlı PPP çözümü kullanılabilir duruma gelmiştir. PPP yöntemi kullanılarak troposferik gecikme ile ilgili çalışmalar da yapılmıştır [60-62].

## 2.2 Net\_Diff yazılımı

Net\_Diff yazılımı, masaüstü versiyonu olarak MATLAB R2017a-MATLAB Runtime version 9.2 (R2017a) programı aracılığıyla, çevrimiçi olarak ise [63] adresinden kullanılabilen, PPP, RTK, PPP-AR gibi konum belirleme yöntemlerini işleyerek kullanıcılara sunan, GNSS verilerinin yüklendiği ve analiz işlemlerinin yapıldığı kolay, modern ve pratik bir yazılımdır [64-66]. Net\_Diff yazılımı Şanghay Astronomik Gözlemevi Çin Bilimler Akademisi (Shanghai Astronomical Observatory Chinese Academy of Sciences) ve Tokyo Üniversitesi Deniz Bilimi ve Teknolojisi (TUMSAT) kurumlarında araştırmacı Dr. Yize Zhang tarafından geliştirilmiştir. İlk sürümü 2018 yılında piyasaya sürülmüştür. Bu nedenle de kullanıcılar tarafından pek yaygın kullanılmamıştır [66]. Ayrıca yazılım küresel (GPS, Galileo, GLONASS ve BeiDou) ve bölgesel (QZSS, IRNSS) uydu sistemlerini desteklemektedir. Konumlandırma bölümünde değerlendirmeler sonucunda herhangi bir yazılıma ihtiyaç duymadan noktaların ECEF (Earth Centered EarthFixed) ve ITRF-2014 (International Terrestrial Reference Frame-2014) datumlarındaki konum zaman grafiği, noktaların KOH ve standart sapma gibi değerler elde edilmektedir. Yazılım, uydu görünürlük değerleri, uydu saat tahmini, uydu sayısı gibi birçok bilgiyi de sağlamaktadır. Koordinatların karşılaştırılması, uydu sayısı ve numarası, PDOP (Position Dilution of Precision), uydu görünür değeri,

troposfer, iyonosfer, gözlem düzeltme, RINEX (Receiver Independent Exchange Format) düzenleme, konumlandırma çizimi ve dosyayı yazma dâhil olmak üzere verilerin analizini yapan bir yazılımdır [30, 66-68]. Net\_Diff yazılımının veri ve ürünleri hesaplarırken MATLAB-R2017a programıyla birlikte çalışıp işlemleri hızlıca kullanıcıya sunabilmesi bir avantaj olarak görülebilecek iken, her bilgisayar donanımının MATLAB-R2017a programını desteklemede yeterli niteliğe sahip olamaması ihtimali (çevrimiçi kullanım hariç) gibi durumları da Net\_Diff yazılımı için dezavantaj sayılmaktadır [66]. Net\_Diff yazılımına ait matematiksel model olarak PRIDE yazılımında yapılan eşitlik (5)'e benzer matematiksel model kullanılmıştır.

## 2.3 PRIDE yazılımı

PRIDE yazılımı, Çin'in Wuhan Üniversitesi GNSS Araştırma Merkezi'ndeki PRIDE Laboratuvarı tarafından geliştirilen, PPP ve PPP-AR tekniklerini kullanarak çözümler sunan açık kaynak kodlu bir yazılımdır. Okunabilirlik, modülerlik, genişletilebilirlik ve sürdürülebilirlik ilkelerine göre tasarlanmıştır. Bu sayede kullanıcılara daha esnek ve rahat bir kullanım sağlar. PRIDE yazılımı Linux, Mac OS işletim sistemini desteklemekle birlikte Windows işletim sisteminde çalışan bir modülü de bulunmaktadır [17, 30, 69, 70]. Özellikle sayısal ve bilimsel hesaplamalar için uygun bir programlama dili olan FORTRAN-95 kullanılmıştır [17]. Eşitlik (5)'te PRIDE yazılımının matematiksel modeli verilmektedir [17].

$$P_{IF,r}^s = \rho + c * (dt_r - dt^s) + d_{trop} + HD_{P,r,IF} - HD^{P,s,IF} + \epsilon_{P,IF}^s = (f_1^2 P_1 - f_2^2 P_2) / (f_1^2 - f_2^2)$$

$$\Phi_{IF,r}^s = \rho + c * (dt_r - dt^s) + d_{trop} + \lambda_{IF}^s N_{r,IF}^s + HD_{\Phi,r,IF} - HD^{\Phi,s,IF} + \epsilon_{\Phi,IF}^s = (f_1^2 \Phi_1 - f_2^2 \Phi_2) / (f_1^2 - f_2^2)$$

$$HD_{P,r,IF} = (f_1^2 * HD_{r,1} - f_2^2 * HD_{r,2}) / (f_1^2 - f_2^2) \quad (5)$$

$$HD^{P,s,IF} = (f_1^2 * HD^{s,1} - f_2^2 * HD^{s,2}) / (f_1^2 - f_2^2)$$

$$UHD_{IF,r} = (f_1^2 * UHD_{r,1} - f_2^2 * UHD_{r,2}) / (f_1^2 - f_2^2)$$

$$UHD^{IF,s} = (f_1^2 * HD^{s,1} - f_2^2 * UHD^{s,2}) / (f_1^2 - f_2^2)$$

Burada,  $s$  ve  $r$ ; sırasıyla uydu ve alıcısı  $P_{IF,r}^s$  ve  $\Phi_{IF,r}^s$ ; sırasıyla iyonosferden bağımsız kod ve faz gözlemini,  $\rho$ ; uydu ve alıcı arasındaki geometrik mesafeyi,  $dt_r$  ve  $dt^s$ ; sırasıyla alıcı ve uydu saat ofseti,  $d_{trop}$ ; ıslak ve kuru bileşenleri içeren troposferik gecikmeyi,  $\lambda_{IF}^s$  ve  $N_{r,IF}^s$ ; sırasıyla IF dalga boyu ve IF taşıyıcı faz belirsizliği,  $HD_{P,r,IF}$  ve  $HD^{P,s,IF}$ ; sırasıyla uydu ve alıcı donanım kod gecikmesi,  $\epsilon_{P,IF}^s$  ve  $\epsilon_{\Phi,IF}^s$ ; kod ve taşıyıcı faz ölçümleri için IF'nin modellenmemiş hataları,  $f_1$  ve  $f_2$ ; frekansları,  $UHD_{IF,r}$  ve  $UHD^{IF,s}$ ; sırasıyla alıcı ve uydu donanım faz gecikmesini,  $P_1$ ,  $P_2$ ,  $\Phi_1$  ve  $\Phi_2$  ise frekanslardaki kod ve faz gözlemlerini ifade etmektedir [17, 20]. Eşitlik (5)'e ait detaylı matematiksel model Atiz vd. [17] ve Atiz [20]'de detaylı olarak ifade edilmiştir.

PRIDE yazılımı esas olarak farkları alınmamış işlem ve başlangıç faz belirsizliği modüllerinden oluşmaktadır. Farkları alınmamış işlem modülü, veri temizleme ve parametre tahminlerini içermekte olup, aynı zamanda geniş ve dar bantlardaki faz belirsizliklerini belirlemekten sorumludur. PPP çözümleri bu aşamadan sonra elde edilebilir. Elde edilen belirsizlik tahminlerini kullanan başlangıç faz belirsizliği modülü ise daha sonrasında bu belirsizlikleri tam sayı olarak çözmek ve sabitlemek için faz kayıklığı ürünlerini kullanmaktadır [17, 30, 69].

### 3 Uygulama

#### 3.1 Test alanı

Bu çalışmada çoklu-GNSS gözlemleri ile PPP-AR yöntemi kullanılarak Net\_Diff ve PRIDE yazılımlarının konum belirleme doğruluklarını karşılaştırmak ve performanslarını test etmek amaçlanmıştır. Bu bağlamda GPS, Galileo, GLONASS ve BeiDou uydu verilerini gözlemleyebilen Türkiye’den İstanbul’da bulunan ISTA ve Mersin’de bulunan MERS istasyonu olmak üzere 2 IGS istasyonu seçilmiştir. İstasyonların Türkiye’deki dağılımı Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1. Çalışmada kullanılan istasyonlar ve konumları

Tablo 1. Çalışmada kullanılan istasyonlara ait tanımlayıcı bilgiler

İstasyon	Enlem (°)	Boylam (°)	Elipsoidal Yükseklik (m)	Uydular	Alıcı	Anten	Radom
ISTA	41.104	29.019	147.2	GPS GLO GAL BDS SBAS	LEICA GR25	LEIAR 25.R4	LEIT
MERS	36.566	34.256	38.5	GPS GLO GAL BDS QZSS SBAS	LEICA GR50	LEIAR 10	NONE

Türkiye’den bu IGS istasyonlarının seçilmesinin iki temel sebebi olup, bunlardan birincisi seçilen istasyonların çoklu-GNSS gözlemlerine sahip olmaları, ikincisi ise CDDIS (The Crustal Dynamics Data Information System) web arşivinde [71] referans koordinatlarının bulunmasıdır. ISTA ve MERS istasyonlarına ilişkin temel bilgiler ve coğrafi koordinatlar Tablo 1’de verilmiştir.

### 4 Bulgular ve tartışma

Çalışma kapsamında Net\_Diff ve PRIDE yazılımlarının performansı, 29.10.2022 tarihinden 17.11.2022 tarihine kadar 20 günlük bir gözlem veri seti kullanılarak statik ölçüm modunda PPP-AR yöntemi ile değerlendirilmiştir.

Tablo 2. Çalışmada kullanılan yazılımlar ve parametre değerleri [67,70]

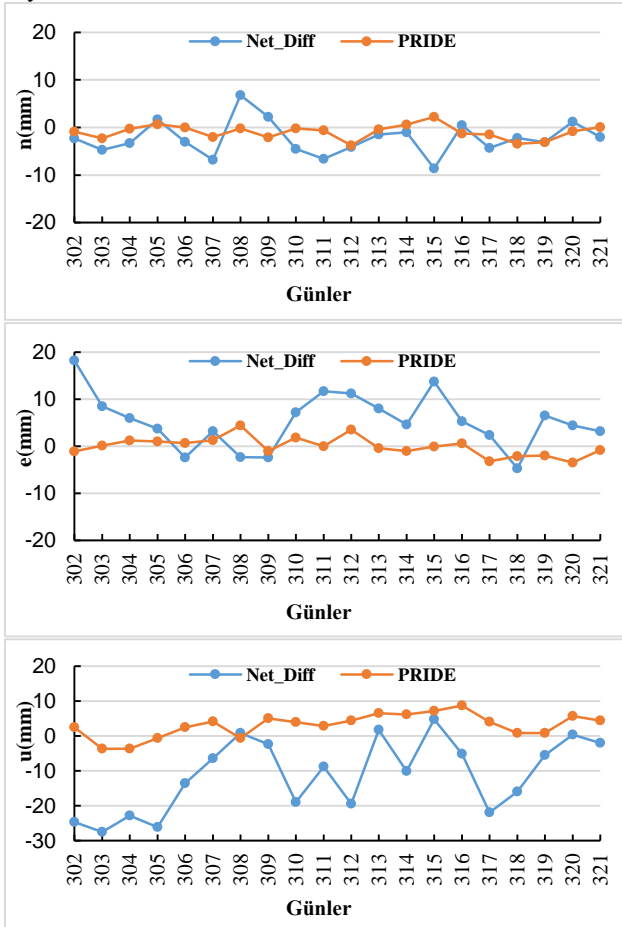
Parametreler	Net_Diff	PRIDE
Yükseklik açısı	10°	10°
Uydu Sistemi	GPS+GLO+GAL+BDS	GPS+GLO+GAL+BDS
Gözlemler	Code+Phase	Code+Phase
Gözlem Süresi	24 saat	24 saat
Örneklem Aralığı	30 saniye	30 saniye
Ölçüm Modu	Statik	Statik
Anten faz merkezi düzeltmesi	igs14.atx	igs14.atx
Troposferik model	GPT2_5w+SAAS+VMF1	GMF
Gözlemlerin stokastik modeli	Ele depend	Ele depend for 0-30 degree cutoff, for 30-90 cutoff, uniform weighting
Yöntem	PPP-AR	PPP-AR
Process Modu	Forward	Batch Least-Square Processing
Faz sıçrama methodu	GF+MW	GF+MW
AR Modu	Continuous	Continuous
Kısmi AR	Data Based	Data Based
Islak zenit gecikmesi	7200 saniye	7200 saniye
Parametre Dengeleme Yöntemi	Kalman Filter (KF)	Batch Least-Square Processing
Saat ve uydu yörünge ürünleri için Analiz Merkezi	CNES	WUHAN RAPID
Uydu yörünge ve saat ürünleri	GBM Final Ürünleri	WUHAN RAPID
Kod ve faz kayıklığı (bias)	GBM Final Ürünü	WUHAN RAPID

20 günlük ölçümlerin kullanılmasının nedeni de sonuçların istatistiksel anlamda yeterli olması, aynı zamanda her iki istasyon için CDDIS arşivindeki RINEX verisi doluluk oranının %100 olmasıdır. Net\_Diff ve PRIDE yazılımlarının 30 saniyelik örnekleme aralığında ve statik ölçüm modunda,

çoklu-GNSS (GPS, GLONASS, Galileo ve BeiDou) uydular kullanılarak PPP-AR yöntemi ile çözümler gerçekleştirilerek kartezyen koordinatlar elde edilmiştir. Net\_Diff ve PRIDE yazılımındaki örnekleme aralığı, yükseklik açısı, uydular sistemi, troposferik model gibi temel parametreler ve değişkenler Tablo 2’de verilmiştir.

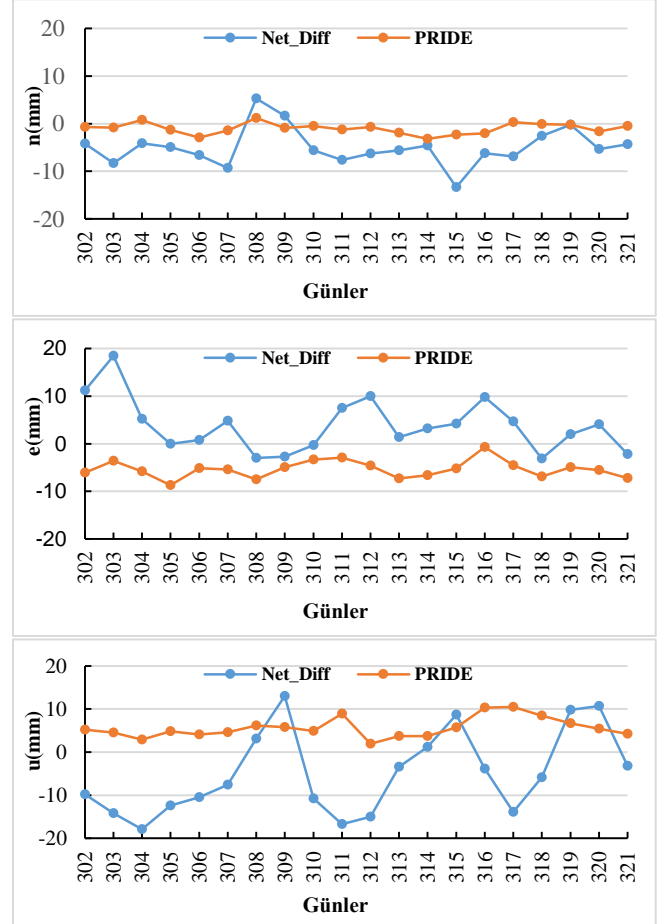
Tabloda verilen parametreler dışındakiler için yazılımların varsayılan standart seçenekleri kullanılmıştır. Ardından referans olarak IGS günlük çözümler kullanılmıştır. Seçilen istasyonlar için yazılımlardan elde edilen X, Y, Z yer merkezli kartezyen koordinat sisteminden kuzey(n), doğu(e) ve yukarı(u) bileşenleri ile ifade edilen toposentrik koordinat sistemine dönüşüm gerçekleştirilmiştir. Bu dönüşümün kullanılmasının sebebi ise yatay ve düşey değişimin tam olarak yansıtılmak istenmesi, ayrıca referans kabul edilen değerlerden olan farklar hata miktarını temsil ederek doğruluk değerlerini vermesidir. Literatür çalışmalarında toposentrik koordinatlar dikkate alındığından dolayı bu çalışma kapsamında da toposentrik koordinatlar tercih edilmiştir.

Şekil 2 ve Şekil 3’te ISTA ve MERS istasyonlarının 20 güne ait her iki yazılım seçeneği için yatay ve düşey bileşenlerden elde edilen ve referans değerlerden olan farkları gösteren toposentrik koordinat bileşenleri verilmektedir. Bu bileşenler referans değerlerden olan farkları temsil ettiklerinden sonuçlara ait doğruluk değerlerini de yansıtmaktadır.



Şekil 2. Her iki yazılım için ISTA istasyonuna ait yatay ve düşey bileşenlerden elde edilen hata değerleri

Şekil 2’de görülebileceği üzere Net\_Diff yazılımından elde edilen hata değerleri -27.5 ile 18.2 mm arasındadır. PRIDE yazılımı için ise bu değerler -3.8 ve 8.7 mm’dir. ISTA istasyonundan elde edilen 20 günlük değerlendirmelerden “n” bileşeninin 304., 306., 307., 308., 309., 310. ve 311. günler haricindeki diğer günlerde, “e” bileşeninin 305., 307., 309. ve 318. günlerde, “u” bileşeninin ise 308. ve 315. günlerde benzer sonuçlar verdiğini açıkça göstermektedir. Ayrıca her üç bileşen içerisinde “u” bileşeninin birbirinden daha uzak ve dalgalı sonuçlar ortaya koyduğu da görülmektedir.



Şekil 3. Her iki yazılım için MERS istasyonuna ait yatay ve düşey bileşenlerden elde edilen hata değerleri

Şekil 3’te de görülebileceği üzere Net\_diff yazılımından elde edilen hata değerleri -17.9 ile 18.5 mm arasında değişmektedir. Bu değerler PRIDE yazılımı için -8.7 ve 10.5 mm’dir. MERS istasyonundan elde edilen 20 günlük değerlendirmelerden yapılan sonuçlar n, e ve u bileşeni için her iki yazılımın sırasıyla 309., 310., 314., 315. ve 319. günlerde benzer doğruluk sağladığını açıkça göstermektedir. Her üç bileşen içerisinde “u” bileşeninin birbirinden daha uzak ve dalgalı sonuçlar ortaya koyduğu da görülmektedir. Diğer taraftan Şekil 2 ve Şekil 3’te grafikler incelendiğinde her üç bileşen için Net\_Diff yazılımından elde edilen hata zaman serileri oldukça dalgalı ve birbirinden uzak olmakla birlikte, PRIDE yazılımının zaman serisi daha düzenli ve tutarlıdır. PRIDE yazılımından elde edilen hata değerlerinin sıfır etrafında toplanması ve bu durumun Gauss hata

dağılımına uyması PRIDE yazılımından elde edilen PPP-AR çözümlerinin daha yüksek konum doğruluğu sağladığını açıkça göstermektedir. Bu sonuçlar farklı IGS istasyonlarından elde edilen gözlem verileri ile doğrulanmalı ve genişletilmelidir.

ISTA ve MERS istasyonlarına ait 20 günlük gözlem veri seti dikkate alınarak Net\_Diff ve PRIDE yazılımlarından elde edilen temel istatistiki değerler (mutlak maksimum, mutlak minimum, ortalama ve KOH) sırasıyla Tablo 3 ve Tablo 4'te verilmiştir. Ayrıca Tablo 5'te ise her iki yazılımdan elde edilen yatay ve düşey bileşenlerin ortalama doğruluk değerleri verilmiştir.

Yazılımların her iki istasyona ilişkin KOH değerleri eşitlik (6)'da hesaplanmıştır.

$$KOH = \sqrt{\frac{\sum(x)^2}{n}} \quad (6)$$

Burada  $x$ ; ilgili toposentrik koordinata ait bileşeni,  $n$  ise toplam ölçü sayısını ifade etmektedir [20].

**Tablo 3.** Her iki yazılım için ISTA istasyonundan elde edilen temel istatistiki değerler

Yazılım	Temel İstatistikler	n(mm)	e(mm)	u(mm)
Net_Diff	Maksimum	8.6	18.2	27.5
	Minimum	0.5	2.3	0.4
	Ortalama	-2.3	5.3	-11.2
	KOH	4.1	7.7	15.1
	Maksimum	3.8	4.4	8.7
PRIDE	Minimum	0.0	0.0	0.6
	Ortalama	-1.0	0.0	3.0
	KOH	1.7	1.9	4.5

**Tablo 4.** Her iki yazılım için MERS istasyonundan elde edilen temel istatistiki değerler

Yazılım	Temel İstatistikler	n(mm)	e(mm)	u(mm)
Net_Diff	Maksimum	13.3	18.5	17.9
	Minimum	0.2	0.0	1.2
	Ortalama	-4.9	3.8	-4.9
	KOH	6.3	6.6	10.7
	Maksimum	3.2	8.7	10.5
PRIDE	Minimum	0.1	0.7	1.9
	Ortalama	-1.0	-5.3	3.0
	KOH	1.5	5.6	6.1

**Tablo 5.** Her iki yazılım için yatay ve düşey bileşenlerin ortalama doğruluk değerleri

Yazılım	Yatay Bileşenler (mm)	Düşey Bileşen (mm)
Net_Diff	6.2	12.9
PRIDE	2.7	5.3

Mutlak maksimum değerler incelendiğinde en yüksek değer ISTA istasyonunun "u" bileşeninde elde edildiği, bu değer 27.50 mm ile Net\_Diff yazılımında olduğu görülmektedir. Mutlak minimum değerler incelendiğinde ISTA istasyonunun PRIDE yazılımındaki "n" bileşeni ve "e" bileşeninde, MERS istasyonunun Net\_Diff yazılımındaki "e" bileşeninde elde edildiği ve bu değerlerin 0.0 mm büyüklükte olup aynı sonuçlar verdiği açıkça görülmektedir. Hesaplanan ortalama değerler incelendiğinde "n" ve "e" bileşeninde en iyi değerler ISTA istasyonunun sırasıyla PRIDE yazılımında -1.0 mm ile 0.0 mm büyüklükte olduğu, "u" bileşeninde ise ISTA ve MERS istasyonlarının sadece PRIDE yazılımında aynı sonuçlar verdiği ve bu değer 3.0 mm büyüklükte olduğu açıkça görülmektedir. KOH değerleri incelendiğinde ISTA istasyonunun PRIDE yazılımında tüm bileşenlerde 5 mm'nin altında olduğu, MERS istasyonunun Net\_Diff yazılımında ise tüm bileşenlerde 5 mm'nin üzerinde olduğu görülmektedir. Her üç bileşen için en iyi değer PRIDE yazılımına ait olduğu ve bu yazılımın "n" bileşenindeki en iyi değer 1.5 mm ile MERS istasyonu, "e" bileşeninde 1.9 mm ile ISTA istasyonu, "u" bileşeninde 4.5 mm ile ISTA istasyonunda olduğu açıkça görülmektedir. Net\_Diff yazılımı ile elde edilen mutlak minimum ve mutlak maksimum değerler incelendiğinde ISTA istasyonunun yatay bileşenlerde 0.5 mm ve 18.2 mm, düşey bileşende 0.4 mm ve 27.5 mm arasında değiştiği görülürken; MERS istasyonunun yatay bileşenlerde 0.2 mm ve 18.5 mm, düşey bileşende 1.2 mm ve 17.9 mm arasında değiştiği görülmektedir. İstasyon bazlı incelemelerde ise KOH değerlere bakıldığında Net\_Diff yazılımı ile elde edilen "n" ve "u" bileşenlerinin MERS istasyonuna ait sonuçların daha yüksek olduğu, "e" bileşeninde ise ISTA istasyonuna ait sonucun daha yüksek olduğu (7.7 mm) görülmektedir.

## 5. Sonuçlar

Bu çalışmada çoklu-GNSS ile PPP-AR yöntemi ile konum elde etmeye olanak sağlayan Net\_Diff ve PRIDE yazılımlarının doğrulukları test edilmiştir. Bu amaçla IGS ağına bağlı ISTA ve MERS istasyonlarının 24 saatlik gözlem verileri değerlendirilmiş ve her iki yazılımdan elde edilen koordinatlar IGS günlük çözümleri referans kabul edilerek karşılaştırılmıştır. Çalışmada elde edilen bulgular, KOH değerleri göz önüne alındığında, Net\_Diff yazılımının yatay ve düşey bileşenlerde ortalama olarak sırasıyla 6.2 mm ve 12.9 mm düzeyinde konum doğruluğu sağladığını açıkça ifade etmektedir. Bu değerler PRIDE yazılımı için sırasıyla 2.7 mm ve 5.3 mm'dir. Elde edilen sonuçlar PRIDE yazılımının, Net\_Diff yazılımından daha yüksek hassasiyette konum doğruluğu sağladığını net bir şekilde ortaya koymaktadır.

## Teşekkür

Çalışma kapsamında kullanılan ISTA ve MERS istasyonlarına ait veriler için IGS (International GNSS Service)'e, Net\_Diff yazılımı için Dr. Yize Zhang'a, PRIDE yazılımı için Wuhan Üniversitesindeki PRIDE Laboratuvarına teşekkür ederiz. Ayrıca makalede yaptıkları yorumları ile katkıda bulunan hakemlere teşekkür ederiz.

## Çıkar çatışması

Yazarlar çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

**Benzerlik oranı (iThenticate):** %11

## Kaynaklar

- [1] S. Alçay, Farklı gözlem sürelerinde GPS-PPP ve GPS/GLONASS-PPP yöntemlerinin konum belirleme performanslarının incelenmesi. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 16(2), 292-302, 2016. <https://doi.org/10.5578/fmbd.28120>.
- [2] S. Bisnath and Y. Gao, Precise point positioning, a powerful technique with a promising future. GPS World, 20 (4), 44-50, 2009. <https://gge.ext.unb.ca/Resources/gpsworld.april09.pdf>
- [3] L. A. Lipatnikov and S. O. Shevchuk, Cost effective precise positioning with GNSS. The International Federation of Surveyors (FIG), No: 74, 2019. [https://www.researchgate.net/publication/332329222\\_Cost\\_Effective\\_Precise\\_Positioning\\_with\\_GNSS](https://www.researchgate.net/publication/332329222_Cost_Effective_Precise_Positioning_with_GNSS)
- [4] J. F. Zumberge, M. B. Heflin, D. C. Jefferson, M. M. Watkins and F. H. Webb, Precise point positioning for the efficient and robust analysis of GPS data from large networks. Journal of Geophysical Research, 102, No. B3, 5005-5017, 1997. <https://doi.org/10.1029/96JB03860>
- [5] J. Kouba and P. Heroux, Precise point positioning using IGS orbit and clock products. GPS Solutions, 5(2), 12-28, 2001. <https://doi.org/10.1007/PL00012883>
- [6] N. F. Erbaş, Hassas nokta konumlama (PPP) hata kaynaklarının konum doğruluğuna etkileri. Yüksek Lisans Tezi, Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Türkiye, 2021. <https://hdl.handle.net/20.500.12452/8029>
- [7] C. Rizos, V. Janssen, C. Roberts and T. Grinter, Precise Point Positioning: Is the Era of Differential GNSS Positioning Drawing to an End?. FIG Working Week 2012, 1-17, 2012. <http://www.fig.net/pub/fig2012/techprog.htm>
- [8] C. O. Yigit, V. Gikas, S. Alçay and A. Ceylan, Performance evaluation of short to long term GPS, GLONASS and GPS/GLONASS post-processed PPP. Survey Review, 46(3), 155-166, 2014. <https://doi.org/10.1179/1752270613Y.0000000068>
- [9] S. Choy, S. Bisnath and C. Rizos, Uncovering common misconceptions in GNSS Precise Point Positioning and its future prospect. GPS Solutions, 21, 13-22, 2017. <https://doi.org/10.1007/s10291-016-0545-x>
- [10] B. Bahadur and M. Nohutcu, Comparative Analysis of MGEX Products for Post-Processing Multi-GNSS PPP. Measurement, 145, 361-369, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2019.05.094>
- [11] K. Dawidowicz, Sub-hourly Precise Point Positioning Accuracy Analysis – Case Study For Selected ASG-EUPOS Stations, Survey Review. Cilt 52(4), 341-351, 2020. <https://doi.org/10.1080/00396265.2019.1579988>
- [12] Y. Facio and 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(1), 113-118, 2020. <https://doi.org/10.1515/jag-2019-0043>
- [13] D. Kiliszek and K. Kroszczyński, Performance of the Precise Point Positioning Method Along with the Development of GPS, GLONASS and GALILEO Systems. Measurement, 164, 1-26, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2020.108009>
- [14] R. Liu, B. Guo, A. Zhang and B. Yimwadsana, Research on GPS Precise Point Positioning Algorithm with a Sea Surface Height Constraint. Ocean Engineering, 197, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2019.106826>
- [15] S. Alçay ve Ö. F. Atiz, Farklı yazılımlar kullanılarak gerçek zamanlı hassas nokta konum belirleme (RT-PPP) yönteminin performansının incelenmesi. Geomatik Dergisi, 6(1), 77-83, 2021. <https://doi.org/10.29128/geomatik.687709>
- [16] S. Alçay and M. Turgut, Evaluation of the positioning performance of multi-GNSS RT-PPP method. Arabian Journal of Geosciences, 14(3), 1-19, 2021. <https://doi.org/10.1007/s12517-021-06534-4>
- [17] O. F. Atiz, S. Oğutcu, S. Alçay, L. Pan and I. Bugdayci, Performance investigation of LAMBDA and bootstrapping methods for PPP narrow-lane ambiguity resolution. Geo-spatial Information Science, 24(4), 604-614, 2021. <https://doi.org/10.1080/10095020.2021.1942236>
- [18] M. Ge, G. Gendt, M. Rothacher, C. Shi and J. Liu, Resolution of GPS carrier-phase ambiguities in Precise Point Positioning (PPP) with daily observations. Journal of Geodesy, 82, 389-399, 2008. <https://doi.org/10.1007/s00190-007-0187-4>
- [19] M. Hamed, A. Abdallah and A. Farah, Kinematic PPP using mixed GPS/GLONASS single-frequency observations. Artificial Satellites, 54, No:3, 2019. <https://doi.org/DOI:10.2478/arsa-2019-0008>
- [20] Ö. F. Atiz, PPP yönteminde AR yaklaşımının konum doğruluğuna etkisinin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Türkiye, 2021. <https://hdl.handle.net/20.500.12452/8028>
- [21] X. Li, X. Li, Y. Yuan, K. Zhang, X. Zhang and J. Wickert, Multi-GNSS phase delay estimation and PPP ambiguity resolution: GPS, BDS, GLONASS, GALILEO. Journal of Geodesy, 92, 579-608, 2018. <https://doi.org/10.1007/s00190-017-1081-3>
- [22] H. Hong, G. Jingxiang, Y. Yifei, Land deformation monitoring in mining area with PPP-AR. International Journal of Mining Science and Technology, 24(2), 2014. <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2014.01.011>
- [23] M. Bezcioglu, C. O. Yigit ve M. N. Bodur, Kinematik PPP-AR ve geleneksel PPP yöntemlerinin performanslarının değerlendirilmesi: Antarktika yarımadası örneği. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 19(1), 162-169, 2019. <https://doi.org/10.35414/akufemubid.467336>
- [24] J. Tegeedor, X. Liu, O. Ørpen, M. E. D. Goode, O. Ovstedal and N. Treffers, Comparison between multi-



- constellation ambiguity-fixed PPP and RTK for maritime precise navigation. *Journal of Applied Geodesy* 9(2):73-80, 2019. <https://doi.org/10.1515/jag-2014-0028>
- [25] G. Katsigianni, S. Loyer and F. Perosanz, PPP and PPP-AR kinematic post-processed performance of GPS-Only, GALILEO-Only and Multi-GNSS. *Remote Sensing*, 11(21), 2477, 2019. <https://doi.org/10.3390/rs11212477>
- [26] J. Geng, J. Guo, X. Meng, and K. Gao, Speeding up PPP ambiguity resolution using triple-frequency GPS/BeiDou/Galileo/QZSS data, *Journal of Geodesy*, 94(6), 1-15, 2020. <https://doi.org/10.1007/s00190-019-01330-1>.
- [27] Z. Du, H. Chai, G. Xiao, X. Yin, M. Wang and M. Xiang, Analyzing the contributions of multi-GNSS and INS to the PPP-AR outage re-fixing. *GPS Solutions*, 25(2), 2021. <https://doi.org/10.1007/s10291-021-01121-2>
- [28] N. Naciri and S. Bisnath, An uncombined triple-frequency user implementation of the decoupled clock model for PPP-AR. *Journal of Geodesy*, 95(5), 2021. <https://doi.org/10.1007/s00190-021-01510-y>
- [29] C. O. Yigit, A. El-Mowafy, A. A. Dindar, M. Bezcioglu M and I. Tiryakioglu, Investigating Performance of High-Rate GNSS-PPP and PPP-AR for Structural Health Monitoring: Dynamic Tests on Shake Table. *Journal of Surveying Engineering*, 147(1), 05020011:1-14, 2021. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)SU.19435428.0000343](https://doi.org/10.1061/(ASCE)SU.19435428.0000343)
- [30] M. Bezcioglu, C. O. Yiğit, A. A. Dindar ve Ö. Avcı, Yüksek zamansal çözünürlüklü çoklu-GNSS PPP-AR yönteminin yatay yönlü dinamik davranışları tespit edebilme yeteneğinin değerlendirilmesi. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 11(4), 952-960, 2022. <https://doi.org/10.28948/ngumuh.1141383>
- [31] J. Wang, Q. Zhang and G. Huang, Estimation of fractional cycle bias for GPS/BDS-2/Galileo based on international GNSS monitoring and assessment system observations using the uncombined PPP model. *Satellite Navigation*, 2(1), 1-11, 2021. <https://doi.org/10.1186/s43020-021-00039-x>
- [32] S. Ogutcu, S. Alcay, B. N. Ozdemir, P. Li, Y. Zhang, C. Konukseven and O. F. Atiz, Assessing the performance of BDS-3 for multi-GNSS static and kinematic PPP-AR. *Advances in Space Research*, 71(3), 1543-1557, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2022.10.016>
- [33] S. Wang, R. Tu, B. Li, R. Zhang, L. Fan, J. Han and X. Lu, Tight Integration Kinematic PPP-AR Using GPS/Galileo/QZSS Overlapping Frequency Signals and Its Performance in High-Shade Environments. *Remote Sensing*, 15(2), 485, 2023. <https://doi.org/10.3390/rs15020485>
- [34] Y. Gao, Precise point positioning and its challenges, aided-gnss and signal tracking. *Inside GNSS*, 1, 16-18, 2006. <https://doi.org/insidegnss.com/auto/NovDec06GNSSSolutions.pdf>
- [35] B. Erdoğan, O. Kayacık ve A. H. Doğan, Hassas mutlak nokta konumlamada GIPSY-OASIS II v6. 4 yazılımı ile elde edilen varyans kovaryans matrisinin güvenilirliğinin araştırılması. *Jeodezi ve Jeoinformasyon Dergisi*, 6(2), 75-86, 2019. <https://doi.org/10.9733/JGG.2019R0007.T>
- [36] B. M. Azúa and C. DeMets, Crustal velocity field of Mexico from continuous GPS measurements, 1993 to June 2001: Implications for the neotectonics of Mexico. *Journal of Geophysical Research*, 108, No. B9, 2450, 2003. <https://doi.org/10.1029/2002JB002241>
- [37] J. C. Savage, W. Gan, WH. Prescott and J. L. Svarc, Strain accumulation across the coast ranges at the latitude of San Francisco 1994-2000. *Journal of Geophysical Research*, 109(B03413), 1-11, 2004. <https://doi.org/10.1029/2003JB002612>
- [38] W. C. Hammond and W. Thatcher, Northwest Basin and Range tectonic deformation observed with the global positioning system: 1999-2003. *Journal of Geophysical Research Letters*, 110(B10405), 1-12, 2005. <https://doi.org/10.1029/2005JB003678>
- [39] N. D'Agostino, D. Cheloni, S. Mantenuto, G. Selvaggi, A. Michellini and D. Zuliani, Strain accumulation in the Southern Alps (NE Italy) and deformation at the Northeastern Boundary of Adria observed by CGPS measurements. *Geophysical Research Letters*, 32(19): L19306, 2005. <https://doi.org/10.1029/2005GL024266>
- [40] E. Calais, C. JH. Harthnady, J.-M. Nocquet and C. Ebinger, Kinematics of the East African Rift from GPS and earthquake slip vector data. *Geological Society London Special Publications*, 259(1), 9-22, 2006. <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.2006.259.01.03>
- [41] G. Gendt, G. Dick, C. Reigber, M. Tomassini and Y. Liu (2004). Demonstration of NRT GPS water vapor monitoring for numerical weather prediction in Germany. *J Meteo Societ Jap*, 82(1B), 360-370, 2004.
- [42] C. Rocken, T. Van Hove and R. Ware, Near real-time GPS sensing of atmospheric water vapour. *Geophysical Research Letters*, 24(24), 3221-3224, 1997. <https://doi.org/10.1029/97GL03312>
- [43] H. Bock, U. Hugentobler and G. Beutler, Kinematic and Dynamic Determination of Trajectories for Low Earth Satellites Using GPS. In *First CHAMP Mission Results for Gravity, Magnetic and Atmospheric Studies*, 65-69, 2003. [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-540-38366-6\\_10](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-540-38366-6_10)
- [44] S. Zhu, C. Reigber and R. König, Integrated Adjustment of CHAMP, GRACE, and GPS Data. *Journal of Geodesy*, 78 (1), 103-108, 2004. <https://doi.org/10.1007/s00190-004-0379-0>
- [45] Y. Gao and X. Shen, A new method for carrier-phase-based precise point positioning. *Navigation - Journal of The Institute of Navigation*, 49(2), 109-116, 2002. <https://doi.org/10.1002/j.2161-4296.2002.tb00260.x>
- [46] X. Zhang and O. B. Andersen, Surface ice flow velocity and tide retrieval of the Amery ice shelf using precise

- point positioning. *Journal of Geodesy*, 80, 171–176, 2006. <https://doi.org/10.1007/s00190-006-0062-8>
- [47] S. Jin, X. Qian and X. Wu, Sea level change from BeiDou Navigation Satellite System-Reflectometry (BDS-R): first results and evaluation. *Global and Planetary Change*, 149, 20-25, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2016.12.010>
- [48] M. Wang, J. Wang, Y. Bock, H. Liang, D. Dong and P. Fang, Dynamic mapping of the movement of landfalling atmospheric rivers over southern California with GPS data. *Geophysical Research Letters*, 46(6), 3551-3559, 2019. <https://doi.org/10.1029/2018GL081318>
- [49] A. Wang, J. Chen, Y. Zhang, L. Meng, B. Wang and J. Wang, Evaluating the impact of CNES real-time ionospheric products on multi-GNSS single-frequency positioning using the IGS real-time service. *Advances in Space Research*, 66(11), 2516-2527, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2020.09.010>
- [50] S. Liu and Y. Yuan, Generating GPS decoupled clock products for precise point positioning with ambiguity resolution. *Journal of Geodesy*, 96(6), 2022. <https://doi.org/10.1007/s00190-021-01593-7>
- [51] D. Laurichesse, F. Mercier, J. P. Berthias, P. Broca and L. Cerri, Integer ambiguity resolution on undifferenced GPS phase measurements and 151 its application to PPP and satellite precise orbit determination. *Navigation - Journal of The Institute of Navigation*, 56(2), 135-149, 2009. <https://doi.org/10.1002/j.21614296.2009.tb01750.x>
- [52] P. Collins, F. Lahaye, P. Héroux and S. Bisnath, Precise Point Positioning with Ambiguity Resolution using the Decoupled Clock Model. *Proceedings of the 21st International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation (ION GNSS 2008)*, 1315-1322, 2008. [https://www.researchgate.net/publication/287080939\\_Precise\\_point\\_positioning\\_with\\_ambiguity\\_resolution\\_using\\_the\\_decoupled\\_clock\\_model](https://www.researchgate.net/publication/287080939_Precise_point_positioning_with_ambiguity_resolution_using_the_decoupled_clock_model)
- [53] J. Geng, X. Meng, F. N. Teferle and A. H. Dodson, Performance of precise point positioning with ambiguity resolution for 1- to 4-hour observation periods. *Survey Review*, 42(316), 155–165, 2010. <https://doi.org/10.1179/003962610X12572516251682>
- [54] D. Arıkan ve R. A. Abbak, Elipsoidal yükseklik değişiminin hassas nokta konumlamaya etkisi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 19(1), 140-151, 2019. <https://doi.org/10.35414/akufemubid.496252>
- [55] S. Oğutcu, Performance analysis of ambiguity resolution on PPP and relative positioning techniques: Consideration of satellite geometry. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 5(2), 73-93, 2020. <https://doi.org/10.26833/ijeg.580027>
- [56] PJG. Teunissen and A. Khodabandeh, Review and principles of PPP-RTK methods. *Journal of Geodesy*. 89(3), 217-240, 2015. <https://doi.org/10.1007/s00190-014-0771-3>
- [57] J. Geng, F. N. Teferle, C. Shi, X. Meng, A. H. Dodson and J. Liu, Ambiguity resolution in precise point positioning with hourly data. *GPS Solutions*, 3(4), 263-270, 2009. <https://doi.org/10.1007/s10291-009-0119-2>
- [58] S. Bisnath and Y. Gao, Current state of precise point positioning and future prospects and limitations. *International Association of Geodesy Symposia*, 133, 615-623, 2008. [https://doi.org/10.1007/978-3-540-85426-5\\_71](https://doi.org/10.1007/978-3-540-85426-5_71)
- [59] T. Hadas and J. Bosy, IGS RTS precise orbits and clocks verification and quality degradation over time. *GPS Solut*, 19(1), 2015. <https://doi.org/10.1007/s10291-014-0369-5>
- [60] J. Dousa and P. Vaclavovic, Real-time zenith tropospheric delays in support of numerical weather prediction applications. *Advances in Space Research*, 53(9), 1347-1358, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2014.02.021>
- [61] T. Hadas, F. N. Teferle, K. Kazmierski, P. Hordyniec and J. Bosy, Optimum stochastic modeling for GNSS tropospheric delay estimation in realtime. *GPS Solutions*, 21(3), 1069-1081, 2017. <https://doi.org/10.1007/s10291-016-0595-0>
- [62] Q. Zhao, Y. Yao, W. Yao and Z. Li, Real-time precise point positioning-based zenith tropospheric delay for precipitation forecasting. *Scientific Reports*, 8(1), 7939, 2018. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-26299-3>
- [63] <http://129.211.69.159:8090/Main.aspx> (Erişim Tarihi: 21 Kasım 2022)
- [64] J. Chen, A. Wang, Y. Zhang, J. Zhou & C. Yu, BDS satellite-based augmentation service correction parameters and performance assessment. *Remote Sensing*, 12(5), 766, 2020. <https://doi.org/10.3390/rs12050766>
- [65] Y. Zhang, J. Chen, X. Gong X and Q. Chen Q (2020). The update of BDS-2 TGD and its impact on positioning. *Advances in space research*, 65(11), 2645-2661, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2020.03.011>
- [66] M. A. Jurin, R. Fadly and E. Rahmadi, Kajian pengaruh panjang baseline terhadap pengolahan data GPS metode static radial menggunakan perangkat lunak net diff. *Journal of Geodesy and Geomatics*, 1, No:2, 18-22, 2021. <https://journal.eng.unila.ac.id/index.php/jgg/article/view/2089>
- [67] [https://github.com/YizeZhang/Net\\_Diff](https://github.com/YizeZhang/Net_Diff) (Erişim Tarihi: 21 Aralık 2022)
- [68] B. Karadeniz, M. Bezcioglu, Ö. F. Bilgen, ve C. Ö. Yiğit, GPS/GALILEO PPP-AR ve PPP yöntemlerinin doğruluklarının gözlem süresi ve uydu kombinasyonları açısından incelenmesi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 21(6), 1377-1392, 2021. <https://doi.org/10.35414/akufemubid.1003382>
- [69] J. Geng, X. Chen, Y. Pan, S. Mao, C. Li, J. Zhou and K. Zhang, PRIDE PPP-AR: an open-source software for GPS PPP ambiguity resolution. *GPS Solutions*,

- 23(4), 2019. <https://doi.org/10.1007/s10291-019-0888-1>
- [70] <https://github.com/prezi/pride> (Erişim Tarihi: 21 Aralık 2022)
- [71] <https://cdis.nasa.gov/archive/gnss/products/> (Erişim Tarihi: 22 Aralık 2022)

