



## Gerçek Zamanlı Hassas Nokta Konumlama (RT-PPP) Yöntemi ile Deprem Kaynaklı Yüzeysel Dalga Hareketlerinin İzlenebilirliğinin İncelenmesi

### *Investigation of Capturing of Earthquake-induced Surface Wave Movements by Real-Time Precision Point Positioning (RT-PPP) Method*

Barış Karadeniz<sup>1,✉</sup>, Mert Bezcioglu<sup>1</sup>, Cemal Özer Yiğit<sup>1</sup>, Ahmet Anıl Dindar<sup>2</sup>, İbrahim Tiryakioğlu<sup>3</sup>, Burak Akpınar<sup>4</sup>, Bahadır Aktuğ<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Gebze Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Kocaeli.

<sup>2</sup> Gebze Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kocaeli.

<sup>3</sup> Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar.

<sup>4</sup> Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, İstanbul.

<sup>5</sup> Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Ankara.dresi

✉ b.karadeniz@gtu.edu.tr

### Özet

Yüksek örnekleme aralığına (10, 20, 50 ve 100 Hz) sahip jeodezik nitelikli GNSS (Global Navigation Satellite System) alıcılarının üretilmesiyle yüksek zamansal çözünürlüklü zamana bağlı, ani değişebilen yer değiştirme zaman serilerinin elde edilmesi mümkün hale gelmiştir. Uluslararası GNSS servisi (IGS) analiz merkezlerinin ürettiği hassas uydu yörünge ve saat düzeltme bilgilerini kullanıcıya ücretsiz olarak sağlamasıyla tek bir GNSS alıcısı, verileri Kinematik Hassas Nokta Konumlama (PPP) yöntemi ile proses edilmektedir. PPP sonradan değerlendirme yöntemiyle epok-epok deplasman zaman serileri hesaplanmaktadır. IGS'in yürütmüş olduğu IGS Gerçek Zamanlı Servis(RTS) pilot projesi kapsamında IGS analiz merkezlerinden gelen uydu yörünge ve saat düzeltme bilgileri, birlikte hesaplanıp kombine edilerek RTS (Real Time Service) ürünleri (IGS01/IGC01, IGS02 ve IGS03) olarak internet servisi üzerinden, NTRIP (Networked Transport of RTCM via Internet Protocol) veri iletim protokolü vasıtasıyla RTCM/SSR(Radio Technical Commission for Maritime Services/State Space Representation) veri formatında Nisan 2013'den beri kullanıcıya ücretsiz sunulmaktadır. Bununla birlikte tek bir GNSS alıcısının kullanıcıya sunulan ürünlerin sürekli yayın efemerisi akışı sağlanarak gerçek zamanlı PPP (RT-PPP) yöntemiyle anlık olarak koordinat değişimleri elde edilmeye başlanmıştır. Bu çalışmada, yüksek örneklem aralığına sahip gerçek zamanlı hassas nokta konumlama (RT-PPP) yönteminin kısa süreli (20-60 sn) dinamik deplasmanları izleyebilme kabiliyeti, depremin yarattığı etkiyi simüle edebilen ve rastgele harmonik hareketler üretebilen yatay yönlü sarsma tablasında harmonik salınımlar ve deprem yer hareketi simülasyonu yapılarak incelenmiştir. Farklı günlerde ve günün farklı zamanlarında gerçekleştirilmiş deney setleri yöntemin değerlendirilmesi için kullanılmıştır. Deprem deney setlerinden biri olan ve yatay sarsma tablasında simülasyonu yapılan Düzce (1999) depremine ait deprem yer hareketini tespit etmek için hem sarsma tablasına monte edilmiş LVDT (Linear Variable Differential Transformer) sensör hem de 20 Hz örnekleme aralığında veri toplayan GPS gözlemleri IGC01 RTS ürünü kullanılarak açık kaynaklı bir yazılım paketi olan RTKLIB yazılımının RTKLIB\_Navi uygulaması aracılığıyla RT-PPP çözümleri elde edilmiştir. RT-PPP yönteminin dinamik davranışları belirleme doğruluğu LVDT sensörün ürettiği yer değiştirme verisi referans alınarak ayrıca sonradan değerlendirme PPP yöntemiyle kıyaslanarak değerlendirilmiştir. Araştırma bulguları RT-PPP yönteminin yüksek örneklem aralığına sahip GPS gözlemlerinin değerlendirilmesinde ve dinamik deplasmanların yakalanmasında etkili bir şekilde kullanılabileceğini göstermiştir. Bu çalışmada ayrıca 30 Ekim 2020' de meydana gelen Mw=7.0 büyüklüğündeki Samos depremi yer hareketleri, 1 Hz örnek aralığına sahip GPS verileri RT-PPP tekniğinin yanında, gerçek zamanlı hassas uydu yörünge ve saat ürünleri kullanılarak yakın gerçek zamanlı PPP yöntemi kullanılarak incelenmiştir. Yapılan incelemede hem deprem anı yer hareketleri hem de kosmik deformasyonların kinematik zaman serisinden belirlenebildiği görülmüştür. Sonuçlar, gerçek zamanlı hassas uydu yörünge ve saat ürünleri kullanılarak, yakın gerçek zamanlı PPP ile hızlı bir şekilde deprem yer hareketlerinin yakalanabileceği ve yeterli sayı/dağılımda nokta olması durumunda kinematik kosmik deformasyon değerleriyle deprem mekanizmasının hızlı bir kestirimi yapılabileceğini işaret etmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** RT-PPP, GNSS, Dinamik yer değiştirme, Kosmik Deformasyon, IGS-RTS



## Abstract

With the development of geodetic GNSS (Global Navigation Satellite System) receivers with high sampling intervals (10, 20, 50 and 100 Hz), it has become possible to obtain time-dependent, abruptly changing displacement time series with high temporal resolution. By providing the precise satellite orbit and clock correction produced by the International GNSS service (IGS) analysis centers free of charge to the user, a single GNSS receiver data can be processed with the Kinematic Precise Point Positioning (PPP) method. Epoch by epoch displacement time series are estimated by post-mission PPP. Within the scope of the IGS Real Time Service (RTS) pilot project carried out by IGS, the satellite orbit and clock correction from the IGS analysis centers are calculated and combined together and are available over the internet as RTS products (IGS01/IGC01, IGS02 and IGS03). It has been provided free of charge to the user since April 2013 in RTCM/SSR (Radio Technical Commission for Maritime Services/State Space Representation) data format via NTRIP (Networked Transport of RTCM via Internet Protocol) data transmission protocol. In addition, by providing a continuous broadcast ephemeris flow of the products offered to the user by a single GNSS receiver, instantaneous coordinate changes have begun to be obtained with the real-time PPP (RT-PPP) method. In this study, the ability of real-time precise point positioning (RT-PPP) method with a high sampling rate to monitor short-term (20-60 sec) dynamic displacements, such as harmonic oscillations and earthquake-induced ground wave motion, was investigated. Experiments performed on different days and at different times of the day were used to evaluate the method. In order to detect the ground motion of Düzce (1999) earthquake, both the LVDT (Linear Variable Differential Transformer) sensor mounted on the shaking table and the GPS observations with a sampling rate of 20 Hz were used using the IGC01 RTS product. RT-PPP solutions were obtained through the RTKNav application of RTKLIB software, which is an open source software package. The accuracy of determining the dynamic behaviors of the RT-PPP method was evaluated by reference to the displacement data produced by the LVDT sensor and also by comparing it with the post-processed PPP method. The research findings showed that the RT-PPP method can be used effectively in the evaluation of GPS observations with high sampling rate and in capturing dynamic displacements. In this study, ground motions of the Samos earthquake with a magnitude of  $M_w = 7.0$ , which occurred on October 30, 2020, and GPS data with 1 Hz sample interval were also examined using the near real-time PPP method using real-time precise satellite orbit and clock products. In the study, it was seen that both earthquake ground motions and co-seismic deformations could be determined from the kinematic time series. The results indicated that by using real-time precise satellite orbit and clock products, earthquake ground motions can be captured quickly with near real-time PPP and a rapid estimation of earthquake mechanism can be made with kinematic co-seismic deformation values if there are sufficient number/distribution points.

**Keywords:** RT-PPP, GNSS, Dynamic Displacement, Co-seismic Deformation, IGS-RTS