

## Gerçek Zamanlı GPS-VADASE Yaklaşımının Düşey Dinamik Hareketleri Yakalayabilme Performansının İncelenmesi

### *Investigation of Real-Time GPS-VADASE Approach to Capture Vertical Dynamic Motions Performance*

Barış Karadeniz<sup>1,✉</sup>, Cemal Özer Yiğit<sup>1</sup>, Mert Bezcioglu<sup>1</sup>, Ahmet Anıl Dindar<sup>2</sup> Özgür Avcı<sup>3</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> Sistem A.Ş., Sürekli İzleme ve Referans İstasyonu Sistemleri Bölümü, Ataşehir, İstanbul

✉ b.karadeniz@gtu.edu.tr

#### Özet

Dünya üzerinde sürekli meydana gelen yer kabuğu hareketleri, rüzgâr, tsunami, volkanik patlamalar ve heyelan gibi doğal olayların oluşturduğu dinamik yükler; trafik, makine ve insan yükü gibi hareketli yükler birçok mühendislik yapısında (Köprü, Gökdele, Kule, Viyadük vb.) yatay ve düşey yönlü titreşimler oluşturarak dinamik yer değiştirmelere sebep olmaktadır. Yapılarda meydana gelen bu yer değiştirmelerin hem gerçek zamanlı hem de sonradan değerlendirmesi yapılarak izlenmesi için Yapı Sağlığı İzleme (YSİ) sistemleri geliştirilmiştir. Günümüzde YSİ sistemlerinde jeodezik (GNSS, Robotik Total Station vb.) ve geoteknik (İvmeölçer, Eğimölçer ve LVDT vb.) sensörler yaygın olarak kullanılmaktadır. Son yıllarda uydu sistemlerindeki ve konum belirleme algoritmalarındaki gelişmelerinin yanı sıra yüksek zamansal çözünürlüklü GNSS alıcıları birçok mühendislik yapısına ait YSİ çalışmalarında kullanılması ile pek çok araştırma konusuna ivme kazandırmıştır. Bu çalışmada, eş zamanlı sabit GNSS istasyon gözlemleri, veri iletişim altyapısı, internet bağlantısı, uydu yörünge ve saat düzeltme bilgisi vb. gibi harici bir parametreye bağlı kalmadan tek bir GNSS alıcısı kullanılarak GPS-VADASE (Variometric Approach for Displacement Analysis Stand-Alone Engine) yaklaşımının düşey yönlü dinamik hareketleri yakalayabilme performansı, gerçek zamanlı (RT) olarak test edilmiştir. Bu amaç doğrultusunda günümüze kadar birçok mühendislik yapısının, YSİ uygulamalarında referans olarak alınan bağıl konum belirleme (RP) yöntemi karşılaştırma kriteri olarak seçilmiştir. GPS-VADASE yöntemini adil bir değerlendirme için ayrıca IGS (Uluslararası GNSS Servisi)'in ürettiği gerçek zamanlı ürünler kullanılarak Yakın-Gerçek-Zamanlı Hassas Nokta Konumlama (N-RT-PPP) tekniğinin performansı ile de karşılaştırılmıştır. Çelik yassı simülasyon çubuğun serbest ucunda üretilen düşey yönlü sönümlü harmonik hareketlerin yakalanabilmesi için RT-VADASE, N-RT-PPP ve RP yöntemleri ile hem zaman hem de frekans alanında değerlendirme yapılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde üretilen düşey hareketlerin, sadece-GPS gözlemleri ile uygulanan VADASE yaklaşımının RP yöntemine göre zaman ve frekans alanında birbiri ile tutarlı olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca RT-VADASE yönteminin, hızlı tehlike değerlendirme uygulamaları içinde kullanılabilen N-RT-PPP yaklaşımına göre hem baskın-frekans genlik değerlerinin hem de karesel ortalama hata (KOH) değerlerinin daha güvenilir sonuçlar verdiği ortaya konmuştur. Bu çalışma ile RT-VADASE yönteminin, RP yöntemine alternatif güçlü bir yöntem olabileceğini göstermektedir. Sonuç olarak, RT-VADASE yöntemi, gerçek zamanlı deprem/tsunami erken uyarı sistemlerinde tamamlayıcı bir yöntem olarak kullanılabilir ve yapı sağlığı izleme uygulamalarında yapılarda meydana gelen yer değiştirmelerin zarar verici veya yıkıcı etkilere maruz kalması durumunda hızlı tehlike değerlendirmesi yapılmasına olanak sağlayacaktır.

**Anahtar Kelimeler:** GNSS, YSİ, GPS-VADASE, N-RT-PPP, IGS.

#### Abstract

Dynamic loads caused by natural events such as earth crust motions, wind, tsunami, volcanic eruptions and landslides; live loads such as traffic, machinery and human loads that occur constantly on the earth cause dynamic displacements by creating both horizontal and vertical vibrations in many engineering structures (Bridge, Skyscraper, Tower, Viaduct, etc.). The Structural Health Monitoring (SHM) systems has been developed to monitor these displacements in buildings both in real time and by post-process. Nowadays, geodetic (GNSS, Robotic Total Station etc.) and geotechnical (Accelerometer, Inclinator and LVDT etc.) sensors are widely used in SHM systems. In addition to the developments in satellite systems and positioning algorithms in recent years, high temporal resolution GNSS receivers have

accelerated many research subjects with their use in SHM studies of many engineering structures. In this study, the performance of the GPS-VADASE (Variometric Approach for Displacement Analysis Stand-Alone Engine) approach to capture vertical dynamic motions was tested in real time (RT) by using a single GNSS receiver without being dependent on an external parameter such as simultaneous fixed GNSS station observations, data communication infrastructure, internet connection, satellite orbit and clock correction information, etc. For this purpose, the Relative Positioning (RP) method, which has been taken as a reference in the SHM applications of many engineering structures, has been chosen as the comparison criterion. For a fair evaluation of the GPS-VADASE method, it was also compared with the performance of the Near Real-Time Precise Point Positioning (N-RT-PPP) technique using real-time products produced by IGS (International GNSS Service). In order to capture the vertically damped harmonic motions produced at the free end of the steel flat simulation bar, an evaluation was made in both time and frequency domains with RT-VADASE, N-RT-PPP and RP methods. When the results are examined, it has been observed that the vertical motions produced are consistent with each other in the time and frequency domain according to the RP method of the VADASE approach applied with only-GPS observations. In addition, it has been revealed that the RT-VADASE method gives more reliable results with both the dominant frequency-amplitude values and the root mean square error (RMSE) values compared to the N-RT-PPP approach, which can be used in rapid hazard assessment applications. This study shows that the RT-VADASE method can be a powerful alternative to the RP method. As a result, the RT-VADASE method can be used as a complementary method in real-time earthquake/tsunami early warning systems and will enable rapid hazard assessment in structural health monitoring applications in case the displacements in the structures are exposed to damaging or destructive effects.

**Keywords:** GNSS, SHM, GPS-VADASE, N-RT-PPP, IGS