

TEK GPS ALICISI İLE YÜKSEK FREKANSLI YAPISAL TİTREŞİMLERİN BELİRLENMESİNDE YENİ BİR KİNEMATİK YÖNTEM

M.H. SAKA¹, C.Ö. YİĞİT¹

¹ Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü,
Gebze, saka@gyte.edu.tr, cyigit@gyte.edu.tr

Özet

Bu çalışmada tek GNSS alıcısı ve geliştirilen kinematik model çözümüne dayalı yüksek frekanslı yapısal titreşimlerin belirlenebilirliği araştırılmıştır. Bu amaçla, esnek ve tek yönlü salınım yapan bir çubuk üzerinde monte edilmiş GNSS alıcısı ile titreşim deneyleri yapılmıştır. Titreşim deneyleri hem birinci mod hem de ikinci mod frekansı üretilecek şekilde gerçekleştirilmiştir. GNSS ölçüleri geliştirilen kinematik model algoritması ve kinematik PPP (Precise Point Positioning) yöntemiyle değerlendirilmiştir. Çelik çubuğun her iki yöntemle elde edilen titreşimleri hem zaman hem de frekans bölgesinde incelenmiş ve karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, geliştirilen kinematik algoritmanın yüksek frekanslı yapısal titreşimleri kinematik PPP yöntemine benzer şekilde belirleyebildiğini göstermiştir.

Anahtar kelimeler : Tek nokta kinematik çözüm, Kinematik PPP, GPS

A NEW KINEMATIC METHOD FOR DETERMINATION OF HIGH-FREQUENCY STRUCTURAL VIBRATIONS WITH SINGLE-GPS RECEIVER

Abstract

In this study, detectability of high-frequency structural vibrations based on only one GNSS receiver and developed kinematic model solution was investigated. For this purpose, free oscillation experiments based on a flexible steel rod, capable of oscillating in one direction, mounted on GNSS receiver were carried out. Oscillation experiments were performed to produce both the first mode and the second mode frequency together. GNSS observations were processed by both the developed kinematic model algorithm and PPP (Precise Point Positioning) method in kinematic mode. Structural vibrations of the rod in time and frequency obtained by both methods were compared. The results have demonstrated that the developed kinematic algorithm can determine high-frequency structural vibrations as much as PPP method.

Keywords: Single point kinematic solution, Kinematic-PPP, GPS

1. Yöntem

Yapı sağlığı izlemelerinde özellikle yüksek frekanslı yapısal titreşimlerin ölçülmesi ve belirlenmesinde ivme sensörü v.b. yüksek frekanslı sensörlerin yanı sıra RTK-GPS yada post-proses Kinematik GPS yöntemi yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Son zamanlarda PPP(Precise Point Positioning) yöntemindeki gelişmeler, araştırmacıları tek GNSS alıcısı verileriyle yapı sağlığı izlemeleri ve deprem

kaynaklı yer hareketlerinin ve frekanslarının tespit edilmesi konularında araştırmalara yönlendirmiştir (Li v.d. 2013, Xu v.d. 2013, Moschas v.d. 2014, Yigit 2014). Bu çalışmalar, tek GNSS alıcısı ve PPP yöntemiyle yüksek frekanslı yapısal titreşimlerin ve deprem frekanslarının belirlenmesinde kullanılabilirliğini ve eş zamanlı referans bir bazda yapılan ölçüyü gerektiren diferansiyel kinematik yöntem alternatif olduğunu göstermiştir. Yigit (2014)' de PPP yönteminin yapı sağlığı izlemelerindeki performansı hem yatay bileşenler hem de düşey bileşen açısından detaylıca karşılaştırılmıştır.

Bu çalışmada, birinci yazar tarafından geliştirilen bir kinematik tek nokta çözümüne dayalı algoritmanın yapı sağlığı izlemelerindeki performansı test edilmiştir. Bu amaçla, GPS alıcısı monte edilmiş esnek hareket kabiliyetindeki bir test düzeneğinin salınımları ölçülmüştür(Yigit 2014). Ölçüler hem kinematik PPP yöntemi hem de geliştirilen yöntem ile değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar zaman ve frekans bölgesinde karşılaştırılmıştır.

Geliştirilen yöntem, koordinatı bilinen bir noktadan ölçmeye başlanması esasına dayanması dolayısıyla özellikle yapı izlemelerine ilişkin problemlerin çözümüne oldukça uygundur. Bu özel durum, yapı izlemeleri probleminde, yöntemin test edilmesi motivasyonunu sağlamıştır.

Yöntem kısaca şu şekilde özetlenebilir; mutlak koordinatları uydu sistemi datumunda yüksek doğrulukla bilinen bir noktadan ölçmeye başlamak suretiyle, faz ölçüleri yardımıyla tek nokta çözümü yapılarak ölçme anlarına(epoks) ilişkin konum bilgilerin hesaplanır. Temel ölçü eşitliği aşağıdaki şekildedir.

(1)

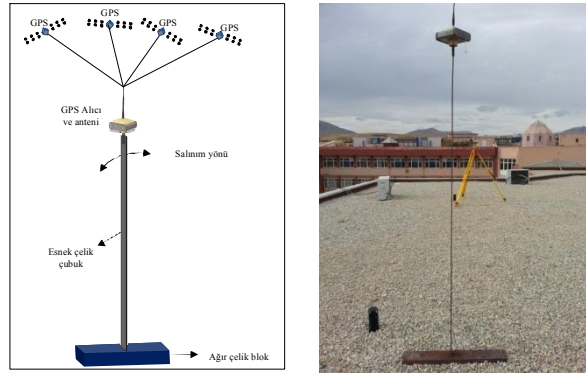
Burada, uydu-alıcı arasındaki hesaplanmış ölçü büyüklüğünü, ilk epogun bilinen nokta koordinatları ve uydu koordinatlarından hesaplanmış olan uzunluğunu, Φ_{L3} iyonosfer-bağımsız faz ölçüsünü göstermektedir. Algoritmada, i ninci epok ile bir önceki (i-1 inci) epok arasındaki uzunluktaki değişim, i-1 ve i ninci epoklardaki faz ölçüsü farklarından hesaplamak suretiyle belirlenir. Bu farklar i-1 deki hesaplanmış kesin kabul edilebilecek uzunluğa eklenerek, i ninci epoktaki ölçü eşitliği elde edilir. Tüm gözlenen uydular için tekrarlanan bu işlemle birlikte, çözüme esas olacak faz ölçülerine dayalı elde edilen hassas uzunluk ölçüleri hesaplanmış olur. Bu ölçüler, bilinen navigasyon çözüm algoritması yardımıyla değerlendirilerek ölçme anlarına ilişkin koordinatlar elde edilmiş olur.

Yönteme ilişkin kullanılan yazılımlar MATLAB ortamında hazırlanmıştır. Yöntem hakkında daha detaylı bilgi Saka ve ark. (2004)' de bulunabilir. Özellikle yöntemin kinematik ortamda mutlak konum doğruluğunun test edilmesi ve diğer kinematik yöntemlerle kıyaslanması Saka ve ark. (2004) ve Saka & Alkan (2013) de incelenmiştir.

Bu çalışma, yöntemin mutlak doğruluğundan farklı olarak, zamana bağlı rölatif konum doğruluğunu ortaya koymasından önem arz etmektedir. Çalışmada, belirli frekanslarda salınım yapabilen deney düzeneği, gerçekleştirilen deneyin özellikleri ve elde edilen sonuçların yorumlanması aşağıda kısaca bahsedilmiştir.

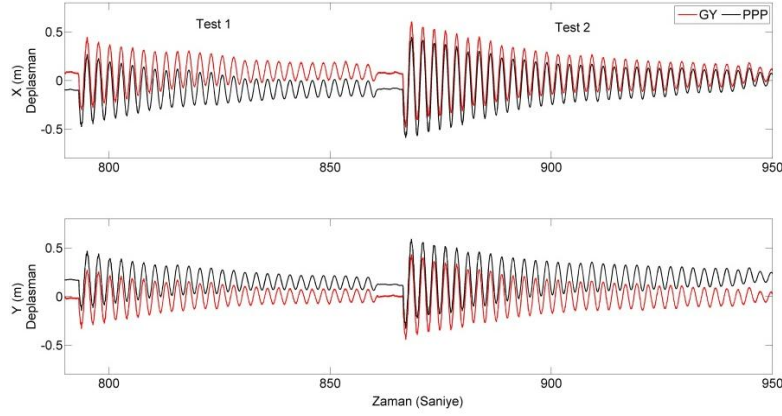
TEK GPS AL. YÜK. FREK. YAP. TİT. BELİR. YENİ BİR KİNEMATİK YÖNTEM

Salınım üretmek için tasarlanan çubuk çelik olup esnek bir yapıya sahiptir. Çubuğun yüksekliği 205 cm, eni 3.95 cm ve kalınlığı 0.55 cm olup tek yönde salınım yapabilmektedir(Şekil 1). Çubuk hem birinci temel frekansta hem de birinci ve ikinci temel frekanslarda birlikte sönümlü salınım yapabilme özelliğine sahiptir. Üzerine GPS anteni monte edilebilecek şekilde tasarlanmıştır. Deneyler, 10 Hz örnekleme frekansında Topcon Hiper Pro alıcısı kullanılarak, açık gökyüzünün olduğu ve rüzgarsız bir ortamda gerçekleştirilmiştir(Yigit 2014). Genliği ve frekans özellikleri farklı birçok sönümlü salınım deneyi yapılmıştır. Bu çalışmada, yaklaşık 21 dakikalık bir veri seti içerisinde hem birinci hem de ikinci mod salınımlarını içeren ardışık iki salınım deneyi seçilmiştir. Deneyler sırasında ortalama 8 GPS uydusu gözlenmiştir. RINEX verileri online CSRS-PPP yazılımı ve MATLAB ortamında geliştirilen programlar ile ayrı ayrı değerlendirilmiştir..



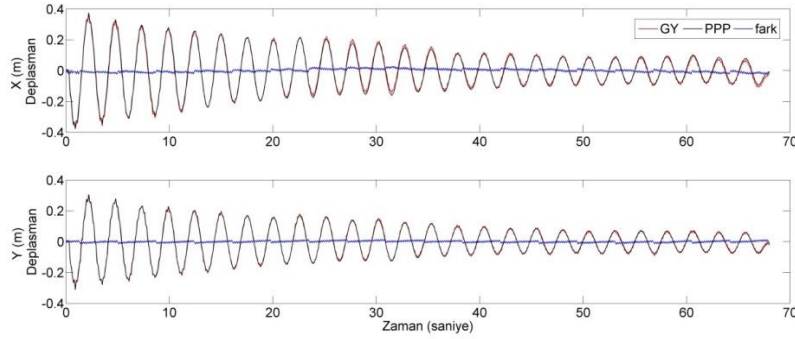
Şekil 1. Esnek çubuk düzeneği ve GNSS anteni

Geliştirilen programın çalışma ilkesi gereği IGS ürünü olan final hassas yörünge ve saat bilgileri kullanılmıştır. Ayrıca, ilk epok koordinatları, PPP koordinatları ile aynı datumda olması için, CSRS-PPP tarafından hesaplanan koordinatlardan alınmıştır. Şekil 2 de her iki yöntemle proses edilmiş iki salınım deneyine ait zaman serisi görülebilir. Şekil 2'den de görüldüğü üzere her iki çözüm arasında bir kayıklık mevcut olmasına rağmen yapısal titreşimler açısından benzer sonuçlar çıkmıştır. Bu iki çözüm arasındaki kayıklık miktarı zamana göre değişim göstermektedir ve noktanın mutlak konumu ile ilgilidir. Gerçek hayatta meydana gelen deprem veya rüzgar olaylarının yapıya olan etkileri genellikle 30 sn – 2 dakika arasında değişmektedir ve yüksek frekanslı yapısal titreşimler bu zaman aralıklarındaki verilerin incelenmesi ve analizi ile belirlenir. Yüksek frekanslı yapısal titreşimler bu araştırmanın özü olduğu için iki sistem arasındaki kayıklık ve trend bileşeni ayrı ayrı giderilmiş ve iki yöntem arasındaki karşılaştırma bu yüksek frekanslı bileşenler üzerinden yapılmıştır. İki yöntemin hem zaman hem de frekans alanında karşılaştırılması için test 1 deneyi aşağıda detaylıca incelenmiştir.



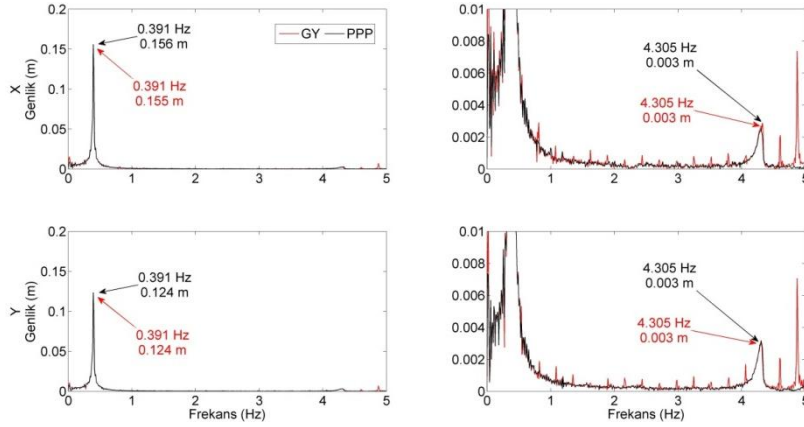
Şekil 2. Yatay yönlü zamana bağlı deplasman hareketleri

Kayıklık ve ofset bileşeni giderilmiş her iki zaman serisi Şekil 3 de verilmiştir. Şekilden de görüldüğü üzere her iki yöntemde dinamik hareketleri benzer şekilde yakalamıştır. Şekilde mavi ile gösterilmiş zaman serisi iki sistem arasındaki farkı temsil etmektedir. Karşılaştırmanın frekans alanında yapılabilmesi için Şekil 3 deki zaman serilerinin FFT analizi yapılmıştır(Şekil 4).



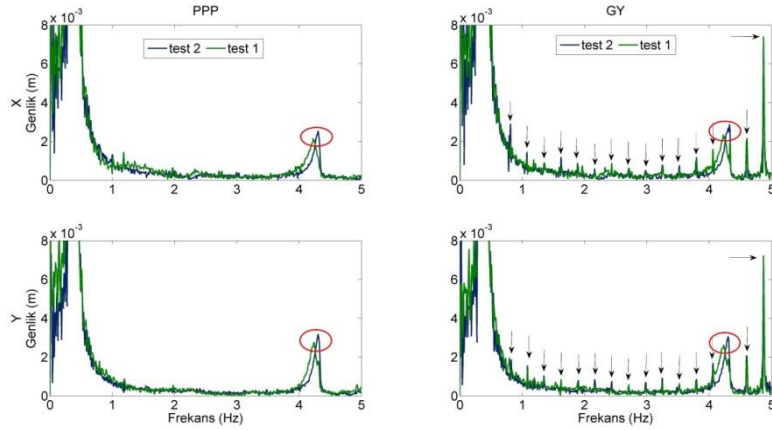
Şekil 3. Üstü üste bindirilmiş 1. ve 2. Mod sinüzoidal salınım hareketi (test 1)

Şekil 4' deki FFT spektrumları incelendiğinde ilk sıçrama her iki yöntemde de 0.391 Hz de gerçekleşmiştir. Ayrıca bu frekansa ait genlikler de benzer olup aralarında yalnızca 1 mm lik bir fark bulunmaktadır. Daha yüksek frekans bileşenleri incelendiğinde ise her iki yöntemde sıçradığı frekans 4.305 Hz dir. Her iki yöntemde çelik çubuğun temel salınım frekanslarını benzer şekilde belirlemiştir. Fakat daha detaylı olarak iki yöntemden elde edilen frekanslar karşılaştırıldığında geliştirilen yöntemin PPP yöntemine göre farklı frekanslarda genellikle küçük genlikli sıçramalar yaptığı görülebilir. Yalnızca 4.873 Hz lik frekansın genliği diğerlerine göre biraz daha yüksektir. Bu tür sıçramalar düşük genlikli yapısal frekans modlarıyla çakışması durumunda tehlikelidir ve yapısal frekansların doğru olarak belirlenememesine sebep olabilir.



Şekil 4. Şekil 3' deki zaman serilerinin FFT spektrumları

Yukarıda bahsi geçen sıçramaların sistematik bir etkiden olup olmadığını anlamak için test 2 nin FFT spektrumu test 1 in FFT spektrumu ile karşılaştırılmıştır (Şekil 5). Şekilde kırmızı elips ile gösterilen çelik çubuğun ikinci mod frekansı olup yapısal frekansı göstermektedir. PPP çözümünün FFT spektrumu incelendiğinde yapısal frekanslar haricindeki frekanslar her iki test içinde beyaz gürültü niteliğini taşımaktadır. Fakat geliştirilen yöntemin FFT sonuçları incelendiğinde, yapısal frekans haricinde diğer frekans sıçramaları her iki test içinde üst üste çıkmıştır. Bu, geliştirilen yöntemi etkileyen sistematik bir durumun olduğunu açıkça göstermektedir.



Şekil 5. Test 1 ve Test 2 FFT spektrumlarının karşılaştırılması

2. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışma, tek GNSS alıcısı ile yapıların dinamik yükler altındaki titreşim frekanslarının PPP yöntemine benzer şekilde geliştirilen algoritma ile de belirlenebileceğini göstermiştir. Fakat geliştirilen algoritma yapısal titreşimlerin yanı sıra genellikle küçük genlikli frekanslarda yapısal olmayan sıçramalar göstermiştir. Çalışmanın bir sonraki aşamasında, geliştirilen algoritmanın bu davranışının nedeni daha farklı frekans ve genliklerde üretilen deneyler grubu ile incelenerek ortaya çıkarılması hedeflenmektedir. Böylelikle algoritmaya dahil edilmesi gereken ilave parametre ve düzeltmelerle daha kararlı sonuçlar elde edilebilir ve geliştirilen algoritma daha güvenilir bir şekilde yapı sağlığı izlemelerinde kullanılabilir. Bu

çalışmanın bir sonraki ikinci hedefi mevcut algoritmanın yapısal titreşimlerin gerçek zamanlı ya da çok kısa gecikmeli olarak belirlenebilmesi için geliştirilmesi olacaktır.

Kaynaklar

Li X, Ge M, Zhang X, Zhang Y, Guo B, Wang R, Klotz J, Wickert J. 2013. Real-time highrate co-seismic displacement from ambiguity-fixed Precise Point Positioning: application to earthquake early warning. *Geophys Res Lett.* 40:295_300.

Moschas F, Avallone A, Saltogianni V, Stiros S.C. 2014. Strong motion displacement waveforms using 10-Hz precise point positioning GPS: an assessment based on free oscillation experiments. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, Published online in Wiley Online Library (wileyonlinelibrary.com). DOI: 10.1002/eqe.2426

Saka M.H. and Alkan R.M., 2013 “An Approach for Decimeter-Level Positioning by Using Single Receiver in Hydrographic Applications”, *Abstract Book of The 2nd International Conference on: Measurement Technologies in Surveying-GTP 2013*, p.35-36.

Saka M.H., Kavzoglu T., Ozsamli C., Alkan R.M., 2004, Sub-Metre Accuracy for Stand Alone GPS Positioning in Hydrographic Surveying, *The Journal of Navigation*, 57, 135-144.

Xu P, Shi C, Fang R, Liu J, Niu X, Zhang Q, Yanagidani T. 2013. High-rate Precise Point Positioning (PPP) to measure seismic wave motions: an experimental comparison of GPS PPP with inertial measurement units. *J Geod.* 87:361_372.

Yigit C.O. (2014) Experimental assessment of post-processed kinematic Precise Point Positioning method for structural health monitoring, *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, Online First [16 May 2014],1-24, DOI:10.1080/19475705.2014.917724

Zumberge J.F., Heflin M.B., Jefferson D.C., Watkins M.M., Webb F.H., (1997). Precise Point Positioning for the Efficient and Robust Analysis of GPS Data from Large Networks, *J. Geophys. Res.*, 102(B3), 5005-5017.