

**Makale
(Article)**

Tek GPS Alıcısı Ölçülerinin Değerlendirilmesinde Yeni Bir Kinematik Algoritma ve Yapısal Titreşimleri Belirleme Kabiliyeti

Mehmet Halis SAKA*, Cemal Özer YİĞİT*

* Gebze Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü, Gebze/TÜRKİYE
co.yigit@gmail.com

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 üretilmiş 2 farklı titreşim veri seti kullanılmıştır. Titreşim deneyleri hem birinci mod hem de ikinci mod temel frekansları içeren sönümlü sinisoidal özellikte 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 Algorithm For Processing Data From Stand-Alone GPS Receiver and its Ability of Determining Structural Vibrations

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, two data sets generated from dual frequency GNSS receiver attached on flexible steel bar(rod) which oscillates one way direction were used. Free decayed sinusoidal 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. GİRİŞ

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 yöntemindeki gelişmeler [1],

*Bu makaleye atıf yapmak için
"Tek GPS Alıcısı Ölçülerinin Değerlendirilmesinde Yeni Bir Kinematik Algoritma ve Yapısal Titreşimleri Belirleme Kabiliyeti" Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi 2014, 6(2) 49-55*

*How to cite this article
"A New Kinematic Algorithm For Processing Data From Stand-Alone GPS Receiver and its Ability of Determining Structural Vibrations" Electronic Journal of Map Technologies, 2014, 6(2) 49-55*

araştırmacıları tek GNSS alıcısı verileriyle yapı sağlığı izlemeleri ve deprem kaynaklı yer hareketlerinin ve frekanslarının tespit edilmesi konularında araştırmalara yönlendirmiştir [2, 3, 4, 5]. 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 yönteme alternatif olduğunu göstermiştir. [5]' de PPP yönteminin yapı sağlığı izlemelerindeki performansı hem yatay bileşenler hem de düşey bileşen açısından detaylıca değerlendirilmiş ve diferansiyel kinematik yöntemle karşılaştırılmıştır. Çalışma, kinematik PPP yönteminin diferansiyel kinematik yönteme alternatif olarak rahatlıkla kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Bu çalışmada, kinematik tek nokta çözümüne dayalı algoritmanın yapı sağlığı izlemelerindeki performansı test edilmiştir. Bu amaçla, GPS alıcısı monte edilmiş esnek hareket kabiliyetindeki bir test düzeneğinin sınımları ölçülmüştür [5]. Ölçüler hem kinematik PPP yöntem hem de geliştirilen yöntem ile değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar zaman ve frekans bölgesinde karşılaştırılmıştır.

2. TEK NOKTA KİNEMATİK ÇÖZÜM ALGORİTMASI

Geliştirilen yöntemle, çift frekanslı GPS alıcısı verilerinin işlenmesi ve kinematik konum bilgilerinin hesaplanması amaçlanmıştır. Yöntem, mutlak koordinatları uydu yörünge koordinatlarıyla aynı datumda yüksek doğrulukla bilinen bir noktadan ölçmeye başlanması esasına dayanmaktadır. Kullanıcının yalnızca çift frekanslı bir alıcıya ihtiyacı vardır. Yöntemde, iyonosfer-bağımsız taşıyıcı faz ölçüleri, hassas uydu yörüngeleri ve uydu saat düzeltmeleri kullanılır.

Algoritmada, verilerin değerlendirme işlemi uydular ve bilinen nokta arasındaki mesafelerin (R) hesaplanması ile başlar. Bir sonraki epok için temel ölçü eşitliği aşağıdaki şekildedir.

$$PR(t_i) = R(t_{i-1}) + [\Phi_{L3}(t_i) - \Phi_{L3}(t_{i-1})] \quad (1)$$

Burada, $PR(t_i)$ uydu-alıcı arasındaki hesaplanmış ölçü büyüklüğünü, $R(t_{i-1})$ ilk veya bir önceki epokun 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, 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.

Φ_{L3} iyonosfer bağımsız faz ölçüsü [6],

$$\Phi_{L3} = \alpha\Phi_1 - \beta\Phi_2 = \varrho + c\Delta\delta + \Delta^{trop} + \alpha N_1 + \beta N_2; \quad \alpha = \frac{\lambda_1 f_1^2}{f_1^2 - f_2^2}, \quad \beta = \frac{\lambda_2 f_2^2}{f_1^2 - f_2^2} \quad (2)$$

şeklinde ifade edilir. Burada, ϱ geometrik uzunluk, $\Delta\delta$ alıcı saat hatası, Δ^{trop} troposferik etki, N_1 ve N_2 başlangıç faz belirsizliğidir. Ardışık farklar faz uzunluklarını hesaplamak için kullanıldığı için, N_1 ve N_2 faz başlangıç belirsizlikleri elimine edilmiş olur. Troposferik etki yaygın modellerden olan simplified Hopfield ile modellenmiştir.

Yöntemin uygulanmasından önce mevcut faz sıçramalarının belirlenmesi gerekmektedir. Bu çalışmada faz sıçramaları, aşağıda denklemi verilen faz artıkları yöntemi uygulanarak belirlenmiştir.

$$\Phi_{ion-res} = \Phi_{L1} - \frac{f_1}{f_2} \Phi_{L2} \quad (3)$$

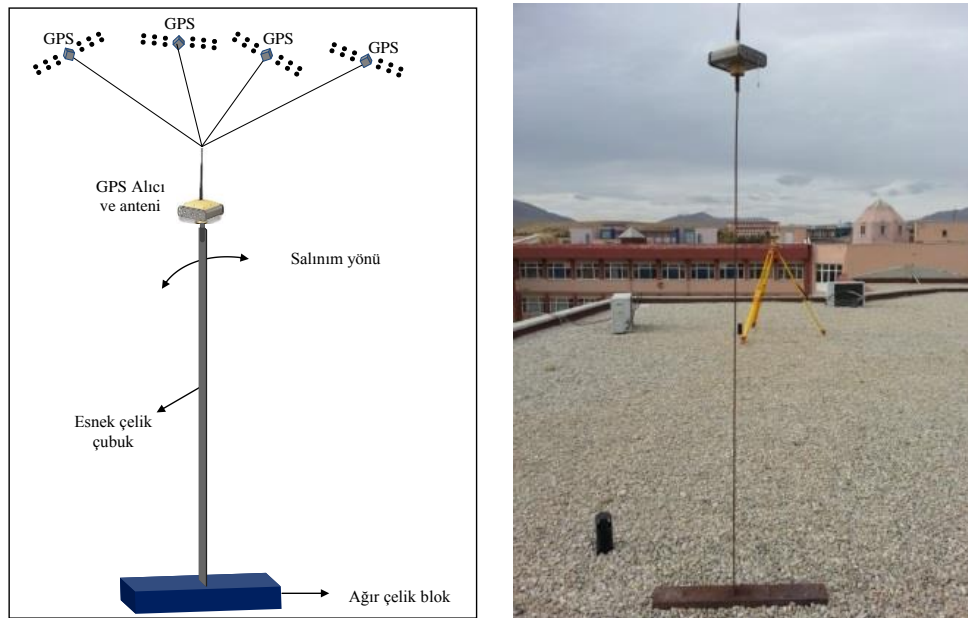
Burada Φ_{L1} ve Φ_{L2} bir uydunun faz ölçüleridir. Normal şartlar altında ardışık ölçmelerde iyonosferik etki yüzünden zamanla küçük değişiklikler olabilir ve bir adet faz sıçraması belirlenebilir. Yaygın olarak bilinen Kalman filtreleme yöntemi faz sıçraması olup olmadığını belirlemek için kullanılır. Eğer her hangi bir uyduya ait faz sıçraması tespit edilirse, o uydunun başlangıç işlemleri yeniden uygulanır. Aynı işlem prosedürü gözlem sırasında yeni katılan uydular için de uygulanır [6].

Yönteme ilişkin kullanılan yazılımlar MATLAB ortamında hazırlanmıştır. Geliştirilen yönteme ilişkin yukarıda bahsedilen matematiksel modeller ve işlem sırası iş akış diyagramı olarak [7]'de detaylıca verilmiştir. Ayrıca, geliştirilen yöntemin mutlak konum doğruluğunun test edilmesi ve hidrografik ölçmelerde kullanılabilirliğine ilişkin araştırma ve sonuçları [7] ve [8]'de verilmiştir.

Bu çalışmada, 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.

3. SALINIM DENEYİ

Bu çalışmada, yöntemin yüksek frekanslı yapısal titreşimleri belirleyebilme kabiliyeti üzerine GPS anteni monte edilebilen çelik bir çubuk kullanılarak test edilmiştir. Çelik çubuğun yüksekliği 205 cm, eni 3.95 cm ve kalınlığı 0.55 cm dir(Şekil 1). Çubuk tek yönde hem birinci temel frekansta hem de birinci ve ikinci temel frekanslarda birlikte sönümlü salınım yapabilme özelliğine sahiptir. Titreşim deneyleri, 10 Hz örneklem frekansında Topcon Hiper Pro alıcısı kullanılarak, açık gökyüzünün olduğu ve rüzgarsız bir ortamda gerçekleştirilmiştir[5]. 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(The Canadian Spatial Reference System-Precise Point Positioning) yazılımı ve MATLAB ortamında geliştirilen programlar ile ayrı ayrı değerlendirilmiştir.



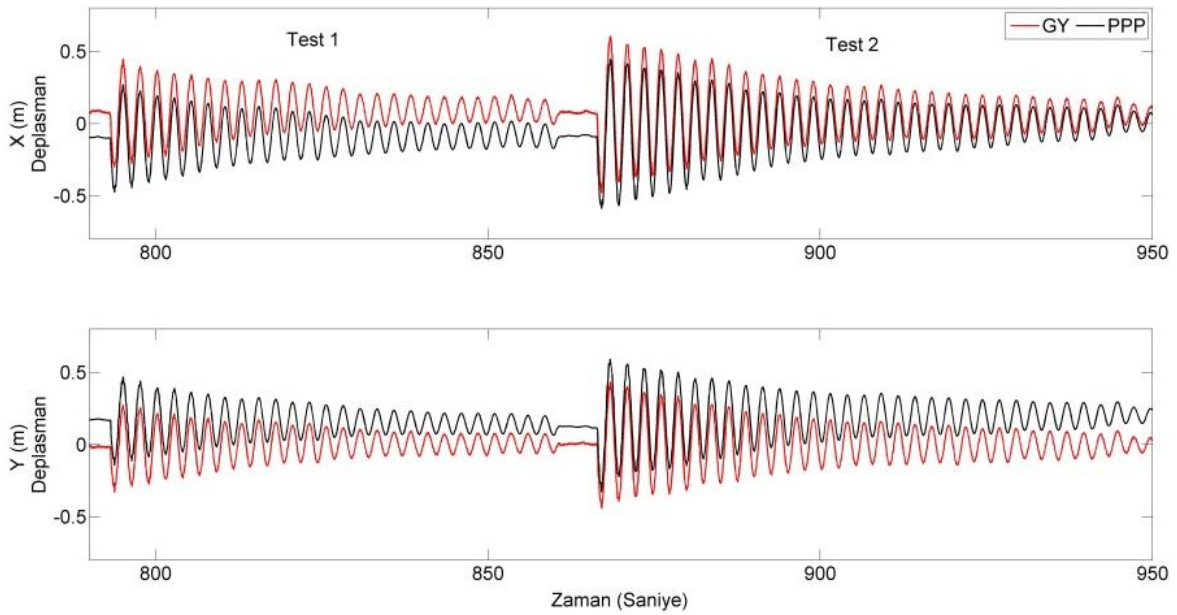
Şekil 1. Esnek çubuk düzeneği ve GNSS anteni [5]

CSRS-PPP kayıtlı kullanıcıların internet üzerinden yüklediği GNSS gözlem dosyalarını(RINEX) değerlendiren(post-process) online bir GNSS uygulamasıdır. Yazılım daha önceden sadece GPS verilerini

işlerken, 1650 GPS haftasından sonra GLONASS verilerini de değerlendirebilmektedir. Yazılım, tek veya çift frekanslı GNSS verilerini, statik veya kinematik yöntemle değerlendirebilir. Kayıtlı kullanıcıların yapması gereken servisin son derece kolay web ara yüzünü kullanarak verilerini yüklemesi, verilerin değerlendirme yönteminin (statik yada kinematik) ve sonuçların hangi datumda (NAD83, ITRF) olması gerektiğini seçmesidir. Online olarak ham veriler gönderildikten sonra, kullanıcılar NAD83 veya ITRF referans sisteminde düzeltilmiş koordinatları e-posta yoluyla alırlar. CSRS-PPP yazılımına ilişkin daha detaylı bilgiye hizmet verdiği ilgili web sayfasından ulaşılabilir (<http://webapp.geod.nrcan.gc.ca/geod/tools-outils/ppp.php>).

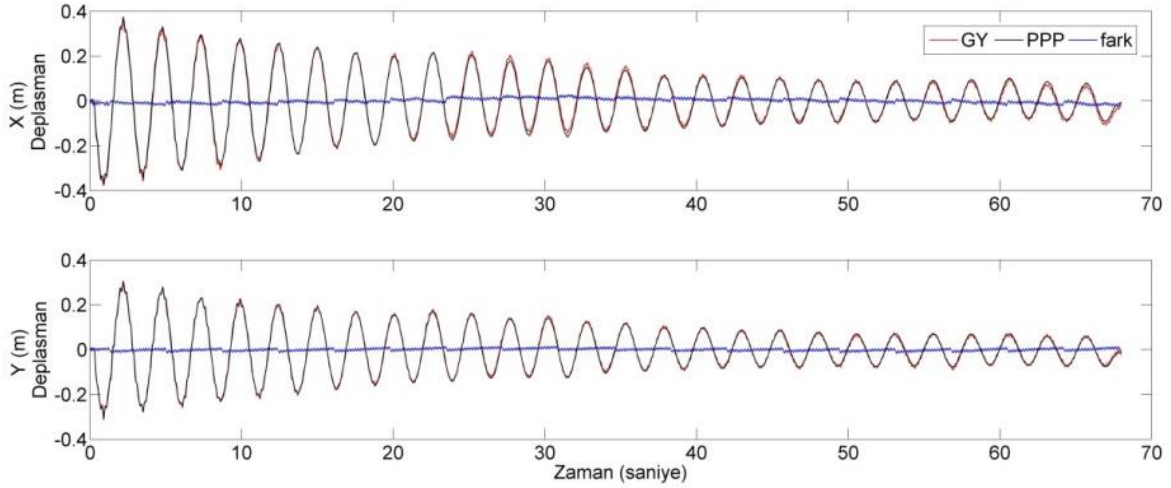
4. UYGULAMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Geliştirilen programın çalışma ilkesi gereği IGS ürünü olan nihai (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 hem geliştirilen yöntem hem de CSRS-PPP ile değerlendirilmiş, iki salınım deneyine ait, zaman serileri verilmiştir. Şekilden de görüldüğü üzere her iki çözüm arasında bir kayıklık (öteleme) mevcut olmasına rağmen yapısal titreşimler açısından benzer sonuçlar çıkmıştır. Bu iki çözüm arasındaki ötelenme miktarı zamana göre değişim göstermektedir ve yöntemlerin mutlak konum doğruluğunun farklı olmasından kaynaklanmaktadır. Gerçek hayatta meydana gelen deprem veya rüzgar olaylarının yapıya olan etkileri genellikle, rüzgarın veya depremin yapısına bağlı olarak 10 saniyeden 120 saniyeye kadar sürebilmektedir. Yüksek frekanslı yapısal titreşimler bu zaman aralıklarındaki verilerin incelenmesi ve analizi ile belirlenirler. Yüksek frekanslı yapısal titreşimler bu araştırmanın özü olduğu için iki sistem arasındaki kayıklık ve trend bileşeni önem arz etmemektedir. Bu yüzden, iki yöntemin karşılaştırması kayıklık ve trend bileşenleri giderildikten sonra yapılmıştır. Yöntemlerin hem zaman hem de frekans alanında karşılaştırılması test 1 deneyi verileri kullanılarak aşağıda detaylıca incelenmiştir.



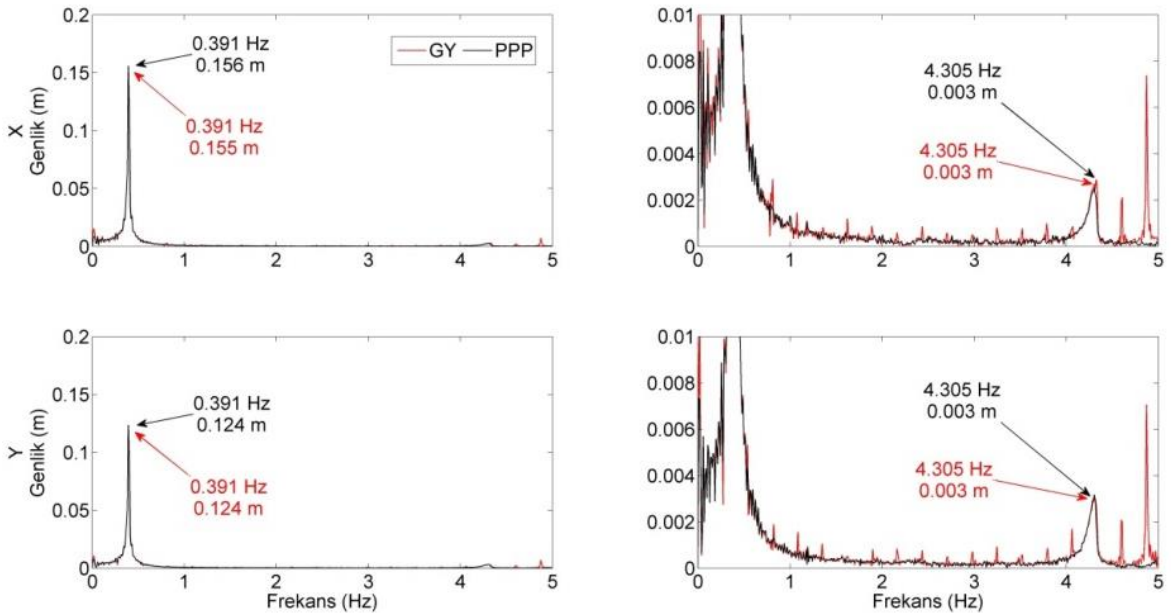
Şekil 2. Yatay yönlü zamana bağlı deplasman hareketleri

Kayıklık ve trend 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 spektrumları Şekil 4 de verilmiştir.



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

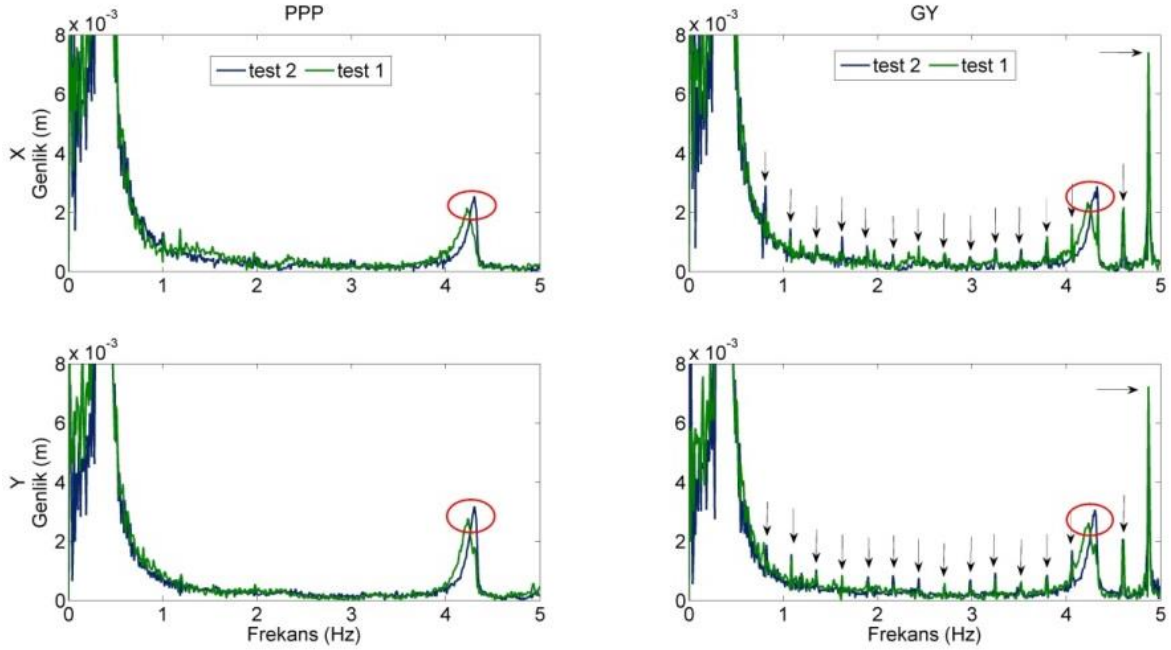
Şekil 4’ deki FFT spektrumları incelendiğinde ilk sıçrama her iki yöntemde de 0.391 Hz de gerçekleşmiştir. Ayrıca bu frekansa ait genlikler de benzer olup aralarında yalnızca 1 mm lik bir fark bulunmaktadır. Daha yüksek frekans bileşenleri incelendiğinde ise her iki yöntemde sıçradığı frekans 4.305 Hz 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 görülmektedir. 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 geliştiren yöntemin FFT sonuçları incelendiğinde, yapısal frekans haricinde diğer frekans sıçramaları her iki test içinde üst üste çıkmıştır. Bu durum, geliştirilen modelden kaynaklanan sistematik bir farklılık olduğunu göstermektedir.



şekil 5. Test 1 ve Test 2 FFT spektrumlarının karşılaştırılması

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Her hangi dinamik bir yüke maruz kalmayan mühendislik yapılarında GPS ölçme noktalarının koordinatları önceden yapılan statik GPS ölçmeleriyle hassas bir şekilde belirlenebildiği için, geliştirilen algoritmanın yüksek frekanslı yapısal titreşimleri belirleme problemlerinde kullanılması oldukça uygundur. 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 da göstermiştir. Çalışmanın bir sonraki aşamasında iki temel hedef seçilmiştir. Birinci hedef: algoritmaya dahil edilmesi gereken ilave parametre ve düzeltmelerin tespit edilerek modele dahil edilmesi, ikinci hedef: mevcut algoritmanın yapısal titreşimleri gerçek zamanlı ya da çok kısa gecikmeli olarak belirleyebilmesi için geliştirilmesidir.

NOT

Bu çalışma, Hitit Üniversitesinde 15-17 Ekim 2014 tarihleri arasında gerçekteştirilen 7. Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumunda sunulan “Tek GPS alıcısı ile yüksek frekanslı yapısal titreşimlerin belirlenmesinde yeni bir kinematik yöntem” başlıklı çalışmanın revize edilmiş ve genişletilmiş halidir.

6. KAYNAKLAR

1. 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.
2. 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.
3. 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.
 4. 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
 5. 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
 6. Hoffmann–Wellenhopf, B., Lichtenegger, H. and Walse, E., 2008, “GNSS:Global Navigation Satellite Systems – GPS, GLONASS, GALLILEO & more”, Springer , Wien, New York.
 7. Saka, M.H. and Alkan R.M., 2014, “Decimeter-level positioning in dynamic applications with a single GPS receiver”, *Acta Geodaetica et Geophysica*, online first [04 September 2014], 1-9, DOI 10.1007/s40328-014-0065-5
 8. 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.