

YER KABUĞU HAREKETLERİNİN İZLENMESİNDE HAFIZAYI ZAYIFLATMA VE ADAPTİV FİLTRELEME METOTLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

Cahit Tağı ÇELİK

Niğde Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü, Niğde- 51100

Geliş Tarihi : 08.08.2002

ÖZET

Yer kabuğu hareketlerinin izlenmesi, jeodezide deformasyon ölçüleri ve irdelenmeleri kapsamında incelenmektedir. Yer kabuğu hareketlerinin izlenmesinde iki epoktan çok ölçüler yapılacaksa, Plaka Tektoniği teorisine göre istasyonlar bir epoktan diğerine rasgele hareket etmemekte olup, Kalman Filtre tekniğinin kullanılması uygun olabilir. Ancak yer kabuğundaki ani hareketler özellikle depremler oldukça kısa sürede hızlı hareket ederek, yer kabuğunda büyük yer değiştirmelere sebep olabilir. Böyle bir etki Kalman Filtre tekniği kullanıldığında, ilgili epoktan itibaren çok sayıda epokun sonuçlarını büyük ölçülerde etkileyebilir. Bu makalede, yukarıdaki etkiyi elimine etmek için kullanılan iki yöntem karşılaştırılmıştır. Bu yöntemler, Hafızayı Zayıflatma yöntemi ve bilinmeyen bir bias(yanlı değer) için Adaptiv Kalman Filtre yöntemleridir.

Anahtar Kelimeler : Yer kabuğu hareketleri, GPS(Global Positioning System), Kalman filtre, Adaptiv kalman filtre

A COMPARISON OF TWO METHODS FADING MEMORY FILTER AND ADAPTIVE KALMAN FILTER IN MONITORING CRUSTAL MOVEMENT

ABSTRACT

Monitoring the Crustal Movement in Geodesy is performed by the deformation survey and analysis. If monitoring the crustal movements involves more than two epochs of survey campaign then from the plate tectonic theory, stations do not move randomly from one epoch to the other, therefore Kalman Filter may be suitable to use. However, if sudden movements happened in the crust in particular earthquake happened, the crust moves very fast in a very short period of time. When Kalman Filter used for monitoring these movements, from associated epoch, for a number of epochs the results may be biased. In the paper, comparison of two methods for elimination of the above mentioned biases have been performed. These methods are Fading Memory Filter and Adaptive Kalman Filter for an unknown bias.

Key Words : Crustal movements, GPS, Kalman filter, Adaptive kalman filter

1. GİRİŞ

Jeodezik araştırmalarda deformasyon irdelenmeleri en önemli beklentilerden biridir. Bu konuda çok çeşitli teknikler değişik merkezlerce geliştirilmiştir. Bu tekniklerin bazıları Baarda, (1968),

Charazanowsky et al. (1981), Chen, (1983), Heck et al., 1983 literatürlerinde ayrıntılı olarak verilmiştir. Bunlar ve Drewes et al. (1995), Segall, et al. (1993) gibi çalışmalarda yer değiştirme vektörü ardışık iki epok arasında basit koordinat farkları olarak elde edilmiş olup bu vektör ve bunların kovaryanslarıyla istatistiksel irdeleme yapılarak

noktaların konumlarının değişip değişmediği araştırılmıştır.

Plaka tektoniği teorisi ve modellerinden (DeMets et al., 1990) anlaşıldığı gibi istasyonlar bir epoktan diğerine rasgele hareket etmezler (belirli yönde ve belirli bir süratle). Bu bilgi dikkate alınarak deformasyon irdelemelerinde ve yer kabuğu hareketlerini izlemede Kalman Filtreleme (Kalman, 1960; Cross, 1994) gibi teknikler çeşitli araştırmacılar tarafından kullanılmıştır (Drewes, et al., 1995; Feigl et al., 1993; Çelik, 1995).

Kalman Filtreleme Tekniği kullanılarak izlenen yer kabuğu hareketlerinde deprem gibi ani hareketler meydana geldiğinde, sonuçlar ani hareketin başladığı epoktan başlamak üzere biaslı olacak ve bir çok epoku etkileyecektir (Çelik, 1998).

Bu etkileri elimine etmek ve sabit yer kabuğu hızları elde etmek için iki metodu içeren deformasyon irdeleme tekniği önerilmiştir (Çelik, 1998; Çelik, 1999).

Bu çalışmada, Doğu Akdeniz GPS Jeodinamik Projesinde(EASTMED) ölçülen iki GPS kampanyasındaki veriler kullanılarak yapılan simülasyon ile üretilen veriler kullanılmıştır. Bu verileri kullanarak Çelik, 1999'de önerilen Hafızayı Zayıflatma Filtresi ile bilinmeyen bir ölçü hatası olan sistem için adaptiv kestirim tekniklerle sonuçlar elde edilmiş ve bu teknikler karşılaştırılmıştır.

2. HAFIZAYI ZAYIFLATMA VE BİLİNMEYEN BİR BİAS İÇİN ADAPTİV KESTİRİM TEKNİKLERİ

Hafızayı zayıflatma yöntemi Sorenson and Sacks (1971)'de verilmiş, Çelik (1999)'da yer kabuğu hareketlerine uygulanmıştır. Temelde bu yöntem, Kalman Filtre yönteminde sapmaya sebep olan yıkıcı model hatalarından kaynaklanan problemin çözümü için kullanılmaktadır. Bu yöntem, geçmiş verilerin etkisini güncelleme ve tahmin aşamalarında azaltarak, bozucu etkinin kestirimdeki etkisi elimine edilmiş olmaktadır. Bu işlem en küçük kareler yöntemindeki ağırlık matrisleriyle yapılmaktadır. Normalde, tüm veriler aynı çabayla işlenir iseler ağırlıkları eşit olmalıdır. Fakat geçmişteki verilerin etkisini azaltmak için güncel ölçülerden önceki elde edilen veriler ile ilişkili ağırlık matrislerine küçük değerler verilerek bu işlem tamamlanır. Bu yöntem ayrıntılarıyla Çelik (1999)'da verilmiştir.

Diğer yöntem bilinmeyen ölçü biaslı sistem için Adaptiv kestirim Richard et al. (1986)'da su altında

yer değiştiren takip edilen hedefler için geliştirilmiştir. Bu yöntemde, stokastik sistem, bias durumu yarı-Markov model ile modellenebileceği kabulü yapılarak, modellenmiştir. Yarı-Markov modeli Biyasian kestirim tekniğine yerleştirilerek paralel adaptiv olarak ağırlıklı Kalman Filtre eşiklikleri elde edilmiştir. Bu konunun ispatı için okuyucunun Richard et al. (1986)'e müracaat etmesi önerilir. Bu tekniğin yer kabuğu hareketlerini izlemek için adaptasyonu Çelik (1998)'de verilmiştir.

Her iki metodun da kullanılmadan önce Standart Kalman Filtre tekniğinde ani hareketlerin oluştuğu epokun (veya epokların) tespit edilmeleri gerekmektedir. Bu tespitler iki istatistiksel test ile Çelik (1998), Çelik (1999)'da yapılmıştır. Bu yöntemler isim olarak, Bölgesel Genel Model ve Bölgesel Kayma Testleri dir. Bu testlerin algoritması için Teunissen and Salzmann (1988)'e başvurulmalıdır.

Kısaca izlenen yol,

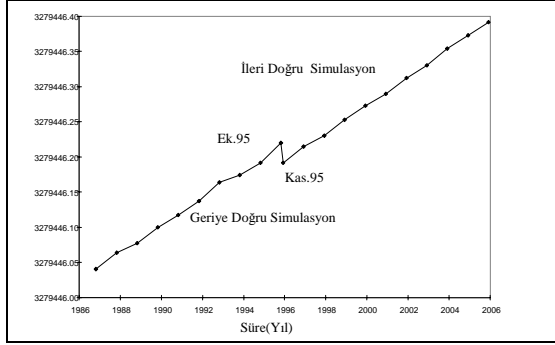
- Önce Standart Kalman filtre yapılır,
- Bu filtreleme sırasında her epok için sözü edilen iki test ardışık olarak yapılır,
- Eğer test başarısız olursa, bu epok tan itibaren sözü edilen iki yöntemden biri kullanılarak, testin başarısız olmasına sebep olan sorun elimine edilerek sonuçlar elde edilir.

3. KULLANILAN VERİLER

Nottingham Üniversitesince, yürütülen EASTMED projesinin ana amaçlarından biri Doğu Akdeniz bölgesinde yer kabuğu hareketlerini izlemektir. Bu projede iki GPS ölçüm kampanyası gerçekleştirilmiştir. İlki Ekim 1995'de ikincisi, Eliat/Aqaba Körfezinde meydana gelen 7.1 şiddetinde depremden hemen sonra Kasım 1995'te yapılmıştır. Birinci kampanyada 17 istasyonda GPS ölçümleri yapılmıştır. Bu istasyonların kısaltılmış dört harften oluşan isimleri, SAMS, ANKR, MENT, MELE, ANTG, CYPR, HAIF, TECH, TARD, BARG, BEER, MIZP, ELAT, DALA, SHOB, AQAB, ve HELW'dir. İkinci kampanya GPS ölçümleri bu istasyonların sadece beş tanesinde yapılmıştır. Bunlar TARD, BARG, DALA, ELAT, ve AQAB 'dır. Bu ölçüler Nottingham Üniversitesi tarafından geliştirilen GPS irdeleme yazılımı (GAS) ile değerlendirilmiştir. Bu sonuçlar Çelik (1998)'da verilmiştir.

Testte kullanılan veriler bu iki gerçek kampanyayı temel alarak Ekim 95 kampanyasından itibaren on

epok geriye doğru ve Kasım 95 kampanyasından ileriye doğru 10 epok olmak üzere, plaka tektoniği modellerinden NNR NUVEL-1 (DeMets et al., 1990) ile simülasyon yapılarak elde edilmiştir. Bu simülasyonda ELAT istasyonunun yukarı değerleri Şekil 1’de gösterilmiştir.



Şekil 1. Simülasyon sonrası ELAT istasyonunun yukarı değerleri

Şekilden anlaşılacağı üzere, ELAT istasyonunun yıllara göre aldığı yukarı değerleri, Ekim 95’e kadar ve Kasım 95’den sonra sabit bir değere yakın yer değiştirmektedir. Fakat bir ay kadar kısa bir süre içerisinde (Ekim-Kasım 95) oldukça farklı değer almıştır.

4. TARTIŞMA

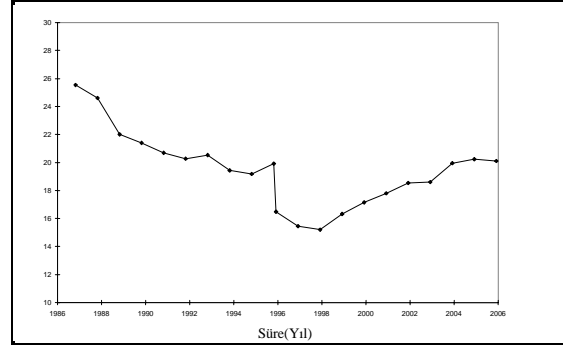
Simülasyonlarla birlikte toplam 21 epoka ilişkin koordinatlar yazarın geliştirdiği VEBUK(Velocity Estimation by Using Kalman Filter) isimli yazılımla işlenmiştir. Bu program Çelik (1998)’de ayrıntılı olarak anlatılmıştır.

Program Kalman Filtre Modunda çalıştırılmıştır. ELAT istasyonunun yukarı değer hız bileşenleri elde edilerek Şekil 2’de sunulmuştur. Burada hızlar mm/yıl cinsinden çizilmiştir. Makalede çok yer kaplayacağı nedeni ile sadece ELAT istasyonunun yukarı değer hız bileşeni verilmiştir.

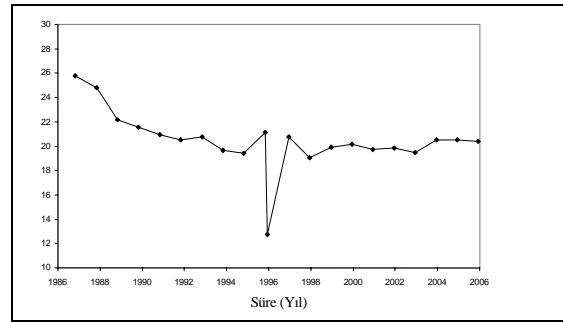
Şekil 2’den görüleceği gibi 11. epoktan sonraki çok sayıda epok bu ani hareketten etkilenmiştir. Bu sebepten kestirilmiş hız vektörleri biaslı olmuştur. VEBUK programı, daha sonra, test moduna getirilerek çalıştırılmış ilgili epoklarda test(Bölgesel Genel Model ve Bölgesel Kayma testi) başarıyla olmuştur.

VEBUK programı hafızayı zayıflatma modunda çalıştırılmış ELAT istasyonunun hız vektörlerinin yukarı değer bileşenleri elde edilerek Şekil 3’te

gösterilmiştir. Şekilden açıkça 11. epoktan sonraki epoklar bu ani hareketten kaynaklanan etkiden arındırılmış olduğu görülmektedir.

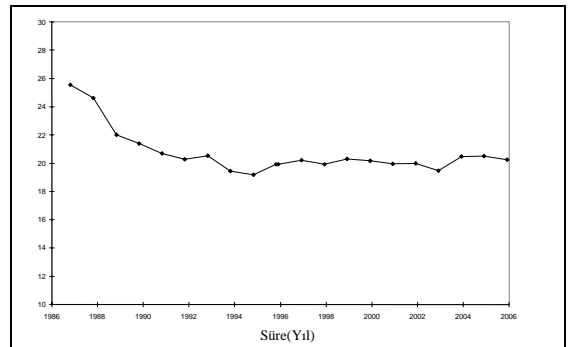


Şekil 2. Standart kalman filtreleme ile kestirilmiş ELAT istasyonunun hız vektörünün yukarı değer bileşenleri



Şekil 3. Hafızayı zayıflatma yöntemi ile kestirilmiş ELAT istasyonunun hız vektörünün yukarı değer bileşeni

Aynı program Adaptif Filtre modunda çalıştırılarak ELAT istasyonunun hız vektörünün yukarı değer bileşenleri elde edilerek Şekil 4’te gösterilmiştir.



Şekil 4. Adaptif filtre yöntemiyle ELAT istasyonunun hız vektörünün yukarı değer bileşenleri

Burada, biasa neden olan büyüklük tespit edilerek elimine edilmiştir. Gerek 11. epok ve gerekse daha sonraki epoklar 10-11. epoklar arasında meydana gelen deprem nedeniyle oluşan biasın etkisini taşımamaktadır.

Hafızayı zayıflatma metoduyla elde edilen hız vektörleri biasın olduğu epoktan önceki epokların etkisini az miktarda taşımaktadır. Bu nedenle uygulanan kalman filtreleme burada zayıflatmaktadır ve sonuçları aynı oranda daha gevşek bırakmaktadır. Bu depremin sebep olduğu hızı tespit için uygun olabilir. Fakat ani hareketten sonraki epoklarda basit koordinat farklarına yakın sonuçlar verebilmektedir.

Adaptiv filtreleme de biasın olduğu epoktaki etki miktarı tespit edilerek elimine edildiği için filtreleme özelliğini korur.

Bu nedenlerden dolayı, yer kabuğu hareketi izlenecek bölgenin uzun döneme ait hız vektörleri elde edilmesi planlanıyorsa, global plaka tektoniği modeli gibi (örneğin Nuvel-1A) Adaptiv filtreleme benzer durumlarda kullanılabilir.

5. SONUÇLAR

Bu makalede, Kalman filtreleme yöntemine göre yer kabuğu hareketlerinin izlenmesinde deprem gibi ani hareketlerin sebep olabileceği biasın, diğer epoklar üzerindeki etkilerini elimine edebilecek iki metod karşılaştırılmıştır. Bu metodlar hafızayı zayıflatma ve adaptiv filtreleme yöntemleridir.

Bu metotlarda yazarın EASTMED projesindeki gerçek verileri kullanarak yaptığı simülasyon ile elde ettiği sağa ve yukarı değerler kullanılmıştır. Her iki metottan elde edilen hız bileşenleri grafikler halinde sunulmuştur.

İstasyon hızlarının rasgele olamayacaklarına da dikkate alarak hız vektörü bileşenlerinin sabit bir değere yakın sonuçlar vermesi beklenebilir. Bu durum sonuçlar içerisinde adaptiv filtreleme ile elde edilen sonuçlara en uygun olarak gözlenmiştir.

Ani hareketlerden arındırılmış sonuçları ve depremlerin oluşum periodları (ard arda oluşan depremler arasındaki zaman) kullanılarak, yer kabuğundaki güç birikmeleri hesaplanabilir ve bu bilgilerle, ilgili bölgede olabilecek depremlerin önceden tahmin edilmesine olanak verebilir.

6. KAYNAKLAR

Baarda, W. 1968. A Testing Procedure for use in Geodetic Networks, Publication on Geodesy, Volume 2, Number 5 Netherlands Geodetic Commission, Netherlands.

Charazanowsky, A. and Members of FIG Ad Hoc Committee, 1981. A comparison of Different

Approaches into the Analysis of Deformation Measurements, Proceedings FIG XVI Congress, No. 602.3, Montroux.

Chen, Young-qı, 1983. Analysis of Deformation Survey—A Generalised Method, TR.94 UNB, Canada.

Cross, P. A. 1994. Advanced Least Square Applied to Position-Fixing, Working Paper No.6, School of Asurveying, University of East London, London.

Çelik, C. T. 1995. Deformation Monitoring for Crustal Dynamics, MSc. Dissertation, University of Nottingham, Nottingham, UK.

Çelik, C. T. 1998. Crustal Deformation Monitoring by The Kalman Filter Method, PhD Thesis, University of Nottingham, Nottingham, UK.

Çelik, C. T. 1999. Determination of Crustal Movement by Using a Fading Memory Filter, , Mühendislik Bilimleri Dergisi, Niğde Üniversitesi, Cilt:3, Sayı:1, 20-34.

DeMets, C., Gordon, R. G., Argus, D. F., Stein, S., 1990. Current Plate Motion, Geophys. J. int. 101,425-478.

Drewes, H., Kaniuth, K., Stuber, K., Tremel, H., Kahle, H. G., Straub, CH., Hernandez, N., Hoyer, M., and Wildermann, E. 1995. The Casa'93 GPS Campaign for Crustal Deformation Research along the South Caribbean Plate Boundary, J. Geodynamics, Vol.20 No.2 129-144.

Feigl, K. L., Agnew, D. C., Bock, Y., Dong, Donnellan, A. Hager, B. H., Herring, T. A., Jackson, D. D., Jordan, T. H., King, R. W., Larsen, S., Larson K. M., Murray, M. H., Shen, Z., and Webb, F.H. 1993. Space Geodetic Measurement of Crustal Deformation in Central and Southern California, 1984-1992, Journal of Geophysical Research Vol. 98, No. B12, 21677-21712.

Heck, B., Kok, J. J., Welh, W. M., Baumer, R., Charazanowsky, A., Chen, Y. Q., and Secord, J. 1983. Report of the FIG-Working Group on the Analysis of Deformation Measurements by Geodetic Methods, Budapest.

Kalman, R. E. 1960. A New Approach to Linear Filtering and Prediction Problems, Trans. ASME, J. Basic Engineering, Series 82D, pp, 35-45, Edited by H. W. Sorenson, Kalman Filtering, Theory and Applications, 1985.

Richard, L. M., Mohammad, K. S., and Gisli, S. 1986. Adaptive Estimation for a System with Unknown Measurement Bias, IEEE. Transactions on

Aerospace and Electronic Systems, Vol AES-22,
No: 6.

Segall, P., Willams, C. R. and Arnadottir, T. 1993.
Coseismic Deformation and Dislocation Models of
the 1989 Loma Prieta Earthquake Derived from
Global Positioning Sysytem Measurements, Journal
of Geophysical Research Vol. 98, No. B3, 4567-
4578.

Sorenson, H. W., Sacks, J. E. 1971. Recursive
Fading Memory Filtering, Information Sciences, 3,
101-109.

Teunissen, P. J. G. and Salzmänn, M. A. 1988.
Performans Analysis of Kalman Filters, Delft
University of Technology Reports of the Faculty of
Geodesy Mathematical and Physical Geodesy, No.
88.2 Delf, Netherlands.

