

GPS Sinyalleri ile İyonosferin İstatistiksel Özelliklerinin Belirlenmesi

Cemil B. Erol, Feza Arıkan*

TÜBİTAK –UEKAE / İLTAREN
Kavaklıdere, Ankara
cemil.erol@iltaren.tubitak.gov.tr

*Hacettepe Üniversitesi
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
Beytepe, Ankara
arikan@hacettepe.edu.tr

Özet: Bu çalışmada, tek bir istasyon için dikey TEC (Vertical TEC : VTEC) ' in zamanda değişen ortalama ve varyans değerlerinin gürbüz kestirimlerini elde etmek için, istatistiksel analiz algoritması kayan pencere istatistiği ile birlikte uygulanmıştır. Kayan pencere boyu çok daha iyi kestirimler için olabildiğince uzun seçilirken uydu-alıcı bağlantısının zaman içindeki değişimini yakalayabilecek kadar da kısa seçilmiştir. Değişken pencere boyu, hem hareketli ortalamanın hem hareketli varyansın artakalan yüzde hatalarını en aza indirgeyen hata fonksiyonu uygulanarak belirlenmiştir. Artakalan hata normları, süzgeç uzunluğunun birinci ve ikinci dereceden momentlerinin monotonik artan fonksiyonudur. Kayan pencerenin en uygun uzunluğu, hatanın doyuma ulaştığı bölgenin başlangıç noktasından elde edilmiştir.

1. Giriş

İyonosferin, zamanda ve uzayda, değişik ölçeklerde değişim gösterdiği bilinmektedir. Yeryüzünde bulunan GPS alıcılarına iyonosferi geçerek ulaşan GPS sinyalleri, iyonosferin zaman içerisindeki değişimini incelemek için kullanılabilir. Toplam elektron miktarı birimi (Total Electron Content Unit : TECU), $1 \text{ TECU} = 10^{16} \text{ elektron / m}^2$, cinsinden ifade edilen toplam elektron miktarı (Total Electron Content: TEC) iyonosferik aktiviteyi ölçmek için kullanılmaktadır ve GPS sinyalleri kullanılarak kestirilebilir. Literatürde, beş dakikadan iki saate kadar değişen ölçekte kabul edilen iyonosferin zamanda sabiti değeri ile GPS sinyallerinden TEC kestirimi yapılmıştır. İyonosferin çok fazla değişkenlik gösteren yapısından dolayı, ancak geniş anlamda sabit olduğu dönemler bulunabilmiştir. Bu çalışmada, dik TEC in zamanda değişen ortalama ve varyans değerlerinin gürbüz kestirimini elde etmek için, tek istasyon verileri için kayan pencere istatistiği içeren istatistiksel analiz algoritması uygulanmıştır. Kayan pencere boyu, daha iyi kestirimler için mümkün olduğu kadar uzun seçilirken, uydu-yer bağlantısının zamandaki değişimini de gösterecek kadar kısa tutulmuştur. Değişken pencere boyu, hem hareketli ortalama hem hareketli varyansın artakalan yüzde hatalarını en aza indirgeyen hata fonksiyonu uygulanarak bulunmuştur. Artakalan hata normları birinci ve ikinci derece momentleri için süzgeç uzunluğunun monotonik olarak artan fonksiyonudur. Kayan pencerenin en uygun boyu hatanın doyuma ulaştığı bölgedeki uzunluk olarak elde edilmiştir.

2. Deneyisel Verilerin İstatistiksel Analiz Metodu

İyonosferin zamanda değişken yapısı, iyonosferik kanalın çıkışında kaydedilen sinyaller rasgele zaman ve yapısal değişim gösterirler. Birçok uyumlu süzgeçler ve sistem tanımlama yazılımları en iyi zamanda yavaş değişen ve geniş anlamda sabit veriler üzerinde çalışır. En uygun modemi tasarlayacak kişinin ise kanalın istatistiksel davranışları hakkında bilgi sahibi olması gerekir.

Eğer ortalaması sabit ise ve iki örnek arasındaki korelasyon sadece iki örnek arasındaki zaman aralığına bağlı ise stokastik süreç geniş anlamda durağandır (WSS)[1]. Bu yüzden stokastik sürecin zamanda değişen istatistiği belirli zaman periyotlarında ve birinci ve ikinci momentlerinde incelenebilir. İzleyen bölümde deneyisel verilerin WSS periyotları ve birinci ve ikinci dereceden momentleri elde edilmiştir.

$X_r = [X_r(1), X_r(2), \dots, X_r(N_r)]$ in uzunluğu N_r olan veri olsun. Denklem (1) kullanılarak verinin ortalama değeri (birinci derece momenti) elde edilebilir:

$$\mu_r = \frac{1}{N_r} \sum_{i=1}^{N_r} X_r(i) \quad (1)$$

Aynı şekilde veri setinin ikinci derece momenti denklem (2) kullanılarak elde edilebilir:

$$\mu_p = \frac{1}{N_r} \sum_{i=1}^{N_r} X_r^2(i) \quad (2)$$

Durağan olduğu varsayımı altında, standart sapmalar yaklaşık olarak :

$$\sigma_r = \left[\frac{1}{N_r} \sum_{i=1}^{N_r} X_r^2(i) - \mu_r^2 \right]^{1/2} \quad (3)$$

$$\sigma_p = \left[\frac{1}{N_r} \sum_{i=1}^{N_r} X_r^4(i) - \mu_p^2 \right]^{1/2} \quad (4)$$

ifade edilebilir. Eğer skotastik süreç durağan değil ise, denklem(3-4) doğru sonuç vermeyecektir. Yerel durağan sinyallerin zamanda ortalamasının kayan pencere ile birinci ve ikinci momentlerinin elde edilmesi literatürde genellikle kullanılmaktadır[1,2]. Bu gibi kayan pencere istatistiksel yaklaşımı, pencere boyu yerel durağanlığın zaman aralığına yakın olduğunda, gözlemlerin doğru yerel durağanlık yapısını ortaya koyacaktır. Elde edile standart sapmalar uygun pencere boyunu elde etmek için kullanılabilir. Pencere boyunu seçmek için, bir yol olarak, farklı uzunluktaki verinin kayan pencere ortalaması $\mu(n)$ incelenebilir. μ eğrisine σ kadar mesafede verilerin olduğu en uzun pencere uzunluğu, pencere uzunluğu olarak alınabilir.

Birinci ve ikinci derece momentleri için tüm hareketli ortalama kestirimleri X_m üzerinden hesaplanabilir

$$X_m(n) = \text{median}\{X_r(n - (N_m - 1)/2), \dots, X_r(n), \dots, X_r(n + (N_m - 1)/2)\} \quad (7)$$

Ortanca süzgeç uzunluğunun gürbüz kestirim yolu artakalan hata normunu temel almaktadır

$$e(N_m) = \|X_r - X_m\| \quad (8)$$

Artakalan hata normu N_m , ortanca süzgeç uzunluğunun monotonik olarak artan fonksiyonudur. Tipik olarak artakalan hata alçak platodan yüksek platoya doğru geçiş yapar. Doğru N_m değeri bu geçişin başladığı yerde seçilmelidir.

3. Verilerin İstatistiksel Analizi

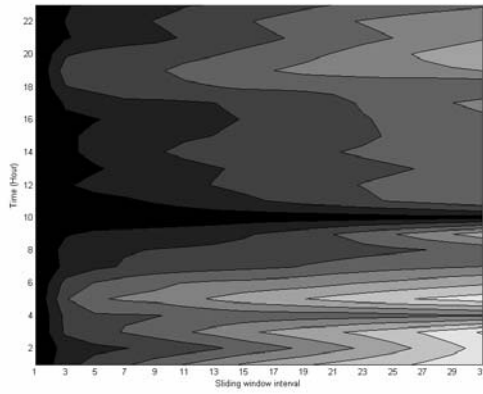
Amacımız, verinin yerel olarak geniş anlamda durağan olduğu en uzun zaman aralığını bulmak olduğu için, verinin istatistiksel analizi farklı boylardaki farklı kayan pencereler içinde yapılmalıdır. Verilerin hazırlanması [3] de anlatılmıştır. Uygun kayan pencere uzunluğu, yerel durağanlık aralığına yaklaştığında elde edilecektir. Pencere uzunluğu, daha iyi kestirimler yapabilmek mümkün olduğunca uzun ve kanalın zaman içindeki değişimini inceleyebilmek için de yeterince kısa olmalıdır. Bu nedenle, veri setinin kayan dikdörtgen pencere ortalama ve varyans kestirimleri pencere uzunluğu en fazla 31 olana kadar hesaplanmıştır. Hareketli ortalama süzgecinin doğru uzunluğu, denklem (8) kullanılarak elde edilen hatanın doyuma ulaştığı bölgenin başlangıcı olarak alınmıştır.

Gün boyunca pencere uzunluğu sabit kalmaz, özellikle güneşin doğuşu ve batışı sırasında hızla değişir ancak günün geri kalan diliminde yaklaşık olarak sabit kalır. Şekil 2 'de, zamanın ve kayan pencere uzunluğun fonksiyonu olarak verinin artakalan hatası 28 Nisan 2001 Ankara verisi için gösterilmiştir. Değişik gün ve istasyonlar için kayan pencere uzunlukları Tablo 1'de sunulmuştur.

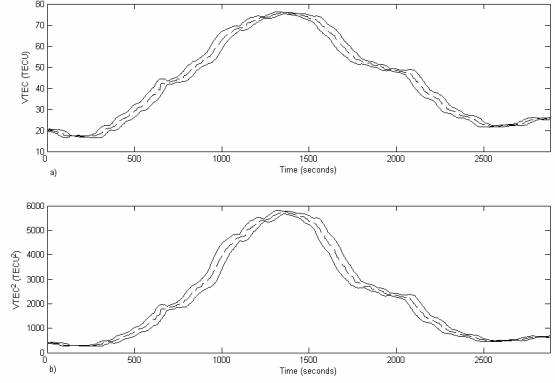
Tablo 1. Kayan pencere uzunluğunun günden güne değişimi

	23 Nisan 2001	25 Nisan 2001	28 Nisan 2001
KIRUNA	9	15	11
KIEV	11	13	11
ANKARA	11	15	9
M. DRAGOT	11	13	11

Analiz sonuçları, bozan etkenlerin etkili olduğu dönemlerde geniş anlamda durağanlık periyodunun 12 dakika kadar kısa olduğunu ancak durgun günlerde ise bu değerin 40 dakikaya kadar çıkabildiğini ortaya koymaktadır.



Şekil 2. 28 Nisan 2001, Ankara için kayan pencere uzunluğunu gün içindeki değişimi.



Şekil 3. Kayan pencere uzunluğunu fonksiyonu olarak VTEC (a) ve VTEC gücünün (b) artakalan yüzde hatası 28 Nisan 2001, Ankara, 10:00 UT.

Tüm günler için pencere uzunluğunun 9 olarak seçilmesi en uygun seçim olarak görülmektedir. Şekil 3’de ortanca süzgeçten geçirilmiş veri ile birlikte $\mu(n) \pm \sigma(n)$ gösterilmiştir. Tüm veriler $\mu(n) \pm \sigma(n)$ eğrilerinin içinde kalmaktadır ki bu da istatistiksel analiz için pencere uzunluğunun 9 seçilmesinin doğru olduğunu göstermektedir.

4. Sonuçlar

Bu çalışmada, tek bir istasyon için dikey TEC (Vertical TEC : VTEC)’ in zamanda değişen ortalama ve varyans değerlerinin gürbüz kestirimlerini elde etmek için, istatistiksel analiz algoritması kayan pencere istatistiği ile birlikte uygulanmıştır. Kayan pencere boyu çok daha iyi kestirimler için olabildiğince uzun seçilirken uydu-alıcı bağlantısının zaman içindeki değişimini yakalayabilecek kadar da kısa seçilmiştir. Değişken pencere boyu, hem hareketli ortalamanın hem hareketli varyansın artakalan yüzde hatalarını en aza indiren hata fonksiyonu uygulanarak belirlenmiştir. Artakalan hata normları, süzgeç uzunluğunun birinci ve ikinci dereceden momentlerinin monotonik artan fonksiyonudur. Kayan pencerenin en uygun uzunluğu, hatanın doyuma ulaştığı bölgenin başlangıç noktasından elde edilmiştir.

Algoritma, 23-28 Nisan 2001 tarihleri arasında, o ay için güneş aktivitelerinin en yoğun olduğu dönem, Kiruna (67.32° N, 20.09° E), Kiev (50.22° N, 30.30° E), Ankara (39.53° N, 32.45° E) ve M. Dragot (31.35° N, 35.23° E) istasyonlarında kaydedilen GPS verilerine uygulanmıştır. Bu dönem içerisinde, güneş aktiviteleri açısından, sakin dönem VTEC yapısı yanında en yoğun pozitif ve negatif bozan etkenlerin etkilendiği VTEC yapısı da gözlenmiştir. Yüksek enlem istasyonunda bozan etkenlerin görüldüğü dönemde geniş anlamda ionosferin durağanlık periyodunun 15 dakika kadar düşük değerlere indiği görülmüştür. Orta enlem istasyonunda ise sakin dönemde bu periyodun 50 dakikaya kadar çıktığı görülmüştür.

Kaynaklar

- [1]. Proakis, J. G., Digital Communications, 3rd ed., McGraw Hill, New York, 1995.
- [2]. Haykin, S., Adaptive Filter Theory, 3rd ed., Prentice Hall, NJ, 1993.
- [3]. Arıkan F., Erol, C. B. ve Arıkan O., “ Regularized Estimation of Vertical Total Electron Content from Global Positioning System Data”, J. Geophysical Research, 108, A12, 1469, 2003.