

İYONKÜREDEKİ BOZULMALARIN OTOMATİK TESPİTİ İÇİN HIZLI BİR ALGORİTMA

Emre EFENDİ, Ayşenur YARIÇI, Feza ARIKAN
Hacettepe Üniversitesi
Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü
Ankara

emrefendi@gmail.com, aysenur.yarici@gmail.com, arikan@hacettepe.edu.tr

Özet: İyonkürede gerçekleşen bozulmaların başlıca sebepleri güneş kaynaklı, jeomanyetik ve sismik aktivitelerdir. Uydu haberleşme, yerküresel konumlama sistemi (YKS) işaretleri iyonküre kaynaklı bozulmalar tarafından etkilenir. Bozulmaların tespiti bu sistemler için son derece önemlidir. Bozulmalar YKS uyduları yoluyla kestirilen Toplam Elektron İçeriği (TEİ, Total Electron Content, TEC) parametresi içinde gözlenebilir. Bu çalışmada iyonküre bozulmalarının tespiti için Rate of TEC (RoT) yöntemini kullanarak Değişken RoT (Differential Rate of TEC, DRoT) isimli yeni bir yöntem geliştirilmiştir. DRoT, RoT'un içindeki doğrusal eğilimin çıkarılmış haldeki normunun RoT'un normuyla oranının normalize edilmesiyle elde edilir. DRoT yöntemi bozulmaların tespiti için hızlı ve %80'nin üzerinde kesinlik ile sonuçlar verir.

Abstract: Solar, geomagnetic, gravitational and seismic activities cause disturbances in the ionosphere. These disturbances may affect the Global Positioning System (GPS), satellite communications and navigation systems. Ionospheric disturbances can be observed in the Total Electron Content (TEC) data which is obtained by GPS satellites. In this paper, a new method, namely Differential Rate of TEC (DRoT), is based on Rate of Tec (RoT) method is explained. The developed DRoT method can be defined as the normalized metric norm (L2) between the RoT and its baseband trend structure. When DRoT is applied to the GPS-TEC data for stations in different regions, it is observed that disturbances automatically detected with more than 80 % accuracy.

1. Giriş

Sismik, jeomanyetik ve güneş temelli etkiler iyonkürede bozulmalara sebep olabilir. Bu bozulmalar uzay temelli haberleşme, navigasyon ve konumlama sistemlerinde işaret bozulmalarına, sönümlenmelerine veya kesilmelerine sebep olur. İyonküre bozulmaları Yerküresel Konumlama Sisteminden (YKS) elde edilen verilerde gözlenebilir. Konumlama ve seyrişer sistemlerinde YKS'nın artan rolüyle beraber bu sistemlerde işaret bozulmalarına sebep olabilecek iyonküre bozulmalarının tespiti artan bir ihtiyaç haline gelmiştir.

Son yıllarda, YKS işaretlerinin iyonkürenin temel parametrelerinden TEİ kestirimindeki rolü artmıştır. YKS işaretleri kullanılarak TEİ kestirimi iyonkürenin yapısını anlamak için doğrudan kullanılan bir yöntemdir [1]. TEİ bir işaret yolu üzerindeki toplam elektron sayısı olarak tanımlanabilir. TEİ birimi TECU'dur. Bir TECU, 10^{16} el/m² ya eşittir. TEİ iyonkürenin uzaysal ve zamansal bozulmalarını barındırdığı için iyonküre araştırmaları için ana parametrelerden biri olmuştur.

Literatürde iyonküre bozulmaları genellikle RoT ile incelenir. RoT birimi TECU/s'dir [2]. Bu çalışmada RoT temel alınarak iyonküre bozulmalarının otomatik tespiti için Değişken RoT (Differential Rate of TEC, DRoT) isimli yeni bir yöntem geliştirilmiştir. DRoT algoritması bir Eğik TEİ (Slant TEC, STEC) RoT verisi ile hesaplanır. DRoT, RoT verisinin taşıdığı doğrusal eğilim ile RoT'un farkının normunun ve RoT verisinin normunun normalize edilmiş oranıyla elde edilir. DRoT hızlı ve güvenilir bir iyonküre bozulması tespiti sunar ve olası bozulmaların şiddetlerini de ölçeklendirebilir. DRoT sentetik olarak üretilmiş bozulmalar ve bozulmaların gözlemlendiği STEC verileri ile incelenmiştir. DRoT yöntemi STEC verisinin en küçük ve en büyük değeri arasındaki farkın %10'undan büyük, frekansı 0.15 mHz'den yüksek ve uzunluğu 10 dk'dan uzun olan bozulmalarda, %80 güvenilirlikle sonuçlar vermiştir.

2. Değişken RoT

DRoT iyonküredeki bozulmaların otomatik tespiti ve bozulma şiddetinin daha ileri araştırmalar için ölçeklenmesi için tasarlanan yeni bir yöntemdir. DRoT, yükseliş açısı 40° derecenin üzerindeki STEC verilerinin

RoT'u kullanılarak hesaplanır. RoT normalize edilmiş türev olarak tanımlanabilen RoT temel alınarak geliştirilmiştir. DRoT, RoT ve en az kareler yöntemiyle kestirilmiş doğrusal eğiliminin farkının normunun RoT'un normuna oranının normalize edilmesiyle bulunur.

DRoT yönteminin algoritması aşağıda verimiştir.

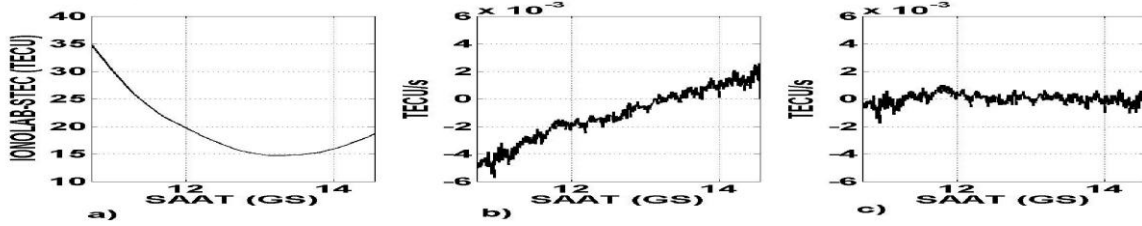
- 1) Belirlenen gün, uydu ve istasyon için yükseliş açısı 40° derecenin üzerindeki STEC girdi olarak alınır.
- 2) Girdi STEC'in RoT'u hesaplanır
- 3) RoT'un doğrusal eğilimi en az kareler yöntemiyle hesaplanır.
- 4) RoT ve doğrusal eğiliminin farkı bulunur.
- 5) İstenen gün, uydu ve istasyon için DRoT, RoT ve doğrusal eğilimin normu ile ve RoT'un normunun oranıyla hesaplanır.

DRoT algoritması çeşitli STEC verilerine değişik YKS istasyonları için uygulanır ve sonuçlar bölümünde tartışıldı.

3. Bulgular

DRoT yönteminin performansı sentetik olarak üretilen ve ölçülmüş bozulmalar kullanılarak belirlenmiştir. Bu incelemeler [1,3,4]'de detaylı olarak anlatılan IONOLAB-STEÇ verileri kullanılarak yapılmıştır.

DRoT yönteminin performansını incelemek için bozulma göstermeyen bir günün STEÇ verisi üzerine eklenen çeşitli genlik, frekans ve periyotta sinus yapısı ile sentetik olarak bozulma gösteren veri setine uygulandı. Bozulmamış gün STEÇ verisi jeomanyetik indislerin incelenmesi ile kararlaştırıldı. Sentetik uygulama sonunda DRoT yönteminin bozulmanın genliğine, frekansına ve periyotuna bağlı olarak değişimi incelendi. Bozulmamış gün STEÇ verisi olarak Japonya'da 39.14° K ve 141.13° D bulunan mizu istasyonunun ve uydu numarası (PRN) 3 ve 28 Nisan 2011 için elde edilmiş IONOLAB-STEÇ verisi kullanılmıştır. Seçilen gün için IONOLAB-STEÇ, RoT ve fark vektörü Şekil 1'de gösterilmiştir ve DRoT değeri %18.44 olarak hesaplanmıştır.

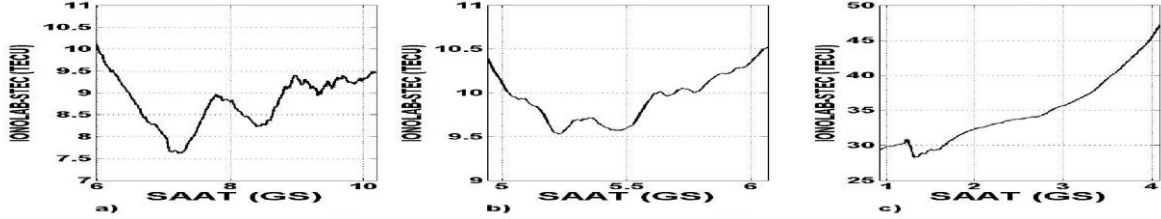


Şekil 1. PRN 3, mizu istasyonu için 28 Nisan 2011'deki DRoT değeri %18.44 olan, a) IONOLAB-STEÇ, b) RoT, c) RoT ve doğrusal eğilim farkı.

Sentetik incelemeler sonucunda elde edilen DRoT yüzeyleri karakteristik özellikleri belirlenmiş bazı iyonküre bozulması türleri için sınır bölgelerinin elde edilmesinde kullanılmıştır. Değişik tipte hareket halinde iyonküre bozulmaları (Travelling Ionospheric Disturbance, TID) DRoT sınırları incelenmiştir. Tipik olarak büyük ölçekli TID (Large Scale TID, LSTID) 1 – 3 saat aralığında sürebilir hızları 300 km/s 'ten büyük ve yatay dalgaboyları 1000 km ile 4000 km arasında değişir [5]. LSTID'lerin özellikleri sentetik bozulmalar ile incelendiğinde bu bozulmaların DRoT değerleri %70'in üzerindedir. Bir diğer tip TID ise orta ölçekte TID (Medium Scale TID, MSTID)'dir. Tipik olarak MSTID'ler 10 dk ile 1 saat arası sürebilir; hızları 100 km/s ile 250 km/s arasında değişir ve yatay dalga boyları birkaç yüz kilometre olabilir [6]. Sentetik bozulmalar incelendiğinde, tipik olarak MSTID'lerin DRoT değeri %50'den büyüktür.

Sentetik incelemelerde belirlenen DRoT sınırlarını kontrol etmek için sismik aktivite, LSTID ve MSTID görüldüğü günler ve istasyonlar için kestirilmiş IONOLAB-STEÇ verileri ile DRoT incelemesi yapılmıştır. 29 Ekim 2003'te 06:20 ile 08:00 GS arasında gerçekleşen LSTID'nin [5] gözlenmesi için DRoT yöntemi 39.97° K ve 118.21° B bulunan Long Beach (lbch) istasyonuna uygulanmıştır. LSTID, bu tarihte, lbch istasyonu ve PRN 21 için IONOLAB-STEÇ verisinde gözlenmiştir ve Şekil 2.a'da gösterilmiştir. Bu tarihteki, lbch ve PRN 21'in IONOLAB-STEÇ'i için DRoT değeri % 96.59 olarak hesaplanmıştır. 20 Temmuz 2006'da 03:30 ile 06:10 GS arasında Kuzey Amerika'da MSTID'ler gözlenmiştir [6]. Bu tarihte 38.803° K ve 104.52° B koordinatlarında bulunan amc2 istasyonu ve PRN 9 için IONOLAB-STEÇ verisinde MSTID gözlenmiş ve Şekil 2.b'de gösterilmiştir. Bu MSTID için DRoT değeri % 83.23 olarak hesaplanmıştır. Sismik aktivitenin DRoT üzerinde etkisi 26 Aralık 2004 00:58:53 GS'te Hint Okyanusu'nda gerçekleşen Sumatra – Andaman depremi ile

incelenmiştir [7]. Sumatra Andaman depreminin etkisi, Şekil 2.c'de gösterildiği gibi 3.37° K ve 98.42° D koordinatlarında konumlanmış olan samp istasyonu ve PRN 23 için [7] olan IONOLAB-STEÇ verisinde gözlenebilmektedir.



Şekil 2. IONOLAB-STEÇ verileri, a) lbch, PRN 21, 29 Ekim 2003 için ve DRoT değeri %96.59, b) amc2, PRN 9, 20 Temmuz 2006 için ve DRoT değeri %81.23 c) samp, PRN 23 26 Aralık 2004 ve DRoT değeri %74.09.

DRoT, performansını incelemek için iki farklı veri setine uygulanmıştır. Sentetik olarak bozulmuş STEÇ verilerinde DRoT'un değişik genlik, frekans ve periyotlara sahip bozulmalar için değerleri incelenmiş ve 3 temel DRoT bölgesi belirlenmiştir. Bu bölgeler DRoT değeri %50'den küçük, %50 ile %70 arası ve %70'den büyük bölgeler olarak belirlenmiştir. Sentetik incelemelerin ardından DRoT sismik aktivite, LSTID ve MSTID içeren IONOLAB-STEÇ verilerine uygulanmıştır. Sonuç olarak DRoT yönteminin, genliği STEÇ verisinin en büyük ve en küçük değeri arasındaki farkın %10'sinden büyük, frekansı 0.15mHz'den yüksek ve periyodu 10 dakikadan uzun, bozulmalar için yüksek kesinlikte çalıştığı belirlenmiştir.

4) Sonuç

Bu çalışmada iyonküredeki bozulmaları hızlı bir şekilde tespit edebilecek ve şiddetini ölçebilecek bir yöntem geliştirilmiştir. Geliştirilen DRoT yönteminin güvenilirliği sentetik ve kestirilen bozulmalar kullanılarak incelenmiş, DRoT'un 3 ana bölgeden oluştuğu gözlemlenmiştir. DRoT değerinin %50'den az olduğu bölgelerde bir bozulma beklenmez. DRoT değeri %50 ile %70 arasında MSTID'ler ve bazı küçük bozulmalar gözlenebilir. DRoT değeri %70'den büyük olan bölgelerde ise şiddetli bozulmalar ile MSTID ve LSTID'ler ile beklenmektedir. Bunun yanın plazma küresel bozulmalar da gözlenebilmektedir. DRoT yöntemi incelendiğinde %80'den yüksek bir kesinlik ile bozulmaları tespit edebildiği gözlenmiştir.

Gelecek çalışmalarda DRoT yöntemi daha geniş bir veri dizisine uygulanacak ve istatistiksel sonuçları daha ayrıntılı incelenecektir. Bunun yanında DRoT yöntemi 2 boyutlu haritalara uygulanarak bozulmaların yönleri ve hızlarının tespit edilmeye çalışılacaktır.

5) Teşekkür

Bu çalışma ortak TÜBİTAK 114E092 ve AS CR 14/001 ve TÜBİTAK 115E915 projeleri tarafından desteklenmiştir.

Kaynaklar

- [1] Nayir H., Yerküresel Konumlama Sistemi işaretleri kullanarak iyonküre Toplam Elektron İçeriği Kestirimi, Yüksek Lisans Tezi, H.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2007.
- [2] Pi X., Mannucci A. J., Lindqwister U. J., ve Ho C. M., "Monitoring of global ionospheric irregularities using the worldwide GPS network.", Geophysical Research Letters, cilt 24, no 18, s. 2283-2286, 1997.
- [3] Arikan F., Erol C.B. ve Arikan O., "Regularized estimation of vertical total electron content from GPS data for a desired time period.", Radio Science, cilt 39, no 6, 2004.
- [4] Arikan F., Nayir H., Sezen U., ve Arikan O., "Estimation of single station interfrequency receiver bias using GPS-TEC.", Radio Science, cilt 43, no 4, 2008.
- [5] Ding F., Wan W., Ning B., ve Wang M., "Large-scale Travelling Ionospheric Disturbances Observed By GPS Total Electron Content During the Magnetic Storm of 29-30 October 2003.", J. Geophys. Res., cilt 112, no A06, 2007.
- [6] Tsugawa T., Otsuka Y., Coster A. J. ve Saito A., "Medium-Scale Travelling Ionospheric Disturbances Detected With Dense and Wide TEC Maps Over North America.", Geophysical Research Letters, cilt 34, no 22, 2007.
- [7] Astafyeva E. I. ve Afraimovich E. L., "Long-Distance Traveling Ionospheric Disturbances Caused By the Great Sumatra-Andaman Earthquake on 26 December 2004.", Earth Planets and Space, cilt 58, no 8, s.1025-1031, 2006.