

Küresel İyonosferik Haritalar Kullanılarak Günlük Ortanca İyonosferik Toplam Elektron Miktarının Tahmin Edilmesi

Cemil B. Erol ve S. Gökhun Tanyer*

Başkent Üniversitesi, Biyomedikal Mühendisliği Bölümü
Bağlıca, Ankara
cemil@baskent.edu.tr

*TÜBİTAK-UEKAE (Ulusal Elektronik ve Kriptoloji Araştırma Enstitüsü)
İleri Teknolojiler Araştırma Grubu
Kavaklıdere, Ankara
gokhun@tubitak.gov.tr

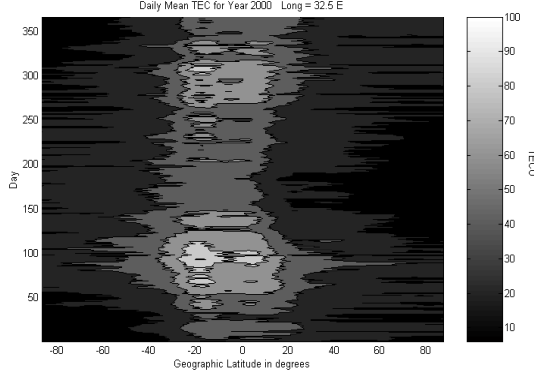
Özet: *Toplam iyonosferik elektron içeriğinin (TEC-Total Electron Content) mevsimlere, saatlere, enlem ve boylam değişkenlere bağlı olarak değişimlerinin 24 ay süreli (1999-2000) Ankara'da (39.88°N, 32.35°E) elde edilen veriler kullanılarak küresel iyonosferik haritalarına bağımlılığı incelenmiştir. TEC değerlerinin güneş başucu açısı ve mevsimlere bağımlılığı da incelenmiştir. Bir ay süresince elde edilen günlük ortanca TEC değerleri kullanılarak bir önceki ve bir sonraki aylara ait günlük TEC değerlerinin elde edilebileceği gözlenmiştir. Şubat, Mayıs, Ağustos ve Kasım aylarına ait günlük ortanca değerler kullanılarak 24 aylık bir dönemin belirlenebildiği gösterilmiştir. Bunun yanında, güneş ve yer-manyetik indislerdeki değişimlerinin sırasıyla 1-3 ve 1-2 gün arasında bir gecikme ile günlük ortanca TEC değerlerini etkilediği ve 2000 yılı için kış anomalisinin beklendiği gibi yüksek orta enlemlerde yoğunlaşmadığı belirlenmiştir.*

1. Giriş

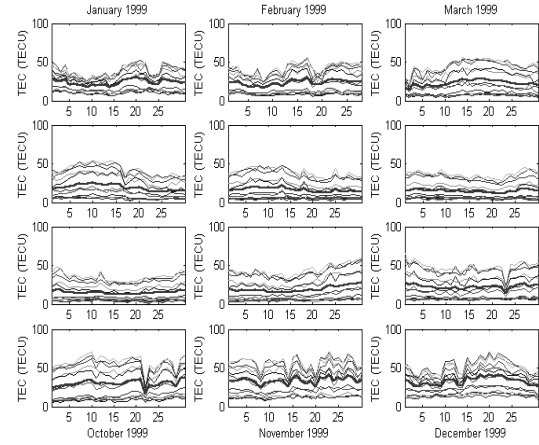
İyonosfer tabakasında yer alan bir ışın yolu boyunca yer alan elektron içeriğinin integrali olarak tanımlanan toplam elektron miktarı (TEC-Total Electron Content) üzerine ölçümler için sıklıkla Dünyasal Konumlama Sistemi (GPS) kullanılmaktadır. Çok sayıda uydu vasıtasıyla iyonosfer tabakasını büyük oranda kaplayan, birçok izleme istasyonunun kullanımını mümkün kılan GPS sisteminin iyonosferik çalışmalarda kullanılmaya başlaması bu konulardaki araştırmalara geniş perspektif ve büyük ivme kazandırmıştır.

Bu çalışmada, dünya genelinde konuşlu GPS yer istasyonlarında sürekli olarak elde edilmekte olan ve International GPS Service (IGS) for Geodynamics (<http://igs.ens.ign.fr>) tarafından araştırmalarda kullanılmak üzere paylaşılan TEC verileri kullanılmıştır. Halen 200 istasyonda günlük olarak veri toplanmakta ve standart formatta arşivlenmektedir. Küresel iyonosfer özelliklerinin belirlenme-sinde kullanılabilen benzer harita verileri NASA Jet Propulsion Laboratuvarı tarafından da elde edilmekte ve GIM verileri olarak adlandırılmaktadır (<http://iono.jpl.nasa.gov/gim.html>). Bu çalışmada Ocak 1999 – Aralık 2000 dönemlerine ait GIM verileri kullanılmıştır.

İkinci kısımda, temel GPS yapısı, GPS işaretlerinden TEC bilgisinin elde edilme yöntemi ve GIM verileri hakkında genel bilgi verilmiştir. Üçüncü kısımda, TEC verilerinin zaman, enlem ve boylam değerlerine bağımlılığı gösterilmiştir. Dördüncü kısımda ise, GIM verileri kullanılarak Ankara üzerindeki iyonosfer özellikleri incelenmiş ve iki yıllık döneme ait saatlik ve günlük TEC değerleri ve zaman içerisinde gözlenen değişimleri hesaplanmıştır. Daha sonra, orta-enlem TEC değerlerinin güneş ve yer-manyetik indislere bağımlılığı incelenmiş ve yer-manyetik indis



Şekil.1. Günlük ve enlem değerlerine bağlı olarak 2000 yılı 32.5°E 'da günlük ortalama TEC değişimleri.



Şekil. 2. Saatlik TEC ortancalarının 1999 yılında her ay için günlük değişimleri.

(Kp), güneş leke sayısı (SSN) ve güneş akısı (F10.7) değerleri ile korelasyonu hesaplanmıştır. Son olarak, sayısal sonuçlar verilmiştir.

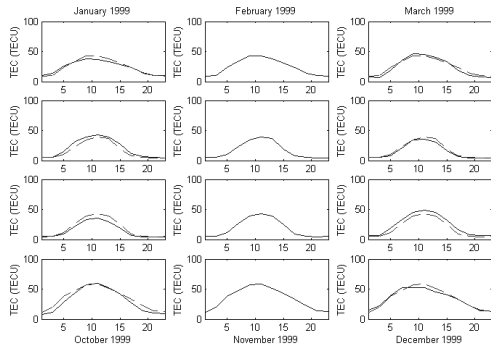
2. Dünya Geneline TEC Ölçümleri

TEC verilerinin bulunduğu dünya iyonosferik haritaları L1 (1575.42 MHz) ve L2 (1227.60 MHz) frekanslarında olmak üzere L-bant GPS istasyonlarından elde edilmektedir. Metre karede bulunan elektron sayısı olarak tanımlanan TEC değeri GPS işaretlerinin iyonosfer üzerinden yeryüzüne kadar izlediği yolda uğradığı zaman gecikmesinin bir fonksiyonu olarak hesaplanabilmektedir [2,3].

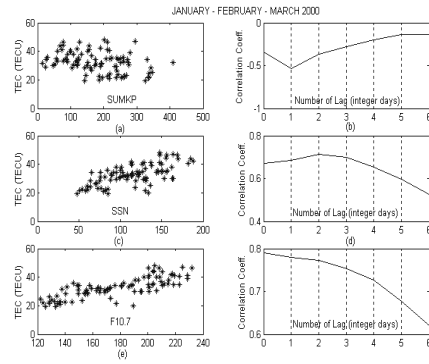
GIM verileri iyonosfer tabakasının kalınlığı ihmal edilerek ve 350 km. yükseklikte yer aldığı kabul edilerek hesaplanmaktadır [6]. Verilerin örneklenme noktaları güneş-yer-manyetik koordinat sistemine göre belirlenmiştir. GIM verilerinin yanında TEC hata haritası da üretilmektedir. TEC hataları çoğu bölgelerde 5 TECU (Total Electron Content Unit, $1 \text{ TECU} = 10^{16} \text{ el} / \text{m}^2$) değerinin altındadır. İyonosfer tabakası ince kabuk şeklinde kabul edildiğinden GIM hatalarının GPS uydu ve yer istasyonlarına ait güneş başucu açılarına bağlı olarak değişimler göstermektedir [4].

3. TEC Verilerinin Zaman, Enlem ve Boylam değerlerine bağımlılığı

Bu çalışmada, enlem ve boylam değerlerinin TEC verilerine bağımlılığı küresel olarak incelenmiştir. 1999–2000 yıllarına ait boylam 32.5°E için günlük ortalama TEC değerleri hesaplanmış ve 2000 yılı için elde edilen sonuçlar Şekil 1'de verilmiştir. Şekil 1'de sol eksen mevsimsel değişimlerin incelenebildiği gün eksen, alt eksen ise boylam eksen, TEC değerleri ise koyudan açığa artmakta ve renk haritası sağ ekseninde verilmiştir. 1999 ve 2000 yıllarına ait TEC değerleri karşılaştırıldığında yer-manyetik aktivitelerin artışına bağlanabilecek belirgin bir artış gözlenmiştir. Diğer yandan yıl içi değişimler incelenecek olursa, en büyük TEC değerlerinin manyetik ekvatorda, kış mevsiminde ve kuzey yarıkürede yer aldığı gözlenmiştir. Özellikle orta enlemler için gözlenen bu durum mevsimsel veya kış etkisi olarak adlandırılmaktadır. Benzer şekilde incelenen bu gözlemin yerel olarak doğrusal olduğu bildirilmiştir [1]. Şekil 1'de TEC değerlerinin enlem ekseninde Gaussian davranış gösterdiği görülmektedir.



Şekil 3. Günlük medyan TEC değerlerinin 1999 yılı tüm ayları için saatlik değişimleri.



Şekil 4. Ocak – Mart 2000 dönemi boyunca TEC değerlerinin yer-manyetik ve güneş indisi dağılımlarına göre gösterimi, ve ilk altı gün için korelasyon değerleri.

4. Ankara, Türkiye'ye Ait İyonosferik Özellikler

Yerel iyonosferik özellikler 1 Ocak 1999 – 31 Aralık 2000 süresi boyunca Ankara (39.88N, 32.35E), Türkiye için incelenmiştir. GIM verilerinin üçgen enterpolasyonu yapılarak [5] TEC değerleri ikişer saatlik zaman dilimlerinde elde edilmiştir. Daha sonra saatlik ve günlük ortanca ve saatlik medyan dikey TEC değerleri hesaplanmıştır. Yerel olarak elde edilen aylık dikey ortanca TEC değerlerinin 1999 yılı için günlük değişimleri Şekil 2'de verilmiştir. Aylık ortanca yerel TEC değerlerinin günlük ortancaları aynı Şekil'de koyu olarak gösterilmiştir.

Dikey TEC değerlerinin saatlik ortanca değerlerinin Nisan–Kasım arasında diğer aylara göre daha büyük olduğu görülmektedir. Şekil 2'de en az altı kere hız değişimlerin yer aldığı (yaklaşık olarak 23 Eylül, 22 Ekim, 8, 14, 20 Kasım ve 14 Aralık 1999 tarihlerinde) görülmektedir. Dikey TEC aylık medyan değerlerinin günlük değişimlerinin jeofiziksel indislere bağımlılıkları bir sonraki kısımda sunulmaktadır.

Bu çalışmada günlük dikey TEC medyan değerleri her bir ay için hesaplanmıştır ve aylık dikey TEC ortancasının saatlik değişimi Şekil 3'de gösterilmiştir. Şekil 3 üç ayrı sütun olarak düzenlenmiştir. TEC değerlerinin üç aylık bir sürede yaklaşık olarak sabit olduğu kabul edilerek orta sütunda yer alan Şubat, Mayıs, Ağustos ve Kasım aylarına ait sonuçlar kullanıldığında bir önceki aylara (ilk sütun) ve bir sonraki aylara (üçüncü sütun) ait değerlerin hesaplanabildiği görülmüş ve ilgili sonuçlar kesikli çizgi ile gösterilmiştir. Ancak, 2000 yılı Mart ve Nisan aylarında günlük medyan değerlerinin aylık değişimlerinin beklenenden oldukça yüksek olduğu ve bu aylar için Kp indisinin saatlik değişiminin de benzer şekilde beklenenden farklı olduğu gözlenmiştir.

5. Dikey TEC Değerlerinin Güneş ve Jeofiziksel İndislerine Bağlılığı

Bu bölümde güneş lekesi sayısının (SSN), güneş akısının (F10.7) ve SUMKP (günlük sekiz Kp indislerinin toplamı)'nın etkilerini 1999 ve 2000 yılları boyunca SUMKP, SSN ile Ankara'da günlük ortanca iyonosferik TEC değişimi ve her mevsim için F10.7 değişimleri elde edilmiştir. Bu fiziksel safhaların korelasyon hesaplamaları sırasında, aralarında zaman gecikmesini gözlemlemek için en fazla iki veri setinin arasında 6 günlük gecikme yerleştirilmiştir. Ocak–Şubat–Mart 2000 dönemi için elde edilen sonuçlar Şekil 4'de sunulmuştur. Şekil 4a, 4c ve 4e'de (sıfır gecikmeli saçınım diyagramları) toplam veri nokta sayısı 731'dir. TEC ve SUMKP düşeyleri arasında korelasyon katsayısı bir günlük gecikme ile Şekil 4b'de görüldüğü gibi en yüksek değerine ulaşmaktadır. SUMKP indisi ve saatlik dikey TEC değerleri arasında ters orantı bulunduğu gözlenmiştir. Bunun yanında, Kp indisinin günlük dikey TEC değişimleri üzerindeki etkisinin ancak bir gün gecikme ile gözlenebilmektedir. Ancak, SSN veya F10.7 gibi güneş indislerinin günlük değişimlerinin etkisi en az iki gün sonra gözlenebilmektedir.

6. Sonuçlar

1999 ve 2000 yılları süresince iyonosferik dikey TEC değerlerinin mevsimsel ve konumsal değerlere bağlılığı GIM verileri kullanılarak Ankara’da incelenmiştir. Dikey TEC değerlerinin mevsimsel değişimleri iki temel üşüne incelenmiştir; 1) saatlik dikey TEC değerlerinin aylık ortancalarının günlük değişimleri ve 2) saatlik medyan dikey TEC değerlerinin günlük değişimleri. Farklı kuzey ve güney boylamlara ait günlük ortanca iyonosferik dikey TEC değerleri enlem değişimlerine göre incelenmiş ve enlem-konumsal değişimlerin her boylam için yaklaşık olarak Gaussian dağılıma sahip olduğu ve Gaussian dağılımın manyetik ekvatorda ($\pm 15^\circ - 20^\circ$) en büyük değerine ulaştığı gözlenmiştir. Bunun yanında, kiş anomalisinin yüksek orta-enlemler de dahil olmak üzere tüm enlemlerde gözlenmiştir. Farklı boylamlarda hesaplanan iyonosferik dikey TEC değerlerinin mevsimsel olarak değişim gösterdiği görülmüştür.

Aylık medyan dikey TEC değerlerinin saatlik değişimlerinin şubat, Mayıs, Ağustos ve Kasım aylarında yapılan incelemeler sonrasında bu değerlerin bir önceki ve bir sonraki aylara ait aylık medyan değerlerinin istenilen saat için elde edilmesinde kullanılabilereği sonucuna varılmıştır. Böylece, üç aylık bir sürede saatlik medyan dikey TEC değerlerinin yaklaşık olarak sabit olarak kabul edilebildiği gözlenmiştir. Ancak, Mart ve Nisan 2000 yılları boyunca günlük medyan değerlerinin günlük değişimlerinin beklenenden yüksek olduğu ve benzer şekilde bu aylar boyunca, Kp indisinin saatlik değişimde de farklılıklar görülmüştür.

Saatlik dikey TEC değerlerinin aylık ortancasının günlük değişimlerinin üç saatlik Kp indisine doğrusal orantılı olduğu belirlenmiştir. Kp indisindeki artışlar dikey TEC değerlerinde keskin düşüşler yaratmaktadır.

Teşekkür

Bu çalışmada kullanılan jeofiziksel indis verisi World Data Center – A, RAL, UK tarafından ve GIM verileri ise Jet Propulsion Laboratory, NASA, USA tarafından temin edilmiş ve Doç. Dr. Feza Arıkan ile yapılan kıymetli tartışmalardan yararlanılmıştır.

Kaynaklar

- [1] L. Ciraolo, P. Spalla, “Preliminary study of the latitudinal dependence of TEC”, *Adv.Space.Res.*, vol.22, no.6, syf.807-810, 1998.
- [2] R.O. Conkright, K. Davies, S. Musman, “Comparisons of ionospheric total electron contents made at Boulder, Colorado, using Global Positioning System”, *Radio Science*, vol.32, no.4, syf.1491-1497, 1997.
- [3] G.A. Hajj, L.C. Lee, X. Pi., L.J. Romans, W.S. Schreiner, P.R. Straus, C. Wang, “COSMIC GPS ionospheric sensing and space weather”, *Terr., Atmos. and Ocen. Sciences*, vol.11, no.1, syf.235-272, 2000.
- [4] C.M. Ho, B.D. Wilson, A.J. Mannucci, U.J. Lindqwister, D.N. Yuan, “A comparative study of ionospheric total electron content measurements using global ionospheric maps of GPS, TOPEX radar, and the Bent model”, *Radio Science*, vol.32, no.4, syf.1499-1512, 1997.
- [5] A.J. Mannucci, B.D. Wilson, D.N. Yuan C.H. Ho, U.J. Lindqwister, T.F. Runge, “A global mapping technique for GPS derived ionospheric total electron content measurements”, *Radio Science*, vol.33, syf.565-582, 1998.
- [6] B.D. Wilson, A.J. Mannucci, C.D. Edwards, “Sub-daily northern hemisphere ionospheric maps using an extensive network of GPS receivers”, *Radio Science*, vol.30, no.3, syf.639-64, 8, 1995.