

Mevsimsel Toplam Elektron Miktarı (Tem) Değişimlerinin Farklı Modellerle İrdelenmesi

Samed İNYURT^{1,*}, Çetin MEKİK¹, Ömer YILDIRIM²

¹Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, 67100, Zonguldak.

²Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 60250, Tokat.

Özet

İyonosfer; yüksekliği 60-1000 km arasında değişen içerisinde çok sayıda serbest halde elektron barındıran katman olarak ifade edilebilir. Çalışmada ZONG istasyonuna ait 2014 yılının Ocak, Nisan, Ağustos ve Aralık aylarına ait Toplam Elektron Miktarı (TEM) miktarı, Global Navigation Satellite System (GNSS) ve International Reference Ionosphere-2012 (IRI-2012) modeli kullanılarak bir saat çözünürlükle elde edilmiş, mevsimsel TEM değişimi ortaya çıkarılmıştır. Bir saat çözünürlükle elde edilen TEM değerlerinin aylara ilişkin değişiminin ortaya konduğu çalışmanın sonucunda IRI-2012 modelinin ay içerisinde neredeyse aynı davranışı sergilediği gözlenirken, GNSS ölçülerinden elde edilen TEM değerlerinde ise iyonosfer tabakasının sahip olduğu dinamik yapıyı daha iyi temsil ettiği anlaşılmıştır. İki yöntemden elde edilen TEM değerlerine ilişkin regresyon analizi sonucunda korelasyonlar Ocak ayında $R^2=0.895$ Nisan ayında $R^2=0.838$, Ağustos ayında $R^2=0.745$ ve Kasım ayında $R^2=0.936$ bulunmuştur. Analiz edilen aylara ilişkin her iki modelin birbiriyle ilişkisi uyumlu görünmesine rağmen, IRI-2012 yönteminden elde edilen TEM değerlerinin daha düşük kaldığı görülmüştür.

Anahtar Sözcükler

GNSS, İyonosfer, Toplam Elektron Miktarı (TEM)

Abstract

Ionosphere is a layer containing a large number of free electrons and positively charged ions, within the height between 60km and 1000 km. In this study, Total Electron Content (TEC) values derived from GNSS and IRI-2012 were produced with an hour timewise resolution in October, April, August and November 2014 for ZONG station, and seasonal ionospheric variations were obtained using these methods. While IRI-2012 model has almost same TEC value in every hour for any analyzed months, TEC derived from GNSS measurements is a better indicator in terms of representing the behavior of ionosphere. As a result of regression analysis, the correlations R^2 was obtained 0.895, 0.838, 0.745 and 0.936 for January, April, August and November respectively. Although both model revealed good agreement with each other, IRI-2012 model underestimated TEC value for all analyzed days.

Keywords

GNSS, Ionosphere, Total Electron Content (TEC)

1. Giriş

İyonosfer yüksekliği 60-1000 km arasında değişen ve içerisinde çok sayıda serbest halde elektron bulunduran atmosferin en üst katmanı olarak ifade edilmektedir. Bilindiği üzere iyonosfer tabakası karmaşık bir yapıya sahiptir ve Chapman'ın iyonlaşma teorisinden farklı davranabilmektedir. İyonosfer tabakasının yapısı ve davranışı hakkında çok sayıda çalışma yapılmıştır (Alizadeh vd., 2011; Namgaladze vd., 2012; Pajares vd., 2011; Petrie vd., 2011; Sardon vd., 1994; vd., Liu vd., 2009; Withers ve Mendillo, 2005; Afraimovich ve Astafyeva, 2008; Yıldırım vd., 2016). Yapılan çalışmalar göz önüne alındığında iyonosfer tabakasının sürekli olarak değişim içerisinde olduğu ve birtakım etkilere karşı duyarlı olduğu anlaşılmaktadır. İyonosfer içerisinde barındırdığı elektron yoğunluğunun her yerde aynı olmaması nedeniyle farklı katmanlardan oluşmaktadır. Bunlar sırasıyla D, E, F (F_1 , F_2) olarak ifade edilmektedir. Bu katmanlar arasında iyonlaşmanın en fazla olduğu üst iyonosfer katmanı olan F_2 katmanıdır.

Sinyal bazlı uygulamaların giderek yaygınlaştığı günümüzde iyonosferin karmaşık yapısının çözülmesi önem kazanmıştır. İyonosfer tabakasının bir fonksiyonu olan Toplam Elektron Miktarı (TEM) iyonosonda, geri saçılım radarı, TOPEX/Poseidon uydusu gibi çeşitli yollarla belirlenebilmektedir. Fakat son yıllarda Global Navigation Satellite System (GNSS) ile TEM miktarı çalışmaları oldukça hız kazanmıştır. Bunun sebebi diğer yöntemlere göre GNSS sistemlerinin maliyetinin az olmasının yanı sıra kesintisiz olarak iyonosferin izlenebilmesine olanak sağlaması düşünülebilir. GNSS uyduları yerden yaklaşık 20200 km yukarıda bulunması uydudan çıkan sinyal iyonosferin tüm tabakalarından geçmesine olanak sağlamaktadır. Bu durum iyonosfer tabakasının davranışının doğru bir şekilde belirlenmesi çalışmalarına önemli avantaj sağlamaktadır. İyonosfer, GNSS ile konum belirleme çalışmalarından üst atmosfer çalışmalarına kadar en önemli engel olarak karşımıza çıkmaktadır. Söz konusu sinyal uydudan alıcıya varana kadar izlediği yolda elektronlardan etkilenir. Bu etkinin giderilmesi günümüzün vazgeçilmez gereksinimi haline gelen yüksek doğruluğun elde edilmesi açısından önemlidir.

* Sorumlu Yazar E-posta: samed_inyurt@hotmail.com (Samed İnyurt)

2. Yöntem

İyonosfer tabakası coğrafi konum, mevsimsel değişim, jeomanyetik etki, solar aktivite, deprem vs. gibi etkilere karşı değişim göstermektedir (Namgaladze vd., 2012). Bu sebeple iyonosferin doğru şekilde modellenmesi önem arz etmektedir. Bunlardan ilki sadece kod ölçüleri kullanılarak TEM' in elde edilmesidir. Çift frekanslı GNSS alıcıları L1 ve L2 frekansları bünyesinde hem kod hem de faz ölçülerini barındırmaktadır Bilindiği üzere ön-uzunluk (pseudorange) uydu-alıcı arasındaki kesin mesafedir ve dolayısıyla 1-5 TECU doğruluğunda TEM değeri elde etmede kullanılabilir (Liu vd., 2005). Fakat pseudorange uzunlukları çok fazla gürültü ve sinyal yansıması (multipath) etkisine maruz kaldığından dolayı elde edilecek TEM değerinin doğruluğunun düşük olmasına sebep olacaktır. TEM değerinin elde edilmesinde kullanılan bir diğer yöntem ise sadece faz ölçüleri kullanılarak elde edilmesidir. Bu yöntem sadece kod ölçüleri kullanılarak elde edilen TEM değerine göre doğruluğu daha yüksektir. Fakat bu yöntemin kullanılmamasının en büyük dezavantajı tamsayı faz belirsizliğinin doğru şekilde giderilmesi zorunluluğudur. Dolayısıyla kullanım pratikliği açısından tercih edilmemektedir. Son yöntem ise kod ölçülerinin faz ölçüsü yardımıyla yumuşatılarak yumuşatılmış kod ölçülerinin kullanılmasıdır. Elde edilen TEM doğruluğu sadece faz ölçüleri kullanılarak elde edilen TEM doğruluğundan daha düşük olmasına rağmen kullanım pratikliği açısından bakımından en avantajlı yöntemdir (Liu vd., 2005; Yıldırım vd., 2016). Bu çalışmada GNSS bazlı TEM değeri elde etmede yumuşatılmış kod ölçüleri kullanılmıştır. Çift frekanslı GPS alıcısı kullanılarak TEM'in elde edilmesinde kod ve faz denklemleri aşağıdaki gibidir.

$$P_{1,a}^u = \rho_a^u + c(\delta t^u - \delta t_a) + d_{trop,a}^u + d_{ion1,a}^u + d_1^u + d_{1,a} + \varepsilon_{1,a}^u \quad (1)$$

$$P_{2,a}^u = \rho_a^u + c(\delta t^u - \delta t_a) + d_{trop,a}^u + d_{ion2,a}^u + d_2^u + d_{2,a} + \varepsilon_{2,a}^u \quad (2)$$

$P_{1,a}^u, P_{2,a}^u$: Pseudorange gözlemi, ρ_a^u : uydu-alıcı çifti arasındaki gerçek uzaklığı, $d_{trop,a}^u, d_{ion1,2,a}^u$: troposfer ve iyonosfer hataları, $d_1^u, d_{1,2,a}$: uydu ve alıcı donanım kod gecikmelerini $\varepsilon_{1,2,a}^u$: artık hataları ifade etmektedir. Pseudorange ölçülerinde geometriden bağımsız doğrusal kombinasyon (L4) uygulandığında troposferik hata, uydu-alıcı arası gerçek uzunluk, uydu-alıcı saat hataları elimine olur. Dolayısıyla yeni denklem;

$$P_{4,a}^u = P_{1,a}^u - P_{2,a}^u = d_{ion1,a}^u - d_{ion2,a}^u + DCB^u + DCB_a \quad (3)$$

Denklem faz ölçüleri için yazılacak olursa;

$$L_{1,a}^u = \rho_a^u + c(\delta t^u - \delta t_a) - d_{ion1,a}^u + d_{trop1,a}^u - \lambda(b_{1,a}^u + N_{1,a}^u) \quad (4)$$

$$L_{2,a}^u = \rho_a^u + c(\delta t^u - \delta t_a) - d_{ion2,a}^u + d_{trop2,a}^u - \lambda(b_{2,a}^u + N_{2,a}^u) \quad (5)$$

$b_{1,2,a}^u$: uydu ve alıcı kaynaklı faz donanım ilerlemesini, $N_{1,2,a}^u$: tamsayı faz belirsizliğini göstermektedir.

$$L_{4,a}^u = -(d_{ion1,a}^u - d_{ion2,a}^u) - \lambda(b_{1,a}^u - b_{2,a}^u) - \lambda(N_{1,a}^u - N_{2,a}^u) \quad (6)$$

Burada ΔN_m ;

$$\Delta N_m = \lambda_1 N_{1,a}^u - \lambda_2 N_{2,a}^u \quad (7)$$

Uydudan çıkan sinyalin kod ve faz ölçüleri yaklaşık olarak eşit ve zıt yönde etkilenir. Matematiksel ifadesi;

$$d_{ion,a}^u \sim A \frac{STEC_a^u}{f^2} \quad (8)$$

Burada $A = 40.3 \text{ m}^3/\text{sn}^2$ ve $STEC_a^u$ uydu-alıcı arasındaki eğik toplam elektron miktarını ifade eder. Sonuç eşitlik kod ve faz ölçüleri için aşağıdaki gibi olmaktadır.

$$P_{4,a}^u = A \left(\frac{f_2^2 - f_1^2}{f_1^2 f_2^2} \right) STEC_a^u + (DCB^u + DCB_a) \quad (9)$$

$$STEC = - \frac{f_1^2 f_2^2}{40.3(f_1^2 - f_2^2)} P_{4,a}^u - c(DCB^u + DCB_a) \quad (10)$$

STEC değeri her bir uydu-alıcı çifti arasındaki eğik toplam elektron miktarını ifade ettiği için haritalama amaçlı kullanılmamaktadır. Bir iyonosfer haritası oluşturabilmek için elde edilen STEC değerlerinin düşeye çevrilmesi gerekmektedir. Düşeydeki toplam elektron miktarına VTEC adı verilmektedir. VTEC değeri;

$$VTEC = MF(z) * STEC \quad (11)$$

$$MF(z) = \cos(\arcsin\left(\frac{R}{R+H} \sin(\alpha z)\right)) \quad (12)$$

(11) ve (12) denklemlerindeki z uydu elevasyon açısını, R dünya yarıçapını, H elektronların en yoğun bulunduğu yüksekliği (aslında bu yükseklik F2 tabakasının en üst noktasıdır) ve $\alpha = 0.9782 \text{ H} = 450 \text{ km}$ değerini ifade etmektedir.

Küresel harmonik fonksiyonlar küresel ve bölgesel iyonosfer modellemesi için kullanılabilir (Haines, 1985; Alizadeh vd., 2011)

$$VTEC = E_v(\beta, s) = \sum_{n=0}^{n_{\max}} \sum_{m=0}^n \dot{P}_{nm}(\sin\beta) (a_{nm} \cos(ms) + b_{nm} \sin(ms)) \quad (13)$$

Burada (n,m) derece ve mertebeyi, β iyonosfer kesişim noktasının jeosantrik enlemini, $s = \lambda - \lambda_0$ iyonosfer kesişim noktasının güneş merkezli boylamını, λ ve λ_0 ; sırasıyla iyonosfer kesişim noktasının boylamı ve görünür güneş zamanı boylamını, a_{nm} ve b_{nm} küresel veya bölgesel iyonosfer model katsayılarını, $\dot{P}_{nm} = P_{nm} \Lambda(n, m)$ normalize edilmiş Legendre polinomlarını, Λ normalizasyon fonksiyonunu, P_{nm} normalize edilmemiş Legendre polinomlarını ifade eder. Λ normalizasyon fonksiyonu;

$$\Lambda = \sqrt{2} \frac{(2n+1)(n-m)!}{1 + \delta_{0m}(n+m)!} \quad (14)$$

δ Kronecker Deltayı ifade etmektedir. (10) ve (12) numaralı denklemleri (13) numaralı denkleme eşitlenirse;

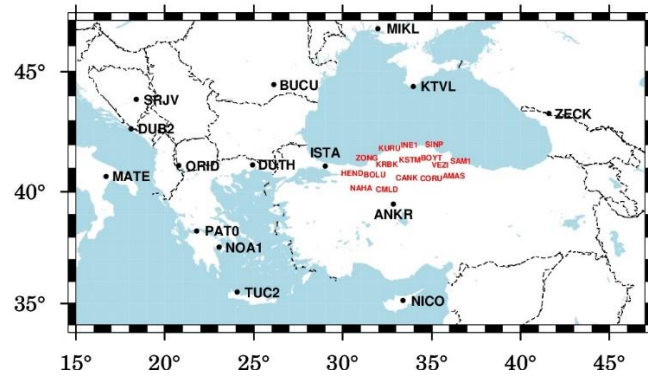
$$VTEC = E_v(\beta, s) = \sum_{n=0}^{n_{\max}} \sum_{m=0}^n \hat{P}_{nm}(\sin\beta) (a_{nm} \cos(ms) + b_{nm} \sin(ms)) = \left[-\frac{f_1^2 f_2^2}{40.3(f_1^2 - f_2^2)} P_{4,a}^u - c(DCB^u + DCB_a) \right] * \cos\left(\arcsin\left(\frac{R}{R+H}\right) \sin(\alpha z)\right) \quad (15)$$

İfadesi elde edilir. Burada $P_{4,a}^u$ ölçüleri yumuşatılmış kod ölçülerini ifade etmektedir. Denkleme bakıldığında a_{nm} , b_{nm} , DCB^u ve DCB_a bilinmeyen olarak karşımıza çıkmaktadır. Küresel harmoniklerin katsayısı çalışma bölgesinin yerine göre değişiklik göstermektedir. Global çalışmalarda derece ve mertebe genellikle (15,15) kullanılmaktadır. Çalışmada (n,m) (6,6) alınmıştır. (15) denklemindeki bilinmeyen sayısı ölçü sayısından daha az olduğu için en küçük kareler ilkesiyle a_{nm} , b_{nm} , DCB^u ve DCB_a kestirilebilir. (15) denklemini tekil bir denklem olduğundan dolayı uydur ve alıcı donanım gecikmelerini (DCB^u ve DCB_a) birbirinden ayırmak için bir dış kısıt getirilmesi gerekmektedir. Bu dış kısıt tüm GPS uydularına ait donanım gecikmesinin toplamının 0 olacağı düşünülür $DCB_a^u=0$. Bu aşamadan sonra rahatlıkla tüm bilinmeyenlerin çözümü sağlanmış olur.

International Union of Radio Science (URSI) ve Committee on Space Research (COSPAR) tarafından geliştirilen IRI-2012, iyonosonda istasyonlarından faydalanılarak iyonosferin sıcaklık ve yoğunluğunun belirlenmesinde kullanılan uluslararası bir modeldir. Yerden 50 km ile 2.000 km arasında var olan elektron miktarı IRI-2012 programı sayesinde online olarak hesaplanabilmektedir. Model temel anlamda altı farklı parametre üzerinden hesaplama yapmaktadır; bunlar, elektron yoğunluğu, elektron sıcaklığı, iyonun içeriği, iyon sıcaklığı, iyon sürüklenmesi ve toplam elektron miktarıdır. Programda TEM miktarı bir saat zamansal çözünürlükle elde edilmiştir.

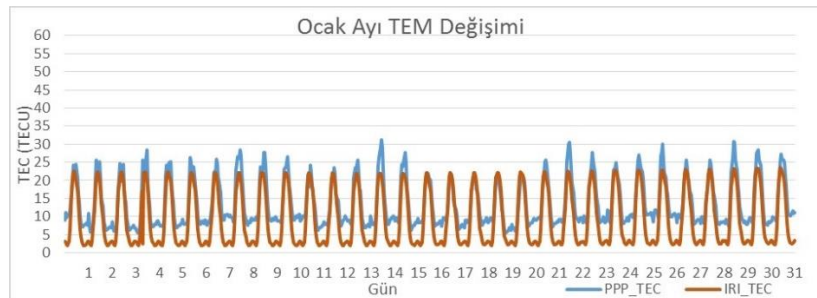
3. Uygulama

Zonguldak'ta bulunan ZONG istasyonuna ait mevsimsel TEM değişimleri her mevsime ait bir aylık (Ocak, Nisan, Ağustos ve Kasım) TEM değerleri elde edilerek izlenmiştir. GNSS ölçüleri ve IRI-2012 modeli üzerinden ayrı ayrı incelenen değişimlerin birbirleriyle olan ilişkisi regresyon analizi ile ortaya çıkarılmıştır. GNSS ölçülerinden faydalanılarak elde edilen TEM değerleri Bernese 5.0v akademik yazılımı kullanılarak elde edilmiştir (Dach vd., 2007).

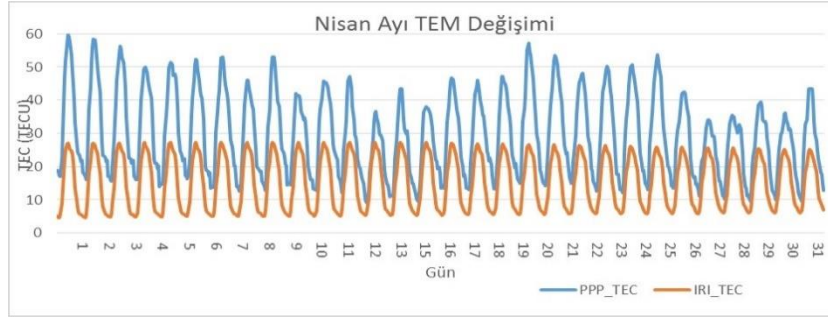


Şekil 1: Analizde Kullanılan İstasyonlar

Şekil 1' de analizde kullanılan TUSAGA-Aktif, EPN (EUREF Permanent Network) ve IGS (International GNSS Service) istasyonları genel olarak gösterilmiştir. Toplam 41 istasyonun kullanıldığı çalışmada, istasyonların 16 tanesi TUSAGA-Aktif istasyonu olup diğerleri EPN ve IGS istasyonlarıdır. TUSAGA-Aktif istasyonu verileri URL-1, IGS ve EPN istasyonlarına ait veriler URL-2 ve URL-3 adreslerinden elde edilmiştir. Verilerin analizinde H= 450 km alınmış olup elevasyon açısı 10 derece, veri kayıt aralığı 30 saniyedir. Diğer yandan IRI-2012 online TEM hesaplayıcı verilerine adresinden URL-4 adresinden ulaşılmıştır. Burada da yine H= 450 km alınmıştır. Her iki modelden bir saat zamansal çözünürlükle Ocak, Nisan, Ağustos ve Kasım aylarına ilişkin TEM değerleri bir saat aralıkla üretilmiştir.



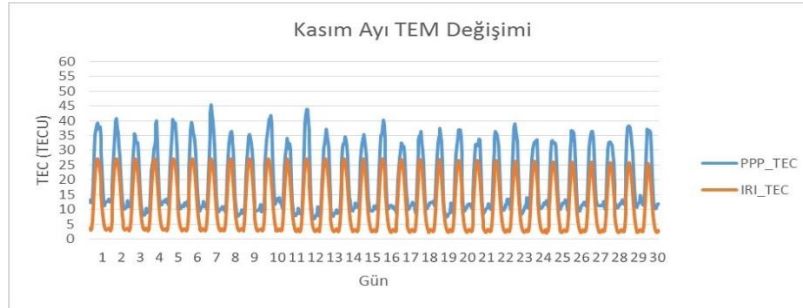
Şekil 1: Ocak Ayı TEM Değişimi



Şekil 2: Nisan Ayı TEM Değişimi



Şekil 3: Ağustos Ayı TEM Değişimi



Şekil 4: Ağustos Ayı TEM Değişimi

Şekil 1, Şekil 2, Şekil 3 ve Şekil 4 sırasıyla 2014 yılı Ocak, Nisan, Ağustos ve Kasım aylarına ilişkin her iki yöntemden elde edilen ZONG istasyonuna ilişkin TEM değişimlerini göstermektedir. Mavi renk yapmış olduğumuz analiz sonuçlarını gösterirken, turuncu renk IRI-2012 online TEM hesaplayıcısından elde edilen TEM değerlerini ifade etmektedir. Analizi yapılan tüm aylar incelendiğinde IRI-2012 TEM kestiriminin analiz sonuçlarına göre daha düşük kestirimler yaptığı açıkça görülmektedir. Analiz sonuçları ile IRI-2012 modelinden elde edilen sonuçların birbirleriyle olan ilişkisinin araştırılması için regresyon analizi yapılmıştır. Yapılan analiz sonucunda aralarındaki ilişki (korelasyonlar) Ocak ayında $R^2 = 0.895$ Nisan ayında $R^2 = 0.838$, Ağustos ayında $R^2 = 0.745$ ve Kasım ayında $R^2 = 0.936$ bulunmuştur. İlgili aylara ilişkin minimum, maksimum, ortalama ve standart sapma değişimleri Tablo 1 ve Tablo 2’ de sunulmuştur.

Tablo 1: GNSS Ölçülerinden Elde Edilen TEM Değerlerine İlişkin İstatistiki Değerler

AY	MİN. TEM (TECU)	MAK. TEM (TECU)	ORTALAMA TEM (TECU)	STANDART SAPMA (TECU)
OCAK	5.5	31.3	13.35	6.41
NİSAN	9.0	59.8	29.73	12.52
AĞUSTOS	6,2	44,3	19.23	7,07
KASIM	6,8	45,3	19.52	10,67

Tablo 2: IRI-2012 Modelinden Elde Edilen TEM Değerlerine İlişkin İstatistiki Değerler

AY	MİN. TEM (TECU)	MAK. TEM (TECU)	ORTALAMA TEM (TECU)	STANDART SAPMA (TECU)
OCAK	2.0	23.4	9.11	7.64
NİSAN	4,6	27,2	15.24	7,91
AĞUSTOS	4,6	20,2	12,39	4,79
KASIM	2.0	27,1	11,48	9,10

Aralarındaki ilişki genel anlamda iyi görünmesine rağmen, IRI-2012’den elde edilen değerlere bakıldığında analiz edilen ayda her günün aynı saati için neredeyse aynı değere sahip olduğu görülmektedir. Bilindiği üzere iyonosfer dinamik bir yapıya sahiptir. Her günün aynı saati için aynı değeri alması beklenmez. Tablo 1 ve tablo 2 incelendiğinde her iki modelden elde edilen TEM değerlerinin özellikle maksimum değerlerinde ciddi farklar ortaya çıktığı anlaşılmıştır.

4. Sonuçlar

2014 yılının Ocak, Nisan, Ağustos ve Kasım aylarındaki ZONG istasyonuna ait mevsimsel TEM değişimi toplam 46 istasyondan oluşan GNSS ağı kullanılarak Bernese 5.0v akademik yazılımı ve IRI-2012 internet tabanlı TEM hesaplayıcı üzerinden analiz edilmiştir. Sonbahar, kış, ilkbahar ve yaz aylarından birer ay alınarak yapılan analiz sonucunda her aya ilişkin farklı TEM değerleri elde edilmiştir. Her iki modelden elde edilen TEM veri setlerinin ilişkisinin saptanması amacıyla regresyon analizi yapılmıştır. Analiz sonucunda Ocak ayında $R^2=0.895$ Nisan ayında $R^2=0.838$, Ağustos ayında $R^2=0.745$ ve Kasım ayında $R^2=0.936$ lineer ilişki bulunmuştur. Fakat IRI-2012 modelinden analiz edilen günlerin aynı saati için neredeyse aynı TEM değerlerinin elde edildiği sonucuna varılmıştır. Bu sebeple IRI-2012 modelinin iyonosfer tabakasındaki değişimleri yeterince iyi izleyemediği düşünülmektedir. Diğer yandan yine her iki model kıyaslandığında IRI-2012’den elde edilen TEM değerlerinin tüm aylarda daha düşük kaldığı gözlenmiştir.

Kaynaklar

- Afraimovich, E. L., Astafyeva, E. I., (2008), TEC anomalies—Local TEC changes prior to earthquakes or TEC response to solar and geomagnetic activity changes?. *Earth, planets and space*, 60(9), 961-966.
- Alizadeh M. M., Schuh H., Todorova S., Schmidt M., (2011), Global ionosphere maps of VTEC from GNSS, satellite altimetry, and formosat-3/COSMIC data. *J Geod*, 85(12):975e87.
- Dach R., Hugentobler U., Fridez P. and Meindl M., (2007), Bernese GPS Software Version 5.0, Astronomical Institute, University of Bern, Switzerland s:279-286.
- Liu, Z., Gao, Y., Skone, S., (2005), A study of smoothed TEC precision inferred from GPS measurements. *Earth, planets and space*, 57(11), 999-1007.
- Liu, J. Y., Chen, Y. I., Chen, C. H., Liu, C. Y., Chen, C. Y., Nishihasi, M., Lin, C. H., (2009), Seismoionospheric GPS total electron content anomalies observed before the 12 May 2008 Mw7. 9 Wenchuan earthquake. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 114(A4).
- Withers, P., Mendillo, M., (2005), Response of peak electron densities in the Martian ionosphere to day-to-day changes in solar flux due to solar rotation. *Planetary and Space Science*, 53(14), 1401-1418.
- Namgaladze A. A, Zolotov O. V., Karpov M. I. and Romanovskaya Y. V., (2012) Manifestations of the Earthquake Preparations in the Ionosphere Total Electron Content Variations, *Natural Science*, Vol.4, No.11, 848-855.
- Petrie E. J., Hernandez-Pajares M., Spalla P., Moore P. and King M. A., (2011) A Review of Higher Order Ionospheric Refraction Effects on Dual Frequency GPS, *Surv Geophys* 32:197–253.
- Pajares, M. H., Juan J. M., Sanz, J., Angel A. A., Rigo A. G., Salazar D. and Escudero M., (2011), the Ionosphere: Effects, GPS Modeling and the Benefits for Space Geodetic Techniques *J Geod*, doi: 10.1007/s00190-011-0508-5.
- Sardon E., Ruis A. and Zarraoa N., (1994) Estimation Of The Transmitter And Receiver Differential Biases And The Ionospheric Total Electron Content From Global Positioning System Observations. *Radio Sci* 29(3):577–586.

- Saroso S., Liu J. Y., Hattori K. and Chen C. H., (2008), Ionospheric GPS TEC Anomalies and $M \geq 5.9$ Earthquakes in Indonesia during 1993-2002, *Terr. Atmos. Ocean. Sci.*, Vol. 19, No. 5, 481-488.
- Yildirim, O., Inyurt, S., Mekik, C. (2016). Review of variations in $M_w < 7$ earthquake motions on position and TEC ($M_w = 6.5$ Aegean Sea earthquake sample). *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 16(2), 543-557.
- Zhao, B., Wan, W., Liu, L., Ren, Z., (2009), Characteristics of the ionospheric total electron content of the equatorial ionization anomaly in the Asian-Australian region during 1996–2004. In *Annales Geophysicae*, Vol. 27, No. 10, pp. 3861-3873, Copernicus GmbH.
- URL-1 (2014) <http://212.156.70.42/> (Erişim Tarihi: 16.7.2014).
- URL-2 (2014) <ftp://igs.bkg.bund.de/IGS/obs/>, (Erişim Tarihi: 12.7.2014).
- URL-3 (2014) <ftp://igs.bkg.bund.de/EUREF/obs/>, (Erişim Tarihi: 25.07.2014).
- URL-4 (2014) http://omniweb.gsfc.nasa.gov/vitmo/iri2012_vitmo.html, (Erişim Tarihi: 10.07.2014)