

# DEPREM KAYNAKLI TOPLAM ELEKTRON İÇERİĞİ DEĞİŞİMLERİNİN ARAŞTIRILMASI: EGE DENİZİ DEPREMİ (25.05.2014 Mw:6.5)

M.ULUKAVAK<sup>1,2</sup>, M.YALÇINKAYA<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Şanlıurfa,  
[mulukavak@ktu.edu.tr](mailto:mulukavak@ktu.edu.tr)

<sup>2</sup>Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Trabzon,  
[mua11a@ktu.edu.tr](mailto:mua11a@ktu.edu.tr)

## Özet

Son yıllarda, uydu ve uzay tekniklerinin gelişmesiyle depremin deformasyon etkileri kurulan jeodezik GPS ağları ile yatay ve düşey konumda belirlenebilmektedir. Ayrıca, bu ağlarda yapılan gözlemler GPS uydularını birer sensör gibi kullanarak deprem öncesinde ve deprem anında deprem kaynaklı iyonosferik TEC değişimlerinin de izlenmesine olanak sağlamaktadır. Bu çalışmada, deprem öncesinde ve deprem anında iyonosferde meydana gelen değişimlerin, iyonosferik Toplam Elektron İçeriği (TEC) değişimlerine olan etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, Çanakkale açıklarında 24 Mayıs 2014 tarihinde, saat 12:25:03'te (-3 UT) meydana gelen Ege Denizi Depremi'nin (6.5 Mw) iyonosferde meydana getirdiği değişimler araştırılmıştır. Çalışmada, depremin merkez üssüne yakın TUSAGA-Aktif istasyonlarından (AYVL, CANA, IPSA ve YENC) elde edilen GPS gözlemleri kullanılmıştır. Bu gözlemler Harita Genel Komutanlığı'nın erişime açtığı arşivinden (URL-3) indirilmiştir. Bernese v5.0 GNSS yazılımı ile ölçüler yumuşatılarak (Smooth), faz kaymaları (Cycle Slip) ve çok yolluluk (Multipath) etkileri giderilmiştir. Deprem öncesi ve deprem anı TEC değişimleri iki kampanyada araştırılmıştır. Birinci kampanyada AYVL, IPSA ve YENC istasyonlarının 115. ve 156. GPS günü arası toplam 42 günlük VTEC değişimleri belirlenmiş ve deprem öncesinde ortaya çıkan iyonosferik TEC değişimlerinin belirlenmesinde kullanılmıştır. İkinci kampanyada ise AYVL, CANA ve IPSA istasyonlarının 144. GPS gününde dört GPS uydusuna ait (GPS05, GPS07, GPS08 ve GPS15) STEC değerleri deprem anında meydana gelen iyonosferik TEC değişimlerinin belirlenmesinde kullanılmıştır. STEC değerlerine zaman serisi analizi ile trend ve periyodik bileşenin analizi yapılmış, stokastik bileşenin analizi yapılmamıştır. Trend ve periyodik model ile uzun dönemli etkiler belirlenmiş ve seriden çıkartılarak gözlemler ve model arasındaki kısa periyotlu değişimler elde edilmiştir. Belirlenen bu değişimlere yüksek-geçiren filtre (High-Pass Filter) uygulanarak deprem anında STEC değişimlerine etki eden yüksek frekanslı (kısa periyotlu) etkilerin depremden kaç dakika sonra ortaya çıktığı hesaplanmıştır. Ayrıca bu çalışmada, jeomanyetik aktivite (Dst) değerleri de incelenmiş ve depremin öncesinde ve sonrasında jeomanyetik aktivitenin (URL-1) olmadığı belirlenmiştir. Bu bağlamda, depremin meydana geldiği bu bölgede deprem öncesi VTEC değişimlerinin deprem gününden yaklaşık 5 ile 13 gün öncesinde ortaya çıktığı, yapılan diğer çalışma sonucunda ise kısa periyotlu değişimlerin STEC değerlerine deprem anından yaklaşık 4 ile 7 dakika sonra etki ettiği görülmüştür.

Anahtar kelimeler: GPS, Deprem, İyonosfer, TEC, Zaman Serisi Analizi.

## INVESTIGATION OF TOTAL ELECTRON CONTENT VARIATIONS DUE TO EARTHQUAKES: AEGEAN SEA EARTHQUAKE (25.05.2014 Mw:6.5)

### Abstract

*In recent years, development in satellite and space techniques has led to monitor the deformation affects (horizontally and vertically) due to earthquakes by getting benefit from the geodetic GPS networks. Besides, observations made in these networks enable users to detect the ionospheric pre-seismic and co-seismic TEC variations by using the satellites as a sensor. The aim of this study is to monitor the effects of the ionospheric pre-seismic and co-seismic activities over the ionospheric Total Electron Content (TEC) variations. For this purpose, the effects of the Aegean Sea earthquake (6.5 Mw), which is occurred off Çanakkale in 24 May 2014 at 12:25:03 (-3 UT), are investigated. In this study, GPS observations obtained from the CORS-TR stations (AYVL, CANA, IPSA and YENC) which are near the epicenter of the earthquake are used. The observations are downloaded from the archive (URL-3) provided by the General Command of Mapping. The Bernese v5.0 GNSS software is used to smooth the observations by removing the cycle slip and multipath effects. Pre-seismic and co-seismic TEC variations are examined in two campaigns. In the first campaign, 42-day (between DoY 115th and 156th) VTEC variations of the AYVL, IPSA and YENC stations are determined and used to monitor the ionospheric TEC variations before the earthquake. In the second campaign, the STEC data, which is calculated using four GPS satellite (GPS05, GPS07, GPS08 and GPS15) observations from the AYVL, CANA and IPSA stations at DoY 144, is used to detect the ionospheric TEC variations at the time of the earthquake. Time series analysis is performed to the STEC data with trend and periodical component analysis, however, stochastic component analysis is not performed. Long period effects are estimated using the trend and periodical model and discarded from the series in order to obtain the short period variations between the observations and model. These variations are then filtered with a high-pass filter to see how many minute it takes to the high frequency (short period) effects take place after the earthquake. Geomagnetic activity (Dst) values are also examined and it is concluded that no geomagnetic activity (URL-1) occurs before and after the earthquake. In this context, VTEC anomalies before the earthquake are found to occur approximately 5-13 days before the earthquake. It is also found out that the short period variations affects the STEC values approximately 4-7 minutes after the earthquake.*

*Keywords: GPS, Earthquake, Ionosphere, TEC, Time Series Analysis.*

### 1. Yöntem

#### 1.1. STEC Belirleme Yöntemi

STEC değeri psodyo-range ve taşıyıcı faz ölçüleri kullanılarak herhangi bir anda hesaplanabilir. Literatürde, Jakowski ve diğ. (1996), Komjathy ve Langley (1996), Komjathy (1997), Warnant (1997), Makalea ve diğ. (2001), Lanyi ve Roth (1988), Jin ve diğ. (2012) ve Otsuka ve diğ. (2002), psodyo-range ve taşıyıcı faz ölçülerinin avantajlarını kullanmak için  $L_4$  gözlemlerini  $P_4$  gözlemleriyle kombine eden birçok algoritma sunmuşlardır. Bu çalışmada, faz düzeltmesi getirilmiş veya faz gözlemleriyle yumuşatılmış daha az gürültülü TEC gözlemleri ortaya çıkarılmıştır.  $P_4$  gözlemlerine  $L_4$  gözlemleri kombine edilerek her bir ölçü yolu için;

$$B^m = \frac{1}{N_{ms}} \sum_{n_{ms}=1}^{N_{ms}} (P_{4,u}^m(n_{ms}) - L_{4,u}^m(n_{ms})) \quad (1)$$

$B^m$  değerleri elde edilmiştir. Burada,  $B^m$ ,  $m$ . uydu için yumuşatma değerini,  $N_{ms}$  her bir uydu ve alıcı arasındaki ölçü sayısını,  $n_{ms}$  her bir uydu ve alıcı arasındaki zaman indisi değerini göstermektedir.  $B^m$ ,  $P_4$  kombinasyonu ile kullanılarak STEC;

$$STEC_u^m(n) = \frac{1}{A} \left( \frac{f_1^2 f_2^2}{f_1^2 - f_2^2} \right) (B^m + L_{4,u}^m(n) + c(DCB^m + DCB_u)) \quad (2)$$

elde edilir. STEC eşitlik (2)'den faz ölçüleriyle yumuşatılmış psyydo-range gözlemlerinden elde edilebilir. Bu eşitlikte  $f_{1,2}$ , GPS alıcılarındaki çift frekansı;  $c$ , boşluktaki ışık hızını ve  $DCB^m, DCB_u$ , uydulara ve alıcıya ait diferansiyel kod farklarını gösterir.

### 1.2. VTEC Belirleme ve İzdüşüm Fonksiyonu

STEC'in iyonosferin delindiği noktanın yerel zenith doğrultusu düşey TEC (VTEC) olarak bilinmektedir. VTEC ve STEC arasındaki izdüşüm fonksiyonu Lanyi ve Roth (1988), Otsuka ve diğ. (2002), ve Ma ve Maruyama (2003) tarafından;

$$VTEC_u^m(n) = \frac{STEC_u^m(n)}{M(\epsilon^m(n))} \quad (3)$$

burada,  $M(\epsilon)$  izdüşüm fonksiyonu;

$$M(\epsilon^m(n)) = \left[ 1 - \left( \frac{R \cos \epsilon^m(n)}{R + h} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

olarak belirlenmiştir. Burada,  $\epsilon^m$ , alıcı ile  $m$ . uydunun yerel yükselim açısı;  $h$ , iyonosferik ince kabuk modeli yüksekliği;  $R$ , dünyanın yarıçapıdır (Schaer,1999; Wild, 1994).

### 1.3. Zaman Serileri Analizi

Zaman serisi analizi ile STEC değişiminin izlenmesi trend, periyodik ve stokastik bileşenler olarak üç bileşen ile incelenebilir. Bu çalışmada zaman serileri analizi yönteminin stokastik bileşeni incelenmemiştir.  $STEC(t_i)$ ,  $t_i$  ( $i = 1,2,3, \dots, N$ ) epoklarındaki hesaplanmış STEC değerleridir;

$$STEC(t_i) = [STEC(t_i)]_{trend} + STEC(t_i)_{periodical} + [STEC(t_i)]_{stochastic} \quad (5)$$

Zaman serisi analizinin ilk aşaması kaba hataların tespit edilmesi ve STEC gözlemlerinden çıkarılmasıdır. Daha sonra STEC serisi trend bileşenini belirlemek için analiz edilir. Ayrıca trend bileşeninin analizi ile sıfır frekansta pik yapan sinyalin olumsuz etkilerinin giderilmesinde kullanılır (Jenkins ve Watts, 1968; Tsay, 2010; Mills, 2011):

$$STEC(t_i)_{trend} = \sum_{k=1}^m c_k t_i^{k-1} \quad (6)$$

burada,  $c_k$  ( $k = 1, 2, 3, \dots, m$ ) parametreleri, fonksiyonun mertebesine bağlı katsayılarıdır. Bilinmeyen trend bileşeni parametreleri  $c_k$  katsayıları EKK yöntemine göre istatistiksel olarak  $1 - \alpha$  anlamlı güven aralığına göre test edilerek kestirilirler. Parametrelerin anlamlı olmaması halinde model genişletilerek anlamlı parametreler elde edilinceye kadar bu işleme devam edilir. Trend bileşeni analizini periyodik bileşenin analizi takip eder. Bu analiz STEC değerlerinin **cosinüs** ve **sinüs** trigonometrik fonksiyonları ile modellenmesiyle gerçekleşir;

$$STEC(t_i)_{periodical} = \sum_{s=1}^q [a_s \cos(2\pi f_s t_i) + b_s \sin(2\pi f_s t_i)] \quad (7)$$

burada,  $f_s$  ( $s = 1, 2, 3, \dots, q$ ) bilinen veya kestirilen STEC serisine ait frekanslardır. Bilinmeyen periyodik bileşen parametreleri  $a_s$  ve  $b_s$  katsayıları EKK yöntemine göre istatistiksel olarak  $1 - \alpha$  anlamlı güven aralığına göre test edilerek kestirilirler. Parametrelerin anlamlı olmaması halinde model genişletilerek anlamlı parametreler elde edilinceye kadar bu işleme devam edilir.  $f_s$  frekanslarının bilinmemesi halinde, verilen STEC serisinden bu değerlerin kestirilmesi gerekir. Trend bileşeni giderilmiş serinin zaman ortamından frekans ortamına dönüşümü hızlı Fourier dönüşümü kullanılarak (FFT) gerçekleştirilir (Chatfield, 1996; Jenkins ve Watts 1968; Tsay, 2010; Mills, 2011). Bu frekanslar kullanılarak, zaman serisi analizinin periyodik bileşeninin anlamlı parametreleri  $a_s$  ve  $b_s$  EKK yöntemine göre kestirilir ve istatistiksel olarak  $1 - \alpha$  güven aralığına göre test edilir. Uygulama, parametrelerin hepsi anlamlı olcaya kadar devam eder.

## 2. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, AYVL, IPSA ve YENC istasyonlarının 115. ve 156. GPS günü arası VTEC değişimleri deprem öncesi iyonosferik TEC'te meydana gelen değişimlerin belirlenmesi için çizdirilmiş ve depremin meydana geldiği bu bölgede deprem öncesi VTEC değişimlerinin deprem gününden yaklaşık 5 ile 13 gün öncesinde ortaya çıktığı görülmüştür. Yapılan diğer çalışmada ise meydana gelen depremin AYVL, CANA ve IPSA istasyonlarının STEC değerlerine etkisinin depremden yaklaşık 4 ile 7 dakika sonra ortaya çıktığı görülmüştür. Jeomanyetik aktivite (Dst) değerlerinin de 25 Nisan - 5 Haziran 2014 tarihleri arasındaki saatlik değişimlerine bakılmış ve depremin öncesinde ve sonrasında 20nT değerinden daha üst seviyelere çıkmadığı görülmüştür. Sonuç olarak bu tarihler arasında iyonosferik TEC değişimlerini etkileyecek herhangi bir jeomanyetik aktivitenin olmadığı görülmüştür.

Sonuçlar deneysel ve istatistiksel yöntemler ile ortaya çıkarılmış olsa da, deprem öncesi belirtilerin kesin olarak belirlenebilmesi için bölgede daha fazla araştırma yapılması gerekmektedir. Ortaya çıkan modeller ancak o bölgede belirlenen öncüleri modellemektedir diyebiliriz fakat daha fazla dış parametre ile modellenmenin yapılması gerekebilir. Farklı bölgeler için yapılan aynı çözümlerde bu aşamada geçerli olmayabilir. Bu amaçla sonuçların daha güvenilir olması için birçok disiplinin ortaklaşa çalışması ile bölgesel modellerin oluşturulması gerekmektedir.

## Kaynaklar

Chatfield C., (1996). The Analysis Of Time Series. *Chapman & Hall* CRC. 283 pp.

Dach, R., Hugentobler, U., Fridez, P. ve Meindl, M., (2007). Manual of Bernese GPS Software Version5.0. Astronomical Institute. University of Bern.

Jakowski, N., Sardon, E., Engler, E., Jungstand, A., ve Klahn, D., (1996). Relationships between GPS-signal propagation errors and EISCAT observations. *Ann. Geophysicae*. 14, 1429– 1436.

Jenkins, G.M. ve Watts, D.G., (1968). Spectral analysis and its applications, Holden-Day series in time series analysis, Holden-Day.

Jin, R., Jin, S.G. ve Feng, G.P., (2012). M DCB: Matlab code for estimating GNSS satellite and receiver differential code biases, *GPS Solut.*, 16(4), 541-548, doi: 10.1007/s10291-012-0279-3.

Komjathy, A., ve Langley, R., (1996). An assesment of predicted and measured ionospheric total electron content using a regional GPS network. paper presented at *Nat. Tech. Meet., Inst. of Nav.*, Santa Monica, CA 22–24 January.

Komjathy, A., (1997). Global Ionospheric Total Electron Content Mapping Using the Global Positioning System. *Doktora Tezi*, Dept. of Geodesy and Geomatics Engineering Technical Report No. 188. Univ. of New Brunswick, Fredericton, New Brunswick, Canada.

Lanyi, G. E., ve Roth, T., (1988). A Comparison Of Mapped And Measured Total Ionospheric Electron Content Usin Global Positioning System And Beacon Satellite Observations. *Radio Sci.*, 23, 483–492.

Makalea, J. J., Kelley, M. C., Sojka, J. J., Pi, X., ve Manucci, A. J., (2001). GPS normalization and preliminary modeling results of total electron content during midlatitude space weather event. *Radio Sci.* 36, 356–361.

Mills, T.C., (2011). The Foundations of Modern Time Series Analysis, Palgrave Macmillan perspectives in econometrics, Palgrave Macmillan, isbn:9780230290181.

Otsuka, Y., Ogawa, T., Saito, A., Tsugawa, T., Fukao, S. ve Miyazaki, S., (2002). A new technique for mapping of total electron content using GPS network in Japan, *Earth Planets Space*, 54, 63–70.

Schaer, S., (1999). Mapping and Predicting the Earth's Ionosphere Using the Global Positioning System. *Geodatisch-geophysikalische Arbeiten in der Schweiz*, Vol. 59.

Tsay, R. S., (2010). Frontmatter, in Analysis of Financial Time Series. Third Edition, *John Wiley & Sons, Inc.*, Hoboken, NJ, USA. doi: 10.1002/9780470644560.fmatter

Warnant, R., (1997). Reliability of the TEC computed using GPS measurements - The problem of hardware biases. *Acta Geod. Geoph. Hung.* 32(3– 4), 451– 459.

Wild, U., (1994). Ionosphere and Geodetic Satellite Systems: Permanent GPS Tracking Data for Modeling and Monitoring. *Geodatisch-geophysikalische Arbeiten in der Schweiz*, Vol. 48.

---

URL-1: [http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/dst\\_realtime/201404/index.html](http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/dst_realtime/201404/index.html) (Erişim Tarihi: 29 Temmuz 2014).

URL-2: <ftp://cddisa.gsfc.nasa.gov/gps/> GPS Ürünleri: Günlük hassas efemeris ve ionosferik dosyalar (.SP3 ve .14i), (Erişim Tarihi: 18 Temmuz 2014).

URL-3: <http://sunum.hgk.msb.gov.tr/> TUSAGA-Aktif İstasyonlarına ait RINEX gözlem dosyaları (.14O), (Erişim Tarihi: 20 Temmuz 2014).