

Türkiye Üzerindeki İyonkürenin Uzay-Zamanda Değişiminin YKS Ağı Kullanılarak Modellenmesi

Sinem Deniz YENEN¹, Feza ARIKAN²

¹ASELSAN, REHİS, Gölbaşı, Ankara
s.d.yenen@gmail.com

²Hacettepe Üniversitesi
Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü
Beytepe, Ankara
, arikan@hacettepe.edu.tr

Özet: İyonküre havakürenin yüksek elektron yoğunluğuna sahip, yönbağımlı, dağıtılmalı ve düzgün dağılmayan katmanıdır. İyonküre katmanının yapısını incelerken kullanılan en önemli parametrelerden biri Toplam Elektron İçeriği (TEİ)'dir. Bu çalışmada iyonkürenin uzay-zamanda gösterdiği değişikliklerin modellenmesi amaçlanmıştır, bunun için orta enlemde bulunan bir Yerküresel Konumlama Sistemi (YKS) istasyon ağından elde edilen Eğik Elektron İçeriği (ETEİ) verileri kullanılmıştır. YKS istasyon ağı bölgelere ayrılmış, her bölge için referans - komşu istasyonları ETEİ değerleri arasındaki benzerlik ve uyduların izlediği yollar arasındaki ilişki 2011 senesi boyunca, sakin ve fırtınalı günlerde, farklı saatler için Simetrik Kullback-Leibler Mesafesi (SKLD), Uzaklık Metriği (L2N), Çapraz İlinti Katsayısı (ÇİK) yöntemleriyle incelenmiştir.

Abstract: *The ionosphere is an atmospheric layer that has high electron concentration and anisotropic, dispersive, inhomogenous nature. Total Electron Content (TEC) is one of the most important parameters in observing the structure of ionosphere. This study aims to model the spatial-temporal variability of ionosphere and for this uses Slant Total Electron Content (STEC) values provided by a midlatitude Global Positioning System (GPS) network. The GPS network stations are partitioned into groups and for each group similarity between reference-neighbor stations STEC values and the relation between satellite tracks are investigated during 2011 for quiet and stormy days, different time of the day with Simetrik Kullback-Leibner Distance (SKLD), Metric Distance (L2N), Cross Correlation Coefficient (CC).*

1. Giriş

İyonküre katmanı Kısa Dalga (KD) haberleşmesi, uydu tabanlı konumlama sistemleri açısından büyük öneme sahiptir. İyonküredeki yapı ve elektron miktarı; zaman konum değişiklikleri, güneş etkinlikleri ve jeomanyetik etkinlikler sonucu değişim göstermektedir [1]. Bu nedenle iyonkürenin sürekli gözlemlenmesi ve karakterize edilmesi gerekmektedir. İyonkürenin karakteristiğini ifade eden en önemli parametrelerden biri elektron yoğunluğu ile ilintili olan Toplam Elektron İçeriği (TEİ)'dir. TEİ 1 m²'lik kesitli bir silindir boyunca toplam serbest elektron miktarıdır. Her bir uydu ile alıcı arasındaki TEİ değerine Eğik Toplam Elektron İçeriği (ETEİ) denilmektedir. İyonküre gözlemlenirken çift frekanslı Yerküresel Konumlama Sistemi (YKS) alıcı kayıtları en çok kullanılan yöntemlerden biridir [2]. Tek katmanlı iyonküre modelinde (SLIM), iyonkürenin katman boyunca en yüksek elektron yoğunluğunu içeren sonsuz ince bir tabaka olduğu kabul edilmektedir. Uyduların izledikleri yol boyunca, alıcı istasyonlarla gönderdikleri işaretlerin tek katmanlı iyonküre modelini kestikleri noktalara iyonküre delme noktaları denilmektedir [3]. Bu çalışmada bir orta enlem YKS istasyon ağı bölgelere ayrılmış, referans ve komşu istasyon ETEİ değerleri ile iyonküre delme noktaları arasındaki ilişki incelenmiştir. Bu amaçla tüm uydular için, YKS ağı üzerinden geçerlerken istasyonlar tarafından 40°'den büyük açıyla görüldükleri anlar bulunmuş ve bu anlara karşılık gelen ETEİ değerleri kullanılmıştır. Bölgelerdeki istasyonların aynı uyduya bakarken oluşturdukları iyonküre delme noktaları ve ETEİ değerleri arasındaki ilişkiye Simetrik Kullback-Leibner Mesafesi (SKLD), Uzaklık Metriği (L2N), Çapraz İlinti Katsayısı (ÇİK) yöntemleriyle bakılmıştır [4]. Bu karşılaştırmalar iyonkürenin hem zamansal hem de uzaysal değişiminin değerlendirilmesi amacıyla 2011 senesi boyunca, sakin ve fırtınalı günlerde, günün farklı saatlerinde ve YKS ağının farklı bölgelerinde gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmadan çıkarılan sonuçlar YKS ağı üzerinden alıcı yanlılığı ve TEİ kestiriminde kullanılacaktır. Çalışmanın 2. bölümünde İONOLAB-STEC metodu, 3. bölümünde SKLD, L2N, ÇİK yöntemleri, 4. bölümünde karşılaştırma sonuçları ile ilgili bulgular ve 5. bölümünde çalışmadan elde edilen sonuçlar bulunmaktadır.

2. IONOLAB-STEÇ

IONOLAB grubu, çift frekanslı YKS alıcılarından sözde menzil ve faz parametrelerini kullanarak YKS-ETEİ kestirimi yapabilmek amacıyla IONOLAB-STEÇ metodunu geliştirmiştir. IONOLAB-STEÇ, ETEİ kestirimi yaparken diferansiyel yanlılık değerini IONOLAB-BIAS metodunu kullanarak elde etmektedir [5-7]. Bu çalışmada referans istasyon ETEİ değerleri $\mathbf{X}_{u;d}^m$ vektörü ile ifade edilmektedir ve m. uydu, u. istasyon ve d. gün için Eşitlik 1'deki gibi yazılabilir.

$$\mathbf{X}_{u;d}^m = [X_{u;d}^m(1) \quad \dots \quad X_{u;d}^m(n_s) \quad \dots \quad X_{u;d}^m(N_s)]^T \quad (1)$$

Eşitlik 1'de n_s uyduların 40°'den büyük açıyla görüldüğü anlardır ve $1 \leq n_s \leq N_s$ olacak şekilde sınırlandırılmıştır, T ise matris devriğini ifade etmektedir.

Komşu istasyon ETEİ değerleri $\mathbf{Y}_{v_n;d}^m$ vektörü ile ifade edilmektedir ve m. uydu, u. istasyon ve d. gün için Eşitlik 2'deki gibi yazılabilir.

$$\mathbf{Y}_{v_n;d}^m = [Y_{v_n;d}^m(1) \quad \dots \quad Y_{v_n;d}^m(n_s) \quad \dots \quad Y_{v_n;d}^m(N_s)]^T \quad (2)$$

Eşitlik 2'de n_s uyduların 40°'den büyük açıyla görüldüğü anlardır ve $1 \leq n_s \leq N_s$ olacak şekilde sınırlandırılmıştır, T ise matris devriğini ifade etmektedir. Her bölgedeki komşu istasyon sayısı değişmektedir, komşu istasyon sayısı N_v olan bir bölgede v_n , $1 \leq v_n \leq N_v$ olacak şekilde sınırlandırılmaktadır.

3. Karşılaştırma Yöntemleri

Simetrik Kullback-Leibner Mesafesi (SKLD), iki olasılık yoğunluk fonksiyonu arasındaki ilişkiyi formüllendiren bir yöntemdir.

$$\mathbf{X}_{n_{u;d}}^m = \mathbf{X}_{u;d}^m \left(\sum_{n=1}^{N_s} X_{u;d}^m(n) \right)^{-1} \quad (3)$$

$$\mathbf{Y}_{n_{v_n;d}}^m = \mathbf{Y}_{v_n;d}^m \left(\sum_{n=1}^{N_s} Y_{v_n;d}^m(n) \right)^{-1} \quad (4)$$

$$SKLD_{v_n;d}^m = \sum_{n=1}^{N_s} X_{n_{u;d}}^m(n) \ln \left(\frac{X_{n_{u;d}}^m(n)}{Y_{n_{v_n;d}}^m(n)} \right) + \sum_{n=1}^{N_s} Y_{n_{v_n;d}}^m(n) \ln \left(\frac{Y_{n_{v_n;d}}^m(n)}{X_{n_{u;d}}^m(n)} \right) \quad (5)$$

Uzaklık metriği (L2N), iki fonksiyon arasındaki metrik uzaklığı ölçen bir yöntemdir.

$$L2N_{v_n;d}^m = \sqrt{\sum_{n=1}^{N_s} (X_{u;d}^m(n) - Y_{v_n;d}^m(n))^2} \quad (6)$$

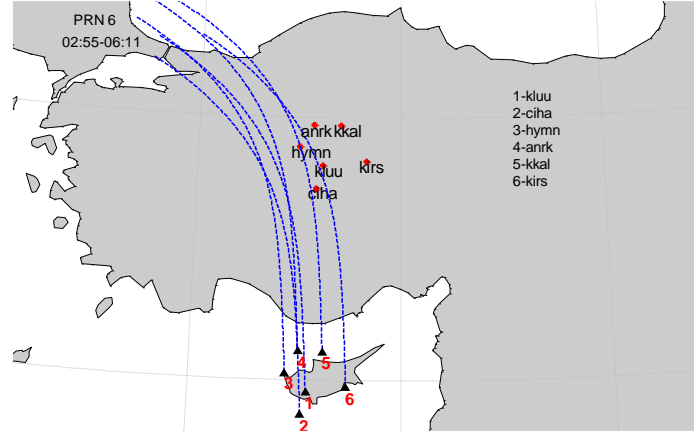
Çapraz İlinti Katsayısı (ÇİK), iki fonksiyonun benzerlik karşılaştırması yapılırken kullanılmaktadır.

$$CC_{v_n;d}^m = \frac{1}{N_s \sigma_X \sigma_Y} \sum_{n=1}^{N_s} (X_{u;d}^m(n) - \mu_X) (Y_{v_n;d}^m(n) - \mu_Y) \quad (7)$$

μ_X ve μ_Y , $\mathbf{X}_{u;d}^m$ ve $\mathbf{Y}_{v_n;d}^m$ vektörlerinin ortalama değerleri, σ_X ve σ_Y ise standart sapmalarıdır.

4. Bulgular

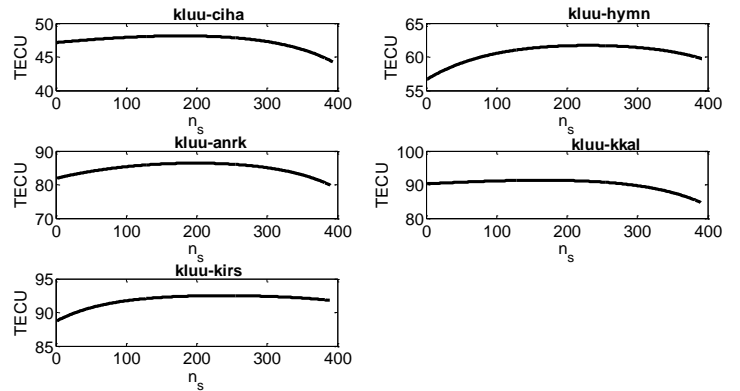
Bu çalışmada 2011 yılı boyunca TUSAGA-Aktif YKS istasyon ağından, IONOLAB-STEÇ yöntemiyle kestirilen ETEİ değerleri kullanılmıştır. YKS istasyon ağı bölgelere ayrılmış, bu bölgelerdeki referans ve komşu istasyon ETEİ değerleri arasındaki metrik uzaklığa, şekilsel benzerliklere ve değerlerin birbirleri ile ilintisine Eşitlik 3-7 ile bakılmıştır. 28-Mart-2011 sakin günü, sabah saatleri için, 9. bölge istasyonları iyonküre delme noktaları Şekil 1'de, Eşitlik 3-7 sonuçları Tablo 1'de verilmiştir. 9. bölgede kluu referans istasyonudur, yakından uzağa sırasıyla ciha-hymn-anrk-kkal-kirs ise komşu istasyonlardır. SKLD ve L2N yöntemleri kullanılarak ETEİ değerleri benzerlik sonuçları Tablo 1'de verilmiştir ve sırasıyla kkal-ciha-kirs-hym-anrk'dır. kkal, kluu istasyonuna ciha'dan daha uzak olmasına ve anrk ile aynı enlemde olmasına rağmen karşılaştırma sonuçlarında ilk sıradadır. kkal, ciha ve anrk'ya göre daha doğudadır. kkal'ı, ciha ve kirs takip etmektedir. Şekil 2'de de görüldüğü gibi ciha ve kkal'ın iyonküre delme noktaları kluu iyonküre delme noktasıyla neredeyse paralel gidip sonra uzaklaşmış, kirs ile kluu iyonküre delme noktaları ise yakınlaşıp neredeyse paralel devam etmiştir. Benzerlik sıralamasını kluu istasyonuna daha yakın olan hymn arkasından da anrk takip etmektedir. ÇİK değerlerinden tüm istasyonların ETEİ değerlerinin ilintili olduğu görülebilmektedir.



Şekil 1 TUSAGA-Aktif 9. bölgesindeki istasyonlar ve istasyonların iyonküre delme noktaları.

	L2N (TECU)	SKLD	ÇİK
ciha	5,52	$3,01 \times 10^{-5}$	0,999969
hymn	12,24	$19,60 \times 10^{-5}$	0,999916
anrk	15,76	$26,10 \times 10^{-5}$	0,999934
kka	1,96	$2,29 \times 10^{-5}$	0,999893
kirs	6,78	$3,80 \times 10^{-5}$	0,999895

Tablo 1- Referans kluu istasyonu ve komşu istasyonların Eşitlik 3-7 karşılaştırma sonuçları.



Şekil 2- kluu ve komşu istasyon iyonküre delme noktaları L2N sonuçları.

5. Sonuçlar

Bu çalışmada iyonkürenin uzay-zamanda değişimlerinin modellenmesi amacıyla referans-komşu istasyon ETEİ değerleri ve iyonküre delme noktaları arasındaki ilişkiye SKLD, L2N, ÇİK yöntemleriyle bakılmıştır. Çıkan sonuçlarda ETEİ benzerliğinin sadece istasyonların birbirlerine göre uzaklıklarına bağlı olmadığı görülmüştür. Referans istasyonun doğusunda bulunan ve iyonküre delme noktaları birbirine paralel olan istasyonların ETEİ değerleri sakin ve fırtınalı günlerde birbirlerini daha iyi takip etmektedir.

6. Teşekkür

Bu çalışma TÜBİTAK 114E092 ve AS CR 14/001 projeleri tarafından desteklenmektedir ve elde edilen sonuçlar bu projelerin kapsamında YKS ağı üzerinden alıcı yanlılığı ve TEİ kestiriminde kullanılacaktır.

Kaynaklar

- [1]. Köroğlu, Meltem, "İyonosfer Dinamiğinin Analizi ve Model Tanıma Çalışmaları", Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği, Ankara, Türkiye, 2012.
- [2]. Davies, K. ve Hartmann, G.K., "Studying the ionosphere with the Global Positioning System", Radio Science, cilt.32 no.4, s.1695-1703, 1997.
- [3]. Nayir, I., "Yerküresel Konumlama Sistemi İşaretleri Kullanılarak İyonosfer Toplam Elektron İçeriği Kestirimi", Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği, Ankara, Türkiye, 2007.
- [4]. Karatay, S., Arıkan, F. ve Arıkan O., "Investigation of total electron content variability due to seismic and geomagnetic disturbances in the ionosphere", cilt.45 no.5, 2010.
- [5]. Arıkan, F., Erol, C.B. ve Arıkan O., "Regularized estimation of vertical total electron content from Global Positioning System data", J. Geophys. Res., cilt.108 no.A12, 2003.
- [6]. Nayir, H., Arıkan, F., Arıkan, O. ve Erol C.B., "Total Electron Content estimation with Reg-Est", cilt.108 no.A12, 2013.
- [7] Arıkan, F., Nayir, H., Sezen, U. ve Arıkan O., "Estimation of single station interfrequency receiver bias using GPS-TEC", cilt.43, 2008.