

## İyonkürenin Toplam Elektron İçeriğinin Güneş Lekesi Sayısı ile Değişimi

Ali Çınar, Seçil Karatay, Feza Arıkan\*, Orhan Arıkan<sup>+</sup>  
Kastamonu Üniversitesi  
Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü  
Kastamonu  
acinar@kastamonu.edu.tr, skaratay@kastamonu.edu.tr

\*Hacettepe Üniversitesi  
Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü  
Ankara  
arikan@hacettepe.edu.tr

<sup>+</sup>Bilkent Üniversitesi  
Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü  
Ankara  
oarikan@ee.bilkent.edu.tr

**Özet:** Bu çalışmada, Güneş hareketliliğinin İyonküre’de meydana getirdiği değişimleri incelemek için Regresyon Analizi Yöntemi ve L2-Normu Yöntemi kullanılmıştır. Güneş Lekesi Sayısı arttıkça Toplam Elektron İçeriği değerlerinin ve regresyon belirleme katsayısının da arttığı gözlenmiştir. Gün-tün dönemindeki farkların gündönümü zamanlarından daha büyük olduğu L2-Normu yöntemiyle görülmüştür.

**Abstract:** In this study, the variation in the ionosphere caused by the solar activity is investigated using Regression Analysis and L2-Norm Methods. It is observed that Total Electron Content values and regression determination coefficients increase depending on the enhancement in the sunspot numbers. L2-Norm values between the equinox days are greater than those between the solstice days.

### 1. Giriş

Marconi’nin 1901’de Cornwall’den yayımlanmış olan radyo dalgası işaretini Newfoundland’de alması, Yer İyonküresi’nin deneysel olarak saptanmasını sağladı. 1925’e doğru Appleton ve Hartree, manyetik alan eşliğindeki bir atmosferde radyo dalgalarının yayılması kuralını ortaya attı. 1929’da “İyonküre” adı benimsendi. İyonküre, Yer Atmosferi’nin 50 ile 1000 km yükseklikleri arasında yer alan ve Güneş’ten gelen ışınlamalarla şekillenen nötr bir katmandır. En önemli parametresi ise, konum, zaman, güneş, jeomanyetik ve sismik hareketliliğe bağlı olan elektron yoğunluğudur. İyonküre’deki birçok parametre, elektron yoğunluğu dağılımına bağlı olan fonksiyonlarla ifade edilir. Bunlardan biri de, bir metrekaire kesitli bir silindir boyunca toplam serbest elektron miktarı olarak tanımlanan Toplam Elektron İçeriği-TEİ’dir. Birimi TECU olup  $1 \text{ TECU} = 10^{16} \text{ el/m}^2$  dir.

İyonküre, Güneş ve Yerküre’nin manyetik alanındaki hareketliliğe bağlı olarak önemli değişimler gösterir. İyonküre’yi etkileyen bu hareketlilikler, yoğunluk dağılımında, Toplam Elektron İçeriğinde (TEİ) ve akım sisteminde büyük karışıklıklara sebep olurlar. İyonküre’de meydana gelen karışıklıkların birincil kaynağı Güneş Lekeleri olarak adlandırılan, güneşin yüzeyinde oluşan daha soğuk olan bölgelerde meydana gelen patlamalarda, Yüksek Hızlı Güneş Rüzgarı Sisteminde (HSSWS) ve Koronal Kütle Boşalımında (CME) şiddeti artan ışınlamalar. Patlamalar, CME ve HSSW, yerküreye yüklü parçacıklar yollarlar ve iyonküresel (jeomanyetik) fırtınalara sebep olurlar [1]. Güneş Lekeleri’nin belirli bölgelerde ve belirli aralıklarla artıp azalan sayıları, Güneş’in etkin bir dönemde olup olmadığının en büyük ipucunu sağlar. Manyetik etkinliğin çok olduğu dönemler, doğal olarak lekelerin de sayılarının arttığı dönemlere karşılık gelir.

İstatistik, matematik, sinyal işleme ve enformasyon teorisinde L2-Normu, iki vektör arasındaki farkı tanımlamak için kullanılan bir metriktir [2,3]. Bu çalışmada, Türkiye üzerinde konumlanmış olan ankr Yerküresel Konumlama Sistemi (YKS) istasyonundan, 2009 ve 2014 yıllarının Mart ve Haziran ayları için elde edilen IONOLAB-TEC kestirimlerinin değişimleri L2-Norm yöntemi ve regresyon analizi kullanılarak incelenmiştir. Analiz Yöntemi Bölüm 2’de, sonuçlar ise Bölüm 3’te sunulmuştur.

## 2. Analiz Yöntemi

Dünya üzerindeki bir YKS alıcısına göre yerel zenit doğrultusunda hesaplanan toplam serbest elektron miktarına Dik Toplam Elektron İçeriği (VTEC) denir. d. gün için hesaplanan VTEC verileri, u, alıcı numarası; N, toplam ölçüm sayısı; n, örnek numarası ( $1 \leq n \leq N$ ); T ise matris devriği olmak üzere  $\mathbf{x}_{u;d}$  vektörüyle ifade edilebilir:

$$\mathbf{x}_{u;d} = [x_{u;d}(1) \dots x_{u;d}(n) \dots x_{u;d}(N)]^T \quad (1)$$

Regresyon analizi, iki ya da daha çok değişken arasındaki ilişkiyi ölçmek için kullanılan analiz metodudur. Saçılma Diyagramı, yatay eksen x, dikey eksen y olmak üzere, (x,y) ikili örnek verilerinin işaretlendiği bir grafikdir. Her bir (x,y) ikilisi tek bir noktadır. Regresyon eşitliği, iki değişken arasındaki ilişkiyi tanımlamaktadır. u istasyonunun d. gününün ortalaması  $\bar{X}_{u;d}$ , ve o gündeki Güneş Lekesi Sayısı da GLS ile tanımlanırsa, iki değişken arasındaki bir aylık saçılma diyagramına ait regresyon eşitliği de Eşitlik 2 ile tanımlanabilir [4]:

$$\hat{y} = b_1x + b_0 \quad (2)$$

Burada  $b_1$  eğim,  $b_0$  ise kesendir. Eşitlik 2 kullanılarak, belirleme katsayısı  $R^2$  ise Eşitlik 3'te verildiği gibi olur [4]:

$$R^2 = \frac{\sum(\hat{y}-\bar{y})^2}{\sum(y-\bar{y})^2} \quad (3)$$

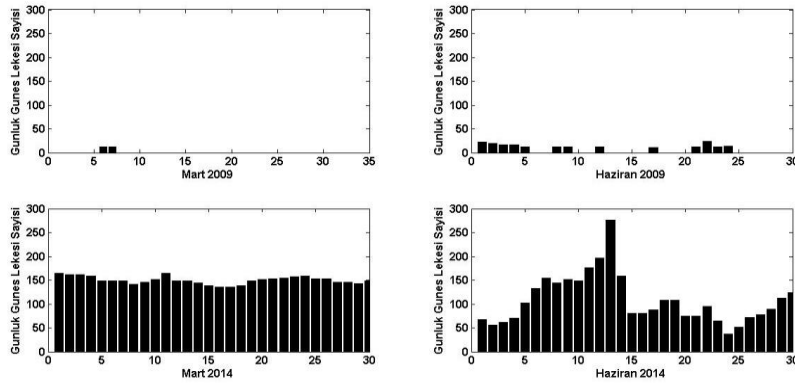
Eşitlik 1 kullanılarak bir u istasyonunun d1. ve d2 günü arasındaki L2-Normu aşağıdaki denklemle ifade edilmiştir [2,3]:

$$L2N(\mathbf{x}_{u;d1}; \mathbf{x}_{u;d2}) = \sqrt{\sum_{n=N_1}^{N_s} (\mathbf{x}_{u;d1}(n) - \mathbf{x}_{u;d2}(n))^2} \quad (4)$$

Burada,  $N_1$  başlangıç  $N_s$  bitiş örnek numarasını ve  $N_T$  toplam örnek sayısını temsil etmektedir.

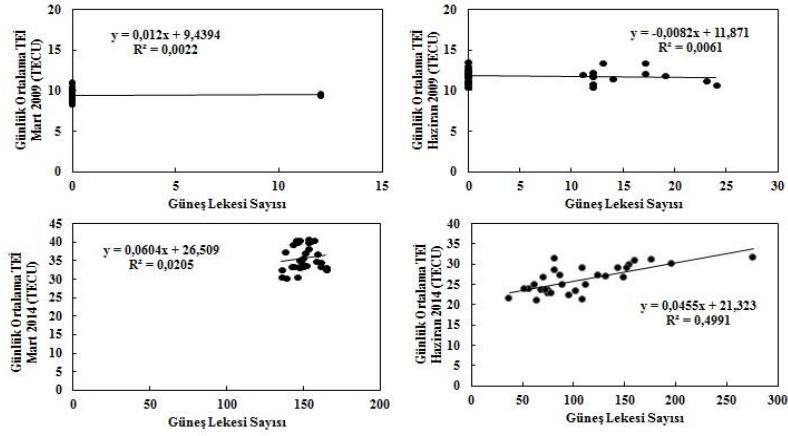
## 3. Bulgular

Bu çalışmada, Güneş hareketliliğinin İyonküre'de meydana getirdiği değişimleri incelemek için, Türkiye üzerinde konumlanmış olan ankr (39.8°K, 32.7°D) YKS istasyonundan elde edilen IONOLAB-TEC kestirimleri kullanılmıştır [5]. İnceleme periyodu için minimum güneş döngüsünün gözlemlendiği 2009 ve maksimum güneş döngüsünün gözlemlendiği 2014 yıllarındaki gündönümü aylarını temsilen Haziran ayı ve gün-tün dönemini temsilen de Mart ayı seçilmiştir. Hareketliliğin göstergesi olarak bu yılların bu aylarındaki Güneş Lekesi Sayısı (GLS) değerleri kullanılmıştır [6]. Bu yılların belirtilen aylarına ait GLS değerleri Şekil 1'de verilmiştir.



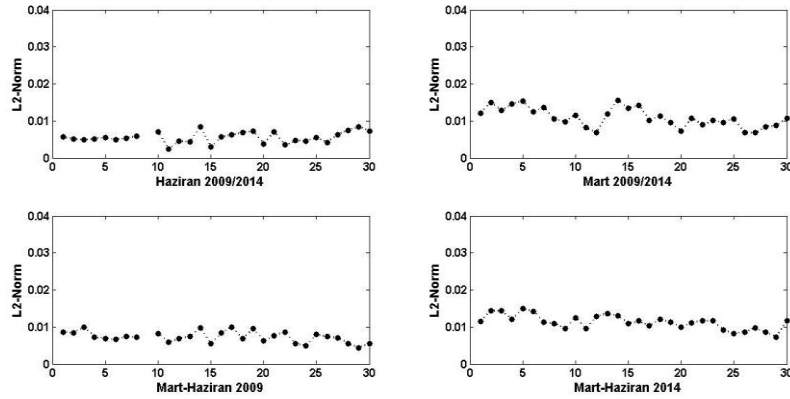
Şekil 1. 2009 ve 2014 yıllarının Mart ve Haziran aylarındaki GLS değerleri.

Çalışmanın ilk kısmında ankr istasyonunun 2009 ve 2014 yıllarının Mart ve Haziran ayların için elde edilen IONOLAB-TEC kestirimlerinin günlük ortalama değerleri alınarak GLS değerleri ile Saçılma Diyagramları elde edilmiştir. Eşitlik 2 ve 3 kullanılarak, TEİ ve GLS değerlerinin aylık regresyon eşitliği ve belirleme katsayısı  $R^2$  elde edilmiştir. Güneş hareketliliği ve buna bağlı olarak GLS arttıkça TEİ değerlerinin arttığı, iki değişken arasında pozitif doğrusal ilişkinin ve  $R^2$  değerinin de arttığı gözlenmiştir. Haziran aylarındaki pozitif doğrusal ilişki ve  $R^2$  değerinin Mart aylarındakinden daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Şekil 2'de 2009 ve 2014 yıllarının Mart ve Haziran aylarındaki günlük ortalama TEİ ve GLS değerlerinin Saçılma Diyagramları ile regresyon eşitliği ve belirleme katsayısı  $R^2$  değerleri gösterilmiştir.



Şekil 2. 2009 ve 2014 yıllarının Mart ve Haziran aylarındaki TEİ ve GLS değerlerinin Saçılma Diyagramları.

Çalışmanın ikinci kısmında, Eşitlik 4 kullanılarak önce iki yılın aynı aylarındaki TEİ değerleri, sonra da aynı yılın iki farklı aylarındaki TEİ değerleri karşılaştırılmıştır. Gün-tün döneminde güneş hareketliliği olan 2014 yılında TEİ değerlerinin arttığı ve az olan 2009 yılındaki değerlerden farkın büyüdüğü gözlenmiştir. Gündönümü ve gün-tün karşılaştırmasında da yine güneş hareketliliğinin yoğun olduğu 2014 yılı için iki dönem arasındaki farkın arttığı, L2N değerlerinin daha büyük olduğu gözlenmiştir. Şekil 3'te Haziran ve Mart aylarının ayrı ayrı 2009 ve 2014 yıllarındaki karşılaştırılması ile 2009 ve 2014 yıllarında Mart ve Haziran aylarının karşılaştırılması verilmiştir.



Şekil 3. 2009 ve 2014 yıllarının Mart ve Haziran aylarındaki TEİ değerlerinin L2N ile karşılaştırılması.

#### 4. Sonuç

Bu çalışmada, güneş hareketliliğinin İyonküre'yi nasıl ve ne ölçüde etkilediğini incelemek için, minimum güneş döngüsünün gözlemlendiği 2009 ve maksimum güneş döngüsünün gözlemlendiği 2014 yıllarındaki gündönümü aylarını temsilen Haziran ve gün-tün dönemini temsilen de Mart ayları için ankr (39.8°K, 32.7°D) istasyonundan elde edilen IONOLAB-TEC kestirimleri kullanılmış; belirtilen aylardaki GLS değerleriyle regresyon analizi ve L2N analizi yapılmıştır. GLS değerleri arttıkça TEİ değerlerinin ve regresyon belirleme katsayısının da arttığı gözlenmiştir. Gün-tün dönemindeki farkların gündönümü zamanlarından daha büyük olduğu L2N yöntemiyle görülmüştür.

Bu çalışma, TÜBİTAK EEEAG 114E541 numaralı proje tarafından desteklenmiştir.

#### Kaynaklar

- [1]. Schunk, R. and Nagy, A., Ionospheres. Physics, Plasma Physics and Chemistry, Cambridge University Press, 2009.
- [2]. Kreyszig, E., Advanced Engineering Mathematics, John Wiley & Sons Inc. Publishers, New York, 1988.
- [3]. Karatay, S., Arian, F. and Arian, O., Investigation of TEC Variability due to Seismic and Geomagnetic Disturbances in the Ionosphere, Radio Science, 45, RS5012, doi:10.1029/2009RS004313, 1-12, 2010.
- [4]. Arıcı, H, İstatistik Yöntemler ve Uygulamalar, Meteksan, Ankara, 1998.
- [5]. [www.ionolab.org](http://www.ionolab.org)
- [6]. [ftp://ftp.swpc.noaa.gov/pub/indices/old\\_indices/](ftp://ftp.swpc.noaa.gov/pub/indices/old_indices/)