

Jeomanyetik Aktif Durumlarda Düşük Enlem Manyetik Eşlenik Noktalarında Ölçülen İyonosferik Toplam Elektron İçeriğindeki (TEİ) Değişimlerin İncelenmesi

Serhat KORLAELÇİ, İbrahim ÜNAL*

Muş Alparslan Üniversitesi

Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü

Muş

s.korlaelci@alparslan.edu.tr,

İnönü Üniversitesi, Eğitim Fakültesi,

Matematik ve Fen Bilimleri Eğitimi Bölümü

Malatya

ibrahim.unal@inonu.edu.tr

Özet: Bu çalışmada, düşük enlem bölgesinde manyetik eşlenik noktaları olduğu düşünülen Nakatane-Katherine (22,16° K, 202,3° D ile 24,16° G, 202,3° D) istasyon çifti için ölçülmüş toplam elektron içeriği (TEİ) değerlerinin jeomanyetik aktif durumlardaki tepkileri incelenmiştir. İncelemelerde üst üste binmiş dönem analizi (SEA) ve çoklu doğrusal regresyon analizi kullanılmıştır. Jeomanyetik aktif ($K_p > 2^+$) durumda her iki noktadaki TEİ'nin K_p 'ye verdiği tepkinin oldukça benzer olması bu noktaların manyetik eşlenik noktası olduğunu kuvvetlendirmiştir. Çoklu doğrusal regresyon analizi sonuçlarından bu noktalarındaki TEİ değerlerinin karşılıklı olarak birbirini önemli ölçüde etkiledikleri görülmüştür. Tüm sonuçlar, manyetik eşlenik noktalarının belirlenmesinde her iki eşlenik noktasındaki değişimlerin göz önüne alınması gerektiğini ortaya koymuştur.

Abstract: In this study, the responses of the total electron content (TEC) values measured for the Nakatane-Katherine (22,16° N, 202,3° E and 24,16° S, 202,3° E) station pairs in geomagnetic active conditions were investigated. Superposed epoch analysis (SEA) and multiple linear regression analysis were used in the studies. Since the response of TEC to K_p in the geomagnetic active ($K_p > 2^+$) case is quite similar at both points it has been strengthened that these points are magnetic conjugate points. It was seen from the results of multiple linear regression analysis that TEC values at these magnetic conjugate points mutually affect each other significantly. All results revealed that the changes in both conjugate points should be taken into account in determining the magnetic conjugate points.

1. Giriş

Özellikle son yıllarda gelişen teknoloji ile birlikte insanların yaşam kalitesini artırmak için bilime olan gereksinim her geçen gün artmaktadır. Bu ihtiyaçları karşılamak için birçok bilim dalında; hayatı kolaylaştırmak, haberleşmeyi hızlandırmak ve bulunduğu bölgeyi daha güvenilir hale getirmek için çalışmalar devam etmektedir. Gelişen uzay çağı ile birlikte haberleşme ve güvenlik sistemleri uydu teknolojisiyle yapılmaktadır. Uydu haberleşmesinde, uydu sinyal yolu üzerinde sinyal; kırılma, yansıma ve sönüm gibi fiziksel süreçleri meydana getiren en önemli bölge iyonosferdir [1]. İyonosferi etkileyen en temel etki solar süreçlerdir. Bununla birlikte jeomanyetik süreçler ve alt bölgelerdeki iyonosferi etkileyen diğer süreçlerde iyonosferik çalışmalarda göz önünde bulundurulmalıdır [2]. Jeomanyetik süreçler tedirgin ve sakin olmak üzere iki farklı sürece ayrılabilirken aynı zamanda herhangi iki manyetik eşlenik nokta arasındaki elektromanyetik taşınmanın nedenidir. Bu taşınma süreci pek çok çalışmada ayrıntılı olarak anlatılmıştır [3].

Bu çalışmada düşük enlem bölgesi üzerinde seçilen iki istasyonun manyetik eşlenik noktası olup olmadığı jeomanyetik K_p indisine göre belirlenmiştir. Ardından bu manyetik eşlenik istasyonundaki TEİ değerlerinin karşı istasyondan ne oranda etkilendiği incelenmiş ve bu etki değeri K_p indisinin etki değeri ile karşılaştırılmıştır. Bu işlemler her iki manyetik eşlenik noktası için ayrı ayrı ve mevsimsel olarak incelenmiştir.

2. Materyal ve Yöntem

Belirlenen Nakatane ve Katherine manyetik eşlenik çiftinin coğrafik koordinatları International GNSS Service (IGS) adresinden alınmış ve Space Physics Data Facility (SPDF) adresinden bu noktaların manyetik koordinatları elde edilerek Tablo 1'de verilmiştir. İncelenen istasyon çiftinden ölçülmüş TEİ verileri hesaplamak için NASA Open Data Portal ve Australian Government Bureau of Meteorology Space Weather Services veri tabanlarından RİNEX dosyaları elde edilmiştir. Elde edilen RİNEX dosyaları, İyonosfer Araştırma Laboratuvarı (IONOLAB) grubu tarafından sağlanan IONOLAB-TEC/STEC yazılımı kullanılarak TEİ değerlerine dönüştürülmüştür [4]. Yerin manyetik alanındaki jeomanyetik aktif durum K_p indisi kullanılarak belirlenmiştir. Elde edilen TEİ verileri

ise belirlenen bu dönem ve tarihler (1. Dönem:17 Mart, 2. Dönem:22 Haziran, 3. Dönem:7 Ekim ve 4. Dönem:21 Aralık-2015) için incelenmiştir.

Tablo 1: TEİ değerlerinin elde edildiği istasyonların coğrafik ve manyetik koordinatları.

İstasyonAdı	Coğrafik Enlem (°)	Coğrafik Boylam (°)	Manyetik Enlem (°)	Manyetik Boylam (°)
Nakatane (Japonya)	30,55	131,01	22,16	202,13
Katherine (Avustralya)	-14,37	132,15	-24,16	204,01

İki manyetik eşlenik istasyon çiftinden elde edilen TEİ değerlerinin K_p 'ye verdiği tepkiyi analiz etmek için SEA (Superposed Epoch Analysis) metodu kullanılmıştır. SEA metodu ile K_p 'nin tüm değerleri için elde edilen ortalama TEİ değerlerinden, K_p 'nin $\leq 2^+$ olduğu ortalama TEİ değerlerinin farkı ($\delta TEİ$) alınarak hesaplanmıştır [5]. Bu ifade denklem (1) ile verilmiştir.

$$\delta TEİ = \overline{TEİ}_{(K_p > 2^+)} = \overline{TEİ}_{(Tüm K_p)} - \overline{TEİ}_{(K_p \leq 2^+)} \quad (1)$$

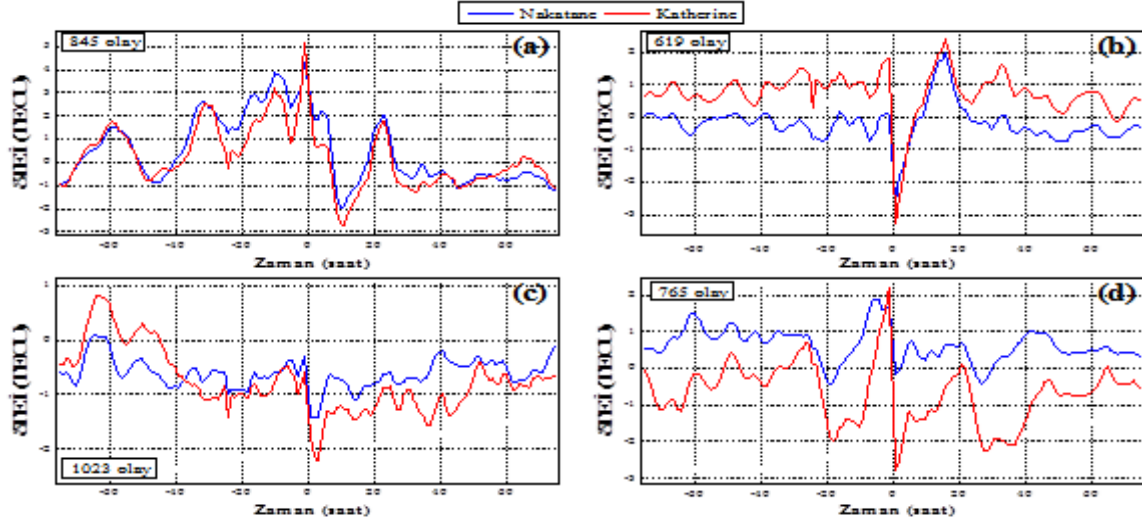
Bir manyetik eşlenik çiftinde herhangi bir manyetik eşlenik noktasının diğer manyetik eşlenik noktasından ve jeomanyetik alandan ne kadar etkilendiğini ortaya koymak için ise çoklu doğrusal regresyon modeli uygulanmıştır [6]. Bu çalışmada kullanılan regresyon analizi denklem 2 ile verilmiştir.

$$TEİ_{\text{istasyon}} = \alpha_0 + \alpha_1 TEİ_{\text{eşlenik istasyonu}} + \alpha_2 K_p + \varepsilon \quad (2)$$

Burada α_0 regresyon sabitini, α_1 ve α_2 regresyon katsayılarını ve ε hata terimini ifade etmektedir. Kurulan bu çoklu doğrusal regresyon denkleminde elde edilen sonuçların istatistiksel olarak geçerli ve anlamlı olabilmesi için denklemdaki katsayıların, AR ve MA olasılık değerlerinin 0,05'ten küçük olması gerekmektedir. Ayrıca ARCH-LM değerinin 0,05'den büyük ve Durbin-Watson değerinin 1,5-2,5 aralığında olması gerekmektedir [7].

3. Bulgular ve Tartışma

Düşük enlemlerde bulunan Nakatane ve Katherine istasyonlarındaki TEİ değerlerinin SEA sonuçları Şekil 1'de verilmiştir. Şekil 1a ile verilen 1. dönemdeki $\delta TEİ$ 'deki değişimler manyetik eşlenik çifti için küçük faz kaymalarına rağmen oldukça benzerdir. Şekil 1b ile verilen 2. dönemdeki $\delta TEİ$ 'deki değişimler olay anına kadar Nakatane istasyonu için sıfır TECU civarında değişirken, Katherine istasyonunda ise yaklaşık bir TECU civarında değişmektedir. Şekil 1c ile verilen 3. dönem $\delta TEİ$ 'deki değişimler olay anından yaklaşık 40 saat öncesinden başlamış olup negatiftir. Şekil 1d ile verilen 4. dönemde, genel olarak eşlenik noktalardaki $\delta TEİ$ değişimleri benzer olmakla birlikte Katherine istasyonu için negatif iken, Nakatane istasyonu için pozitiftir.



Şekil 1. Dört dönem için SEA metodu ile hesaplanmış $\delta TEİ$ değerlerinin zamana göre değişimleri.

Nakatane-Katherine manyetik eşlenik çifti için kurulan regresyon denkleminde elde edilen sonuçlar Tablo 2'de verilmiştir. Tablonun en alttaki iki satırında verilen değerler, denklem (3) ve denklem (4) ile kurulan lineer regresyon modellerinin doğruluğunu ifade eder. Çünkü denklemlerin ARCH-LM değerleri ve Durbin-Watson değerleri anlamlı çıkmıştır. Ayrıca sadece bu iki değer büyüklüğü regresyon katsayılarının anlamlı olduğunu ifade etmez. Bu katsayıların anlamlı olabilmesi için p değerlerinin de 0,05'ten küçük olması gerekmektedir [7]. Bunların sağlandığı Tablo 2'de görülmektedir.

$$TEC_{Nakatane} = \alpha_0 + \alpha_1 TEC_{Katherine} + \alpha_2 K_p + \varepsilon \quad (3)$$

$$TEC_{Katherine} = \beta_0 + \beta_1 TEC_{Nakatane} + \beta_2 K_p + \varepsilon \quad (4)$$

Tablo 2: Nakatane-Katherine manyetik eşlenik çifti için regresyon analiz sonuçları.

	1. Dönem		2. Dönem		3. Dönem		4. Dönem	
	Nakatane	Katherine	Nakatane	Katherine	Nakatane	Katherine	Nakatane	Katherine
α_0/β_0	-3,00	7,70	18,86	1,74	12,37	9,76	3,41	12,44
p	0,0020	0,0000	0,0000	0,0190	0,0000	0,0052	0,0000	0,0000
α_1/β_1	0,63	0,87	0,46	0,51	0,45	0,54	0,32	0,80
p	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
α_2/β_2	-0,02	0,04	-0,05	0,03	-0,03	0,03	0,02	0,05
p	0,0389	0,0389	0,0001	0,0414	0,0057	0,0150	0,0297	0,0478
AR	0,86	0,91	0,88	0,85	0,84	0,81	0,79	0,86
p	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
MA	0,36	0,36	0,42	0,48	0,46	0,49	0,47	0,50
p	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
R ²	0,97	0,97	0,95	0,95	0,95	0,96	0,94	0,94
Adj. R ²	0,97	0,97	0,95	0,95	0,95	0,96	0,94	0,94
Durbin-Watson	2,04	2,10	2,06	1,83	1,90	2,03	1,72	1,87
ARCH-LM	0,97	0,96	0,66	0,35	0,26	0,46	0,08	0,97

4. Sonuç

Manyetik eşlenik noktalarında TEİ değerlerinin K_p 'ye verdiği tepki SEA yöntemi kullanılarak elde edilmiştir. $\delta TEİ$ değişimleri 1, 2 ve 4. dönemler için yaklaşık 20 saat sonra normal değerlerine dönerken 3. dönemde bu süre yaklaşık 5-10 saat aralığındadır. Bütün dönemler boyunca manyetik eşlenik çiftlerinde $\delta TEİ$ değerlerinin jeomanyetik duruma tepkisi "0 olay anı" civarında gözlemlendiği görülmektedir. Genel olarak bütün dönemlerde iki yarım kürede de faz değişimleri aynı anda ve aynı yönde bir tepki göstermektedir.

Bu manyetik eşlenik çiftine uygulanan çoklu doğrusal regresyon modeli uygulandığında istasyonların birbiri üzerindeki etkilerinin oldukça yüksek çıktığı görülmektedir. Tüm dönemlerde her iki yöndeki etkinin de pozitif oluşu α_1/β_1 katsayılarından anlaşılmaktadır. Genel olarak TEİ değerleri açısından Katherine'nin Nakatane üzerindeki etkisi, Nakatane'nin Katherine üzerindeki etkisinden daha küçüktür. Manyetik eşlenik çiftlerinde karşılıklı etkileşim süreçlerini ifade eden α_1/β_1 arasındaki en büyük fark 4. dönemde 0,48 olarak belirlenmiştir.

Jeomanyetik K_p indisinin Katherine istasyonu TEİ değerleri üzerinde 4. dönem hariç negatif olarak etki ettiği α_2 'nin işaretinden anlaşılmaktadır. Bu indisin Nakatane istasyonu TEİ değerleri üzerindeki etkisinin ise tüm dönemlerde pozitif olduğu β_2 katsayılarından görülmektedir. Bununla birlikte her iki regresyon denkleminde elde edilen sonuçlarda bir istasyondaki TEİ değeri manyetik eşlenik istasyonundaki TEİ değerinden, K_p indisine göre çok daha fazla etkilendiği, $\alpha_1 - \alpha_2$ ve $\beta_1 - \beta_2$ katsayı değerlerinin karşılaştırılmasından anlaşılmaktadır.

Tüm bu sonuçlara bakılarak iki istasyonun bulunduğu bu noktaların manyetik eşlenik çifti olduğu söylenebilir ve herhangi bir manyetik eşlenik noktasının diğer manyetik eşlenik noktasından ve jeomanyetik alandan etkilendiğinden dolayı yapılacak iyonosferik çalışmalarda ve modellemelerde manyetik eşlenik noktasının etkisinin eklenmesinin daha iyi sonuçlar vereceği düşünülmektedir.

Kaynaklar

- [1]. Ratcliffe J. A., An Introduction to the Ionosphere and Magnetosphere. Cambridge University Press, 1972.
- [2]. Kelley M. C., The Earth's Ionosphere. Academic Press, San Diego, USA, 2009.
- [3]. Sergeenko, N. P., "Irregular phenomena in magnetically conjugate regions of the F2 layer of the ionosphere", Geomagnetism and Aeronomy, cilt.58 no.1, s.823-830, 2018.
- [4]. Sezen, U. ve diğerleri, "Online, automatic, near-real time estimation of GPS-TEC: IONOLAB-TEC: ONLINE GPS-TEC: IONOLAB-TEC", Space Weather, cilt.11 no.5, s.297-305, 2013.
- [5]. Timoçin E., Ünal İ., Tulunay Y. ve Göker Ü. D., "The effect of geomagnetic activity changes on the ionospheric critical frequencies at magnetic conjugate points", Ad. in Space Res., cilt.62 no. 4, s.821-828, 2018.
- [6]. Atıcı R. ve Korlaeçi S., "The effect of IMF-Bz and f10.7 solar flux on neutral molecule density of ionospheric E-region", Journal of Physical Science and Application, cilt.7 no.3, s.66-70, 2017.
- [7]. Aydın, C.ve Odabaşoğlu, F. G., "Makroekonomik belirsizlik ve risk altında yatırım kararları: Türkiye Örneği", Anemon Muş Alparslan Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, cilt.4 no.2, s.45-67, 2016.