

İyonosfere Etki Eden Güneş Aktivitesi ile QBO Arasındaki İlişkinin İncelenmesi

¹SELCUK SAGIR, ²SECIL KARATAY, ³ALI YESIL, ¹RAMAZAN ATICI, ³OSMAN OZCAN

¹Muş Alparslan Üniversitesi, Fizik Bölümü, Muş, Türkiye
s.sagir@alparslan.edu.tr, r.atici@alparslan.edu.tr

²Kastamonu Üniversitesi, Fizik Bölümü, Kastamonu, Türkiye
skaratay@kastamonu.edu.tr

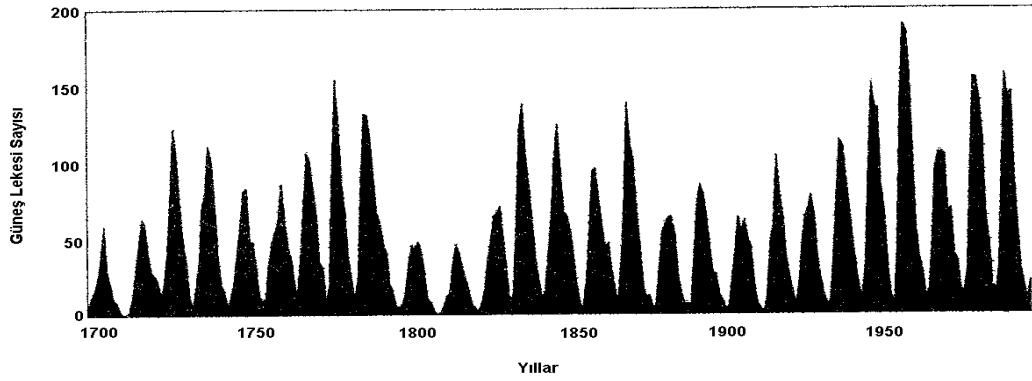
³Fırat Üniversitesi, Fizik Bölümü, Elazığ, Türkiye
ayesil@firat.edu.tr, oozcan@firat.edu.tr

ÖZET: İyonosfer, konuma, zamana, mevsimlere, Güneş ve jeomanyetik aktiviteye bağlı olarak değişimler sergileyen atmosfer katmanıdır. Güneş Lekesi Sayısı (SSN) Güneş aktivitesini tanımlamak için kullanılan parametredir. QBO, Ekvator bölgesi üzerindeki stratosferde, ortalama 28–29 aylık periyotlarla, doğu-batı yönünde esen rüzgârların oluşturduğu, hemen hemen iki yılda bir meydana gelen salınımlardır. Bu salınımlar Kelvin ve Rossby Gravity Dalgaları yardımıyla alt stratosferden üst stratosfere ondan da mezosfer-alt termosfere (MLT) ve iyonosfere enerji ve momentum taşır. Bu çalışmada, iyonosfere etki eden Güneş aktivitesinin bir göstergesi olan SSN ile iyonosfere enerji ve momentum taşıyan QBO arasındaki ilişki istatistiksel olarak ortaya konulmaya çalışılmıştır. Zaman serileri yöntemiyle SSN ile QBO arasında negatif ilişki olduğu gözlenmiştir.

1. Giriş: Güneş Lekesi Sayısı (SSN-Sun Spot Number) ve İyonosfere Etkileri

Güneş Lekesi Sayısı, güneş aktivitesini gösteren en yaygın parametredir. Güneş lekeleri ilk kez MÖ 325’de Yunanlı bilim adamı Theophrastus tarafından tanımlanırken, düzenli gözlemleri ilk olarak 1610 yılında Çinliler tarafından yapılmıştır. Güneş lekeleri çok büyük ölçekli manyetik alanlara sahiptir. Pozitif ve negatif kutuplara sahip dipollere benzerler. Bu şiddetli alanın leke içindeki gazı sınırladığı ve leke ile etraftaki gaz arasındaki etkileşimi azalttığı düşünülmektedir. Bu etkileşim eksikliği soğuyarak karanlık bir görünüm oluşturur. Leke denilmesinin sebebi de sıcaklığının güneşe göre (5000–6000°K) daha az (3000–4000°K) olmasından kaynaklanır. Karanlık bölgeler için umbra (tam gölge), tam gölgeyi sınırlayan gri sınır bölgesi için de penumbra (yarı gölge) ifadesi kullanılır. Güneş etkinliği, güneş atmosferinin her katmanında saniye, dakika, gün ve ay mertebesinde süren kısa dönemli değişimlerin yanı sıra 11 yıl süren uzun dönemli ‘Güneş devri’ adı verilen dönemleri de kapsar. Güneş lekeleri yaklaşık 11 yıllık bir periyot içinde artar ve azalır. Şekil 1’de buna örnek olarak 1700–2000 yıllarına ait güneş lekesi devirleri verilmiştir. Her güneş devri aynı şekilde meydana gelmez. Bazı güneş devirlerinde belli dönemlerde minimum ve maksimumlar da gözlenir [1–4]. Güneş maksimumu bu lekelerin en çok olduğu, minimumu ise en az olduğu yılları ifade eder. Maksimum güneş devrinde gezegenler arası ortamda çok değişken koşullar meydana gelir. Meydana gelen bu olaylar Yer’in atmosferinde önemli etkiler meydana getirebilmektedir [1-5].

İyonosferdeki elektron yoğunluğu çoğunlukla X-ışınları ve Solar ekstrem ultraviyole (EUV) ışınlar tarafından üretilir. Solar EUV ışınları genellikle iyonosferdeki iyonlaşmanın temel kaynağını oluşturmaktadır. Buna bağlı olarak iyonosferdeki elektron yoğunluğun ve böylece iyonosfer tabaklarının kritik frekansları da bu ışınımlara bağlı olarak değişir. Bu nedenle, radyo-iletişimine olanak sağlayan iyonosfer bölgesi için güneş aktivitesine, mevsimlere, zamana ve konuma bağlı değişimler önemlidir. İyonosferdeki iyonlaşmanın temel kaynağının güneşten gelen ışınlar olduğu düşünülürse, iyonosferdeki parametrelerin değişimine en büyük etki güneş aktivitesi tarafından olmaktadır. Bu nedenle uzun süreli iyonosfer gözlemleri için SSN çok önemli bir parametredir [6-7].



Şekil 1. 1700–2000 yıllarına ait Güneş lekeleri devri [5].

Literatürdeki çalışmalarda iyonosferin F2-Bölgesi kritik frekansı foF2 ile orta ve az ölçekli SSN değerlerinin güçlü bir lineer ilişki sergilediği; yine foF2 ile büyük ölçekli SSN değerlerinin de durağan bir ilişki sergilediği gözlenmiştir [8-9]. Bu durağanlık etkisini ortadan kaldırmak için Yadav değişkenler arasında ikinci dereceden bir ilişkiyi aşağıda verilen eşitlikle ifade etmiştir [7]:

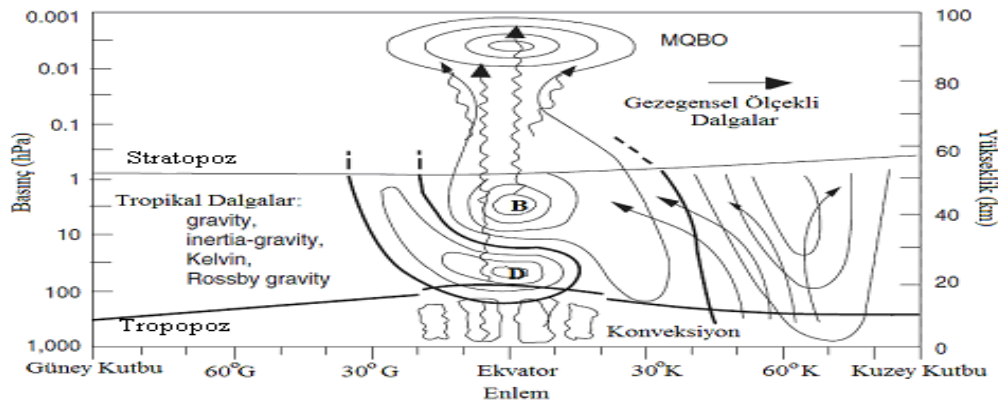
$$\text{foF2}_t = \beta_0 + \beta_1(\text{SSN})_t + \beta_2(\text{SSN})_t^2 + \varepsilon_t \quad (1)$$

Burada β_0 , β_1 ve β_2 korelasyon katsayılarını ve ε_t ve t sırasıyla hata terimini ve zamanı ifade etmektedir.

2. QBO (Quasi Biennial Oscillation)

QBO, ortalama 28 aylık periyotlarla karakterize edilen, stratosferde doğu-batı yönlü meydana gelen rüzgarlardaki salınımlardır. QBO yoğunlukla ekvatorial bölgede ortaya çıkar. Yaklaşık olarak doğu yönünde 30 m/s ve batı yönünde 20 m/s hızlarla hareket eder. QBO'nun maksimum genliği genel olarak 10 hPa seviyesinde olmak ile birlikte 100-2 hPa arasında da değişir. Ekvatorial rüzgarlar, doğu-batı yönlü rüzgar bölgelerinde yaklaşık 22 aydan 36 aya kadar değişen periyotlara sahiptir. Bu rüzgarlar, daha yavaş ve daha az düzensiz yayılmak için doğu yönlü kesilim kuşağı ile aşağı doğru yayılır. QBO sıcaklık ile de ortaya çıkabilir. Bu oluşumla tropiklerdeki toplam ozon çeşitliği üzerinde etkindir.

QBO yayılımı üzerinde etkin olan dalgalar Şekil 2'de verilmiştir. Şekil 2'den görüldüğü gibi QBO, dalgalar yardımı ile stratopozu aşarak MLT'ye kadar ulaşabilmektedir.



Şekil 2. QBO'nun dinamik kontrollerinin şematik gösterimi [10].

QBO, taşınma yoluyla yerin jeomanyetik alan çizgileri boyunca iyonosferin F Bölgesine kadar ulaşabilmektedir. QBO ile ilişkili dalgalar inertia gravity, gravity, ekvatorial (Kelvin ve Rossby gravity dalgaları) dalgalar ve gezegensel dalgalardır. Mezofere ulaşan QBO, burada MQBO (Mesospheric Quasi Biennial Oscillation) adı altında yeni bir salınım oluşturur [10].

3. Bulgular ve Sonuç

Bu çalışmada, Eşitlik (1) ile verilmiş olan (Yadav vd,2011) istatistiksel analiz modeli, çalışma kapsamında kullanılan parametreler doğrultusunda Eşitlik (2) formunda kullanılmıştır:

$$QBO_t = \beta_0 + \beta_1(SSN)_t + \beta_2(SSN)_t^2 + \varepsilon_t \quad (2)$$

Eşitlik (2) kullanılarak elde edilen, 23. güneş skalasında QBO değerlerinin ölçüldüğü maksimum yükseklik olan 10 hPa ve minimum yükseklik olan 70hPa değerleri ile SSN değerleri Tablo 1, 2 ve 3'te verilmiştir.

Tablo 1'de, 23. Güneş skalası için Birim Kök Test sonuçları verilmiştir. Test sonuçlarına göre, foF2 ve SSN değişkenleri, düzeyleri itibariyle birim kök içermektedir, dolayısıyla durağan değillerdir. QBO değişkeni düzeyi itibariyle birim kök içermemekte ve dolayısıyla durağandır. Bununla analize, serilerin birinci farklarında I(1) durağan hale geldiği gözlenmiştir.

Tablo 1. 23. Güneş skalası için Birim Kök Test sonuçları.

Değişkenler	10hPa			70hPa		
	ADF	PP	KPSS	ADF	PP	KPSS
SSN	0.260	-0.923	0.320	0.260	-0.923	0.320
QBO	-4.747	-4.411	0.036	-5.442	-8.955	0.072
D(SSN)	-13.886	-15.162	0.490	-13.886	-15.162	0.490
D(QBO)	-10.344	-10.922	0.046	-10.448	-33.936	0.014
McKinnon (1996) Kritik Değerleri						
Anlamlılık Düzeyi						
1%	-4.033	-4.032	0.216			
5%	-3.446	-3.445	0.146			
10%	-3.148	-3.147	0.119			

Tablo 2, 23. Güneş skalası için Eş Bütünleşme Testi sonuçları verilmiştir. Tablo1'de durağan hale getirilen değişkenlerin eş bütünleşik olup olmadığına bakılmış ve test sonuçlarına göre, modelde p-değerlerinin, %5 anlamlılık düzeyinde 0.05'ten küçük oldukları için uzun dönemli bir regresyon ilişkisini gösterdiği gözlenmiştir.

Tablo2. 23. Güneş skalası için Eş Bütünleşme Testi sonuçları.

Regresyon Modeli	10hPa		70hPa	
	ADF	p-value	ADF	p-value
Model	-9.47	0.000	-11.31	0.000
McKinnon (1996) Kritik Değerleri				
Anlamlılık Düzeyi				
1%	-2.58			
5%	-1.94			
10%	-1.61			

Tablo 3'de, 23. Güneş skalası için uzun dönemli Regresyon Modeli sonuçları verilmiştir. Tablodaki değerlere bakıldığında istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmektedir: 10 hPa için SSN değişimindeki 1 birimlik bir artış QBO değerlerinin 2.1 m/s oranında arttığı gözlenmiştir. R^2 değerlerinin QBO değerlerindeki değişimlerin yaklaşık % 60 oranında SSN ve SSN^2 değerleriyle açıklanabildiği görülmüştür. 70 hPa değeri için SSN değerlerindeki bir birimlik artışın QBO değerlerinde yaklaşık 0.90 m/s oranında bir azalmaya neden olduğu gözlenmiştir. R^2 için QBO değerlerindeki değişimlerin yaklaşık % 22 civarındaki oranının SSN ve SSN^2 ile açıklanabildiği görülmüştür. Bu analizle SSN değerlerinin 70 hPa gibi daha alt seviyelere etkisinin daha az olduğu gözlenmiştir.

Tablo 3. 23. Güneş skalası için Regresyon Modeli sonuçları.

	10 hPa	70 hPa
Sabit	116.85 (0.035)	95.64 (0.000)
SSN	2.10 (0.035)	-0.899 (0.0003)
SSN²	-0.01 (0.023)	0.005 0.056
AR (1)	0.75 (0.000)	1.18 (0.000)
R²	0.596	0.226
Adj. R²	0.578	0.193
Durbin Watson	1.726	2.046
Prob(F-istatistik)	(0.000)	(0.000)
Normality	(0.065)	(0.143)
Serial Cor. LM	(0.052)	(1.000)
White Het.	(0.735)	(0.039)

4. Sonuç

Ampirik bulgular, istatistiki olarak anlamlı çıkan katsayılardan hareketle, 10 hPa seviyesi için QBO değişkenini etkileyen en önemli faktörün her iki model için SSN olduğunu ortaya koymuştur. Bu durum daha düşük olan 70 hPa seviyesinde çok az gözlenmiştir. Model için düzeltilmiş R² değeri her iki durum için sırasıyla 0.59 ve -0.22 değerleridir. QBO değişkenindeki değişimin 10 hPa seviyesinde %59'u ve 70 hPa seviyesinde %22'si regresyondaki verilerle açıklanabilmektedir. F-istatistiğinin ise regresyonun bir bütün olarak anlamlı olduğunu gösterdiği gözlenmiştir. QBO ile SSN arasında üst seviyelerde pozitif bir ilişki gözlenirken bu ilişki daha aşağı seviyelerde negatif ve zayıf ilişki olarak gözlenmiştir. Ayrıca modeldeki regresyon denkleminin hata terimleri ardışık bağımlılık, farklı varyanslık ve normallik testlerine de tabi tutulmuştur. Hata terimleri serisi durağan ve normal dağılıma sahip olup burada değişen varyansa rastlanmamıştır.

Kaynaklar

- [1]. Ataç T., Özgüç A., Sözen E. ve Yeşilyaprak H “23. Güneş Çevrimi Etkinliğine Genel Bakış”, XIV. Ulusal Astronomi Kongresi”, 31 Ağustos-4 Eylül, 2004, Kayseri, Türkiye.
- [2]. Banks, P.M. ve Kockarts, G., Aeronomy Part B, Academic Pres, New York, 1973..
- [3]. Tascione, F.T., Introduction To The Space Environment, Orbit A Foundation Series, Orbit Book Company, 1988.
- [4]. Whitten, R.C. ve Poppoff, I.G., “Fundamentals of Aeronomy”, Space Science Text Series, New York, 1971.
- [5]. Chakrabarti Sandip K., Ancharya, K., Bose, B., Mandal, S., Chatterjee, A., Nandi, N.M., Pal, S. ve Khan, R., “Monitoring Of Sudden Ionospheric Disturbance (Sid) From Kolkata (India)”, Indian Journal of Physics, 77B(2), s.173-175, 2003.
- [6]. Dabas, R.S., Sharma, K., Das, R.M., Sethi, N.K., Pillai, K.G.M. ve Mishra, A.K. “Ionospheric modeling for short- and long-term predictions of F region parameters over Indian zone”, Journal of Geophysical Researches, 113, A03306, s.10, doi:10.1029/2007JA012539, 2008.
- [7]. Yadav, S., Dabas, R.S., Rupesh, M.Das, Upadhyaya, A.K., Sarkar S.K. ve Gwal, A.K., “Variation of F-region critical frequency (foF2) over equatorial and low-latitude region of the Indian zone during 19th and 20th solar cycle”, Advances in Space Research, 47, s.124-137, 2010.
- [8]. Kane, R.P., “Solar cycle variation of foF2”, Journal of Atmospheric Terrestrial Physics, 54, s.1201–1205, 1992.
- [9]. Lakshmi, D.R., Reddy, B.M. ve Dabas, R.S., “On the possible use of recent EUV data for ionospheric redictions”, Journal of Atmospheric Terrestrial Physics, 50, s.207– 213, 1998.
- [10]. Baldwin, M.P., Gray, L.J., Dunkerton, T.J., Hamilton, K., Haynes, P.H., Randel, W.J., Holton, J.R., Alexander, M.J., Hirota, I., Horinouchi, T., Jones, D.B.A., Kinnersley, J.S., Marquardt, C., Sato, K., ve Takahashi, M., “Quasi-Biennial Oscilation”, Reviews of Geophysics, 2001, s.179-230,.