



İyonkürenin E Bölgesi İçin NeQuick Modeli ile QBO Arasındaki İlişkinin İncelenmesi

The Investigation of Relationship Between Quasi-Biennial Oscillation and NeQuick Model for Ionospheric E-Region

Selçuk Sağır^{1*}, Ramazan Atıcı², Serhat Korlaelçi³

¹Muş Alparslan Üniversitesi, Elektronik ve Otomasyon Bölümü, Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu, Muş, Türkiye

²Muş Alparslan Üniversitesi, Eğitim Fakültesi, Sınıf Öğretmenliği Bölümü, Muş, Türkiye

³Muş Alparslan Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, Muş, Türkiye

Öz

Bu çalışmada, iyonkürenin E bölgesi elektron yoğunluğu parametresi kullanılarak, bir iyonküre modeli olan NeQuick modeli, özellikle ekvator bölgesinde yaklaşık iki yılda bir meydana gelen salınımlar (Quasi-Biennial Oscillation-QBO) açısından değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme ekvator bölgesinde bulunan Learmonth istasyonu için Yerel Zaman (YZ) 24:00 ve 12:00 de NeQuick modelinden ($NmE_{NeQuick}$) ve iyonosondadan elde edilen ($NmE_{ölç}$) maksimum elektron yoğunluğu değerlerinin farkının ($\Delta NmE = NmE_{ölç} - NmE_{NeQuick}$) QBO verileri ile ilişkisi, solar maksimum ve solar minimum durumları da göz önünde bulundurularak, istatistiksel çoklu regresyon modeli aracılığıyla yapılmıştır. Değerlendirme sonucunda, hem gece hem de gündüz durumlarında solar maksimum durumundaki ilişkinin solar minimum durumundaki ilişkidenden daha güçlü olduğu görüldü. Solar minimum durumunda, her iki zaman dilimi için QBO ile ΔNmE arasındaki ilişki negatiftir. YZ 24:00 için, ΔNmE değişimlerin solar maksimum durumunda %55 i, solar minimum durumunda % 37 si QBO ile açıklanabilmektedir. YZ 12:00 için, ΔNmE değişimlerin solar maksimum durumunda %58 i, solar minimum durumunda % 22 i QBO ile açıklanabilmektedir. Hem gece hem de gündüz için QBO'nun tüm setinin ΔNmE deki değişimleri QBO'nun doğu ve batı yönlerinden daha az etkilediği görüldü. QBO'nun dalgalar aracılığıyla momentum taşınması sonucunda, ölçülen ve NeQuick model ile hesaplanan elektron yoğunluğu değerleri arasındaki farkın azaldığı belirtilebilir. Sonuç olarak NeQuick modele QBO nun eklenmesiyle modelin ekvator bölgesi için gerçek verilere daha yakın hesaplamalar yapacağı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Çoklu regresyon analizi, Elektron yoğunluğu, İyonkürenin E bölgesi, NeQuick model, QBO

Abstract

In the present study, NeQuick model that is an ionospheric model is investigated by means of quasi-biennial oscillation (QBO), which is a stratospheric parameter at equatorial region, by using electron density of E-region of ionosphere. The relationship with QBO of difference ($\Delta NmE = NmE_{mea} - NmE_{NeQuick}$) between data obtained at local time (LT) 12:00 and 24:00 from NeQuick model ($NmE_{NeQuick}$) and ionosonde (NmE_{mea}) at Learmonth station where is located in equatorial region is evaluated via a statistical multiple regression model by taking consideration of solar maximum and minimum epoch. As a result of statistical calculations, the relationship during solar maximum epoch is stronger than those solar minimum epoch at both 12:00 and 24:00 LT. During solar minimum epoch, the relationship between QBO and ΔNmE is negative for both hours. For 24:00 LT, it is explainable by QBO 55% of variations in ΔNmE in the case of solar maximum, while it is explainable by QBO 37% of changes in one in the case of solar minimum. For 12:00 LT, 58% of variations in ΔNmE are explainable by QBO in the case of solar maximum, while 22% of changes in ΔNmE are explainable by QBO in the case of solar minimum. For both day and night, whole set of QBO has less effect on ΔNmE than phases (westerly and easterly) of QBO. Since the momentum is carried by QBO by means of atmospheric waves, it is observed that ΔNmE values are decreased. Consequently, it is thought that NeQuick model can made accurate calculations if QBO is included to this model.

Keywords: Multiple regression analysis, Electron density, Ionospheric E-region, NeQuick model, QBO

*Sorumlu yazarın e-posta adresi: s.sagir@alparslan.edu.tr

Selçuk Sağır orcid.org/0000-0002-5698-0154

Ramazan Atıcı orcid.org/0000-0001-7884-0112

Serhat Korlaelçi orcid.org/0000-0002-0956-4721

1. Giriş

Yerin yüzeyinden yaklaşık 50 km yükseklikten başlayıp 1000 km yüksekliğe kadar genişleyen iyonküre, özellikle Güneş'in etkisi ile, iyonlaşmış gazlardan, nötr parçacıklardan ve elektronlardan oluşan doğal bir plazmadır (Rishbeth ve Garriot 1969, Rishbeth 1973). İyonküre dikeyde, elektron yoğunluğuna göre yüksekliğin bir fonksiyonu olarak D, E ve F, yatayda ise düşük, orta ve yüksek enlem bölgelerine ayrılır (Kumar vd. 2014). İyonküreyi karakterize eden en önemli parametre elektron yoğunluğudur ve bu parametre uzaydan Dünyanın gözlenmesi, uyduların izlenmesi, radyo haberleşmesi ve iletişim gibi bir dizi uygulama için hayati öneme sahiptir. Elektron yoğunluk değerleri direkt olarak iyonosondalar aracılığı ile kritik frekans olarak ölçülebildiği gibi, oluşturulan bazı yazılım ve deneysel modeller (IRI, IRI-PLAS, NeQuick model gibi) ile de hesaplanabilmektedir (Bilitza 2001, Giovanni ve Radicella 1990, Kumar vd. 2015, Leitinger vd. 2005, Rishbeth ve Garriot 1969, Radicella 2009).

İyonkürenin elektron yoğunluğunu kestirmek için kullanılan modellerden biri olan NeQuick, iyonkürede meydana gelen değişiklikleri hesaplamak için Galileo tek frekanslı alıcı tarafından kullanılan bir modelidir. NeQuick modeli, Di Giovanni ve Radicella (1990) tarafından önerilen orijinal profillere dayanır. Zaman ve konumun bir fonksiyonu olarak iyonkürede elektron yoğunluğu değerlerini verir. Model herhangi bir yol boyunca toplam elektron yoğunluğu olarak iyonküresel gecikmeleri de hesaplar (Giovanni ve Radicella 1990, Kumar vd. 2015, Leitinger vd. 2005, Rishbeth ve Garriot 1969, Radicella 2009).

İyonküre yukarıdan (Güneş, Galaktik kozmik ışınlar vb.) ve aşağıdan (depremler, gökgürültülü fırtınalar, yıldırımlar, atmosferik dalgalar vb.) etki eden çeşitli kuvvetlerden etkilenir. İyonküreyi etkileyen bu kuvvetler hakkında çok sayıda çalışma yapılmıştır (Atıcı ve Sağır 2016, Danilov 1998, Kazimirovsky ve Kokourov 1995, Kurt vd. 2016, Lastovicka 2006, Sagir vd. 2015, Yiğit ve Medmedev 2015, Yiğit vd. 2016). İyonküreye aşağıdan etki eden kuvvetlerden biri olan QBO, ekvator bölgesi üzerindeki stratokürede, ortalama 28–29 aylık periyotlarla, doğu batı yönünde esen rüzgârların oluşturduğu, hemen hemen iki yılda bir meydana gelen salınımlardır (Baldwin vd. 2001). Bu salınımlar gravity, inertia gravity, Kelvin ve Rossby gravity dalgaları yardımıyla stratoküreden mezoküreye kadar enerji ve momentum olarak taşınmaktadır. Taşınan bu momentum ve enerji mezokürede yeni bir QBO'nun oluşmasına sebep olur ve daha sonra E-bölgesi iyonküresinin parçacık yoğunluğu

üzerinde değişimler oluşturabilir. Bölgedeki değişimler yerin jeomanyetik alan çizgileri boyunca iyonkürenin F2 bölgesine kadar ulaşabileceği öngörülmektedir (Chen 1992, Echer 2007, Kurt vd. 2016).

Bu çalışmanın ana amacı, ekvator bölgesi iyonküresinin E bölgesi için NeQuick modelin doğruluğunun QBO'ya bağlı olarak değerlendirilmesidir. Bu amaç doğrultusunda, Learmonth istasyonu (-21.9 °G; 114 °B) için NeQuick modelden ve iyonosondadan alınan elektron yoğunluk değerleri arasındaki farkın (ΔNmE) QBO ile olan ilişkisi istatistiksel çoklu regresyon modeli aracılığıyla incelendi. İstatistiksel metod Bölüm 2'de, bulgular ve tartışma Bölüm 3'te ve sonuçlar Bölüm 4'te verilmiştir.

2. Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada, istatistiksel yöntem olarak çoklu regresyon analizi kullanıldı. Çoklu regresyon analizinde ilk aşamada değişkenlerin (QBO ve ΔNmE) durağanlık analizi yapılır. Değişkenler arasında anlamlı istatistiksel ilişkilerin incelenmesi için değişkenlerin durağan olması gerekmektedir. Bu analiz, çoklu regresyon modelimizi kurmak için çok önemli olduğundan, üç farklı test ile incelendi. Zaman serilerinde birim kökün varlığını araştıran ve literatürde yaygın şekilde kullanılan test Genişletilmiş Dickey-Fuller (ADF) testidir. Bağımlı değişkenin gecikmeli değerlerinin modele dahil edildiği denklem, bir sabit ve bir zaman trendi içerecek şekilde aşağıdaki gibi formüle edilebilir.

$$\Delta y_t = \mu + \beta t + \delta y_{t-1} + \sum_{j=1}^k \alpha_j \Delta y_{t-j} + \epsilon_t \quad (1)$$

Burada β , zaman trendinin katsayısı, μ , ortalama değer, y bağımlı değişken, α , bağımlı değişkenin katsayısı, Δ fark işlemcisi, t bir zaman trendi, ϵ hata terimi ve k ise gecikme sayısıdır. Ayrıca, ADF testinde gecikme uzunluklarının doğru seçilmesi testin gücü ve parametrelerin anlamlılık düzeyleri bakımından önemlidir. ADF testi δ parametresinin tahminine dayanmaktadır. δ parametresinin istatistiki olarak sıfırdan farklı olacak şekilde anlamlı çıkması, serilerin durağan olmadığı şeklindeki boş hipotezin reddedileceği anlamına gelmektedir (Enders 2008).

Hata terimleri konusundaki sınırlayıcı varsayımlara yer vermeyen ve yüksek derecedeki korelasyonu kontrol etmek için geliştirilen Phillips-Perron (PP) testi, ADF testini tamamlayıcı bir birim kök testidir. PP testinde otokorelasyonu gidermeye yetecek kadar bağımlı değişkenin gecikmeli değerleri modele dahil edilmemekte, bunun yerine Newey-West tahmincisi ile uyarlanmaktadır (Enders

2008). Bu birim kök testi dışında KPSS (Kwiatkowski D., Phillips PCB., Schmidt P., Shin Y.) testi de her bir değişkenin durağanlığını etraflıca analiz etmektedir. KPSS diğer testlerden farklı olarak boş hipotez altında serinin durağan olduğunu ifade etmektedir. KPSS istatistiği, zaman serisinin dışsal değişkenlerle regresyondan elde edilen hata terimlerine bağlıdır (Kwiatkowski vd. 1992). Her üç test için de, değişkenlerin test istatistiğinin (τ) mutlak değerinin McKinnon tarafından belirtilen kritik değerlerin mutlak değerinden büyük olması durumunda serinin durağan olduğunu sonucuna ulaşırlar (Enders 2008).

Değişkenlerin durağanlığının belirlenmesinden sonraki aşama değişkenler arasında uzun dönemli ilişkinin var olup olmadığını tespit etmektir. Bu işlem eş-bütünleşme testi aracılığıyla yapılır. Son olarak, regresyon denklemi kurularak bağımsız değişkeninin (QBO) bağımlı değişken (ΔNmE) üzerindeki etki katsayı ve yönü belirlenir. Tüm bu işlemler ve elde edilen sonuçlar Bulgular ve Tartışma kısmında verilmektedir.

3. Bulgular ve Tartışma

QBO ekvatorial bir hava olayı olduğundan NeQuick modelin değerlendirilmesi ekvator bölgesi için belirlenen Learmonth istasyonu için yapılmıştır. Değerlendirme işlemi, SPIDR (Space Physics Interactive Data Resource-<http://spidr.ngdc.noaa.gov/spidr/>) dan ilgili istasyondan 110 km yükseklik ve YZ 12:00 ve 24:00 için foE değerleri alındı. Benzer şekilde yine aynı istasyon için NeQuick modelinden (<http://t-ict4d.ictp.it/nequick2/nequick-2-web-model>) NmE değerleri alındı. Veriler Learmonth istasyonu için solar maksimum (01/2000-12/2002) ve solar minimum (01/1995-12/1997) yıllarını kapsamaktadır. Bu sayede solar duruma bağlı olarak meydana gelebilecek değişimler de göz önüne alınmıştır. Tüm işlemler 10 hPa yüksekliğinde ölçülen QBO verileri için yapıldı.

Ölçülmüş olan foE değerleri, $NeE_{ölç} = fo^2/80.6$ ifadesi yardımıyla E bölgesi elektron yoğunluğu değerlerine dönüştürüldü (Yesil vd. 2009). Ardından

$$\Delta NmE = NeE_{ölç} - NeE_{NeQuick} \quad (2)$$

ifadesi yardımıyla ΔNmE değerleri hesaplandı.

Şekil 1'de solar maksimum durumunda YZ 12:00'da QBO nun hem doğu hem batı yönü ile ΔNmE arasında genellikle negatif bir ilişki gözlenmektedir. Solar minimum durumunda ise batı yönlü QBO ile ΔNmE arasındaki ilişki genellikle pozitif iken, doğu yönlü QBO ile genelde negatif bir ilişki vardır.

YZ 24:00'da solar maksimum yıllarında hem doğu hem batı yönlü QBO ile ΔNmE arasındaki ilişki genellikle negatiftir. Solar minimum yıllarında ise batı yönlü QBO ile ΔNmE arasındaki ilişki genellikle pozitifdir. Buna karşın doğu yönlü QBO ile ΔNmE arasındaki ilişki genelde negatiftir.

3.1. YZ 24:00 için Analiz Sonuçları

Birim kök testinde amaç değişkenlerin durağanlığını test etmektir. Durağanlık testi önemli olduğu için bu çalışmada üç ayrı test (ADF, PP, KPSS) ile desteklenmiştir. Bu testin ana mantığı çizelgenin üst tarafında her bir test türü için yazılan değişken (ΔNmE ve QBO) değerlerinin çizelgenin alt kısmında verilen McKinnon kritik değerlerinden mutlak değer olarak büyük olmasıdır.

Çizelge 1, Learmonth istasyonu için solar maksimum durumunda, QBO ve ΔNmE değişkenlerinin birim kök testi sonuçlarını göstermektedir. Çizelgeden görüleceği üzere QBO değişkeni ADF ve PP testlerinde durağan olmadığı, KPSS testinde ise %5 düzeyinde durağan ve anlamlı olduğu görülmektedir. Durağanlık, çoklu regresyon modelimiz için önemli olduğundan QBO değişkeninin birinci farkı ($D(QBO)$) alınarak durağan hale getirilmiştir. ΔNmE değişkenine bakıldığında ADF ve PP testlerine göre %1 düzeyinde, KPSS testinde ise %10 anlamlılık düzeyinde anlamlıdır. Bu durum ΔNmE değişkeninin durağan olduğunu göstermektedir.

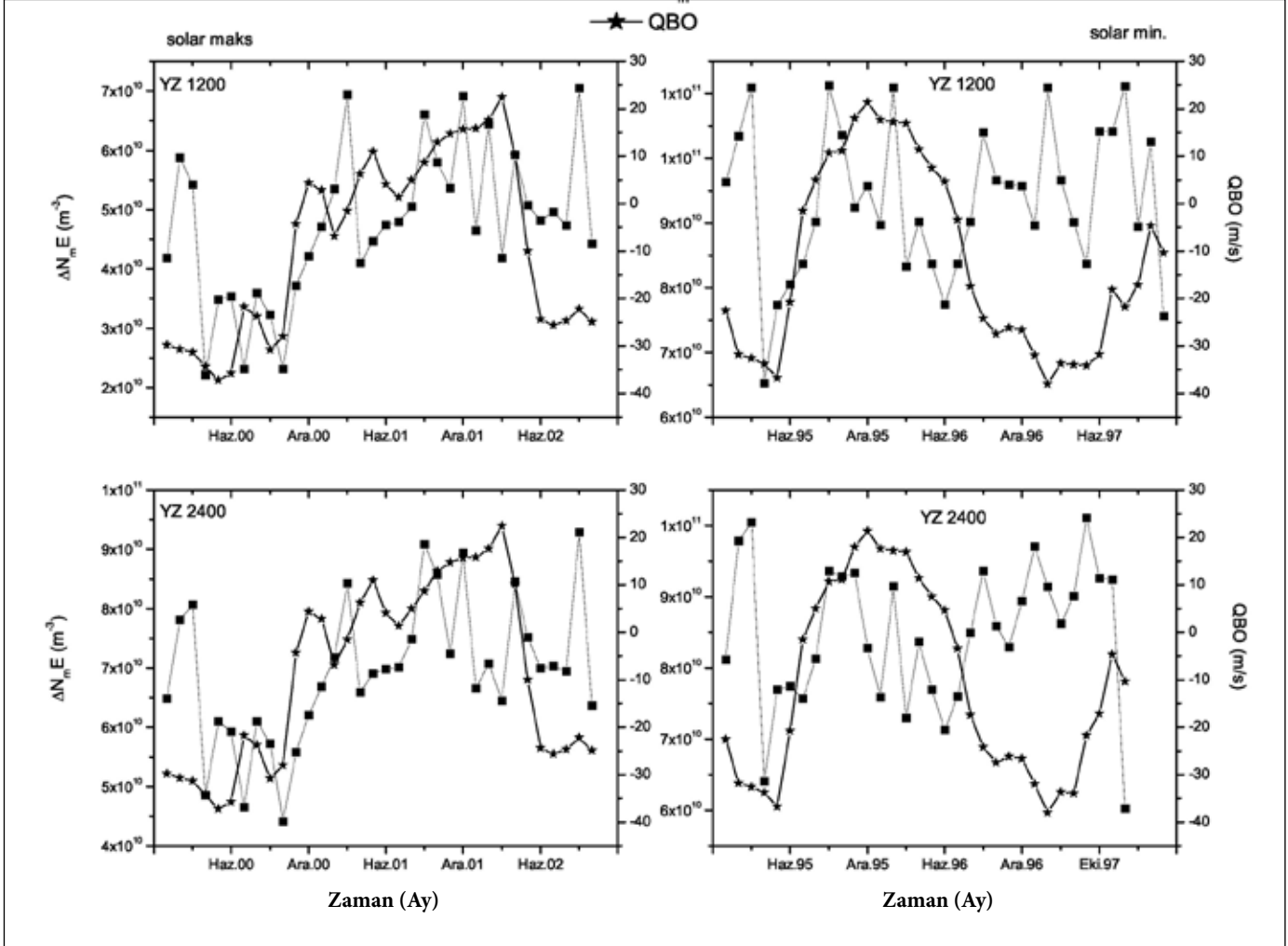
Çizelge 2, Learmonth istasyonu için solar minimum durumunda, QBO ve ΔNmE değişkenlerinin birim kök testi sonuçlarını göstermektedir. Çizelgede, QBO değişkeni PP testinde ΔNmE değişkeni ise KPSS testinde durağan olmadığı görülmektedir. Durağanlık modelimiz açısından önemli olduğu için değişkenlerin her üç test için de durağanlığı arandı. Her iki değişkeninin de birinci farkı ($D(QBO)$, $D(\Delta NmE)$) alınarak durağan hale getirilmiştir. ΔNmE değişkenine birinci farkında her üç teste göre %1 düzeyinde anlamlı ve durağandır. QBO değişkeni ise ADF ve PP testlerinde %5, KPSS testinde ise %10 oranında anlamlı ve durağan olduğu görülmüştür.

Çizelge 3 de solar maksimum ve minimum durumları için kurulan modellere ait eş bütünleşme testi sonuçları görülmektedir. Uzun dönemli bir ilişkinin olabilmesi için ADF değerlerinin McKinnon kritik değerlerinden mutlak değer olarak büyük olması ve p-value değerlerinin 0.05 ten küçük olması gerekmektedir. Bu durum sağlandığından dolayı, değişkenlerimiz olan ΔNmE ve QBO arasında her iki solar durum için uzun dönemli bir ilişkinin olduğu görülmektedir.

Değişkenlerin durağanlığı belirlenip, aralarında uzun dönemli bir ilişki tespit edildikten sonra durağanlıklarına bağlı olarak aşağıdaki modeller kuruldu.

Solar maksimum durumu için;

$$\Delta N_m E = c + \beta_0 (D(QBO)) + \beta_1 (\text{DummyBatı}) + \beta_2 (\text{DummyDoğu}) + \varepsilon \quad (3)$$



Şekil 1. Learmonth istasyonunda iyonsonda ve NeQuick modelden elde edilen NmE değerleri arasındaki farkın solar maksimum ve minimum yılları için QBO ile değişimi. Şeklin sol tarafı solar maksimum YZ 12:00 ve 24:00 için QBO ve $\Delta N_m E$ nin değişimini gösterirken, sağ taraf solar minimum durumdaki değişimi gösterir.

Çizelge 1. Solar maksimum durumunda Learmonth istasyonu için YZ 24:00 te birim kök testi sonuçları.

Değişkenler	Solar Maksimum için		
	ADF	PP	KPSS
QBO	-0.94	-0.73	0.18
$\Delta(N_m E)$	-4.33	-4.32	0.11
$D(QBO)$	-4.99	-3.33	0.23
Anlamlılık düzeyi	McKinnon(1996) kritik değerleri		
1%	-4.27	-4.26	0.21
5%	-3.55	-3.55	0.14
10%	-3.21	-3.20	0.11

Solar minimum durumu için;

$$D(\Delta NmE) = c + \beta_0(D(QBO)) + \beta_1(DummyBatı) + \beta_2(DummyDoğu) + \varepsilon \quad (4)$$

denklemdaki c sabiti, β lar değişkenlerin katsayılarını ve ε hata terimini ifade eder.

Çizelge 4 te YZ 24:00 için solar maksimum ve minimum durumunda kurulan modellere ait regresyon analizi sonuçları aşağıdaki gibi değerlendirilebilir. Çizelgenin alt bölümünde verilen Probability (F-statistics) (Prob. (F-statistic)) değerinin 0.05 ten küçük olması kurulan modelin anlamlı olduğunu göstermektedir. Durbin Watson değerinin 1.5-2.5 arasında olması modelimizi destekleyen ayrı bir sonuçtur. Çizelgede her bir değişkenin altında parantez içi ifade ile belirtilen değerler ise değişkenlerin anlamlılık düzeyini göstermektedir.

Solar maksimum durumu için QBO ile ΔNmE değişkeni arasında negatif bir ilişki olduğu görülmektedir. QBO nun p-değerlerine bakıldığında (parantez içi ifadeler) ΔNmE bağımlı değişkeni üzerine etki edebileceği görülmüştür. Bu durum modelde QBO katsayısının negatif işaretli olması ile belirtilmiştir. QBO da 1 m/s lik bir artış/azalış ΔNmE değişkeninde 2.38×10^8 e/m³ lük bir azalış/ artış a sebep olmaktadır. Benzer şekilde QBO nun hem batı hem de doğu yönlü bileşenlerinin ΔNmE ile pozitif ilişkili

olduğu görülmektedir. Adjusted R² (Adj. R²) değeri solar maksimum durumu için 0.55 olarak hesaplanmıştır. Bu sonuç, ΔNmE bağımlı değişkenimizde meydana gelen değişimlerin yaklaşık % 55 inin QBO ya bağlı değişimler ile açıklanabildiğini göstermektedir.

Solar minimum durumu için QBO ile ΔNmE değişkeni arasında negatif bir ilişki olduğu görülmektedir. Bu durum modelde QBO katsayısının negatif işaretli olması ile belirtilmiştir. QBO da 1 m/s lik bir azalış/artış, ΔNmE değişkeninde 3.25×10^8 e/m³ lük bir artış/azalışa sebep olmaktadır. QBO nun hem batı hem de doğu yönlü bileşenleri ΔNmE üzerinde anlamlı bir ilişkiye sahiptir. Adj.R² değeri solar minimum durumu için 0.37 olarak hesaplanmıştır. Bu sonuç, ΔNmE bağımlı değişkeninde meydana gelen değişimlerin yaklaşık % 37 sinin QBO ya bağlı değişimler ile açıklanabildiğini göstermektedir.

Hem solar maksimum hem solar minimum durumunda elde edilen sonuçlar meteorolojik olayların, iyonküre süreçlerinin tamamında etkili olduğu gerçeğini desteklemektedir (Lastovicka 2006). Ayrıca, elde edilen bu sonuçlar daha önce ifade edildiği üzere (Chen 1992, Echer 2007, Kurt vd. 2016), QBO nun dalgalarla etkileşmesi sonucunda taşınan parçacıkların E-bölgesinin kimyası üzerinde etkiye sahip olabilmeye atfedilebilir.

Çizelge 2. Solar maksimum durumunda Learmonth istasyonu için YZ 12:00 da birim kök testi sonuçları.

Değişkenler	Solar minimum için		
	ADF	PP	KPSS
QBO	-4.20	-1.58	0.12
$\Delta(NmE)$	-3.63	-3.42	0.06
D(QBO)	-3.99	-3.76	0.13
D($\Delta(NmE)$)	-6.43	-6.87	0.23
Önem seviyesi	McKinnon(1996) kritik değerleri		
1%	-4.27	-4.26	0.21
5%	-3.55	-3.55	0.14
10%	-3.21	-3.20	0.11

Çizelge 3. Learmonth istasyonu için eş-bütünleşme testi sonuçları.

Regresyon Model	Solar maksimum için		solar minimum için	
	ADF	p-değeri	ADF	p-değeri
Model	-6.24	0.000	-4.84	0.00
Önem seviyesi	McKinnon(1996) kritik değerleri			
1%		-2.65		
5%		-1.95		
10%		-1.60		

3.2. YZ 12:00 için Analiz Sonuçları

Değişkenlerin durağanlığı belirlenip, aralarında uzun dönemli bir ilişki tespit edildikten sonra, durağanlıklarına bağlı olarak aşağıdaki model kuruldu. Hem solar maksimum hem de solar minimum durum için;

$$\Delta NmE = c + \beta_0(QBO) + \beta_1(DummyBatı) + \beta_2(DummyDoğu) + \epsilon \quad (5)$$

denklemdaki c sabiti, β lar değişkenlerin katsayılarını ve ϵ hata terimini ifade eder.

Çizelge 5 te YZ 12:00 için solar maksimum ve minimum durumunda kurulan modele ait regresyon analizi sonuçlarına aşağıdaki gibi değerlendirilebilir. Çizelgenin alt bölümünde verilen Probability (F-statistics) (Prob. (F-statistic)) değerinin 0.05 ten küçük olması kurulan modelin anlamlı olduğunu göstermektedir. Durbin Watson değerinin 1.5-2.5 arasında olması modelimizi destekleyen ayrı bir sonuçtur. Çizelgede her bir değişkenin altında parantez içi ifade ile belirtilen değerler ise değişkenlerin anlamlılık düzeyini göstermektedir.

Solar maksimum durumu için QBO ile ΔNmE değişkeni arasında pozitif bir ilişki olduğu görülmektedir. QBO nun p-değerlerine bakıldığında ΔNmE bağımlı değişkeni üzerine etki edebileceği görülmüştür. QBO da 1 m/s lik bir artış/azalış ΔNmE değerlerinde 2.91×10^8 e/m³ lük bir

artış/azalış a sebep olmaktadır. QBO nun hem batı hem de doğu yönlü bileşenlerinin ΔNmE ile pozitif ilişkili olduğu görülmektedir. Adj.R² değeri solar maksimum durumu için 0.58 olarak hesaplanmıştır. Bu sonuç, ΔNmE bağımlı değişkenimizde meydana gelen değişimlerin yaklaşık % 58 inin QBO tarafından açıklanabildiğini göstermektedir. Modelimizle açıklanamayan % 42 lik oranın ise modelde c sabiti ile verilen ve $NmE_{ölç}$ yi etkileyip, NeQuick modele dahil edilmeyen parametrelerin etkisi olarak ifade edilebiliriz.

Solar minimum durumu için QBO ile ΔNmE değişkeni arasında negatif bir ilişki olduğu görülmektedir. QBO nun p-değerlerine bakıldığında, ΔNmE bağımlı değişkeni üzerine etki edebileceği görülmektedir. QBO da 1 m/s lik bir azalış/artış ΔNmE değişkeninde 3.95×10^8 e/m³ lük bir artış/azalışa sebep olmaktadır. QBO nun hem batı hem de doğu yönlü bileşenleri ΔNmE üzerinde anlamlı bir ilişkiye sahiptir. Adj.R² değeri solar minimum durumu için 0.22 olarak hesaplanmıştır. Bu sonuç, ΔNmE bağımlı değişkeninde meydana gelen değişimlerin yaklaşık % 22 nin QBO ile açıklanabildiğini göstermektedir. Geri kalan % 78 inin ise modelde c sabiti ile verilen ve $NmE_{ölç}$ yi etkileyip, NeQuick modele dahil edilmeyen parametrelerin etkisini gösterir.

Elde edilen bu istatistiksel sonuçlar, QBO tarafından E-bölgesine taşınan parçacıkların bu bölgenin üzerinde

Çizelge 4. Solar maksimum ve minimum dönemlerinde YZ 24:00 için Learmonth istasyonunda değişkenler arasındaki ilişkinin regresyon analiz sonuçları.

	Solar Maksimum	Solar Minimum
c	5.95×10^{10} (0.000)*	7.61×10^{10} (0.046)**
β_0 (QBO)	-2.38×10^8 (0.090)***	-3.25×10^8 (0.000)*
MA (5,6)	-0.882 (0.000)*	-0.842 (0.000)
β_1 (Dummy Batı)	6.53×10^{10} (0.000)*	8.62×10^{10} (0.000)*
β_2 (Dummy Doğu)	5.95×10^{10} (0.000)*	7.61×10^{10} (0.000)*
R ²	0.61	0.45
Adj. R ²	0.55	0.37
Durbin Watson	1.895	1.776
Prob. (F-statistics)	(0.000)	(0.001)
Serial Cor. LM	(0.214)	(0.813)
White Het.	(0.501)	(0.480)

*, **, *** sırasıyla 1%, 5%, ve 10% istatistiksel önem seviyesini gösterir.

çeşitli kimyasal reaksiyonlar aracılığıyla bir etkiye sahip olabileceğini ve bu daha önce ifade edildiği üzere meteorolojik süreçlerden biri olan QBO'nun iyonküre üzerinde önemli bir rol oynayabildiği sonuçlarını destekler (Kazimirovski ve Kokorouov 1995, Krivolutsky 2009). Ayrıca bu çalışmada daha önceki çalışmalardan farklı olarak, meteorolojik süreçlerden biri olan QBO'nun iyonkürenin E bölgesi maksimum elektron yoğunluğu üzerindeki etki oranını kullanmış olduğumuz katı istatistik sayesinde belirleyebiliriz.

4. Sonuçlar

Çalışmanın ana amacı, NeQuick modelinden alınan E bölgesi elektron yoğunluğu verilerinin QBO açısından değerlendirilmesidir. Bu değerlendirme ekvator bölgesinde bulunan Learmonth istasyonu için solar maksimum-minimum durumlarında gece-gündüz koşulları göz önünde bulundurularak istatistiksel olarak yapılmıştır. Bu değerlendirme ile aşağıdaki sonuçlar elde edildi.

- Tüm durumlarda ölçülen NmE değerleri NeQuick değerlerinden büyüktür.
- Günün her iki saat dilimi için solar maksimum durumunda elde edilen ilişki solar minimum durumundaki ilişkiden daha güçlüdür.
- Her iki solar durum ve her iki zaman için rüzgar yönleri ile ΔNmE arasında pozitif bir ilişki vardır.
- Solar minimum durumunda hem YZ 24:00 hem de YZ 12:00 için QBO ile ΔNmE arasında negatif bir ilişki vardır.
- YZ 24:00 için QBO daki 1 m/s lik artış/azalış, ΔNmE de solar maksimum durumunda $2.38 \times 10^8 \text{ e/m}^3$ azalış/artış a, solar minimum durumda $3.25 \times 10^8 \text{ e/m}^3$ lük azalış/artış a sebep olmaktadır.
- YZ 12:00 için QBO daki 1 m/s lik artış/azalış, ΔNmE de solar maksimum durumunda $2.91 \times 10^8 \text{ e/m}^3$ artış/azalış a, solar minimum durumda $3.95 \times 10^8 \text{ e/m}^3$ lük azalış/artış a sebep olmaktadır.
- YZ 24:00 te ΔNmE değişimlerin solar maksimum durumunda %55 i, solar minimum durumunda % 37 i QBO ile açıklanabilmektedir.
- YZ 12:00 ΔNmE değişimlerin solar maksimum durumunda %58 i, solar minimum durumunda % 22 i QBO ile açıklanabilmektedir.
- Tüm durumlarda QBO nun tüm setinin etki değeri hem doğu hem de batı yönünün etki değerinden düşüktür.

Çizelge 5. Solar maksimum ve minimum dönemlerinde YZ 12:00 için Learmonth istasyonunda değişkenler arasındaki ilişkinin regresyon analiz sonuçları.

	Solar Maksimum	Solar Minimum
c	3.97×10^{10} (0.000)*	7.79×10^{10} (0.046)**
β_0 (QBO)	2.91×10^8 (0.057)***	-3.95×10^8 (0.024)**
MA (4)	-0.898 (0.000)*	-0.899 (0.000)*
β_1 (Dummy Batı)	3.84×10^{10} (0.000)*	9.57×10^{10} (0.000)*
β_2 (Dummy Doğu)	3.95×10^{10} (0.000)*	7.79×10^{10} (0.000)*
R ²	0.63	0.33
Adj. R ²	0.58	0.22
Durbin Watson	2.322	1.965
Prob. (F-statistics)	(0.000)	(0.032)
Serial Cor. LM	(0.346)	(0.881)
White Het.	(0.625)	(0.484)

*,**,*** sırasıyla 1%, 5%, ve 10% istatistiksel önem seviyesini gösterir.

Elde edilen bu istatistiksel sonuçlar herhangi bir fiziksel mekanizma önermemesine rağmen, bu iki değişken arasındaki ilişkinin tespiti hususunda bize ipuçları verecektir. Sonuç olarak NeQuick modelin özellikle ekvator bölgesi iyonkürenin E bölgesinde daha net sonuçlar elde edebilmesi için modele QBO parametresinin eklenmesi gerektiği düşünülmektedir. Bu ekleme ile birlikte QBO tarafından iyonküreye taşınan momentum ve enerjinin modele dahil edilmesi sağlanmış olacaktır.

5. Kaynaklar

- Atıcı, R., Sağır, S. 2016.** The Effect on Sporadic-E of Quasi-Biennial Oscillation. *J. Phys. Sci. and App.*, 6(2): 10-17.
- Baldwin, M., Gray, L., Dunkerton, T., Hamilton, K., Haynes P., Randel, W., Holton, J., Alexander, M., Hirota, I., Horinouchi, T. 2001.** The quasi-biennial oscillation. *Rev. Geophys.*, 39(2): 179-229.
- Bilitza, D. 2001.** International reference ionosphere. *Radio Sci.*, 36 (2): 262-275.
- Chen, P. 1992.** Evidence of the ionospheric response to the QBO, *Geophys. Res. Lett.*, 19: 1089-1092.
- Danilov, AD. (1998).** Solar activity effects in the ionospheric D region, *Ann. Geophys.*, 16 (12): 1527-1533.
- Echer, E. 2007.** On the quasi-biennial oscillation (QBO) signal in the foF2 ionospheric parameter, *J. Atmos. Sol-Terr. Phys.*, 69: 621-627.
- Enders, W. 2008.** Applied Econometric Time Series, John Wiley & Sons.
- Giovanni, G.D., Radicella, S.M. 1990.** An analytical model of the electron density profile in the ionosphere, *Adv. Space Res.*, 10(11): 27-30.
- Kazimirovsky, E. S., Kokourov, V. D. 1995.** Meteorological effects in the ionosphere: A review. *Geomagn. Aeron.*, 35.3: 303-320.
- Kumar, S., Tan, EL., Murti, DS. 2015.** Impacts of solar activity on performance of the IRI-2012 model predictions from low to mid latitudes. *Earth, Planet. Space*, 67(1): 1-17.
- Kumar, S., Singh, A. K., Lee, J. 2014.** Equatorial Ionospheric Anomaly (EIA) and comparison with IRI model during descending phase of solar activity (2005-2009). *Adv. Space Res.*, 53(5): 724-733.
- Kurt K., Yeşil A., Sağır S., Atıcı R. 2016.** The Relationship of Stratospheric QBO with the Difference of Measured and Calculated NmF2. *Acta Geophys.* 64, DOI:10.1515/acgeo-2016-0061.
- Kwiatkowski, D., Phillips, P.C., Schmidt, P., Shin, Y. 1992.** Testing the null hypothesis of stationarity against the alternative of a unit root: How sure are we that economic time series have a unit root? *J. Econometrics*, 54(1): 159-178.
- Laštovička, J. 2006.** Forcing of the ionosphere by waves from below, *J. Atmos. Terr. Phys.*, 68(3-5): 479-497.
- Leitinger, R., Zhang, M. L., Radicella, SM. 2005.** An improved bottomside for the ionospheric electron density model NeQuick. *Ann. Geophys.*, 48: 525-534.
- MacKinnon, JG. 1996.** Numerical distribution functions for unit root and cointegration tests, *J. App. Econometrics*, 11: 601-618.
- Radicella, SM. 2009.** The NeQuick model genesis, uses and evolution, *Ann. Geophys.*, 52,3/4: 417-422.
- Rishbeth, H., Garriot, O.K., 1969.** Introduction to Ionospheric Physics, Academic Pres, New York, 175-186
- Rishbeth, H. 1973.** Physics and chemistry of the ionosphere. *Contemporary Physics*, 14(3), 229-249.
- Sağır, S., Atıcı, R., Özcan, O., Yüksel, N. 2015b.** The effect of the stratospheric QBO on the neutral density of the D region. *Ann. Geophys.*, 58(3): A0331.
- Yesil, A., Sağır, S., Ozcan, O. 2009.** Comparison of maximum electron density predicted by IRI-2001 with that measured over Chilton station. *E-J. New World Sci. Acad.*, 4(3): 92-99.
- Yiğit, E., Medvedev, A. S. 2015.** Internal wave coupling processes in Earth's atmosphere. *Adv. Space Res.*, 55(4): 983-1003.
- Yiğit, E., Knížová, P. K., Georgieva, K., Ward, W. 2016.** A review of vertical coupling in the Atmosphere-Ionosphere system: Effects of waves, sudden stratospheric warmings, space weather, and of solar activity. *J. Atmos. Sol.-Terr. Phys.*, 141: 1-12.