



**İYONKÜRE NEQUICK MODELİNİN STRATOKÜRESEL QBO
AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ**

Yakup AKALIN

**Yüksek Lisans Tezi
Fizik Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. Ali YEŞİL**

AĞUSTOS-2016

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İYONKÜRE NEQUICK MODELİNİN STRATOKÜRESEL QBO AÇISINDAN
DEĞERLENDİRİLMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Yakup AKALIN

(031114104)

Anabilim Dalı: Fizik

Programı: Yüksek Enerji ve Plazma Fiziği

Danışman: Doç. Dr. Ali YEŞİL

AĞUSTOS- 2016

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

NEQUICK MODELİNİN STRATOKÜRESEL QBO AÇISINDAN
DEĞERLENDİRİLMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Yakup AKALIN

(031114104)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 26.07.2016

Tezin Savunulduğu Tarih : 19.08.2016

Tez Danışmanı :

Doç. Dr. Ali YEŞİL

Diğer Jüri Üyeleri :

Doç. Dr. Murat CANYILMAZ

Yrd. Doç. Dr. Selçuk SAĞIR

AĞUSTOS-2016

ÖNSÖZ

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde; çalışmalarından ve azminden feyiz aldığım, ufuklara ışık tutan ve yolları aydınlatıp cesaretlendiren fikirlerini esirgemeyen, gerekli ilmi ve manevi desteklerinden dolayı değerli Danışman Hocam Sayın Doç. Dr. Ali YEŞİL'e; değerli bilgilerini cömertçe benimle paylaşan, destek ve yardımlarını her an yanımda hissettiğim, sabır ve özveriyle bana sunduğu aydınlatıcı bilgilerinden dolayı Muş Alparslan Üniversitesi Öğretim Üyesi Sayın Yrd. Doç. Dr. Selçuk SAĞIR'a teşekkür ve şükranlarımı sunarım.

Eğitim-öğretim hayatım boyunca karşılıksız ve sabırla desteklerini esirgemeyen anne ve babama, yükümü ve sıkıntılarımı paylaşan sevgili eşim Seda AKALIN'a teşekkürlerimi sunarım.

Yakup AKALIN
ELAZIĞ-2016

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET	IV
ABSTRACT	V
ŞEKİLLER LİSTESİ	VI
TABLolar LİSTESİ	VII
SEMBOLLER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	VIII
1. GİRİŞ	1
2. QBO VE STRATOKÜREDE MEYDANA GELEN DİĞER SALINIMLAR	4
2.1. QBO'nun Keşfi ve Tanımı	4
2.2. Stratokürede Meydana Gelen Salınımlar.....	7
2.2.1. Sıcaklık	7
2.2.2. Rüzgâr.....	8
2.2.2.1. QBO.....	10
3. İYONOSFERİK MODELLER VE NEQUICK MODEL	12
3.1. İyonosferik Modeller	12
3.2. NeQuick modeli.....	14
4. MATERYAL METOT.....	20
5. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	23
5.1. Darwin İstasyonu için analiz sonuçları.....	24
5.1.1. Solar Maksimum Durumu İçin Analiz Sonuçları	24
5.1.2. Solar Minimum Durumu İçin Analiz Sonuçları	27
5.2. Learmonth İstasyonu İçin Analiz Sonuçları	30
5.2.1. Solar Maksimum Durumu İçin Analiz Sonuçları	30
5.2.2. Solar Minimum Durumu İçin Analiz Sonuçları	33
6. SONUÇLAR.....	37
7. ÖNERİLER	38
KAYNAKLAR	39
ÖZGEÇMİŞ.....	42

ÖZET

Bu çalışmada bir iyonküre modeli olan NeQuick modeli, ekvator bölgesi parametresi olan QBO açısından değerlendirilmiştir. Bu bağlamda NeQuick modeli ekvator bölgesi için belirlenen Darwin ve Learmonth istasyonları için elde edilen veriler ile istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. İstatistiksel olarak çoklu regresyon modeli uygulanmıştır. Bu uygulamada, F1 bölgesi elektron yoğunluğu ölçülen gerçek değerlerinden NeQuick model aracılığı ile hesaplanan değer farkının ($\Delta NmF1$), QBO ile ilişkisi incelendi. Bu inceleme sonucunda hem Darwin hem de Learmonth istasyonunda solar maksimum durumundaki ilişki, solar minimum durumundaki ilişkiden daha güçlü olduğu görüldü. Solar minimum durumunda her iki istasyonda QBO ile $\Delta NmF1$ arasında negatif bir ilişki belirlendi. Darwin istasyonunda $\Delta NmF1$ değişimlerin solar maksimum durumunda % 67'i, solar minimum durumunda % 35'i QBO ile açıklanabilmektedir. Learmonth istasyonunda $\Delta NmF1$ değişimlerin solar maksimum durumunda %51'i, solar minimum durumunda % 30'u QBO ile açıklanabilmektedir.

Tüm bunların sonucunda NeQuick modele QBO nun eklenmesiyle özellikle ekvator bölgesinde modelin gerçek verilere daha yakın hesaplamalar yapmasına olanak tanıyacağı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: NeQuick Model, QBO, İyonkürenin F1 bölgesi, Elektron Yoğunluğu

ABSTRACT

(The Assessment in terms of QBO of Ionospheric NeQuick Model)

In this study, the NeQuick Model which is an ionospheric model was evaluated in terms of the stratospheric QBO. In this context, foF1 values obtained from Darwin and Learmonth stations set in the NeQuick model of the equatorial region were statistically evaluated. For the statistical model, the Multiple Regression Analysis Model was applied. During the assessment; the ($\Delta N_m F1$) values obtained from the difference between the measured value of the electron density of F1 region and calculated value through the NeQuick Model and their relationship with QBO were correlated. This investigation has shown that the relationship at solar maximum case was stronger than the relationship at solar minimum case both in Darwin and in Learmonth stations. In solar minimum case, there were negative correlations between the QBO and $\Delta N_m F1$ at both stations. In Darwin station 67 % of $\Delta N_m F1$ changes in case of solar maximum, 35 % of $\Delta N_m F1$ changes in case of solar minimum could be attributed to the QBO. In Learmonth station 51 % of $\Delta N_m F1$ changes in case of solar maximum, 30 % of $\Delta N_m F1$ changes in case of solar minimum could be attributed to the QBO.

The results showed that the addition of QBO to the NeQuick Model would allow making calculations closing to actual data especially in the equator region of this model.

Keywords: NeQuick Model, QBO, Ionospheric F1 Region, Electron Density

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1. Ortalama akımla gravity dalga ışınımının kritik seviyelerle etkileşiminden dolayı kesik bölgelerin “aşağı yönlü yayılımı” (Baldwin vd., 2001)	6
Şekil 2.2. Ocak ayı için bölgesel ortalama sıcaklığın (K) enlem ve yükseklik ile değişimi (Randel vd., 2004)	8
Şekil 2.3. Ocak ayı için bölgesel ortalama rüzgârların coğrafik enlem ve yükseklik ile değişimi (Mohanakumar, 2008)	9
Şekil 3.1. İyonosferik tabakaların gösterimi (Hochegger, Nava, Radicella and Leitinger, 1999)	16
Şekil 5.1. QBO ve $\Delta NmF1$ değişkenlerinin aylara göre değişimi	24

TABLÖLAR LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 5.1.	Darwin istasyonu solar maksimum durumu için birim kök testi sonuçları .25	
Tablo 5.2.	Darwin istasyonu solar maksimum durumu için kurulan modellere ait eş bütünleşme testi sonuçları.....25	
Tablo 5.3.	Darwin istasyonu solar maksimum durumu için regresyon modeli sonuçları.....27	
Tablo 5.4.	Darwin istasyonu solar minimum durumu için birim kök testi sonuçları....28	
Tablo 5.5.	Darwin istasyonu solar minimum durumu için kurulan modellere ait eş bütünleşme testi sonuçları.....28	
Tablo 5.6.	Darwin istasyonu solar minimum durumu için regresyon modeli sonuçları.....30	
Tablo 5.7.	Learmonth istasyonu solar maksimum durumu için birim kök testi sonuçları.....31	
Tablo 5.8.	Learmonth istasyonu solar maksimum durumu için kurulan modellere ait eş bütünleşme testi sonuçları.....31	
Tablo 5.9.	Learmonth istasyonu solar maksimum durumu için regresyon modeli sonuçları.....33	
Tablo 5.10.	Learmonth istasyonu solar minimum durumu için birim kök testi sonuçları.....34	
Tablo 5.11.	Learmonth istasyonu solar minimum durumu için kurulan modellere ait eş bütünleşme testi sonuçları.....34	

SEMBOLLER VE KISALTMALAR LİSTESİ

QBO	: Yaklaşık iki yılda bir meydana gelen salınım (Quasi Biennial Oscillation)
SAO	: Yarı yıllık salınım (Semi Annual Oscillation)
AO	: Yıllık salınımlar (Annual Oscillation)
GLS	: Güneş Lekesi Sayısı
MLS	: Microwave Limb Sounder
HALOE	: Halogen Occultation Experiment
SPARC	: Stratokürenin iklim yapısı
SEKK	: Sıradan En Küçük Kareler Yöntemi
GPS	: Küresel Konumlama Sistemi (Global Positioning System)
TEİ	: Toplam elektron içeriği
VTEC	: Düşey toplam elektron içeriği (Vertical Total Electron Content)
STEC	: Eğimli toplam elektron içeriği (Slant Total Electron Content)
GNSS	: Küresel Uydu Alıcı Sistemleri (Global Navigation Satellite System)
CTIM	: Coupled Thermospher Ionospher Model
GTIM	: Global Theoretical Ionospher Model
FLIP	: The Field Line Inter-Hemispheric Plasma Model
SLM	: Single Layer Model
IRI	: International Reference Ionosphere
SPIDR	: Space Physics Interactive Data Resource
SIP	: Alt iyonosfer noktası (Sub-Ionospher Point)
URSI	: International Union of Radio Science
COSPAR	: Commite On Space Research
DGR	: Di Giovanni and Radicella
ITU	: International Telecommunication Union
ADF	: Geliştirilmiş Dickey-Fuller testi
KPSS	:Kwiatkowski D, Phillips PCB, Schmidt P, Shin Y. testi
PP	: Phillips-Perron testi
UV	: Mor Ötesi (Ultra Violet)
EUV	: Aşırı ultra viyole (Extreme Ultra Violet)Denklemleri buraya yazın.
UT	: Evrensel zaman (Universal Time)

LT	: Yerel zaman (Local Time)
H	: Ölçek yüksekliği
h	: Yükseklik
N_e	: Kritik elektron yoğunluğu
β	: Coriolis parametresinin enlemsel değişimi
a₀ ve a₁	: Regresyon katsayıları
β_1, β_2 ve β_3	: Regresyon katsayıları
β_0	: Regresyon sabiti
ε	: Hata terimi
t	: Zaman
R	: Regresyon Katsayısı
hPa	: hekto pascal
foD	: D bölgesi kritik frekansı
foE	: E bölgesi kritik frekansı
foF	: F bölgesi kritik frekansı
foF1	: F1 bölgesi kritik frekansı
foF2	: F2 Bölgesi kritik frekansı
NmF1	: F1 bölgesi elektron yoğunluk piki
NmF2	: F2 bölgesi elektron yoğunluk piki
NmE	: E bölgesi elektron yoğunluk piki
$\Delta NmF1$	: F1 bölgesi elektron yoğunluğunun gerçek değeri ile NeQuick değerinin farkı
h_mF1	: F1 Bölgesi kritik frekansının ölçüldüğü yükseklik
h_mF2	: F2 Bölgesi kritik frekansının ölçüldüğü yükseklik
M(3000)F2	: F2 tabakası geçiş frekansı, M ₃
B_E	: E bölgesi kalınlık parametresi
B_{F1}	: F1 bölgesi kalınlık parametresi
B_{F2}	: F2 bölgesi kalınlık parametresi
B_{Etop}	: E bölgesi üst kısım kalınlık parametresi
B_{Ebot}	: E bölgesi üalt kısım kalınlık parametresi
B_{F1top}	: F1 bölgesi üst kısım kalınlık parametresi
B_{F1bot}	: F1 bölgesi üalt kısım kalınlık parametresi
B_{F2top}	: F2 bölgesi üst kısım kalınlık parametresi

B_{F2bot}	: F2 bölgesi alt kısım kalınlık parametresi
R_{12}	: Ortalama güneş lekesi sayısı
$F_{10,7}$	: Güneş akısı
μ	: Düzenlenmiş düşük enlem (Modified Dip Latitude)
I	: Jeomanyetik indikasyon vektör eğimi
ζ	: Solma katsayısı
$\epsilon_1, \epsilon_2, r, g$	: Sabit parametreler
z	: Bağımlı değişken
v	: İndirgeme faktörü
Δ	: Fark işlemcisi
k	: Gecikme sayısı
τ	: Test istatistiği
N	: Brunt-Vaisala frekansı
$^{\circ}C$	: Santigrad derece (Celsius)

1. GİRİŞ

Atmosfer sıcaklık, fiziksel olaylar ve kimyasal bileşenlerine göre çeşitli bölgelere ayrılır. Sıcaklığa göre tropoküre, stratoküre, mezoküre, termoküre ve egzoküre olmak üzere beş bölgeye ayrılır. Kimyasal bileşenlerine göre ozonküre, iyonküre, helyumküre ve protonküre olmak üzere dört bölgeye ayrılır. Fiziksel özelliklerine göre ise, yerküreye yakın yüksekliklerdeki çok karmaşık olayların etkisi altındaki karışmış bölge, her gazın kendi ağırlığına göre yerçekiminin etkisi altında ayrı ayrı hareket ettiği difüzyon bölgesi ve yerin manyetik alanının yüklü paçacıkları etkisi altına aldığı manyetoküre olmak üzere üç bölgeye ayrılır (Sağır, 2008).

Stratoküre, atmosferin 10 km ile 50 km yükseklikleri arasında yer alan bölgesine denilmektedir. Yaklaşık olarak 25 km'de içerdiği ozon (O_3) molekülleri, Güneş'ten gelen UV ışınları soğurarak bu katmanın ısınmasına yol açar. Bu nedenle, tropopoz düzeyinde -50 °C ile -60 °C arasında olan sıcaklık stratokürenin alt kesimlerinde her kilometrede 1 °C, üst kesimlerinde ise her kilometrede 3 °C kadar artarak stratokürenin üst sınırı olan stratopoz da 0 °C düzeyine kadar yükselir. Bu sıcaklık dağılımı, stratokürenin hava akımlarının son derece az olduğu bir tabaka olarak korunmasını sağlar. Bu özellik, stratoküre düzeyinde oluşan kirliliğin kalıcı olabilmesi gibi bir sakınca da yaratabilmektedir. Bu tabakada sıcaklık yükseklikle artar. Bundaki en büyük etken, önemli sera gazlarından biri olan atmosferdeki ozonun yoğunluğunun büyük bölümünün bu tabakada olmasıdır. Güneş ışınları ozon tarafından emilerek bu tabakanın ısınmasına sebep olur. Yeryüzündeki yaşam için ölümcül etkilere sahip morötesi ışınları süzen ozon tabakası, zararlı ışınların stratoküreye ulaşmasını önlemek açısından önem taşımaktadır (Sağır, 2013).

Güneş'ten gelen ışınlar nötr atmosferde iyonlaşmaya neden olur. Bu etki termoküre içinde başka bir tabaka olan iyonküreyi meydana getirir. Bu nedenle iyonküre, atmosferin Güneş ışınları tarafından oluşturulan bölgesi olarak tanımlanabilir. İyonküre, hemen hemen eşit sayıda serbest elektronlar ve pozitif iyonlar içerdiğinden dolayı, elektriksel olarak nötr bir ortamdır. Bu özelliğinden dolayı iyonküre doğal bir plazma olarak kabul edilir. İyonkürenin oluşumunda en büyük etki Güneş tarafından oluşturulmakla birlikte, her bölgenin kimyasal yapısı ve bileşenleri farklı olduğundan, Güneş'ten gelen farklı dalga boyuna sahip ışınlar farklı yapıda bölgelerin oluşmasını sağlar. İyonküre yaklaşık Yer'den 50 km yükseklikte başlar ve üst sınırı kesin olarak belli

olmamakla birlikte, He^+ ve H^+ gibi hafif iyonların O^+ iyonu gibi iyonlara baskın olmaya başladığı yükseklikte bittiği kabul edilir. İyonkürede elektronlar, atom ve moleküller, kendi ağırlıklarına göre farklı ölçek yüksekliklerinde yer alırlar. Bu nedenle iyonküre içindeki iyonlaşma, farklı yüksekliklerde bulunan farklı atom ve moleküllerden dolayı yükseklikle değişir ve farklı bölgeler oluşturur. İyonküre elektron yoğunluğuna göre D, E, F (F_1 , F_2) olmak üzere üç bölgeye ayrılır: D (50-90 km), E (90-140 km), F (140 km ve yukarı) iyonkürenin farklı bölgelerini göstermek için kullanılırlar. Bu bölgelerden yansıyan en yüksek dalga frekansı, kritik frekans olarak adlandırılır. İyonkürenin D, E ve F bölgelerinin kritik frekansları f_oD , f_oE ve f_oF ile temsil edilir. (Hunsucker ve Hargreaves 2003; Rishbeth, 1973; Özcan vd.,1996).

İyonküreyi karakterize eden temel parametre olan elektron yoğunluğu; Güneş aktivitesi, jeomanyetik aktivite, coğrafik konum, yerel zaman ve mevsimler gibi parametrelere bağlıdır. İyonkürede, kritik frekans ve Toplam Elektron İçeriği (TEİ) gibi birçok parametre elektron yoğunluğuna bağlı parametrelerdir; bu nedenle, uzak mesafe haberleşmeleri için elektromanyetik dalganın iyonküreden yansması ve yayılması, iyonküredeki elektron yoğunluğuna bağlıdır. İyonkürede, elektron yoğunluğunun en fazla olduğu bölge F bölgesidir ve bu bölge bu nedenle radyo haberleşmeleri için önemli bir bölgedir. Elektron yoğunluğunun en fazla olduğu yükseklik (h_mF_2), ortalama 250–400 km arasında değişir. Bu bölgedeki elektron yoğunluğunu, plazma difüzyonu, nötr rüzgârlar, termal hareketler ve elektromanyetik sürüklenme gibi dinamik süreçlerle birtakım kimyasal süreçler etkiler (Sağır, 2013).

QBO (Quasi Biennial Oscillation), ekvator bölgesi üzerindeki stratokürede, ortalama 28–29 aylık periyotlarla, doğu batı yönünde esen rüzgârların oluşturduğu, hemen hemen iki yılda bir meydana gelen salınımlar olarak tanımlanmıştır (Sağır, 2013; Heaps vd., 2000). Bu salınımlar gravity, inertia gravity, Kelvin ve Rossby gravity dalgaları yardımıyla stratoküreden mezoküreye taşınmaktadır. Mezokürede gezegensel dalgalar yardımı ile yerin jeomanyetik alan çizgileri boyuca iyonkürenin F_2 bölgesine kadar ulaşabileceği öngörülmektedir (Chen, 1992).

Bu çalışmanın amacı, ekvator bölgesi üzerindeki stratokürede gözlenen ve ekvator bölgesinde simetrik olarak doğu-batı yönlü, hemen hemen iki yılda bir meydana gelen salınımlar ile iyonküre modeli olan NeQuick modelinin değerlendirilmesidir. Bu amaçla çalışmanın ikinci bölümünde, QBO tanımı, QBO'nun gelişim süreçleri ile stratokürede meydana gelen salınımlar tanımlanmıştır. Çalışmanın üçüncü bölümünde, iyonküre

modellerine yer verilmiştir. Çalışmanın dördüncü bölümünde ise veri grupları üzerine uygulanan istatistiksel yöntemler belirtilmiş ve tanımlanmıştır. Beşinci bölümde, “<http://strat-www.met.fu-berlin.de>” adresinden alınan QBO verilerinin, <http://spidr.ngdc.noaa.gov> adresinden alınan foF1 kritik frekans verileri ve <http://t-ict4d.ictp.it/nequick2/nequick-2-web-model> adresinden alınan NeQuick modele ait F1 bölgesi elektron yoğunluğu değerlerinin ilişkisi istatistiksel olarak incelenmiştir.



2. QBO VE STRATOKÜREDE MEYDANA GELEN DİĞER SALINIMLAR

QBO, simetrik olarak ekvator bölgesi üzerindeki stratokürede gözlenen, hemen hemen iki yılda bir meydana gelen doğu batı yönlü salınımlardır (Heaps vd., 2000). Stratoküre, genel olarak durgun, özellikle yatay hava hareketlerinin görüldüğü, iklim olaylarına katkısı az olan atmosfer katmanıdır. Bu bölümde, QBO' nun oluşum süreçleri ve stratoküredeki QBO benzeri diğer salınım türleri incelenmiştir. Bu nedenle öncelikle QBO kavramının ne olduğunu tanımlamak gerekmektedir (Sağır, 2013).

2.1. QBO'nun Keşfi ve Tanımı

Ekvator bölgesi stratoküresindeki rüzgârların ilk incelemeleri, yaklaşık iki haftalık periyotlar boyunca, doğudan batıya, Krakatau (1883) yanardağ küresel dairesinden yayılan rüzgârların keşfi ile yapıldı. Bu rüzgârlar “Krakatau doğuları” olarak adlandırıldı. 1908'de Alman meteorolojist A. Berson tarafından, ekvator kuşağındaki Afrika'dan fırlatılan balon ile “Berson batıları” olarak bilinen tropopoz yakınında yaklaşık 15 km hızla batıdan doğuya esen rüzgârlar keşfedilmiştir. Daha sonra Reed (1961) ve Ebdon (1960) tarafından ekvator bölgesi stratoküresindeki rüzgârlarda, meteorolojik ve jeofiziksel parametrelerde QBO benzeri salınımları görmek için çalışmalar yapılmıştır (Baldwin vd., 2001; Artigas ve Elias, 2005).

1960'lı yıllarda QBO teorisi üzerine üç önemli öneri ileri sürülmüştür. Bunlar:

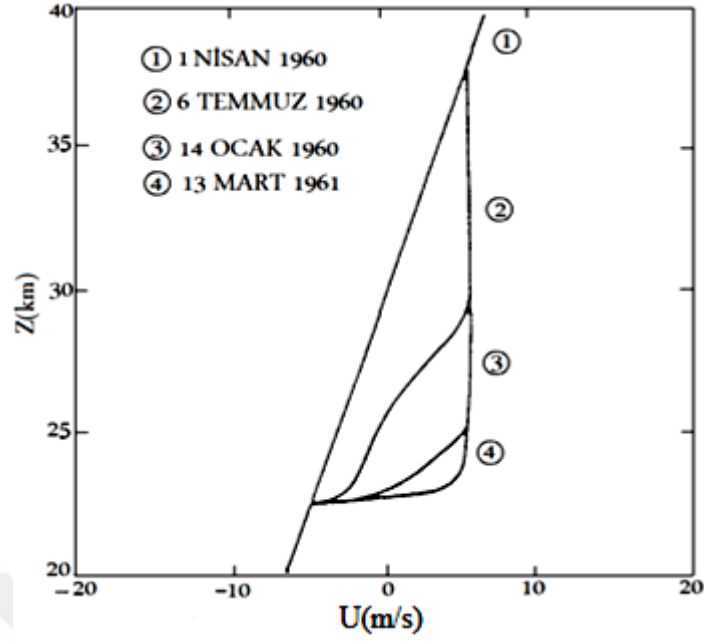
1) Ekvator bölgesine ait dalgalarda dünyanın dönmesinden kaynaklanan $f = f_0 + \beta y$ Coriolis kuvvetinin göz önünde bulundurulması öne sürülmüştür. Bu konunun teorik olarak incelenmesi; ekvator bölgesine ait β düzleminin [Coriolis (Dünya' nın dönmesinden kaynaklanan kuvvet) parametresinin ($f = f_0 + \beta y$) bir yaklaşımıdır ve kuzey-güney doğrultusunda değiştiği varsayılır, burada β bir sabittir] kullanılmasıyla karakterize edilmesidir. Konu değişik bireysel çalışmalarda farklı olarak ele alınmıştır. Örneğin, Taroh Matsuno ve Lindzen ekvator bölgesine ait β düzleminde çalışırken dalga çözümlerini bağımsız olarak düşünmüşlerdir. Wallace ve Kousky, ekvator bölgesi üzerindeki stratokürede, Marmuyama ve Yanai tarafından keşfedilen doğu yönlü ortalama Rossby gravity'nin yerine, batı yönlü dalgaların var olduğunu keşfetmişlerdir. Bu dalgalar, doğu yönlü dalgalardan bölgesel olarak çok daha geniş ve periyotları daha uzundur (yaklaşık 12 gün). Jim Holton ve Lindzen'nin bu dalgaları keşfi ile beraber bu dalgalar Kelvin dalgaları

olarak tanımlanmıştır. Bununla birlikte Lindzen, Wallace ve Kousky'nın bu dalgaları keşfinden önce bir QBO teorisi geliştirmişlerdir (Lindzen, 1987 ; Sağır 2013).

2) Ortalama akış hızının sıfıra gittiği kritik seviyelerde dağdalgalarının (mountain lee waves) davranışının teorik çalışmasıdır. Dağ dalgalarının inertia gravity dalgalarına düşey yayılımına Lyra, Queney, Eliassen ve Palm'ın çalışmalarında yer verilmiştir. Bu durum Şekil 2.1'de gösterilmiştir. Burada dikkat edilmesi gereken, “ortalama akış geçişinin sıfır olduğu süre boyunca rüzgâr almayan dalgaların sabit kaldığı durumlar olan kritik seviyelerde dalgaların ne olduğu?” sorusudur. Lineer dalga denkleminde tek bir noktadaki lineer dalgaların ne olduğu sorusu, Hines ve Reddy (1967)'de ele alınana kadar göz ardı edilmiştir. Bu çalışmada, gravity dalgalarını yansıtabilecek olan sonuçlandırmalar ile birçok tabaka modeli kullanarak soruları ilişkilendirmeye çalışmışlardır. Fakat daha sonra modelde bazı hataların olduğu anlaşılmıştır (Lindzen, 1987).

3) QBO'nun momentumunun yarı deneysel çalışmasıdır. Richard S. Lindzen (1987) yaptığı çalışmalarda, stratoküredeki dinamiklerde fotokimyanın ve radyasyonun rolünü ve QBO' nun termal bir kuvvetten kaynaklandığını ileri sürmüştür. Mike Wallace ise ısı kaynaklarıyla tropikal sıcaklık değişimini kuvvetlendirmek için, mümkün olan noktayı işaret ederek, momentum kaynaklarının çok daha etkili olacağını göstermiştir. Wallace ve Holton, Washington Üniversitesi' nde QBO'nun nümerik modellerini incelemişlerdir. Wallace ve Newell (1966), 30 km'de momentum akışının yatay ucunda 26 aylık periyodun bazı izlerini bulmuşlardır. Holton ve Wallace, 30 km'de momentum kaynakları gibi QBO'nun aşağı yönlü yayılımı sağlanmak şartıyla modelin kullanılabileceğini önermişlerdir. Momentum kaynaklarının 30 km'de bile gerçek QBO'yu üretmek için oldukça küçük olduğunu göstermişlerdir (Lindzen, 1987).

Düşey dalga yayılımının temelinde bir QBO modeli olduğu ilk olarak Holton ve Lindzen tarafında 1972'de yapılan bir çalışmada önerilmiştir. Stratokürenin üst bölgelerinde, yarıyıllık salınımların (Semi Annual Oscillation-SAO) kökeninde QBO önemli bir rol oynar. Fakat daha sonra yapılan çalışmalarda SAO'nun önemli olduğu ancak QBO'nun oluşumu için gerekli olmadığı ortaya konmuştur (Sağır, 2013).



Şekil 2.1. Ortalama akımla gravity dalga ışınımının kritik seviyelerle etkileşiminden dolayı kesik bölgelerin “aşağı yönlü yayılımı” (Baldwin vd., 2001)

QBO’nun keşfini daha açıkça tanımlamak için daha önce Marumaya (1997), Labitzke ve Van Loon (1999)’da öngörülen teori ve incelemeler, geliştirilmiştir. Yaklaşık 50 yıldan beri, batı yönlü rüzgârları kapsayan ekvator bölgesi üzerindeki stratoküredeki doğu yönlü rüzgârların olmadığını göstermek için balon incelemeleri yapılmaktadır. Son zamanlarda ise, küresel ölçekli dalga modelini kullanarak, Yüksek Çözücülü Dopler İnterferometre ile bölgesel ortalama rüzgâr verilerinin 10 km ile 120 km arasında aylık ortalaması alınarak çalışmalar yapılmaktadır. (Baldwin vd., 2001; Heaps vd., 2000; Hagan vd., 1999).

Strato-mezokürede gelgit kuvvetleri ve ortalama rüzgâr etkilerindeki yıllık değişiklikler Hagan ve arkadaşlarının 1999’da yazdıkları küresel ölçekli dalga modelleri ile keşfedilmiştir. Üst mezoküre ve alt termokürenin önemi yıllık değişimlerle de anlaşılabilir. Su buharı ve stratokürede bulunan metan gazı ile bu çalışmada tanımlanan ozon verilerini analiz etmek için kullanılan teknikler yapılan çalışmalarda tartışılmıştır. Bunlarla birlikte, kullanılan veriler için ağırlıklı olarak yıllık salınımlar (Annual Oscillation-AO) ve SAO ölçülmüştür. Ekvator ve düşük enlem bölgelerinde QBO’nun önemi ve varlığı, yer tabanlı rüzgârların kontrolü ve uydu merkezli ozon sistem kontrolleriyle ilişki sergilemektedir (Hagan vd., 1999).

2.2. Stratokürede Meydana Gelen Salınımlar

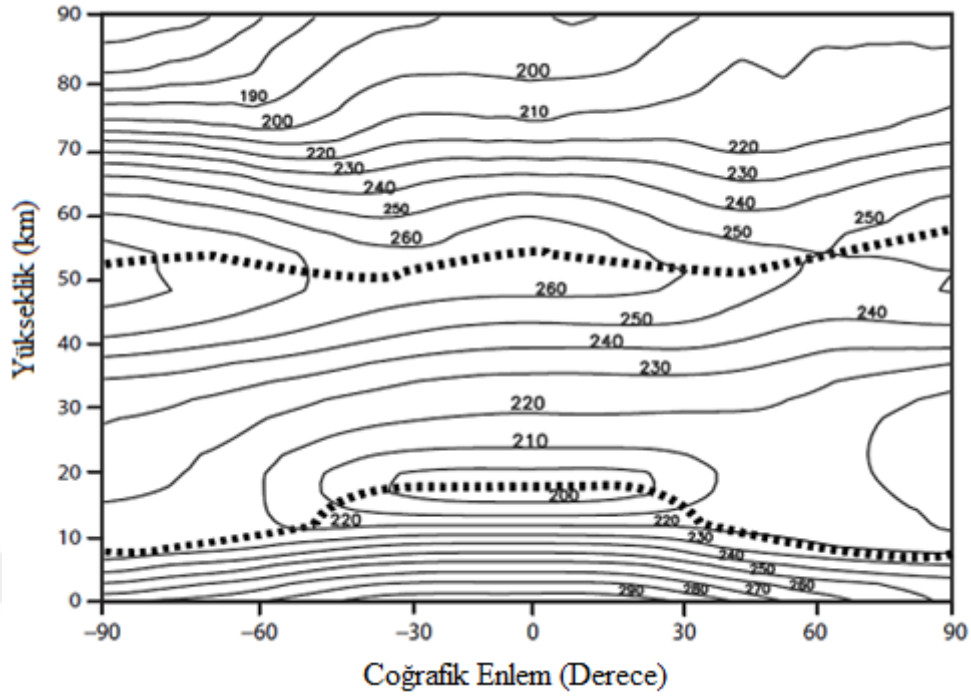
Atmosferin alt ve orta bölgelerinin rüzgâr yapısı ve sıcaklığın dikey tedirginlik çeşitliliği kullanılarak son on yıldır geniş çaplı çalışmalar yapılmıştır. Ölçümlerin büyük çoğunluğu balonlar, hava uçakları, radyosondalar, roket gözlemleri kullanılarak küresel bir ölçekte hem konum hem de sıcaklık olarak kaydedilmiştir. Küresel gözlemlerin temelinde kullanılan model bilgileri, stratoküresel süreçler, stratokürenin iklimin etkileri (SPARC) ve orta atmosferin iklim özellikleri için bir referans oluşturmuştur (Mohanakumar, 2008).

2.2.1. Sıcaklık

Şekil 2.2’de, 1.5 hPa üzerinde Microwave Limb Sounder (MLS) verileri ve Halogen Occultation Experiment (HALOE) pulslarının bir kombinasyonu verilmiştir. Şekilde 2.2, 1.5 hPa değerinde, ocak ayı için güney kutbundan kuzey kutbuna doğru, 90 km yükseklikte ortalama bölgesel sıcaklık genişlemesi gösterilmiştir. Şekildeki kesikli çizgilerden biri yerel sıcaklık ile elde edilen yaklaşık 50 km’deki ortalama stratopozu diğeri ise yaklaşık 10 km’deki ortalama tropopozu göstermektedir (Sağır, 2013).

Sıcaklık; yerel zaman, coğrafik enlem ve mevsimler ile değişim göstermektedir. Sıcaklık tropokürede coğrafik enlemle azalır. Yaz yarım küresindeki sıcaklığın coğrafik enlem ile değişimi, kış yarım küresindeki ile karşılaştırıldığında yaz yarım küresindeki değişimin daha büyük olduğu görülmektedir. Kutup bölgesinde tropopozdaki sıcaklık, ekvator bölgesi tropopozdaki sıcaklığa göre çok daha düşüktür (Mohanakumar, 2008).

Stratokürenin alt bölgelerindeki sıcaklığın enlemsel dağılımı daha karmaşıktır. Yaz yarım küresinde ekvator bölgesi soğuk, kutup bölgesi sıcaktır. Kış yarım küresinde ise orta enlemler sıcak, kutup ve ekvator bölgesi soğuktur. Kış yarım küresinde kutup bölgesi üzerinde stratoküredeki soğuk havanın yoğunluğu oldukça değişkendir. Bu değişikliğin sonucu olarak birkaç haftalık periyot boyunca soğuk hava yerini sıcak havaya bırakır. “Stratoküresel ani ısınmalar” olarak adlandırılan durumda, farklı istasyonlar üzerinden stratoküresel sıcaklıkların bir haftalık süre içerisinde 70 °C kadar arttığı gözlemiştir (Sağır, 2013).



Şekil 2.2. Ocak ayı için bölgesel ortalama sıcaklığın (K) enlem ve yükseklik ile değişimi (Randel vd., 2004)

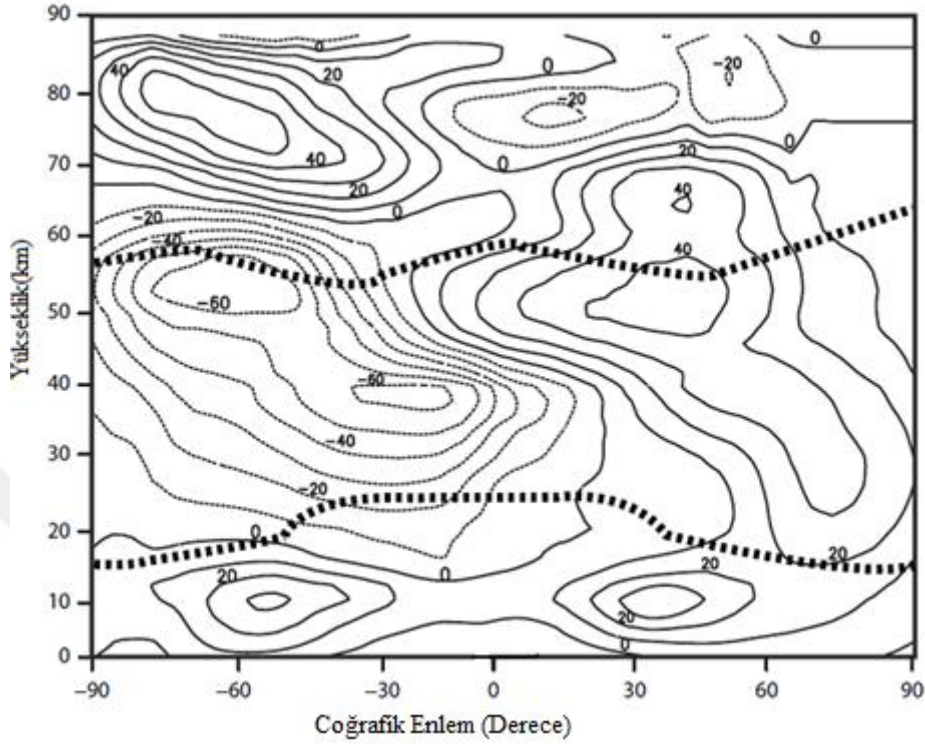
Stratopozda yaz yarım küresine ait kutup bölgesi ile kış yarım küresine ait kutup bölgesi arasında tek bir sıcaklık değişimi vardır. Mezopozda durum tam olarak terstir; yaz yarım küresinde kutup bölgesi soğuk, kış yarım küresinde kutup bölgesi sıcaktır. Sıcaklık, atmosferin belirli bölgelerinde günlük değişiklik gösterir. En güçlü değişim üst atmosferde gözlenir. Üst bölgelerde gece gündüz arasındaki sıcaklık farklılıkları birkaç yüz derece civarındadır (Mohanakumar, 2008).

Stratopoz civarında önemli ama çok daha küçük günlük değişimler vardır. Bunlar Yerküre'nin üst atmosferindeki güçlü gelgitleri artırır. Gelgit hareketleri, ekvatorda sürekli olan yüzey basıncında düzenli salınımlar olarak görülür. Stratokürenin orta ve üst bölgelerinde gece gündüz arasındaki sıcaklık farkı 1 °C den daha azdır. Değişimler birkaç km'ye yakın kısımlar arasında çok daha büyüktür (Baldwin vd., 2001).

2.2.2. Rüzgâr

Yer yüzeyinden 90 km yüksekliğe kadar olan atmosfer bölgelerinde, bölgesel rüzgâr sirkülasyonlarının geniş ölçekli özellikleri Şekil 2.3'de verilmiştir. Şekilde rüzgârların coğrafik enlem ve yükseklik ile değişimleri gösterilmiştir. Şekildeki alt kesikli

çizgiler tropozdaki, üst kesikli çizgiler ise stratopozdaki rüzgâr değişimlerini göstermektedir (Sağır, 2013).



Şekil 2.3. Ocak ayı için bölgesel ortalama rüzgârların coğrafik enlem ve yükseklik ile değişimi (Mohanakumar, 2008)

Güney yarım kürede 40° enleminden ekvatora doğru, ortalama bölgesel rüzgâr 30-35 km seviyesinde yaklaşık olarak 40 m/s lik hıza sahiptir. Güney yarım küredeki maksimum değerdeki rüzgâr, kuzey yarım küredeki rüzgârlardan ekvatora yaklaşık olarak 2°-3° daha yakın ve hızları yaklaşık 20 m/s daha hızlıdır. Kış mevsiminde 40° güney enleminden kutuplara doğru esen bölgesel rüzgârlar ile güney yarım küredeki daha güçlü rüzgârlar arasında büyük farklılıklar vardır. Stratokürenin içine doğru devam eden tropokürenin üst bölgelerindeki batı yönlü maksimum rüzgârlar, 45° güney enleminden kutuplara doğru ilerleyen boylamsal sıcaklığın yukarı doğru artışına göre 50°-60° güney enlemleri arasında daha belirgindir. Rüzgârların dağılımı yaz yarım küreleri arasında belirgin farklılıklar gösterir. Üst tropoküredeki batı yönlü maksimum rüzgâr, güney yarım küredeki maksimumdan yaklaşık iki kat daha güçlü ve kuzey yarım küredeki piklerden kutuplara olan mesafesi daha büyüktür. Orta ve üst tropokürede ekvator bölgesinde kuzey yarım küredeki doğu yönlü rüzgârlar güney yarım küredekinden çok daha güçlü iken alt tropokürede ise kuzey yarım küredeki batı yönlü rüzgârlar güney yarım küredekinden çok daha güçlüdür (Sağır, 2013).

Belirgin özellikler, 10 km yükseklikte orta enlemlerin, güçlü batı yönlü rüzgârların merkezi olduğunu gösterir (Mohanakumar, 2008).

2.2.2.1. QBO

QBO, ortalama 28 aylık periyotlarla ekvator bölgesi stratoküresinde doğu batı yönlü meydana gelen rüzgâr salınımlarıdır. QBO en fazla ekvator bölgesinde etkilidir. 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 arasındaki değerlere de ulaşabilir. Ekvator bölgesi rüzgârları, doğu-batı yönlü rüzgâr bölgelerinde 22 aydan 36 aya kadar değişen periyotlarla hareket eder. Bu rüzgâr bölgeleri daha yavaş ve az düzensiz yayılmak için doğu yönlü kesilim kuşağı ile düzensiz olarak aşağı doğru yayılır. QBO, sıcaklık değişimi ile de görülebilir ve ekvator bölgesindeki toplam ozon çeşitliği üzerinde etkindir (Sağır, 2013).

QBO'nun hızı ekvator'dan kutuplara doğru ilerledikçe hızlı bir şekilde azalır. Bununla birlikte teori ve gözlemler QBO'nun atmosferin çok geniş bölgesinde etkili olduğunu göstermiştir. QBO dalga ile etkileşim yoluyla, kış mevsiminde ekvator bölgesi dışındaki stratokürede de etkilidir. Özellikle kuzey yarım kürede gezegensel dalga genliği de büyük olduğundan dolayı ozon gibi bileşenlerde de QBO'nun etkisi görülebilir. Kuzey yarım kürede yüksek enlemlerde kış mevsiminde kutup girdapları ile etkileşen QBO aşağı yönlü yayılarak tropoküreyi de etkileyebilir. Ekvator bölgesi tropoküresindeki gözlemler, stratoküresel QBO ile ilişkili olan QB sinyallerinin oluştuğunu göstermiştir (Baldwin vd., 2001). QBO, üst stratoküredeki süreçlerde, mezoküre ve iyonkürenin F bölgesinde bile etkilidir (Echer, 2007).

İyonküredeki QBO'nun oluşum sürecinin stratoküredeki QBO'dan kaynaklandığı varsayılmaktadır. Çünkü QBO'nun belirtileri, orta ve yüksek enlemlerde stratoküre seviyesinde vardır. Güneş aktivitesi ile QBO'nun ilişkili olduğu gösterilmiştir. Ayrıca aşağıdaki dört farklı sistem tanımlanmıştır. Bu sistemler: Dünya yakınında gezegenler arası parametreler ve jeomanyetik aktivite, alt helio-enlemlerde Güneş aktiviteleri, stratoküredeki rüzgârlar ve El-Nino güney salınım olgularıdır. Bu sistemlerin en az üçünde QBO, iyonküredeki değişimden sorumludur (Echer, 2007). Bunlar:

Birinci varsayım; stratoküredeki QBO, iyonkürenin F bölgesinde yukarı yönde yayılan atmosferik dalga yayılımını etkiler ve nötr rüzgâr dolaşımını şekillendirebilir. Bu

durumda modülasyon eğer jeomanyetik QBO, stratoküredeki QBO ile etkilenirse doğrudan ilişkili veya QBO ile ilişkisiz sayılabilir (Sağır, 2013).

İkinci varsayım; Güneş aktivitelerinde (UV- EUV ışımasında) incelenen QBO, iyonküredeki yoğunluk değişimlerini doğrudan sürükleyebilir. Bu durum, solar ışıma süresince eğer iyonlaşmada bir QBO çeşitliliği yazılabilirse, doğrudan gerçekleşir. İyonküredeki seviyelerde yukarı yönde etkili olan yayılım dinamiklerinin stratokürede ısınma nedeni, UV akışındaki QBO çeşitliliğidir.

Üçüncü varsayım; gezegenler arası jeomanyetik QBO aktivitesi, iyonküredeki QBO'nun nedenlerinden olan hem parçacık yağışı hem de iyonküredeki akım sisteminde etkilidir (Sağır, 2013).

İyonküredeki QBO'nun tüm bu olaylardan etkilenmesi mümkündür. Fakat bunlardan birisi çok daha önemlidir. Solar aktivite ile stratoküre ilişkisindeki QBO fazının etkileri belirlenmelidir. Lineer olmayan mekanizmalar bu geçişlerde çok önemlidir. Hem gözlemsel hem de teorik çalışmaları daha fazla yoğunlaştırmak gerekir. Bütün bu olaylar zincirini (Güneş, gezegenler arası-jeomanyetik-iyonküre-atmosfer) incelemek gereklidir. Özellikle IRI modelleri sonuçlarıyla, gerçek verileri karşılaştırmak, ilerleyen çalışmaların odağı olacaktır (Echer, 2007).

3. İYONOSFERİK MODELLER VE NEQUICK MODEL

İyonküre, radyo dalga yayılımı açısından, uydu iletişimleri üzerinde önemli etkileri olan bir atmosfer katmanıdır. İyonküre radyo dalgalarını yansıtarak, uzak bölgeler ile haberleşmenin yapılabilmesini sağlar. İyonkürenin radyo dalgalarına nasıl ve hangi miktarda etki edeceğini ortaya koyabilmek için yapısını anlamak gerekir. Aynı doğrultuda, iyonkürenin yapısındaki değişimleri de takip etmek gerekmektedir (URL:2).

3.1. İyonosferik Modeller

İyonkürenin radyo dalgalarına etkisi, iyonküredeki serbest elektron yoğunluğu ile orantılıdır. İyonküredeki iyonlaşma miktarı, dolayısıyla serbest elektron sayısı; zaman, coğrafi konum ve güneş ışıınımı ile ilgilidir. Güneş ışıınımı ile elektronlar moleküllerinden ayrılarak serbest hale geçerler. Geceleri ise elektronlar, iyonlar ile birleştiğinden serbest elektron yoğunluğu azalır. Bu günlük değişimlerin yanı sıra, iyonkürede mevsimsel değişimler de meydana gelmektedir. İfade edilen bu hususlara hizmet etmek amacıyla, iyonkürenin elektron yoğunluk profilini ortaya koymak için birçok model türetilmiştir. Bu modellerin bazıları elektron-iyon yoğunluk profili üzerinden elektron yoğunluk profilini ortaya koyarken bazıları da doğrudan elektron yoğunluğunu ortaya koymaktadır. İyonkürenin elektron yoğunluk profilini ortaya koyan bu modeller farklı kaynaklar kullanabilmektedirler. Bazı genel elektron içerik kaynakları aşağıdaki gibidir (Angrisano ve Gaglione, 2016):

- Dual-frekans receiver (çift frekans alıcıları)'ların global ağlarından, International GNSS (Global Navigation Satellite Sistem-Küresel Uydu Alıcı Sistemleri) Service tarafından hesaplanan Global VTEC (Vertical Total Electron Content-Dikey toplam elektron yoğunluğu) haritaları
- Daha iyi zamansal ve uzaysal çözünürlük aracılığıyla, kalıcı yoğun ağ mevcudiyeti sayesinde daha iyi hassasiyet sağlayan VTEC modelleri (*örneğin*; Japonya, Avrupa yada Amerika Birleşik Devletleri için)
- GNSS tarafından kullanılıp öngörülmüş olan VTEC modelleri (Klobuchar model for GPS – GPS için Klobuchar Modeli veya NeQuick for the future Galileo system – Galileo sistemi için NeQuick) (Massaro 2011)
- International Reference Ionosphere (IRI) veya Parameterized Ionospheric Model (PIM) gibi ulaşılabilir olan tüm data kaynaklarına dayanan standart deneysel iyonosferik modeller.

İyonküredeki iyon (NO^+ , O_2^+ , N_2^+ , O^+ , N^+ , He^+) ve elektron yoğunluklarını, coğrafi konum ve zamanın fonksiyonları şeklinde ifade edip, iyonkürenin elektron yoğunluk profilini ortaya koyan birçok model mevcuttur. Elektron yoğunluk profilini ortaya koyan modellerden öne çıkanlar aşağıdaki gibidir (URL: 1);

USU Time-Dependent Model of the Global Ionosphere – Zamana Bağlı Küresel İyonosferik Model: İyonkürenin üç boyutlu olarak zamana bağlı değişimini gösteren USU modeli, elektron ve iyon (NO^+ , O_2^+ , N_2^+ , O^+ , N^+ , He^+) yoğunluklarını enlem, boylam ve yüksekliğin fonksiyonu olarak ifade eder. USU modeli, veri olarak küresel yoğunluk ve sıcaklık dağılım haritalarını verir (URL: 1).

Coupled Thermosphere Ionosphere (CTIM) Model – Birleştirilmiş Termosfer İyonosfer Modeli: CTIM modeli, 100-10000 km yükseklikleri arasında H^+ ve O^+ , iyonlarının yoğunluk ve sıcaklık değerlerini verir. 400 km'nin altındaki yükseklikler için, NO^+ , O_2^+ , N_2^+ molekülleri ile N^+ iyonunun dağılımları da elde edilebilir (URL: 1).

Global Theoretical Ionospheric Model (GTIM) – Küresel Teorik İyonosfer Model: GTIM Model, küresel iyon yoğunluklarını (NO^+ , O_2^+ , O^+ , H^+ , He^+) yükseklik, enlem, boylam ve zamana bağlı olarak verir. Bunu da 2° enlem, 5° boylam ve yarım saatlik zaman çözünürlüğünde gerçekleştirir (URL: 1)

The Field Line Inter-Hemispheric Plasma Model (FLIP) – İki Yarım Küre Plazması Arasındaki Alan Çizgili Model: FLIP modeli; iyonkürenin, zamana bağlı fiziksel ve kimyasal modellemesidir. Çıkış verisi olarak, N^+ , O^+ , H^+ , He^+ gibi iyonların yoğunluğu ile iyon ve elektron sıcaklık değerlerini verir (URL: 1).

Klobuchar Model – Single Layer Model (SLM - Tek Tabaka Modeli): İyonosferik Klobuchar modeli, 1970'lerin ortalarında J.A. Klobuchar tarafından, tek-frekans uydu alıcılarının iyonosferik gecikmeyi %50'ye kadar düzeltmeleri için geliştirilen bir algoritmadır (Klobuchar 1987). Bent modeli (Llewellyn ve Bent 1973) esas alınarak tasarlanmıştır. Tek katman iyonosferik model olarak tanımlanmıştır. Çünkü iyonküre, yeryüzünden ortalama 350 km yüksekte konumlanmış son derece küçük bir katmanda yoğunlaşmış (toplam elektron içeriği TEC; 1 m^2 kesitli bir silindir boyunca toplam serbest elektron miktarı şeklinde tanımlanır) olarak varsayılmaktadır. Klobuchar modeli, dünya geneli iyonküre davranışını tanımlayan sekiz tane katsayıdan yola çıkarak, SIP (Sub-Ionospheric point – Alt İyonosfer Noktası; ışın yolu ile iyonkürenin ortalama yükseltisinin yeryüzündeki izdüşümü) düşey yönde gündüz ve gece iyonosferik gecikmeler (sn. olarak) için farklı tahminler verir (Angrisano ve Gaglione, 2016).

International Reference Ionosphere (IRI) Modeli: IRI Modeli en fazla kullanılan deneysel modellerden biridir. IRI modeli 1978 yılında ortaya konmuş olup, İyonkürenin yoğunluk ve sıcaklık parametrelerini aylık ortalamaları şeklinde ortaya koymak amacıyla geliştirilmiş uluslararası standart bir modeldir. Bu model International Union of Radio Science (URSI) ve Committee on Space Research (COSPAR) ortak çalışmasıyla geliştirilmektedir. IRI modeli girilen yer, tarih ve saat için elektron yoğunluğu, iyon bileşimi, iyon ve elektron sıcaklığı ve toplam serbest elektron miktarını verir. Ayrıca 50 km ile 1000 km arasında değişebilen enleme göre iyon bileşimlerini açıklar. IRI modeli yarı deneysel bir modeldir. Mevcut veri kayıtlarına göre düzenlenir. Mevcut verilerin yetersiz olduğu bölgeler için, daha önceki verileri hesaba katarak tahmini değerler kullanılır (URL: 1)

3.2. NeQuick modeli

NeQuick modeli, zamansal ve uzaysal iyonosferik elektron yoğunluğu değişkenliğini açıklayan yarı deneysel bir modeldir. NeQuick model, Di Giovanni–Radicella (DGR) (Di Giovanni ve Radicella 1990) iyonküre profiline dayanır. Avrupa Uzak Uzay Ajansı tarafından Uluslararası Telekomünikasyon Birliğine sunulan model, foF2 ve M(3000)F2 kritik frekansları için ITU-R haritalarını kullanır. Uluslararası Telekomünikasyon Birliğinin (ITU) kabul ettiği bu model NeQuick-ITUR şeklinde de ifade edilir. Standart NeQuick Fortran 77 dilinde yazılmıştır. NeQuick modelinin temel giriş verileri; konum, zaman ve güneş akısıdır (yada güneş lekesi sayısı). Buna karşın çıkış verileri ise, verilen konum ve zamandaki elektron konsantrasyonudur. Belirlenmiş herhangi bir yörünge için hem VTEC hem de eğimli elektron içeriğini (STEC – Slant Electron Content) sağlar (Angrisano ve Gaglione, 2016).

İyonkürenin yapısı, yükseklikle değişen bileşenlerine göre farklı tabakalara ayrılır. Bu farklı yapıya sahip tabakaların elektron yoğunluk profillerini incelemek maksadıyla birçok model geliştirilmiştir. Fakat kimi modeller iyonosferin alt kısımlarını inceleyebiliyorken, kimi modeller üst kısımlarını inceleyebilir. Bazı modellerde, bazı kısıtlamalarla birlikte tüm iyonosfer bölgesini incelemektedir. Bu amaçla Graz’da Meteoroloji ve Jeofizik Enstitüsü’nde geliştirilen üç elektron yoğunluk modelinden biri de NeQuick (diğerleri COSTprof ve NeUoG-plas) modelidir (Radicella, 2009).

NeQuick, iyonosferik uygulamalar için hızlı bir çalışma modelidir.

COSTprof, zemin uygulamalarında uydular için kullanışlı bir iyonosfer modelidir

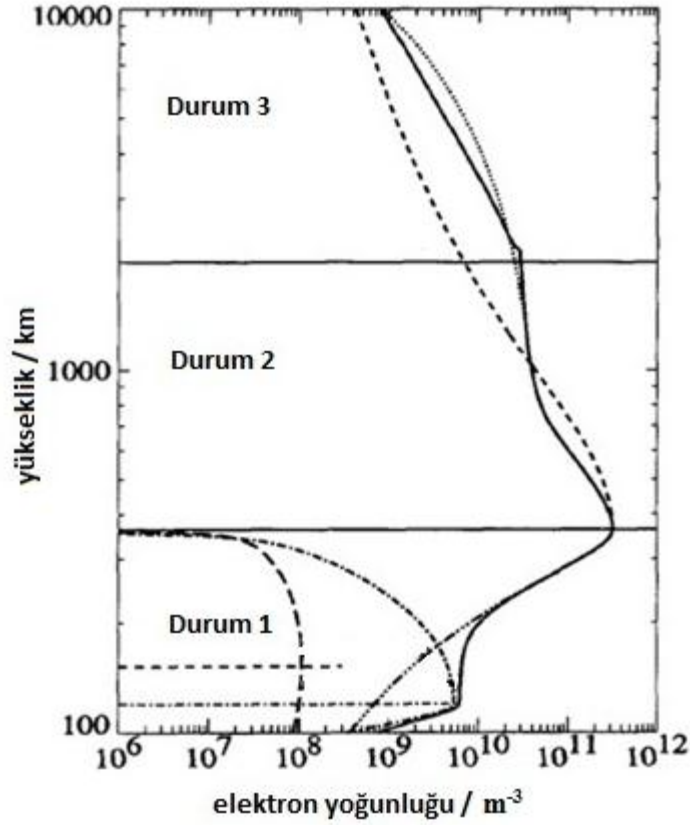
NeUoG-plas, uydu uygulamalarında uydu için iyonosferik-plazmasferik bir modeldir.

Bu üç model de; E, F1 ve F2 tabakaları için dayanak noktaları elde etmek için küresel iyonosonda parametrelerini kullanarak elektron yoğunluk profilleri oluştururlar. Giriş parametreleri olarak; güneş aktivitesi (ortalama güneş lekesi sayısı R_{12} yada güneş ışıma akısı $F_{10,7}$), dönem (ay), zaman (evrensel zaman UT yada yerel zaman LT) ve coğrafi koordinatlar girilir.

Geliştirilen bu üç model, aynı parametreler girilmesi halinde yüksekliğe bağlı üç durum ortaya koyarlar. Hochegger vd. (1999) göre bu üç yükseklik durumu aşağıdaki şekilde birbirinden ayırt edilmelidir (Angrisano ve Gaglione, 2016).

- Birinci durum iyonkürenin alt kısmı içindir, yani F2 tabakası piki altındaki bölge için uygundur.
- İkinci durum iyonkürenin üst kısmından (F2 pikinden 2000 km'ye kadar) ibarettir. Burada NeQuick'in formülasyonu diğer iki modelden farklıdır.
- Üçüncü durum 2000 km'nin yukarısındaki en üst iyonküreyi içerir. Bu yükseklik için sadece **COSTprof** ve **NeUoG-plas** bir formülasyona sahiptir.

Birinci durumda: E tabakası için iki yarı-tabaka (alt ve üst), F1 tabakası için iki yarı-tabaka (alt ve üst) ve F2 tabakası için bir yarı-tabaka olmak üzere toplam beş yarı-tabaka kullanılmıştır. E tabakasının maksimum yüksekliği 120 km olarak kabul edilir. F1 pik yüksekliği için ayrı bir modelleme yapılmıştır. F2 tabakasının pik yüksekliği $M(3000)F2'$ den ve $foF2/foE$ ifadesinden elde edilmiştir. E ve F1 tabakalarının üst kısımları için tabaka katmanları, ikincil maksimumları önlemek için F2 tabakasının pikinde sıfıra düşürülmüştür. Sonra profili elde etmek için toplanmıştır (Şekil 3.1). Şekil 3.1 Ekim ayı İyonosferik tabakaların profillerini göstermektedir. Güneş ışıma akısı $F_{10,7}=150$ ve saat 00 UT.



Şekil 3.1. İyonosferik tabakaların gösterimi (Hochegger vd., 1999)

E tabakasının iki yarı-tabaka ve E tabakasının (yatay çizgi) maksimumu (kesikli-noktalı çizgi), F1 tabakasının iki yarı-tabaka ve maksimumu (kesik çizgi), F2 tabakası alt kısmının yarı-tabaka (kesik-nokta-noktalı çizgi) ve elde edilen profil (dolu çizgi). NeUoG-plas'ın profili (dolu çizgi), COSTprof'un profili (noktalı çizgi) ve NeQuick'in profili (kesik çizgi).

İkinci durum: NeQuick, düzenlenmiş kalınlık parametresi ile altıncı yarı-tabaka kullanır. COSTprof ve NeUoG-plas, alt kısmın elektron yoğunluk pikinde zirve yapar. Bu iki model üst kısım iyonküre gösterimi için üç fiziksel parametre kullanır. Bu parametreler: F2 pikinde oksijen ölçek yüksekliği, oksijen gradiyenti ve O^+ den H^+ e geçiş yüksekliğidir. F2 pikinde elektron yoğunluğu ölçek yüksekliği yaklaşık olarak atomik oksijen iyonlarının plazma ölçek yüksekliğine eşittir. İyon bileşimindeki geçiş, atomik oksijenden atomik hidrojen iyonlarına doğru olduğundan dolayı yükseklik arttıkça ölçek yüksekliği de artar. Geçiş yüksekliği, bu iki iyonun sayısal yoğunluklarının eşit olduğu yüksekliktir (Hochegger vd., 1999).

Üçüncü durum: COSTprof, 2000 km yukarısında sabit plazma ölçek yüksekliği maksadıyla, bir yükseklik formülasyonu kullanır. NeUoG-plas, plazma ölçek yüksekliğini

ve formüle edilmiş bir manyetik alana sahip 2000 km'deki elektron yoğunluğunu üstlenir. Yerçekimi ivmesinin azalmasından dolayı plazmasferdeki sabit ölçek yüksekliği gerçek değildir.

Geliştirilen bu üç modelden NeQuick-ITUR modeli, ITU-R'ın tavsiye ve önerilerini dikkate alır ve ortalama güneş lekesi sayısı (R_{12}) ve 10,7 cm güneş ışıma akısı ($F_{10,7}$) arasındaki ITU-R bağıntısını kullanır:

$$(F_{10,7}) = 63,7 + (0,728 + 0,00089R_{12}) R_{12} \quad (3.1)$$

NeQuick modeli, iyonkürenin üç ana bölgesinin (E, F1, ve F2) piklerini dayanak noktası olarak kullanır. Herhangi bir yerdeki dayanak noktaları, iyonosonda parametreleri foE, foF1, foF2 ve M(3000)F2 haritalardan türetilmiştir. foF2 ve M(3000)F2 haritaları, ITU-R haritalarından elde edilmiştir. foE haritası, John Titheridge'in (Leitinger ve vd. 1995, 1996) formülasyonundan elde edilmiştir. foF1 gündüz 1,4 foE alınır (Leitinger vd. 1999) ve gece sıfır alınır. Herhangi bir yerdeki elektron yoğunluğu, pik elektron yoğunluğu ve pik yüksekliği gibi parametrelerden başlanarak hesaplanır. STEC ise sinyal yolu boyunca toplam elektron içeriği (TEC) birleştirilerek hesaplanır (Hochegger vd. 2000, Radicella ve Leitinger 2001).

Söz konusu haritalar, düzenlenmiş düşük enlemlerde gösterilmiştir (Leitinger vd., 2005). μ düzenlenmiş düşük enlem: $\tan \mu = I/\sqrt{\cos \varphi}$, burada μ düzenlenmiş düşük enlem yada "MODIP" (Rawer, 1963); I, manyetik eğim; ve φ coğrafi enlemdir.

NeQuick modelin dayanak noktası olarak kullandığı tabaka pikleri şöyledir: E tabakasının piki 120 km'lik sabit bir yüksekliğe sahiptir. F2 tabakasının piki; Bradley ve Dudeney (1973) formülünün Dudeney'in formu kullanılarak, foF2, M(3000)F2 (M_3 sembolü ile) ve foE den elde edilmiştir (Leitinger vd., 2005).

$$\mu = M_3 \sqrt{(0,0196M_3^2 + 1)/(1,2967M_3^2 - 1)} \quad (3.2)$$

$\rho = \text{foF2}/\text{foE}$, $\Delta = [0,253/(\rho - 1,215) - 0,012]$ (eğer foE=0 ise o zaman $\Delta = -0,012$), bu durumda $h_m F2 = [(1490\mu)/(M_3 + \Delta)] - 176$ km alınır.

F1 tabakası dayanak noktası yüksekliği orijinal olarak şöyle modellenmiştir:

$h_m F1 = (108,8 + 14 \times \text{NmF1} + 0,71 \times |I|)$ km. NmF1 her metreküpteki F1 tabakası elektron yoğunluk piki olmak üzere ve I derecelerin jeomanyetik indüksiyon vektörünün eğimidir (Leitinger vd., 2005).

NeQuick modelin F bölgesi profillemeye ile ilgili dayanak noktası üç adet Yarı-tabaka vasıtası ile yapılmıştır. Bu tabakalar, uzunluğu deneysel olarak belirlenen ve

yoğunluk parametresine bağlı olup, elektron yoğunluklarına göre farklılık gösteren tabakalar olarak tanımlanır. $NmF2 = 0,124foF2^2$, $NmF1 = 0,124foF1^2$, $NmE = 0,124foE^2$ değerleri F2, F1 ve E tabakasının elektron yoğunluk pikleridir. $hmF2$, $hmF1$ ve hmE ifadeleri sırasıyla F2, F1 ve E tabakasının pik yükseklikleridir. B_{F2} , B_{F1} ve B_E ifadeleri sırasıyla F2, F1 ve E tabakası kalınlık parametreleri olmak üzere, alt kısım için (Leitinger vd., 2005);

$$N(h) = N_{F2}(h) + N_{F1}(h) + N_E(h) \quad (3.3)$$

$$NmF2(h) = \frac{4NmF2}{[1 + \exp(\frac{h-hmF2}{B_{F2}})]} \exp(\frac{h-hmF2}{B_{F2}}) \quad (3.4)$$

$$NmF1(h) = \frac{4NmF1}{[1 + \exp(\zeta_{F1})]} \exp(\zeta_{F1}) \quad (3.5)$$

$$NmE(h) = \frac{4NmE}{[1 + \exp(\zeta_E)]} \exp(\zeta_E) \quad (3.6)$$

$$\zeta_L = \frac{h-hmL}{B_L} \exp(\frac{\varepsilon_1}{1+\varepsilon_2 d}) \quad (3.7)$$

Burada $d = |(h - hmF2)/B_L|$, $\varepsilon_1 = 10$, $\varepsilon_2 = 2$, L indisi: ya F1 yada E.

Bu değişiklikler alt tabakalarda F2 piki şiddetinde etkin olarak bir zayıflama (solma) meydana getirir. Örnek: eğer $d=99$ ise solma katsayısının değeri 0,1, eğer $d=4,5$ ise 2, eğer $d=0,5$ ise 5, eğer $d=0$ ise 10 değerini alır.

Kalınlık parametreleri tabakaların üst kısım ve alt kısımları için farklı değerler alır (E tabakası için B_{Ebot} ve B_{Etop} ; F1 tabakası için B_{F1bot} , B_{F1top}) . Üst kısım için;

$$N_{top}(h) = \frac{4NmF2}{[1 + \exp(z)]^2} \exp(z) \quad (3.8)$$

Burada z aşağıdaki şekilde verilir;

$$z = \frac{h-hmF2}{H_0 [1 + \frac{rg(h-hmF2)}{rH_0 + g(h-hmF2)}]} \quad (3.9)$$

Burada $r = 100$ ve $g = 0,125$ sabit parametrelerdir.

$$H_0 = B_{top}/v;$$

$$v = (0,041163\chi - 0,183981)\chi + 1,424472;$$

$$\chi = (B_{top} - 150)/100.$$

Üst kısım profili, yarı tabakanın üst yarısıdır. Burada g , ölçek yüksekliği H_0 için bir yükseklik gradyenidir. $[rH_0 + g(h - hmF2)]$ ölçek yüksekliği artışını kısıtlar; v faktörü,

gözlenen düşey elektron içeriği değerlerini indirgemek için tanıtılmıştır. F2 tabakası üst kısım kalınlık parametresi $B_{top} = k B_{F2top}$, k 'nın davranışını deneysel olarak veren iki farklı formülasyonu vardır (Leitinger, Zhang and Radicella, 2005);

$$k = 6,705 - 0,014 R_{12} - 0,008 hmF2 \quad (\text{Nisandan-Eylüle}) \quad (3.10)$$

$$k = -7,77 + 0,097(hmF2/B_{top})^2 + 0,153 NmF2 \quad (\text{Ekimden- Marta}) \quad (3.11)$$

Bu her iki durumda da k sınırlıdır $2 \leq k \leq 8$.

Burada $NmF2 = 10^{11} \text{ m}^{-3}$ biriminde, $hmF2$ ve B_{F2top} km biriminde, R_{12} güneş lekesi sayısıdır.

NeQuick modelinin, koşulların birçoğu altında daha gerçeğe yakın davranışa sahip olduğu gözlenmiştir. Denklemlerde geçen ve altı aylık dönemler şeklinde iki farklı formülasyonu olan k deneysel parametresi için, bütün yıl geçerli olacak tek bir bağıntı elde etme planlanmıştır (Coisson vd., 2005). Bunun için $hmF2$, $foF2$, B_{F2bot} ve R_{12} 'yi içeren k yayılma sabiti için; ISIS-2 üst kısım profillerini esas alan yeni bir formülasyon test edilmiştir:

$$k = 3,22 - 0,0538 foF2 - 0,00664 hmF2 + 0,113 \frac{hmF2}{B_{F2bot}} + 0,00257 R_{12} \quad (3.12)$$

4. MATERYAL METOT

İstatistik, değişik anlamlarda kullanılan, bunun sonucu olarak da farklı tanımları olan bir kavramdır. Kısaca verileri inceleme işiyle uğraşan bilim dalına istatistik denir. Bu anlamı ile istatistik, belirli amaçlar için belirli yollarla veri toplama ve verileri inceleme amacıyla geliştirilmiş teknikler ve yöntemler bilimidir (Arıcı, 2005; Sağır, 2013). Bu bölümde, bu çalışmada kullanılan istatistiksel yöntemler hakkında bilgiler verilmiştir.

Zaman serileri, bir dönemden diğerine değişkenlerin değerlerinin ardışık bir şekilde gözlemlendiği sayısal büyüklüklerdir. Değişkenlerin zaman içinde ardışık bir şekilde gerçekleşmesi bir koşul olmasa da düzenli aralıklarla dizinin gelişimini görme açısından gereklidir. Bu tez çalışmasında kullanılan zaman serilerini analiz etmek için üç aşamalı yöntem kullanılmaktadır. Bunlar; serilerin durağanlığını analiz eden Birim Kök Testi, seriler arasında uzun dönemli bir ilişkinin varlığını belirleyen Eş Bütünleşme Testi ve seriler arasında uzun dönemde nasıl bir ilişkinin var olduğunu katsayılarla belirleyen Regresyon analizidir.

Zaman serileri analizinde öncelikle bu serilerinin durağanlık özellikleri irdelenir. Değişkenler arasında anlamlı istatistiksel ilişkilerin incelenebilmesi için serilerin durağan olması beklenmektedir. Zaman içerisinde ortalaması ve varyansı değişen seriler, durağan olamayan veya birim kök içeren seriler olarak adlandırılmaktadır. Zaman serilerinde birim kökün varlığını araştıran ve literatürde yaygın şekilde kullanılan test Genişletilmiş Dickey-Fuller (ADF) testidir. 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(Sağır, 2013).

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, 1995).

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 testten 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; Sağır, 2013).

Her üç test için de, değişkenlerin test istatistiğinin (τ) mutlak değerinin MacKinnon tarafından tablolaştırılan kritik değerlerin mutlak değerinden büyük olması durumunda serinin durağan olduğu sonucuna ulaşılır (Enders, 1995).

İki zaman serisi durağan değil ancak bu değişkenlerin durağan doğrusal bir bileşimleri varsa eş-bütünleşme ilişkisinden söz edilir. Eş-bütünleşme analizi durağan olmayan zaman serileri arasındaki uzun dönem ilişkisinin tahmin edilmesine yöneliktir. Eş-bütünleşmenin varlığı değişkenler arasında uzun dönemli bir ilişki olduğu anlamına gelmektedir. Eş-bütünleşme analizinde Engle-Granger yaklaşımı yaygın olarak kullanılmaktadır. Uzun dönem ilişkilerin Engle-Granger yöntemi ile aynı derecede durağan iki değişken arasındaki eş-bütünleşme analizine dayanır. Engle-Granger yönteminde ilk aşama denklemdeki değişkenler arasındaki uzun dönemli ilişkinin Sıradan En Küçük Kareler (SEKK) yöntemi ile tahmin edilmesidir(Engle ve Granger, 1987). SEKK yöntemi ile denklemdeki değişken katsayıları tahmin edildikten sonra, bu regresyonun hata terimleri serisinin düzeyde durağan olup olmadığına bakılır.

$$\varepsilon_t = X_t - \beta_0 - \beta_1 Y_t - \beta_2 Y_t^2 \quad (4.1)$$

Burada X bağımlı değişken Y bağımsız değişken olmak üzere β_0 , β_1 , β_2 ikinci dereceden regresyon katsayılarıdır(Sağır, 2013).

Literatürde zaman serileri analizi ile foF2 ile GLS ilişkisi Yadav vd., (2011) tarafından incelenmiştir. Bu çalışmaya göre foF2 kritik frekans değeri ile GLS arasındaki doğrusal ilişki;

$$\text{foF2}_t = a_0 + a_1 \text{GLS}_t + \varepsilon_t \quad (4.2)$$

şeklinde ifade edilmiştir. a_0 , a_1 regresyon katsayılarını, ε_t ve t sırasıyla hata terimi ve zamanı ifade etmektedir (Yadev vd., 2011). Bu değişkenler arasında, lineer bir fitin doyum etkisinden dolayı veri değerleri regresyon eğrisi etrafında toplanmadığı durumda ikinci dereceli bir fit ekleyerek;

$$\text{foF2}_t = \beta_0 + \beta_1 (\text{GLS})_t + \beta_2 (\text{GLS})_t^2 + \varepsilon_t \quad (4.3)$$

şeklinde ifade edilmiştir. Burada β_0 , β_1 , β_2 ikinci dereceden regresyon katsayılarıdır (Yadav vd., 2011). Regresyon modelini SEKK ve Zaman Serileri analiz tekniklerini kullanılarak tahmin edilmiştir. Ardından (Sağır 2013) te yapılan doktora tez çalışmasında bu denklem;

$$\text{foF2}_{\text{ölç.}} = \beta_0 + \beta_1 \text{foF2}_{\text{IRI}} + \beta_2 \text{QBO}_t + \text{Dummy1}_t + \text{Dummy2}_t + \text{Dummy3}_t + \text{Dummy4}_t + \varepsilon_t \quad (4.4)$$

şeklinde ifade edilmiştir. Burada QBO değerleri için Dummy değerleri; $\text{Dummy}_1 \leq -15 \text{ m/s}$, $0 \text{ m/s} > \text{Dummy}_2 > -15 \text{ m/s}$, $15 \text{ m/s} \geq \text{Dummy}_3 > 0 \text{ m/s}$, $\text{Dummy}_4 > 15 \text{ m/s}$ arasındaki değerler olarak belirlenmiştir (Sağır, 2013). Sağır 2013 te verilen 4.4 denklemi bizim çalışmamız için aşağıdaki gibi güncellenmiştir.

$$\Delta N_{mF1} = \beta_0 + \beta_1 \text{QBO} + \beta_2 (\text{Dummy}_{\text{Batı}}) + \beta_3 (\text{Dummy}_{\text{Doğu}}) + \epsilon \quad (4.5)$$

Burada $\text{Dummy}_{\text{Batı}}$; QBO nun batı yönlü bileşenini, $\text{Dummy}_{\text{Doğu}}$ ise QBO nun doğu yönlü bileşenini göstermektedir. 4.5 denklemi değişkenlerin durağanlık durumlarına Bulgular ve Tartışma bölümünde güncellenerek katsayılar hesaplanmıştır.

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu tezin ana amacı bir iyonküre modeli olan NeQuick modelin değerlendirilmesidir. Bu değerlendirme yapılırken son dönemlerin yoğun çalışma konuları arasında olan QBO açısından değerlendirilmesine ayrı bir önem verilmiştir. Bu bağlamda QBO ekvatorial bir hava olayı olduğu için NeQuick modeli ekvator bölgesi için belirlenen Darwin ve Learmonth istasyonları için değerlendirilmiştir.

Değerlendirme işlemi, SPIDR (Space Physics Interactive Data Resource-<http://spidr.ngdc.noaa.gov/spidr/>) dan ilgili istasyon koordinatları ile 190 km yükseklik ve evrensel zaman(UT) 12:00 için foF1 değerleri alındı. Benzer şekilde yine aynı istasyonlar için NeQuick modelinden (<http://t-ict4d.ictp.it/nequick2/nequick-2-web-model>) NmF1 değerleri alındı. Veriler Darwin (12,5 G, 131 D) istasyonu için solar maksimum (01/2000-12/2002) ve solar minimum (01/2007-12/2009) yılları, Learmonth (21,9 G, 114 D) istasyonu için solar maksimum (01/2000-12/2002) ve solar minimum (01/1995-12/1997) yılları seçildi. Bu sayede solar durumda göz önüne alınmış oldu. 10 hPa yüksekliğinde ölçülen QBO verileri için tüm işlemler yapıldı.

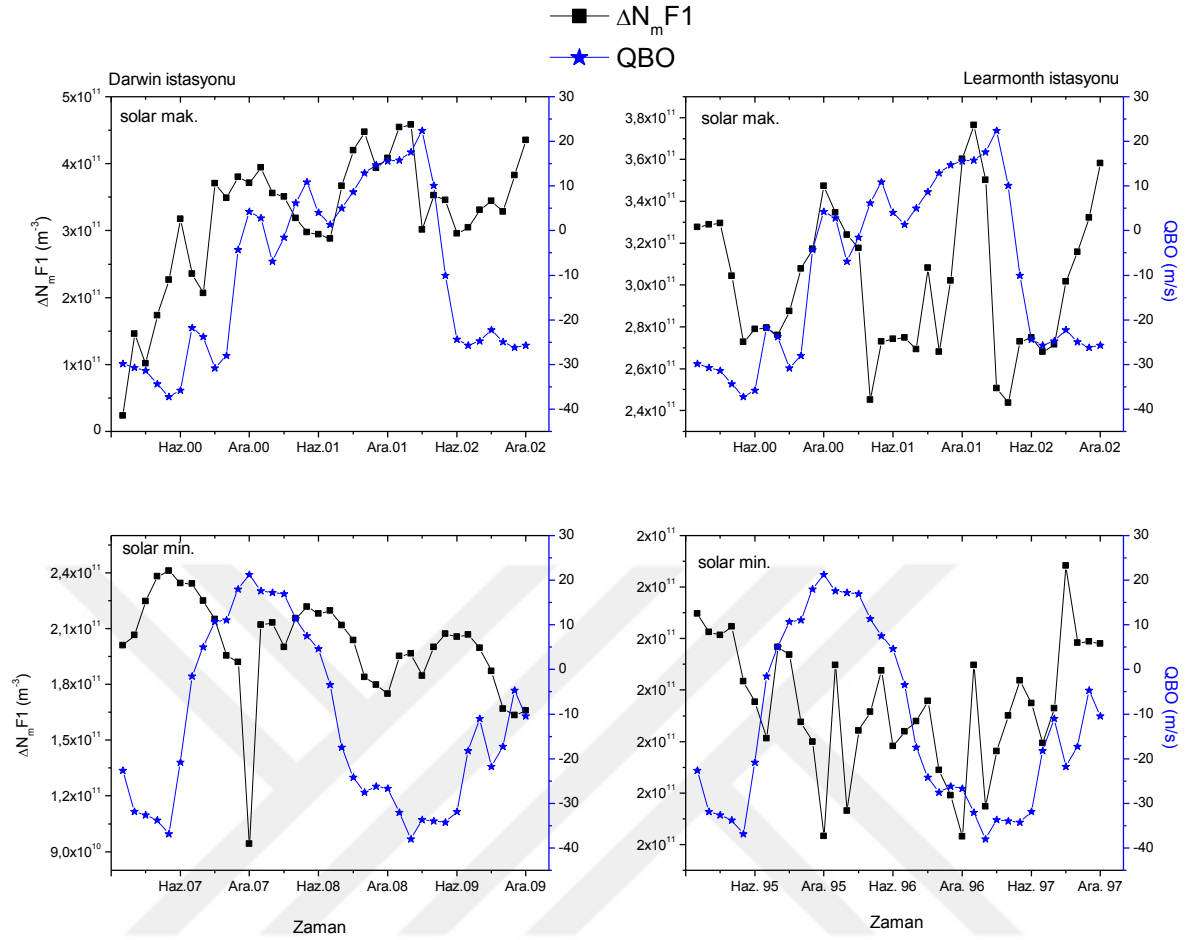
Ölçülmüş olan foF1 değerleri, $NmF1=foF1^2/80.6$ ifadesi yardımıyla F1 bölgesi 190 km yüksekliği için elektron yoğunluğu değerleri elde edildi. Ardından

$$\Delta NmF1 = NmF1_{ölç} - NmF1_{NeQuick} \quad (5.1)$$

ifadesi yardımıyla $\Delta NmF1$ değerleri hesaplandı.

Şekil 5.1 iyonosonda ve NeQuick modelinden elde edilen NmF1 değerlerinin farkı ile QBO arasındaki ilişkinin, aylık değişimini göstermektedir. Şeklin sağ tarafı, solar maksimum ve solar minimum dönemleri için Darwin İstasyonunda değişkenler arasındaki ilişkinin değişimini göstermektedir. Şeklin sol tarafı, solar maksimum ve solar minimum dönemleri için Learmonth İstasyonunda değişkenler arasındaki ilişkinin değişimini göstermektedir.

Darwin istasyonunda solar maksimum durumunda QBO nun doğu yönü ile $\Delta NmF1$ arasında pozitif bir ilişki gözlenirken, batı yönüyle arasında net bir ilişki gözlenmemektedir. Solar minimum durumunda ise doğu yönlü QBO ile pozitif bir ilişki gözlenirken batı yönü ile negatif ilişki görülmektedir.



Şekil 5.1. QBO ve $\Delta NmF1$ değişkenlerinin aylara göre değişimi (Zaman, UT)

Learmonth istasyonunda solar maksimum durumunda QBO nun batı yönü ile $\Delta NmF1$ arasında Ocak 2002 ye kadar pozitif bir ilişki sonrasında ise negatif bir ilişki gözlenirken, doğu yönüyle arasında net bir ilişki gözlenmemektedir. Solar minimum durumunda ise hem doğu hem de batı yönlü QBO ile $\Delta NmF1$ arasında net bir ilişki gözlenmemektedir.

5.1. Darwin İstasyonu için analiz sonuçları

5.1.1. Solar Maksimum Durumu İçin 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 tablonun üst tarafında her bir test türü için yazılan değişken($\Delta NmF1$ ve QBO) değerlerinin tablonun alt kısmında verilen McKinnon kritik değerinden mutlak değer olarak büyük olmasıdır. Büyük olduğu yüzdelik duruma göre anlamlıdır.

Tablo 5.1 de Darwin istasyonu için solar maksimum durumunda, QBO ve $\Delta NmF1$ değişkenlerinin birim kök testi sonuçlarını göstermektedir. Tablodan da görüleceği üzere QBO değişkeni ADF ve PP testlerinde durağan olmadığı KPSS testinde ise %5 düzeyinde

anlamlıdır. Durağanlık, Çoklu Regresyon Modelimiz için önemli olduğundan QBO değişkeninin birinci farkı ($D(QBO)$) alınarak durağan hale getirilmiştir. $\Delta NmF1$ değişkenine bakıldığında ADF ve PP testlerine göre %10 düzeyinde, KPSS testinde ise %5 anlamlılık düzeyinde anlamlıdır. Bu durum bize değişkenimiz olan $\Delta NmF1$ değişkeninin durağan olduğunu göstermektedir.

Tablo 5.1. Darwin istasyonu solar maksimum durumu için birim kök testi sonuçları

Değişken	Solar Maksimum		
	ADF	PP	KPSS
QBO	-0.94	-0.73	0.18
$\Delta NmF1$	-3.37	-3.35	0.15
$D(QBO)$	-4.99	-3.33	0.23
Anlamlılık Düzeyi	McKinnon (1996) Kritik Değerleri		
1%	-4.24	-4.24	0.21
5%	-3.54	-3.54	0.14
10%	-3.20	-3.20	0.11

Tablo 5.2 de solar maksimum için kurulan modele ait eş bütünleşme testi sonuçları görülmektedir. Uzun dönemli bir ilişkinin olabilmesi için ADF değerlerinin McKinnon kritik değerlerinden mutlak değer olarak büyük olması ve p-değerlerinin 0.05 ten küçük olması gerekmektedir. Bu durum sağlandığından dolayı değişkenlerimiz olan $\Delta NmF1$ ve QBO arasında uzun dönemli bir ilişkinin olduğu görülmektedir.

Tablo 5.2. Darwin istasyonu solar maksimum durumu için kurulan modellere ait eş bütünleşme testi sonuçları

	Solar Maksimum	
	ADF	p-değeri
Model	-5.98	0.000
1%		-2.65
5%		-1.95
10%		-1.61

Değişkenlerin durağanlığı belirlenip, değişkenler arasında uzun dönemli bir ilişki tespit edildikten sonra değişkenlerin durağanlığına bağlı olarak aşağıdaki model kuruldu.

$$\Delta NmF1 = \beta_0 + \beta_1 D(QBO) + \beta_2 (DummyBatı) + \beta_3 (DummyDoğu) + \varepsilon \quad (5.2)$$

Denklemdaki β_0 sabiti, β lar değişkenlerin katsayılarını ve ε hata terimini ifade eder.

Tablo 5.3 te Darwin istasyonu için solar maksimum durumunda kurulan modele ait regresyon analizi sonuçlarına aşağıdaki gibi değerlendirilebilir.

Tablonun 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. Tabloda her bir değişkenin altında parantez içi ifade ile belirtilen değerler ise değişkenlerin anlamlılık düzeyini göstermektedir.

Modelimizde solar maksimum durumu için QBO ile $\Delta NmF1$ değişkeni arasında negatif bir ilişki olduğu görülmektedir. QBO nun p-değerlerine bakıldığında (parantez içi ifadeler) $\Delta NmF1$ bağımlı değişkeni üzerine negatif etki edebileceği görülmüştür. Bu durum modelde QBO katsayısının negatif işaretli olması ile belirtilmiştir. QBO da 1 m/s lik bir artış/azalış fark değişkeninde 3.23×10^9 e/m³ lük bir azalış/ artış a sebep olmaktadır. Benzer şekilde QBO nun hem batı hem de doğu yönlü bileşenlerinin $\Delta NmF1$ ile pozitif ilişkili olduğu görülmektedir.

Adjusted R² (Adj.R²) solar maksimum durumu için 0.678 olarak hesaplanmıştır. Bu durum bize $\Delta NmF1$ bağımlı değişkenimizde meydana gelen değişimlerin yaklaşık % 68 nin QBO ya bağlı değişimler ile açıklanabildiğini göstermektedir.

Tablo 5.3. Darwin istasyonu solar maksimum durumu için regresyon modeli sonuçları

Solar Maksimum	
Sabit	3.21x10 ¹¹ (0.000)*
QBO	-3.23x10 ⁹ (0.037)**
AR (1)	0.674 (0.004)*
DummyB	3.42x10 ¹¹ (0.000)*
DummyD	3.21x10 ¹¹ (0.008)*
R ²	0.738
Adj. R ²	0.678
Durbin Watson	2.053
Prob. (F-statistics)	(0.000)
Serial Cor. LM	(0.127)
White Het.	(0.367)

*, ** ve *** sırasıyla 1%, 5%, ve 10%, anlamlılık seviyelerini göstermektedir.

5.1.2. Solar Minimum Durumu İçin Analiz Sonuçları

Tablo 5.4 Darwin istasyonu için solar minimum durumunda, QBO ve $\Delta NmF1$ değişkenlerinin Birim Kök Testi Sonuçlarını göstermektedir. Tabloda, QBO değişkeni PP testinde $\Delta NmF1$ değişkeni ise KPSS testinde durağan olmadığı görülmektedir. Durağanlık modelimiz açısından önemli olduğu için değişkenlerin her üç test için de durağanlığı incelendi. Her iki değişkeninin de birinci farkı ($D(QBO)$, $D(\Delta NmF1)$) alınarak durağan hale getirilmiştir. $\Delta NmF1$ değişkenine birinci farkında da ADF ve PP testlerine göre %1 düzeyinde anlamlı ve durağan ancak KPSS testine göre yine anlamsızdır. Bu nedenle kurulan modelde $D(\Delta NmF1)$ değerlerini almaya gerek yoktur. QBO değişkeni ise tüm testlerde %5 oranında anlamlı ve durağan olduğu görülmüştür.

Tablo 5.4. Darwin istasyonu solar minimum durumu için birim kök testi sonuçları

Değişken	Solar Minimum		
	ADF	PP	KPSS
QBO	-4.20	-1.58	0.12
$\Delta NmF1$	-4.01	-4.02	0.05
D(QBO)	-3.99	-3.76	0.13
D($\Delta NmF1$)	-8.34	-8.66	0.07
Anlamlılık	McKinnon	(1996)	Kritik
Düzeyi	Değerleri		
1%	-4.24	-4.24	0.21
5%	-3.54	-3.54	0.14
10%	-3.20	-3.20	0.11

Tablo 5.5 de Darwin istasyonu solar minimum durumu için eş bütünleşme testi sonuçları görülmektedir. Her iki durum için ADF değerlerinin McKinnon kritik değerlerinden mutlak değer olarak büyük olması ve p-değerlerinin 0.05 ten küçük olması değişkenlerimiz olan QBO ve $\Delta NmF1$ arasında uzun dönemli bir ilişkinin olduğunu göstermektedir.

Tablo 5.5. Darwin istasyonu solar minimum durumu için kurulan modellere ait eş bütünleşme testi sonuçları

	Solar Minimum	
	ADF	p-değeri
Model	-2.61	0.000
1%		-2.65
5%		-1.95
10%		-1.61

Değişkenlerin durağanlığı belirlenip, değişkenler arasında uzun dönemli bir ilişki tespit edildikten sonra değişkenlerin durağanlığına bağlı olarak aşağıdaki model kuruldu.

$$\Delta NmF1 = \beta_0 + \beta_1 D(QBO) + \beta_2 (\text{DummyBatı}) + \beta_3 (\text{DummyDoğu}) + \varepsilon \quad (5.3)$$

Denklemdaki β_0 sabiti, β lar değişkenlerin katsayılarını ve ε hata terimini ifade eder.

Tablo 5.6 te Darwin istasyonu için solar minimum durumunda kurulan modele ait regresyon analizi sonuçları aşağıdaki gibi değerlendirilebilir.

Tablonun 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. Tabloda her bir değişkenin altında parantez içi ifade ile belirtilen değerler ise değişkenlerin anlamlılık düzeyini göstermektedir.

Modelimizde solar minimum durumu için QBO ile $\Delta NmF1$ değişkeni arasında negatif bir ilişki olduğu görülmektedir. QBO nun p-değerlerine bakıldığında (parantez içi ifadeler) $\Delta NmF1$ bağımlı değişkeni üzerine etki edebileceği görülmüştür. Bu durum modelde QBO katsayısının negatif işaretli olması ile belirtilmiştir. QBO da 1 m/s lik bir azalış/artış fark değişkeninde 5.81×10^8 e/m³ lük bir artış/azalışa sebep olmaktadır. QBO nun hem batı hem de doğu yönlü bileşenlerinin $\Delta NmF1$ değişimleri üzerinde anlamlı ve pozitif bir ilişkiye sahip olmadıkları görülmektedir.

Adj.R² değeri solar minimum durumu için 0.357 olarak hesaplanmıştır. Bu durum bize $\Delta NmF1$ bağımlı değişkenimizde meydana gelen değişimlerin yaklaşık % 36 nın QBO ya bağlı değişimler ile açıklanabildiğini göstermektedir.

Tablo 5.6. Darwin istasyonu solar minimum durumu için regresyon modeli sonuçları

Solar Minimum	
Sabit	2.15×10^{11} (0.000)*
QBO	-5.81×10^8 (0.024)**
MA (1)	-0.950 (0.000)*
DummyB	2.13×10^{11} (0.000)*
DummyD	2.16×10^{11} (0.000)*
R²	0.472
Adj. R²	0.357
Durbin Watson	1.587
Prob. (F-statistics)	(0.001)
Serial Cor. LM	(0.281)
White Het.	(0.166)

*, ** ve *** sırasıyla 1%, 5%, ve 10%, anlamlılık seviyelerini göstermektedir.

5.2. Learmonth İstasyonu İçin Analiz Sonuçları

5.2.1. Solar Maksimum Durumu İçin Analiz Sonuçları

Tablo 5.7 de Learmonth istasyonu için solar maksimum durumunda, QBO ve $\Delta NmF1$ değişkenlerinin Birim Kök Testi Sonuçlarını göstermektedir. Tabloda, QBO değişkeni ADF ve PP testlerinde, $\Delta NmF1$ değişkeni ise PP ve KPSS testlerinde durağan olmadığı görülmektedir. Durağanlık modelimiz açısından önemli olduğu için değişkenlerin her üç test için de durağanlığı incelendi. Her iki değişkenin de birinci farkı ($D(QBO)$, $D(\Delta NmF1)$) alınarak durağan hale getirilmiştir. $D(\Delta NmF1)$ değişkeni ADF ve PP testlerine göre %1 düzeyinde KPSS testinde % 5 düzeyinde anlamlı ve durağan iken, QBO değişkeni ise ADF ve KPSS testlerinde % 1 düzeyinde PP testinde ise %10 oranında anlamlı ve durağan olduğu görülmüştür.

Tablo 5.7. Learmonth istasyonu solar maksimum durumu için birim kök testi sonuçları

Değişkenler	Solar Maksimum		
	ADF	PP	KPSS
QBO	-0.94	-0.73	0.18
$\Delta NmF1$	-4.47	-2.48	0.05
D(QBO)	-4.99	-3.33	0.23
D($\Delta NmF1$)	-5.03	-5.18	0.15
Anlamlılık Düzeyi	McKinnon(1996) Değerleri		Kritik
1%	-4.243	-4.243	0.216
5%	-3.544	-3.544	0.146
10%	-3.204	-3.204	0.119

Tablo 5.8 de Learmonth istasyonu solar maksimum durumu için eş bütünleşme testi sonuçları görülmektedir. Her iki durum için ADF değerlerinin McKinnon kritik değerlerinden mutlak değer olarak büyük olması ve p-değerlerinin 0.05 ten küçük olması değişkenlerimiz olan QBO ve $\Delta NmF1$ arasında uzun dönemli bir ilişkinin olduğunu göstermektedir.

Tablo 5.8. Learmonth istasyonu solar maksimum durumu için kurulan modellere ait eş bütünleşme testi sonuçları

Regression Model	Solar Maximum	
	ADF	p-değeri
Model	-4.79	0.000
1%		-2.65
5%		-1.95
10%		-1.61

Değişkenlerin durağanlığı belirlenip, değişkenler arasında uzun dönemli bir ilişki tespit edildikten sonra değişkenlerin durağanlığına bağlı olarak aşağıdaki model kuruldu.

$$D(\Delta NmF1) = \beta_0 + \beta_1 D(QBO) + \beta_2 (DummyBatı) + \beta_3 (DummyDoğu) + \varepsilon \quad (5.4)$$

Denklemdaki β_0 sabiti, β lar değişkenlerin katsayılarını ve ε hata terimini ifade eder.

Tablo 5.9 te Learmonth istasyonu için solar maksimum durumunda kurulan modele ait regresyon analizi sonuçları aşağıdaki gibi değerlendirilebilir.

Tablonun 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. Tabloda her bir değişkenin altında parantez içi ifade ile belirtilen değerler ise değişkenlerin anlamlılık düzeyini göstermektedir.

Modelimizde solar maksimum durumu için QBO ile $\Delta N_m F1$ değişkeni arasında pozitif bir ilişki olduğu görülmektedir. QBO nun p-değerlerine bakıldığında (parantez içi ifadeler) $\Delta N_m F1$ bağımlı değişkeni üzerine etki edebileceği görülmektedir. Bu durum modelde QBO katsayısının pozitif işaretli olması ile belirtilmiştir. QBO da 1 m/s lik bir artış/azalış fark değişkeninde 1.77×10^9 e/m³ lük bir artış/azalışa sebep olmaktadır. QBO nun hem batı hem de doğu yönlü bileşenlerinin $\Delta N_m F1$ değişimleri üzerinde anlamlı bir ilişkiye sahiptir. Bu durum $\Delta N_m F1$ değişkenindeki değişimlerin QBO nun yönleri ile negatif bir ilişkinin varlığını göstermektedir.

Adj.R² değeri solar maksimum durumu için 0.51 olarak hesaplanmıştır. Bu durum bize $\Delta N_m F1$ bağımlı değişkenimizde meydana gelen değişimlerin yaklaşık % 51 nin QBO ya bağlı değişimler ile açıklanabildiğini göstermektedir.

Tablo 5.9. Learmonth istasyonu solar maksimum durumu için regresyon modeli sonuçları

Solar Maksimum	
Sabit	-1.14x10 ¹⁰ (0.000)*
QBO	1.77x10 ⁹ (0.071)***
MA (1)	-1.472 (0.000)*
DummyB	-1.85x10 ¹⁰ (0.002)*
DummyD	-1.06x10 ¹⁰ (0.000)*
R²	0.58
Adj. R²	0.51
Durbin Watson	1.631
Prob. (F-statistics)	(0.000)
Serial Cor. LM	(0.078)
White Het.	(0.214)

*, ** ve *** sırasıyla 1%, 5%, ve 10%, anlamlılık seviyelerini göstermektedir.

5.2.2. Solar Minimum Durumu İçin Analiz Sonuçları

Tablo 5.10 da Learmonth istasyonu için solar minimum durumunda, QBO ve $\Delta NmF1$ değişkenlerinin Birim Kök Testi Sonuçlarını göstermektedir. Tabloda, QBO değişkeni PP ve KPSS testlerinde durağan olmadığı görülmektedir. Durağanlık modelimiz açısından önemli olduğu için değişkenlerin her üç test için de durağanlığı arandı. QBO değişkeninin birinci farkı (D(QBO)) alınarak durağan hale getirilmiştir. $\Delta NmF1$ değişkenine tüm testlere göre %5 düzeyinde anlamlı ve durağan iken QBO değişkeni ise birinci farkında ADF testinde %1, PP testinde %5 ve KPSS testinde %10 oranında anlamlı ve durağan olduğu görülmüştür.

Tablo 5.10. Learmonth istasyonu solar minimum durumu için birim kök testi sonuçları

Değişkenler	Solar Minimum		
	ADF	PP	KPSS
QBO	-4.20	-1.58	0.12
$\Delta NmF1$	-4.01	-4.01	0.20
D(QBO)	-4.99	-3.76	0.13
Anlamlılık Düzeyi	McKinnon(1996) Değerleri		Kritik
1%	-4.243	-4.243	0.216
5%	-3.544	-3.544	0.146
10%	-3.204	-3.204	0.119

Tablo 5.11 de Learmonth istasyonu solar minimum durumu için eş bütünleşme testi sonuçları görülmektedir. Her iki durum için ADF değerlerinin McKinnon kritik değerlerinden mutlak değer olarak büyük olması ve p- değerlerinin 0.05 ten küçük olması değişkenlerimiz olan QBO ve $\Delta NmF1$ arasında uzun dönemli bir ilişkinin olduğunu göstermektedir.

Tablo 5.11. Learmonth istasyonu solar minimum durumu için eş bütünleşme testi sonuçları

Regression Model	Solar Minimum	
	ADF	p-değeri
Model	-6.09	0.000
1%		-2.65
5%		-1.95
10%		-1.61

Değişkenlerin durağanlığı belirlenip, değişkenler arasında uzun dönemli bir ilişki tespit edildikten sonra değişkenlerin durağanlığına bağlı olarak aşağıdaki model kuruldu.

$$\Delta NmF1 = \beta_0 + \beta_1 D(QBO) + \beta_2 (DummyBatı) + \beta_3 (DummyDoğu) + \varepsilon \quad (5.5)$$

Denklemdaki β_0 sabiti, β lar değişkenlerin katsayılarını ve ε hata terimini ifade eder.

Tablo 5.12 te Learmonth istasyonu için solar minimum durumunda kurulan modele ait regresyon analizi sonuçlarına aşağıdaki gibi değerlendirilebilir.

Tablonun 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. Tabloda her bir değişkenin altında parantez içi ifade ile belirtilen değerler ise değişkenlerin anlamlılık düzeyini göstermektedir.

Modelimizde solar minimum durumu için QBO ile $\Delta NmF1$ değişkeni arasında negatif bir ilişki olduğu görülmektedir. QBO nun p-değerlerine bakıldığında (parantez içi ifadeler) $\Delta NmF1$ bağımlı değişkeni üzerine etki edebileceği görülmektedir. Bu durum modelde QBO katsayısının negatif işaretli olması ile belirtilmiştir. QBO da 1 m/s lik bir azalış/artış $\Delta NmF1$ değişkeninde 8.29×10^8 e/m³ lük bir artış/azalışa sebep olmaktadır. QBO nun hem batı hem de doğu yönlü bileşenlerinin $\Delta NmF1$ değişimleri üzerinde anlamlı ve pozitif bir ilişkiye sahiptir. Bu durum $\Delta NmF1$ değişkenindeki değişimlerin QBO nun yönleri ile pozitif bir ilişkinin varlığını göstermektedir.

Adj.R² değeri solar minimum durumu için 0.30 olarak hesaplanmıştır. Bu durum bize $\Delta NmF1$ bağımlı değişkenimizde meydana gelen değişimlerin yaklaşık % 30 unun QBO ya bağlı değişimler ile açıklanabildiğini göstermektedir.

Tablo 5.9. Learmonth istasyonu solar minimum durumu için regresyon modeli sonuçları

Solar Minimum	
Sabit	1.59x10 ¹¹ (0.046)**
QBO	-8.29x10 ⁸ (0.000)*
MA (1)	0.233 (0.230)
DummyB	1.68x10 ¹¹ (0.000)*
DummyD	1.59x10 ¹¹ (0.000)*
R²	0.41
Adj. R²	0.30
Durbin Watson	2.031
Prob. (F-statistics)	(0.011)
Serial Cor. LM	(0.180)
White Het.	(0.488)

*, ** ve *** sırasıyla 1%, 5%, ve 10%, anlamlılık seviyelerini göstermektedir.

6. SONUÇLAR

Çalışmanın ana amacı bir iyonküre modeli olan NeQuick modelin ekvator bölgesi parametresi olan QBO açısından değerlendirilmesidir. Bu bağlamda NeQuick modeli ekvator bölgesi için belirlenen Darwin ve Learmonth istasyonları için elde edilen veriler ile istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme kapsamında aşağıdaki sonuçlar elde edildi.

- Her iki istasyon için QBO ile $\Delta NmF1$ arasında bir ilişki vardır.
- Hem Darwin hem de Learmonth istasyonunda solar maksimum durumundaki ilişki solar minimum durumundaki ilişkiden daha güçlüdür.
- İki istasyonda da solar minimum durumunda rüzgar yönleri ile $\Delta NmF1$ arasında pozitif bir ilişki vardır.
- Solar minimum durumunda her iki istasyonda QBO ile $\Delta NmF1$ arasında negatif bir ilişki vardır.
- Darwin istasyonunda QBO daki 1 m/s lik artış/azalış, $\Delta NmF1$ de solar maksimum durumunda 3.23×10^9 e/m³ azalış/artış a, solar minimum durumda 5.81×10^8 e/m³ lük azalış/artış a sebep olmaktadır.
- Learmonth istasyonunda QBO daki 1 m/s lik artış/azalış, $\Delta NmF1$ de solar maksimum durumunda 1.77×10^9 e/m³ artış/azalış a, solar minimum durumda 8.29×10^8 e/m³ lük azalış/artış a sebep olmaktadır.
- Darwin istasyonunda $\Delta NmF1$ değişimlerin solar maksimum durumunda %67 i, solar minimum durumunda % 35 i QBO ile açıklanabilmektedir.
- Learmonth istasyonunda $\Delta NmF1$ değişimlerin solar maksimum durumunda %51 i, solar minimum durumunda % 30 i QBO ile açıklanabilmektedir.

Sonuç olarak NeQuick modelin özellikle ekvator bölgesinde daha net sonuçlar elde edebilmesi için modele QBO parametresinin eklenmesi gerekmektedir. Bu ekleme ile birlikte QBO tarafından iyonküreye taşınan momentum ve enerjinin modele dahil edilmesi sağlanmış olacaktır.

7. ÖNERİLER

- Yaptığımız çalışmanın regresyon analizi bölümünde QBO nun sadece 10 hPa değeri kullanıldı. Bu ölçüm yükseklik değeri arttırılabilir.
- F1 bölgesi için yapılan bu çalışma diğer bölgeler içinde yapılabilir.
- Solar devrin son maksimum ve minimumunu göz önüne aldık. Daha fazla solar devir için bu yöntem kullanılabilir.
- F1 bölgesi elektron yoğunluğuna etki eden diğer faktörlerde de göz önüne alınabilir.



KAYNAKLAR

- Angrisano ve Gaglione, 2016.** Assessment of NeQuick Ionospheric model for Galileo single-frequency users - *Acta Geophysica*, 6, 1457-1476.
- Arıç, H., 2005.** İstatistik Yöntemler ve Uygulamalar, Meteksan, Ankara.
- Artigas M. Z. ve Eliasa, A. G., 2005.** The equatorial stratospheric QBO and geomagnetic activity, *J. Atmos. Sol.-Terr. Phys.*, **67**, 1280–1286.
- 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., Kinnnersley, J. S., Marquardt, C., Sato, K., and Takahashi, M., 2001.** Quasi-Biennial Oscillation, *Reviews of Geophysics*, **39**, 179-229.
- Chen, P., 1992.** Evidence of the ionospheric response to the QBO, *Geophys. Res. Lett.*, **19**, 1089-1092.
- Coisson, Radicella, Leitinger, Nava, 2005.** Topside electron density in IRI and NeQuick: Features and limitations – *Advances in Space Research*, 37, 937-942.
- Di Giovanni, G., and S.M. Radicella, 1990,** An analytical model of the electron density profile in the ionosphere, *Adv. Space Res.* **10**, 11, 27-30, DOI: 10.1016/0273-1177(90)90301-F.
- Echer, E., 2007.** On the quasi-biennial oscillation (QBO) signal in the foF2 ionospheric parameter, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, **69**, 621–627.
- Enders W., 1995.** Applied Econometric Times Series. John Wiley and Sons: UK. 63-150
- Engle, R.F. ve Granger, C.W.J. 1987.** Co-integration and error correction: representation, estimation and testing. *Econometrica* 55: 251-276.
- Hagan, M. E., Burrage, M. D., Forbes, J. M., Hackney, J., Randel, W. J. and Zhang, X., 1999.** QBO effects on the diurnal tide in the upper atmosphere, *Earth Planets Space*, **51**, 571–578.
- Heaps, A., Lahoz, W. ve O'Neill, A., 2000.** The Quasi-Biennial zonal wind Oscillation (QBO), *Centre for Global Atmospheric Modelling*, Department of Meteorology, University of Reading UK.
- Hochegger, Nava, Radicella and Leitinger, 1999.** A Family of Ionospheric Models for Different Uses – *Phys. Chem. Earth*, 4, 307-310.
- Hunsucker, R.D. and Hargreaves, J., K., 2003,** The High-Latitude Ionosphere and its Effects on Radio Propagation, **Cambridge University Press**, 1-50.

- Klobuchar, J.A. 1987**, Ionospheric time-delay algorithm for single-frequency GPS users, *IEEE Trans. Aerospace Electron. Sys.* **AES-23**, 3, 325-331.
- Kwiatkowski, D., Phillips P.C. B., Schmidt, P. ve 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**, 159–178.
- LEITINGER, R., J.E. TITHERIDGE, G. KIRCHENGAST ve W. ROTHLEITNER 1995**, A «simple» global empirical model for the F-layer of the ionosphere, *Wiss. Bericht 1/1995*, IMG Universität Graz.
- LEITINGER, R., J.E. TITHERIDGE, G. KIRCHENGAST ve W. ROTHLEITNER 1996**, Ein «einfaches» globales empirisches Modell für die F-Schicht der Ionosphäre, *Kleinheubacher Berichte*, **39**, 697-704.
- LEITINGER, R., S.M. RADICELLA, B. NAVA, G. HOCHEGGER ve J. HAFNER 1999**, NeQuick – COSTprof – NeUoGplas, a family of 3D electron density models, in *Proceedings of the COST251 Madeira Workshop*, 75-89.
- Leitinger, Zhang and Radicella, 2005**. An improved bottomside for the ionospheric electron density model NeQuick – *Annals Of Geophysics*, **48**, 3.
- Lindzen, R. S., 1987**. On the development of the teory of the QBO, *B. Am. Meteorol. Soc.*, **68**, 329–337.
- Llewellyn, S.K., ve R.B. Bent 1973**, Documentation and description of the Bent ionospheric model, *SAMSO Technical Report* 73-252.
- Massaro, M. 2011**, Confronto tra modelli ionosferici nel posizionamento GNSS in singola frequenza, *M.Sc. Thesis*, “Parthenope” University of Naples, Naples, Italy (in Italian)
- Mohanakumar, K., 2008**. *Stratosfer Troposfer Interaction*, Springer, Cochin
- Naujokat, B., 1986**. An update of the observed quasi-biennial oscillationb of the stratospheric winds over the tropics, *J. Atmos.Sci.*, **43**, 1873–1877.
- Özcan, O., Aydoğdu, M., Yeşil, A., Güzel, E., 1996**, The Damping of Radio Waves in the Ionospheric Plasma over Elazığ, *F. Ü. Fen ve Müh. Bilimleri Dergisi*, s. 113–123.
- RADICELLA, S.M. ve R. LEITINGER, 2001**, The evolution of the DGR approach to model electron density profiles, *Adv. Space Res.*, **27**, 35-40.
- Radicella, 2009**. The NeQuick model genesis, uses and evolution, – *Annals Of Geophysics*, **52**, 417.
- RAWER, K., 1963**, Propagation of decameter waves (HF band), in *Meteorological and Astronomical Influences on Radio Wave Propagation*, edited by B. LANDMARK (New York Academic Press), 221-250.
- Randel W. J., Udelhofen P., Fleming E., Geller M. A., Gelman M., Hamilton K., Karoly D., Ortland D., Pawson S., Swinbank R., Wu F., Baldwin M., Chanan M.L., Keckhut P., Labitzke K., Remsberg E., Simmons A., Wu D., 2004**. The SPARC Intercomparison of Middle Atmosphere Climatologies. *J. Climate*, **17**, 986–1003.

Rishbeth, Henry, 1973, Physics and Chemistry of the Ionospheric Contemp, Phys, **14**,229, 240.

Rishbeth, H., 1973, How The Thermospheric Circulation Affects The Ionospheric F₂-Layer

Sağır, S. 2008. IRI-2001 Modeli ile Elde Edilen F2 Bölgesinin Maksimum Elektron Yoğunluğunun İncelenmesi, **Yüksek Lisans Tezi, F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü**, Elazığ, 1-12.

Sağır, S. 2013. QBO nun İyonküre Üzerindeki Etkisi, **Doktora Tezi, F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü**, Elazığ, 1-85

URL-1,<http://docplayer.biz.tr/4310940-Iyonosfer-modelleri-ve-international-reference-ionosphere-iri-2001-kullanim-kilavuzu.html>

URL-2, <http://www.ionolab.org/index.php?page=ionosphere&language=tr>

Yadav, S., Dabas R.S., Rupesh, M. Das., Upadhayaya, A.K., Sarkar, S.K. ve Gwal, A.K., 2011. Variation of F-region critical frequency (fof2) over equatorial and low-latitude region of the Indian zone during 19th And 20th solar cycle, *Adv.Space Res.*, 47, 124–137.

ÖZGEÇMİŞ

1. Adı Soyadı : Yakup AKALIN

İletişim Bilgileri

Adres

: Fatih mah. Kireçhane cad. 23 Nisan İlkokulu
MERKEZ / ADIYAMAN

Telefon

: 0 416 214 42 44

Mail

: ak-yakup@hotmail.com

2. Doğum Tarihi : 28/07/1978

3. Unvanı : Öğretmen

4. Öğrenim Durumu : Lisan

Derece	Alan	Üniversite	Yıl
Lisans	Fizik Öğretmenliği	Marmara Üniversitesi	2000
Y. Lisans	Yüksek Enerji ve Plazma Fiziği	Fırat Üniversitesi	2016

5. Yayınlar

5.1. Uluslararası diğer hakemli dergilerde yayınlanan makaleler

5.2. Uluslararası bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitabında (*Proceedings*)
basılan bildiriler

6. Bilimsel ve Mesleki Kuruluşlara Üyelikler