

**İYONKÜRENİN F2 BÖLGESİ EKVATORAL
ANOMALİSİ İLE QBO ARASINDAKİ İLİŞKİ**

Kadri KURT

Doktora Tezi

Fizik Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Ali YEŞİL

Haziran-2016

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İYONKÜRENİN F2 BÖLGESİ EKVATORAL ANOMALİSİ İLE QBO
ARASINDAKİ İLİŞKİ

DOKTORA TEZİ

Kadri KURT

(121114203)

Anabilim Dalı: Fizik

Programı: Yüksek Enerji ve Plazma Fiziği

Danışman: Doç. Dr. Ali YEŞİL

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 20 Haziran 2016

Haziran - 2016

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İYONKÜRENİN F2 BÖLGESİ EKVATORAL ANOMALİSİ İLE QBO
ARASINDAKİ İLİŞKİ

DOKTORA TEZİ
Kadri KURT
(121114203)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 20 Haziran 2016
Tezin Savunulduğu Tarih : 16.06.2016

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Ali YEŞİL

Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Şemsettin OSMANOĞLU

Prof. Dr. Sinan AKPINAR

Prof. Dr. Niyazi BULUT

Yrd. Doç. Dr. Selçuk SAĞIR



HAZİRAN-2016

ÖNSÖZ

Tezimin hazırlanması sürecinde ilgi ve desteğini esirgemeyen başta danışman hocam Doç. Dr. Ali YEŞİL'e, katkılarından dolayı Yrd. Doç. Dr. Selçuk SAĞIR'a teşekkürü bir borç bilirim.

Bütün eğitim-öğretim hayatım boyunca sonsuz ve karşılıksız destekleri için anne ve babama, hayatımın yükünün yarısını omuzlayan eşim Fahriye KURT'a ve sevgili çocuklarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Kadri KURT

ELAZIĞ-2016

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET	V
ABSTRACT	VII
ŞEKİLLER LİSTESİ	IX
TABLolar LİSTESİ	X
SEMBOLLER VE KISALTMALAR LİSTESİ	XII
1. GİRİŞ.....	1
2. QBO	5
2.1. QBO'nun Keşfi ve Tanımı	5
2.2. Bir Rüzgâr Olarak QBO	8
3. F BÖLGESİ ANOMALİLERİ	13
3.1. Mevsimsel Anomali ve Yarıyıllık-Yıllık Değişmeler	13
3.2. Gece F2-Bölgesi	14
3.3. Ekvator Anomalisi.....	15
4. QBO YAYILIMINDA ETKİN OLAN DALGALAR	17
4.1. İnertia Gravity Dalgaları.....	18
4.2. Gravity Dalgaları	20
4.3. Ekvator Bölgesindeki Dalgalar.....	22
4.4. Gezegenel Dalgalar	25
5. MATERYAL METOT	28
5.1. Korelasyon Yöntemi.....	28
5.2. Çoklu Regresyon Analizi.....	29
6. BULGULAR VE TARTIŞMA	32
6.1. Ascension İstasyonu İçin Elde Edilen Sonuçlar	33
6.1.1. Korelasyon Analizi	34
6.1.2.1. Solar Maksimum Durum İçin	36
6.1.2.2. Solar Minimum Durum İçin	39
6.2. Singapur İstasyonu İçin Elde Edilen Sonuçlar	43
6.2.1. Korelasyon Analizi	44

6.2.2. Çoklu Regresyon Modeli Sonuçları	45
6.2.2.1. Solar Maksimum Durumu İçin	45
6.2.2.2. Solar Minimum Durumu İçin	48
7. SONUÇLAR.....	52
KAYNAKLAR.....	54
ÖZGEÇMİŞ	60

ÖZET

Bu çalışmada İyonküre'nin F2 bölgesine ait Ekvatorial anomaliler ile Ekvator bölgesindeki Stratoküre'de yaklaşık iki yılda bir meydana gelen doğu-batı yönlü salınımlar (QBO) arasındaki ilişki istatistiksel olarak incelenmiştir. Çalışmanın teorik kısmında QBO ve QBO'nun daha üst bölgelere taşınma süreçleri ve bu süreçlerde etkili olan parametreler tanımlanmıştır. Çalışmanın istatistiksel analizinde ilk olarak, İyonküre hesaplama programı olarak kullanılan bir program olan IRI programına da vurgu yapmak ve IRI programı ile yapılan hesaplamaların gerçek değerden sapması, bu sapmanın da QBO ile ilişkisi de hesaplanmak istenmiştir. Bu yüzden çalışmanın tümünde ölçülen NmF2 değerinin hesaplanan NmF2'den farkı (Δ NmF2) ile QBO arasında ilişki dağılım eğrileri kullanılarak incelenmiştir. Elde edilen sonuçlarda QBO ile Δ NmF2 arasında lineer bir ilişki olduğu ve bu ilişkinin yıl ve coğrafik konuma bağlı olarak değişkenlik gösterdiği gözlenmiştir. İkinci olarak, hem ölçülen NmF2 hem de hesaplanan NmF2 ile QBO arasındaki ilişki korelasyon katsayısı yöntemiyle incelenmiştir. Bu inceleme de 70 hPa yüksekliğinde QBO değeri için yapılan analizlerde ilişkinin istatistiksel olarak önem değerinin düşük olduğu görülmüştür. Bu nedenle çalışmanın devamındaki Çoklu Regresyon analizlerinde, 10 hPa yüksekliğinde ölçülen QBO değerleri kullanılmıştır.

Δ NmF2 ve QBO arasındaki ilişkinin istatistiksel analizinin ortaya konması için, iki değişken arasındaki uzun dönemli ilişkiyi tanımlayan bir yöntem olan Çoklu Regresyon Analizi yöntemi kullanılmıştır. Bu analiz yapılırken NmF2 üzerinde etkin, önemli bir parametre olan solar maksimum ve solar minimum durumları için ayrı ayrı göz önüne alınmıştır. Ayrıca çalışmanın ana amacı olan Ekvatorial anomalisi, 12:00 Yerel Zaman(YZ) ve 24:00 YZ ayrı ayrı modeller kurularak vurgu yapılmıştır. Uygulama sonuçlarında Δ NmF2 değerlerindeki değişimlerin solar devir istasyon ve yerel zamana bağlı olarak değişmek ile birlikte yaklaşık %58 ile %89 oranında QBO değerlerinden etkilendiği görülmüştür.

Çalışmada kullanılan istatistiksel modellemeler ile elde edilen sonuçlar ile İyonküre’de $\Delta N_m F_2$ değerin, QBO’dan yerel zaman, solar devir ve coğrafik konumlar arası farklılık göstermekle birlikte, % 58-% 89 oranında pozitif ve negatif olarak etkilendiği gözlenmiştir. QBO’nun da gece değerlerindeki farkta açıklanabilirlik oranının gündüzden daima yüksek olması, QBO’nun bu anomali (Gece anomalisi) üzerinde etkili olabileceğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: İyonküre, Ekvatorial Anomalliler, QBO, Solar Devir, Çoklu Regresyon

ABSTRACT

The Effect over the Ionosphere of the QBO (Quasi Biennial Oscillation)

In this study, the relation between the equatorial abnormalities relative to the ionosphere region and east-west directed oscillations (QBO) which occurred Quasi Biennial in the stratosphere in equatorial region was examined statistically. In the theoretical part of the study, QBO and the transportation processes of QBO to the upper layers, and the effective parameters during these processes were identified. Initially, we required to emphasize the IRI programme which is used to calculate the ionosphere, and to compute the deviation of the calculations made by the IRI programme from the real value and the relation of this deviation with the QBO in the statistical analysis of the work. Therefore, the relation between the difference ($\Delta NmF2$) of the calculated NmF2 from the measured NmF2 value, and QBO were examined by using the distribution curve in all study. From the obtained results, the linear relation between QBO and $\Delta NmF2$, and the variability on this relation depending on the years and geographical locations were observed. Secondly, we examined the relation between the measured NmF2 as well as the calculated NmF2 and QBO by using the correlation coefficient method. In this investigation, it was seen that the importance of this relation was lower statistically in the analysis of the QBO value in the 70 hPa height. Thus, we used the QBO values measured in the 10hPa height for the Multiple Regression Analysis continuing the work.

The Multiple Regression Analysis method which identifies the long term relation between two variables was used to introduce the statistical analysis of the relationship between $\Delta NmF2$ and QBO. During this analysis, the effective and important parameters as the conditions of solar maximum and solar minimum on the NmF2 were taken into account, separately. Furthermore, we emphasized the equatorial abnormality which was the main purpose of the study by evaluating separate models for the 12:00 Local Time (LT) and 24:00 LT. In the application results, the variations of the $\Delta NmF2$ values were changed depending on solar cycle the station and the local time along with the approximately 58% and 89% amount of the QBO value were seen.

The results which were obtained from the study was observed that the $\Delta N_m F_2$ value was effected at the rate of % 58-% 89 percentage positively and negatively from QBO, though varies between solar cycle, the local time and geographical locations. We suppose that the reliability ratio which is always higher for the difference of the night time value of the QBO rather than the daytime was influenced on this abnormality of QBO (night abnormality).

Keywords: Ionosphere, Equatorial Abnormalities, QBO, Solar Cycle, Multiple Regression

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1.	Ocak ayı için bölgesel ortalama rüzgârların coğrafik enlem ve yükseklik ile değişimi	7
Şekil 2.2.	Ekvator üzerinde bölgesel rüzgârlarda QBO ve SAO genliklerinin dikey tedirginliği	10
Şekil 2.3.	Ekvator üzerinde SQBO, SSAO, MQBO, MSAO ve yıllık değişim dağılımı	11
Şekil 2.4.	Ortalama yatay akım ve QBO rüzgâr anomalileri ile kimyasal bileşen taşıma görünümü	12
Şekil 3.1.	Kuzey ve güney yarımkürelerde Ekvatorial çukur ve tepeler	15
Şekil 4.1.	QBO'nun dinamik kontrollerinin şematik gösterimi	18
Şekil 4.2.	Boylamsal düzlemde İnertia Gravity dalgası için kütle sürüklenmesi	19
Şekil 4.3.	2 Kasım 1997 günü Ebro (40.8°K, 0.5°D) istasyonunda bir soğuk kısım geçişine neden olan Gravity dalga olaylarının dikey yapısı	22
Şekil 4.4.	Kaliningrad için foF2 değerlerindeki 5 gün (kısa kesikli çizgi), 10 gün (orta kesikli çizgi), 13.5 gün (tam çizgi) ve 16 günlük (uzun kesikli çizgi) genliğin 1979 yılı Ocak ayından 1989 yılı Aralık ayına kadar değişimi	26
Şekil 6.1.	Ascension istasyonu için solar maksimum ve minimum durumlar için $\Delta NmF2$ ve QBO'nun yıllara göre değişimi	34
Şekil 6.2.	2000-2012 yılları arasında Ascension istasyonunda hesaplanan NmF2 değerleri ile QBO arasındaki korelasyon katsayısının yıllara göre değişimi	35
Şekil 6.3.	2000-2012 yılları arasında Ascension istasyonunda ölçülen NmF2 değerleri ile QBO arasındaki korelasyon katsayısının yıllara göre değişimi	35
Şekil 6.4.	Ascension istasyonu için solar maksimum ve minimum durumlar için $\Delta NmF2$ ve QBO'nun yıllara göre değişimi	43
Şekil 6.5.	1957-1972 yılları arasında Singapur istasyonunda hesaplanan NmF2 değerleri ile QBO arasındaki korelasyon katsayısının yıllara göre değişimi	44
Şekil 6.6.	1957-1972 yılları arasında Singapur istasyonunda hesaplanan NmF2 değerleri ile QBO arasındaki korelasyon katsayısının yıllara göre değişimi	45

TABLÖLAR LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 4.1.	Atmosferde Kelvin ve Rossby Gravity dalgalarının karakteristik özellikleri	24
Tablo 6.1.	F2 bölgesi kritik frekansı ve QBO'nun verilerinin alındığı istasyon ve zaman aralığı	32
Tablo 6.2.	Ascension istasyonu solar maksimum yıllarında 24:00 YZ için Birim Kök Testi Sonuçları	36
Tablo 6.3.	Ascension istasyonu solar maksimum yıllarında 12:00 YZ için Birim Kök Testi Sonuçları	37
Tablo 6.4.	Ascension istasyonu solar maksimum yılları için Eş Bütünleşme Test Sonuçları	37
Tablo 6.5.	Ascension istasyonu solar maksimum durumu için regresyon analizi sonuçları	39
Tablo 6.6.	Ascension istasyonu solar minimum yıllarında 24:00 YZ için Birim Kök Testi Sonuçları	40
Tablo 6.7.	Ascension istasyonu solar minimum yıllarında 12:00 YZ için Birim Kök Testi Sonuçları	40
Tablo 6.8.	Ascension istasyonu solar minimum yıllarında 12:00 YZ ve 24:00 YZ için Eş Bütünleşme Test Sonuçları	41
Tablo 6.9.	Ascension istasyonu solar minimum yıllarında 12:00 YZ ve 24:00 YZ için regresyon analizi sonuçları	42
Tablo 6.10.	Singapur istasyonu solar maksimum yıllarında 24:00 YZ için Birim Kök Testi Sonuçları	46
Tablo 6.11.	Singapur istasyonu solar maksimum yıllarında 12:00 YZ için Birim Kök Testi Sonuçları	46
Tablo 6.12.	Singapur istasyonu solar maksimum yıllarında 12:00 YZ ve 24:00 YZ için Eş Bütünleşme Test Sonuçları	47

Tablo 6.13. Singapur istasyonu solar maksimum yılları için regresyon analizi sonuçları	48
Tablo 6.14. Singapur istasyonu solar minimum yıllarında 24:00 YZ için Birim Kök Testi Sonuçları	49
Tablo 6.15. Singapur istasyonu solar minimum yıllarında 12:00 YZ için Birim Kök Testi Sonuçları	49
Tablo 6.16. Singapur istasyonu solar minimum yıllarında 12:00 YZ ve 24:00 YZ için Eş Bütünleşme Test Sonuçları	50
Tablo 6.17. Singapur istasyonu için solar minimum durumda, regresyon analizi sonuçları	51

SEMBOLLER VE KISALTMALAR LİSTESİ

QBO	: Yaklaşık iki yılda bir meydana gelen salınım (Quasi Biennial Oscillation)
SAO	: Yarıyıllık salınım (Semi Annual Oscillation)
SSAO	: Stratoküre'ye ait yarıyıllık salınım
MSAO	: Mezoküre'ye ait yarıyıllık salınım
MQBO	: Mezoküre'ye ait yaklaşık iki yılda bir meydana gelen salınım
GLS	: Güneş Lekesi Sayısı
MLS	: Microwave Limb Sounder
HALOE	: Halogen Occultation Experiment
MRG	: Mixed Rossby Gravity
MLT	: Mesosphere Lower Thermosphere
SPARC	: Stratoküre'nin iklim yapısı
EIA	: Ekvatorial İyonizasyon Anomalisi
SSW	: Sudden Stratospheric Warming
PMC	: Polar Mesospheric Cloud
SEKK	: Sıradan En Küçük Kareler Yöntemi
ADF	: Geliştirilmiş Dickey-Fuller testi
KPSS	: Kwiatkowski D, Phillips PCB, Schmidt P, Shin Y. testi
PP	: Phillips-Perron testi
N_e	: Kritik elektron yoğunluğu
r	: Korelasyon katsayısı
u	: Bölgesel rüzgâr
T	: Sıcaklık
z	: Logaritmik basınç yüksekliği
y	: Yükseklik

R_g	: İdeal gaz sabiti
H	: Ölçek yüksekliği
β	: Coriolis parametresinin enlemsel değişimi
L	: Boylamsal ölçek
a_0 ve a_1	: 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
f_oF2	: F2 Bölgesi kritik frekansı
h_mF2	: F2 Bölgesi kritik frekansının ölçüldüğü yükseklik
ν	: Dağıtkanlık ilişkisi frekansı
Δ	: Fark işlemcisi
k	: Gecikme sayısı
τ	: Test istatistiği
SEKK	: Sıradan En Küçük Kareler Metodu
N	: Brunt-Vaisala frekansı
δs	: Kütle yer değiştirmesi
$NmF2$	: F2 Bölgesi maksimum elektron yoğunluğu

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, İyonküre, 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 parçacıkları etkisi altına aldığı manyetoküre olmak üzere üç bölgeye ayrılır. Atmosferin en dışında bulunan tabakaya ise egzoküre adı verilir.

Yer yüzeyinden atmosfere doğru yükseklik arttıkça, Tropoküre'ye kadar sıcaklık azalır. Bu katmandan sonra ise sıcaklık tekrar artmaya başlar ve Termoküre'de sıcaklık değeri en büyük değerini alır. Termoküre'deki sıcaklık, Güneş aktivitesine bağlıdır. Bu tabakada sıcaklık yaklaşık 700-2500 K'e ulaşır. Sıcaklıktaki bu artış, Güneş'ten gelen mor ötesi (UV) ışınimlarıyla açıklanır. Bu tabakada ışınimlar, nötr atmosferde iyonlaşma etkisi yaratır ve Termoküre içinde başka bir tabaka olan İyonküre'yi meydana getirir (Sağır, 2013).

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 Stratoküre'nin alt kesimlerinde her kilometrede 1 °C, üst kesimlerinde ise her kilometrede 3°C kadar artarak Stratoküre'nin üst sınırı olan Stratopoz'da 0°C düzeyine kadar yükselir. Bu sıcaklık dağılımı, Stratoküre'nin 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 Stratoküre'ye ulaşmasını önlemek açısından önem taşımaktadır (Sağır, 2013).

Mezoküre, atmosferin Stratoküre'den sonra gelen ve üst sınırı yaklaşık 90 km'ye kadar uzanan bölgesidir. Bu bölge atmosferin en soğuk bölgesidir. 175–200 nm dalga boyu arasındaki ışınlar oksijen tarafından soğurularak bu bölgeyi oluşturur.

Termoküre, Mezoküre üzerindeki bölgedir. Bu bölgede iyonlaşmanın temel sebebi 175 nm dalga boyundan küçük radyasyonlardır. Yaklaşık 500 km yükseklikteki sıcaklığı 1700 °C'dir.

Egzoküre ise; atmosferin en dışında bulunan çıkış bölgesidir. Bu bölgede moleküller arasındaki çarpışma çok azdır. Bu bölgede iyonlaşmış parçacıklar manyetik alan tarafından, nötr parçacıklar ise yerçekimi tarafından kısa mesafelerde hareket ettirilebilir (Sağır, 2013).

Güneş'ten gelen ışınlar nötr atmosferde iyonlaşmaya neden olur. Bu etki Termoküre içinde başka bir tabaka olan İyonküre'yi meydana getirir. Bu nedenle İyonküre, 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 İyonküre doğal bir plazma olarak kabul edilir. İyonküre'nin 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. İyonküre'de elektronlar, atom ve moleküller, kendi ağırlıklarına göre farklı ölçek yüksekliklerinde yer alırlar. Bu nedenle İyonküre içindeki iyonlaşma, farklı yüksekliklerde bulunan farklı atom ve moleküllerden dolayı yükseklikle değişir ve farklı bölgeler oluşturur. İyonküre elektron yoğunluğuna göre D, E, F (F1, F2) olmak üzere üç bölgeye ayrılır: D (50-90 km), E (90-140 km), F (140 km ve yukarısı) İyonküre'nin farklı bölgelerini göstermek için kullanılırlar (Hunsucker ve Hargreaves 2003; Rishbeth, 1973; Özcan vd., 1996).

İyonküre'yi karakterize eden temel parametre olan elektron yoğunluğu; Güneş aktivitesi, jeomanyetik aktivite, coğrafik konum, yerel zaman ve mevsimler gibi parametrelere bağlıdır. İyonküre'de, kritik frekans ve Toplam Elektron İçeriği (TEİ) gibi birçok parametre elektron yoğunluğuna bağlı parametrelerdir; bu nedenle, uzak mesafe haberleşmeleri için elektromanyetik dalganın İyonküre'den yansması ve yayılması,

İyonküre'deki elektron yoğunluğuna bağlıdır. İyonküre'de, 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 ($h_m F2$), 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.

İyonküre ile ilgili olarak yapılan çalışmalarda Marconi'nin 1901'de Trans-Atlantik deneyi bu alanda öncü olmuştur. Yapılan bu deney sonucunda, dalganın Atlantik'i geçmesi, yerkürenin yapısı nedeni ile ancak atmosferdeki bir tabakadan yansıyabildiği anlaşılmıştır. Bu deney, atmosfer içinde bir iletken tabakanın var olduğu düşüncesini ortaya koymuştur. Daha sonraki araştırmalarda İyonküre'nin yapısına, değişimlerine, davranışına etki eden ve onu şekillendiren fiziksel süreçler ortaya çıkarılmıştır. Bu çalışmalara eşlik eden uzak mesafe haberleşmeleri, elektromanyetik dalganın İyonküre'den yansımaları ve yayılmasıyla yapılır. İyonküre'den dalgaların yansımaları, ortamın kırılma indisine, dalganın frekansına ve İyonküre'nin kritik frekansına bağlıdır. İyonküre'den yansıyan en yüksek dalga frekansı, kritik frekans olarak adlandırılır. İyonküre'nin D, E ve F bölgelerinin kritik frekansları f_oD , f_oE ve f_oF ile temsil edilir. İyonküre yapısı gereği 30 MHz ve daha düşük frekanslardaki dalgaları yansıtmaktadır. İyonküre'nin daha alt bölgelerinde ise dalgalar soğurulurlar. Bu etki düşük frekanslı dalgalar için daha fazladır (Hunsucker ve Hargreaves 2003; Akkaya, 1997; Özcan vd.,1996). Uzun ve orta dalgalar için İyonküre kayıplı bir iletken gibidir. Özellikle uzun dalga yayılımı, çok zayıflamayla denizaltılarda yol göstermek için kullanılır. Çok uzun dalgalar, D tabakasından yansıtılarak yeryüzüne döndürülür. Böylece yeryüzü ile D tabakası arasında çok az zayıflamayla çok uzaklara ilerlerler. İyonküre gündüz çok kayıplı bir ortam gibi, gece az kayıplı bir ortam gibi davranır. Bu durum, orta ve uzun dalga yayılımında farklar meydana getirerek, dalgaların sönmesine neden olur. D tabakası kısa dalgalarda hem gece hem de gündüz az kayıplı ortam gibi davranır. Böylece kısa dalgalar az zayıflatma ile daha uzak mesafelere iletilebilir. Orta ve uzun dalgalar, D tabakasından, çok kayıplı ortamdan dolayı çok fazla zayıflatılarak söndürülürler (Akkaya, 1997).

QBO (Quasi Biennial Oscillation), Ekvator bölgesi üzerindeki Stratoküre'de, ortalama 28–29 aylık periyotlarla, doğu batı yönünde esen rüzgârların oluşturduğu, hemen hemen iki yılda bir meydana gelen salınımlardır (Heaps vd., 2000). Bu salınımlar Gravity,

İnertia Gravity, Kelvin ve Rossby Gravity dalgaları yardımıyla Stratoküre'den Mezoküre'ye taşınmaktadır. Mezoküre'de Gezegenel dalgalar yardımı ile yerin jeomanyetik alan çizgileri boyuca İyonküre'nin F2 bölgesine kadar ulaşabileceği öngörülmektedir (Chen, 1992).

Bu çalışmanın amaçlarından biri, Ekvator bölgesi üzerindeki Stratoküre'de gözlenen ve Ekvator bölgesinde simetrik olarak doğu-batı yönlü, hemen hemen iki yılda bir meydana gelen salınımların Ekvatorial anomali üzerindeki etkisini incelemektir. Çalışmada, bu salınımların oluşum süreçleri, Stratoküre'den İyonküre'ye taşınma süreci ve İyonküre'nin F2 bölgesi elektron yoğunluğu (NmF2) ile arasındaki ilişki incelenmesi amaçlanmaktadır. Diğer bir amacı ise IRI (International Reference Ionosphere) öngörülme QBO'nun model için gerekliliğine vurgu yapmaktır. Bu amaçla çalışmanın ikinci bölümünde, QBO tanımı, QBO'nun gelişim süreçleri tanımlanmıştır. Çalışmanın üçüncü bölümünde, F bölgesi anomalilerine yer verilmiştir. Çalışmanın dördüncü bölümünde ise QBO'nun yayılımında etkisi olan dalgalara yer verilmiştir. Beşinci bölümde, veri grupları üzerine uygulanan istatistiksel yöntemler belirtilmiş ve tanımlanmıştır. Altıncı bölümde, "<http://strat-www.met.fu-berlin.de>" adresinden alınan QBO verilerinin, <http://spidr.ngdc.noaa.gov> adresinden alınan 1953-2011 yılları arasındaki belli yıllar için ölçülmüş foF2 kritik frekans verileri ve omniweb.gsfc.nasa.gov/vitmo/iri2012-vitmo.html adresinden NmF2_{IRI} verileri alınarak istatistiksel olarak incelenmiştir.

2. QBO

QBO, simetrik olarak Ekvator bölgesi üzerindeki Stratoküre’de 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 Stratoküre’deki QBO benzeri diğer salınım türleri incelenmiştir. Bu nedenle öncelikle QBO kavramının ne olduğu tanımlamak gerekmektedir (Sağır, 2013).

2.1. QBO’nun Keşfi ve Tanımı

Ekvator bölgesi Stratoküresi’ndeki 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 Stratoküresi’ndeki rüzgârlarda, meteorolojik ve jeofiziksel parametrelerde QBO benzeri salınımları görmek için çalışmalar yapılmıştır (Baldwin vd., 2001; Artigas ve Eliasa, 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 Stratoküre’de, 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’in 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). Bu dalga türlerine dördüncü bölümde yer verilecektir.

2) Ortalama akış hızının sıfıra gittiği kritik seviyelerde dağ dalgalarının (mountain lee waves) davranışının teorik çalışmasıdır. Dağ dalgalarının İntertia Gravity dalgalarına düşey yayılımına Lyra, Queney, Eliassen ve Palm'ın çalışmalarında yer verilmiştir. Ancak 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, Stratoküre'deki 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).

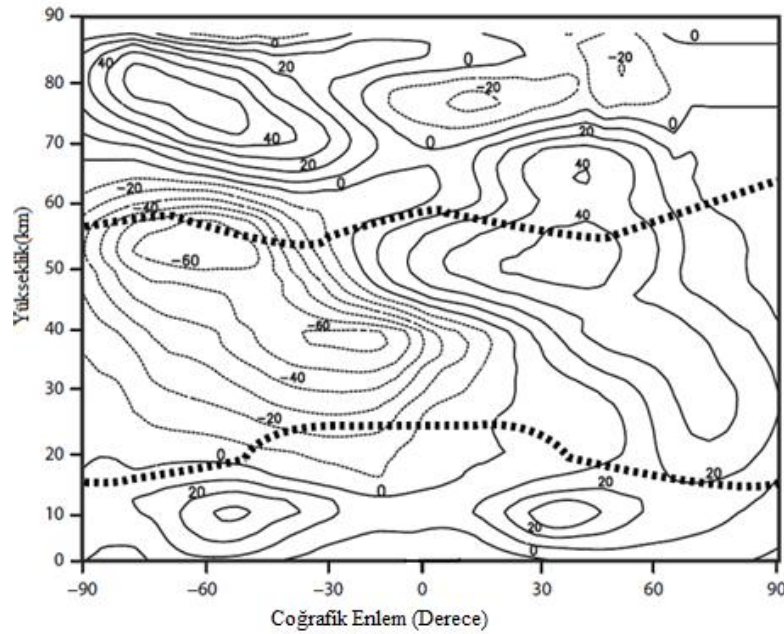
Düşey dalga yayılımının temelinde bir QBO modeli olduğu ilk olarak Holton ve Lindzen tarafında 1972'de yapılan bir çalışmada önerilmiştir. Stratoküre'nin üst bölgelerinde, yarıyıllık salınımların (Semi Annual Oscillation-SAO) kökeninde QBO önemli bir rol oynar. Fakat daha sonra yapılan çalışmalarda SAO'nun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

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 Stratoküre'deki 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-Mezoküre’de 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 Stratoküre’de 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).

Stratoküre’de genel rüzgâr Şekil 2.1’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 2.1. Ocak ayı için bölgesel ortalama rüzgârların coğrafik enlem ve yükseklik ile değişimi (Mohanakumar, 2008)

Güney yarım kürede 40° enleminden Ekvator’a 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 Ekvator'a 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. Stratoküre'nin içine doğru devam eden Tropoküre'nin 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 Tropoküre'deki 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 Tropoküre'de Ekvator bölgesinde kuzey yarım küredeki doğu yönlü rüzgârlar güney yarım küredekinden çok daha güçlü iken alt Tropoküre'de 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. Bir Rüzgâr Olarak QBO

QBO, ortalama 28 aylık periyotlarla Ekvator bölgesi Stratoküresi'nde doğu batı yönlü meydana gelen rüzgâr salınımlardır. 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 Stratoküre'de de etkilidir. Özellikle kuzey yarım kürede Gezegenel 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 Tropoküre'yi de etkileyebilir. Ekvator bölgesi Tropoküresi'ndeki

gözlemler, Stratoküresel QBO ile ilişkili olan QB sinyallerinin oluştuğunu göstermiştir (Baldwin vd., 2001). QBO, üst Stratoküre'deki süreçlerde, Mezoküre ve İyonküre'nin F bölgesinde bile etkilidir (Echer, 2007).

İyonküre'deki QBO'nun oluşum sürecinin Stratoküre'deki 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, Stratoküre'deki rüzgârlar ve El-Nino güney salınım olgularıdır. Bu sistemlerin en az üçünde QBO, İyonküre'deki değişimden sorumludur (Echer, 2007). Bunlar:

Birinci varsayım; Stratoküre'deki QBO, İyonküre'nin F bölgesinde yukarı yönde yayılan atmosferik dalga yayılımını etkiler ve nötr rüzgâr dolaşımını şekillendirebilir. Bu durumda modülasyon eğer jeomanyetik QBO, Stratoküre'deki QBO ile etkilenirse doğrudan ilişkili veya QBO ile ilişkisiz sayılabilir (Sağır, 2013; Echer, 2007).

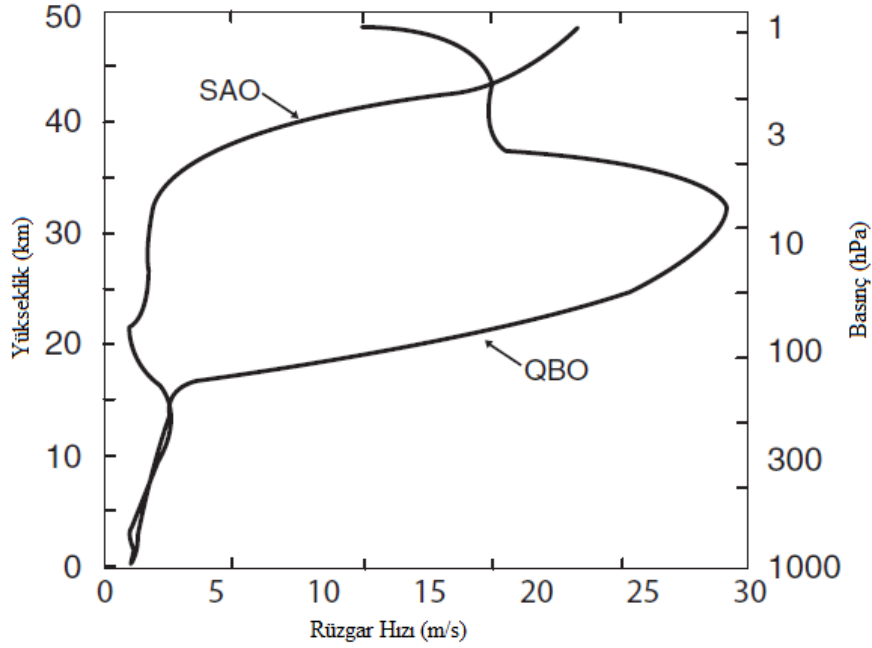
İkinci varsayım; Güneş aktivitelerinde (UV- EUV ışımasında) incelenen QBO, İyonküre'deki yoğunluk değişimlerini doğrudan sürükleyebilir. Bu durum, solar ışıma süresince eğer iyonlaşmada bir QBO çeşitliliği yazılabilirse, doğrudan gerçekleşir. İyonküre'deki seviyelerde yukarı yönde etkili olan yayılım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

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

İyonküre'deki 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-İyonküre-atmosfer) incelemek gereklidir. Özellikle IRI modelleri sonuçlarıyla gerçek verileri karşılaştırmak, ilerleyen çalışmaların odağı olacaktır (Echer, 2007).

Şekil 2.2'de Ekvator üzerindeki Tropoküre'de ve Stratoküre'de, yükseklik ile bölgesel rüzgârlara göre QBO ve SAO'nun genliğinin değişimi gösterilmiştir. Bölgesel

rüzgârlarda QBO ve SAO'nun genliği, Tropoküre'nin girişinde aynı fazda ve zayıftır. Alt Stratoküre'de yükseklik ile QBO'nun genliği hızlıca artar. 30 km civarında maksimuma ulaşır ve üst Stratoküre'de azalır. Öte yandan SAO'nun genliği alt ve orta Stratoküre'de zayıf kalır fakat üst Stratoküre'de yükseklik ile artar. Bu bölgede QBO ve SAO'nun genlikleri aşama aşamadır.

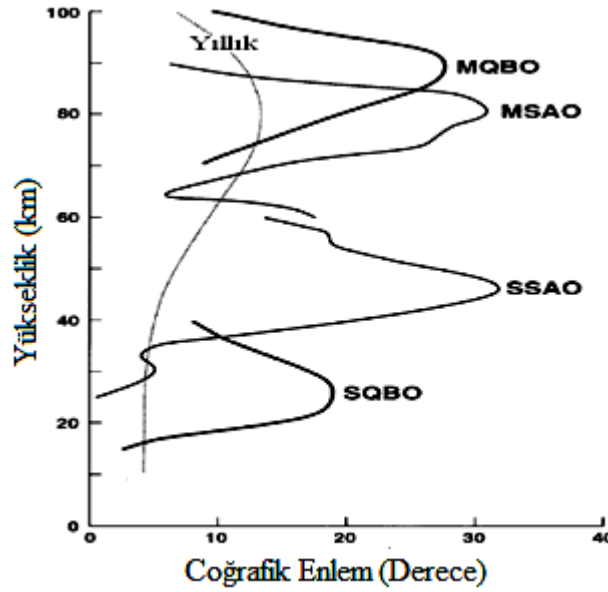


Şekil 2.2. Ekvator üzerinde bölgesel rüzgârlarda QBO ve SAO genliklerinin dikey tedirginliği (Mohanakumar, 2008)

QBO'ya benzer olarak yarıyıllık salınımların yükseklik ile azalan genlikleri Ekvator bölgesi ile sınırlıdır. Bu özellikleri ile SAO'nun batı yönlü fazının, Kelvin dalgalarının ilgili yüksekliklerde batı yönlü momentum toplanmasından dolayı meydana geldiği önerilmiştir. QBO'nun batı yönlü fazını üreten uzun periyotlu Kelvin dalgalarının yükseklik ile çok hızlı yayıldığı görülmüştür. Ancak bu durum daha uzun periyotlu Kelvin dalga modları, Mezoküresel seviyelere enerji ve momentum taşımak için uygun değildir. Bununla birlikte kısa periyotlu Kelvin dalgaları alt Stratoküre'de önemli ölçüde değişmezler ve çok küçük genlikli bu dalgalar, SAO'nun batı yönlü fazı için yeterince büyük batı yönlü momentum taşır. Şimdiye kadar üst Stratoküre ve alt Mezoküre için SAO üzerine tatmin edici mekanik bir model oluşturulamamıştır (Mohanakumar, 2008).

İyonküre'ye ait olan 100 km den daha üst yüksekliklerdeki yayılımlarda gözlenen gezegensel ölçekli dalgalar, değişen Ekvator bölgesi Tropiküresi'ndeki yayılımda:

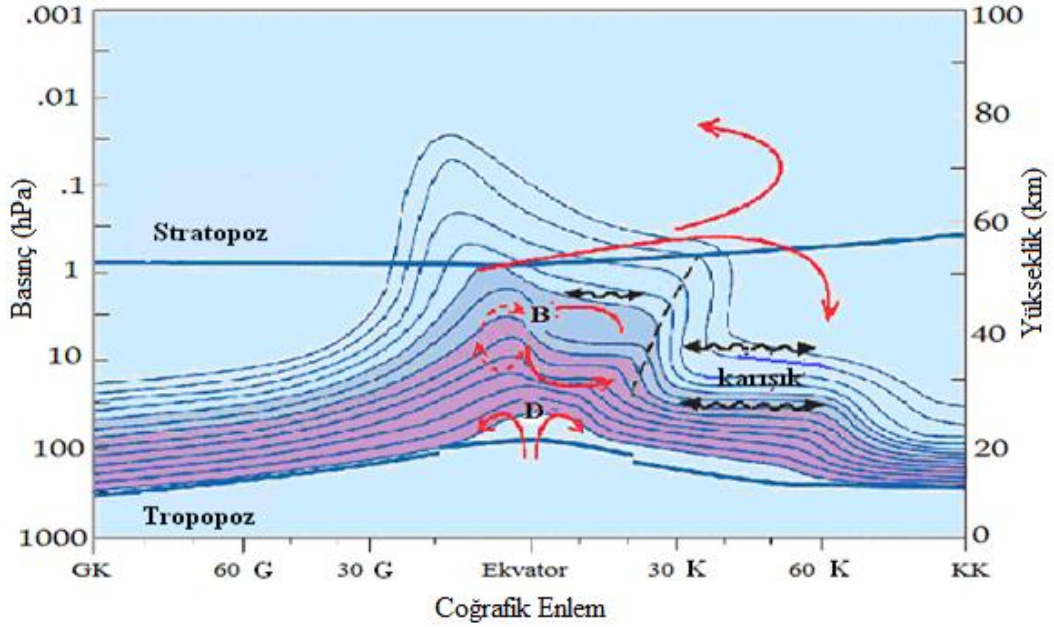
Gravity, İntertia Gravity, Kelvin ve Rossby-Gravity dalgalarından etkilenir. Bu dalgalar, doğu ve batı yönlü bölgesel momentum taşınımları, yatay ve düşey dalgalanmalarla Stratoküre’de yayılır. Bu bölgesel momentumların pek çoğu, Stratoküre’deki seviyelerde çok kısa sürelidir. Momentumun alt veya kritik seviyelerinin büyüklüğü, bölgesel rüzgârların düşey yöndeki değişiminin dalgalar ile etkileşimlerine bağlıdır. Bu dalgalar için ise kritik seviyeler, QBO’nun etkisinin kaybolduğu sınırlara bağlıdır. Şekil 2.3’te görüldüğü gibi bazı Gravity dalgaları Stratoküre’nin girişi boyunca yayılır ve Mezoküre’ye ait QBO veya MQBO olarak bilinen mezopoz yakınında bir QBO meydana getirir (Baldwin vd., 2001). Şekildeki MQBO ve MSAO Mezoküre’ye ait olan sırasıyla QBO ve SAO’yu ifade ederken SQBO ve SSAO gösterimleri ise Stratoküre’ye ait olan sırasıyla QBO ve SAO’yu ifade etmektedir. Bu dalgalara dördüncü bölümde ayrıntılı olarak yer verilecektir.



Şekil 2.3. Ekvator üzerinde SQBO, SSAO, MQBO, MSAO ve yıllık değişim dağılımı (Baldwin vd., 2001)

N_2O ve CH_4 gibi uzun-sürelili pek çok kimyasal bileşen türleri Tropoküre’de meydana gelir ve Ekvator bölgesi tropopozu boyunca Stratoküre’nin içine taşınır. Şekil 2.4’te kimyasal bileşen türlerinin taşınması ve ortalama boylamsal dolanımlarda QBO’nun varlığı gösterilmiştir. Şekilde verilen Ekvator bölgesindeki rüzgârlar 40 hPa yüksekliğinde doğu yönlü olduğunda, kuzey yarımkürede kış boyunca dikey taşıma olur. Bu taşıma üst Stratoküre’nin ortalarında kimyasal bileşen yoğunluğundaki Ekvator bölgesi maksimumunu gösterir. QBO tarafından oluşturulan Ekvator bölgesi dışındaki anomaliler, yarımküresel simetriden ayrılmanın bir sonucudur. Bu yarımküresel simetriden bazıları

Gezegensel dalgaların mevsimsel devrinin bir ürünüdür. Şekildeki siyah çizgi, 40 hPa değerinde doğu yönlü olduğu kabul edilen, QBO ile ilişkili (zaman-ortalamalı dolanım çıkarılabilen) dolanım anomalilerini göstermektedir (Sağır, 2013).



Şekil 2.4. Ortalama yatay akım ve QBO rüzgâr anomalileri ile kimyasal bileşen taşıma görünümü (Baldwin vd., 2001)

QBO, Ekvator'da kimyasal bileşenler üzerinde Tropopoz boyunca yükselmeyi tetiklerken, üst Stratoküre'nin ortalarında alçalmayı tetikler. Alt Stratoküre'deki dolanım anomalileri, Ekvator boyunca yaklaşık olarak her iki yarım kürede simetrik iken, orta Stratoküre'deki dolanım anomalileri kış yarım küresinde daha büyüktür. Buna ek olarak, ortalama boylamsal dolanımların yatay hareketi ile ısı transferi de söz konusudur. Taşınan parçacıklar, dalga hareketleriyle karışır. Bu karışıklık, yatay dalga izleriyle gösterilir. Ekvator civarındaki azalma ve kuzeydeki artış bu izlerde “merdiven” modeli oluşturur (Baldwin vd., 2001).

3. F BÖLGESİ ANOMALİLERİ

İyonküre'nin F bölgesindeki anomaliler, mevsimsel anomali ve yarıyıllık-yıllık değişimler, gece F2-bölgesi, Ekvator anomalisi olarak farklı zaman ve coğrafik konumlar altında sınıflandırılmaktadır.

3.1. Mevsimsel Anomali ve Yarıyıllık-Yıllık Değişimler

İyonküre'nin F2 bölgesinin anomaliler sergilediği bilinmektedir. Öğle saatlerinde NmF2 değerindeki mevsimsel değişime ait birçok anomali kaydedilmiştir. Gözlemler sonucunda NmF2'nin kış değerlerinin yaz değerlerinden öğle saatlerinde çok daha büyük olduğu bulunmuştur. Bu durum, iyon ve elektron üretiminin kışın çok küçük olmasının beklenmesine ters bir durumdur. Bu durumu genellikle “mevsimsel anomali” veya “kış anomalisi” denilmektedir. İyonküre’de NmF2’nin yıllık değişimi incelendiğinde elektron yoğunluğunun Aralık ayında Haziran ayındakinden %20 daha fazla olduğu ölçülmüştür. Güneş yer mesafesinin değişiminden dolayı Ocak ayında en büyüktür. Buna da “yıllık anomali” denir (Rishbeth, H. ve Garriot, O.K., 1969).

Gün dönümlerinde NmF2'deki minimumlarla birlikte ekinokslardan maksimum gözlenir. Bu ise “ yarıyıllık anomali” olarak bilinir. Bu anomaliye düşük enlemlerde çok rastlanır. Günlük değişimlerde öğle saatlerinde, elektron yoğunluğunda küçük bir azalma olur ve minimumlar sabah ve akşamüstü meydana gelir. N_e değerinin akşam saatlerindeki değişiminin özellikle gün batımındaki elektron sıcaklığındaki hızlı düşüşlere bağlı olduğu düşünülür. Minimum Güneş lekesinde kış anomalisi ölçülmemiştir. Elektron yoğunluğundaki artışın başlaması kışın yazdan daha büyük bir χ zenit açısıyla olur. Bu açının kışın yaklaşık 97° yazın yaklaşık 93° olduğu tespit edilmiştir (Rishbeth, H. ve Garriot, O.K., 1969).

Yarıyıllık ve mevsimsel anomalisi her ikisinin de atmosferin bileşenlerindeki değişimlere çok sıkı bağlı olduğu bulunmuştur. Anormal olarak kışın yüksek NmF2 değeri, $[O]/[N_2]$ oranında etkilenir. $[O]/[N_2]$ kış mevsim değerleri yaz mevsim değerlerinden büyüktür. Nötr yoğunluktaki bu fark, NmF2'nin öğle zamanı kışın yazdan daha büyük olmasına neden olur. NmF2 değeri gün doğumundan sonra kışın, yazdan daha hızlı bir şekilde artar. Eğer $[O]/[N_2]$ oranı küçük olursa O^+ iyonu yoğunluğunun zamanla değişimi de küçük olur. Orta enlemlerdeki alt İyonküre’de kışın, elektron yoğunluğundaki artıştan kaynaklanır.

Moleküler gazlar ve atomik gazlar, plazmanın kayıp ve üretim oranlarını kontrol ettiğinden dolayı düşük bir atomik veya moleküler oran, İyonküre'deki düşük elektron yoğunluğundaki artışı verir. Diğer yandan kışın, sabah saatlerindeki hem solar maksimumda hem de solar minimumda fotokimyasal süreç, taşınma süreçlerinden etkilidir ve bunun etkisi ile elektron yoğunluğu artmaktadır (Rishbeth, H., 1973).

3.2. Gece F2-Bölgesi

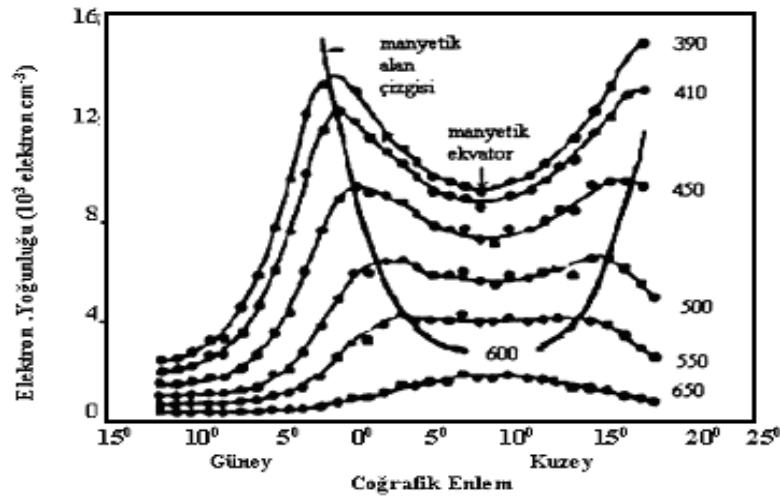
Gece, gün batımından sonra F2 bölgesinde üretim durur ve kayıplar başlar. Gün batımından hemen önce yoğunluk artar ve akşam saatlerinde bir maksimuma ulaşır. Geceleyin F2 bölgesindeki elektron yoğunluğundaki azalma düzensiz bir şekilde olmaktadır. Bu azalma bütün gece boyunca devam etmez. Özellikle kışın yoğunluk, bir azalıp bir artar. Orta enlemlerde elektron yoğunluğu, kış aylarında ve ekinokslarda gece yarısından sonra çok yavaş bir şekilde azalır ve ikincil değişimlerle, gün doğumuna yakın kalır (Taban seviye). Bu taban seviye 10^5 cm^{-3} civarındadır. Yüksek enlemlerde, gece nötr rüzgârlar plazmayı kaybın az olduğu bölgelere, yukarı taşıyarak elektron yoğunluğunun artmasına neden olur. Düşük enlemlerde ise elektromanyetik sürüklenme ile birlikte nötr rüzgârlar, gece F2 bölgesinin devamlılığını sağlamaktadırlar.

F2 bölgesinde, elektron sıcaklıklarının iyon sıcaklıklarından daha fazla olduğu, gündüz kadar gecede iyi gözlenir. Geceleyin, plazmayı ısıtan bir enerji kaynağı yoktur. Plazma, soğuduğu zaman, yüksek ısı kapasitesine sahip elektron yoğunluğu, elektron sıcaklığı ve elektron yoğunluğu arasındaki pozitif bağıntıyı ($k_{\text{loss}} = N_m \alpha T^{-1/2}$) verir. Gece üretim durur. Bu nedenle gece elektron yoğunluğundaki değişimler, kayba ve taşınma süreçlerine bağlı olacaktır. Elektron yoğunluğunun, gece saatlerindeki, yükseklik ve yerel zamana bağlı değişim verilerinin sayısal analizleriyle kayıp, difüzyon ve sürüklenme hızı değerlerini elde etmek mümkündür (Rishbeth, H. ve Garriot, O.K). Sabit yükseklikte kayıp ve difüzyon değerlerini, gece gündüzden oldukça küçük bulunmuştur. Bu durum gece anomalisine cevap sağlamaktadır. Gece ve gündüz arasındaki kayıp oranındaki bu fark, sabit yüksekliklerdeki moleküler yoğunlukta büyük fark yaratan ısısal genleşme ve büzülmeden ileri gelir. Ayrıca nötr rüzgârlardan dolayı yukarı doğru sürüklenme etkileriyle de açıklanabilir. Fakat bu mekanizmalar, elektron yoğunluğundaki kayıpları tamamen durdurmaz (Aydoğdu, M. ve Özcan, O., 1991).

Bunlardan başka gece elektron yoğunluğunun artmasına önemli etkisi olan süreç, Protonküre’den gece aşağı doğru olan H^+ iyonu akışıdır. Gece, O^+ iyonu yoğunluğu gündüze göre daha az olduğu için H^+ tabakası aşağıya iner (Aydoğdu, M., 1980).

3.3. Ekvator Anomalisi

Düşük enlemlerdeki F2 bölgesinin davranışı farklıdır. Bazı zamanlarda elektron yoğunluğu, gece yarısı, öğle saatlerinden daha büyük olmaktadır. Burada, düşey yönde oluşan difüzyon ihmal edilebilir. Çünkü iyonlaşma, yerin manyetik alan çizgilerinin bir tarafından öbür tarafına doğru dağılmaz, alan çizgileri boyunca dağılır. Bu dağılım iyonlaşmanın enlemsel dağılımına etki edebilir. Bunun yanı sıra elektromanyetik sürüklenmede elektron yoğunluğunun günlük değişimine büyük ölçüde etki eder (Rishbeth, H., 1967).



Şekil 3.1. Kuzey ve güney yarımkürelerde Ekvatorial çukur ve tepeler (Rishbeth, H., 1967).

Şekil 3.1’den de görüleceği gibi, enlemin bir fonksiyonu olarak NmF2’nin gece saatlerindeki değerleri, kuzey ve güney yarımkürelerde 15°- 20° enlemlerde “tepelerle” birlikte manyetik dip Ekvator üzerinde merkezlenmiş “çukur” denilen bir durum sergiler. Çukur, F2- tepesinin aşağısındaki ve yukarısındaki sabit yükseklikteki elektron yoğunluğuna ait eğrilerden elde edilir. Burada Ekvator çukura ait iki temel teori bulunmaktadır. İlk teori, yerin manyetik alan çizgilerinden aşağıda, yerçekimi altındaki plazmanın difüzyonuna bağlıdır. Bu durum, plazmanın boşalmasına, kuzeyde ve güneydeki yoğunluğa etki eder. Anomalinin, iyonlaşmanın Ekvator bölgesinden dağılmasından kaynaklandığını, kuzey ve güney yarımkürelerde elektronların birikmesine neden olduğu ileri sürülmüştür. İkinci teoride ise manyetik alan boyunca gündüz plazmayı yukarı yönlü

hareket ettiren sürüklenmeler kullanılır. Süreklilik denkleminin difüzyon ve sürüklenmeyi içeren denge çözümleri, bu mekanizmanın çok kolay gözlenen bir çukur meydana getireceğini ifade etmektedir. Bu önerme, manyetik alanın geometrisi hesaba katılarak, difüzyon denklemi kullanılarak elde edilir. Bununla birlikte elektromanyetik sürüklenme hesaba katılır. Bu teoride, doğuya doğru olan elektrik alanlar, gün boyunca yukarı yönlü bir plazma sürüklenmesi meydana getirir. Plazma bu yolla yukarı doğru kaldırılır, Ekvator'dan uzaklaşarak manyetik alan çizgilerinden aşağıda dağılır. Elektromanyetik sürüklenme ($\perp \mathbf{B}$) ve difüzyon ($\parallel \mathbf{B}$) birleşerek plazma hareketinde “fıskiye” gibi yukarı doğru artmaya neden olur. Böylece anomali tepeleri Ekvator üzerinde yüksek bölgelerden difüzyon yoluyla beslenir. Burada üretim oranı çok düşüktür. Fakat plazma, üretim oranının daha büyük olduğu F2- tepesi civarında, daha düşük seviyelerden çekilir. Difüzyon ve elektromanyetik sürüklenme birleşimi, alt İyonküre’de bir dinamo hareketi meydana getirir (Rishbeth, H., 1998).

Elektron yoğunluğunun günlük dağılımındaki anormallik günün çoğunda meydana gelir. Çoğunlukla gün batımında oluşur ve gece yarısından sonra gözden kaybolur. Yine anormallik, farklı boylamlarda ve farklı Güneş döngüsünde, farklı özellikler gösterir. Ekinoks (gece gündüz eşitliği) dönemlerdeki periyotlar hariç, çoğu zamanlarda Ekvatorial çukur, Ekvator üzerinde asimetrik olarak gözlenir. Genel olarak Ekvator bölgesinde, elektron yoğunluğundaki anormalliğe neden olan en etkili süreç elektromanyetik sürüklenmedir (Kurt, K., 2008).

4. QBO YAYILIMINDA ETKİN OLAN DALGALAR

Atmosferin alt bölgelerindeki, özellikle Tropoküre'deki meteorolojik süreçler, yukarı yönlü yayılan dalgalar sayesinde baskın bir şekilde İyonküre'yi etkilerler. Bu dalgalar Gezegensel dalgalar, gelgit dalgaları, Gravity dalgaları ve infrasonik (ses hızının altındaki hızlara sahip) dalgalardır. Dalga aktivitesine bağlı günlük gelgit ve Gravity dalgaları birincil kısım, Gezegensel dalgalar ve bazı Gravity dalgaları da ikincil kısım olmak üzere İyonküre'nin içinde üretilebilir. Ancak bu dalgalar genellikle aşağıdan yayılım yoluyla İyonküre'ye girerler. Fakat Gezegensel dalgalar yukarı yönlü yayılan gelgitlerin modülasyonu gibi farklı potansiyel yollar aracılığı ile sadece dolaylı olarak İyonküre'nin F bölgesine doğru yukarı yönde yayılabilirler. Dalgalar Mezoküre-alt Termoküre (Mesosphere Lower Thermosphere-MLT) bölgelerinde lineer olmayan ilişkiler yoluyla yukarı yönlü yayılarak değişir. Alt bölgelerden yukarı yönlü yayılan dalgalar İyonküre'nin alt kısımlarındaki E bölgesinde ve F bölgelerinde ayrı ayrı etkilere sahiptirler. Nötr atmosferde yukarı yönlü yayılan dalgalar hem atmosfer-İyonküre sisteminde dikey çiftlenmesi için hem de radyo yayılımı ve haberleşmeler için önemlidir. Bu dalgalar radyo yayılım şartlarının sağlanmasında ve belirsizliklerin giderilmesinde önemli ölçüde sorumludurlar (Lastovicka, 2005; Sağır, 2013).

Atmosferik dalga yayılımının dört temel modeli vardır. Bunlar şu şekilde sınıflandırılabilir:

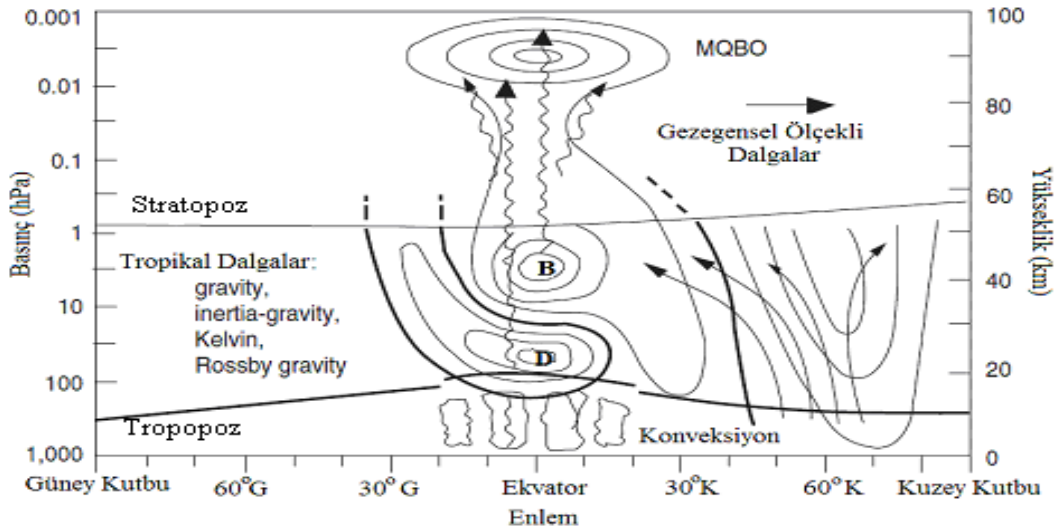
Akustik (ses) dalgalar, sıcaklık ile kontrol edilebilir hızlara sahiptirler. Bu dalgalar, parçacık salınımının yayılım yönüne paralel olan boylamsal dalgalardır. Sıkıştırma kuvvetinden dolayı ortamın sıkışması veya gevşemesi, bu dalgaların ortaya çıkmasının nedenidir.

Gravity dalgaları, kararlılık ile kontrol edilen hızlara sahiptirler. Bu dalgalar, dikey statik kararlılığın veya kaldırma kuvvetinin yeniden oluşum mekanizmasıdır. Gravity dalgaları, hidrostatik denge olaylarında çok daha etkindir.

İnertia Gravity dalgaları, Coriolis parametresini etkileyecek hızlara sahiptirler. Bu dalgalar, dünyanın dönmesini hissettirmek için yeterince uzun periyoda sahip olan dalgalardır.

Rossby Gravity dalgaları, Coriolis parametresinin enlemsel değişimi ile kontrol edilen hızlara sahiptirler. Bu dalgalar, yeniden oluşum mekanizması ve potansiyel girdabın gradiyenti olan dalgalardır. Kuzey yarım kürede daha önemli olan bu dalgalar, yer şekillerinin kuzey-güney doğrultusunda yayılan hava kitlelerinin bir ürünüdür. Bu tür yer değiştirmeler, toplam potansiyel girdabının korunmuş bir şekli gibi girdabın gezegensel ve göreceli bileşenlerindeki değişimin nedenidir. Sonuç olarak bir enlem çevresinde dalga desenlerini üreten, kuzey-güney yönlü salınımlardır (Mohanakumar, 2008; Sağır, 2013).

QBO'nun Stratoküre'den Mezoküre'ye taşınmasında etkili olan dalgalar Şekil 4.1'te verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi QBO, dalgalar yardımı ile stratopozu aşarak MLT'ye kadar ulaşabilmektedir. Burada çok etkin olan elektrik alan günlük değişiminde dalgalanmalar üretir. Dalgalanan elektrik alan yerin jeomanyetik alan çizgiler boyunca İyonküre'nin F bölgesine kadar taşındığı çalışmalarda öngörülmüştür (Chen, 1992; Echer, 2007). QBO ile ilişkili dalgalar İnertia Gravity, Gravity, Ekvator bölgesi (Kelvin ve Rossby Gravity dalgaları) dalgaları ve Gezegensel dalgalardır.



Şekil 4.1. QBO'nun dinamik kontrollerinin şematik gösterimi (Baldwin vd., 2001; Sağır, 2013).

QBO'nun alt Stratoküre'den Mezoküre'ye kadar taşınmasında etkili olan dalgalar aşağıda başlıklar halinde açıklanmıştır.

4.1. İnertia Gravity Dalgaları

İnertia Gravity dalgalarının sürekli akış durumundaki kütle yer değiştirmeleri Şekil 4.2'de gösterilmiştir. Bu yer değiştirmeler hem kaldırma hem de dönme kuvvetine karşı bir direnç sergiler. Sonuçta salınımdan üretilen dalgalar, İnertia Gravity dalgası olarak

bilinir. Kütlenin şekildeki gibi y-z koordinat düzleminde eşit bir yol boyunca yer değiştirdiğini düşünelim. Bu şekilde δs , eğime göre dikey yer değiştirme, kaldırma kuvveti ise $-N^2 \delta z \cos \alpha$ olur. Boylamsal dy yer değiştirmesi için kütle yolunun eğime göre paralel kuvvet bileşeni $-f^2 \delta y \sin \alpha$ olacaktır. Temel akımın enlemle sabit olduğu varsayılırsa kütle salınım denklemi aşağıdaki gibi olacaktır:

$$\frac{D^2}{Dt^2} \delta s = -(f \sin \alpha)^2 \delta s - (N \cos \alpha)^2 \delta s \quad (4.1)$$

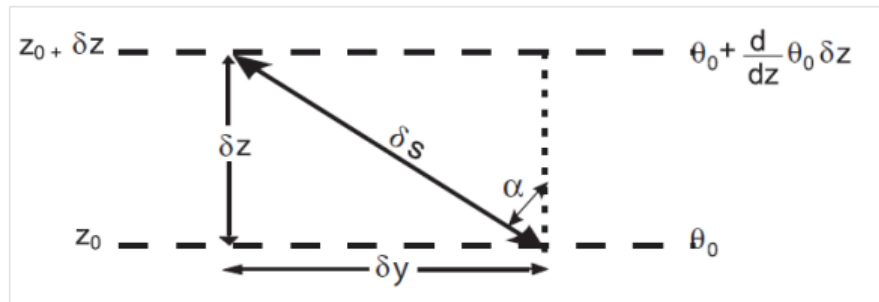
burada δs , kütle yer değiştirmesi ve N, Brunt-Vaisala frekansıdır. Dağıtkanlık ilişkisi frekansı,

$$v^2 = N^2 \cos^2 \alpha + f^2 \sin^2 \alpha \quad (4.2)$$

eşitliği ile ifade edilir. Normalde $N^2 > f^2$ olarak gösterilir, bu yaklaşım İntertia Gravity dalgalarının frekansları arasındaki bir değişimde yanlıştır. Yataya doğru yörünge eğimi olarak f frekans yaklaşımı, dikeye doğru yörünge yaklaşımı olarak N frekans yaklaşımıdır. Tipik orta enlem Stratoküre'ye ait şartlar için İntertia Gravity dalgaların periyodu 12 dakikadan 15 saate kadar değişir. Denklem 4.2'deki $f^2 \sin^2 \alpha$ büyüklüğü, $N^2 \cos^2 \alpha$ büyüklüğüne benzer olduğu için;

$$\tan^2 \alpha \cong \frac{N^2}{f^2} = 10^4 \quad (4.3)$$

olacaktır.



Şekil 4.2. Boylamsal düzlemde İntertia Gravity dalgası için kütle sürüklenmesi (Mohanakumar, 2008)

Bu durumda denklem 4.2'de $v \ll N$ olur. Bu da düşük frekanslı dalgaların Dünya'nın dönmesinden önemli ölçüde etkilendiğini ifade eder (Mohanakumar, 2008).

Batı yönlü İntertia Gravity dalgaları QBO'nun doğu yönlü yayılımını engellediği görülürken, doğu yönlü inertia-Gravity dalgaları QBO'nun batı yönlü yayılımını engeller.

Ekvator bölgesindeki İnertia Gravity dalgası çalışmalarında, (8.5°K ve 23.5°B) coğrafik koordinatında 3 saatlik rawinsonda verileri analizinde, QBO'nun doğu yönlü kesilim fazında olduğu görülmüştür. Bu analizde 30-40 saatlik bir periyoda sahip inertia-Gravity dalgalarına benzer yapılar ve 1.5 km kısa dikey dalga boyu dalgalar tespit edilmiştir. Yapılan çalışmada bölgesel rüzgârların batı yönde olduğu tahmin edilmiştir (Baldwin vd., 2001).

QBO'nun batı yönlü kesilim fazı ortaya çıktığında, 1990 yılının Şubat-Mart aylarında 24 gün için 7.6°G ve 112.7 °D coğrafik koordinatı için yapılan ve alt Stratoküre'ye odaklanılan bir çalışmada, rüzgâr ve sıcaklık verileri için 6 saatlik zaman aralığında ve 150 m dikey çözünürlükte veriler elde edilmiştir. Bu çalışmada dalganın aşağı yönlü yayılımının alt Stratoküre'de olduğu gözlemlenmiştir. Bu dalgaların dikey dalga boyu yaklaşık 3 km ve dalga periyodu yaklaşık 2 gündür. Benzer dalga yapısı, bölgesel ve boylamsal rüzgâr dalgalanmaları içinde görülür. Sıcaklık ve rüzgâr dalgalanmalarının yatay genliği 2 K ve 3 m/s civarındadır (Cadet ve Teitelbaum, 1979; Baldwin vd., 2001).

4.2. Gravity Dalgaları

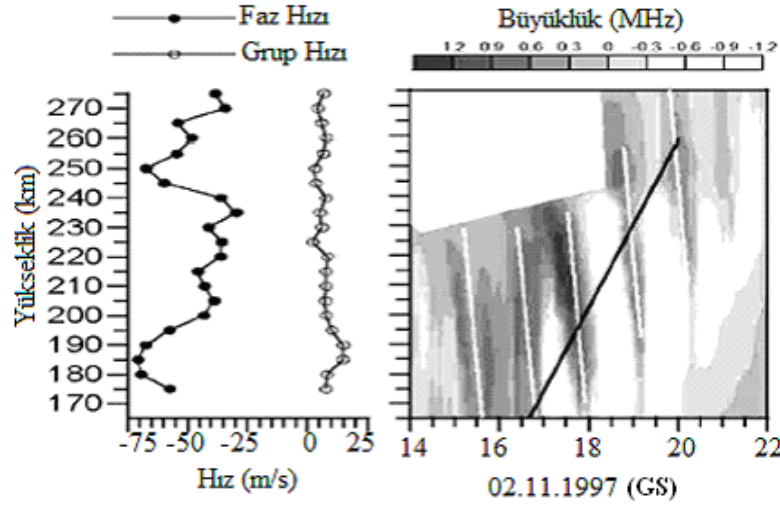
Dünyanın çekim kuvveti ve atmosferik yoğunluk değişimi tarafından üretilen dengeye geri çağırıcı kuvvet, zorlayıcı kuvvetler ile karşılaştırılabilir olduğunda oluşan dalgalara Gravity dalgaları denir. Düşük frekans veya yüksek periyotta (birkaç dakikadan birkaç saate) değişirler (Sağır, 2013).

Gravity dalgaları, küçük ölçeklerde atmosferdeki kaldırma kuvvetinden dolayı ortaya çıkar. Bu dalgalar küresel değildir. Bu yüzden Yerküre'nin eğriliğine bağlı değildirler. Dalgalar genellikle yerel kaynaklara sahiptirler ve sınırlı olarak değişen dalga boyları ile yayılırlar. Dünya atmosferinde Gravity dalgaları, Mezoküre ve Stratoküre'de üretilir. Bu bölgelerden daha sonra Termoküresel yüksekliklere doğru yayılırlar ve aynı zamanda Termoküre'de de üretilirler. Alt atmosferde Gravity dalgaları depremler, volkanlar, gök gürültülü fırtınalar, dağlar üzerinde akan hava akımları ve jet akımlardaki tedirginliklerle üretilirler. Üst atmosferde ise Joule ve parçacık ısınma oranları, yüksek enlemlerde Lorentz Kuvveti, gelgitlerin yukarı yönlü yayılımındaki kırılmalar, Güneş tutulmaları ve Güneş yörüngesindeki değişimler ile üretilir (Schunk ve Nagy, 2009).

Atmosferik Gravity dalgaları İyonküre’de tedirginlikler üretebilir. Bu tedirginliklerin ardından auroral İyonküre’de enerjili parçacık yağışı, elektrik akımları ve mekanik zorlanmalar tarafından üretilen ısıma sayesinde varlığını devam ettirir. İyonküre’de atmosferik Gravity dalga tedirginliklerinin diğer kaynakları, güçlü Tropoküre’ye ait olaylar ve rüzgâr kesilimi ve türbülans bölgeleri ile ilişkili alt ve orta atmosferde yer alır. Bu tür tedirginliğin bir kaynağı olarak Güneş tutulmalarını gösteren çalışmalar vardır. Bazı çalışmalarda Güneş tutulmalarının bir sonucu olarak atmosferik Gravity dalgalarının İyonküre’ye ulaştığı gösterilmiştir. Daha sonra İyonoküre’ye ait tedirginlik üretebilen bir dalga kesilimi oluşur ve bir Gravity dalga alanına katkıda bulunabilir. Güneş tutulmaları, tedirginlik gibi bir dalga üretebilir ve İyonküre’de elektron yoğunluğunu değiştirebilir. Aynı zamanda Termoküre’de sıcaklık tedirginlikleri de üretebilir (Altadill vd., 2004).

F-Bölgesine ulaşan bazı Gravity dalga izleri de gözlenmiştir. Bu izlerde dinamikler, üretim ve kayıp mekanizmaları arasındaki kaynak cevap ilişkisini çalışmak üzere hızlı bir şekilde art arda İyonoküre’ye ait çalışmalar düzenlenerek değerlendirilmiştir. Bu olaylar soğuk Tropoküre’ye ait bölgelerin taşınması ve Güneş tutulmaları ile ilgilidir. Bu atmosferik Gravity dalgalarının anlamlı sonuçları, kendi baskın olan periyotları, çeşitlilik dereceleri, var olma süreleri ve dikey yapıları ile ilişkilidir. Bu durum Şekil 4.3’te gösterilmiştir. Şekilde soldaki grafik yüksekliğin bir fonksiyonu olarak 75 dakikalık baskın periyotlarla dalga paketinin faz ve grup hızını gösterir. Sağ taraftaki grafik ise zaman ve yüksekliğin bir fonksiyonu olarak plazma frekansında bu olayların sonuçlarının tedirginliğini gösterir. Bu grafikte siyah çizgiler ortalama 8 m/s değerindeki bir hızla dalganın enerji yayılımını, beyaz çizgi ise ortalama -47 m/s değerindeki bir hızla dalgaların faz yayılımını göstermektedir. Tedirginliğin kaynakları oldukça farklı olmasına rağmen İyonküre çok benzer periyotlarda (60-80 dk arası) tepki verir. Bu dalgaların var olma süreleri yaklaşık salınım başına 4-6 (6 saat kadar) devirdir. Plazma frekansı ise 0.2-1.2 MHz arasında değişir. Enerjileri yaklaşık 5-10 m/s ortalama hız ile dikey olarak yayılır. Bütün bunlarla birlikte Gravity dalgaların dikey yapısı oldukça farklıdır (Sağır, 2013). Soğuk kısımların neden olduğu Gravity dalgaları F bölgesinde yukarı yönlü yayılmasına rağmen, Güneş tutulmalarının neden olduğu Gravity dalgaları F1 ve F2 tabakaları arasındaki geçiş bölgesinde üretilir ve bu bölgeden eş zamanlı olarak aşağı ve yukarı yönde yayılır. Bundan dolayı Gravity dalgalarının dikey yapısı kendi oluşum kaynağına göre farklı modeller gösterir (Altadill vd., 2004).

Tropoküre’de oluşan Gravity dalgaları, alt atmosferik seviyelerdeki dinamiklerden kaynaklanır. Bu yüzden Gravity dalgaları yukarı yönlü yayılır. Güneş tutulmasının neden olduğu Gravity dalgaları, hem plazma hem de nötr moleküller için ölçek yüksekliğinin azalmasına yol açan Güneş radyasyonunun azalması ile bağlantılı soğuma süreçlerinden kaynaklanır (Sağır, 2013).



Şekil 4.3. 2 Kasım 1997 günü Ebro (40.8°K, 0.5°D) istasyonunda bir soğuk kısım geçişine neden olan Gravity dalga olaylarının dikey yapısı (Altadill vd.,2004)

Tam tersi olarak aynı zamanda da hem plazma hem de nötr atomlar için ölçek yüksekliğinin artmasına yol açan Güneş radyasyonunun artması ile bağlantılı olan ısınma süreçlerinden de kaynaklanır. Bu F1 ve F2 tabakaları arasındaki taşınmaların yanı sıra, F1 üretim piki olarak nötr moleküller ve plazmanın aşağı veya yukarı yönlü hareketine sebep olur. Bu yüzden tedirginliğin kaynağı, enerjinin yukarı ve aşağı doğru yayıldığı bu bölgede bulunur (Altadill vd., 2004).

4.3. Ekvator Bölgesindeki Dalgalar

Ekvator bölgesi dalgaları, Ekvator’a yakın atmosferik dalgalar olarak bilinip oldukça farklı karakterlere sahiptirler. Farklı mekanizmalar ile oluşurlar. Ekvator bölgesi dalgalarının genliği; coğrafik Ekvator’a yaklaştığında maksimum olur, coğrafik Ekvator’dan uzaklaştıkça hızlıca azalma gösterir. Bu dalgalar orta ve alt Stratoküre’de QBO’dan, üst Stratoküre ve alt Mezoküre’de yıllık salınımdan sorumlu olarak kabul edilirler (Asnani 2005; Mohanakumar, 2008). Bu iki Ekvator bölgesi dalgaları, alt

Stratoküre'deki QBO üzerinde önemli rol oynar. Alt Stratoküre'de Kelvin ve Rossby Gravity dalgalarının karakteristik özelliği Tablo 4.1'de verilmiştir (Mohanakumar, 2008).

Bir Kelvin dalgası, Dünyanın Coriolis kuvvetini dengeleyen atmosferdeki bir dalgadır. Kelvin dalgasının bir özelliği de dağıtkan olmamasıdır. Yani dalga tepesinin faz hızı, tüm frekans değerleri için dalganın grup hızına eşittir. Bu durum zamanla kendi şeklini koruyacağı anlamına da gelir (Mohanakumar, 2008).

Kelvin dalgaları QBO ile etkileşim halinde olduğu için QBO tarafından şekillenir. Kelvin dalga aktivitesinin gelişimi, yayılım şartları doğu yönünde hareket eden dalgalar için uygun olduğunda QBO'nun batı yönlü fazı boyunca gözlemlenir. Kelvin dalgaları, bölgesel rüzgârlar batı yönünden doğu yönüne doğru ilerlerken yayılımlarında kesilime uğramadan ilerlerler. Böylece bu dalgalar momentum taşırlar ve buna göre bölgesel rüzgâr yönünün tersine katkıda bulunurlar (Ern ve Preusse, 2009).

Ekvator bölgesi dalgalarının diğer bir türü de Rossby Gravity dalgalarıdır. QBO'nun doğu yönlü periyodu boyunca Rossby Gravity dalgalarına benzer olan batı yönlü yayılan Ekvator bölgesi dalgalarının bir aktivitesi vardır. Bu dalgalar Stratoküre'deki taşınmalar için en önemli olan gezegensel ölçekli dalgalardır. Rossby Gravity dalgaları, potansiyel girdapta geniş ölçekli değişimlerde gelişir. Bu dalgaların yeniden oluşumu, Coriolis kuvvetinin enlemle değişimi ile olur. Bu durum, yerküre coğrafyasının dinamiklerinin de bir yansımasıdır (Ern ve Preusse, 2009; Mohanakumar, 2008).

Nötr atmosferdeki Gezegensel dalgaların bir benzeri gibi İyonküre'nin E bölgesinde manyetize olmuş Rossby Gravity dalgaları, E bölgesinin dinamo akımı ile iyonize edilmiş bileşenlerde de üretilmiş olabilir (Lastovicka, 2005).

Tablo 4.1. Atmosferde Kelvin ve Rossby Gravity dalgalarının karakteristik özellikleri

Özellik	Rossby Gravity Dalgası	Kelvin Dalgası
Periyot	≈ 4.5 gün	≈ 15 gün
Yatay dalgaboyu	≈ 10000 km	≈ 30000 km
Dikey dalgaboyu	≈ 6 km	≈ 8 km
Yere göre faz hızı	≈ 23 m/s batıya doğru	≈ 25 m/s doğuya doğru
Dalga Tedirginliğinin Genliği		
Bölgesel rüzgâr hızı u	≈ 3 m/s	≈ 8 m/s
Boylamsal rüzgâr hız v	≈ 3 m/s	0
Sıcaklık (T)	≈ 1 °C	≈ 3 °C
Jeopotansiyel yükseklik Z	≈ 30 m/s	≈ 4 m/s
Dikey hız	≈ 0.15 cm/s	≈ 0.15 cm/s
Eğim	Yukarı yöne gidiş kadar batı yönlü	Yukarı yöne gidiş kadar doğu yönlü
Dikey momentum akışı	Yukarıya doğru batı yöndedir fakat boylamsal sirkülasyon çiftlenmesi yukarıya doğru doğu yönde taşır	Yukarıya doğru batı yönde momentum taşır
Stratoküre’de hassas ısının kutuplara doğru akışı	Her iki yarım kürede de kutuplar doğru ısı taşır	Ne kutuplara ne de Ekvator’a doğru ısı taşımaz
Dikeyde grup hızı	Faz hızı aşağı doğru hareket eder fakat grup hızı yukarı yönlüdür	Faz hızı aşağı doğru hareket eder fakat grup hızı yukarı yönlüdür
Emilim bölgesi	Batı yönlü kuşak boyunca nüfuz eder fakat doğu yönlü kuşakta emilir	Doğu yönlü kuşak boyunca nüfuz eder fakat doğu ve batı yönlüler arasındaki geçiş kuşağı yakınında emilir

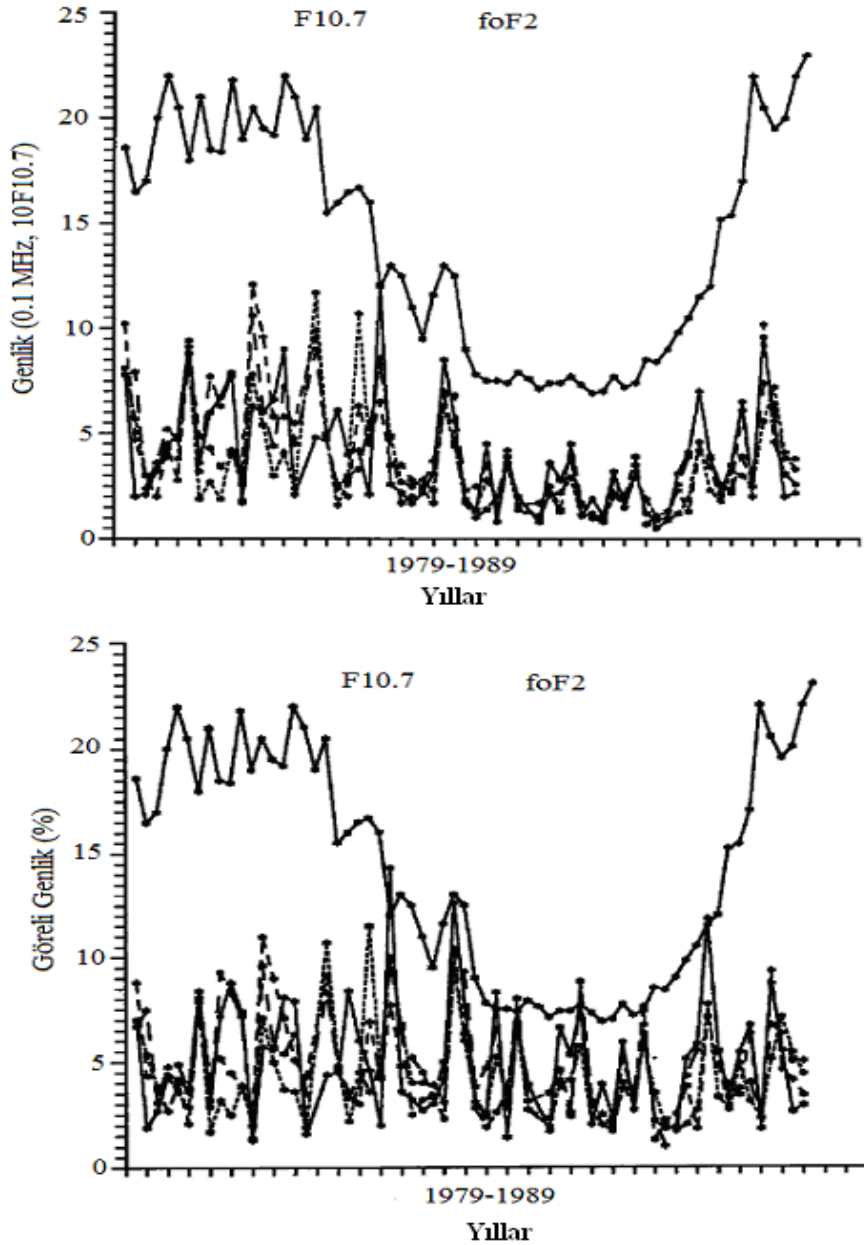
4.4. Gezegensel Dalgalar

Tropoküre kökenli Gezegensel dalgaların kış aylarında 110 km civarına kadar çıktığı gözlenmiştir. Yaz aylarında Gezegensel dalgalar, Stratoküresel rüzgârların sınırlamasından dolayı Tropoküre'den yayılamazlar. Bununla birlikte, gezegensel ölçekli taşınma hareketi, Stratoküre'deki yüksek sıcaklık değişimlerine sebep olan jet akımların basınçsal sabitliği veya normal modları ile ilişkili olarak üst ve orta atmosferde gözlemlenebilirler. Üst ve orta atmosferik yüksekliklerde kış yarım küresinden yaz yarım küresine doğru Gezegensel dalga yayılımı da vardır (Sağır, 2008). Alt İyonküre'de Gezegensel dalga türü salınımların üst Mezoküre'deki rüzgâr salınımları ile oldukça iyi örtüştüğü ve bunların Güneş kökenli salınımlar olmadıkları ifade edilmiştir (Lastovicka, 1997a; Lastovicka, 1997b; Lastovicka, 2000).

Gezegensel dalgalar E bölgesi karakteristikleri olan f_oE ve h_mE yüksekliğinde görülmüştür. Gezegensel dalgaların E bölgesinin üst kısmına direkt olarak etki etmesi zordur. Bununla birlikte gezegensel dalgaların orta enlemlerde, E bölgesinin şekillenmesindeki etkisi ihmal edilmeyecek kadar önemlidir. 1970 yılı Ekim-Aralık ayları arasındaki zaman diliminde kuzey yarım küre iyonosonda ölçümlerinden h_mE yüksekliğinde Gezegensel dalga türü salınımların meydana geldiği görülmüştür (Sağır, 2013).

f_oF2 ve h_mF2 değerleri üzerindeki Gezegensel dalgaların etkileri iyonosondalar ile ölçülür. Gezegensel dalga türü salınımları çalışmaların pratik etkileri de vardır. Çünkü bu salınımlar günün belirli zaman aralıklarında İyonküre'ye ait parametreleri etkiler. f_oF2 'de 5, 10 ve 16 günlük Gezegensel dalga türü salınımları yaz aylarında Güneş aktivitesinin minimum olduğu zamanlar boyunca minimum değeri gösterir. f_oF2 'nin belirlenme hassasiyetinden daha büyük olmadığından da herhangi bir pratik amaç için ihmal edilebilir. Öte yandan Güneş aktivitesinin maksimumdan minimuma doğru değişmeye başladığı kış aylarında Gezegensel dalgaların f_oF2 üzerindeki etkisi 1 MHz'den daha büyük olabilir. Şekil 4.5'te üst panelde Gezegensel dalga türü salınımlarının genliğinin Güneş aktivitesine önemli ölçüde bağlı olduğu görülmektedir. Bu tür bağıllık f_oF2 'nin güçlü Güneş döngüsüne bağıllığı ile indükleniyor olabilir. Bu yüzden şekildeki alt panel, Gezegensel dalga türü salınımların göreceli genliğini (f_oF2 tarafından sürüklenen genlik) ifade etmektedir. Göreceli genlikte Güneş aktivitesinin etkisi çok küçüktür. Bu durum, Güneş aktivitesinde Gezegensel dalganın bağıllığının az olduğunu ortaya koyar. f_oF2 'de

Gezegensel dalga türü salınımların tipik genlikleri yaklaşık %5 civarındadır. Ancak üst sınırı neredeyse %15 civarına kadar çıkmaktadır. Şekildeki her bir veri noktası iki aylık uzun bir zaman içinde bir spektrumu temsil eder. 13.5 günlük salınımlar ise Güneş veya jeomanyetik aktivitenin katkısının bir göstergesi olabilir (13.5 gün=27 günlük Güneş döngünün yarısı)(Sağır, 2013).



Şekil 4.4. Kaliningrad için foF2 değerlerindeki 5 gün (kısa kesikli çizgi), 10 gün (orta kesikli çizgi), 13.5 gün (tam çizgi) ve 16 günlük (uzun kesikli çizgi) genliğin 1979 yılı Ocak ayından 1989 yılı Aralık ayına kadar değişimi (Lastovicka, 2005; Sağır, 2013)

Gezegensel dalga veya farklı periyotlu Gezegensel dalgaların üst üste binmesi, gelgit dalgalarını şekillendirebilir. Dinamo etkisiyle İyonküre'nin E bölgesinde Sq (Solar quiet-Güneş'in sakin olduğu zaman) akımının ve elektrik alanların günlük değişimini ve dalgalanmaları üretebilir. Değişen elektrik alan, jeomanyetik alan çizgileri boyunca İyonküre'nin F bölgesine taşınabilir. Ardından “fıskiye etkisi” vasıtasıyla bu elektrik alan değişimi, Ekvator bölgesine ait iyonizasyon anomalisinin (EIA) günlük değişiminin üretimine neden olabilir. Çünkü bütün bu değişimler aynı kaynaktan gelir ve eş zamanlıdır. Gezegensel dalganın kendisi direkt olarak F2 bölgesinde yayılamaz, fakat yukarıda bahsedildiği gibi elektrodinamik etkileşimler (çiftlenmeler) boyunca EIA'nın günlük değişimlerinde var olabilir. Yapılan son çalışmaların, QBO ile eş zamanlı EIA salınımlarının günlük değişim yoğunluğunun bu kabulü desteklediği görülmektedir. Keckhut ve Chanin (1989), Stratoküre'nin en önemli negatif ve pozitif etkisinin ilkbahar ve sonbaharda QBO'ya bağlı olduğunu ortaya koymuştur. Bu çalışmada QBO'nun doğu yönlü fazında Stratoküre'nin pozitif bir etkisi var olduğu ve Gezegensel dalganın yukarı yönlü yayılımının fıskiye ve dinamo etkileri vasıtasıyla EIA'nın daha geniş günlük değişimini üretmek için dinamo bölgelerine vardığı ve orta atmosfer boyunca geçebildiği ortaya konmuştur. Gezegensel dalganın yukarı yönlü yayılanlarının çoğu bu bölgede izlenir. Dalgaların sadece küçük bir bölümü EIA'nın daha küçük günlük değişimine yol açan bu bölgeye varır (Chen, 1992).

5. MATERYAL METOT

İstatistik, değişik anlamlarda kullanılan, bunun sonucu olarak da farklı tanımları olan bir kavramdır. Kavramın değişik anlamlarda kullanılması bir bakıma doğaldır. Çünkü istatistik günümüzde bütün çalışma alanlarında kullanılmaktadır. Tüm kavramlarıyla birlikte istatistiği genel olarak şu şekilde tanımlayabiliriz. Belirli amaçlarla toplanan benzer sayısal bilgilere “veri” denir. Verileri inceleme işiyle uğraşan bilim dalına da istatistik denir. Bu anlamı ile istatistik, belirli amaçlar için belirli yollarla veri toplama ve verileri inceleme amacıyla geliştirilmiş teknikler ve yöntemler bilimidir (Arıcı, 2005). Bu bölümde de, bu çalışmada kullanılan istatistiksel yöntemler hakkında bilgiler verilmiştir.

5.1. Korelasyon Yöntemi

Korelasyon, iki bazen de daha çok sayıda değişken arasındaki ilişkiyi gösterir. İlişkinin miktarı bir sayı ile belirtilir. Bu sayıya korelasyon katsayısı ya da ilişki katsayısı denir. Değişkenler arasındaki ilişkiyi belirlemek, aslında bu ilişkiyi gösteren matematiksel eşitliği belirlemektir. Söz konusu matematiksel eşitlik belirlerken kural olarak, bağımsız değişkene bağlı olarak bağımlı değişken üzerindeki ortalama değişmeyi gösteren matematiksel eşitlik aranır. İlişkiyi gösterecek eşitliğin mahiyeti değişkenlerin durumuna, sayısına ve aralarındaki ilişkinin biçimine bağlıdır.

Sürekli iki değişken arasındaki doğrusal ilişki miktarını gösteren Pearson momentler çarpımı korelasyon katsayısı +1.00 ile -1.00 arasında değişen değerler alabilir. Değişkenlerin ikisi de aynı yönde değişim gösterirse, aralarındaki ilişki pozitifdir; korelasyon katsayısının işareti de (+) dır. Değişkenlerden biri bir yönde değişirken, öteki ters yönde değişirse (biri azalırken diğeri artıyorsa), bu durumda ilişki negatiftir; korelasyon katsayısının işareti de (-) dir. Öte yandan değişkenler arasındaki ne pozitif, ne de negatif yönde bir değişme yoksa, bu durumda korelasyon katsayısı sıfırdır. Korelasyon katsayısının sıfır olması da değişkenler arasında hiçbir ilişki olmadığını gösterir (Özkan, 2003).

Pearson momentler çarpımı korelasyon katsayısının hesaplanmasında kullanılabilecek eşitlik, değişik biçimlerde yazılabilir. X ve Y, iki farklı değişken olmak üzere, ham verilerden korelasyon katsayısı aşağıdaki eşitlikle ifade edilebilir:

$$r = \frac{\sum XY - \frac{(\sum X)(\sum Y)}{n}}{\sqrt{\left[\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{n} \right] \left[\sum Y^2 - \frac{(\sum Y)^2}{n} \right]}} \quad (5.1)$$

Burada $\sum XY$, değişken değerlerimiz olan X ve Y ye ait ölçümleri çarpılıp, n tane değer için toplanarak elde edilmektedir. Denklem 5.1'deki $\sum X^2$, $\sum Y^2$ ve $\sum XY$ değerler aşağıdaki şekilde açılabilir.

$$\begin{aligned} \sum X - \frac{(\sum X)^2}{n} &= \sum X^2 = \sum (X - \bar{X})^2; \\ \sum Y - \frac{(\sum Y)^2}{n} &= \sum Y^2 = \sum (Y - \bar{Y})^2; \\ \sum XY - \frac{(\sum X)(\sum Y)}{n} &= \sum XY = \sum [(X - \bar{X})(Y - \bar{Y})] \end{aligned} \quad (5.2)$$

Bu değerler denklem 5.1'de, yerine yazıldığında korelasyon katsayısı için aşağıdaki ifade elde edilir:

$$r = \frac{\sum [(X - \bar{X})(Y - \bar{Y})]}{\sqrt{[\sum (X - \bar{X})^2] [\sum (Y - \bar{Y})^2]}} \quad (5.3)$$

Bu denklem üzerinde varyans ve kovaryans gibi istatistiksel ifadeler kullanılarak bazı cebirsel işlemlerle, değişik bazı eşitlikler elde edilebilir. Hangi eşitlik kullanılırsa kullanılsın, elde edilecek katsayı aynı olacaktır (Arıcı, 2005). Bu çalışmada ise literatürde bu kapsamdaki çalışmalarda (Echer,2007; Chen, 1992) kullanılan korelasyon yöntemlerine benzer olarak, toplanan veri setleri üzerine Denklem 5.3 kullanılarak korelasyon katsayıları elde edilmiştir.

5.2. Çoklu Regresyon Analizi

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.

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 McKinnon 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.

$$\varepsilon_t = X_t - \beta_0 - \beta_1 Y_t - \beta_2 Y_t^2 \quad (5.4)$$

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;

$$\text{foF2}_t = a_0 + a_1 \text{GLS}_t + \varepsilon_t \quad (5.5)$$

şeklinde ifade edilmiştir. a_0 , a_1 regresyon katsayılarını, ε_t ve t sırasıyla hata terimi ve zamanı ifade etmektedir (Sağır, 2008). Bu değişkenler arasında, lineer bir fitin doyum etkisinden dolayı veri değerleri regresyon eğrisi etrafında toplanmadığı durumda ikinci dereceli bir fit ekleyerek;

$$\text{foF2}_t = \beta_0 + \beta_1 (\text{GLS})_t + \beta_2 (\text{GLS})_t^2 + \varepsilon_t \quad (5.6)$$

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;

$$\text{foF2}_{\text{ölç.}} = \beta_0 + \beta_1 \text{foF2}_{\text{IRI}} + \beta_2 \text{QBO}_t + \text{Dummy1}_t + \text{Dummy2}_t + \text{Dummy3}_t + \text{Dummy4}_t + \varepsilon_t \quad (5.7)$$

Şeklinde ifade edilmiştir. Burada QBO değerleri için Dummy değerleri; $\text{Dummy1} \leq -15 \text{ m/s}$, $0 \text{ m/s} > \text{Dummy2} > -15 \text{ m/s}$, $15 \text{ m/s} \geq \text{Dummy3} > 0 \text{ m/s}$, $\text{Dummy4} > 15 \text{ m/s}$ arasındaki değerler olarak belirlenmiştir.

6. BULGULAR VE TARTIŞMA

Alt bölgelerden İyonküre'ye etki eden dış etkenlerin çalışması, son dönemde hem ülkemizde (Tez Çalışmaları: Sağır,2013; Atıcı, 2013; Karaboğa, 2013, Makaleler: Sağır vd., 2015a; Sağır vd., 2015b; Karatay vd., 2010 vb.,) hem de uluslararası alanda (Holmel vd., 2015; Sharma vd., 2010; Echer, 2007; Lastovicka, 2005, Chen, 1992) giderek önem kazanan bir konu olmaktadır.

Çalışmamızın amacı olan, QBO ile Ekvatorial anomali arasında bir ilişkinin olup olmadığını belirlemek için, korelasyon analizi yapılmıştır. Yapılan analize geçmeden önce Ekvator'da gözlenen anomaliler en belirgin olarak elektron yoğunluğu hesaplamalarında gözlenmektedir. Bu nedenle, hesaplamalarımızda İyonküre'nin elektron yoğunluğunun maksimum olduğu F2 bölgesine ait elektron yoğunluğu değerleri göz önünde bulundurulmuştur.

F2 bölgesi maksimum elektron yoğunluğu (NmF2) değerlerinin ölçülen değerleri “Space Physics Interactive Data Resource” merkezinden alınmıştır. Hesaplanan elektron yoğunluğu (NmF2) değerlerini ise “International Reference Ionosphere – IRI-2012” kullanılarak hesaplanmıştır. QBO değerleri ise “<http://strat-www.met.fu-berlin.de>” adresinden alınmıştır. Alınan verileri, QBO'nun 20 °K ile 20 °G arasında baskın olarak gözleendiğinden ve de Ekvatorial anomaliyi incelediğimizden dolayı sonuçlar Ekvator bölgesine ait istasyonlar için elde edilmiştir. Bu istasyonların coğrafik koordinatları Tablo 6.1 de belirtilmiştir.

Tablo 6.1. F2 bölgesi kritik frekansı ve QBO'nun verilerinin alındığı istasyon ve zaman aralığı

foF2(ÖLÇ) ve foF2(İRİ)			
İstasyon Adı	Enlem	Boylam	Veri alınan aralık
Ascension	7.9°G	14.4°D	01/2000-09/2011
Singapur	00.41°K	121.1°B	01/1957-12/1971
QBO			
Canton Island	02.46°S	171.33°W	01/1953-07/1967
Gan Maledives	00.41°S	73.09°E	08/1967-12/1975
Singapur	01.22°N	103.55°E	01/1976-08/1992

Veri ölçme istasyonu, bulunduğu koordinatta doğrudan düşey iyonosonda prensibine göre çalışmaktadır. Bu koordinatta İyonküre'ye dikey olarak gönderilen bir

elektromanyetik dalga, o koordinatta İyonküre'nin elektron yoğunluğunun maksimum olduğu noktada tekrar yansır. Dolayısıyla düşey ionosonda doğrudan kritik frekans değerlerini ölçer. Dalganın yansıdığı noktada kritik frekans ile o noktanın elektron yoğunluğu arasındaki ilişki;

$$NmF2 = \frac{fo^2}{80.6} \quad (6.1)$$

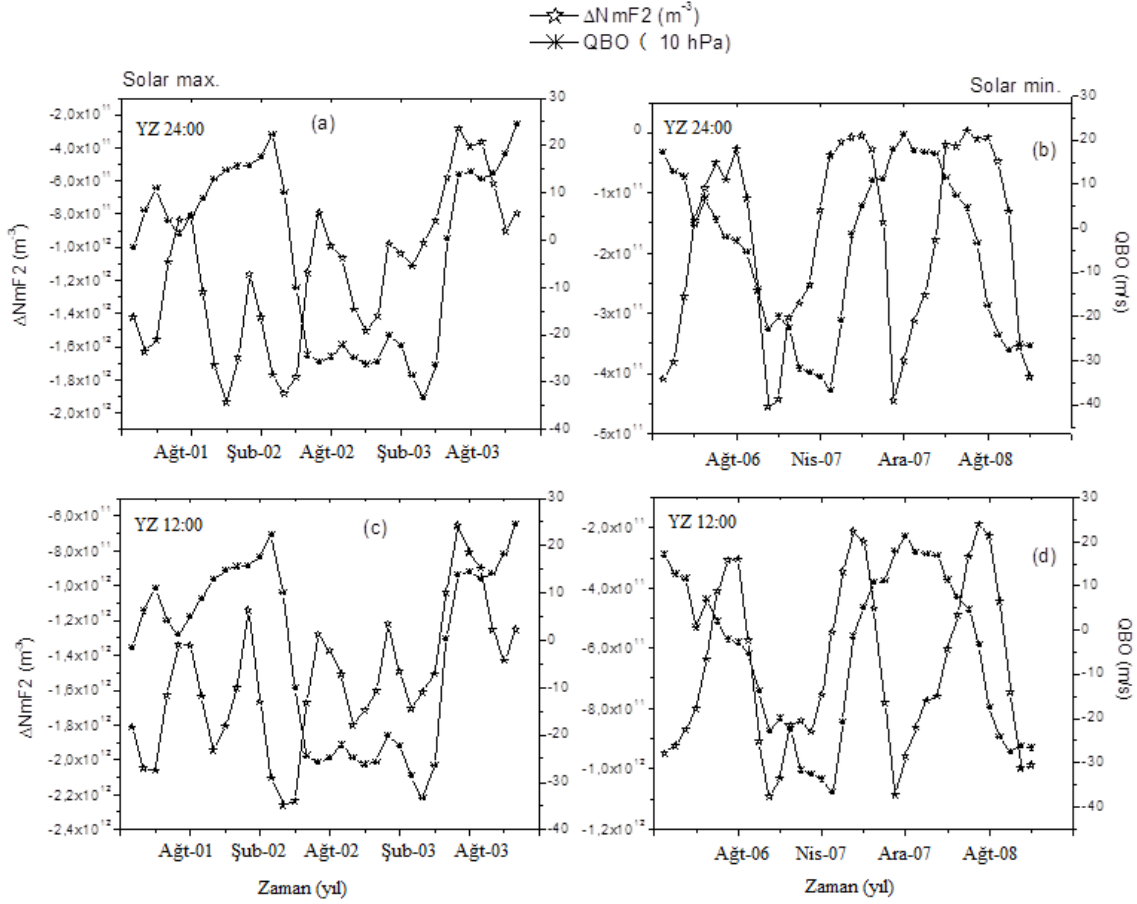
ile verilir (Sağır, 2008). Burada fo gönderilen dalganın frekansıdır. Ölçülen kritik frekans değerleri kullanılarak (6.1) ifadesi ile elektron yoğunlukları hesaplanmıştır.

6.1. Ascension İstasyonu İçin Elde Edilen Sonuçlar

Bu istasyon için öncelikle değişkenler arasındaki dağılım eğrisi incelendi. Ardından değişkenler arasındaki korelasyon katsayısının değişimine bakıldı. Son olarak QBO'nun yönlerinin de dahil edildiği çoklu regresyon modeli ile değişkenler arasındaki ilişki incelendi. Çoklu regresyon modeli uygulanırken İyonküre'yi etkileyen en önemli dış parametre olan Güneş'in de etkisi dahil edilmiştir. Bu durum solar maksimum ve solar minimum devir olarak göz önüne alınmıştır.

Şekil 6.1'de a ve c grafikleri solar maksimum durumu, b ve d grafikleri ise solar minimum durumu için sırasıyla yerel zaman 24:00 YZ ve 12:00 YZ için $\Delta NmF2$ ($NmF2_{ölç} - NmF2_{IRI}$) ile QBO'nun değişimini göstermektedir.

Solar maksimum durumunda her iki zaman dilimindeki grafikte, QBO'nun doğu için negatif bir ilişki gözleniyor iken batı yönlü QBO için pozitif bir ilişki gözlenmektedir. Solar minimum durumunda ise batı yönlü QBO ile $\Delta NmF2$ arasında pozitif bir ilişki görülmüştür. Doğu yönlü QBO'ya bakıldığında 24:00 YZ'de düzenli bir ilişki gözlenmez iken 12:00 YZ'de ise belirli yıllarda pozitif bir ilişki görülmektedir.



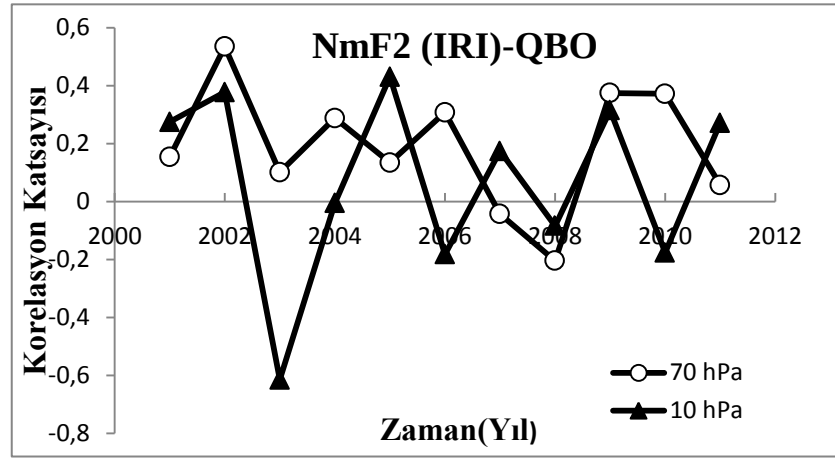
Şekil 6.1. Ascension istasyonu için solar maksimum ve minimum durumlar için $\Delta NmF2$ ve QBO'nun yıllara göre değişimi

6.1.1. Korelasyon Analizi

İstasyon sonuçlarına bakılırken öncelikle “NmF2 Hesaplanmış (IRI)-QBO” ve “NmF2 Ölçülmüş (ÖLÇ.)- QBO” arasındaki korelasyon katsayıları QBO’nun 10 hPa ve 70 hPa değerleri için analiz edildi. Bu analizler sırasıyla Şekil 6.2 ve Şekil 6.3 te verildi.

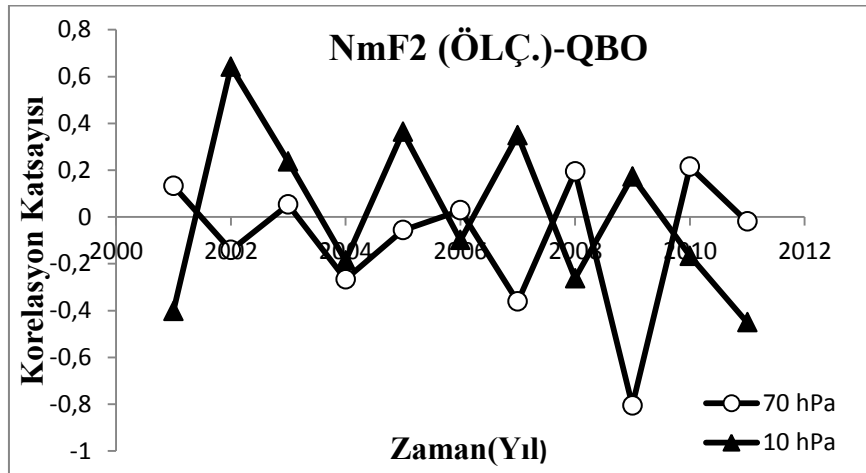
Şekil 6.2’de 2000-2012 yılları arasında Ascension istasyonu için IRI-2012 programı kullanılarak hesaplanan NmF2 değerleri ile QBO arasındaki korelasyon katsayısının yıllara göre değişimi gösterilmektedir. 70 hPa yüksekliğe sahip QBO ile olan ilişki katsayısının sadece 2007 ve 2008 yıllarında negatif olduğu görülmektedir. Bu durum 2007 ve 2008 yıllarının solar minimum yılları olmasından kaynaklı olabileceği varsayılmaktadır. Geri kalan tüm yıllarda ilişkinin pozitif olduğu görülmektedir. 10 hPa yüksekliklerinde ölçülen QBO değerleri için korelasyon katsayılarının 2003, 2006, 2008 ve 2010 yıllarında negatiftir. Bu yılların 2003 yılındaki değerin yaklaşık 0,6 değerinde ve önemli iken geriye kalan yıllarda yaklaşık 0,2 gibi istatistiksel olarak önemsiz bir değere sahip olduğu görülmektedir. 10 hPa yüksekliklerinde ölçülen QBO değerleri için korelasyon

katsayılarının pozitif olduğu yılların istatistiksel olarak önem seviyesinin daha yüksek olduğu görülmektedir.



Şekil 6.2. 2000-2012 yılları arasında Ascension istasyonunda hesaplanan NmF2 değerleri ile QBO arasındaki korelasyon katsayısının yıllara göre değişimi

Şekil 6.3'te 2000-2012 yılları arasında Ascension istasyonu için ionosonda kullanılarak ölçülmüş ve denklem 6.1 yardımıyla hesaplanmış NmF2 değerleri ile QBO arasındaki korelasyon katsayısının yıllara göre değişimi gösterilmektedir. 70 hPa yüksekliğe sahip QBO ile olan ilişki katsayılarının genel olarak düşük olduğu sadece 2009 yılında istatistiksel bir öneme sahip olduğu görülmektedir. 10 hPa yüksekliklerinde ölçülen QBO değerleri için korelasyon katsayılarının yıllarla negatif ve pozitif olarak değişmektedir. Bu ilişkinin 70 hPa yüksekliğindekine oranla istatistiksel olarak daha anlamlı olduğu görülmektedir.



Şekil 6.3. 2000-2012 yılları arasında Ascension istasyonunda ölçülen NmF2 değerleri ile QBO arasındaki korelasyon katsayısının yıllara göre değişimi

6.1.2. Çoklu Regresyon Modeli Sonuçları

Çoklu Regresyon Modeli analizi yapılırken öncelikle İyonküre elektron yoğunluğunu etkileyen en önemli parametre olan güneş hesaplamalara dahil edilmek istenmiştir. Bunun için etkin güneş parametresi olan solar maksimum ve solar minimum dönemler göz önünde bulundurulmuştur. Ayrıca Ekvatorial anomalinin en belirgin görünümü olan gece anomalisine bakmak için 12:00 YZ ve 24:00 YZ'deki yoğunluk değerleri için hesaplamalar yapılmıştır.

6.1.2.1. Solar Maksimum Durum İçin

Ascension istasyonu için solar maksimum yıllarını her iki değişkenimiz için kapsayan yıllar Ocak 2000-Aralık 2002 arası olan 23. Solar devirdir. Bu modelin uygulanması bu çalışmada ön koşul olan, değişkenlerimizin ($\Delta NmF2$ ve QBO) durağanlığıdır. Bu analiz Birim Kök Testi ile yapılmıştır. Durağanlık belirlendikten sonraki aşama, değişkenlerimiz arasında uzun dönemli bir ilişkinin olup olmadığının analizidir. Bu analiz Eş Bütünleşme Testi ile yapıldı. Son olarak değişkenlerimiz arasındaki ilişki katsayıları belirlemektir. Bu ise Çoklu Regresyon Modeli ile belirlendi.

Tablo 6.2'de Ascension istasyonu solar maksimum yıllarında 24:00 YZ için $\Delta NmF2$ ve QBO için Birim Kök Testi Sonuçları verilmiştir. İlk test sonuçlarında her iki değişkenin de durağan olmadıkları (durağan olabilmeleri için tablonun üst kısmında verilen test değerlerinin, tablonun altında verilen McKinnon(1996) kritik değerlerinden mutlak değer olarak büyük olmalıdır) görülmektedir. Ardından bu değişkenleri durağan hale getirmek için değişkenlerin birinci farkları ($D(QBO)$, $D(\Delta NmF2)$) alındı. Birinci farklarında durağan oldukları görüldü.

Tablo 6.2. Ascension istasyonu solar maksimum yıllarında 24:00 YZ için Birim Kök Testi Sonuçları

Değişkenler	24:00 YZ		
	ADF	PP	KPSS
QBO	-4.25	-1.18	0.14
$\Delta(NmF2)$	-0.48	-1.07	0.13
$D(QBO)$	-4.47	-3.49	0.20
$D(\Delta(NmF2))$	-5.36	-5.60	0.50
Önem Seviyesi	McKinnon(1996) kritik değeri		
1%	-4.27	-4.26	0.21
5%	-3.55	-3.55	0.14
10%	-3.21	-3.20	0.11

Tablo 6.3'te Ascension istasyonu solar maksimum yıllarında 12:00 YZ için Birim Kök Testi Sonuçları verilmiştir. İlk test sonuçlarında her iki değişkenin de durağan olmadıkları görülmektedir. Ardından bu değişkenleri durağan hale getirmek için değişkenlerin birinci farkları ($D(QBO)$, $D(\Delta NmF2)$) alındı. Birinci farklarında durağan oldukları görüldü.

Tablo 6.3. Ascension istasyonu solar maksimum yıllarında 12:00 YZ için Birim Kök Testi Sonuçları

Değişkenler	12:00YZ		
	DF	PP	KPSS
QBO	-0.48	-1.07	0.13
$\Delta(NmF2)$	-5.08	-2.11	0.10
$D(QBO)$	-4.47	-3.49	0.20
$D(\Delta(NmF2))$	-6.33	-5.63	0.38
Önem Seviyesi	McKinnon(1996) kritik değeri		
1%	-4.27	-4.26	0.21
5%	-3.55	-3.55	0.14
10%	-3.21	-3.20	0.11

Tablo 6.4'te Ascension istasyonu solar maksimum yıllarında 12:00 YZ ve 24:00 YZ için Eş Bütünleşme Test Sonuçları görülmektedir. $\Delta NmF2$ ve QBO değişkenleri arasında uzun dönemli bir ilişkinin olduğu, ADF değerlerinin mutlak değer olarak McKinnon(1996) değerlerinden ($|-5.30| > |-2.65|$ ve $|-6.20| > |-2.65|$) büyük ve p-değeri 0.05 ten küçük olmasından anlaşılmaktadır.

Tablo 6.4. Ascension istasyonu solar maksimum yılları için Eş Bütünleşme Test Sonuçları

Regresyon Modeli	12:00YZ için		24:00YZ için	
	ADF	p-değeri	ADF	p-değeri
Model	-5.30	0.00	-6.20	0.00
Önem Seviyesi	McKinnon(1996) kritik değeri			
1%	-2.65			
5%	-1.95			
10%	-1.60			

Değişkenler arasında uzun dönemli bir ilişkinin belirlenmesinden sonraki aşama değişkenler arasında bir modelin kurulmasıdır. Sağır, 2013'te verilen 5.7 denklemi bu çalışma için;

$$D(\Delta(NmF2))=\beta_0+ \beta_1D(QBO)+ \beta_2DummyDoğu+ \beta_3DummyBatı+\varepsilon \quad (6.2)$$

şeklinde güncellendi. Burada β_0 sabit, β_1 , β_2 ve β_3 regresyon katsayılarıdır. “DummyDoğu” QBO’nun doğu yönde esen kısmını, “DummyBatı”QBO’nun batı yönde esen kısmını temsil etmektedir. Kurulan bu regresyon denklemi “EViews 7” programı yardımıyla çalıştırılarak Tablo 6.5’ te verilen sonuçlar elde edildi.

Tablo 6.5'te Ascension istasyonu solar maksimum yıllarında 12:00 YZ ve 24:00YZ için regresyon analizi sonuçları verilmiştir. Tabloda katsayıların istatistiksel olarak bir öneme sahip olması için parantez içinde verilen ifadenin tablonun altında verilen yüzdelik anlamlılığa sahip olması gerekmektedir. Regresyon Modeli sonuçları tablolarının tümünde Durbin Watson değerinin 1.5-2.5 aralığında, Prob (F-istatistik) değerinin 0.05’ten küçük, Serial Corelation LM (Serial Cor. LM) ve White Heteroskedasticity (White Het.) değerlerinin 0.05’ten büyük olması gerekmektedir. Bu şartların sağlanması modelimizin doğrulunun ve sağlamlığının diğer bir göstergesidir.

Tabloda saat 12:00 YZ için, QBO ile bağımlı değişkenimiz olan $\Delta NmF2$ arasında anlamlı bir ilişki söz konusudur. Bu ilişkide QBO’nun 1 m/s’lik artış/azalış $\Delta NmF2$ ’de $7.6E+10$ luk bir artış/azalış a sebep olmaktadır. $\Delta NmF2$ ’deki meydana gelen değişimlerin yaklaşık % 62’si QBO tarafından açıklanabilmektedir. Bu oranında çok küçük değişimlerin büyük etkiler yaratabildiği İyonküre hesaplamaları için ciddi bir oran olduğu düşünülmektedir. $\Delta NmF2$ ’deki meydana gelen değişimlerin yaklaşık %38’nin ise modelde β_0 ile ifade edilen sabit ve ε ile ifade edilen hata teriminde ile açıklanmaktadır. β_0 ise NmF2’yi etkileyen ancak IRI-2012 programına dahil edilmeyen diğer etkenlerin olduğu düşünülmektedir.

Tabloda saat 24:00 YZ için de QBO ile bağımlı değişkenimiz olan $\Delta NmF2$ arasında anlamlı bir ilişki söz konusudur. Bu ilişkide QBO’nun 1 m/s’lik artış/azalış $\Delta NmF2$ ’de $1.64E+12$ ’luk bir azalış/artışa sebep olmaktadır. $\Delta NmF2$ ’deki meydana gelen değişimlerin yaklaşık % 79’u QBO tarafından açıklanabilmektedir. $\Delta NmF2$ ’deki meydana gelen değişimlerin yaklaşık % 21’nin ise modelde β_0 ile ifade edilen sabit ve ε ile ifade edilen hata teriminde ile açıklanmaktadır.

Tablo 6.5. Ascension istasyonu solar maksimum durumu için regresyon analizi sonuçları

	12:00 YZ	24:00 YZ
β_0 (Sabit)	-1.52E+12 (0.00)*	-6.8E+10 (0.74)
β_1 (D(QBO))	7.6E+10 (0.00)*	-1.64E+12 (0.05)**
β_2 (DummyBati)	-1.52 E+12 (0.00)*	-1.64 E+12 (0.00)*
β_3 (DummyDoğu)	-1.51 E+12 (0.01)*	-1.71 E+12 (0.00)*
AR (1)	8.17E-6 (0.03)**	8.11E-6 (0.04)**
R^2	0.71	0.83
Adj. R^2	0.62	0.79
Durbin Watson	2.06	2.14
Prob. (F-statistics)	0.00	0.00
Serial Cor. LM	0.10	0.44
White Het.	0.08	0.41

*, **, *** sırasıyla 1 %, 5%, ve 10% luk önem seviyelerini göstermektedir.

Saat 12:00 YZ ve 24:00 YZ için sonuçlar karşılaştırıldığında saat 24:00 YZ'deki farkın daha büyük oranda QBO ile açıklanabildiği görülmüştür. Bu durumda QBO'nun gece saatlerinde meydana gelen anomaliler ile ilişki olabileceğini göstermektedir.

6.1.2.2. Solar Minimum Durum İçin

Ascension istasyonu için solar minimum yıllarını her iki değişkenimiz için kapsayan yıllar Ocak 2006-Aralık 2008 arası olan 23. Solar devirdir.

Tablo 6.6'da Ascension istasyonu solar minimum yılları 24:00 YZ için $\Delta NmF2$ ve QBO için Birim Kök Testi Sonuçları verilmiştir. İlk test sonuçlarında her iki değişkenin de durağan olmadıkları (durağan olabilmeleri için tablonun üst kısmında verilen test değerlerinin, tablonun altında verilen McKinnon(1996) kritik değerlerinden mutlak değer olarak büyük olmalıdır) görülmektedir. Ardından bu değişkenleri durağan hale getirmek için değişkenlerin birinci farkları (D(QBO), D($\Delta NmF2$)) alındı. Birinci farklarında durağan oldukları görüldü.

Tablo 6.6. Ascension istasyonu solar minimum yıllarında 24:00 YZ için Birim Kök Testi Sonuçları

Değişkenler	24:00YZ		
	ADF	PP	KPSS
QBO	-2.32	-1.69	0.10
$\Delta(\text{NmF2})$	-4.69	-2.54	0.08
D(QBO)	-3.49	-3.51	0.12
D($\Delta(\text{NmF2})$)	-5.86	-3.45	0.13
Önem Seviyesi	McKinnon(1996) kritik değeri		
1%	-4.27	-4.26	0.21
5%	-3.55	-3.55	0.14
10%	-3.21	-3.20	0.11

Tablo 6.7’de Ascension istasyonu solar minimum yıllarında 12:00 YZ için ΔNmF2 ve QBO için Birim Kök Testi Sonuçları verilmiştir. İlk test sonuçlarında her iki değişkenin de durağan olmadıkları görülmektedir. Ardından bu değişkenleri durağan hale getirmek için değişkenlerin birinci farkları (D(QBO), D(ΔNmF2)) alındı. Birinci farklarında durağan oldukları görüldü.

Tablo 6.7. Ascension istasyonu solar minimum yıllarında 12:00 YZ için Birim Kök Testi Sonuçları

Değişkenler	12:00YZ		
	ADF	PP	KPSS
QBO	-2.32	-1.69	0.10
$\Delta(\text{NmF2})$	-4.96	-1.62	0.04
D(QBO)	-4.49	-3.51	0.12
D($\Delta(\text{NmF2})$)	-7.72	-1.69	0.16
Önem Seviyesi	McKinnon(1996) kritik değeri		
1%	-4.27	-4.26	0.21
5%	-3.55	-3.55	0.14
10%	-3.21	-3.20	0.11

Tablo 6.8’de Ascension istasyonu solar minimum yıllarında 12:00 YZ ve 24:00 YZ için Eş Bütünleşme Test Sonuçları görülmektedir. ΔNmF2 ve QBO değişkenleri arasında uzun dönemli bir ilişkinin olduğu, ADF değerlerinin mutlak değer olarak McKinnon(1996)

değerlerinden ($|-4.40| > |-2.65|$ ve $|-4.66| > |-2.65|$) büyük ve p-değeri 0.05 ten küçük olmasından anlaşılmaktadır.

Tablo 6.8. Ascension istasyonu solar minimum yıllarında 12:00 YZ ve 24:00 YZ için Eş Bütünleşme Test Sonuçları

Regresyon Modeli	12:00YZ için		24:00YZ için	
	ADF	p-değeri	ADF	p-değeri
Model	-4.40	0.00	-4.66	0.00
Önem Seviyesi	McKinnon(1996) kritik değeri			
1%	-2.65			
5%	-1.95			
10%	-1.60			

Değişkenler arasında uzun dönemli bir ilişkinin belirlenmesinden sonraki aşama değişkenler arasında bir modelin kurulmasıdır. Sağır, 2013'te verilen 5.7 denklemi bu çalışma için;

$$D(\Delta(NmF2)) = \beta_0 + \beta_1 D(QBO) + \beta_2 \text{DummyDoğu} + \beta_3 \text{DummyBatı} + \varepsilon \quad (6.3)$$

şeklinde güncellendi. Burada β_0 sabit, β_1 , β_2 ve β_3 regresyon katsayılarıdır. “DummyDoğu” QBO’nun doğu yönde esen kısmını, “DummyBatı” QBO’nun batı yönde esen kısmını temsil etmektedir. Kurulan bu regresyon denklemi “EViews 7” programı yardımıyla çalıştırılarak Tablo 6.9’da verilen sonuçlar elde edildi.

Tablo 6.9’da Ascension istasyonu solar minimum yıllarında 12:00 YZ ve 24:00 YZ için regresyon analizi sonuçları verilmiştir. Regresyon Modeli sonuçları tablosunun alt bölümünde verilen, Durbin Watson değerinin 1.5-2.5 aralığında, Prob (F-istatistik) değerinin 0.05 ten küçük, Serial Cor. LM ve White Het. değerlerinin 0.05 ten büyük olması gerekmektedir. Bu şartların sağlanması modelimizin doğruluğunun ve sağlamlığının diğer bir göstergesidir.

Tabloda saat 12:00 YZ için, QBO ile bağımlı değişkenimiz olan $\Delta NmF2$ arasında anlamlı bir ilişki söz konusudur. Bu ilişkide QBO’nun 1 m/s’lik artış/azalış $\Delta NmF2$ ’de $6.36E+9$ ’luk bir artış/azalış a sebep olmaktadır. $\Delta NmF2$ ’deki meydana gelen değişimlerin yaklaşık % 89’u QBO tarafından açıklanabilmektedir. Bu oranında çok küçük değişimlerin büyük etkiler yaratabildiği İyonküre hesaplamaları için büyük bir oran olduğu

düşünülmektedir. QBO'nun hem doğu hem de batı yönünün $\Delta NmF2$ 'deki değişimde etkili olduğu görülmektedir. $\Delta NmF2$ 'deki meydana gelen değişimlerin yaklaşık %11'inin ise modelde β_0 ile ifade edilen sabit ve ε ile ifade edilen hata teriminde ile açıklanmaktadır. β_0 ise $NmF2$ 'yi etkileyen ancak IRI-2012 programına dahil edilmeyen diğer etkenlerin olduğu düşünülmektedir.

Tabloda saat 24:00 YZ için de QBO ile bağımlı değişkenimiz olan $\Delta NmF2$ arasında anlamlı bir ilişki söz konusudur. Bu ilişkide QBO'nun 1 m/s'lik artış/azalış $\Delta NmF2$ 'de $3.24E+9$ 'luk bir azalış/artışa sebep olmaktadır. $\Delta NmF2$ 'deki meydana gelen değişimlerin yaklaşık % 79'u QBO tarafından açıklanabilmektedir. QBO'nun hem doğu hem de batı yönünün $\Delta NmF2$ 'deki değişimde etkili olduğu görülmektedir. $\Delta NmF2$ 'deki meydana gelen değişimlerin yaklaşık % 21'nin ise modelde β_0 ile ifade edilen sabit ve ε ile ifade edilen hata teriminde ile açıklanmaktadır.

Tablo 6.9. Ascension istasyonu solar minimum yıllarında 12:00 YZ ve 24:00 YZ için regresyon analizi sonuçları

	12:00 YZ	24:00 YZ
β_0 (Sabit)	-7.67E+11 (0.00)*	-2.51E+11 (0.00)*
β_1 (D(QBO))	6.36E+9 (0.01)*	-3.24E+9 (0.05)**
β_2 (DummyBatı)	-8.13E+11 (0.00)*	-2.51E+11 (0.01)*
β_3 (DummyDoğu)	-7.67E+11 (0.00)*	-2.51E+11 (0.00)*
AR (1)	0.06 (0.59)	0.34 (0.24)
R^2	0.91	0.85
Adj. R^2	0.89	0.79
Durbin Watson	1.66	1.77
Prob. (F-statistics)	0.00	0.00
Serial Cor. LM	0.00	0.92
White Het.	0.07	0.15

*, **, *** sırasıyla 1 %, 5%, ve 10% luk önem seviyelerini göstermektedir.

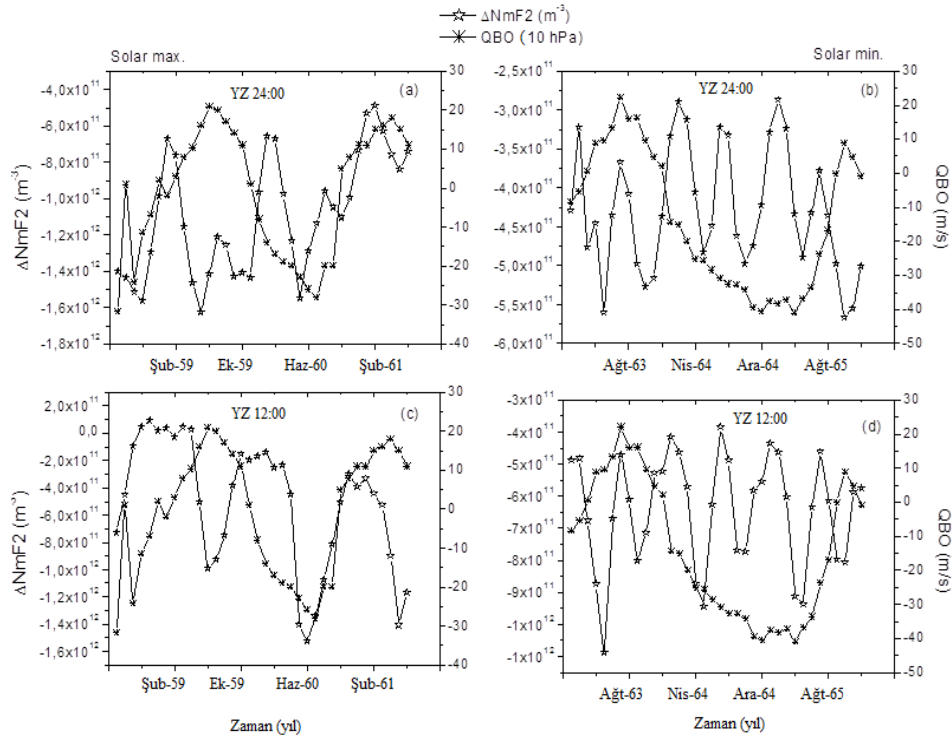
24:00 YZ için $\Delta NmF2$ ile QBO arasında negatif bir ilişkinin olması bir çok makalede abartılı sonuçlar elde ettiği iddia edilen IRI programının içine QBO'nun negatif olarak dahil edilmesi durumunda hesaplanan değerlerin daha doğru çıkması beklenmektedir.

6.2. Singapur İstasyonu İçin Elde Edilen Sonuçlar

Bu istasyon için öncelikle değişkenler arasındaki dağılım eğrisi incelendi. Ardından değişkenler arasındaki korelasyon katsayısının değişimine bakıldı. Son olarak QBO'nun yönlerinin de dahil edildiği çoklu regresyon modeli ile değişkenler arasındaki ilişki incelendi. Çoklu regresyon modeli uygulanırken İyonküre'yi etkileyen en önemli dış parametre olan Güneş'in de etkisi dahil edilmiştir. Bu durum solar maksimum ve solar minimum devir olarak göz önüne alınmıştır.

Şekil 6.4'te a ve c grafikleri solar maksimum durumu, b ve d grafikleri ise solar minimum durumu için sırasıyla 24:00 YZ ve 12:00 YZ için $\Delta NmF2$ ile QBO'nun değişimini göstermektedir.

Solar maksimum durumunda, QBO'nun doğu yönü için saat 24:00 YZ'da pozitif, saat 12:00 YZ'da ise negatif bir ilişki gözleniyor iken, batı yönlü QBO için her iki zaman dilimindeki negatif bir ilişki gözlenmektedir. Solar minimum durumunda ise hem batı hem de doğu yönlü QBO ile $\Delta NmF2$ arasında her iki zaman dilimindeki negatif bir ilişki gözlenmektedir.

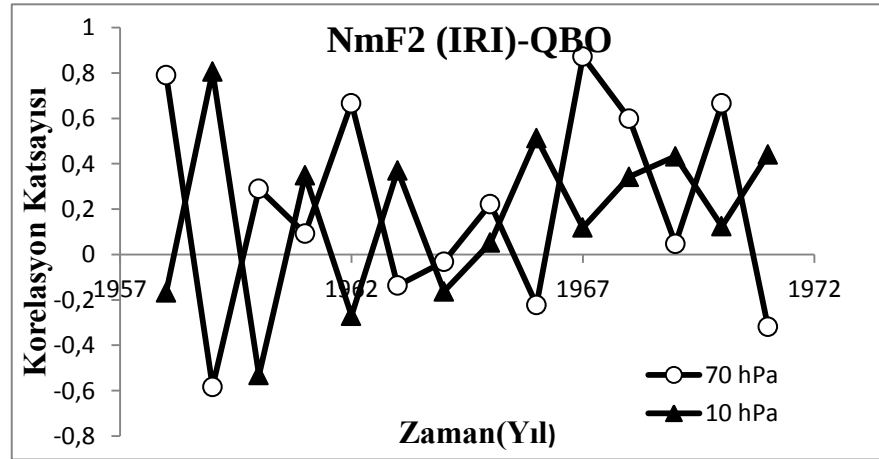


Şekil 6.4. Singapur istasyonu için solar maksimum ve minimum durumlar için $\Delta NmF2$ ve QBO'nun yıllara göre değişimi

6.2.1. Korelasyon Analizi

İstasyon sonuçlarına bakılırken öncelikle “NmF2 Hesaplanmış (IRI)-QBO” ve “NmF2 Ölçülmüş (ÖLÇ.)- QBO” arasındaki korelasyon katsayıları QBO’nun 10 hPa ve 70 hPa değerleri için analiz edildi. Bu analizler sırasıyla Şekil 6.5 ve Şekil 6.6’da verildi.

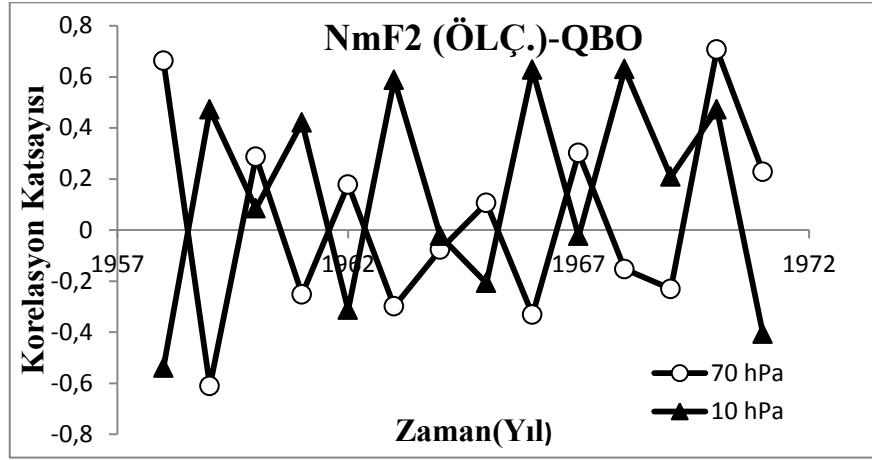
Şekil 6.5’te 1957-1971 yılları arasında Singapur istasyonu için IRI-2012 programı kullanılarak hesaplanan NmF2 değerleri ile QBO arasındaki korelasyon katsayısının yıllara göre değişimi gösterilmektedir. 70 hPa yüksekliğe sahip QBO ile olan ilişki katsayısının negatif olduğu yıllardan sadece 1959 yılının katsayısının 0,5’ten büyük olduğu diğer negatif ilişki durumlarında ise bu oranın altın olduğu görülmektedir. Bu durum negatif ilişki durumunun istatistiksel olarak düşük öneme sahip olduğu anlamına gelmektedir. İlişki katsayısının pozitif olduğu durumlarda ise 1960, 1961 ve 1969 yıllarında 0,5’ten küçük diğer yıllarda ise istatistiksel olarak önemli olduğunu gösteren 0,5’ten büyük oldukları görülmektedir. 10 hPa yüksekliklerinde ölçülen QBO değerleri için korelasyon katsayılarının genelde pozitif olduğu görülmektedir. Negatif olduğu 1957, 1959, 1962 ve 1965 yıllarında ise 0,5’ten küçük oldukları için istatistiksel olarak önem seviyeleri düşüktür.



Şekil 6.5. 1957-1972 yılları arasında Singapur istasyonunda hesaplanan NmF2 değerleri ile QBO arasındaki korelasyon katsayısının yıllara göre değişimi

Şekil 6.6’da 1957-1972 yılları arasında Singapur istasyonu için ionosonda kullanılarak ölçülmüş ve denklem 6.1 yardımıyla hesaplanmış NmF2 değerleri ile QBO arasındaki korelasyon katsayısının yıllara göre değişimi gösterilmektedir. 70 hPa yüksekliğe sahip QBO ile olan ilişki katsayılarının genel olarak düşük olduğu sadece 1958,1959 ve 1971 de 0,5’ten büyük olduğu görülmektedir. 10 hPa yüksekliklerinde

ölçülen QBO değerleri için korelasyon katsayılarının yıllarla negatif olduğu yıllarda zayıf bir ilişki görülüyorken, pozitif olduğu yıllarda ise güçlü ilişki görülmektedir.



Şekil 6.6. 1957-1972 yılları arasında Singapur istasyonunda hesaplanan NmF2 değerleri ile QBO arasındaki korelasyon katsayısının yıllara göre değişimi

6.2.2. Çoklu Regresyon Modeli Sonuçları

Bu modelin uygulanması bu çalışmada ön koşul olan, değişkenlerimizin ($\Delta NmF2$ ve QBO) durağanlığıdır. Bu analiz Birim Kök Testi ile yapılmıştır. Durağanlık belirlendikten sonraki aşama, değişkenlerimiz arasında uzun dönemli bir ilişkinin olup olmadığının analizidir. Bu analiz Eş Bütünleşme Testi ile yapıldı. Son olarak değişkenlerimiz arasındaki ilişki katsayıları belirlemektir. Bu ise Çoklu Regresyon Modeli ile belirlendi.

6.2.2.1. Solar Maksimum Durumu İçin

Singapur istasyonu için solar minimum yıllarını her iki değişkenimiz için yıllar Temmuz 1958-Haziran 1961arasını kapsamaktadır.

Tablo 6.10'da Singapur istasyonu solar maksimum yıllarında 24:00 YZ için $\Delta NmF2$ ve QBO için Birim Kök Testi Sonuçları verilmiştir. İlk test sonuçlarında her iki değişkenin de durağan olmadıkları (durağan olabilmeleri için tablonun üst kısmında verilen test değerlerinin, tablonun altında verilen McKinnon(1996) kritik değerlerinden mutlak değer olarak büyük olmalıdır) görülmektedir. Ardından bu değişkenleri durağan hale getirmek için değişkenlerin birinci farkları ($D(QBO)$, $D(\Delta NmF2)$) alındı. Birinci farklarında durağan oldukları görüldü.

Tablo 6.10. Singapur istasyonu solar maksimum yıllarında 24:00 YZ için Birim Kök Testi Sonuçları

Değişkenler	24:00YZ		
	ADF	PP	KPSS
QBO	-2.69	-2.29	0.10
$\Delta(NmF2)$	-5.56	-1.67	0.07
D(QBO)	-8.85	-7.91	0.16
D($\Delta(NmF2)$)	-4.96	-3.86	0.39
Önem Seviyesi	McKinnon(1996) kritik değeri		
1%	-4.27	-4.26	0.21
5%	-3.55	-3.55	0.14
10%	-3.21	-3.20	0.11

Tablo 6.11’de Singapur istasyonu solar maksimum yıllarında 12:00 YZ için $\Delta NmF2$ ve QBO için Birim Kök Testi Sonuçları verilmiştir. İlk test sonuçlarında her iki değişkenin de durağan olmadıkları görülmektedir. Ardından bu değişkenleri durağan hale getirmek için değişkenlerin birinci farkları (D(QBO), D($\Delta NmF2$)) alındı. Birinci farklarında durağan oldukları görüldü.

Tablo 6.11. Singapur istasyonu solar maksimum yıllarında 12:00 YZ için Birim Kök Testi Sonuçları

Değişkenler	12:00YZ		
	ADF	PP	KPSS
QBO	-2.69	-2.29	0.10
$\Delta(NmF2)$	-4.14	-2.39	0.04
D(QBO)	-8.85	-7.91	0.16
D($\Delta(NmF2)$)	-5.54	-3.34	0.13
Önem Seviyesi	McKinnon(1996) kritik değeri		
1%	-4.27	-4.26	0.21
5%	-3.55	-3.55	0.14
10%	-3.21	-3.20	0.11

Tablo 6.12’de Singapur istasyonunda 12:00 YZ ve 24:00 YZ için Eş Bütünleşme Test Sonuçları görülmektedir. $\Delta NmF2$ ve QBO değişkenleri arasında uzun dönemli bir ilişkinin

olduğu, ADF değerlerinin mutlak değer olarak McKinnon(1996) değerlerinden ($|-4.70| > |-2.65|$ ve $|-4.77| > |-2.65|$) büyük ve p-değeri 0.05'ten küçük olmasından anlaşılmaktadır.

Tablo 6.12. Singapur istasyonu solar maksimum yıllarında 12:00 YZ ve 24:00 YZ için Eş Bütünleşme Test Sonuçları

Regresyon Modeli	12:00YZ için		24:00YZ için	
	ADF	p-değeri	ADF	p-değeri
Model	-4.70	0.00	-4.77	0.00
Önem Seviyesi	McKinnon(1996) kritik değeri			
1%		-2.65		
5%		-1.95		
10%		-1.60		

Değişkenler arasında uzun dönemli bir ilişkinin belirlenmesinden sonraki aşama değişkenler arasında bir modelin kurulmasıdır. Sağır, 2013'te verilen 5.7 denklemi bu çalışma için;

$$D(\Delta(NmF2))=\beta_0+ \beta_1D(QBO)+ \beta_2DummyDoğu+ \beta_3DummyBatı+\varepsilon \quad (6.4)$$

şeklinde güncellendi. Burada β_0 sabit, β_1 , β_2 ve β_3 regresyon katsayılarıdır. “DummyDoğu” QBO'nun doğu yönde esen kısmını, “Dummy Batı” QBO'nun batı yönde esen kısmını temsil etmektedir. Kurulan bu regresyon denklemi “EViews 7” programı yardımıyla çalıştırılarak Tablo 6.13'te verilen sonuçlar elde edildi.

Tablo 6.13'te Singapur istasyonunda solar maksimum durumunda, saat 12:00 YZ ve 24:00 YZ için regresyon analizi sonuçları verilmiştir. Regresyon Modeli sonuçları tablosunun alt bölümünde verilen, Durbin Watson değerinin 1.5-2.5 aralığında, Prob (F-istatistik) değerinin 0.05'ten küçük, Serial Cor. LM ve White Het. değerlerinin 0.05'ten büyük olması gerekmektedir. Bu şartların sağlanması modelimizin doğrulunun ve sağlamlığının diğer bir göstergesidir.

Tabloda 12:00 YZ için, QBO ile bağımlı değişkenimiz olan $\Delta NmF2$ arasında %5'lik anlamlı bir ilişki söz konusudur. Bu ilişkide QBO'nun 1 m/s'lik artış/azalış $\Delta NmF2$ de $4.48E+9$ 'luk bir artış/azalış a sebep olmaktadır. $\Delta NmF2$ 'deki meydana gelen değişimlerin yaklaşık % 69'u QBO tarafından açıklanabilmektedir. Bu oranında çok küçük değişimlerin büyük etkiler yaratabildiği İyonküre hesaplamaları için ciddi bir oran olduğu düşünülmektedir. $\Delta NmF2$ 'deki meydana gelen değişimlerin yaklaşık %31'nin ise modelde

β_0 ile ifade edilen sabit ve ε ile ifade edilen hata teriminde ile açıklanmaktadır. β_0 ise NmF2'yi etkileyen ancak IRI-2012 programına dahil edilmeyen diğer etkenlerin olduğu düşünülmektedir. QBO'nun her iki yönünün de anlamlı sonuçlar vermediği görülmektedir.

Tabloda saat 24:00 YZ için de QBO ile bağımlı değişkenimiz olan $\Delta NmF2$ arasında %5 oranında anlamlı bir ilişki söz konusudur. Bu ilişkide QBO'nun 1 m/s'lik artış/azalış, $\Delta NmF2$ 'de $5.64E+9$ 'luk bir azalış/artışa sebep olmaktadır. $\Delta NmF2$ 'deki meydana gelen değişimlerin yaklaşık %84'ü, QBO tarafından açıklanabilmektedir. $\Delta NmF2$ 'deki meydana gelen değişimlerin yaklaşık % 16'sının ise modelde β_0 ile ifade edilen sabit ve ε ile ifade edilen hata teriminde ile açıklanmaktadır. QBO'nun her iki yönünün de bağımlı değişkenimiz olan $\Delta NmF2$ üzerinde anlamlı olduğu görülmektedir.

Tablo 6.13. Singapur istasyonu solar maksimum yılları için regresyon analizi sonuçları

	12:00 YZ	24:00 YZ
β_0 (Sabit)	-4.24E+10 (0.09)***	1.87E+12 (0.00)*
β_1 (D(QBO))	4.48E+9 (0.06)**	-5.64E+9 (0.05)**
β_2 (DummyBatı)	7.09E+10 (0.84)	-1.75E+12 (0.00)*
β_3 (DummyDoğu)	4.24E+10 (0.91)	-1.73E+12 (0.00)*
AR (1)	0.59 (0.54)	0.515 (0.01)*
R^2	0.75	0.89
Adj. R^2	0.69	0.84
Durbin Watson	1.80	1.72
Prob. (F-statistics)	0.00	0.02
Serial Cor. LM	0.06	0.06
White Het.	0.02	0.07

*, **, *** sırasıyla 1 %, 5%, ve 10%'luk önem seviyelerini göstermektedir.

Saat 12:00 YZ ve 24:00 YZ için sonuçlar karşılaştırıldığında, saat 24:00 YZ'deki farkın daha büyük oranda QBO ile açıklanabildiği görülmüştür. Bu durumda QBO'nun gece saatlerinde meydana gelen anomaliler ile ilişkisinin daha güçlü olabileceğini göstermektedir.

6.2.2.2. Solar Minimum Durumu İçin

Singapur istasyonu için solar minimum yıllarını her iki değişkenimiz için kapsayan yıllar Mayıs 1962-Mayıs 1965 arası devirdir.

Tablo 6.14'te Singapur istasyonu solar minimum yıllarında 24:00 YZ için $\Delta NmF2$ ve QBO için Birim Kök Testi Sonuçları verilmiştir. İlk test sonuçlarında her iki değişkenin de durağan olmadıkları (durağan olabilmeleri için tablonun üst kısmında verilen test değerlerinin, tablonun altında verilen McKinnon(1996) kritik değerlerinden mutlak değer olarak büyük olmalıdır) görülmektedir. Ardından bu değişkeleri durağan hale getirmek için değişkenlerin birinci farkları ($D(QBO)$, $D(\Delta NmF2)$) alındı. Birinci farklarında durağan oldukları görüldü.

Tablo 6.14. Singapur istasyonu solar minimum yıllarında 24:00 YZ için Birim Kök Testi Sonuçları

Değişkenler	24:00YZ		
	ADF	PP	KPSS
QBO	-0.34	-1.09	0.15
$\Delta(NmF2)$	-4.23	-2.32	0.13
$D(QBO)$	-3.50	-3.56	0.18
$D(\Delta(NmF2))$	-4.48	-6.67	0.27
Önem Seviyesi	McKinnon(1996) kritik değeri		
1%	-4.27	-4.26	0.21
5%	-3.55	-3.55	0.14
10%	-3.21	-3.20	0.11

Tablo 6.15'te Singapur istasyonu solar minimum yıllarında 12:00 YZ için $\Delta NmF2$ ve QBO için Birim Kök Testi Sonuçları verilmiştir. İlk test sonuçlarında her iki değişkenin de durağan olmadıkları görülmektedir. Ardından bu değişkeleri durağan hale getirmek için değişkenlerin birinci farkları ($D(QBO)$, $D(\Delta NmF2)$) alındı. Birinci farklarında durağan oldukları görüldü.

Tablo 6.15. Singapur istasyonu solar minimum yıllarında 12:00 YZ için Birim Kök Testi Sonuçları

Değişkenler	12:00YZ		
	ADF	PP	KPSS
QBO	-0.34	-1.09	0.15
$\Delta(NmF2)$	-4.75	-3.27	0.50
$D(QBO)$	-3.50	-3.56	0.18
Önem Seviyesi	McKinnon(1996) kritik değeri		
1%	-4.27	-4.26	0.21
5%	-3.55	-3.55	0.14
10%	-3.21	-3.20	0.11

Tablo 6.16'da Singapur istasyonunda 12:00 YZ ve 24:00 YZ için Eş Bütünleşme Test Sonuçları görülmektedir. $\Delta NmF2$ ve QBO değişkenleri arasında uzun dönemli bir ilişkinin olduğu, ADF değerlerinin mutlak değer olarak McKinnon(1996) değerlerinden

($|-5.74| > |-2.65|$ ve $|-4.62| > |-2.65|$) büyük ve p-değeri 0.05 ten küçük olmasından anlaşılmaktadır.

Tablo 6.16. Singapur istasyonu solar minimum yıllarında 12:00 YZ ve 24:00 YZ için Eş Bütünleşme Test Sonuçları

Regresyon Modeli	12:00YZ için		24:00YZ için	
	ADF	p-değeri	ADF	p-değeri
Model	-5.74	0.00	-4.62	0.00
Önem Seviyesi	McKinnon(1996) kritik değeri			
1%	-2.65			
5%	-1.95			
10%	-1.60			

Değişkenler arasında uzun dönemli bir ilişkinin belirlenmesinden sonraki aşama değişkenler arasında bir modelin kurulmasıdır. Sağır, 2013'te verilen 5.7 denklemi bu çalışma için;

$$\Delta(NmF2)=\beta_0+ \beta_1D(QBO)+ \beta_2DummyDoğu+ \beta_3DummyBatı+\varepsilon \quad (6.5)$$

şeklinde güncellendi. Burada β_0 sabit, β_1 , β_2 ve β_3 regresyon katsayılarıdır. “DummyDoğu” QBO’nun doğu yönde esen kısmını, “DummyBatı” QBO’nun batı yönde esen kısmını temsil etmektedir. Kurulan bu regresyon denklemi “EViews 7” programı yardımıyla çalıştırılarak Tablo 6.17’de verilen sonuçlar elde edildi.

Tablo 6.17’de Singapur istasyonunda solar minimum, saat 12:00 YZ ve 24:00 YZ için regresyon analizi sonuçları verilmiştir. Regresyon Modeli sonuçları tablosunun alt bölümünde verilen, Durbin Watson değerinin 1.5-2.5 aralığında, Prob (F-istatistik) değerinin 0.05 ten küçük, Serial Cor. LM ve White Het. değerlerinin 0.05 ten büyük olması gerekmektedir. Bu şartların sağlanması modelimizin doğrulunun ve sağlamlığının diğer bir göstergesidir.

Tablo 6.17’de saat 12:00 YZ için, QBO ile bağımlı değişkenimiz olan $\Delta NmF2$ arasında %5 oranında anlamlı bir ilişki söz konusudur. Bu ilişkide QBO’nun 1 m/s’lik artış/azalış $\Delta NmF2$ ’de $6.60E+9$ ’luk bir azalış/artışa sebep olmaktadır. $\Delta NmF2$ ’deki meydana gelen değişimlerin yaklaşık %58’i QBO tarafından açıklanabilmektedir. QBO’nun hem doğu hem de batı yönünün $\Delta NmF2$ ’deki değişimde etkili olduğu

görülmektedir. $\Delta NmF2$ 'deki meydana gelen değişimlerin yaklaşık %42'sinin ise modelde β_0 ile ifade edilen sabit ve ε ile ifade edilen hata teriminde ile açıklanmaktadır. β_0 ise $NmF2$ 'yi etkileyen ancak IRI-2012 programına dahil edilmeyen diğer etkenlerin olduğu düşünülmektedir.

Tabloda saat 24:00 YZ için de QBO ile bağımlı değişkenimiz olan $\Delta NmF2$ arasında %10 oranında anlamlı bir ilişki söz konusudur. Bu ilişkide QBO'nun 1 m/s'lik artış/azalış $\Delta NmF2$ 'de $1.20E+9$ 'luk bir artış/azalışa sebep olmaktadır. $\Delta NmF2$ 'deki meydana gelen değişimlerin yaklaşık %69'u QBO tarafından açıklanabilmektedir. QBO'nun hem doğu hem de batı yönünün $\Delta NmF2$ 'deki değişimde etkili olduğu görülmektedir. $\Delta NmF2$ 'deki meydana gelen değişimlerin yaklaşık %31'nin ise modelde β_0 ile ifade edilen sabit ve ε ile ifade edilen hata teriminde ile açıklanmaktadır.

Tablo 6.17. Singapur istasyonu için solar minimum durumda, regresyon analizi sonuçları

	12:00YZ	24:00 YZ
β_0(Sabit)	-6.68E+11 (0.00)*	-2.92E+11 (0.00)*
β_1(QBO)	-6.60E+9 (0.03)**	1.20E+9 (0.09)***
β_2(DummyBatı)	-7.12E+11 (0.00)*	-4.11E+11 (0.01)*
β_3(DummyDoğu)	-6.68E+11 (0.00)*	-2.92E+11 (0.00)*
AR (1)	0.64 (0.54)	0.30 (0.24)
R²	0.64	0.79
Adj. R²	0.58	0.69
Durbin Watson	2.06	1.68
Prob. (F-statistics)	0.00	0.00
Serial Cor. LM	0.51	0.06
White Het.	0.46	0.91

*, **, *** sırasıyla 1 %, 5 %, ve 10%'luk önem seviyelerini göstermektedir.

7. SONUÇLAR

Bu çalışmanın ana amacı radyo dalga yayılımı ve haberleşmede kullanılan İyonküre elektron yoğunluğu Ekvator bölgesinde görülen anomaliler ile Ekvatorial Stratoküre’de yaklaşık iki yılda bir meydana gelen salınımlar arasındaki ilişkiyi belirlemektir. Bu amaç doğrultusunda hem direkt olarak ölçülen, hem de İyonküre’yi hesaplayan en temel program olan IRI üzerinden elde edilen elektron yoğunluk değerleri üzerinden istatistiksel hesaplamalar yapıldı. Bu yolla İyonküre hesaplama programına QBO’nun dahil edilip edilmemesi konusu tartışıldı.

QBO verilerinin aylık olması nedeniyle mevsimsel anomali (Kış anomali) verileri analiz için istatistiksel olarak yetersiz olduğundan, gece anomali esas alınarak analiz yapıldı. Analiz yapılırken QBO’nun rüzgâr-vektörel bir büyüklük olduğu da göz önüne alındı ve kurulan modele “Dummy” değişkenleri eklendi.

Kurulan istatistiksel model ve yapılan hesaplamalar sonucunda;

- Her iki istasyonda da QBO ile $\Delta NmF2$ arasında ilişki vardır.
- QBO ile her iki istasyonda da gece değerlerindeki $\Delta NmF2$ ’de daha fazla daha açıklama oranına sahiptir.
- Singapur istasyonunda solar maksimum durumu saat 12:00YZ haricindeki tüm durumlarda QBO’nun doğu ve batı yönü, $\Delta NmF2$ ’nin değişimi üzerinde etkilidir.
- Ascension istasyon da ve her iki solar durum için saat 12:00 YZ ve 24:00 YZ için, $\Delta NmF2$ değişimler oldukça anlamlıdır ki bunlar: Solar maksimum durumunda sırasıyla 0,62 ve 0,79 olarak, solar minimum durumunda 0,89 ve 0,79’dur.
- Singapur istasyon da ve her iki solar durum için saat 12:00 YZ ve 24:00 YZ için, $\Delta NmF2$ değişimler oldukça anlamlıdır ki bunlar: Solar maksimum durumunda sırasıyla 0,69 ve 0,84 olarak, solar minimum durumunda 0,58 ve 0,69’dur.

QBO, Singapur istasyonunda solar minimum durumu hariç, her iki istasyon ve her iki solar durumda $\Delta NmF2$ ile negatif ilişkilidir. Yani ölçülen ile hesaplanan arasındaki fark QBO’nun artışı ile azalmaktadır. Bu durumda QBO’nun IRI programına dahil edilmesi hesaplanan değeri düşürecek ve gerçek değerden sapma oranını azaltacağı düşünülmektedir. Ayrıca gece anomali, gece değerlerinin gündüz değerlerinden yüksek

olması ve QBO'nun da gece değerlerindeki farkta açıklanabilirlik oranının gündüzden daima yüksek olması QBO'nun bu anomaliler üzerinde etkili olabileceği düşünölmektedir.

KAYNAKLAR

- Akkaya, İ., 1997. Antenler ve Propagasyon, Sistem, İstanbul,
- Altadill, D., Apostolov, E.M., Boska, J. K. A., J. L. ve Sauli, P., 2004. Planetary and Gravity wave signatures in the *F*-region ionosphere with impact on radio propagation predictions and variability, *Ann. of Geophys.*, **47**, 2-3.
- Arıcı, 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.
- Asnani G.C., 2005. Tropical Meteorology, second edition, Vol. 2, Pune, India
- Aydoğdu, M., 1986. North-south asymmetry in NmF2 at mid-latitude conjugate ionospheric produced by asymmetrical thermospheric winds, *J. Geomagnetic Geoelectrics*, **39**, 177-185.
- Aydoğdu, M., Güzel, E., Yeşil, A., Özcan, O., Canyılmaz, M., 2007, Comparison of the calculated absorption and the measured field strength of HF waves reflected from the ionosphere, *Il Nuovo Cimento*, **30**, 243-253.
- Aydoğdu, M., Yeşil, A. ve Güzel, E., 2003. The group refractive indices of HF waves in the ionosphere and departure from the magnitude without collisions, *J. Atmos. Sol.-Terr. Phys.*, **66**, 343-348.
- Aydoğdu, M., 1986, Dip Ekvator Üzerindeki İyonküre'nin F- Bölgesindeki Elektron Kayıp Katsayısının (β) Hesaplanması, Doğa TU Fiz. Ve Astrofiz. D.C 12 S. 1 1988.
- Aydoğdu, M., 1980, Ariel 4 uydusuyla elde edilen elektron yoğunluğu verilerinin 70^0 - 80^0 D ve 60^0 - 70^0 B boylamları arasında incelenmesi, Doktora Tezi, E.Ü. Fen Fakültesi, İzmir.
- Aydoğdu, M. ve Özcan, O., 1991, Thermospheric Winds Over Turkey, Erc. Üniv. Fen Bil. Derg., **7**, 1, 1075-1083.

- 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. ve Takahashi, M.,** 2001. Quasi-Biennial Oscillation, *Rev. Geophys.*, **39**, 179-229.
- Bhagavathiammal G.J., Sathishkumar S., Sridharan S., Manohar Lal, Gurubaran S., Nair K.U.,** 2010. First results of convectively generated long-period kelvin waves in the low-latitude mesosphere during Indian summer monsoon, *J. Atmos. Sol.-Terr. Phys.*, **72**, 1204–1211.
- Bowman, K.P.,** 1989. Global Patterns of the Quasi Biennial Oscillation in total ozone. *J. Atmos. Sci.*, **46**, 21.
- Burrage M. D., Vincent R. A., Mayr H. G., Skinner W. R., Arnold N. F. ve Hays P. B.,** 1996. Long-term variability in the equatorial middle atmosphere zonal wind, *J. Geophys. Res.*, **101**, 12,847–12,854.
- Cadet, D. ve Teitelbaum, H.,** 1979. Observational evidence of internal inertia-Gravity waves in the tropical stratosphere, *J. Atmos. Sci.*, **36**, 892–907.
- Chen, P.,** 1992. Evidence of the ionospheric response to the QBO, *Geophys. Res. Lett.*, **19**, 1089-1092.
- Dunkerton T. J.,** 1997. The role of Gravity waves in the Quasi Biennial Oscillation, *J. Geophys. Res.*, **102**, 26,053–26,076.
- Ebdon, R. A.,** 1960. Notes on the wind flow at 50 mb in tropical and subtropical regions in January 1957 and in 1958, *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, **86**, 540–542.
- 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.,** 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.
- Ern, M. ve Preusse, P.,** 2009. Wave fluxes of equatorial Kelvin waves and QBO zonal wind forcing derived from SABER and ECMWF temperature space-time spectra, *Atmos. Chem. Phys.*, **9**, 3957-3986.

- Gray, L. J. ve Pyle, J. A.,**1989. A two-dimensional model of the Quasi-Biennial Oscillation in ozone, *J. Atmos. Sci.*, **46**, 203– 220.
- Hagan, M. E., Burrage, M. D., Forbes, J. M., Hackney, J., Randel, W. J. ve Zhang, X.,** 1999. QBO effects on the diurnal tide in the upper atmosphere, *Earth Planets Space*, **51**, 571–578.
- Hargreaves, J.K.,** 1992. The Solar–Terrestrial Environment. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 420.
- 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.
- Hines, C. O. ve Reddy, A.,** 1967. On the propagation of atmospheric Gravity waves through regions of wind shear. *J. Geophys. Res.*, **72**, 1015-1033.
- R. Hommel^{1,*} , C. Timmreck¹ , M. A. Giorgetta¹ , and H. F. Graf² Quasi-biennial oscillation of the tropical stratospheric aerosol layer, *Atmos. Chem. Phys.*, **15**, 5557–5584, 2015, doi:10.5194/acp-15-5557-2015
- Holton, J. R. ve Lindzen, R.S.,** 1972. An updated theory for the quasi-biennial cycle of the tropical stratosphere, *J. Atmos. Sci.*, **29**, 1076–1080.
- Hunsucker, R.D. ve Hargreaves, J. K.,** 2003, The High-Latitude Ionosphere and its Effects on Radio Propagation, Cambridge University Press, 1-50.
- Karatay, S.,** 2010. Deprem ile İyonküre'deki toplam elektron içeriği arasındaki ilişkinin araştırılması, *Doktora Tezi*, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Karatay, S., Arian F., Arian O.,** 2009, Investigation of total electron content variability due to seismic and geomagnetic, *Radio Science*.
- Keckhut, P. ve Chanin, M. L.,** 1989. Seasonal variation of the 11-year solar cycle effect on the middle atmosphere; role of the quasi-biennial oscillation, **29**, SCOSTEP Secretariat, University of Illinois, 1989.
- Kohsiek, A. Glassmeier, K.H., Hirooka, T.,** 1995. Periods of planetary waves in geomagnetic activity, *Ann. Geophys.*, **13**, 168–176.

- 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.
- Labitzke, K. ve Van Loon, H.**,1999. The Stratosphere, Springer-Verlag, New York.
- Labitzke, K.**,2006. Solar variations and stratospheric response, *Space Sc. Rev.*, **125**, 247–260.
- Lait, L. R., Schoeberl, M. R. ve Newman, P. A.**, 1989. Quasibiennial modulation of the Antarctic ozone depletion, *J. Geophys. Res.*, **94**, 11.559 –11.571.
- Lastovicka, J.**, 1997a. Observations of tides and planetary waves in the atmosphere-ionosphere system, *Adv. Space Res.*, **20**,1209–1222.
- Lastovicka, J.**, 1997b. Long-Term Trends in The Upper Middle Atmosphere as Detected by Ionospheric Measurements, *Adv. Space Res.*, **20**, 2065–2073.
- Lastovicka, J.**, 2000. Effects of Gravity and planetary waves on the lower ionosphere as obtained radio wave absorption measurements, *Phys., Chem. Earth*, **26**, 479-497
- Lastovicka, J.**, 2005. Forcing of ionosphere by waves from below, *Academi Sci.*, **68**, 479-497
- Lindzen, R. S.**, 1987. On the development of the teory of the QBO, *B. Am. Meteorol. Soc.*, **68**, 329–337.
- Maruyama, T.**, 1997. The quasi-biennial oscillation (QBO) and equatorial waves—A historical review, *Pap. Meteorol. Geophys.*, **48**, 1–17.
- Mohanakumar, K.**, 2008. Stratosfer Troposfer Interaction, Springer, Cochin
- Naujokat, B.**, 1986. An update of the observed quasi-biennial oscillation 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*, **8**, 113–123.
- Özkan, Y.**, 2003. Uygulamalı İstatistik I, Sakarya Kitabevi, Sakarya,

- Parish, H.F., Forbes, J.M., Kamalabidi, F.,** 1994. Planetary wave and solar emission signatures in the equatorial electrojet, *J. Geophys. Res.*, **99**, 355–368.
- Plumb, R. A.,** 1977. The interaction of two internal waves with the mean flow: Implications for the theory of the quasi-biennial oscillation, *J. Atmos. Sci.*, **34**, 1847–1858.
- Rajaram, R. ve Gurubaran, S.,** 1998. Seasonal variabilities of low-latitude mesospheric winds; *Ann. Geophys.*, **16**, 197–204.
- 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., Chanin 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.
- Randel, W. J., Wu, F., Swinbank, R., Nash, J. ve O’Neill, A.,** 1999. Global QBO circulation derived from UKMO stratospheric analyses, *J. Atmos. Sci.*, **56**, 457–474.
- Reed, R. J., Campbell, W. J. Rasmussen, L. A. ve Rogers, R. G.,** 1961. Evidence of a downward propagating annual wind reversal in the equatorial stratosphere, *J. Geophys. Res.*, **66**, 813–818.
- Rishbeth, H.,** 1973. Physics and chemistry of the ionospheric ion temp, *Phys*, **14**, 229, 240.
- Rishbeth, H. ve Garriot, O.K.,** 1969, *Introduction to Ionospheric Physics*, Academic Press, New York, 175-186
- Rishbeth, H., April, 1973,** How The Thermospheric Circulation Affects The Ionospheric F₂-Layer
- Rishbeth, H.,** 1967, A Review of Ionospheric F Region Theory, *Proceedings of The Ref.* Vol. 55, No:1
- 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, 1-80.

- Schunk R. W. ve Nagy A.F.**, 2009. Ionosphere Physics, Plasma Physics and Chemistry, Cambridge University Press, New York.
- Sharma, A. K., Rokade, M. V., Kondala Rao, R., Gurubaran, S.ve Patil, P. T.**, 2010. Comparative study of MLT mean winds using MF radars located at 16.8°N and 8.7°N, *J. Earth Syst. Sci.* ,**119**, 461–470.
- Sridharan S., Tsuda, T. ve Gurubaran, S.**, 2007. Radarobservations of long-term variability of mesosphereand lower thermosphere winds over Tirunelveli (8.7°N,77.8°E),*J. Geophys. Res.*,**112**,D23105.
- Tascione, T.F.**, 1988.Introduction to the Space Environment, Orbit Book Company, Florida.
- URL-1**, <http://strat-www.met.fu-berlin.de>. 11Kasım 2011.
- URL-2**, <http://spidr.ngdc.noaa.gov>. 10Ocak 2012.
- URL-3**, <http://www.wdcb.ru/stp/data/solar.act/sunspot>. 20 Şubat 2012.
- URL-4**, <http://wikipedia.org>. 23Mart 2012.
- Wallace, J. M. ve Newell, R.E.**, 1966. Eddy fluxes and the biennial stratospheric oscillation,*Quart.J.Roy. Meteor.Soc.*,**92**, 481-489.
- 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
- Yang G. Y., Brian J. H.ve Julia M. S.**, 2011. Equatorial waves in opposite QBO phases, *Am. Meteorol. Soc*, **68**, 839-862

ÖZGEÇMİŞ

1. Adı Soyadı : Kadri KURT

İletişim Bilgileri

Adres

:Elazığ yolu 6. Km. Süleyman Demirel Kampüsü Rekabet
Kurumu Anadolu Lisesi Yenişehir /Diyarbakır

Telefon

: 0 505 305 99 21

Mail

: kadrikurt@hotmail.com

2. Doğum Tarihi : 30/09/1972

3. Unvanı : Uzman Öğretmen

4. Öğrenim Durumu : Yüksek Lisans

Derece	Alan	Üniversite	Yıl
Lisans	Fizik Bölümü	Dicle Üniversitesi	1998
Y. Lisans	Yüksek Enerji ve Plazma Fiziği	Fırat Üniversitesi	2008
Doktora	Yüksek Enerji ve Plazma Fiziği	Fırat Üniversitesi	2016

5. Yayınlar

5.1. Uluslararası diğer hakemli dergilerde yayınlanan makaleler

1. M.Aydoğdu, A.Yeşil and K.Kurt. Effect of Seasonal Anomalyor Winteron The Refractive Index of in The Ionospheric F2-Peak.
2. A.Yeşil,S. Karatay, S.Sağır ve K.Kurt,The Seasonal Behavior of the Refractive Index of the Ionosphere over the Equatorial Region,Turkish Journal of Science & Technology,Vol 8(2)81-89,Eylül,2013

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

1. A.Yesil ,S.Karatay, S.Sağır, K.Kurt, İ.Ünal, The Behavior of Refractive Index of The Equaaator Region of The Ionosphere, VI.URSI-Turkiye Ulusal Komitesi, ..., İstanbul 2012.

2. Yesil A., Sagir S., Kurt K. The Behavior of the Classical Diffusion Tensor for Mid-Latitude Ionospheric Plasma, Bulgarian Academy Of Sciences Space Research And Technology Institute, Sofia 2016.
3. Özcan O., Yesil A., Sagir S., Kurt K. Electrical Conductivity Tensor For Low And Mid-Latitude Ionospheric Plasma, Bulgarian Academy Of Sciences Space Research And Technology Institute, Sofia 2016.
4. Sagir S., Kurt K., Yesil A. The characterization of the thermal conductivity in the equatorial anomaly region, Sunny Beach, Bulgaristan 2016.
5. K.Kurt, A. Yesil, H.Alisoy,S.Sagir, The characterization of Diffusion Tensor for mid-latitude Ionospheric Plasma,1st The International Middle East Plasma Science (IMEPS) Conference, Antalya 2014
6. K.Kurt, A.Yeşil, S.Sağır, R.Atıcı, The Comparion of Relation with QBO of Difference of Observed and Calculated foF2 The 5th IAGA/ICMA/SCOSTEP Workshop on Vertical Coupling in the Atmosphere-Ionosphere System, Antalya, 2014

6. Bilimsel ve Mesleki Kuruluşlara Üyelikler

1. URSI Ulusal Komitesi/ G- Komisyonu
2. ARBİS
3. TFD