

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İYONKÜREDEKİ TERMOKÜRESEL RÜZGARLAR

Hüsnü AKSAKAL

TC YÜKSEK LİSANS TEZİ
DOĞU ANADOLU TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
FİZİK ANABİLİM DALI

96362

YÜKSEK LİSANS TEZİ
FİZİK ANABİLİM DALI

ELAZIĞ
2000

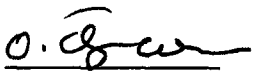
T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İYONKÜREDEKİ TERMOKÜRESEL RÜZGARLAR

Hüsnü AKSAKAL

YÜKSEK LİSANS TEZİ
FİZİK ANABİLİM DALI

Bu Tez, 11.07.2022 Tarihinde, Aşağıda Belirtilen Jüri Tarafından Oybirliği
/Oyçokluğu İle Başarılı / Başarısız Olarak Değerlendirilmiştir.



Danışman

Doç. Dr. Osman ÖZCAN



Prof. Dr. Mehmet AYDOĞDU



Doç. Dr. Fahrettin BÖKE

ÖZET
YÜKSEK LİSANS TEZİ

İYONKÜREDEKİ TERMOKÜRESEL RÜZGARLAR

Hüsnü AKSAKAL

Fırat Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Fizik Anabilim Dalı
2000, Sayfa: 56

Bu çalışmada, iyonküredeki termoküresel (nötr) rüzgarlar (40° K, 40° D) coğrafik koordinatı için F2-bölgesinin tepe yüksekliği (h_mF2)’de incelenmiştir. Nötr havanın hareket denklemi çözülerek, nötr rüzgarın kuzey-güney (U_y) ve doğu-batı (U_x) bileşenlerinin matematiksel ifadeleri elde edildi. Bu ifadeler kullanılarak nötr rüzgarın U_y ve U_x bileşenlerinin nümerik değerleri hesaplandı. Hesaplamalar için gerekli olan parametreler International Reference Ionosphere (IRI) modelinden elde edildi.

Nötr rüzgar hızının günlük ve mevsimsel değişimleri incelendi. 21 Aralık’ta nötr rüzgarın hızı maksimumdur (~ 200 m/s). U_y hızı yaklaşık olarak saat 06-18 yerel zaman (YZ) arasında kutuba, günün geri kalan saatlerinde ise ekvatora doğrudur. U_x hızı ise yaklaşık 02-14 YZ arasında batıya doğru iken, günün diğer saatlerinde doğuya doğrudur.

Ayrıca nötr rüzgarın düşey bileşeni hesaplanarak bu hızın iyonküre plazması üzerindeki etkisi araştırıldı. Düşey hızın yönü gündüz saatlerinde aşağıya, gece saatlerinde ise yukarıya doğrudur. Bu hız gündüz saatlerinde h_mF2 tepesini aşağıya, gece saatlerinde ise yukarıya doğru hareket ettirir. Nötr rüzgar gündüz saatlerinde elektron yoğunluğunu azaltır gece saatlerinde ise artırır

Son olarak, IRI modeli kullanılarak hesaplanan U_x ve U_y hızları, Horizontal Wind Model (HWM-93) ile elde edilen U_x ve U_y hızları karşılaştırıldı.

Anahtar Kelimeler : İyonküre, termoküre, nötr rüzgarlar, düşey hız.

ABSTRACT
MASTER THESIS

THERMOSPHERIC WINDS IN THE IONOSPHERE

Hüsnü AKSAKAL

Firat University
Graduate School of Science and Technology
Department of Physics
2000, Page: 56

In this study, thermospheric (neutral) winds in the ionosphere have been investigated for geographic coordinates of (40° K, 40° D) at F2 peak height (h_mF2). The mathematical expressions of north-south (U_y) and east-west (U_x) components of the neutral wind have been obtained by solving the equation of neutral air motion. The numerical values of U_y and U_x have been calculated by using this expression. The ionospheric parameters which are necessary for the calculations are obtained from International Reference Ionosphere Model-95 (IRI95).

The diurnal and seasonal variation of neutral wind velocity has been investigated. The neutral wind velocity is maximum (~200 m/s) at 21 December. U_y velocity is poleward approximately between 06-18 LT and it is equatorward during the rest hours of the day. U_x is westward between 02-14 LT and it is eastward during the rest hours of the day.

In addition, the effect of this velocity on ionospheric plasma has also been examined by computing the vertical component of neutral wind. The vertical velocity is downward during the daytime and upward during the nighttime. During the daytime this velocity moves the h_mF2 height downward and upward during the nighttime. The neutral wind decreases the electron density during the daytime and increases during the nighttime.

Finally the calculated of the U_x and U_y velocities using IRI-model, were compared with the U_x and U_y velocities obtained by Horizontal Wind Model (HWM-93)

Key Words: Ionosphere, thermosphere, neutral winds, vertical velocity.

TEŞEKKÜR

“İyonküredeki Termoküresel Rüzgarlar” isimli tez çalışmasının her safhasında ilgi ve yardımlarını esirgemeyen danışman hocam sayın Doç. Dr. Osman ÖZCAN Bey’e sonsuz teşekkür eder saygı ve şükranlarımı sunarım.

Ayrıca her zaman desteklerini esirgemeyen sayın hocam Prof. Dr. Mehmet AYDOĞDU Bey’e, özel ilgi ve yardımlarından dolayı Arş.Gör.Ali YEŞİL ve Arş.Gör. İbrahim ÜNAL’a teşekkür ederim

Çalışmalarımın her aşamasında Niğde Üniversitesi Fizik Bölümü öğretim üyelerinin göstermiş olduğu hoşgörüyü teşekkür ederim.

Hüsnü AKSAKAL



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET.....	II
ABSTRACT.....	III
TEŞEKKÜR.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	VI
TABLolar LİSTESİ.....	VIII
SİMGELER LİSTESİ.....	IX
1. GİRİŞ.....	1
2. NÖTR RÜZGARLAR	4
3. NÖTR HAVANIN HAREKET DENKLEMİ.....	7
3.1. Hareket Denklemine Oluşturulması	7
3.2. İyonların Hareketi.....	10
4. HAREKET DENKLEMİNİN ÇÖZÜMÜ	15
4.1. Hareket Denklemine Bileşenleri ve Sınır Şartları	15
4.2. Nötr Rüzgar Hızının Hesaplanması	18
4.3. Düşey Hız.....	21
4.4. Nötr Rüzgarın İyonküre Üzerine Etkileri.....	22
5. MATERYAL VE METOD.....	25
6. BULGULAR VE TARTIŞMA	26
6.1. Nötr Rüzgarın Günlük ve Mevsimsel Değişimi.....	26
6.2. Nötr Rüzgarın Coğrafik Enlemle Değişimi.....	28
6.3. Nötr Rüzgarın Güneş Lekesi ile Değişimi.....	36
6.4. Düşey Hızın Günlük Değişimi.....	38
6.5. Nötr Rüzgarın İyonküre Üzerindeki Etkisi.....	39
7. SONUÇ.....	41
KAYNAKLAR.....	44

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1. Atmosferin sıcaklık, fiziksel olaylar ve kimyasal bileşenlerine göre bölgelere ayrılışı(Risbeth ve Garrot, 1969).....	2
Şekil 2.1. Güneş lekesinin orta derecede olduğu ekinoksta eksokürede sıcaklık dağılımı(Risbeth, 1972).....	4
Şekil 3.1. Ekvator üzerinde 400 km yüksekliğindeki sürücü kuvvetin günlük değişimi(King ve Kohl, 1967).....	9
Şekil 3.2. Kinematik viskozite katsayısının yükseklikle değişimi(King ve Kohl, 1967).....	9
Şekil 3.3. Kuzey yarımkürede bir noktadaki nötr rüzgar hızı (U), düşey hız (W) ve Yer'in manyetik alanının geometrisi(Risbeth, 1972).....	11
Şekil 4.1. Tablo 4.1b'de verilen parametrelerin Güneş lekesinin minimum değerleri için yükseklikle değişimleri(Risbeth, 1972).....	17
Şekil 4.2. Nötr rüzgar hızı ve bileşenlerinin 300 km'de günlük değişimi (Risbeth, 1972).....	19
Şekil 6.1. U_x hızının günlük ve mevsimsel değişimi(40° K, 40° G, pozitif değerler doğuya doğrudur).....	27
Şekil 6.2. U_y hızının günlük ve mevsimsel değişimi(40° K, 40° G, pozitif değerler kuzeye doğrudur).....	27
Şekil 6.3. Nötr rüzgar hızının günlük ve mevsimsel değişimi(40° K, 40° G, pozitif değerler kuzeye doğrudur).....	28
Şekil 6.4. U_x hızının farklı coğrafik enlemlerde günlük değişimi(40° K, 40° G, pozitif değerler doğuya doğrudur).....	29
Şekil 6.5. U_y hızının farklı coğrafik enlemlerde günlük değişimi (pozitif değerler kuzeye doğrudur).....	30
Şekil 6.6. U_x hızının 12 YZ ve 24 YZ'da coğrafik enlem ile değişimi (pozitif değerler doğuya doğrudur).....	30
Şekil 6.7. U_y hızının 12 YZ ve 24 YZ'da coğrafik enlem ile değişimi (pozitif değerler kuzeye doğrudur).....	31
Şekil 6.8. Nötr rüzgar hızının kuzey yarımküre için farklı enlemlerde yerel zaman ile değişimi.....	32

Şekil 6.9. Nötr rüzgar hızının U_x bileşeninin kuzey ve güney yarımkürede günlük değişimi(pozitif değerler doğuya doğrudur).....	32
Şekil 6.10. Nötr rüzgar hızının U_y bileşeninin kuzey ve güney yarımkürede günlük değişimi(pozitif değerler kuzeye doğrudur).....	33
Şekil 6.11. Nötr rüzgar hızının coğrafik enlem ve yerel zaman ile değişimi (pozitif değerler kuzeye ve doğuya doğrudur).....	36
Şekil 6.12. Nötr rüzgar hızının U_x bileşeninin Güneş lekesi değerine göre günlük değişimi(pozitif değerler doğuya doğrudur).....	37
Şekil 6.13. Nötr rüzgar hızının U_y bileşeninin Güneş lekesi değerine göre günlük değişimi(pozitif değerler kuzeye doğrudur).....	38
Şekil 6.14. Düşey hızın (W) kuzey yarımkürede farklı enlemlerde günlük değişimi(pozitif değerler yukarı doğrudur).....	39
Şekil 6.15. $h_m F2$ yüksekliğinin nötr rüzgarın etkisi ile günlük ve mevsimsel değişimi($40^\circ D$, $40^\circ K$).....	40
Şekil 6.16. $N_m F2$ yüksekliğinin nötr rüzgarın etkisi ile günlük ve mevsimsel değişimi($40^\circ D$, $40^\circ K$).....	40
Şekil 7.1. IRI ve HWM93 modelleri ile elde edilen U_x hızlarının günlük dağılımı($40^\circ D$, $40^\circ K$).....	43
Şekil 7.2. IRI ve HWM93 modelleri ile elde edilen U_y hızlarının günlük dağılımı($40^\circ D$, $40^\circ K$).....	43

TABLOLAR LİSTESİ

Sayfa

Tablo 4.1a. 300 km yükseklikte iyonküre parametrelerinin Güneş lekesi ile değişimleri.....	16
Tablo 4.1b. R'nin minumum değerleri için iyonküre parametrelerinin öğlen saatlerinde yükseklik ile değişimleri.....	16
Tablo 6.1a. Kuzey yarımküre için U_x hızının günlük ve coğrafik enlem ile değişimi.....	34
Tablo 6.1b. Güney yarımküre için U_x hızının günlük ve coğrafik enlem ile değişimi.....	34
Tablo 6.2a. Kuzey yarımküre için U_y hızının günlük ve coğrafik enlem ile değişimi.....	35
Tablo 6.2b. Güney yarımküre için U_y hızının günlük ve coğrafik enlem ile değişimi.....	35
Tablo 7.1a. U_y hızının IRI-95 ve HWM-93 modellerine göre günlük değişimleri.....	42
Tablo 7.1b. U_y hızının IRI-95 ve HWM-93 modellerine göre günlük değişimleri.....	42

SİMGELER LİSTESİ

E	: Elektrik alan.
B	: Yer'in manyetik alanı.
v	: Çarpışma frekansı.
v_{in}	: İyon-nötr çarpışma frekansı.
ω_i	: İyonun dönme frekansı.
ω_e	: Elektron için dönme frekansı.
U	: Nötr rüzgarın hızı.
U_x	: Nötr rüzgar hızının doğu-batı bileşeni.
U_y	: Nötr rüzgar hızının kuzey-güney bileşeni.
ω	: Dünyanın açısal hızı.
N_i	: İyon yoğunluğu.
N_n	: Nötr yoğunluk.
N_e	: Elektron yoğunluğu.
V	: İyon sürüklenme hızı.
V_{//}	: İyon sürüklenme hızının manyetik alana paralel bileşeni.
μ	: Moleküler viskozite katsayısı.
ρ	: Yoğunluk.
g	: Yerçekimi ivmesi.
R_d	: Yer'in yarıçapı.
∇	: Del operatörü.
F	: Birim kütle başına basınç değişim kuvveti.
F_x	: Basınç değişim kuvvetinin doğu-batı bileşeni .
F_y	: Basınç değişim kuvvetinin kuzey-güney bileşeni .
P	: Gaz basıncı.
φ	: Coğrafik enlem derecesi.
A(h)	: Yüksekliğe bağlı değişen sabit bir katsayı.
h	: Yükseklik.
S	: Birim kütleye etkiyen iyon durdurma kuvveti.
D	: Deklinasyon açısı.
I	: Manyetik dip açısı.

- $V_{\perp}$: İyonun hem elektrik hem de manyetik alana dik sürüklenme hızı.
 R : Güneş lekesi sayısı.
 P_e : Elektronun kısmi basıncı.
 P_i : İyonun kısmi basıncı.
 T : Sıcaklık.
 k : Boltzman sabiti.
 e : Elektron veya iyon yükü.
 m : Parçacık kütlesi.
 $\nabla_{//}$: Manyetik alana paralel dell operatörü.
 t : Yerel zaman.
 H : Ölçek yüksekliği.
 f : Coriolis parametresi.
 θ : Nötr rüzgar hızının coğrafik kuzeyle yaptığı açı.
 D_v : Plazma difüzyon katsayısı.
 ε : Faz açısı

Kısaltmalar: YZ : Yerel zaman,
 ve diğ. : ve diğerleri

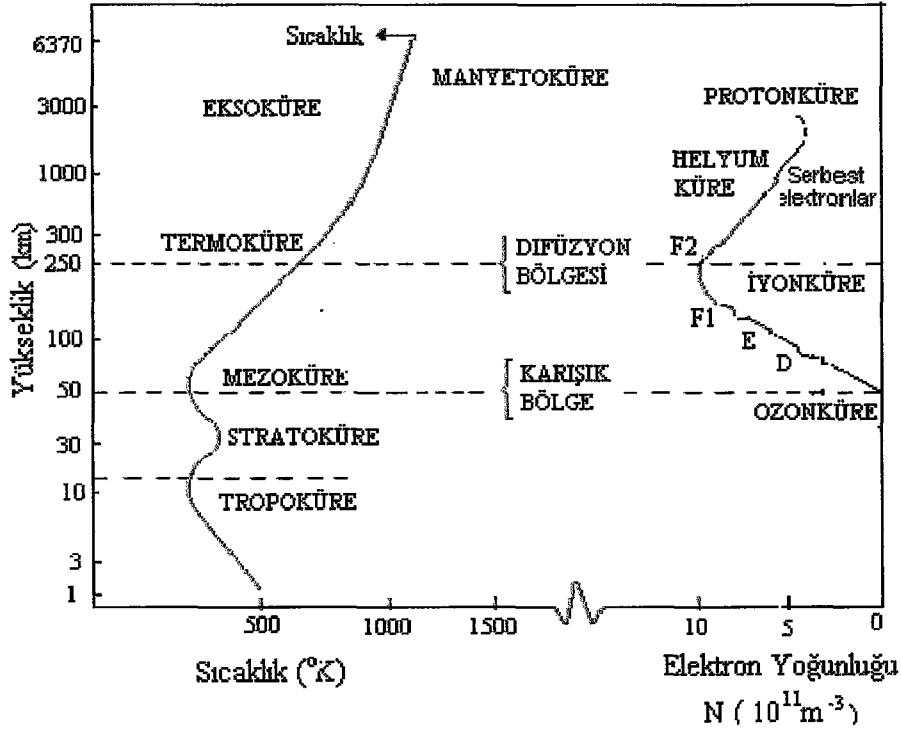
1. GİRİŞ

Yerküreyi çevreleyen atmosfer sıcaklık, fiziksel olaylar ve kimyasal bileşenlerine göre çeşitli bölgelere ayrılır. Atmosferin bu özelliklerine göre bölgelere ayrılışı Şekil 1.1’de verilmiştir. Şekilden görüleceği gibi, bu bölgeler sonları küre ile bitecek şekilde adlandırılmışlardır. Atmosfer, sıcaklığa göre tropoküre, stratoküre, mezoküre, termoküre ve eksoküre olmak üzere beş bölgeye ayrılır. Fiziksel olaylara göre atmosferin yere yakın olan ve karışık fiziksel olayların geliştiği karışık bölge, her gazın kendi ağırlığına göre yer çekimi etkisi altında ayrı ayrı hareket ettiği difüzyon bölgesi ve Yer’in manyetik alanının yüklü parçacıkların hareketini etkisi altına aldığı manyetoküre olmak üzere üç bölgeye ayrılır. Kimyasal bileşenlerine göre ise ozonküre, iyonküre, helyumküre, ve protonküre olmak üzere dört bölgeden oluşmaktadır.

Atmosferin Güneş ışınımı tarafından oluşturulan iletken bölgesine iyonküre denir. İyonküre serbest elektronlar, pozitif iyonlar ve nötr parçacıklardan oluşur. İyonküredeki elektron sayısı ile pozitif iyonların sayısı hemen hemen eşittir. Bu nedenle, iyonküre plazmadan oluşmaktadır.

İyonkürenin en alt sınırı yerden yaklaşık 50 kilometreden başlar. Üst sınırı kesin olarak belli olmamakla beraber He^+ ve H^+ gibi hafif iyonların O^+ iyonu gibi ağır iyonlara göre atmosfere hakim oldukları yükseklik olarak kabul edilmektedir. Bu da yaklaşık 600-900 km arasında değişir (gece ~900, gündüz ~600 km). İyonküre elektron yoğunluğuna göre D, E ve F olmak üzere üç bölgeye ayrılır. Şekil 1.1’de görüldüğü gibi iyonkürenin en alt bölgesi D bölgesidir. Bu bölgenin üst sınırı yaklaşık 90 km’ye kadar çıkar. Yaklaşık 90-150 km arasındaki bölge E bölgesi olarak adlandırılır. Elektron yoğunluğunun en fazla olduğu bölge ise F bölgesidir. Bu bölge de kendi arasında F1 ve F2 olmak üzere iki bölgeden oluşur. Elektron yoğunluğunun maksimum olduğu yüksekliğe F2 tepesi (h_mF2) denir. h_mF2 yüksekliği 250-400 km arasında değişmektedir.

İyonkürenin en önemli özelliği, haberleşme ve radyo yayınları için kullanılan uzun, orta ve kısa dalgaları yansıtabilmesidir. Elektromanyetik dalganın iyonküredeki yansıması ve soğurulması elektron yoğunluğuna doğrudan bağlıdır. İyonkürenin en önemli bölgesi olan F-bölgesindeki elektron yoğunluğu, plazma difüzyonu, nötr rüzgarlar, termal genleşme ve büzülme ile dinamo hareketleri



Şekil 1.1. Atmosferin sıcaklık, fiziksel olaylar ve kimyasal bileşenlerine göre bölgelere ayrılışı (Risbeth ve Garriot, 1969).

tarafından oluşturulan elektrik alan sürüklenmelerine bağlıdır. Bu nedenle elektron yoğunluğunun bilinmesi için nötr rüzgarların bilinmesi gerekir (Özcan, 1991). Bu süreçlerin elektron yoğunluğu üzerindeki etkileri düşük, orta ve yüksek enlemler için farklı farklıdır. Düşük enlemler için F-bölgesindeki en önemli taşınma süreci $E \times B$ sürüklenmesidir. Burada E elektrik alan, B manyetik alandır. Orta enlemlerde ise nötr rüzgarlar elektron yoğunluğuna etki eden diğer taşınım mekanizmalarından daha önemli olmaktadır (Roble ve Anderson 1981; Fuller ve diğ., 1997; Briggs, 1977; Risbeth, 1997).

Kısa dalga boylu UV ışınımları termoküre içinde büyük çapta emilir. Bu emilme bu bölgedeki yüksek sıcaklığın oluşmasına neden olur. Açığa çıkan ısının büyük kısmı aşağı doğru olan iletim ile uzaklaştırılır. Bu nedenle termoküredeki sıcaklık yükseklikle artar (Risbeth ve Garriot, 1969). Nötr atmosferdeki rüzgarlar temel olarak sıcaklık farkı sonucunda oluşan basınç değişiminden kaynaklanmaktadır. Herhangi bir yükseklikteki sıcaklık değişimi aynı yükseklikte bir basınç değişimi oluşturur. Daha

önemlisi sıcaklıktaki artış atmosferin yukarıya doğru genişmesine neden olur (Titheridge, 1995a).

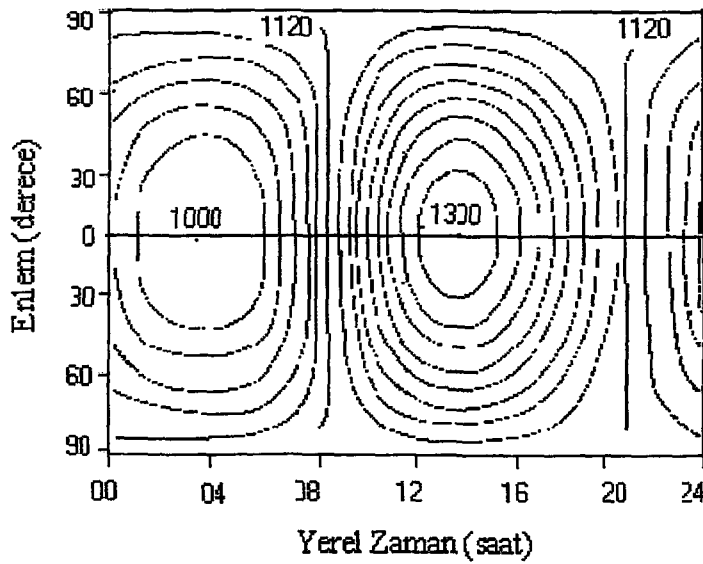
Bu çalışmada, nötr rüzgarın doğu-batı ve kuzey-güney bileşenlerinin matematiksel ifadeleri elde edilecek. Nümerik hesaplamalar için gerekli olan parametreler International Reference Ionosphere-IRI modelinden elde edilerek nötr rüzgarın günlük, mevsimsel, coğrafik enlem ve Güneş lekesiyle değişimleri incelenecektir. Ayrıca nötr rüzgarın iyonküre plazması üzerindeki etkileri incelenecektir.



2. NÖTR RÜZGARLAR

Bundan 50-60 yıl öncesine kadar 200 km'nin üzerindeki iyonküre içindeki termoküresel rüzgarlar hakkında bilgi çok azdı. Nötr rüzgarlar, yaklaşık olarak 200 km yükseklikteki günlük basınç değişimlerinden oluşur. Bu değişimlerin temel nedeni Güneş'ten gelen ışınımın atmosferi ısıtmasıdır. Gündüz orta ve düşük enlemlerde, Güneş'ten gelen X ve UV ışınımının yaklaşık olarak 100-200 km arasındaki yüksekliklerde emilmesi sonucunda, bu yüksekliklerdeki günlük sıcaklık değişimleri yaklaşık %20-30 dolayında olmaktadır.

Şekil 2.1, Jacchia'nın idealize edilmiş modeline göre bir eşsıcaklık haritasını göstermektedir. Atmosferin ısı genleşmesi yaklaşık olarak saat 14 yerel zaman (YZ) civarında, ekvator üzerinde günlük çıkıntı olarak adlandırılan bir yüksek basınç oluşturur. Bu yüksek basınç, nötr atmosferde yatay rüzgarları oluşturabilen yatay değişimler meydana getirir. Yine aynı şekilde görüldüğü gibi saat 04 YZ civarında ekvator üzerinde bir alçak basınç oluşmaktadır. Nötr rüzgarlar, atmosferin alt bölgelerindeki meteorolojik rüzgarlar gibi yüksek basınç bölgesinden alçak basınç olan bölgeye doğru esmektedir (Geisler 1967; Risbeth, 1972; Titheridge, 1995a; Fagundes ve diğ.)



Şekil 2.1. Güneş lekelerinin orta derecede olduğu ekinoksta, eksokürede sıcaklık dağılımı (Risbeth, 1972).

Konu ile ilgili yapılan ilk çalışmalarda F-bölgesindeki nötr hava basıncının günlük değişiminin termoküresel rüzgarlara neden olduğu ortaya çıktı (King ve Kohl, 1967). Bu rüzgarlar dünyanın dönüşünden dolayı Coriolis kuvvetleri tarafından etkilenir. Coriolis kuvveti orta ve yüksek enlemlerde önemli olup, ekvator üzerinde sıfır olmaktadır. Buna ek olarak nötr rüzgarlar pozitif iyonlar ile nötr parçacıklar arasındaki çarpışmalar ve havanın viskozitesi tarafından da etkilenir. Hareketleri Yer'in manyetik alanı tarafından kuvvetli bir şekilde engellenen iyonlar, nötr hava üzerine bir durdurma kuvveti uygular ve nötr rüzgar boyunca serbestçe hareket edemezler. Bu iyon sürüklenmesi termoküredeki rüzgarların hızını sınırlandıran başlıca etkenlerden biridir (Risbeth, 1972; Risbeth, 1978; Titheridge, 1995a). F-bölgesindeki iyonosferik sürüklenmeleri de içeren birçok anormallikler nötr rüzgarların etkisi ile oluşurlar (King ve Kohl, 1967).

Nötr rüzgarlar, termokürenin öğlen saatlerindeki sıcak bölgesinden daha soğuk olan sabah saatlerindeki bölgesine doğru eserler. Nötr rüzgarlar, orta enlemlerde gündüz kutuplara, gece ise ekvatora doğru eserler. Bu nedenle kutup bölgesine dik, ekvator üzerinde ise ekvator boyunca esmektedir (Risbeth, 1967).

Nötr rüzgarlar, F-bölgesindeki iyon ve elektronları Yer'in manyetik alanı boyunca hareket ettirebilir. Manyetik alan çizgileri eğimli olduğundan iyon hareketlerinin bir düşey bileşeni olur. Bu da elektron ve iyon yoğunluklarında etkili olur. Nötr rüzgarın etkisi, Yer'in manyetik alanına göre olan yönelimine bağlıdır. Gündüz saatlerinde kutuplara doğru esen rüzgarlar, iyonküreyi kayıp mekanizmalarının daha baskın olduğu aşağı doğru sürükler, elektron ve iyon yoğunluklarının azalmasına neden olurlar. Bununla beraber gece saatlerinde ekvatora doğru esen rüzgarlar, iyonküreyi yukarıya doğru sürüklediklerinden iyon ve elektron yoğunluğunun artmasına neden olurlar (Titheridge, 1995a).

Nötr havanın büyük ölçekli hareketine rüzgar denilebildiğine göre, nötr rüzgar sistemi günlük gel-git gibi kabul edilebilir. Halbuki nötr rüzgar sistemindeki gel-git hareketi, Güneş enerjisinin termoküre ve ozonkürede emilmesi sonucunda meydana gelen sürücü kuvvet tarafından oluşturulur. Gel-git hareketleri 100 km civarında baskın olmakta ve E tabakası dinamosu ile sürülmektedir (Risbeth, 1972).

Dinamo hareketleri düşey nötr rüzgarların iyonkürenin manyetik alana dik hareketi sonucunda bir elektromotor kuvvet oluşturmasıyla meydana gelir. Dinamo

elektrik alanları elektromotor etkileri tarafından F2 tabakasında sürüklenme hareketlerine sebep olur. Sürüklenme terimi rüzgarlar veya elektrik alanı vasıtasıyla elektronlar ve iyonların yer değiştirme hareketlerini anlatır. Sürüklenme terimi, iyonkürenin küçük ölçekli düzensizlik hareketlerini kolay anlaşılır hale getirmek için kullanılır.

Yapay uyduların kullanılmasından önce iyonküre plazması hakkında teorik ve deneysel bilgiler çok sınırlı idi. Fakat yakın yıllarda iyonküre plazmasının yoğunluğu, sıcaklığı, elektrik iletkenliği ve nötr rüzgarlar üzerinde deneysel veriler birikmeye başlamıştır. Nötr rüzgarlar roketlerden kimyasal maddeler salınmasıyla ölçülür. Bununla beraber termoküre üzerinde kimyasal bulutlara difüzyon hızının sebep olduğu bazı zorluklar vardı. Bu metotta hem nötr rüzgar hızı hem de iyon sürüklenme hızı salıverilen maddeye bağımlı olmaktadır (Risbeth,1972).

Düşük enlemlerde termoküredeki nötr rüzgar hızlarının direk ölçümleri, baryum bulutu ve buhar sürüklenmeleri ile yapılmıştır (Roble ve Anderson, 1981). Rüzgar hesaplamalarında basınç ve yoğunluğun yatay değişimlerinin bilinmesi gerekir. Bu nedenle bu niceliklerin enlem ve yerel zamana göre değişimlerini veren bir modele ihtiyaç vardır. Böyle bir model Jacchia (1965) tarafından verilmiştir (Risbeth 1972).

3. NÖTR HAVANIN HAREKET DENKLEMİ

3.1. Hareket Denkleminin Oluşturulması

Termoküredeki moleküller çok sık çarpıştıklarından nötr havanın hareketi, hidrodinamik denklemle açıklanan bir akışkanın hareketi gibi düşünülebilir. 300 km yükseklikte çarpışmalar arasındaki süre yaklaşık 1s ve nötr parçacığın ortalama serbest yolu ise yaklaşık 1 km'dir. Bu değerler rüzgar sistemini karakterize eden ölçeklere göre küçüktür. Nötr hava içerisindeki her bir bileşenin diferansiyel hareketi (hidrojen hariç) rüzgar hızından çok daha küçük olduğundan nötr hava tek bir parçacıktan oluşmuş akışkan gibi kabul edilebilir. Ancak hava moleküllerinin balistik yörüngelerde hareket ettiği ve çarpışmaların çok az olduğu, yaklaşık 600 km üzerindeki eksokürede bu akışkan modelinin geçerli olup olmadığı şüphelidir.

Nötr rüzgarın hareket denklemi aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

(İvme) + (Coriolis terimi) = (Birim kütle başına basınç değişim kuvveti) - (İyon sürüklenmesi) + (Viskoz sürüklenmesi) + (Yer çekimi ivmesi)

$$\frac{d\mathbf{U}}{dt} + 2\boldsymbol{\omega} \times \mathbf{U} = \mathbf{F} - \frac{N_i v_{ni}}{N_n} (\mathbf{U} - \mathbf{V}) + \frac{\mu}{\rho} \nabla^2 \mathbf{U} + \mathbf{g} \quad (3.1)$$

Burada $\mathbf{U}$ nötr rüzgarın hızı, $\boldsymbol{\omega}$ dünyanın açısal hızı, $\mathbf{F}$ birim kütle başına basınç değişim kuvveti, v_{ni} nötr parçacıklar ve iyonların çarpışma frekansı, $\mathbf{V}$ iyon sürüklenme hızı, μ moleküler viskozite, ρ nötr havanın yoğunluğu, N_i iyon yoğunluğu, N_n nötr yoğunluk ve $\mathbf{g}$ ise yerçekimi ivmesidir (Geisler, 1966; Rishbeth, 1972).

Nötr rüzgar hızının hesaplanabilmesi için dünyayı $\boldsymbol{\omega}$ açısal hızıyla dönecek şekilde uygun bir koordinat çerçevesine yerleştirelim. Buna göre coriolis ve merkezci ivmesinde hareketin denkleminde dahil edilmesi gerekir ve havanın toplam ivmesi $d\mathbf{U}/dt$ ile verilir. Hidrodinamik denkleminde göre $(d/dt) = (\partial/\partial t) + (\mathbf{U} \cdot \nabla)$ şeklinde olmaktadır. Buna göre (3.1) denkleminin sol tarafı aşağıdaki şekilde olur.

$$\frac{d\mathbf{U}}{dt} + 2\boldsymbol{\omega} \times \mathbf{U} + \boldsymbol{\omega} \times (\boldsymbol{\omega} \times \mathbf{R}_d) = \Sigma \mathbf{F} \quad (3.2)$$

veya

$$\frac{\partial \mathbf{U}}{\partial t} + (\mathbf{U} \cdot \nabla) \mathbf{U} + 2\boldsymbol{\omega} \times \mathbf{U} + \boldsymbol{\omega} \times (\boldsymbol{\omega} \times \mathbf{R}_d) = \Sigma \mathbf{F} \quad (3.3)$$

Burada $\mathbf{R}_d$ Yer'in yarıçapıdır. Merkezci ivmenin $(\boldsymbol{\omega} \times (\boldsymbol{\omega} \times \mathbf{R}_d))$ büyüklüğü ve yönü sabit olup, Coriolis terimi $(2\boldsymbol{\omega} \times \mathbf{U})$ ile karşılaştırıldığında daha küçük olduğundan dolayı ihmal edilebilir.

$(\mathbf{U} \cdot \nabla) \mathbf{U}$ lineer olmayan terimi, eğer rüzgar hızı dünyanın dönme hızından daha küçükse $(U < \omega R_d)$ önemsiz bir terimdir, fakat rüzgar hızı büyük iken ve uzaysal değişimler büyükse, Güneşin doğuşu ve batışı sırasında bu terim önemli olur. Bununla beraber bu lineer olmayan terim işlemleri kolay hale getirmek için ihmal edilir (Risbeth, 1972).

Günlük çıkıntı sebebiyle nötr havanın basınç değişimi ∇P , tamamen düşey değildir. Basınç değişiminin yatay bileşenleri rüzgar için sürücü kuvveti sağlar ve basınç değişim kuvveti olarak adlandırılır. Basınç değişim kuvvetinin doğu-batı (F_x) ve kuzey-güney (F_y) bileşenleri sırasıyla aşağıdaki gibidir.

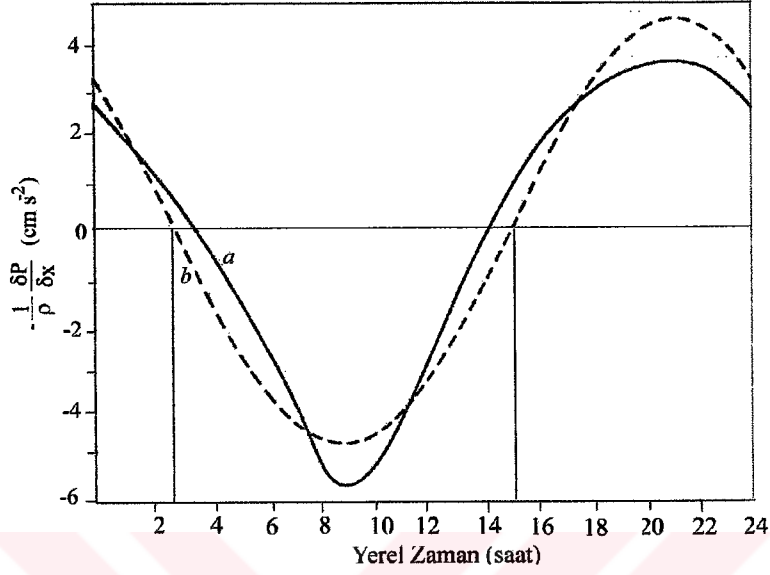
$$F_x = -\rho^{-1} \frac{\partial P}{\partial x} = A(h) \sin \omega t \quad (3.4)$$

$$F_y = -\rho^{-1} \frac{\partial P}{\partial y} = A(h) \sin \phi \cos \omega t \quad (3.5)$$

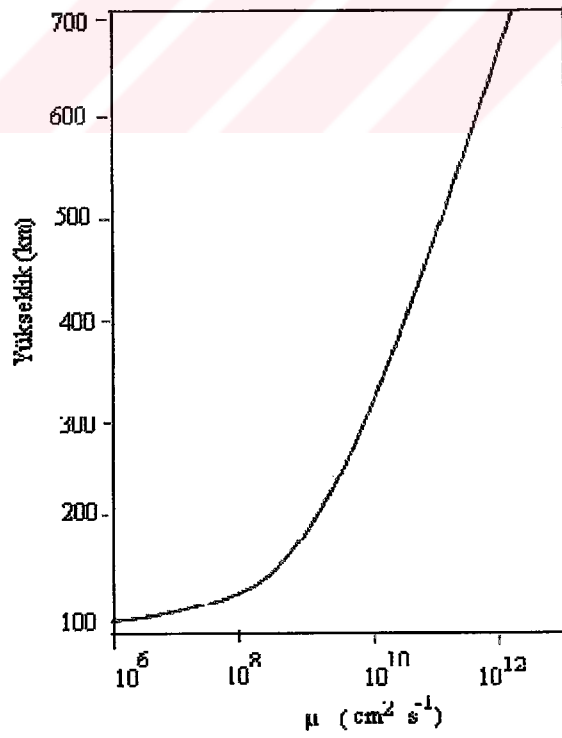
Burada P havanın basıncı, ϕ coğrafik enlem ve $A(h)$ yüksekliğe bağlı olarak değişen sabit bir katsayıdır. Sürücü kuvvet, F -tabakası yüksekliğinde coğrafik enlem ve yerel zamanın bir fonksiyonu olarak değişen basınç değişiminden hesaplanır. Bu hesaplamadan elde edilen sürücü kuvvet Şekil 3.1'deki a eğrisi ile gösterilmiştir. a eğrisi ile verilen basınç değişim kuvvetinin yerine b deki sinüzoidal değişimi alınabilir. Şekil 3.1'den görüleceği gibi sürücü kuvvet, saat 09 ve 21 YZ da maksimum, 15 ve 03 YZ da ise sıfırdır.

Eğer incelenen yükseklikte rüzgar makaslamaları varsa, yani $\mathbf{U}$ 'nun uzaysal değişimi varsa, viskoz kuvvetleri oluşacaktır. Viskoz kuvveti için matematiksel ifade oldukça karmaşıktır. Fakat yapılan ihmallere bu viskozite terimi $\mu \nabla^2 \mathbf{U}$ şeklinde

sadeleşir. Burada μ moleküler viskozite katsayısıdır ve yükseklikle değişimi Şekil 3.2’de verildiği gibidir.



Şekil 3.1. Ekvator üzerinde 400 km yüksekliğindeki sürücü kuvvetin günlük değişimi (King ve Kohl, 1967).



Şekil 3.2. Kinematik viskozite katsayısının yükseklik ile değişimi (King ve Kohl, 1967).

Çoğunlukla düşey rüzgar makaslaması önemli olmasından dolayı birim kütleyle etkiyen kuvvet basitçe $(\mu/\rho)\partial^2 U/\partial h^2$ olur. Bu terim bir difüzyon denkleminin hareket formuna benzetilmektedir. Buradaki μ/ρ ise kinematik viskozite katsayısı olarak bilinmektedir. İyonkürenin yaklaşık 500 km üzerindeki yüksekliklerinde viskoz kuvveti baskın olmaktadır (Risbeth, 1972).

3.2. İyonların Hareketi

Denklem (3.1)'de verilen iyon sürüklenme kuvvetini aşağıdaki şekilde yeniden yazalım.

$$S = \frac{N_i v_{ni}}{N_n} (V - U) \quad (3.6)$$

Burada v_{ni} terimi momentum transferi için çarpışma frekansı olarak adlandırılır. Bu ifadeye göre çarpışma frekansı, nötr rüzgarın bağlı olduğu parametrelerden biridir. Sıcaklık, elektron ve iyon yoğunlukları gibi parametrelere bağlı olarak çarpışma frekansı aşağıdaki gibi ifade edilebilir (Risbeth, 1978).

$$v_{ni} = 7.3 N_i \left(\frac{T_n}{1000} \right)^{1/2} 10^{-16} \quad (3.7)$$

Burada N_i iyon yoğunluğu, T_n nötr sıcaklıktır. F-bölgesindeki iyonları hareket ettiren başlıca dört kaynak vardır. Orta enlemlerde 300 km yükseklik için, bu kaynaklar ve iyon hareketine katkıları sırasıyla aşağıdaki gibidir.

- a) Plazma difüzyonu, 10 m/s .
- b) Yatay nötr rüzgarlar, gece 100 m/s, gündüz 30 m/s .
- c) Atmosferin düşey termal genişleme ve büzülmesi, 3 m/s .
- d) E-bölgesindeki dinamo hareketi ile oluşan elektrik alanının oluşturduğu sürüklenme hızı 30 m/s dir.

Eğer iyonun siklotron frekansı ω_i , nötr-iyon çarpışma frekansı ν_{ni} 'den daha büyük ise, yukarıdaki ilk üç hareket Yer'in manyetik alanına paraleldir. Diğer taraftan elektrik alan sürüklemesi Yer'in manyetik alanına diktir.

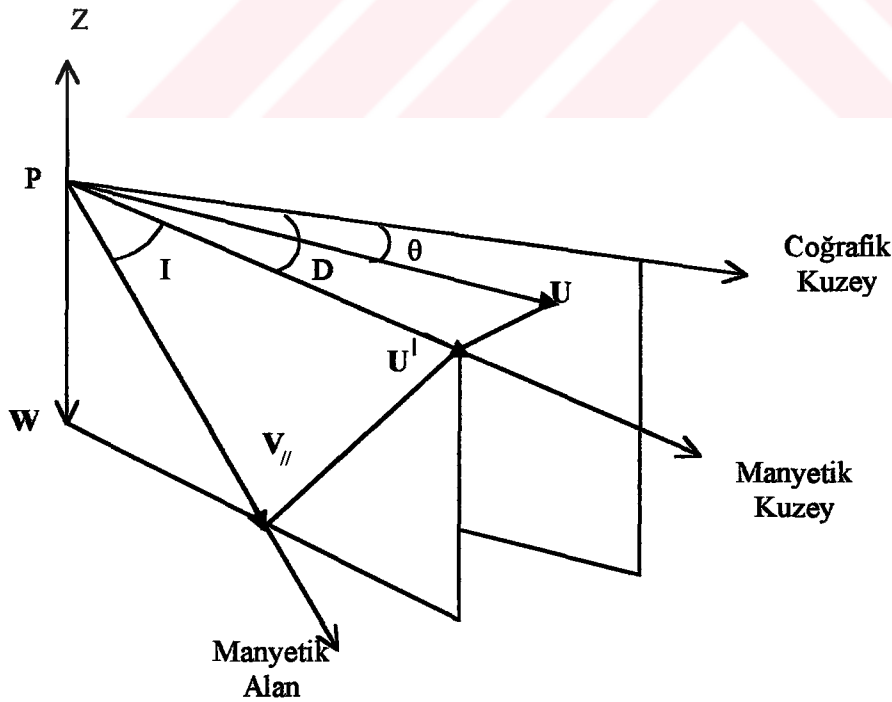
Bir çok çalışmada nötr rüzgarların neden olduğu iyon sürüklenmeleri hesaba katılmıştır. Bu yaklaşımda iyonun hızı nötr rüzgarın U hızı boyunca olan bileşenine eşittir ve vektör formunda aşağıdaki gibidir (Risbeth, 1972).

$$\mathbf{V} = (\mathbf{U} \cdot \mathbf{B}) \frac{\mathbf{B}}{B^2} \quad (3.8)$$

Şekil 3.3'de gösterildiği gibi kuzey kutbunda bir noktadaki $\mathbf{B}$ manyetik alanı, bileşenleri cinsinden aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$\mathbf{B} = B \sin D \cos I \hat{\mathbf{x}} + B \cos D \cos I \hat{\mathbf{y}} - B \sin I \hat{\mathbf{z}} \quad (3.9)$$

Burada I manyetik dip açısı ve D deklinasyon açısıdır. (3.8) ifadesi ile verilen hız değeri (3.6) ifadesinde yerine konursa sürüklenme ivmesi $\mathbf{S}$ 'nin manyetik alanın yönüne bağlı fakat büyüklüğüne bağlı olmadığı görülür. Ayrıca bu ivmenin dip açısı ve deklinasyon açısına bağlı olduğu da görülür.



Şekil 3.3. Kuzey yarımkürede bir noktadaki nötr rüzgar hızı (U), düşey hız (W) ve Yer'in manyetik alanının geometrisi (Risbeth, 1972).

Şekil 3.3’de W nötr rüzgarın düşey bileşeni olup Bölüm 4’de incelenecektir. Eğer deklinasyon sıfır olursa ($D=0$) bu durumda $V_x=0$ ve $V_y=U_y \cos^2 I$ olur. Bu bileşenler (3.6) denkleminde yerine konulursa sürüklenme ivmesinin bileşenleri,

$$S_x = -\left(\frac{N_i v_{ni}}{N_n}\right) U_x, \quad S_y = -\left(\frac{N_i v_{ni}}{N_n}\right) U_y \sin^2 I \quad (3.10)$$

şeklinde elde edilir. Daha genel olarak $D \neq 0$ iken (3.8) ve (3.9) ifadeleri kullanılarak, (3.6) denklemi bileşenleri cinsinden aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$S_x = \left(\frac{N_i v_{ni}}{N_n}\right) \left(U_x (\sin^2 D \cos^2 I - 1) + U_y \sin D \cos D \cos^2 I \right) \quad (3.11)$$

$$S_y = \left(\frac{N_i v_{ni}}{N_n}\right) \left(U_y (\cos^2 D \cos^2 I - 1) + U_x \sin D \cos D \cos^2 I \right) \quad (3.12)$$

Nötr rüzgar hızının doğru olarak hesaplanması için elektrik alanının neden olduğu sürüklenmenin de hesaba katılması gerekmektedir. F-bölgesindeki $\mathbf{E}$ elektrik alanı hemen hemen $\mathbf{B}$ manyetik alanına diktir. Hem elektrik alanına hem de manyetik alana dik sürüklenme hızı,

$$\mathbf{V}_\perp = \frac{\mathbf{E} \times \mathbf{B}}{B^2} \quad (3.13)$$

ile verilir. $\mathbf{V}_\perp$ ’in bileşenlerini elektrik alanının E_x ve E_y yatay bileşenleri cinsinden aşağıdaki gibi ifade edebiliriz.

$$V_{\perp x} = -\left(\frac{E_x}{B}\right) \sin D \cos D \cos I \cot I - \left(\frac{E_y}{B}\right) (\sin I + \cos^2 D \cos I \cot I) \quad (3.14)$$

$$V_{\perp y} = \left(\frac{E_x}{B} \right) (\sin I + \sin^2 D \cos I \cot I) + \left(\frac{E_y}{B} \right) \sin D \cos D \cos I \cot I \quad (3.15)$$

$$V_{\perp z} = \left(\frac{E_x}{B} \right) \cos D \cos I - \left(\frac{E_y}{B} \right) \sin D \cos I \quad (3.16)$$

$D = 0$ olduğunda bu ifadeler aşağıdaki şekle indirgenir.

$$V_{\perp x} = - \left(\frac{E_y}{B} \right) \operatorname{Cosec} I, \quad V_{\perp y} = \left(\frac{E_x}{B} \right) \sin I, \quad V_{\perp z} = \left(\frac{E_x}{B} \right) \cos I \quad (3.17)$$

Böylece nötr rüzgar hızının hesaplanması için (3.1) denkleminde $V_{\perp}$ teriminin eklenmesi gerekir. Elektrik alanlarının hesaba katılmasıyla düşük enlemlerde rüzgar hızının hesaplamasında farklılıklar olabilir. Bununla beraber orta enlemlerde bu terimin etkileri küçüktür ve genellikle ihmal edilir. Bunun nedeni denklemin çözümüne büyük ölçüde kolaylık sağlaması ve kısmen de olsa E_x ve E_y alanlarının tam olarak bilinmemesidir.

Plazma difüzyonu varsayımında, elektron ve iyonlar arasındaki elektrostatik kuvvet nedeniyle, elektronların varlığı da hesaba katılmalıdır. İyon difüzyon hızı, elektron ve iyonların ayrı ayrı toplam kısmi basınçlarına bağlıdır. Elektronların kısmi basıncı $P_e = N_e k T_e$ ve iyonların kısmi basıncı $P_i = N_i k T_i$ ile verilir. Burada k boltzman sabiti, T_i iyon sıcaklığı, T_e elektron sıcaklığı ve N ise ($N_i = N_e$) elektron ve iyon yoğunluklarıdır.

Yukarıda tartışılan durumlar göz önünde bulundurularak iyonun hareket denklemi aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$\frac{dV}{dt} - g - \frac{1}{Nm_i} \nabla(P_e + P_i) - v_{in}(V - U) + \frac{e}{m_i} (E + V \times B) \cong 0 \quad (3.18)$$

Burada m_i iyonun kütlesi, e iyonun yükü, v_{in} iyonların nötr parçacıklarla çarpışma frekansıdır. $\omega \ll v_{in}$ olduğundan Coriolis terimi hareket denkleminde dahil edilmemiştir.

İyonlar çok kısa sürede (v_{in}^{-1} yaklaşık 1 sn dir) kararlı durumlarına ulaştıklarından dV/dt terimi ihmal edilebilir.

Daha önce açıklandığı gibi, $\mathbf{B}$ manyetik alanına dik hız $\mathbf{E} \times \mathbf{B} / B^2$ dir. $\mathbf{B}'$ ye paralel olan iyon hızının denklemi, $dV/dt=0$ ve $\mathbf{B}'$ ye paralel bileşen için // indisi alınarak (3.18) denkleminin çözümünden elde edilir.

$$0 = g \sin I - \frac{1}{N_{m_i}} \nabla_{//} (P_e + P_i) - v_{in} (V_{//} - U_{//}) \quad (3.19)$$

Burada $U_{//}$ aşağıdaki gibidir.

$$U_{//} = U_x \sin D \cos I + U_y \cos D \cos I - U_z \sin I \quad (3.20)$$

İyon sürüklenme kuvveti N ile orantılı olduğundan, F-bölgesindeki rüzgarların teorik olarak incelenmesi için elektron ve iyon yoğunluklarının değişimlerini hesaba katmak gerekir.

4. HAREKET DENKLEMİNİN ÇÖZÜMÜ

4.1. Hareket Denkleminin Bileşenleri ve Sınır Şartları

Bölüm 3’de verilen ifadeler göz önünde bulundurularak, (3.1) ifadesi ile verilen hareket denklemini aşağıdaki şekilde yazabiliriz.

$$\frac{d\mathbf{U}}{dt} = \mathbf{F} + \left(\frac{\mu}{\rho}\right) \frac{\partial^2 \mathbf{U}}{\partial h^2} - \frac{N_i v_{ni}}{N_n} (\mathbf{U} - \mathbf{V}) - 2\boldsymbol{\omega} \times \mathbf{U} + \mathbf{g} \quad (4.1)$$

Yerin açısal frekansı ω , ϕ coğrafik enlem cinsinden $\boldsymbol{\omega} = \omega \cos \phi \hat{\mathbf{y}} + \omega \sin \phi \hat{\mathbf{z}}$ şeklinde ifade edilir (Rishbeth, 1972). Açısal hızın bu ifadesi göz önüne alınarak $\mathbf{U}$ hızı bileşenleri cinsinden aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$\frac{dU_x}{dt} = F_x + \left(\frac{\mu}{\rho}\right) \frac{\partial^2 U_x}{\partial h^2} - \left(\frac{N_i v_{ni}}{N_n}\right) (U_x - V_x) + 2\omega (U_y \sin \phi - U_z \cos \phi) \quad (4.2)$$

$$\frac{dU_y}{dt} = F_y + \left(\frac{\mu}{\rho}\right) \frac{\partial^2 U_y}{\partial h^2} - \left(\frac{N_i v_{ni}}{N_n}\right) (U_y - V_y) - 2\omega U_x \sin \phi \quad (4.3)$$

$$\frac{dU_z}{dt} = F_z + \left(\frac{\mu}{\rho}\right) \frac{\partial^2 U_z}{\partial h^2} - \left(\frac{N_i v_{ni}}{N_n}\right) (U_z - V_z) + 2\omega U_x \cos \phi - g \quad (4.4)$$

$\mathbf{F}$ ve $\mathbf{U}$ vektörlerinin yatay bileşenlerinin büyüklükleri aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$F = (F_x^2 + F_y^2)^{1/2} \quad \text{ve} \quad U = (U_x^2 + U_y^2)^{1/2} \quad (4.5)$$

Denklem (4.1) deki terimlerin büyüklükleri Tablo 4.1’de verilmiştir. Tabloda verilen değerler Güneş lekesi (R)’nin minimum ve maksimum değerleri içindir.

Tablo 4.1a. 300 km yükseklikte iyonküre parametrelerinin Güneş lekeli ile değişimleri.

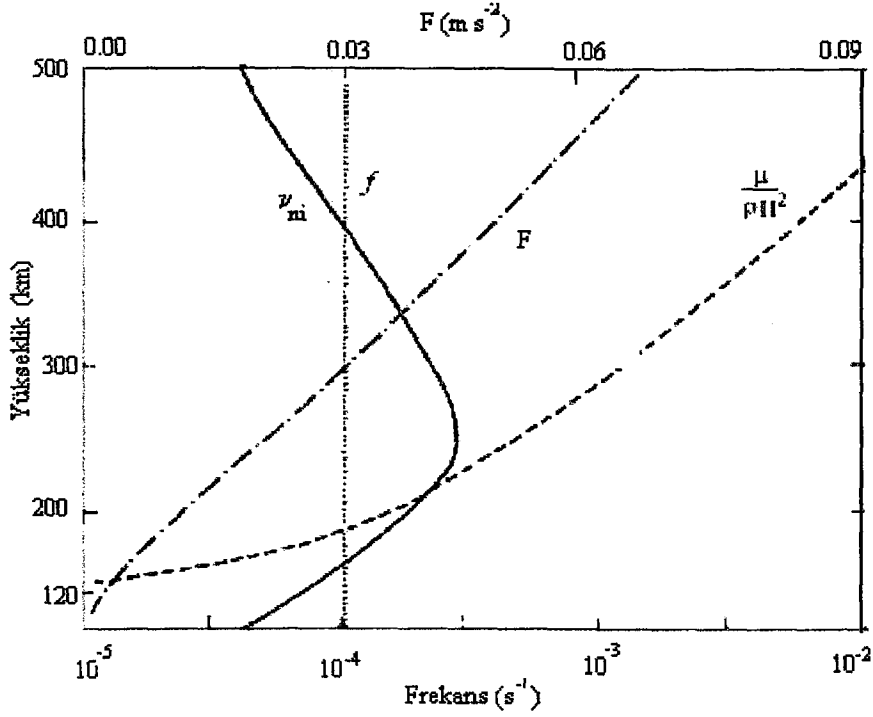
Parametre Birim	T °K	ρ 10^{-12}kgm^{-3}	H km	N 10^{11}m^{-3}	v_{ni} 10^{-4}s^{-1}	$\mu/\rho H^2$ 10^{-4}s^{-1}	F 10^{-4}ms^{-2}	F/ v_{ni} ms^{-1}
R minimum gece	720	8	39	1.3	0.8	30	230	280
R minimum öğle	1010	15	52	3.1	2.3	12	300	130
R maksimum gece	1170	32	60	2.0	1.6	5.1	200	130
R maksimum öğle	1590	45	72	14	12	2.7	180	15

Tablo 4.1b. R'nin minimum değerleri için iyonküre parametrelerinin öğlen saatlerinde yükseklik ile değişimleri.

Parametre Birim	T °K	ρ 10^{-12}kgm^{-3}	H Km	N 10^{11}m^{-3}	v_{ni} 10^{-4}s^{-1}	$\mu/\rho H^2$ 10^{-4}s^{-1}	F 10^{-4}ms^{-2}	F/ v_{ni} ms^{-1}
150 km	590	2100	21	1.7	0.8	0.1	30	40
200 km	850	213	35	2.6	1.8	1.6	120	70
250 km	960	48	44	4.0	2.9	4.6	210	70
300 km	1010	15	52	3.1	2.3	12	300	130
400 km	1040	2.2	61	1.3	1.0	56	480	480
500 km	1050	0.4	70	0.5	0.4	225	650	1600

Şekil 4.1, Tablo 4.1b'deki parametrelerin yükseklikle değişimlerini göstermektedir. Şekilden görüleceği gibi yaklaşık olarak 150 kilometrenin altındaki yüksekliklerde $f > v_{ni}$ olduğundan, Coriolis kuvveti iyonkürenin bu bölgeleri için önemli bir faktör olur. Yaklaşık 400 kilometrenin üzerinde ise $f > v_{ni}$ olmasına rağmen bu yüksekliklerde viskozite, Coriolis kuvveti ve iyon sürüklenmelerinden daha önemli olmaktadır.

Hareket denklemindeki viskozite teriminde U'nun yükseklikle değişimi $\partial^2 U / \partial h^2$ terimine bağlıdır. F ve v_{ni} 'nin yükseklikle değişimi atmosferik ölçek yüksekliği (H) ile karşılaştırılabilir. Eğer $U \propto \exp(h/H)$ alırsak viskozite $(\mu/\rho H^2)U$ olur ve $\mu/\rho H^2$ terimi viskozitenin büyüklüğünü belirlemeye yardımcı olur.



Şekil 4.1. Tablo 4.1b’de verilen parametrelerin Güneş lekесinin minimum değеrleri için yükseklikle değışimleri (Risbeth, 1972).

Şekil 4.1’den görüldüğü gibi ρ yoğunluğunun yükseklikle azalması nedeniyle $(\mu/\rho H^2)$ terimi yukarı doğru hemen hemen lineer olarak artmaktadır. İyonküredeki kayıplar da yoğunluğun az olduğu yukarı doğru hızlıca azalacaktır. Bu nedenle hareket denklemindeki viskozite terimi büyük yüksekliklerde daha baskın olmaktadır. Bunun dışında basınç değışim kuvveti F yükseklikle yaklaşık olarak lineer artar, Coriolis parametresi f sabit kalır ve v_{ni} terimi ise $h_m F^2$ yüksekliğinden sonra yükseklikle azalır. Bununla beraber, büyük yüksekliklerde viskozite terimi çok büyük değildir. Bu nedenle $\partial^2 U / \partial h^2$ terimi, $\partial U / \partial h$ sabit olacak kadar küçüktür. Gerçekten büyük yüksekliklerde $\partial U / \partial h$ değeri sıfıra gider. Eğer $\partial U / \partial h$ büyük yüksekliklerde sıfır değilse U ’nun değışimini koruyacak bir makaslama kuvvetinin olması gerekir. Fakat bu kuvveti basınç değışim kuvveti, Coriolis kuvveti ve iyon sürüklenme kuvveti sağlayamaz. Bu nedenle büyük yüksekliklerde U yüksekliğe bağılı değildir. Buna hareket denkleminin üst sınır şartı denir.

Cira ve Jacchia' nın atmosfer modellerine göre alt sınırdaki sıcaklık ve yoğunluk sabittir. Yaklaşık olarak 120 km'de yatay basınç değişimi sıfırdır. Bu nedenle sık sık bu yüksekliklerde $U_x=U_y=0$ olduğu kabul edilir. Bu bölgedeki viskozite, daha büyük yüksekliklerden kayda değer herhangi bir hızın geçişi için yeterince küçüktür. 150 km'nin üzerindeki yüksekliklerde U_x ve U_y sıfır olmasalar bile, bu yüksekliklerde hesaplanan değerler üzerinde kayda değer etkileri yoktur. Bununla beraber alt sınırdaki düşey hız sıfır olmak zorunda değildir (Rishbeth, 1972).

4.2.Nötr Rüzgarın Hesaplanması

(4.2) ve (4.3) denklemlerindeki viskozite terimi ihmal edilir ve iyon hareketinin sadece rüzgar tarafından oluşturulduğu göz önüne alınırsa, $U_{//}=V_{//}$, $U_z=0$ olur. Manyetik deklinasyon $D=0$ iken (3.8) ifadesi ile verilen iyon sürüklenme hızının yatay bileşenleri $V_x=0$ ve $V_y=U_y \cos^2 I$ olduğundan (4.2) ve (4.3) denklemleri aşağıdaki şekilde sadeleşirler.

$$\frac{dU_x}{dt} = F_x - \left(\frac{N_i v_{ni}}{N_n} \right) U_x + f U_y \quad (4.6)$$

$$\frac{dU_y}{dt} = F_y - \left(\frac{N_i v_{ni}}{N_n} \right) U_y \sin^2 I - f U_x \quad (4.7)$$

Burada $f = 2\omega \sin \phi$ Coriolis parametresidir. İyon sürüklenmesi ve Coriolis kuvvetleri göz önüne alınarak kararlı hal ($d/dt=0$) için (4.6) ve (4.7) denklemleri,

$$F_x - \lambda U_x + f U_y = 0 \quad (4.8)$$

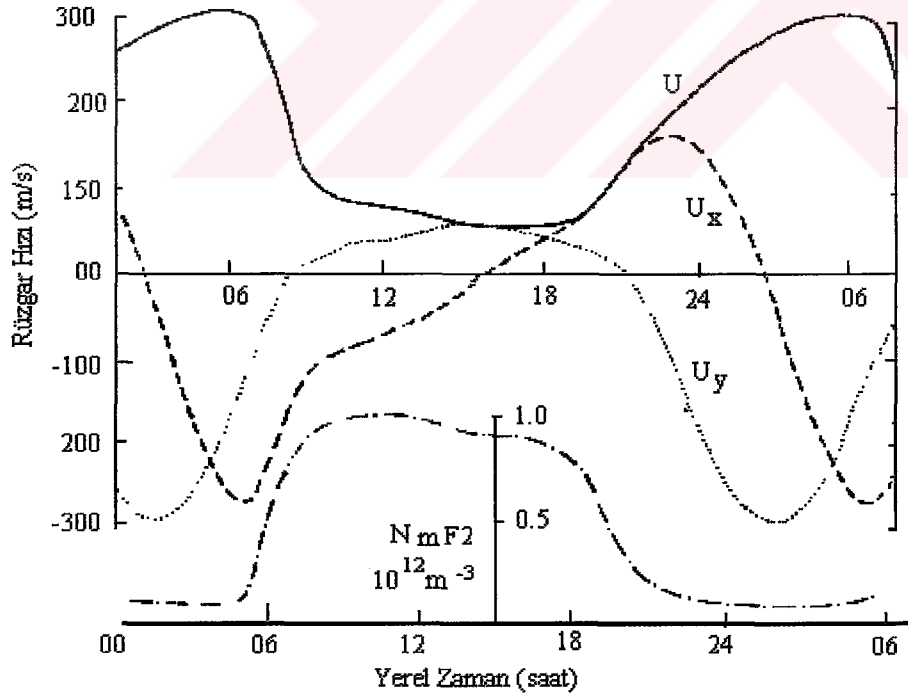
$$F_y - \lambda U_y \sin^2 I - f U_x = 0 \quad (4.9)$$

şekline dönüşür buradaki $\lambda = N_i v_{ni} / N_n$ dir. Bu iki ifadenin çözümünden nötr rüzgarın U_x ve U_y bileşenleri için aşağıdaki ifadeler elde edilebilir.

$$U_x = \frac{\lambda F_x \sin^2 I + f F_y}{\lambda^2 \sin^2 I + f^2} \quad (4.10)$$

$$U_y = \frac{\lambda F_y - f F_x}{\lambda^2 \sin^2 I + f^2} \quad (4.11)$$

Buraya kadar verilen genel bilgiler ve hareket denklemleri rüzgar sisteminin genel özelliklerini tartışmak için kullanılabilir. Şekil 4.2, rüzgarın U_x (doğu-batı) ve U_y (kuzey-güney) bileşenlerinin ve toplam rüzgar hızı U 'nun 300 km yüksekliğindeki günlük değişimlerini göstermektedir.



Şekil 4.2. Nötr rüzgar hızı ve bileşenlerinin 300 km'de günlük değişimi (Rishbeth, 1972).

Rüzgar hızının gündüz ve gece değerleri arasındaki büyük fark başlıca iyon sürüklenmesi farkından kaynaklanmaktadır. Bu durum U 'nun günlük değişiminin, şeklin altındaki $N_m F_2$ 'nin günlük değişimi ile karşılaştırılmasıyla kolayca görülmektedir.

Termosferik rüzgarlar, periyodik kuvvet tarafından sürülen osilatör hareketi gibi düşünülebilir. İlk yaklaşımda basınç değişim kuvvetine kuzey yarımkürenin yüksek ve orta enlemlerinde ω açısal hızı ile dönen F büyüklüğünde sabit bir vektör gibi bakılabilir. Bu durum güney yarımküre için ω yerine $(-\omega)$ ile değiştirilmesiyle sağlanır. Denklem (4.6) ve (4.7) denklemlerini harmonik osilatöre benzetmek için $\sin I = 1$ alınır ve lineer olmayan terimler ihmal edilirse bu ifadeler aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\frac{\partial U_x}{\partial t} + \lambda U_x - f U_y = F \sin(\omega t + \varepsilon) \quad (4.12)$$

$$\frac{\partial U_y}{\partial t} + \lambda U_y + f U_x = F \cos(\omega t + \varepsilon) \quad (4.13)$$

Burada ε faz açısıdır ve günlük çıkıntının konumu ile belirlenir. Bu ifadedeki λ zamandan bağımsız olduğu kabul edilir ve (4.12) denkleminde elde edilen U_y (4.13) ifadesinde yerine yazılırsa nötr rüzgar hızının x-bileşeni için aşağıdaki ifade elde edilir.

$$\frac{\partial^2 U_x}{\partial t^2} + 2\lambda \frac{\partial U_x}{\partial t} + (f^2 + \lambda^2) U_x = \lambda F \sin(\omega t + \varepsilon) + (f + \omega) F \cos(\omega t + \varepsilon) \quad (4.14)$$

Benzer şekilde nötr rüzgar hızının y-bileşeni için de (4.13) denkleminde elde edilen U_x (4.12) ifadesinde yerine konursa aşağıdaki ifade elde edilir.

$$\frac{\partial^2 U_y}{\partial t^2} + 2\lambda \frac{\partial U_y}{\partial t} + (f^2 + \lambda^2) U_y = \lambda F \cos(\omega t + \varepsilon) + (f + \omega) F \sin(\omega t + \varepsilon) \quad (4.15)$$

Bu ifadelerin genel çözümlerinden aşağıdaki eşitlikler elde edilebilir.

$$U_x = (X_1 \sin ft + X_2 \cos ft) e^{-\lambda t} + \phi_1 F \sin(\omega t + \varepsilon + \phi_2) \quad (4.16)$$

$$U_y = (Y_1 \sin ft + Y_2 \cos ft) e^{-\lambda t} + \phi_1 F \cos(\omega t + \varepsilon + \phi_2) \quad (4.17)$$

Burada X ve Y keyfi sabitlerdir. ϕ ler ise f , v ve ω 'nın matematiksel fonksiyonlarıdır. Bu ifadeler aşağıdaki gibi yorumlanabilirler. Rüzgarın vektörel hızı, $f (=2\omega \sin \phi)$ açısal hızı ile titreşen, $e^{-\lambda t}$ genliği ile azalan ve ω açısal hızı ile dönen, zorlanan osilatörün tamamlayıcı fonksiyonların toplamı olarak göz önüne alınabilir. Gündüz saatlerinde olduğu gibi iyon sürüklenmesi baskın ($\lambda \gg f$) ise tamamlayıcı fonksiyon yavaş yavaş söner ve $\phi_2 \cong 0$ olduğunda zorlanan osilatör sürücü kuvvetle aynı fazdadır. Güneş'in batışından sonra elektron yoğunluğu hızlıca azaldığında $\lambda \ll f$ olur. Bu durumda X ve Y parametreleri U_x ve U_y hızları için belirleyici olur. Bu durum kışın, yüksek ve orta enlemlerde geçerlidir.

4.3. Düşey Hız

Gerçek termokürede havanın hareketi üç boyutludur. Yatay rüzgarların herhangi bir uzaklaşma veya yaklaşma hareketi, yukarı veya aşağı doğru olan rüzgarlarla kısmen dengelenir (Rishbeth, 1998). İyonkürenin yeryüzünden uzaklaşma ve yeryüzüne yaklaşma hareketi bu düşey rüzgarlar tarafından sağlanır. Düşey rüzgarlar enerji dengelenmesi için önemlidir. Çünkü havanın bir ağırlığı olduğundan yükselmesi yerçekimine zıt yönde iş yapmasını gerektirir. Bunun tersine hava aşağı doğru hareket ederken enerji kaybeder. Örneğin bütün nötr F bölgesi atmosferini 150 km yukarı doğru 1m/sn lik düşey hız ile yükseltmek için 1mW/m^2 lik güç girişine ihtiyaç vardır. Bu güç termoküreye giren Güneş enerjisinin önemli bir kısmını oluşturur.

Orta enlemlerdeki F2-bölgesinde genellikle N'nin yükseklikle değişimi, yatay değişiminden daha önemlidir. Gece iyonküresinin varlığı nötr rüzgarların iyonküreyi düşey yönde yer değiştirtmesi ile açıklanabilir. Ayrıca F2-bölgesinin tepe noktasındaki elektron yoğunluğu ($N_m F2$) anormallikleri de nötr rüzgarların düşey sürüklemeleri ile

açıklanır (Bittencourt ve diğ., 1997; Titheridge, 1995a). Elektron yoğunluğunun süreklilik denklemi aşağıdaki gibidir.

$$\frac{\partial N}{\partial t} = q - L(N) - \nabla \cdot (NV) \quad (4.18)$$

Burada q üretim, $L(N)$ kayıp ve $\nabla \cdot (NV)$ taşınmayı gösterir. Düşey yöndeki iyon sürüklenmesi, yatay sürüklenmeden daha baskındır. Düşey yöndeki sürüklenme hızı W , Şekil 3.3’de gösterildiği gibi yatay rüzgar U ’ya bağlı olarak aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$W = U \cos(\theta - D) \cos I \sin I \quad (4.19)$$

Buradaki θ açısı U rüzgar hızının coğrafik kuzeyle yaptığı açıdır.

4.4. Nötr Rüzgarın İyonküre Üzerindeki Etkileri

King ve Kohl (1967) nötr rüzgarla ilgili ilk temel çalışmalarında, nötr rüzgarların gece iyonkürenin varlığını korumasında önemli olduğunu önerdiler ve bu öneri daha sonraki çalışmalarla ispatlandı. F-bölgesinde iyonlaşma sadece manyetik alana paralel yönde serbestçe hareket edebilir. Kuzey-güney rüzgarı bu yüzden iyonlaşma, kayıpların daha yavaş veya daha hızlı olduğu manyetik alanın aşağı veya yukarı bölgelerine hareketine sebep olur. Üretim ve kayıp süreçlerinin daha baskın olduğu iyonkürenin alt bölgelerinde nötr rüzgarların etkileri küçüktür.

(4.19) ifadesine göre düşey hızın $I = 0$ ve $I = 90^\circ$ ’deki değeri sıfırdır. $I = 45^\circ$ için ise düşey hız maksimumdur. Bu nedenle nötr rüzgarın iyonküre üzerindeki en büyük etkisi orta enlemlerde olmaktadır. Nötr rüzgarın oluşturduğu düşey hızın tepe yüksekliği üzerindeki etkisi,

$$\Delta h_m = \frac{0.55W}{\beta} \quad (\text{gündüz}) \quad \Delta h_m = \frac{0.12W}{\beta} \quad (\text{gece}) \quad (4.20)$$

ifadesi ile verilir (Rishbeth, 1972). Buradaki β elektron kayıp katsayısıdır. Nümerik değeri yaklaşık olarak gündüz için $\beta=0.6d$ ve gece için ise $\beta=0.13d$ dir. Buradaki d ifadesi aşağıdaki gibidir.

$$d = \left(\frac{D_v}{H_i^2} \right) \sin^2 I \quad (4.21)$$

Buradaki $D_v = k (T_i + T_e) / mg$ difüzyon katsayısı ve $H_i = k T_i / mg$ iyon için ölçek yüksekliğidir.

Düşey rüzgarın $N_m F2$ yoğunluğu üzerindeki etkisi ise aşağıdaki ifade ile verilir.

$$\Delta(\ln N_m) = \frac{0.75 \Delta h_m}{H_i} \quad (4.22)$$

Gündüz kutuplara doğru esen rüzgarlar $h_m F2$ yüksekliğini azaltır, gece ise bunun tersine ekvatora doğru esen nötr rüzgar $h_m F2$ yüksekliğini artırır. İyonkürenin farklı yüksekliklerindeki kayıp ve kazanç mekanizmaları farklı olduğundan, $N_m F2$ yoğunluğu $h_m F2$ 'deki günlük değişimden etkilenir.

İyonküre içerisinde nötr rüzgarlar orta enlemlerde büyük iyonizasyon değişikliklerine sebep olur. Bu iyonizasyon hareketi sadece Yer'in manyetik alanına paralel yönde gerçekleşebilir. Kuzey-güney rüzgarı gece ekvatora doğru eserken manyetik alan boyunca yukarı doğru bir bileşene sahiptir. Bu bileşen iyonizasyonun yukarı doğru sürer. F-bölgesinde kayıplar büyük oranda N_2 ve O_2 yoğunlukları üzerine bağlıdır. Bu iki molekülün yoğunluğu da yükseklikle hızlıca azalır. İyonizasyonun yukarı doğru yükselmesi kayıp oranında büyük azalmalar üretir. Bunun tersi olarak gündüz kutuplara doğru esen kuzey-güney rüzgarının manyetik alan boyunca aşağı yönlü bir bileşeni vardır. Bu bileşen iyonizasyonun aşağı doğru sürüklenmesini sağlar (Titheridge, 1995b).

Düşük enlemler için iyonküre içindeki hareketler daha karmaşıktır. Bu hareketler nötr rüzgar, Yer'in manyetik alanı, E ve F-bölgelerindeki dinamo hareketi ile

oluşturulan elektrik alan tarafından sağlanır. Düşük enlemlerdeki F-bölgesinde, iyon hareketlerinin önemli bir kısmı nötr rüzgarlar ve $\mathbf{E} \times \mathbf{B}$ sürüklenmesi tarafından oluşturulur (Titheridge 1995a). Gündüz sürüklenmeleri E-bölgesindeki nötr rüzgarların bir sonucudur. Burada atmosferik yoğunluk iyonları manyetik alana dik doğrultuda harekete zorlayacak kadar büyüktür. Büyük yatay rüzgarlar yatay elektrik akımları ve F-bölgesinde doğu yönünde elektrik alanları üretir. Bu elektrik alan F-bölgesindeki iyonları gündüz saatlerinde yukarı, gece saatlerinde ise aşağı doğru hareket ettirir. Bu hareketin hızı yaklaşık olarak 20 m/s dir (Fejer, 1991).



5. MATERYAL VE METOD

Bu çalışma, teorik bir çalışmadır. Nötr havanın hareket denklemi çözülerek nötr rüzgarın doğu-batı (U_x) ve kuzey-güney (U_y) bileşenlerinin (4.10) ve (4.11) denklemleri ile verilen matematiksel ifadeler elde edildi. Bu bileşenler kullanılarak nötr rüzgarın U hızı için bir ifade elde edildi. (4.10) ve (4.11) eşitlikleri ile verilen hızların nümerik değerlerini hesaplamak için gerekli olan iyon ve nötr yoğunlukları, elektron, iyon ve nötr sıcaklıklar gibi parametreler IRI-95 modelinden elde edildi. (4.10) ve (4.11) ifadelerindeki F_x ve F_y sürücü kuvvetleri (3.4) ve (3.5) ifadeleri kullanılarak hesaplandı. Bu ifadelerdeki $A(h)$ sabiti 300 km yükseklik için 2.87 olarak alındı (King ve Kohl, 1967). İyon-nötr çarpışma frekansı, (3.7) ifadesine göre hesaplandı.

Nötr rüzgarın oluşturduğu düşey yöndeki sürüklenme hızı, (4.19) ifadesi ile hesaplandı. Bu hızın h_mF2 ve N_mF2 üzerindeki etkileri (4.20) ve (4.22) ifadeleri kullanılarak nümerik olarak incelendi.

U_x ve U_y hızlarının günlük ve mevsimsel değişimleri, (40° K, 40° D) coğrafik koordinatında, h_mF2 yüksekliğinde, Güneşin aktif günleri için nümerik olarak incelendi. Aynı coğrafik koordinat için, bu hızların Güneş lekesi ile değişimleri incelendi. Ayrıca aynı hızların saat 12 ve 24 YZ'da değerlerinin coğrafik enlemle değişimleri hesaplandı. Mevsimsel değişim için, 21 Mart ilkbahar, 21 Haziran yaz, 23 Eylül sonbahar ve 21 Aralık kış olarak alındı. Ayrıca farklı enlemlerdeki düşey hızın günlük değişimleri ve bu hızın iyonkürenin h_mF2 ve N_mF2 parametreleri üzerindeki etkileri incelendi. Son olarak, uydu ve yeryüzünden alınan ölçümler sonucunda oluşturulan Horizontal Winds Models 93 -HWM93 modeli (Hedin ve diğ., 1996) kullanılarak aynı coğrafik koordinatlardaki hız bileşenleri hesaplandı. HWM93 modeli ile elde edilen sonuçlar, elde ettiğimiz sonuçlarla karşılaştırıldı.

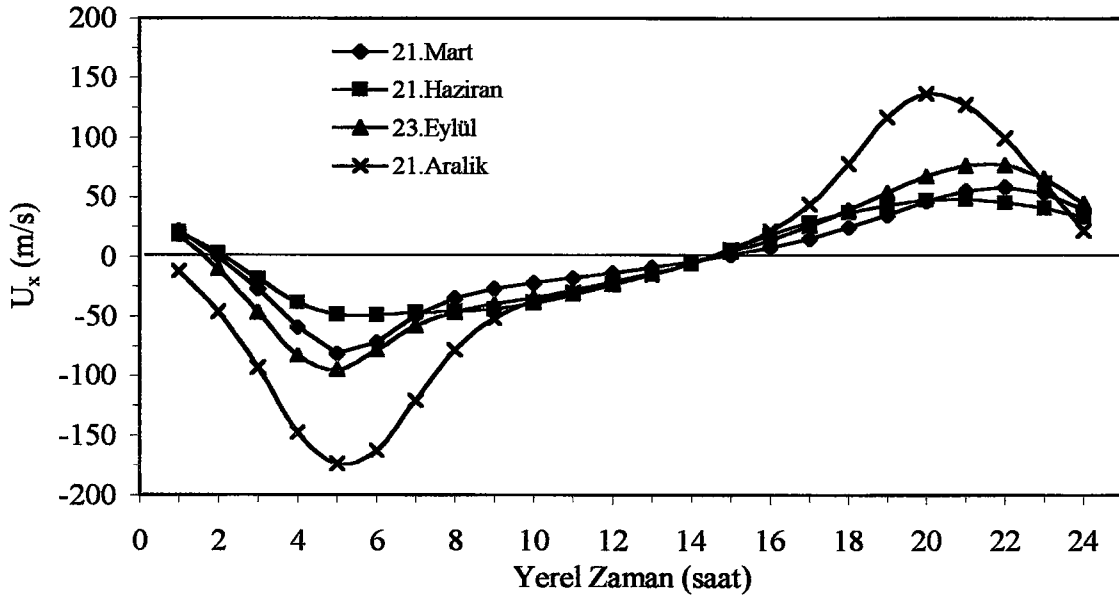
6. BULGULAR VE TARTIŞMA

6.1 Nötr Rüzgarın Günlük ve Mevsimsel Değişimi

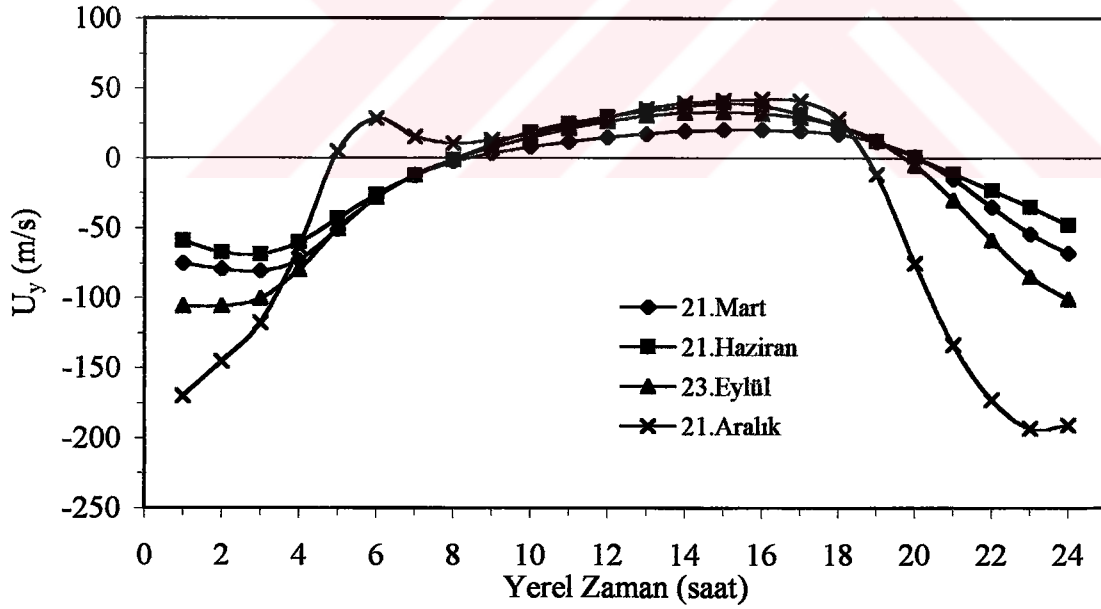
Nötr rüzgarın doğu-batı bileşeni (U_x), (4.10) ifadesi kullanılarak hesaplandı. U_x bileşeninin günlük ve mevsimsel değişimi Şekil 6.1 'de verilmiştir. Şekilden görüleceği gibi U_x hızının yönü saat 14-02 YZ arasında doğuya, günün diğer saatlerinde ise batıya doğrudur. Mevsimsel olarak U_x hızının en büyük değeri kış ayları için elde edilmiştir. Diğer mevsimlerdeki değerler birbirine çok yakındır. Günlük olarak tüm mevsimler için gece saatlerindeki hızlar, gündüz saatlerindeki hızlardan daha büyüktür. Aralık ayındaki hızın diğer mevsimlere göre daha büyük olması, iyon yoğunluğundaki anormalliklerden kaynaklanmaktadır.

Nötr rüzgarın kuzey-güney bileşeni (U_y)' nin günlük ve mevsimsel değişimi Şekil 6.2'de görüldüğü gibidir. Şekilden görüleceği gibi U_y hızının yönü yaklaşık olarak saat 08-19 YZ arası kuzeye, günün diğer saatlerinde ise ekvatora doğrudur. Yine aynı şekilden görüleceği gibi, gece saatlerindeki hızlar gündüz saatlerindeki hızlardan daha büyüktür. Kuzey-güney hızının en büyük değeri 21 Aralık için elde edildi. Diğer mevsimler için gündüz saatlerindeki değerler birbirine yakın iken, gece saatlerinde hızlar arasındaki farklar daha belirgin hale gelmektedir. 21 Aralık için gece saatlerindeki U_y hızının diğer mevsimlere göre daha belirgin olan artışı, bu saatlerdeki iyon sürüklenmesinin daha yavaş olmasından kaynaklanmaktadır (Rishbeth, 1972).

U_x ve U_y rüzgar hızlarının günlük ve mevsimsel değişimleri için elde edilen sonuçlar, Hedin ve diğ.(1988), Titheridge (1995a), Rishbeth (1972), Fagundes ve diğ. (1996), Hari ve diğ. (1995), Aydoğdu ve Özcan (1991)' nin sonuçları ile uyum içerisindedir.

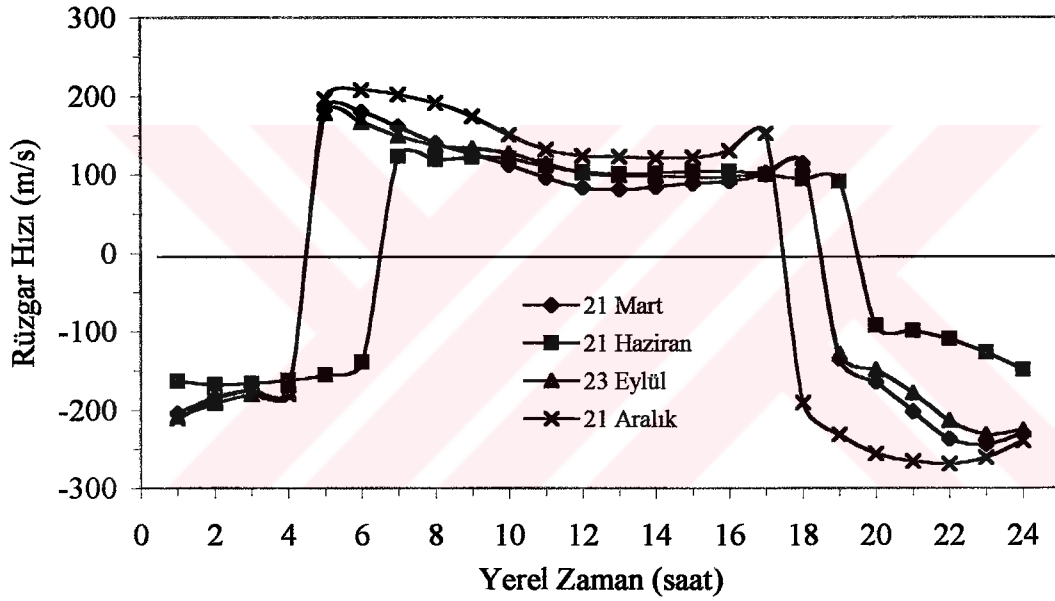


Şekil 6.1. U_x hızının günlük ve mevsimsel değişimi (40° K, 40° D, pozitif değerler doğuya doğrudur).



Şekil 6.2. U_y hızının günlük ve mevsimsel değişimi (40° K, 40° D, pozitif değerler kuzeye doğrudur).

Nötr rüzgarın günlük ve mevsimsel değişimi Şekil 6.3’de verilmiştir. Şekilden görüleceği gibi rüzgar gündüz saatlerinde kutba gece saatlerinde ise ekvatora doğru esmektedir. Mevsimsel olarak gündüz saatlerindeki değerler birbirine daha yakındır. Rüzgar hızının en büyük değeri 21 Aralık’ta saat 22 YZ civarında elde edilmiştir (yaklaşık 268 m/s). Nötr rüzgarın öğlen saatlerindeki şiddeti gece yarısındaki şiddetinden daha küçüktür. Halbuki iyon yoğunluğunun dağılımı bunun tersinedir. Bu sonuç literatürle uyum içindedir. Çünkü, rüzgarın şiddeti iyon yoğunluğunun günlük değişimi ile ters orantılıdır (Rishbeth, 1972).



Şekil 6.3. Nötr rüzgar hızının günlük ve mevsimsel değişimi (40° K, 40° D, pozitif değerler kuzey kutbuna doğrudur).

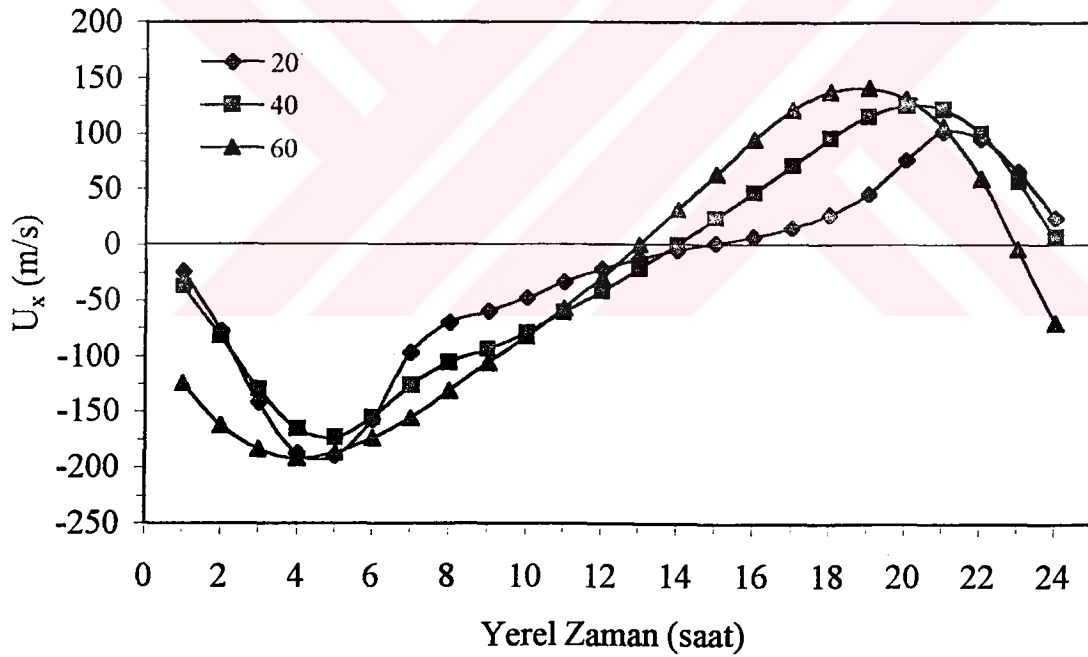
6.2. Nötr Rüzgarın Coğrafik Enlemle Değişimi

21 Haziran için nötr rüzgarın doğu-batı ve kuzey-güney bileşenleri, $h_m F2$ yüksekliğinde farklı enlemler için hesaplandı. Hesaplamalar için 40° D boylamı ve Güneş lekesinin aktif günleri seçildi. U_x ve U_y hızlarının farklı enlemlerdeki günlük değişimleri Şekil 6.4 ve Şekil 6.5’de verilmiştir. Şekil 6.4’den görüleceği gibi U_x

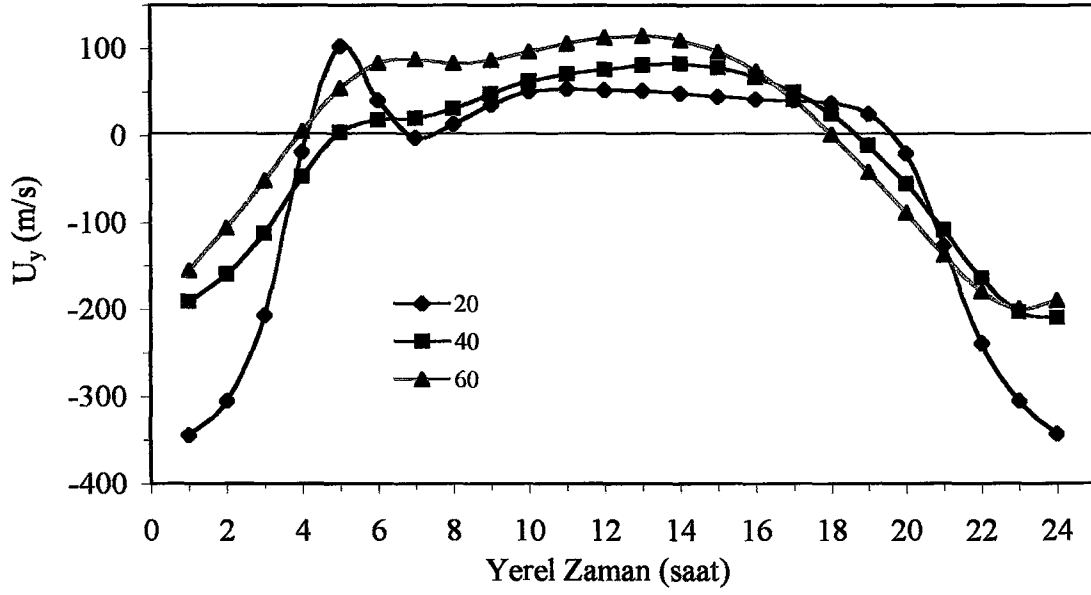
hızının enlemle değişimi genel olarak benzer davranışlar sergilemektedir. U_y hızının farklı coğrafik enlemlerdeki günlük değişimi Şekil 6.5’de gösterildiği gibidir. Şekilden görüleceği 60° K enlemindeki hız, diğer enlemlerdeki değerlerden daha büyüktür.

Şekil 6.6 ve Şekil 6.7, U_x ve U_y hızlarının saat 12 YZ ve 24 YZ daki değerlerinin coğrafik enlemle değişimlerini göstermektedir. Şekil 6.6’dan görüldüğü gibi, saat 12 YZ için tüm enlemlerdeki U_x hızları batıya doğrudur. Halbuki saat 24 YZ zaman için yaklaşık 40° K enlemine kadar U_x hızı doğu yönde iken daha yüksek enlemlerde batıya doğrudur. Gündüz saatlerinde en büyük hız değeri yaklaşık 40° K enleminde oluşurken, gece saatlerinde en büyük değer 60° K enleme için elde edilmiştir.

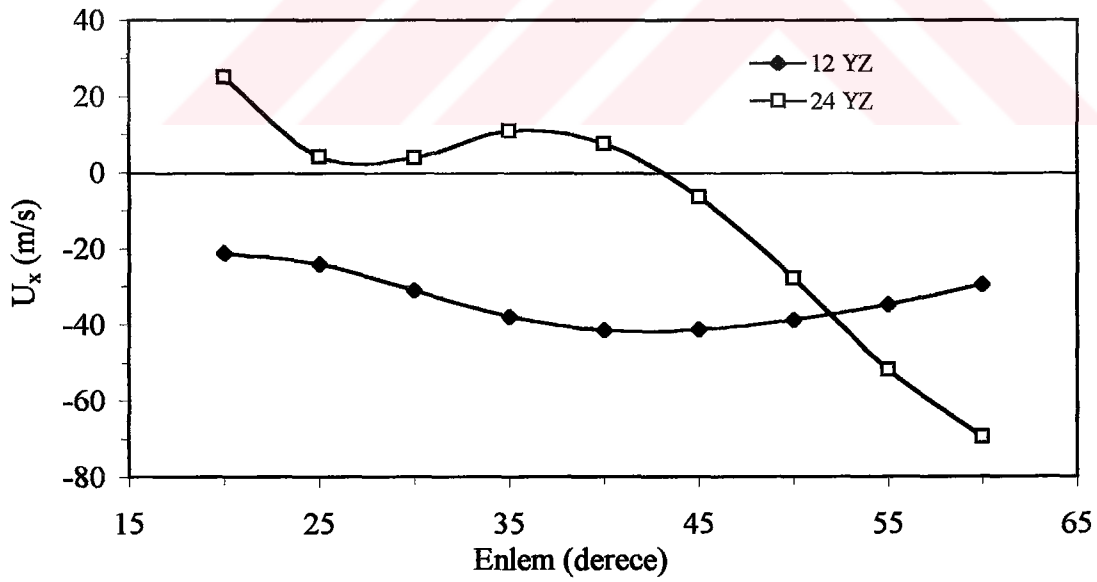
Şekil 6.7’den görüleceği gibi U_y hızı saat 12 YZ için tüm enlemlerde kuzeye, 24 YZ da ise güneye doğru esmektedir. U_y hızının gece saatlerindeki büyüklüğü tüm enlemler için, gündüz saatlerindeki büyüklüğünden daha büyüktür.



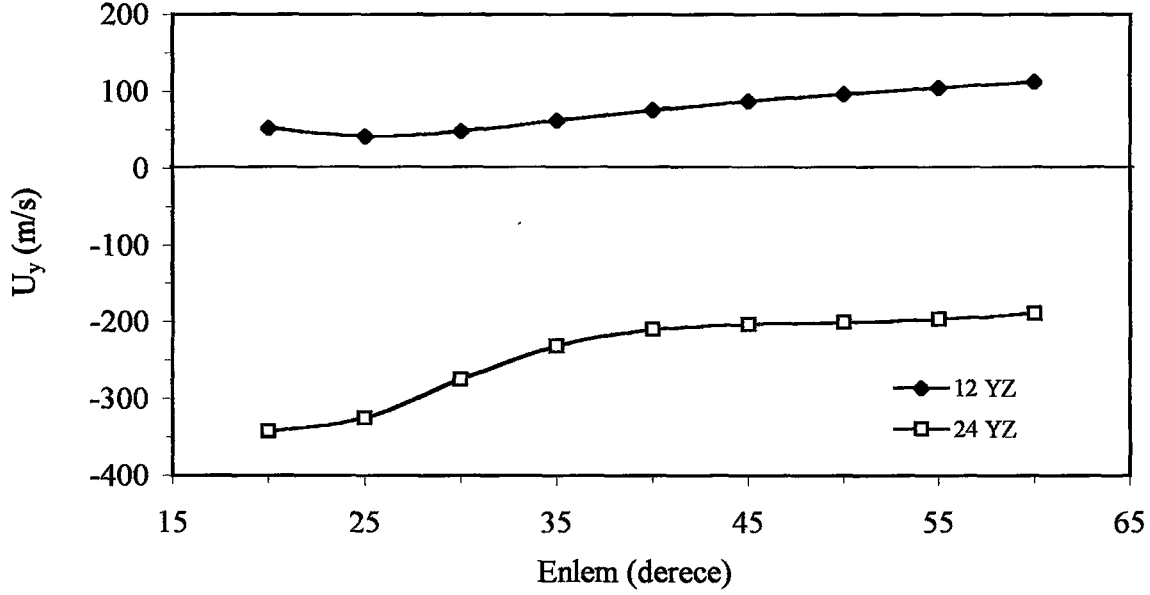
Şekil 6.4. U_x hızının farklı coğrafik enlemlerde günlük değişimi (40° K, 40° D, pozitif değerler doğuya doğrudur).



Şekil 6.5. U_y hızının farklı coğrafik enlemlerde günlük değişimi (pozitif değerler kuzeye doğrudur).



Şekil 6.6. U_x hızının 12 YZ ve 24 YZ'da coğrafik enlem ile değişimi (pozitif değerler doğuya doğrudur).

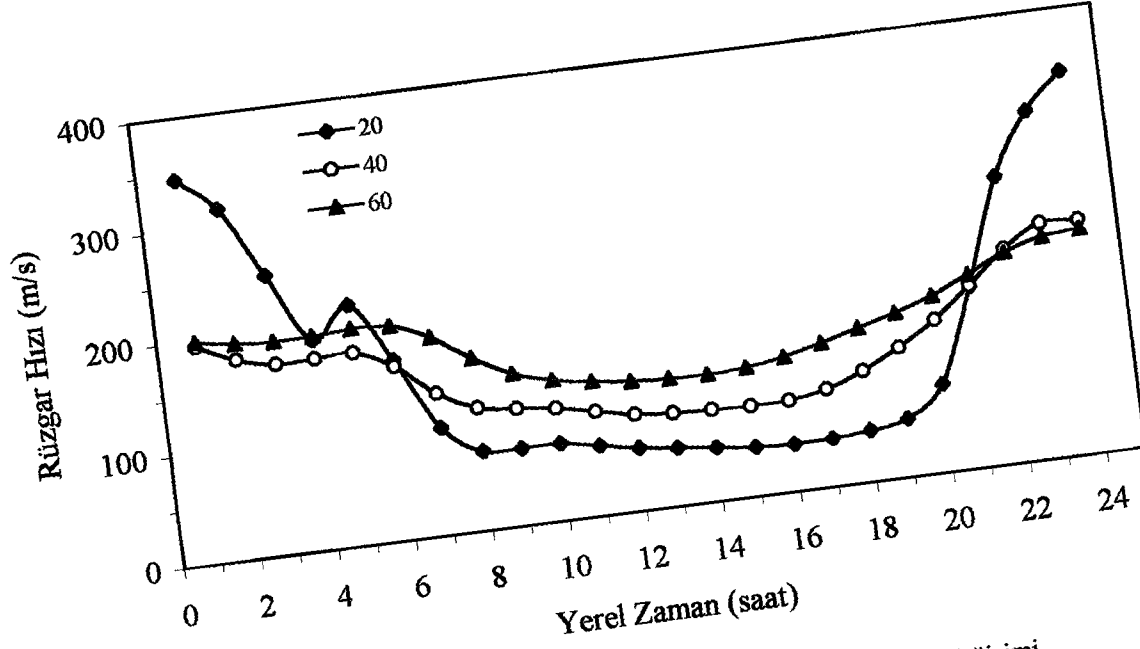


Şekil 6.7. U_y hızının 12 YZ ve 24 YZ'da coğrafik enlem ile değişimi (pozitif değerler kuzeye doğrudur).

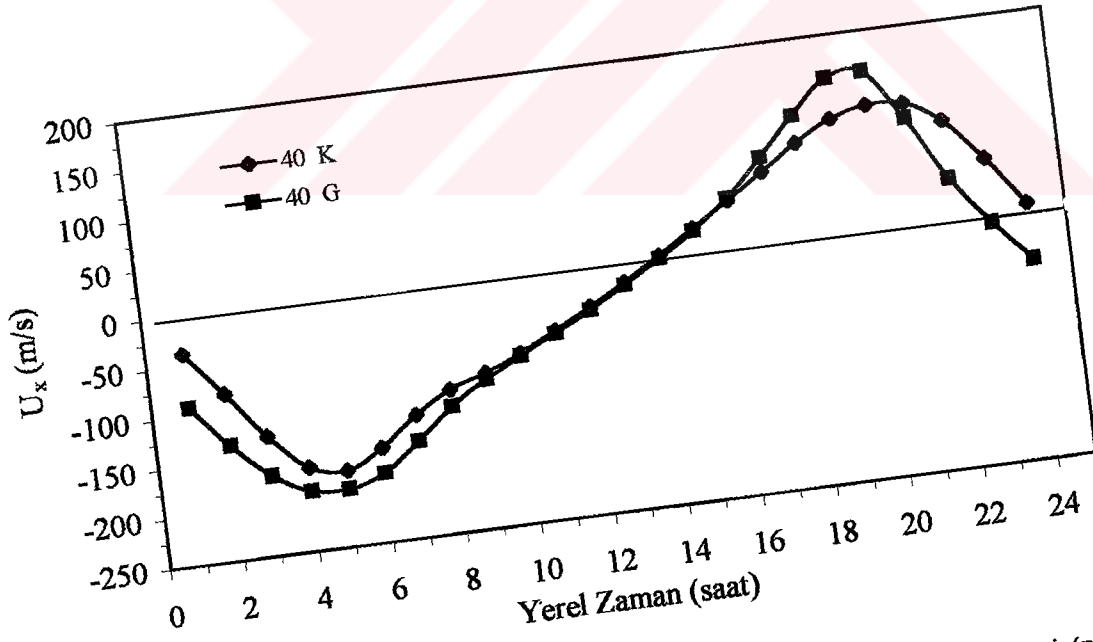
Şekil 6.8 nötr rüzgarın büyüklüğünün farklı enlemlerdeki günlük değişimini göstermektedir. Şekilden görüleceği gibi nötr rüzgar hızının en büyük değeri gece saatlerinde 20° K enlemi için elde edilmiştir (~ 350 m/s). Gündüz saatlerinde ise rüzgarın hızı coğrafik enlemle artmaktadır.

Şekil 6.9 U_x hızının kuzey ve güney yarımkürelerdeki günlük değişimini göstermektedir. Şekilden görüleceği gibi U_x hızı, öğlen saatlerinin dışında kuzey ve güney yarımküreler için farklı değerler almaktadır. Bu farklılık iyonkürenin kuzey-güney anormalliklerinden kaynaklanmaktadır.

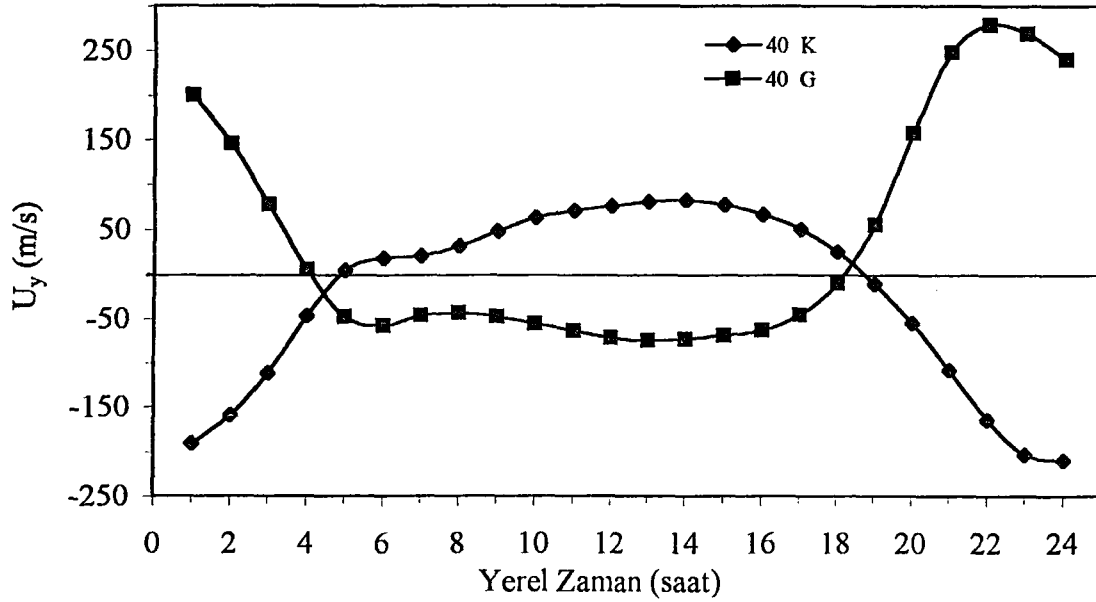
Nötr rüzgarın U_y bileşeninin kuzey ve güney yarımkürelerdeki günlük değişimi Şekil 6.10'da verilmiştir. Şekilden görüleceği gibi nötr rüzgarın U_y bileşeni kuzey ve güney yarımkürede gündüz saatlerinde kutuplara doğru, gece saatlerinde ise ekvatora doğru esmektedir. Büyüklük olarak her iki yarımküredeki hızlar hemen hemen eşittir.



Şekil 6.8. Nötr rüzgar hızının kuzey yarımküre için farklı enlemlerde yerel zaman ile değişimi.



Şekil 6.9. Nötr rüzgar hızının U_x bileşeninin kuzey ve güney yarımkürede günlük değişimi (pozitif değerler doğuya doğrudur).



Şekil 6.10. Nötr rüzgar hızının U_y bileşeninin kuzey ve güney yarımkürede günlük değişimi (pozitif değerler kuzeye doğrudur).

$h_m F2$ yüksekliğindeki U_x ve U_y hızlarının kuzey ve güney yarımküredeki değerlerin coğrafik enlemle değişimleri Tablo 6.1 ve Tablo 6.2'de toplu bir şekilde verilmiştir. Tablolardan görüleceği gibi aynı saatlerdeki kuzey ve güney yarımkürelerdeki hızların şiddetleri farklıdır. Kuzey yarımküre için U_x 'in en büyük değeri 60° enleminde, güney yarımküre için ise 20° enleminde elde edilmiştir. U_y hızının en büyük değeri kuzey yarımkürede 10° enleminde elde edilmiştir.

Şekil 6.11, $h_m F2$ yüksekliğindeki nötr rüzgarın coğrafik enlem ve yerel zaman ile değişimini göstermektedir. Şekilden görüleceği gibi gece nötr rüzgar hızı gündüz rüzgar hızından büyük olmaktadır. Ayrıca gündüz coğrafik enlem derecesi ile nötr rüzgar hızı artmaktadır. Yine aynı şekilden görüleceği gibi nötr rüzgar gündüz saatlerinde kutuplara doğru eserken, gece saatlerinde ekvatora doğru esmektedir. Bu sonuçlar, Geisler (1967), Hedin ve diğ. (1988), Challinor (1969), Ill ve diğ. (1975) ve Rishbeth (1973) ile uyum içerisindedir.

Tablo 6.1a. Kuzey yarımküre için U_x hızının günlük ve coğrafik enlem ile değişimi.

YZ (Saat)	$U_x(m/s)$ 10 °K	$U_x(m/s)$ 20 °K	$U_x(m/s)$ 30 °K	$U_x(m/s)$ 40 °K	$U_x(m/s)$ 50 °K	$U_x(m/s)$ 60 °K	$U_x(m/s)$ 70 °K	$U_x(m/s)$ 80 °K	$U_x(m/s)$ 90 °K
2	-50	-77	-73	-82	-130	-162	-164	-128	-51
4	-125	-187	-174	-165	-183	-191	-191	-173	-100
6	-98	-156	-153	-155	-171	-174	-170	-167	-126
8	-56	-69	-97	-105	-118	-130	-127	-124	-116
10	-28	-47	-65	-78	-81	-81	-75	-67	-72
12	-18	-21	-31	-41	-38	-29	-16	-5	-10
14	0	-4	-6	1	17	32	55	82	50
16	6	8	18	47	71	95	132	158	93
18	20	27	62	96	115	138	160	163	112
20	55	76	132	125	126	131	126	124	110
22	89	95	100	100	86	60	37	47	72
24	100	26	4	8	-27	-70	-80	-42	11

Tablo 6.1b Güney yarımküre için U_x hızının günlük ve coğrafik enlem ile değişimi.

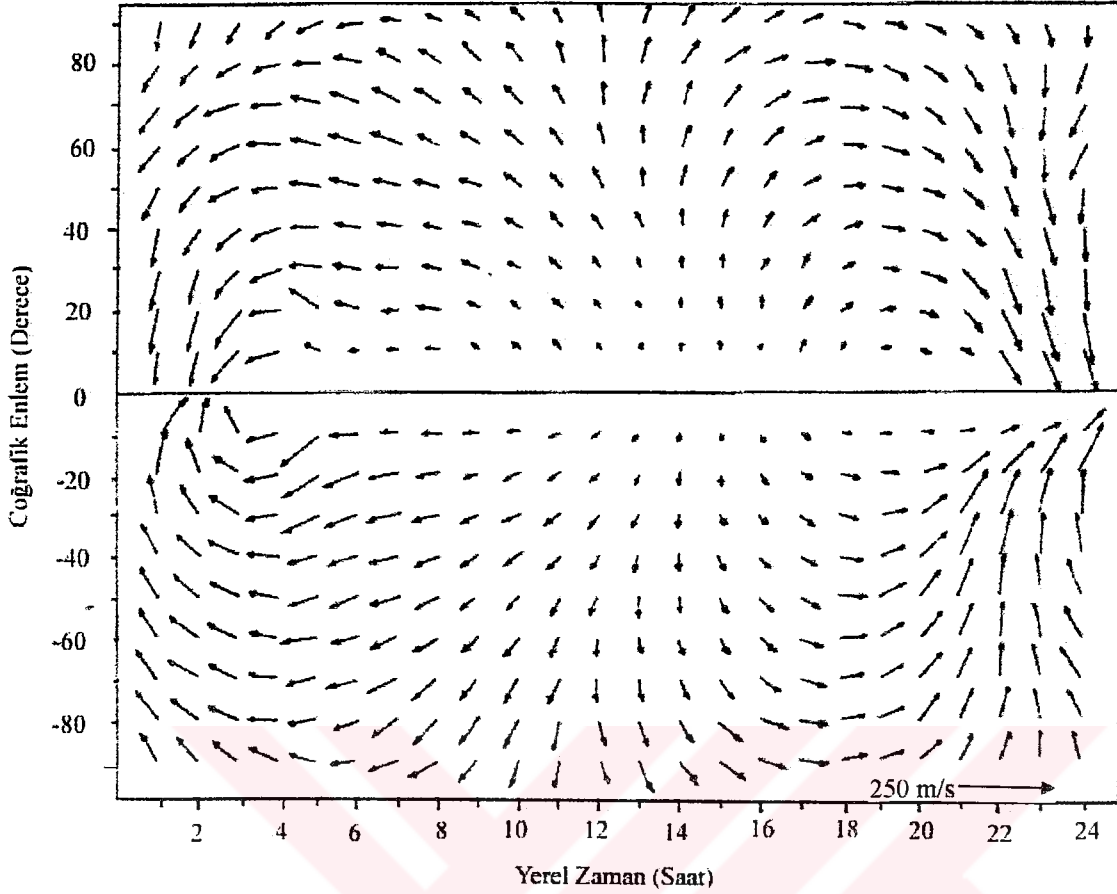
YZ (Saat)	$U_x(m/s)$ 10 °G	$U_x(m/s)$ 20 °G	$U_x(m/s)$ 30 °G	$U_x(m/s)$ 40 °G	$U_x(m/s)$ 50 °G	$U_x(m/s)$ 60 °G	$U_x(m/s)$ 70 °G	$U_x(m/s)$ 80 °G	$U_x(m/s)$ 90 °G
2	33	-51	-107	-133	-147	-156	-162	-158	-115
4	-112	-207	-197	-189	-182	-180	-184	-187	-154
6	-120	-222	-199	-180	-168	-164	-165	-166	-153
8	-77	-104	-116	-122	-124	-124	-122	-117	-120
10	-55	-73	-78	-80	-79	-76	-69	-52	-50
12	-34	-47	-48	-44	-37	-27	-14	19	38
14	-13	-14	-10	-2	9	23	45	86	113
16	16	27	37	50	66	86	111	138	153
18	44	82	108	124	136	146	153	157	155
20	66	152	185	159	134	120	113	111	119
22	82	190	106	41	18	12	12	11	44
24	136	106	5	-49	-76	-90	-96	-90	-37

Tablo 6.2a Kuzey yarımküre için U_y hızının günlük ve coğrafik enlem ile değişimi.

YZ (Saat)	$U_y(m/s)$ 10°K	$U_y(m/s)$ 20°K	$U_y(m/s)$ 30°K	$U_y(m/s)$ 40°K	$U_y(m/s)$ 50°K	$U_y(m/s)$ 60°K	$U_y(m/s)$ 70°K	$U_y(m/s)$ 80°K	$U_y(m/s)$ 90°K
2	-305	-300	-195	-159	-135	-106	-99	-119	-113
4	-63	-19	-42	-47	-19	5	4	-34	-73
6	81	40	16	17	50	83	86	48	-11
8	15	12	26	31	47	83	112	103	57
10	35	50	48	62	74	96	122	132	109
12	48	52	48	75	96	112	128	136	126
14	48	48	49	82	101	109	119	124	113
16	40	41	46	66	72	74	66	50	73
18	35	37	32	24	16	1	-28	-37	19
20	-10	-20	-74	-55	-59	-88	-117	-108	-44
22	-233	-238	-257	-163	-158	-179	-184	-164	-103
24	-330	-328	-274	-209	-200	-189	-176	-166	-125

Tablo 6.2b Güney yarımküre için U_y hızının günlük ve coğrafik enlem ile değişimi.

YZ (Saat)	$U_y(m/s)$ 10°G	$U_y(m/s)$ 20°G	$U_y(m/s)$ 30°G	$U_y(m/s)$ 40°G	$U_y(m/s)$ 50°G	$U_y(m/s)$ 60°G	$U_y(m/s)$ 70°G	$U_y(m/s)$ 80°G	$U_y(m/s)$ 90°G
2	216	202	170	145	128	115	105	105	125
4	-67	-52	-20	5	20	26	19	11	55
6	-36	-84	-77	-58	-45	-41	-52	-71	-19
8	-5	-15	-27	-43	-62	-79	-99	-123	-92
10	-12	-25	-38	-55	-77	-98	-122	-154	-155
12	-17	-35	-53	-71	-92	-109	-129	-158	-164
14	-22	-41	-56	-73	-89	-104	-119	-129	-125
16	-20	-36	-49	-63	-74	-79	-78	-67	-56
18	-11	-16	-14	-10	-2	9	19	28	22
20	2	44	128	157	159	153	146	139	112
22	23	182	311	278	242	215	198	189	162
24	127	254	275	240	211	189	176	170	164

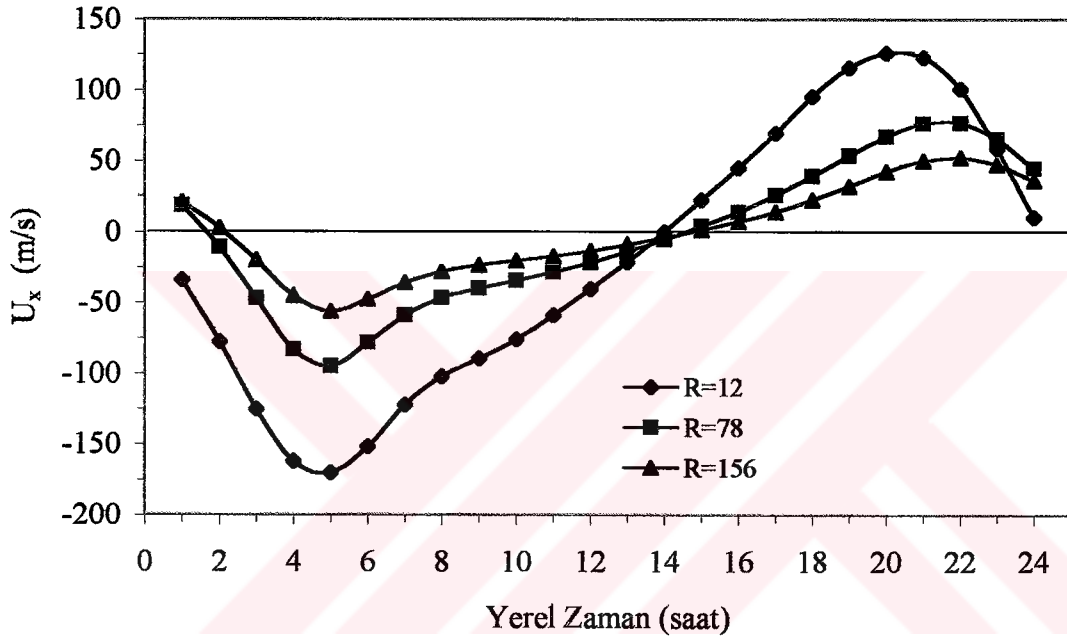


Şekil 6.11. Nötr rüzgar hızının coğrafik enlem ve yerel zaman ile değişimi (pozitif değerler kuzeye ve doğuya doğrudur).

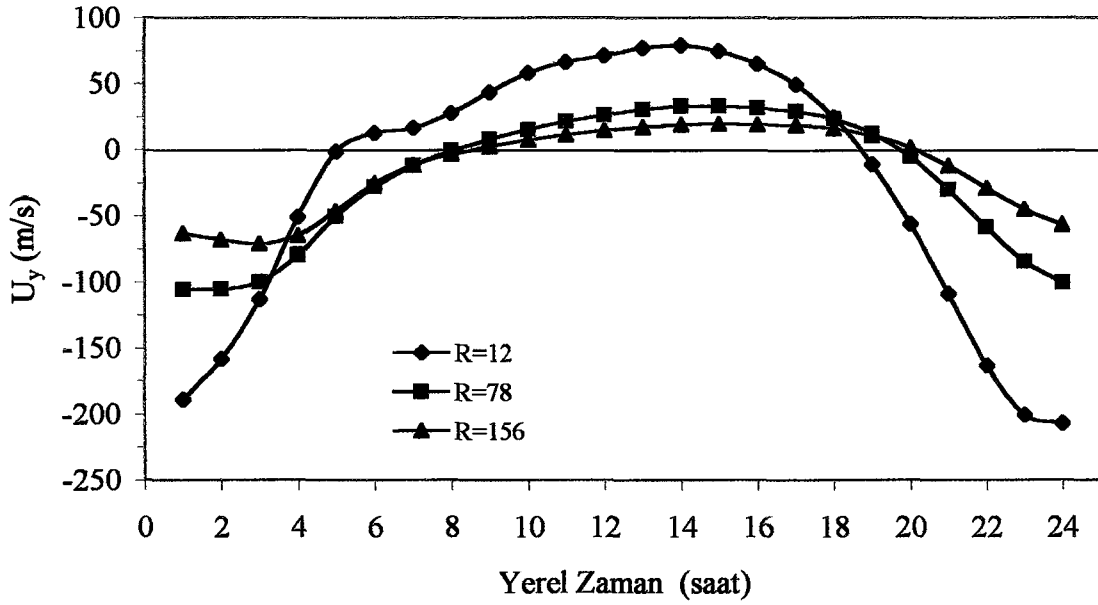
6.3.Nötr Rüzgar Hızının Güneş Lekesi İle Değişimi

Güneş üzerindeki aktiflikler 9-11 yıllık aralıklarla değişmektedir. İyonküre parametreleri üzerinde etkili olan bu aktifliklerden biri Güneş lekesi (R) parametresidir. R yaklaşık 10 ile 200 arasında değerler almaktadır. Nötr rüzgarın kuzey-güney ve doğu-batı hızları, Güneş lekesinin minimum ($R=12$), orta ($R=78$) ve maksimum ($R=156$) değerleri için hesaplandı. Şekil 6.12, U_x hızının R'nin farklı değerleri için günlük değişimini göstermektedir. Şekilden görüleceği gibi hızlar Güneş lekesi sayısı ile ters orantılı olarak değişmektedir. İyon yoğunluğu Güneş lekesi ile arttığından, iyon durdurma kuvveti de artacak, bunun sonucu olarak da rüzgarın hızı Güneş lekesi ile azalacaktır (King ve Kohl, 1967).

Şekil 6.13, nötr rüzgarın U_y bileşenin Güneş lekesiyle değişimini göstermektedir. U_x hızında olduğu gibi, U_y hızının büyüklüğü de Güneş lekesi sayısı ile ters orantılı olarak artmaktadır. Bu sonuç Titheridge (1995a), Rishbeth (1972), King ve Kohl (1967), Blum ve Harris (1975)'in sonuçları ile uyum içindedir.



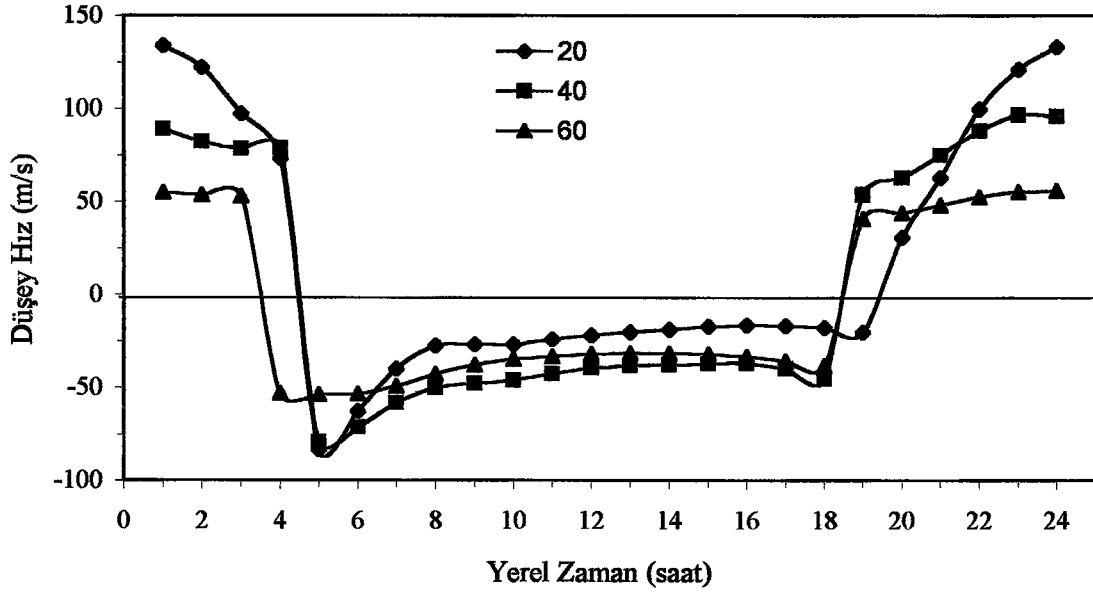
Şekil 6.12. Nötr rüzgar hızının U_x bileşeninin Güneş lekesi değerlerine göre günlük değişimi (pozitif değerler doğuya doğrudur).



Şekil 6.13. Nötr rüzgar hızının U_y bileşeninin Güneş lekeleri değerlerine göre günlük değişimi (pozitif değerler kuzeye doğrudur).

6.4. Düşey Hızın Günlük Değişimi

Düşey hızın nümerik değeri (4.19) ifadesi kullanılarak hesaplandı. Hesaplamalar 40° D boylamı, 20° , 40° ve 60° kuzey enlemlerinde $R=156$ için yapıldı. Şeki 6.14 düşey hızın günlük değişimini göstermektedir. Şekilden görüleceği gibi düşey hız saat 04-18 YZ arası aşağı, günün diğer saatlerinde ise yukarı doğrudur. Düşey hızın gece saatlerindeki değerleri, gündüz saatlerindeki değerlerinden daha büyüktür. Düşey hızın gündüz saatlerindeki enlemle değişimi fazla belirgin olmamasına karşın, gece saatlerinde önemli derecede bir değişim oluşmaktadır. Düşey hızın en büyük değeri gece yarısı saatlerinde ve yaklaşık 130 m/s olarak hesaplanmıştır. Elde edilen bu sonuçlar, Titheridge (1995b)'nin yaptığı çalışmaların sonucu ile uyum içindedir.

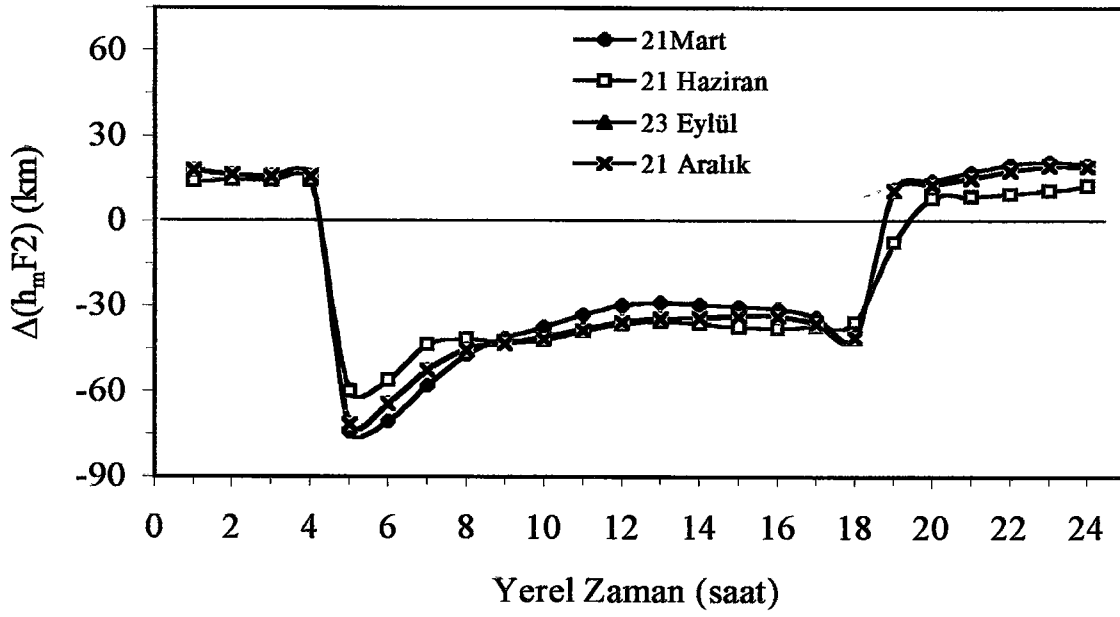


Şekil 6.14. Düşey rüzgarın (W) kuzey yarımkürede farklı enlemlerde günlük değişimi (pozitif değerler yukarı doğrudur).

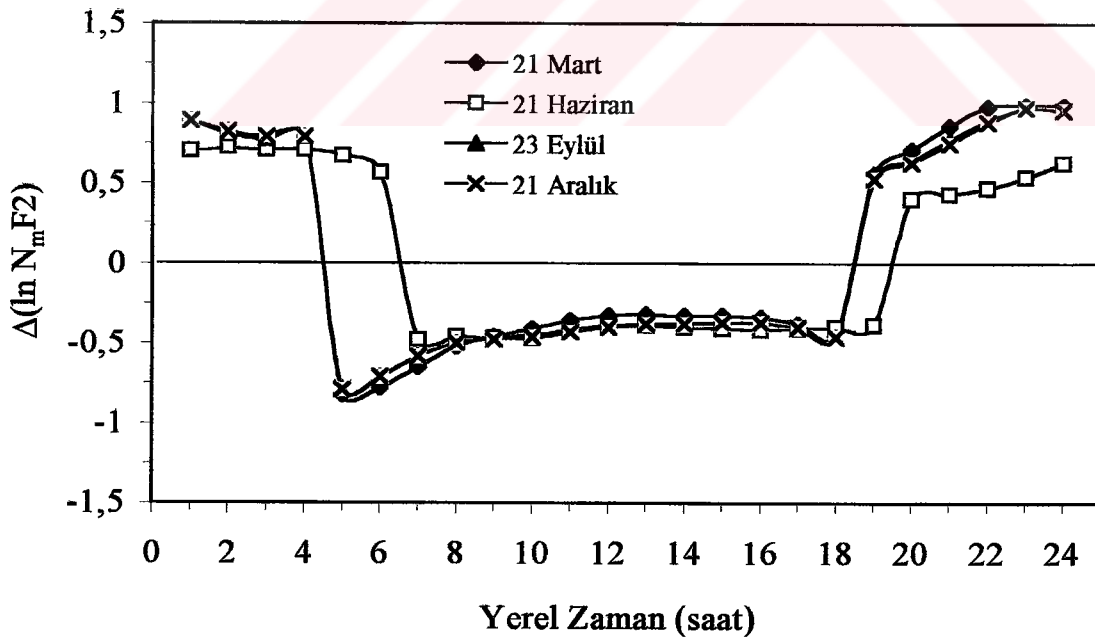
6.5. Nötr Rüzgarın İyonküre Üzerindeki Etkisi

Nötr rüzgarın iyonkürenin tepe yüksekliği (h_mF2) ve maksimum elektron yoğunluğu (N_mF2) üzerindeki etkileri (4.20) ve (4.22) ifadeleri ile hesaplandı. Elde edilen sonuçlar Şekil 6.15 ve Şekil 6.16'da görülmektedir. Şekil 6.15'den görüleceği gibi iyonküre, nötr rüzgarın düşey bileşeninin etkisiyle gündüz saatlerinde kayıp mekanizmalarının daha baskın olduğu aşağı bölgelere doğru sürüklenmektedir. Nötr rüzgarın h_mF2 üzerindeki en büyük etkileri Güneş'in doğuşu ve batışı sıralarında oluşmaktadır. Güneş'in doğuşu sırasında h_mF2 yaklaşık 70-80 km aşağı doğru sürüklenmektedir.

N_mF2 yoğunluğunun nötr rüzgarın etkisi ile günlük ve mevsimsel değişimi Şekil 6.16'da verilmiştir. Nötr rüzgar gündüz saatlerinde elektron yoğunluğunu azaltırken, gece saatlerinde yoğunluğun artmasına neden olmaktadır. Nötr rüzgarın en büyük etkisi Güneş'in doğuş ve batış saatlerinde oluşmaktadır.



Şekil 6.15. $h_m F2$ yüksekliğinin nötr rüzgarın etkisi ile günlük ve mevsimsel değişimi ($40^\circ D$, $40^\circ K$).



Şekil 6.16. $N_m F2$ yoğunluğunun nötr rüzgarın etkisi ile günlük ve mevsimsel değişimi ($40^\circ D$, $40^\circ K$).

7. SONUÇ

Bu çalışmada iyoküredeki termoküresel rüzgarlar ve bu rüzgarların iyonküre plazması üzerindeki etkileri incelendi. Hesaplamalarda nötr rüzgarın doğu-batı ve kuzey-güney bileşenleri elde edildi. Doğru-batı bileşeninin gündüz saatlerinde doğruya gece saatlerinde batıya estiği ve kuzey-güney bileşeninin gündüz kutuplara ve gece saatlerinde ise ekvatora doğru estiği görüldü. Nötr rüzgarlar gündüz saatlerinde kutuplara gece saatlerinde ise ekvatora doğru esmektedir. Bu yön değiştirmeyi basınç değişim kuvveti, iyon sürüklenmesi ve Coriolis kuvvetleri sağlamaktadır (Geisler, 1966).

Güneş lekeleri sayısı arttıkça nötr rüzgar hızının azaldığı gözlemlendi. Ayrıca nötr rüzgarın düşey bileşeninin gündüz aşağı, gece yukarı doğru olduğu görüldü.

Nötr rüzgar hızı genellikle coğrafik enlem ile artmaktadır. Nötr rüzgarın düşey bileşeni $h_m F2$ yüksekliğini günlük olarak yaklaşık 120 km yer değiştirmektedir. Bu yerdeğiştirmenin sonucu olarak nötr rüzgarlar, gündüz saatlerinde elektron yoğunluğunun azalmasına, gece saatlerinde ise artmasına neden olmaktadır.

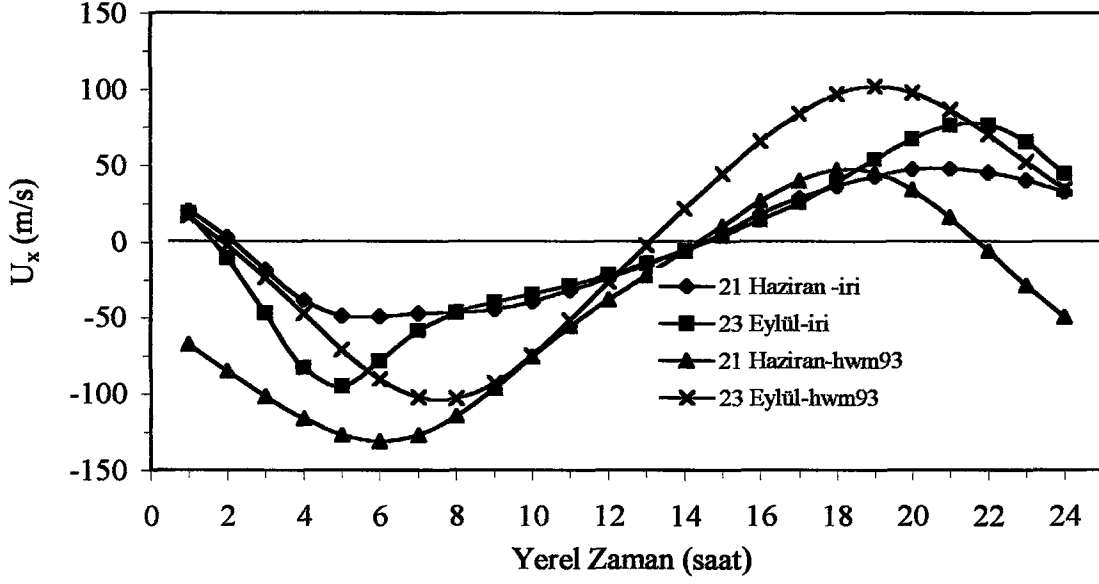
Son olarak hesaplanan (IRI-modeli ile) U_x ve U_y hız bileşenleri, Horizontal Winds Model-HWM93 (Hedin, 1996) sonuçları ile karşılaştırıldı. Tablo 7.1a, U_x ve Tablo 7.1b, U_y hızlarının IRI-95 ve HWM93 modelleri ile günlük değişimini göstermektedir. Şekil 7.1 ve Şekil 7.2 de görüldüğü gibi, bu çalışmada hesaplanan hızlar, HWM93 modeli ile elde edilen hızlarla uyum içindedir.

Tablo 7.1a. U_x hızının IRI-95ve HWM-93 modellerine göre günlük değişimleri.

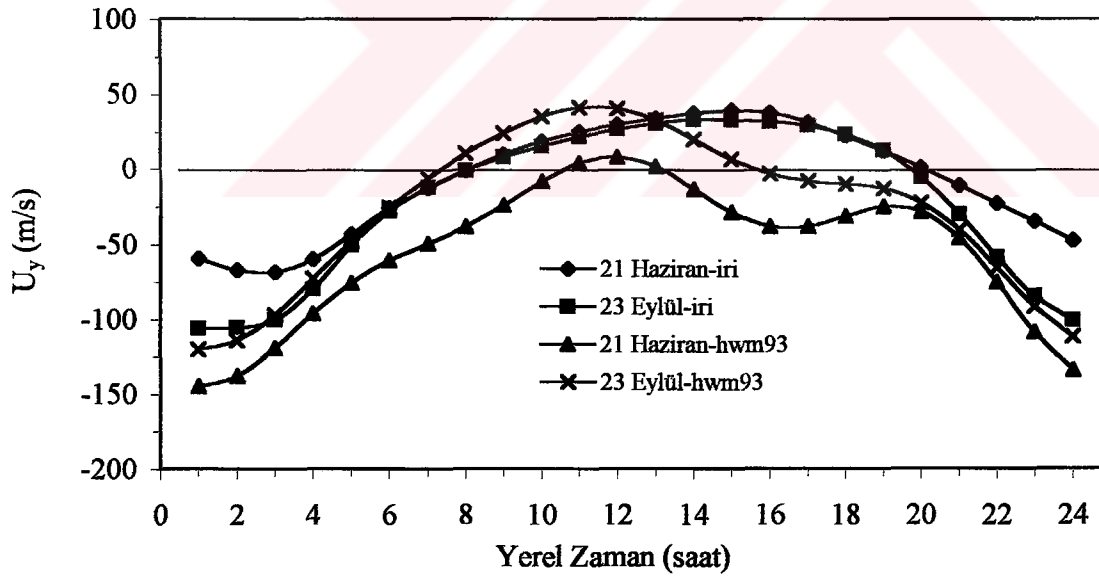
YZ (Saat)	U_x (m/s) 21 Haziran -IRI	U_x (m/s) 23.Eylül-IRI	U_x (m/s) 21Haz. HWM-93	U_x (m/s) 23 Eylül HWM-93
2	2.9	-10.8	-85.09	-2.1
4	-38.5	-83.1	-116.2	-47.16
6	-49.1	-78.6	-131.2	-90.4
8	-46	-46.7	-114.4	-102.8
10	-39.7	-34.7	-75.6	-74.7
12	-23.8	-21.8	-38.1	-26.7
14	-5.6	-5.5	-6.2	21.5
16	-36.4	-26.2	-29.6	-46.8
18	-38.6	-23.2	-17.1	-46.9
20	-40.7	-20.2	-4.5	-47.1
22	-42.8	-17.1	8.1	-47.2
24	-44.9	-14.2	20.6	-47.3

Tablo 7.1b. U_y hızının IRI-95ve HWM-93 modellerine göre günlük değişimleri.

YZ (Saat)	U_y (m/s) 21 Haziran -IRI	U_y (m/s) 23.Eylül-IRI	U_y (m/s) 21Haz. HWM-93	U_y (m/s) 23 Eylül HWM-93
2	-67.4	-105.8	-138.2	-114.3
4	-60	-80	-96.1	-73
6	-26.1	-27.9	-60.9	-25.2
8	-1.1	-1	-38.4	10.2
10	18.5	15.1	-8.4	35.1
12	29.7	26.4	8	40.3
14	37.4	32.9	-13.3	19.9
16	37.7	31.8	-38.4	-3.2
18	22.5	23.3	-31.3	-9.9
20	0.9	-5.4	-28.5	-22.3
22	-22.9	-58.8	-75.4	-65.4
24	-47.6	-100.9	-134.2	-111.7



Şekil 7.1. IRI ve HWM93 modelleri ile elde edilen U_x hızlarının günlük dağılımı ($40^\circ K$, $40^\circ D$).



Şekil 7.2. IRI ve HWM93 modelleri ile elde edilen U_y hızlarının günlük dağılımı ($40^\circ K$, $40^\circ D$).

KAYNAKLAR

- Aydoğdu, M. ve Özcan O., 1991, Thermospheric winds over Turkey. **Erc. Üniv. Fen Bilimleri Dergisi.**, 7, 1075-1083.
- Blum, P. W.ve Harris, I., 1975, Full non-linear treatment of the global thermospheric Wind sistem –II. Results and comparison with observations. . **Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics.**, 37, 213-235
- Briggs, B. H., 1977, Ionospheric Drifts . **Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics.**, 39, 1023-1033
- Bittencourt, J., Sahai Y., Fagundes P., R. ve Takahashi H., 1997, Simultaneous observations of ekvatorial F-region plazma depletions and thermospheric winds. **Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics.**, 59, 9, 1049-1059.
- Challinor, R. A., 1969, Neutral-air winds in the ionospheric F-Region for an asymetric global pressure system. **Planet Space Science.**, 17, 1097-1106.
- Fagundes, P. R., Sahai, Y., Bittencourt, J. A., ve Takahashi, H., 1996, Plasma drifts inferred from thermospheric neutral winds and temparature gradients observed at low latitudes. **Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics.**, 58, 11, 1219-1228.
- Fejer, B.G., 1991, Low latitude elektrodinamic plazma drifts: a review. **Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics**, 53, 677-693.
- Fuller-Rowel, T. J., Codrescu, M. V., Fejer, B. G., Borrer, W., Marcos, F. and Anderson D. A., 1995, Dynamics of low latitude thermosphere quiet and disturbed conditions. **Journal of Atmospheric and Solar Terrestrial Physics.**, 59, 13, 1533-1540.
- Geisler, J. E., 1966, Atmospheric winds in the middle latitude F–region. **Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics**. Vol.28, pp. 703-720.
- Geisler, J. E., 1967, A numerical study of the wind system in the middle thermosphere. **Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics**. Vol.29, pp. 1469-1482.
- Hari, S. S. ve Karishna, M., 1995, Seasonal variations of equatorial night-time thermospheric meridional winds. **Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics.**, 57, 11, 1241-1246.

- Hedin, A. E., Spencer, N., W. ve Killeen, T., L., 1988, Empirical global model of upper thermosphere winds based on atmosphere and dynamics explorer satellite data. **Journal of Geophysical Research.**, 93, A9, 9959-9978.
- Hedin, A. E., Fleming E. L., Manson A.H., Schmidlin, F.J., Avery S.K., and Vincent R. A., 1996, Empirical wind model for the upper, middle and lower atmosphere. **Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics.**, 58, 1421-1447.
- Ill, M., Clairemidi J., ve Falin, J., L., 1975, Neutral winds in the F-Region. **Planet Space Science.**, 23, 401-408.
- King, J.W., ve Kohl, H., 1967, Atmospheric winds between 100 and 700 km and their effects on the ionosphere. **Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics.** 29, 1045-1062.
- Özcan, O., 1991, Orta enlemlerdeki iyonkürenin F-bölgesindeki Plazmanın Elektrik iletkenliği, Alanı ve Akımının genel incelenmesi. **Doktora tezi, F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü.** Elazığ.
- Rishbeth, H., ve Garriot, O. K., 1969, **Introduction to ionospheric physics.** Academic Press, New York, 1-32
- Rishbeth, H., 1967, A Review of ionospheric F region theory. **Proceedings of the IEE.**, 55. 1.
- Rishbeth, H., 1971, The F-Layer Dynamo. **Planet Space Science.** 19, 263-267.
- Rishbeth, H., 1972, Thermospheric winds and the F-region: A review. **Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics.**, 34, 1-47
- Rishbeth, H., 1973, Physics and Chemistry of the Ionosphere. **Contemp. Physics.**, 14, 3, 229-249.
- Rishbeth, H., 1978, Ion-drag effects in the thermosphere. **Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics.**, 41, 885-894.
- Rishbeth, H., 1997, The ionospheric E-layer and F-layer dynamos-a tutorial review. **Journal of Atmospheric and Solar Terrestrial Physics.**, 59, 15, 1873-1880.
- Rishbeth, H., 1998, How the thermospheric circulation affects the ionospheric F2-layer. **Journal of Atmospheric and Solar Terrestrial Physics.**, 60, 1835-1842

- Roble, R.G., ve Anderson, D.N., 1981, Neutral wind effects on the equatorial F-region ionosphere. **Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics.**, 43, 835-843.
- Titheridge, J. E., 1995a, The calculation of neutral winds from ionospheric data. **Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics**, 57, 9, 1015-1036.
- Titheridge, J. E., 1995b, Winds in the ionosphere-A Review. **Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics.**, 57, 14, 1681-1714

