

**T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İYONKÜREDE DİKEY YAYILAN YÜKSEK FREKANSLI (HF) DALGALARIN
GRUP HIZLARININ İNCELENMESİ**

Aişe İLHAN TÜNÇ

Yüksek Lisans Tezi

Anabilim Dalı: Fizik

Programı: Yüksek Enerji ve Plazma Fiziği

Danışman: Doç. Dr. Esat GÜZEL

TEMMUZ 2019

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**İYONKÜREDE DİKEY YAYILAN YÜKSEK FREKANSLI (HF) DALGALARIN
GRUP HIZLARININ İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

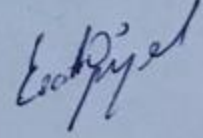
Aişe İLHAN TUNÇ

(141114103)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih
17.07.2019

Tezin Savunulduğu Tarih
06.08.2019

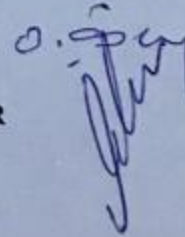
Tez Danışmanı: Doç. Dr. Esat GÜZEL (F.Ü.)



Diğer Jüri Üyeleri:

Prof. Dr. Osman ÖZCAN

Dr. Öğr. Üyesi Tuncay ÖZDEMİR



TEMMUZ 2019

ÖNSÖZ

Bu çalışmanın hazırlanması süresince ilgi ve desteğini esirgemeyen danışman hocam Sayın Doç. Dr. Esat GÜZEL ve değerli Hocam Doç. Dr. Murat CANYILMAZ çalışmalarımın her aşamasında bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım için teşekkür ederim.

Bu günlere gelmemde her türlü yardımı koşulsuz olarak sunan değerli anneme ve babama ayrıca teşekkür eder minnet duygularımı sunarım.

Aiße İLHAN TÜNÇ
ELAZIĞ – 2019

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET	IV
SUMMARY	V
ŞEKİLLER LİSTESİ	VI
SEMBOLLER LİSTESİ	IX
KISALTMALAR.....	X
1.GİRİŞ.....	1
2.FAZ HIZI VE GRUP HIZI	4
3. DİKEY YAYILAN ELEKTROMANYETİK DALGANIN SÖNÜM KATSAYISI .	8
3.1. Dalganın Kırılma İndisi	9
3.2. Dalganın Grup Hızı	11
3.2.1. Çarpışmasız Durum için Grup Hızları.....	12
3.2.2. Çarpışmalı Durum için Grup Hızları	13
4. MATERYAL VE METOT	15
4.1. Uluslararası İyonküre Referans Modeli (International Reference Ionosphere-IRI).....	15
4.2. Kütle Spektrometresi Bağımsız Dağılım Modeli (Mass-Spectrometer-Incoherent-Scatter, MSISE-90).....	16
4.3. Matris Laboratuvarı (MATrix LABoratory, MATLAB)......	16
5. BULGULAR	18
5.1. Çarpışmasız Ortam	18
5.1.1. Ordinari Dalga	19
5.1.2. Extraordinari Dalga	22
5.1.3. Sağa Kutuplu Dalga.....	24
5.1.4. Sola Kutuplu Dalga	26
5.2. Çarpışmalı Ortam	28
5.2.1. Ordinari Dalga	29
5.2.2. Extraordinari Dalga	31
5.2.3. Sağa Kutuplu Dalga.....	34
5.2.4. Sola Kutuplu Dalga	36
6. SONUÇ	39
7. KAYNAKLAR.....	41
ÖZGEÇMİŞ	44

ÖZET

İYONKÜREDE DİKEY YAYILAN YÜKSEK FREKANSLI (HF) DALGALARIN GRUP HIZLARININ İNCELENMESİ

Grup hızı, modüle edilmiş dalganın bir ortamdaki yayılma hızı, kırılma indeksine bağlı olarak değişmektedir. HF radyo dalgalarının iyonküredeki yayılmalarının incelenmesinde grup hızı önemlidir. İyonkürede dikey yayılan HF radyo dalgaları, elektronların diğer nötr ve yüklü parçacıklarla yaptığı çarpışmalarda sönmüştüğünden zayıflar. Çarpışmaların etkilediği HF dalgalarının kırılma indeksi, çarpışmaların ihmal edildiği kırılma indeksinden daha büyüktür. Bunun bir sonucu olarak farklı frekanslar ve modlardaki dalgaların iyonküredeki grup hızları ve yansıma yükseklikleri değişir. Bu çalışmada, dikey yayılan HF dalgalarının iyonküreye 80 km yükseklikte ve ışık hızında girdiği kabul edilerek grup hızları (V_g), 3, 4, 5, 6 ve 7 MHz frekanslar ve Ordinari, ekstraordinari, sağa kutuplu ve sola kutuplu dalgalar için hesaplanmıştır. Değişimler, gündönümü ve ekinoks zamanlarına ve çarpışmaların ihmal edildiği ve edilmediği durumlara bağlı olarak hesaplanmıştır.

Elde edilen sonuçlarda, frekansa bağlı olarak grup hızlarının arttığı yüksek frekanslı dalgaların düşük frekanslı dalgalara göre daha üst yüksekliklere ulaştığı tespit edilmiştir. Ayrıca ortamın kırılma indeksini değiştiren çarpışmalarında grup hızlarını etkilediği görülmüştür. Bu durumun sonucu olarak çarpışmasız durum şartlarındaki grup hızlarının çarpışmalı ortamdaki grup hızlarından daha büyük olduğu hesaplanmıştır.

Dalgaların grup hızları, frekanslarına ve ortamın şartlarına göre değişmektedir. Değişimlerin sebebi olarak zamanı, ortamın şartlarını ve çarpışmaların etkilerini sayabiliriz.

Anahtar Kelimeler: İyonküre, HF Dalga, Grup hızı

SUMMARY

**INVESTIGATION OF GROUP VELOCITIES OF VERTICALLY PROPAGATED
HIGH FREQUENCY (HF) WAVES IN THE IONOSPHERE**

The group velocity, propagation velocity of the modulated wave in a medium, varies depending on refractive index. Group velocity is important for the investigation of the propagation of HF radio waves in the ionosphere. The vertically propagated HF radio waves in the ionosphere are weakened due to collision of the electrons with other neutral and charged particles. The refractive index of HF waves affected by collisions is greater than the refractive index at which collisions are neglected. As a result of this, the group velocities and reflection heights of the waves in different frequencies and modes vary in the ionosphere. In this study, it is assumed that the vertically propagated HF waves enter the ionosphere at an altitude of 80 km with speed of light and group velocities (V_g) were calculated for 3, 4, 5, 6 and 7 MHz frequencies and ordinary, extraordinary, right-hand, and left-hand waves. The variations are calculated based on the solstice and equinox times where the collisions are neglected or not.

According to the results, it was found that group velocities increase depending on the frequency and high frequency waves reach higher heights than low frequency waves. In addition, the refractive index of the medium changing by the collisions also affect the group velocities. As a result of this situation, it was calculated that the group velocities without collision were greater than collisional medium.

The group velocities of the waves vary according to their frequency and the conditions of the medium. The reasons for the variations are time, the conditions of the medium and the effects of the collisions.

Keywords: Ionosphere, HF Wave, Group Velocity

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1.1: Elektron yoğunluğunun gece ve gündüz tipik değişimi.....	1
Şekil 2.1. Uzayda tek bir noktadaki düzlem dalga.....	4
Şekil 5.1. Çarpışmasız ortamda ordinari dalganın mart ayı ekinoksu grup hızlarının yükseklikle değişimi	19
Şekil 5.2. Çarpışmasız ortamda ordinari dalganın eylül ayı ekinoksu grup hızlarının yükseklikle değişimi	19
Şekil 5.3. Çarpışmasız ortamda ordinari dalganın haziran ayı gündönümü grup hızlarının yükseklikle değişimi	21
Şekil 5.4. Çarpışmasız ortamda ordinari dalganın aralık ayı gündönümü grup hızlarının yükseklikle değişimi	21
Şekil 5.5. Çarpışmasız ortamda extraordinary dalganın mart ayı ekinoksu grup hızlarının yükseklikle değişimi	22
Şekil 5.6. Çarpışmasız ortamda extraordinary dalganın eylül ayı ekinoksu grup hızlarının yükseklikle değişimi	22
Şekil 5.7. Çarpışmasız ortamda extraordinary dalganın haziran ayı gündönümü grup hızlarının yükseklikle değişimi.....	23
Şekil 5.8. Çarpışmasız ortamda extraordinary dalganın aralık ayı gündönümü grup hızlarının yükseklikle değişimi	23
Şekil 5.9. Çarpışmasız ortamda sağa kutuplu dalganın mart ayı ekinoksu grup hızlarının yükseklikle değişimi	24
Şekil 5.10. Çarpışmasız ortamda sağa kutuplu dalganın eylül ayı ekinoksu grup hızlarının yükseklikle değişimi	24
Şekil 5.11. Çarpışmasız ortamda sağa kutuplu dalganın haziran ayı gündönümü grup hızlarının yükseklikle değişimi.....	25
Şekil 5.12. Çarpışmasız ortamda sağa kutuplu dalganın aralık ayı gündönümü grup hızlarının yükseklikle değişimi	25
Şekil 5.13. Çarpışmasız ortamda sola kutuplu dalganın mart ayı ekinoksu grup hızlarının yükseklikle değişimi	26

Şekil 5.14. Çarpışmasız ortamda sola kutuplu dalganın eylül ayı ekinoksu grup hızlarının yükseklikle değişimi	27
Şekil 5.15. Çarpışmasız ortamda sola kutuplu dalganın haziran ayı gündönümü grup hızlarının yükseklikle değişimi.....	27
Şekil 5.16. Çarpışmasız ortamda sola kutuplu dalganın aralık ayı gündönümü grup hızlarının yükseklikle değişimi	28
Şekil 5.17. Çarpışmalı ortamda ordinari dalganın mart ayı ekinoksu grup hızlarının yükseklikle değişimi	29
Şekil 5.18. Çarpışmalı ortamda ordinari dalganın eylül ayı ekinoksu grup hızlarının yükseklikle değişimi	29
Şekil 5.19. Çarpışmalı ortamda ordinari dalganın haziran ayı gündönümü grup hızlarının yükseklikle değişimi	30
Şekil 5.20. Çarpışmalı ortamda ordinari dalganın aralık ayı gündönümü grup hızlarının yükseklikle değişimi	31
Şekil 5.21. Çarpışmalı ortamda extraordinary dalganın mart ayı ekinoksu grup hızlarının yükseklikle değişimi	31
Şekil 5.22. Çarpışmalı ortamda extraordinary dalganın eylül ayı ekinoksu grup hızlarının yükseklikle değişimi	32
Şekil 5.23. Çarpışmalı ortamda extraordinary dalganın haziran ayı gündönümü grup hızlarının yükseklikle değişimi.....	32
Şekil 5.24. Çarpışmalı ortamda extraordinary dalganın aralık ayı gündönümü grup hızlarının yükseklikle değişimi	33
Şekil 5.25. Çarpışmalı ortamda sağa kutuplu dalganın mart ayı ekinoksu grup hızlarının yükseklikle değişimi	34
Şekil 5.26. Çarpışmalı ortamda sağa kutuplu dalganın eylül ayı ekinoksu grup hızlarının yükseklikle değişimi	34
Şekil 5.27. Çarpışmalı ortamda sağa kutuplu dalganın haziran ayı gündönümü grup hızlarının yükseklikle değişimi.....	35
Şekil 5.28. Çarpışmalı ortamda sağa kutuplu dalganın aralık ayı gündönümü grup hızlarının yükseklikle değişimi	35
Şekil 5.29. Çarpışmalı ortamda sola kutuplu dalganın mart ayı ekinoksu grup hızlarının yükseklikle değişimi	36

Şekil 5.30. Çarpışmalı ortamda sola kutuplu dalganın eylül ayı ekinoksu grup hızlarının yükseklikle değişimi	36
Şekil 5.31. Çarpışmalı ortamda sola kutuplu dalganın haziran ayı gündönümü grup hızlarının yükseklikle değişimi	37
Şekil 5.32. Çarpışmalı ortamda sola kutuplu dalganın aralık ayı gündönümü grup hızlarının yükseklikle değişimi	38



SEMBOLLER LİSTESİ

H+	: Hidrojen iyonu
He+	: Helyum iyonu
O+	: Oksijen iyonu
N+	: Azot iyonu
NO+	: Azot monoksit bileşiği
m_e	: Elektronun kütlesi
V_e	: Elektronun hızı
q_e	: Elektronun yükü
E	: Elektrik alanın ortamın
B	: Manyetik alan
B_0	: Yer'in manyetik alanı
ν_e	: Elektron çarpışma frekansı
ω	: Dalganın frekansı
ω_{ce}	: Elektronun dönme (siklotron) frekansı
ϵ_0	:Serbest uzayın dielektrik katsayısı
ω_{pe}	: Elektron için plazma titreşim frekansı
σ	:İletkenlik tensörü
n	:Ortamın kırılma indisi
J	: Akım yoğunluğu
I	: Birim tensördür
k	:Dalga vektörü
μ_g	:Kırılma indeksinin reel kısmı

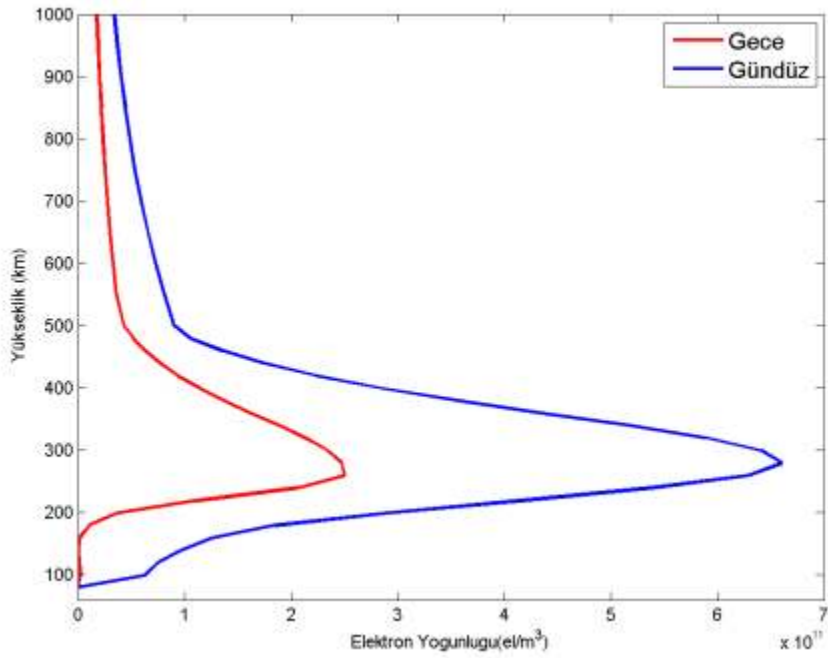
KISALTMALAR

MHz	: Megahertz
HF	: Yüksek frekans
MSISE	: Kütle spektrometresi bağımsız dağılım modeli



1. GİRİŞ

İyonküre, pozitif iyonlar, serbest yükseklikleri arasında yer alan elektronlar ve nötr oluşan yer atmosferinin yaklaşık ile 50. 1000 km iletken bir bölgesidir. Bu bölgede, radyo dalgalarının yayılımı, uydular ile yer istasyonlarının haberleşmesinde büyük öneme sahiptir [1,2]. İyon küre, Güneş'in ışıınımı ile iyonküredeki atom ve molekülleri iyonlaştırması sonucu pozitif yüklü iyonların ve serbest elektronların oluşması ile meydana gelir. İyonlaşmanın artması ve azalması gece ve gündüze bağlıdır. İyonkürenin fiziksel olarak yapısındaki değişimi gösteren parametreler, gece ve gündüze, yıl içindeki mevsimlere ve 11 yıllık Güneş çevrimine bağlı olarak değişim göstermektedir. Şekil 1.1'de gösterilen grafikte Kuzey yarımkürenin orta enlem bölgesinde iyonkürenin serbest elektron yoğunluğunun gece ve gündüz değerlerinin değişimini göstermektedir [3].



Şekil 1.1: Elektron yoğunluğunun gece ve gündüz tipik değişimi

İyonküre D, E, F1 ve F2 gibi tabakalara ayrılmış olup içerdikleri atom ve moleküllerin yoğunlukları yükseklikle değiştiği için bu katmanlardaki iyonlaştırma ve soğurma oranları da farklıdır. İyonküre tabakaları farklı oranlarda iyonlaşma ve yeniden birleşme süreçleri sonucunda meydana gelir [4]. İyonküre, D (~30–85 km), E (~85–160 km), F (~160 km ve yukarısı) olmak üzere genellikle üç ana bölgeye ayrılır.

İyonkürenin elektron yoğunluğu bakımından en zengin bölgesi F bölgesi, en fakir bölgesi ise D bölgesidir. D bölgesinin elektron üretimindeki en önemli kaynağı X ve mor ötesi ışınımlarıdır. Elektron üretimi Güneşin doğuşundan itibaren iyonkürede artmaya başlamaktadır. Güneşin ışınları ve Kozmik ışınlar ($>10^{19}\text{eV}$) yüksek enerjili olduğundan dolayı atmosferde emilmeden D bölgesine kadar ulaşır ve bu iyonkürenin alt kısmında iyonlaşmaya neden olur. Bu bölgede temel iyonlar O_2^+ , N_2^+ ve NO^+ 'dır [5].

E bölgesinde maksimum seviyede NO^+ , O_2^+ iyonları ve minimum düzeyde O^+ ve N_2^+ iyonları bulunmaktadır. Yüklü parçacık miktarları gündüzleri yaklaşık olarak $10^5/\text{cm}^3$ değerinde olurken geceleri ise $\sim 10^3/\text{cm}^3$ değerinde olmaktadır [4,5].

F bölgesi, F1 ve F2 bölgesi olarak ikiye ayrılır. F1 bölgesi iyonlaşmanın maksimum olduğu, F2 bölgesi ise elektron yoğunluğunun maksimum olduğu bölgedir. Bu bölgede Güneş ışınımları ~160–180 km yükseklik aralığında emilerek, O_2^+ , N_2^+ , O^+ , He^+ , N^+ iyonları oluşur. F1 bölgesinde NO^+ ve O_2^+ iyonları maksimum seviyede bulunurken, ikinci seviyede ise O^+ ve N^+ iyonlarına rastlanmaktadır. F2 bölgesinde ise O^+ , H^+ , He^+ ve N^+ iyonları bulunmaktadır. F2 bölgesinde baskın iyon O^+ iyonudur. H^+ ve He^+ iyonları üst yüksekliklerde baskındır.[1,6,7].

Yüksek frekans (HF) bandı 3–30 MHz frekans aralığını kapsar ve iyonküreden yansıtılabilecek en yüksek frekans bandıdır. Ayrıca, HF bandındaki radyo dalgaları iyonküreden yansıtılıp dalganın yayılımını ve yansımalarını etkileyen faktörler incelenerek iyonkürenin özellikleri araştırılır [9]. Vericiden gönderildikten sonra iyonküreden yansıtılıp alıcıya ulaşana kadar HF dalgası bu bölgede birçok fiziksel etkiye maruz kalır.

Bunlardan en önemlisi emilimdir. HF radyo dalgası iyonküreden geçerken enerjisinin bir kısmını zayıf bir şekilde iyonlaşmış plazma içindeki nötr bileşenler ile serbest halde bulunan elektron ve iyonlara aktarır. Aktarılan bu enerji serbest haldeki elektron ve iyonların ortalama kinetik enerjilerini artırır. Enerjisi artan elektron ve iyonlar düşük enerjili nötr parçacıklar ile çarpışmazlar ise, radyo dalgasının kaybettiği enerjinin büyük bir kısmı elektromanyetik enerjiye dönüşür ve dalganın yoğunluğu çok fazla değişmeden yayılmaya

devam eder. Fakat elektron ve iyonlar nötr parçacıklar ile çarpışırlarsa, bu enerjinin büyük bir kısmı kaybedilir ve dalganın enerjisi emilmiş olur [10-12].

Grup hızı genellikle enerjinin veya bilginin bir dalga tarafından taşındığı hız olarak düşünülür. Birçok durumda bu doğrudur ve grup hızı aynı zamanda dalga sinyali hızı olarak da nitelendirilebilir. Ancak, eğer dalga emici bir ortamda hareket ediyorsa, bu bilgi her zaman doğru olmaz. 1980'lerden beri yapılan birçok araştırma ve deney gösterdi ki özel olarak hazırlanmış materyallerle gönderilen lazer ışığının grup hızı, hava boşluğunda ışık hızını geçebilir. Ancak bu durumda, ışık hızından daha hızlı bir iletişim mümkün değildir çünkü sinyal hızı ışık hızından her şekilde daha yavaş kalır. Akımı durdurarak ya da negatif grup hızı oluşturarak, grup hızını sıfıra düşürmek de mümkündür. Ancak tüm durumlarda, fotonlar ortamda beklenen ışık hızında yayılmaya devam eder [13].

Bu çalışmada, iyonkürede dikey olarak yayılan elektromanyetik dalganın farklı modları için grup hızı denklemleri teorik olarak çözümlenmiş ve 2015 yılı ekinoks ve gündönümü günleri (21 Mart-21 Haziran-23 Eylül-21 Aralık), yerel zaman 12:00 ve 3,4,5,6 ve 7 MHz frekanslarında dalgaların grup hızı değerleri hesaplanmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

2. FAZ VE GRUP HIZI

Lineer iletken bir ortamda Maxwell denklemleri aşağıdaki gibidir[1]:

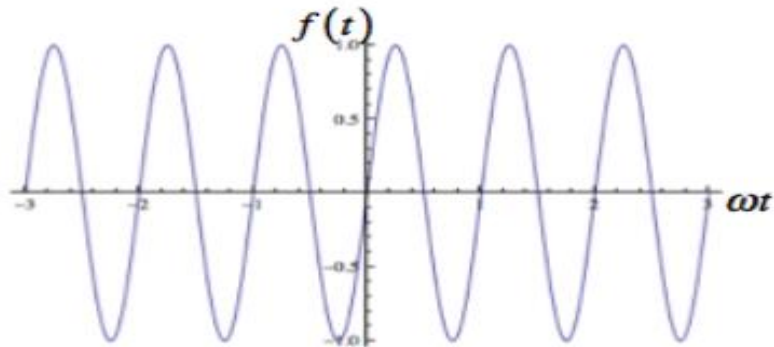
$$\begin{aligned}\vec{\nabla} \cdot \vec{E} &= \frac{\rho}{\epsilon} & \vec{\nabla} \cdot \vec{B} &= 0 \\ \vec{\nabla} \times \vec{E} &= -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} & \vec{\nabla} \times \vec{B} &= \mu\sigma\vec{E} + \mu\epsilon\frac{\partial \vec{E}}{\partial t}\end{aligned}\quad (2.1)$$

Elektromanyetik bir ortamda +z yönünde yayılan düzlem dalga denklemi genel bir ifadeyle aşağıdaki formdadır[28]

$$f(t) = A \exp[i(\vec{k} \cdot \vec{z} - \omega t)] \quad (2.2)$$

Burada A dalganın genliği ve üstel kısmı da dalganın fazıdır.

Bu formdaki bir düzlem dalga uzayda tüm noktalarda bulunabilir. Ayrıca, tüm zaman aralığında da var olur. Uzaydaki tek bir noktaya bakıldığında dalga fonksiyonu $f(t) = A \exp(-i\omega t)$ şeklinde olup Şekil 2.1'deki gibi görünecektir.



Şekil 2.1. Uzayda tek bir noktadaki düzlem dalga

Dalga hızının frekansa bağımlı olduğu ortamlara da *dağıtkan ortam* denir. Dağıtkan bir ortamda farklı frekanstaki dalgalar farklı hızlarda ilerlediğinden değişik frekanslardan oluşan bir dalga paketi ilerledikçe şekli değişecektir. $\vec{k}$ dalga vektörü ve ω frekansı ile salınım yapan dalga'nın faz hızı aşağıdaki denklemle ifade edilir.

$$\vec{V}_f = \frac{\omega}{\vec{k}} \quad (2.3)$$

İletken bir ortam olan iyonkürde Maxwell denklemleri çözüldüğünde dalga vektörünün kompleks olduğu görülür:

$$k^2 = \mu\epsilon\omega^2 + i\mu\sigma\omega \quad (2.4)$$

Bu ifadenin karekökü alınır ve kompleks dalga sayısının reel ve sanal kısımları ayrı yazılır ve çözülürse

$$k = k_+ + ik_- \quad k_{\pm} = w \sqrt{\frac{\epsilon\mu}{2}} \left[\sqrt{1 + \left(\frac{\sigma}{\epsilon w}\right)^2} \pm 1 \right]^{1/2} \quad (2.5)$$

sonucu elde edilir. Dalga sayısının k_- sanal kısmı, sönümlü bir dalga olduğunu gösterir.

Dalga paketinin bir bütün olarak ilerleme hızına (sinyal hızına) grup hızı denir ve aşağıdaki ifade ile verilir.

$$\vec{V}_g = \frac{d\omega}{d\vec{k}} \quad (2.6)$$

Dalga bir bütün halinde $\vec{V}_g$ hızıyla yayılır. Dağıtılan ortamda bir dalganın taşıdığı enerji grup hızıyla ilerler. Bir dalganın grup hızı, dalga şiddetinin genel şekli (dalga modülasyonu) ile boşlukta yayılan hızıdır. Bazı durumlarda $\vec{V}_f$ faz hızı c ışık hızından daha büyük çıkabilir. Faz hızı ışık hızından büyük olsa bile, bilginin ilerleme hızı yani grup hızı ışık hızından daha küçüktür.

İyonkürede dikey yayılan HF radyo dalgaları, elektronlar ve iyonların hareketleri diğer parçacıklarla yaptıkları çarpışmalar yoluyla sönmüldüğünden, bir miktar zayıflamaya uğrar.

Grup kırılma indeksi (n_g) kavramına bağlı olarak tanımladığımız Grup Hızı (V_g) kavramı HF dalgaların iyonküre içerisinde yayılımının incelenmesi için önemlidir. Grup kırılma indeksi aşağıda ifade edildiği gibi reel ve sanal kısımlardan oluşmaktadır.

$$n^2 = (\mu + i\chi)^2 = M + iN \quad (2.7)$$

Buna göre Grup hızının grup kırılma indeksine bağlı ifadesi aşağıdaki gibi olacaktır.

$$V_g = \frac{c}{\mu_g} \quad (2.8)$$

Bu tez çalışmasında iyonkürede dikey olarak yayılan HF dalgaların üzerine elektron çarpışmalarının etkisi ile çarpışmasız durum arasındaki fark yansıma noktaları civarında gerçek yer manyetik alan geometrisi kullanılarak incelenmiştir[29]. HF dalgalarının grup hızına elektronların iyonlarla ve nötr bileşenlerle yaptıkları çarpışmaların etkisi dikkate alınırken iyonların etkisi, elektronların etkisi yanında ihmal edilmiştir. İyonların etkisi göz ardı edildiğinde elektrona etkiyen kuvvet;

$$m \frac{d\vec{V}}{dt} = -e[\vec{E} + \vec{V} \times \vec{B}] - m\vartheta \vec{V} \quad (2.9)$$

şeklindedir.

Burada m ve V sırasıyla elektronun kütlesini ve hızını ifade etmektedir. Bu genel ifade kullanılarak elde edilen iletkenlik tensörü ve Maxwell denklemleri kullanılarak elde edilen dağıtıklık bağıntılarından kutuplanmış, ordinari ve extraordinary dalgalar için kırılma indisinin reel kısmının (μ_g) ifadeleri elde edilmiştir. Kırılma indisi ifadesi kullanılarak grup kırılma indisinin reel kısmı;

$$\mu_g = \frac{c}{v_g} = \mu + \omega \frac{d\mu}{d\omega} \quad (2.10)$$

şeklinde elde edilir. Buradan grup hızı ifadesi;

$$V_g = \frac{c}{\mu + \omega \frac{d\mu}{d\omega}} \quad (2.11)$$

elde edilir. Bu denklem kullanılarak HF dalgalar için grup hızlarını hesaplamak mümkün olacaktır. Farklı modlardaki HF dalgaları için grup hızlarına ait denklemler 3. bölümde çıkartılmıştır.

3. DİKEY YAYILAN ELEKTROMANYETİK DALGANIN GRUP HIZI

Bir elektromanyetik alan içindeki elektron için hareket denklemi aşağıdaki şekildedir.

$$m_e \frac{d\vec{V}_e}{dt} = q_e (\vec{E} + \vec{V}_e \times (\vec{B}_0 + \vec{B})) - m_e v_e \vec{V}_e \quad (3.1)$$

Bu ifadedeki m_e elektronun kütlesi, V_e elektronun hızı, q_e elektronun yükü, $\vec{E}$ ve $\vec{B}$ iyon küre plazmasına gönderilen elektro manyetik dalganın elektrik ve manyetik alanları, $\vec{B}_0$ Yer'in manyetik alanı ve v_e ise elektron çarpışma frekansıdır. Yüksek frekanslı dalgalar çalışıldığından dalganın $\vec{B}$ manyetik alanı $\vec{V}_e \times \vec{B}_0$ teriminin yanında ihmal edilebilir [36]. Hız, elektrik ve manyetik alanın zamanla ($e^{-i\omega t}$) gibi üstel formda değiştiği ve $q_e = -e$ olduğu gözönüne alınırsa (3.1) denklemi,

$$i\omega \vec{V}_e = \frac{e}{m_e} (\vec{E} + \vec{V}_e \times \vec{B}_0) + v_e \vec{V}_e \quad (3.2)$$

olarak yazılır. Seçilen kartezyen koordinat sisteminde x-ekseni coğrafik doğuyu y-ekseni coğrafik kuzeyi ve z-ekseni ise düşey doğrultuda yukarı yönü gösterebilir. Buna göre dalganın elektrik alanı $\vec{E} = E_x \hat{x} + E_y \hat{y} + E_z \hat{z}$ ve elektron hızı $\vec{V}_e = V_{ex} \hat{x} + V_{ey} \hat{y} + V_{ez} \hat{z}$ olur. Yer'in manyetik alanının $B_0 = B_0 \hat{z}$ olduğu kabul edilirse, (3.2) denklemindeki $\vec{V}_e \times \vec{B}_0$ terimi,

$$\vec{V}_e \times \vec{B}_0 = \begin{bmatrix} \hat{x} & \hat{y} & \hat{z} \\ V_{ex} & V_{ey} & V_{ez} \\ 0 & 0 & B_0 \end{bmatrix} = \hat{x} V_{ey} B_0 - \hat{y} V_{ex} B_0 \quad (3.3)$$

Şeklinde yazılır. $\vec{V}_e \times \vec{B}_0$ ifadesinin bu değeri (3.2) denkleminde yerine yazılarak elektronun hız bileşenleri, (3.3) denkleminde ise $\vec{J} (= -e N_e \vec{V}_e)$ yazılarak akım yoğunluğu bileşenleri cinsinden aşağıdaki gibi elde edilir [16].

$$J_x = - \frac{\epsilon_0 \omega_{pe}^2 (v_e - i\omega)}{[\omega_{ce}^2 + (v_e - i\omega)^2]} E_x - \frac{\epsilon_0 \omega_{pe}^2 \omega_{ce}}{[\omega_{ce}^2 + (v_e - i\omega)^2]} E_y \quad (3.4)$$

$$J_y = - \frac{\epsilon_0 \omega_{pe}^2 \omega_{ce}}{[\omega_{ce}^2 + (v_e - i\omega)^2]} E_x - \frac{\epsilon_0 \omega_{pe}^2 (v_e - i\omega)}{[\omega_{ce}^2 + (v_e - i\omega)^2]} E_y \quad (3.5)$$

$$J_z = - \frac{\epsilon_0 \omega_{pe}^2}{(v_e - i\omega)} E_z \quad (3.6)$$

Bu ifadelerdeki ω dalganın frekansı, $\omega_{ce} \left(= \frac{eB_0}{m_e} \right)$ ise elektronun dönme (siklotron) frekansı, ϵ_0 serbest uzayın dielektrik katsayısı ve $\omega_{pe}^2 = \left(\frac{e^2 N_e}{m_e \epsilon_0} \right)$ ise elektron için plazma titreşim frekansıdır. ω_{pe} ortamın elektron yoğunluğuna bağlıdır. Genelleştirilmiş Ohm kanunu gözönüne alınarak bu ifadeler,

$$\begin{bmatrix} J_x \\ J_y \\ J_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sigma_1 & \sigma_2 & 0 \\ -\sigma_2 & \sigma_1 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} E_x \\ E_y \\ E_z \end{bmatrix} \quad (3.7)$$

Şeklinde yazılır. Buradaki σ iletkenlik tensörü içerisindeki

$$\sigma_0 = \frac{\epsilon_0 \omega_{pe}^2}{(v_e - i\omega)}, \quad \sigma_1 = \frac{\epsilon_0 \omega_{pe}^2 (v_e - i\omega)}{[\omega_{ce}^2 + (v_e - i\omega)^2]} \text{ ve } \sigma_2 = \frac{\epsilon_0 \omega_{pe}^2 \omega_{ce}}{[\omega_{ce}^2 + (v_e - i\omega)^2]} \text{ dir.}$$

3.1. Dalganın Kırılma İndisi

Elektromanyetik dalganın herhangi bir ortamdaki davranışını belirleyen temel nicelik ortamın kırılma indisi n dir. Ortamın kırılma indisi elektromanyetik dalganın davranışını belirleyen Maxwell denklemleri kullanılarak ifade edilen dalganın ayrılım bağıntısından elde edilecektir. Maxwell denklemleri,

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = - \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (3.8)$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0 \vec{J} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \quad (3.9)$$

(3.8) denkleminin rotasyoneli alınıp iletkenlik tensörü ifadesine bağlı $\vec{J}$ akım yoğunluğunun değeri (3.9) denkleminde yerine yazılırsa,

$$\vec{\nabla} \times \vec{\nabla} \times \vec{E} = \mu_0 \epsilon_0 \omega^2 \left[\mathbf{I} + \frac{i\sigma}{\epsilon_0 \omega} \right] \cdot \vec{E} \quad (3.10)$$

ifadesi elde edilir. Burada $\mathbf{I}$ birim tensördür. Elektrik alan $e^{i(\vec{k} \cdot \vec{r} - \omega t)}$ şeklinde değiştiğinden $\vec{\nabla} = i\vec{k}$ olarak alınabilir. Bu durumda 3.10 denklemindeki eşitliğin sol tarafı,

$$\vec{\nabla} \times \vec{\nabla} \times \vec{E} = k^2 \vec{E} - \vec{k}(\vec{k} \cdot \vec{E}) \quad (3.11)$$

olarak ifade edilir. Bu ifadedeki $\vec{k}$ dalga vektörü, $\vec{n}$ kırılma indisi cinsinden $\vec{k} = \frac{\omega}{c} \vec{n}$ tanımlanarak 3.10 denklemini yeniden düzenlenirse kırılma indisi cinsinden aşağıdaki gibi olur[17,18].

$$n^2 \vec{E} - \vec{n}(\vec{n} \cdot \vec{E}) = \left[\mathbf{I} + \frac{i\sigma}{\epsilon_0 \omega} \right] \cdot \vec{E} \quad (3.12)$$

Bu ifade elektromanyetik dalganın ayrılım bağlantısı olarak bilinir. Bu ifade düzenlenerek ve eşitliğin her iki tarafını matris formunda yazarak gerekli işlemler yapılırsa, aşağıda ki denklem elde edilir.

$$\begin{bmatrix} n^2 \cos^2 \theta - S & iD & -n^2 \sin \theta \cos \theta \\ -iD & n^2 - S & 0 \\ -n^2 \sin \theta \cos \theta & 0 & n^2 \sin^2 \theta - P \end{bmatrix} \quad (3.13)$$

Bu ifadedeki

$$P = 1 - \frac{\omega_{pe}^2}{\omega(\omega + i\vartheta_e)}, \quad S = 1 - \frac{\omega_{pe}^2 (\omega + i\vartheta_e)}{\omega[(\omega + i\vartheta)^2 - \omega_{ce}^2]} \text{ ve } D = -\frac{\omega_{pe}^2 \omega c}{\omega[(\omega + i\vartheta_e)^2 - \omega_{ce}^2]} \text{ dir.}$$

3.2. Dalganın Grup Hızı

Yukarıdaki (3.13) denkleminde $\theta = 0$ alınıp çözüm yapılırsa kutuplanmış dalgalar için kırılma indisi elde edilir. Kutuplanmış dalgalar sağa ve sola olmak üzere ikiye ayrılır. Bu durumda kırılma indisinin reel ve sanal kısma ayrılmış hali aşağıdaki gibidir [17].

$$n_R^2 = 1 - \frac{X(1-Y)}{[(1-Y)^2 + Z^2]} + iZ \frac{X}{[(1-Y)^2 + Z^2]} \quad (3.14)$$

$$n_L^2 = 1 - \frac{X(1+Y)}{[(1+Y)^2 + Z^2]} + iZ \frac{X}{[(1+Y)^2 + Z^2]} \quad (3.15)$$

Burada $X = \frac{\omega_{pe}^2}{\omega^2}$, $Y = \frac{\omega_{ce}}{\omega}$ ve $Z = \frac{\vartheta}{\omega}$ dir.

HF dalgası z -doğrultusunda ilerlemesine rağmen jeomanyetik alanın geometrisinden dolayı y -(veya x) doğrultusunda yayılan dalgalar da vardır. (3.13) denkleminde $\theta = \frac{\pi}{2}$ alınırsa bu dalgalar elde edilir. Bunlar ise ordinari (O-wave) ve ekstraordinari (X-wave) dalgalarıdır. Bu farklı modların kırılma indisleri aşağıdaki gibi elde edilir.

$$n_o^2 = 1 - \frac{X}{[1+Z^2]} + iZ \frac{X}{[1+Z^2]} \quad (3.16)$$

$$n_x^2 = 1 - \frac{X[(1-X)(1-X-Y^2)+Z^2]}{[1-X-Y^2-Z^2]^2 + Z^2(2-X)^2} + iZ \frac{X[(1-X)^2 + Y^2 + Z^2]}{[1-X-Y^2-Z^2]^2 + Z^2(2-X)^2} \quad (3.17)$$

Bu denklemler kırılma indisi ifadelerinin kompleks olduğunu göstermektedir. Aşağıdaki eşitlik kullanılarak kırılma indisi reel ve sanal kısımlarına ayrılabilir.

$$n^2 = (\mu + i\chi)^2 = M + iN \quad (3.18)$$

Kırılma indisinin sanal kısmı dalganın sönümünü tanımlar [17-19].

$$\mu^2 = \frac{1}{2} \left[(M^2 + N^2)^{\frac{1}{2}} + M \right] \quad (3.19)$$

V_g dalga grubunun hızı olmak üzere aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$V_g = \frac{c}{\mu + \omega \frac{d\mu}{d\omega}} \quad (3.20)$$

Farklı her dalga modu için çarpışmalı ve çarpışmasız durum için grup hızı ifadeleri matematiksel olarak elde edilmiştir.

3.2.1. Çarpışmasız Durum için Grup Hızları ($\vartheta = 0$)

Çarpışmaların gözardı edildiği yani çarpışma frekansının ($\vartheta = 0$) sıfır alındığı durumda farklı modlardaki dalgaların grup hızları;

Sağa kutuplanmış dalga için grup hızı denklemi;

$$n_R^2 = 1 - \frac{X}{(1-Y)} = M \text{ ve } \mu = \sqrt{M} \text{ olmak üzere;}$$

$$V_{gR} = \frac{c}{\sqrt{M} + \frac{X(2-Y)}{2(1-Y)^2\sqrt{M}}} \quad (3.21)$$

Sola kutuplanmış dalga için grup hızı denklemi;

$$n_L^2 = 1 - \frac{X}{(1+Y)} = M \text{ ve } \mu = \sqrt{M} \text{ olmak üzere;}$$

$$V_{gL} = \frac{c}{\sqrt{M} + \frac{X(2+Y)}{2(1+Y)^2\sqrt{M}}} \quad (3.22)$$

Ordinari dalga için grup hızı denklemi;

$$n_0^2 = 1 - X = M \text{ ve } \mu = \sqrt{M} \text{ olmak üzere;}$$

$$V_{g0} = \frac{c}{\sqrt{M} + \frac{X}{\sqrt{M}}} \quad (3.23)$$

Extraordinari dalga için grup hızı denklemi;

$$n_x^2 = 1 - \frac{X(1-X)}{(1-X-Y^2)} = M \quad \text{ve} \quad \mu = \sqrt{M} \text{ olmak üzere;}$$

$$V_{gE} = \frac{c}{\sqrt{M} + \frac{X[X^2 + X(Y-2) + 1]}{(X+Y^2-1)^2 \sqrt{M}}} \quad (3.24)$$

Denklemleri ile ifade edilir.

3.2.2. Çarpışmalı Durum için Grup Hızları ($\vartheta \neq 0$)

Çarpışmaların hesaplamalara dahil edildiği yani çarpışma frekansının ($\vartheta \neq 0$) sıfır olmadığı durumda farklı modlardaki dalgaların grup hızları;

$$\mu = \left(\frac{1}{2} \left[(M^2 + N^2)^{\frac{1}{2}} + M \right] \right)^{1/2} \text{ olmak üzere aşağıdaki gibidir.}$$

$$V_g = \frac{c}{\left[\frac{1}{\sqrt{2}} \frac{1}{2} \left[\frac{\left(\frac{dM^2}{d\omega} + \frac{dN^2}{d\omega} \right)}{(M^2 + N^2)^{1/2}} + \frac{dM}{d\omega} \right] \right]} \quad (3.25)$$

Yukarıdaki denklem çarpışmalı durum için grup hızının genel denklem olup,

$$\frac{dM^2}{d\omega} = 2M \frac{dM}{d\omega} \text{ ve } \frac{dN^2}{d\omega} = 2N \frac{dN}{d\omega} \text{ olur. Bu ifadeler kullanılarak farklı modlar için aşağıdaki ifadeler elde edilir.}$$

$$\frac{dM_R}{d\omega} = - \frac{\frac{X(3Y-2)[(1-Y)^2 + Z^2] + 2X(1-Y)[Y^2 - Y + Z^2]}{\omega}}{[(1-Y)^2 + Z^2]^2} \quad (3.26)$$

$$\frac{dN_R}{d\omega} = \frac{\frac{-3XZ[(1-Y)^2 + Z^2] + 2XZ[Y^2 - Y + Z^2]}{\omega}}{[(1-Y)^2 + Z^2]^2} \quad (3.27)$$

$$\frac{dM_L}{d\omega} = - \frac{\frac{-X(3Y+2)[(1+Y)^2+Z^2]+2X(1+Y)[Y^2+Y+Z^2]}{\omega}}{[(1+Y)^2+Z^2]^2} \quad (3.28)$$

$$\frac{dN_R}{d\omega} = \frac{\frac{-3XZ[(1+Y)^2+Z^2]+2XZ[Y^2+Y+Z^2]}{\omega}}{[(1+Y)^2+Z^2]^2} \quad (3.29)$$

$$\frac{dM_O}{d\omega} = 2 \left(1 - \frac{X}{1+Z^2} \right) \frac{2X}{\omega[1+Z^2]^2} \quad (3.30)$$

$$\frac{dN_O}{d\omega} = -2 \left(\frac{ZX}{1+Z^2} \right) \frac{2ZX(3+Z^2)}{\omega[1+Z^2]^2} \quad (3.31)$$

$$\frac{dM_E}{d\omega} = \frac{-\frac{dM_{Epay}}{d\omega}M_{Epayda} - \frac{dM_{Epayda}}{d\omega}M_{Epay}}{[M_{Epayda}]^2} \quad (3.32)$$

$$\frac{dN_E}{d\omega} = \frac{\frac{dN_{Epay}}{d\omega}N_{Epayda} - \frac{dN_{Epayda}}{d\omega}N_{Epay}}{[N_{Epayda}]^2} \quad (3.33)$$

Her farklı dalga modu için elde edilen ifadeler, çarpışmalı durum için verilen genel grup hızı denklemini denklem (3.25) te yazılarak grup hızları elde edilir.

4. MATERYAL VE METOD

Bu çalışmada, 2015 yılı ekinoks (21 Mart- 23 Eylül-) ve gündönümü günleri (21 Haziran-21 Aralık) ve yerel zaman 12:00 için 3,4,5,6 ve 7 MHz frekanslarında iyonküredeki grup hızı değerleri hesaplanmıştır. Yer Manyetik alanı $B_0 = 4 \times 10^{-5}$ T olarak alınmıştır. Bu hesaplamalar için ilk önce gerekli olan veriler IRI-2012 ve MSIS-E90 modelinden elde edilerek ekinoks ve gündönümü günleri için veri setleri oluşturulmuştur. Toplam çarpışma frekansları aşağıdaki denklemlerden hesaplanmıştır[38].

$$\begin{aligned} \nu_{en} = & 2.33 \times 10^{-17} [N_2] (1 - 1.21 \times 10^{-4} T_e) T_e \\ & + 1.8 \times 10^{-16} [O_2] (1 + 3.6 \times 10^{-2} \sqrt{T_e}) \sqrt{T_e} \\ & + 8.9 \times 10^{-16} [O] (1 + 5.7 \times 10^{-4} T_e) \sqrt{T_e} \end{aligned} \quad (4.1)$$

$$\nu_{ei} = N_e 10^{-6} \left[59 + 4.18 \log \left(\frac{T_e^3}{N_e} \right) \right] T_e^{-3/2} \quad (4.2)$$

$$\nu_e = \nu_{ei} + \nu_{en} \quad (4.3)$$

Bu veri setlerini kullanarak sırasıyla toplam çarpışma frekansı (denklem 4.3) ve dikey ilerleyen dalganın çarpışmalı ve çarpışmasız durum için grup hızları matlab da program yazılarak hesaplanmıştır. Veri setlerinin elde edildiği ve bu verileri kullanarak hesaplamaların yapıldığı programlara ait kısa açıklamalar da aşağıdaki başlıklarla verilmiştir.

4.1. Uluslararası İyonküre Referans Modeli (International Reference Ionosphere-IRI)

IRI modeli, 1969 yılından bu yana iyonkürenin karakteristiklerini belirlemek amacıyla Uzay Araştırma Komitesi (COSPAR) ve Uluslararası Radyo Bilimi Birliği (URSI) ortaklığında iyonküre ile ilgili iyonsonda verilerinin işlenmesiyle geliştirilen standart

modeldir [20]. IRI belirlenen zaman ve koordinat için iyonkürede yerel dik eksen doğrultusunda saatlik elektron yoğunluğu, iyon ve elektron sıcaklığı, iyon bileşenlerini (O^+ , H^+ , N^+ , He^+ , O_2^+ , NO^+) ve toplam elektron içeriğini 50 km ile 2.000 km aralığında 50 km çözünürlüğünde hesaplamaktadır [21]. IRI modeli programına sadece NASA'nın internet sitesi üzerinden çevrimiçi olarak erişilmektedir [22].

4.2. Kütle Spektrometresi Bağımsız Dağılım Modeli (Mass-Spectrometer-Incoherent-Scatter, MSISE-90)

MSISE modeli Dünya atmosferinde yeryüzünden termosferik yüksekliklere kadar olan bölgedeki nötr sıcaklık ve yoğunlukları tanımlar. 72.5 km altında model öncelikle MAP el kitabında tanımlanan bölgesel sıcaklık ortalama listelerine ve Barnett ve Corney tarafından aynı zamanda CIRA-86 içinde kullanılan basınç terimlerine dayanmaktadır [23].

20 km altındaki veriler Ulusal Meteoroloji Merkezi'nden alınan ortalamalar ile takviye edilmiştir. Buna ek olarak 1947 den 1972 ye kadar olan pitot tüpü, düşen küre viskozimetresi ve ses roket ölçümleri de dikkate alınmıştır. 72.5 km üzeri için ise MSISE-90 temel olarak MSIS-86 modelinin revize edilmiş hali olup veriler uzay mekiği uçuşlarından elde edilen yeni dağılımlardan elde edilmiştir. MSISE -90 modeli özel olarak troposferik çalışmalar için tasarlanmış bir model değil aynı zamanda birçok atmosferik sınır içinde kullanılan bir modeldir [24,25].

4.3. Matris Laboratuvarı (MATrixLABoratory, MATLAB)

MATLAB, temel olarak nümerik hesaplama, grafiksel veri gösterimi ve programlamayı içeren teknik ve bilimsel hesaplamalar için yazılmış yüksek performansa sahip bir yazılımdır. Matlab programının tipik kullanım alanları: Matematik ve hesaplama işlemleri / Algoritma geliştirme / Modelleme, simülasyon (benzetim) ve öntipleme / Veri analizi ve görsel efektlerle destekli gösterim / Bilimsel ve mühendislik grafikleri / Uygulama Geliştirme şeklinde özetlenebilir [26]

MATLAB, ilk olarak Fortran Linpack ve Eispack projeleriyle geliştirilen ve bu programlara daha etkin ve kolay erişim sağlamak amacıyla 1970'lerin sonlarında yazılmıştır. İlk başlarda bilim adamlarına problemlerin çözümüne matris temelli teknikleri kullanarak yardımcı olmaktaydı [27]. Bugün ise geliştirilen yerleşik kütüphanesi ve uygulama ve

programlama özellikleri ile gerek üniversite ortamlarında (başta matematik ve mühendislik olmak üzere tüm bilim dallarında) gerekse sanayi çevresinde yüksek verimli araştırma, geliştirme ve analiz aracı olarak yaygın bir kullanım alanı bulmuştur. Ayrıca sinyal işleme, kontrol, fuzzy, sinir ağları, wavelet analiz gibi bir çok alanda ortaya koyduğu Toolboxadı verilen yardımcı alt programlarla da özelleştirilmiş ve kolaylaştırılmış imkânlar sağlamış ve sağlamaya da devam etmektedir [27].



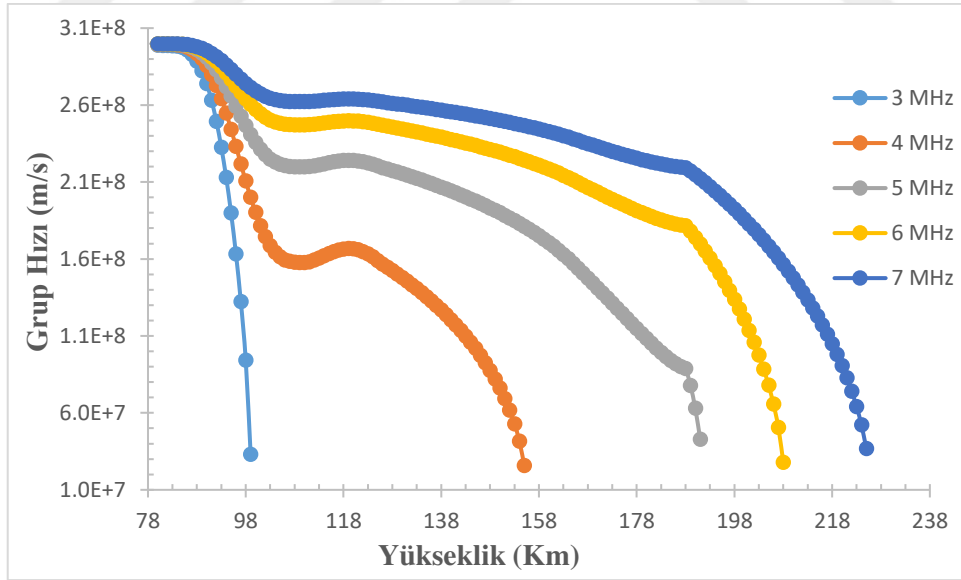
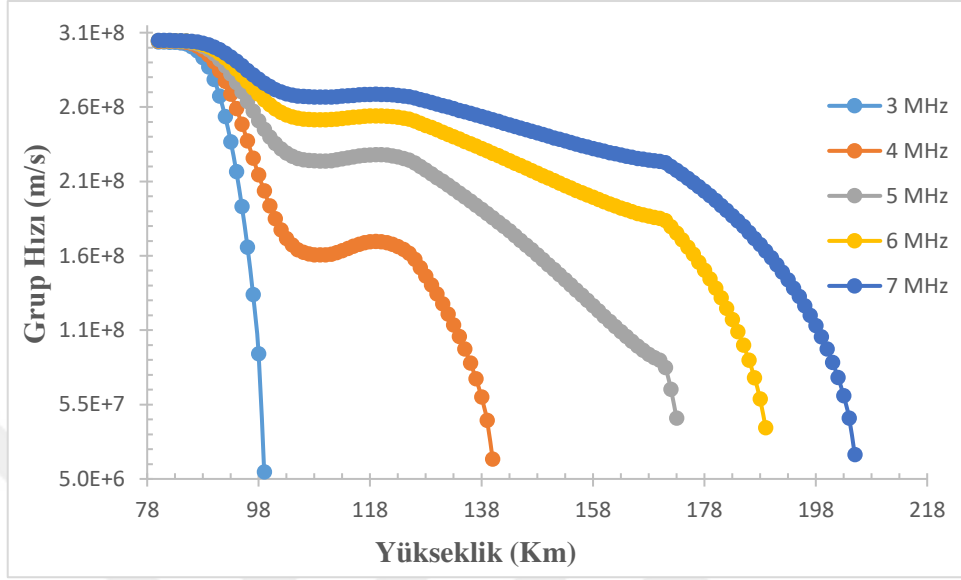
5. BULGULAR

İyonkürede dikey olarak yayılan elektromanyetik dalgaların ordinari, extraordinary, sağa kutuplu ve sola kutuplu modlarının grup hızları, 2015 yılı ekinoks ve gündönümü günleri (21 Mart-21 Haziran-23 Eylül-21 Aralık), yerel zaman 12:00 ve 3,4,5,6 ve 7 MHz frekansları için birer km. yükseklik aralıklarıyla hesaplanmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

5.1. Çarpışmasız Ortam

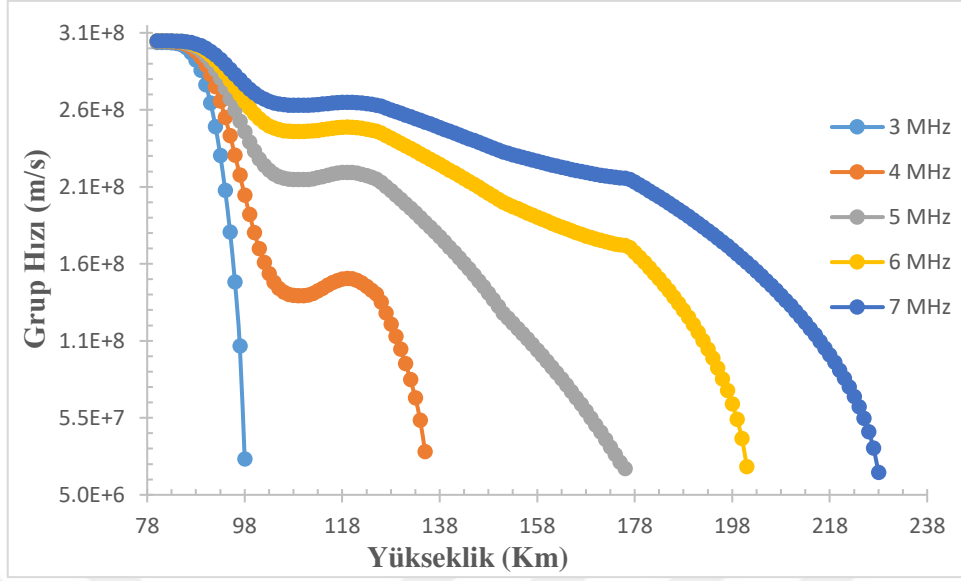
İyonkürede dikey olarak yayılan HF dalgaların grup hızları yayıldıkları ortamın özelliklerine bağlı olarak değişmektedir. Ortamın özellikleri kırılma indeksine bağlıdır. Kırılma indeksi ortamın elektron yoğunluğuna ve çarpışma frekanslarına bağlıdır. Bu kısımda elektronların ortamda bulunan nötr bileşenler ve yüklü parçacıklarla yaptıkları çarpışmalar ihmal edilerek hesaplamalar yapılmıştır. Çarpışmasız ortam için hesaplamalar 3.21, 3.22, 3.23 ve 3.24 denklemleri kullanılarak yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar ordinari, extraordinary, sağa kutuplu ve sola kutuplu dalgalar için farklı frekanslardaki karşılaştırmaları grafikleri çizilerek yapılmıştır.

5.1.1. Ordinari Dalga

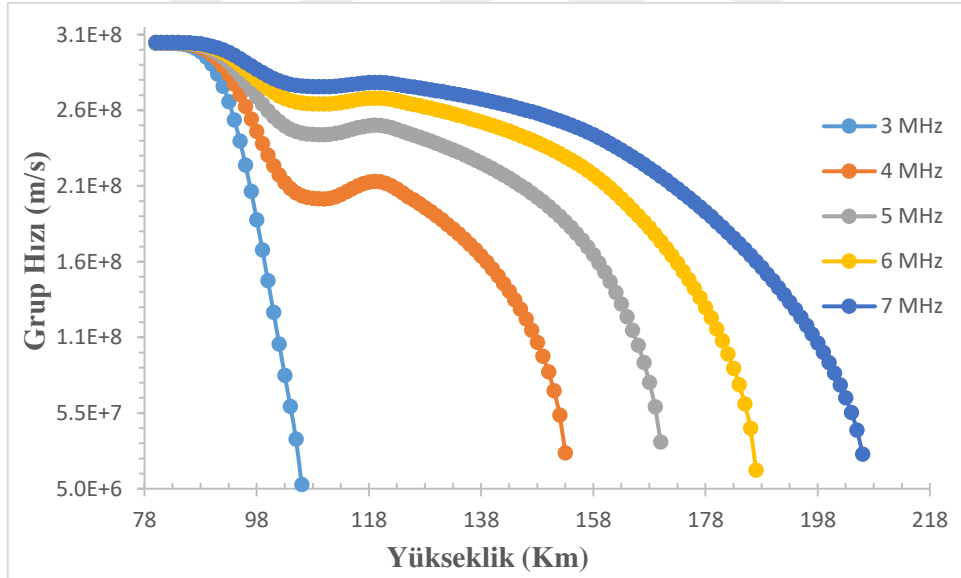


Şekil 5.1 ve Şekil 5.2 verilen grafikler ordinari dalga için mart ve eylül ekinokslarında elde edilen sonuçları göstermektedir. Grafiklerde düşük frekanslı dalgalar yüksek frekanslı dalgalara göre daha alt yüksekliklere ulaşmaktadır. Bilhassa 3 MHz frekanslı dalgalar iyonküreye giriş yapıldığı öngörülen 80 km. yüksekliğe çok yakın olan yüksekliğe kadar çıkabildiği görülürken frekanslar arttıkça ulaşılan yüksekliklerin de arttığı müşahade edilmektedir.

Mart ve eylül ekinoksları, grafiklerindeki değerlere bakıldığında, frekanslar dikkate alınarak dalgaların eylül ekinoksunda daha üst yüksekliklere ulaştığı görülecektir. Bu durum dalganın yayıldığı çarpışmasız ortamın kırma indisinin özelliğinin sonucu olmaktadır. Çünkü mart ekinoksunda yerel zaman saat 12.00 gün ortası iken elektron yoğunluğu eylül ekinoksundaki yerel zaman saat 12.00 gün ortası olmamakta ve bunun sonucu mart ekinoksunda gün ortasındaki elektron yoğunluğu eylül ekinoksundaki elektron yoğunluğuna göre daha büyüktür. Bundan dolayı ortamın kırılma indeksi daha büyük olmaktadır. Ortamın kırma indeksinin daha büyük olduğu mart ekinoksunda dalgalar daha alt yüksekliklere ulaşırken eylül ekinoksunda daha üst yüksekliklere ulaşmaktadır.



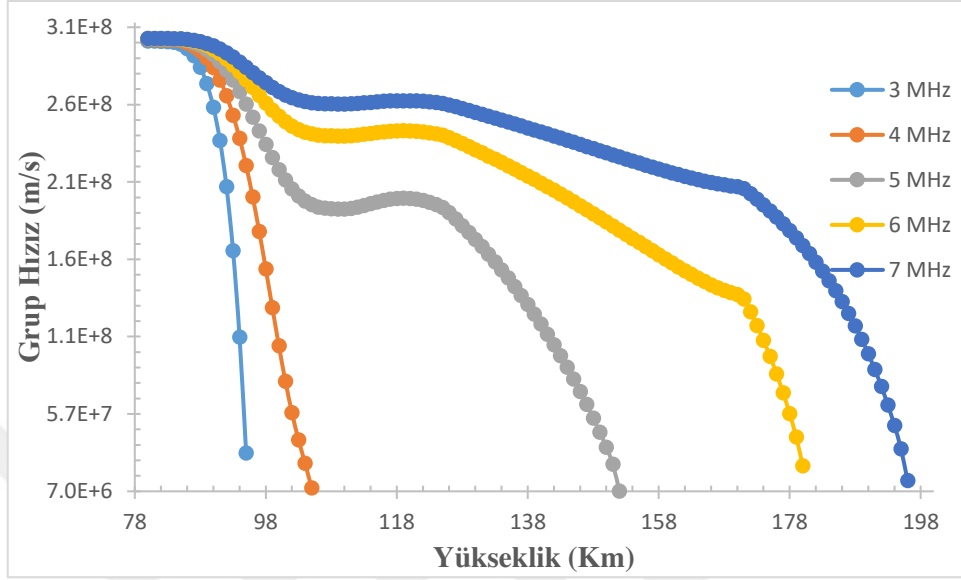
Şekil 5.3. Çarpışmasız ortamda ordinari dalganın haziran ayı gündönümü grup hızlarının yükseklikle değişimi



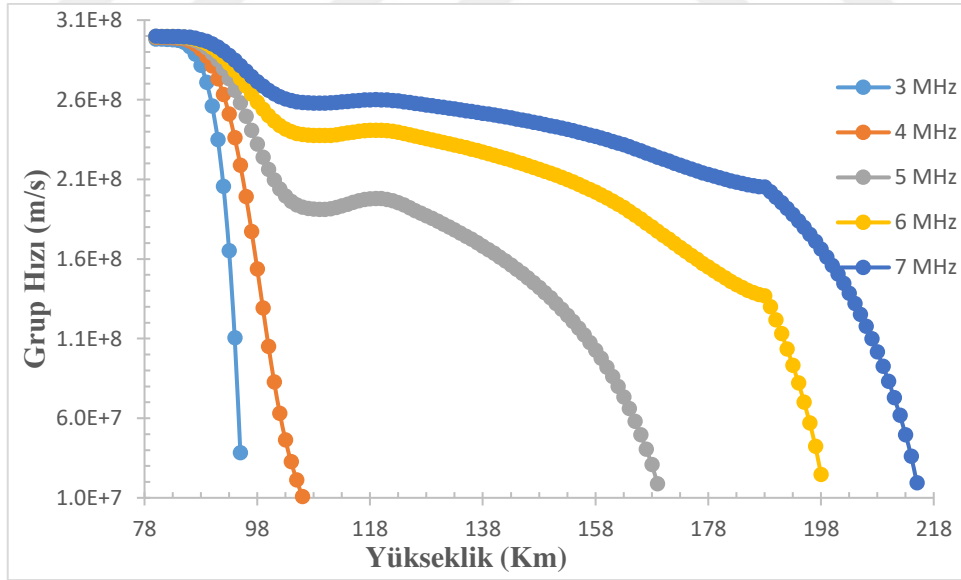
Şekil 5.4. Çarpışmasız ortamda ordinari dalganın aralık ayı gündönümü grup hızlarının yükseklikle değişimi

Şekil 5.3 ve Şekil 5.4 teki grafikler farklı frekanslardaki ordinari dalgaların haziran ve aralık gündönümleri için elde edilen sonuçları göstermektedir. Düşük frekanslı dalgalar yüksek frekanslı dalgalara göre daha alt yüksekliklere ulaşırken frekanslar arttıkça ulaşılan yüksekliklerin de arttığı görülmektedir. Haziran ve aralık gündönümleri karşılaştırıldığında, Haziran gündönümünde dalgaların daha üst yüksekliklere ulaştığı görülmektedir.

5.1.2. Extraordinari Dalga



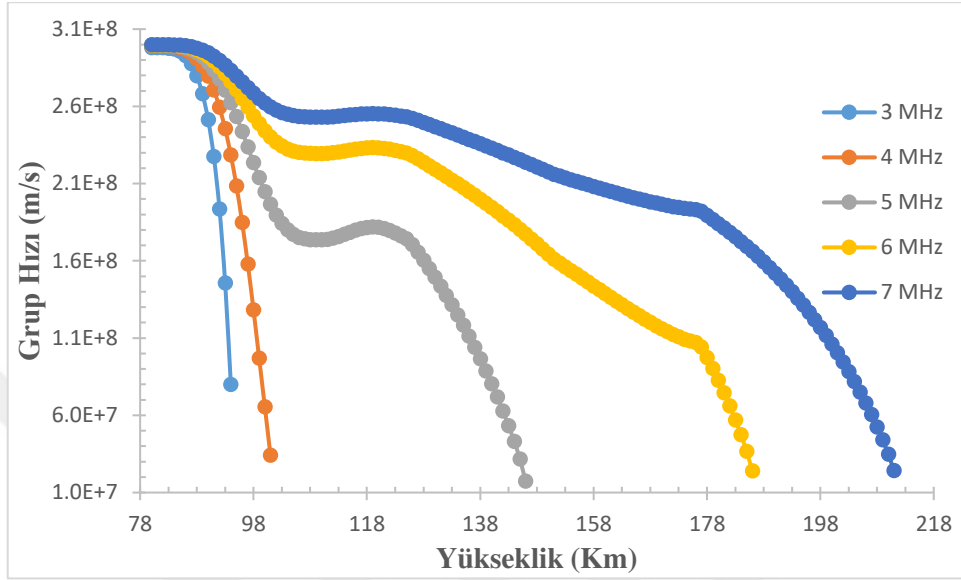
Şekil 5.5. Çarpışmasız ortamda extraordinary dalganın mart ayı ekinoksu grup hızlarının yükseklikle değişimi



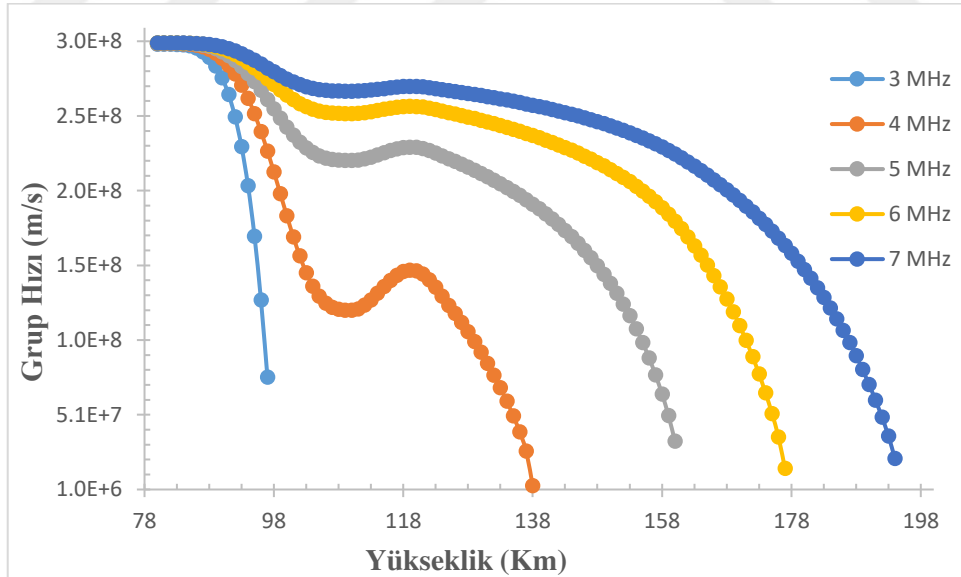
Şekil 5.6. Çarpışmasız ortamda extraordinary dalganın eylül ayı ekinoksu grup hızlarının yükseklikle değişimi

Şekil 5.5 ve Şekil 5.6 verilen grafikler extraordinary dalga için mart ve eylül ekinoksları için elde edilen sonuçları göstermektedir. Grafiklerde frekanslar arttıkça ulaşılan yüksekliklerin de arttığı görülmektedir. Dalganın özelliğine bağlı olarak 5, 6 ve 7 MHz

frekanslı dalgaların eylül ekinoksunda mart ekinoksuna göre daha üst yüksekliklere ulaştığı görülmektedir.



Şekil 5.7. Çarpışmasız ortamda extraordinary dalganın haziran ayı gündönümü grup hızlarının yükseklikle değişimi

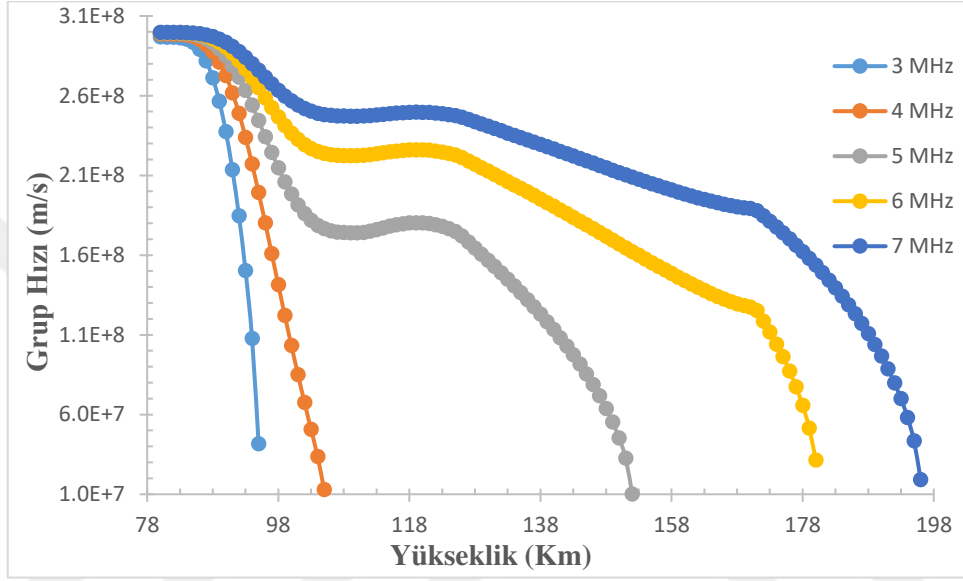


Şekil 5.8. Çarpışmasız ortamda extraordinary dalganın aralık ayı gündönümü grup hızlarının yükseklikle değişimi

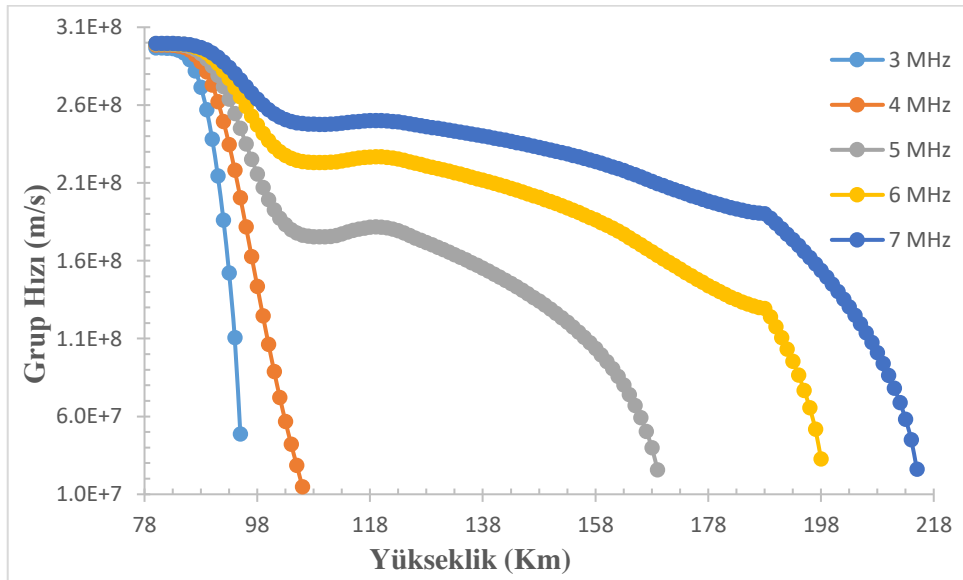
Şekil 5.7 ve Şekil 5.8 grafikleri extraordinary dalgaların haziran ve aralık gündönümleri için elde edilen sonuçları göstermektedir. Grafiklerde frekanslara bağlı olarak ulaşılan yüksekliklerin arttığı gözlenirken, Haziran gündönümünde dalgaların aralık gündönümüne

göre daha üst yüksekliklere ulaştığı görülmektedir. Bu durum extraordinary dalgaların ortamla etkileşme özelliklerine bağlı olduğu ifade edilebilir.

5.1.3. Sağa Kutuplu Dalga

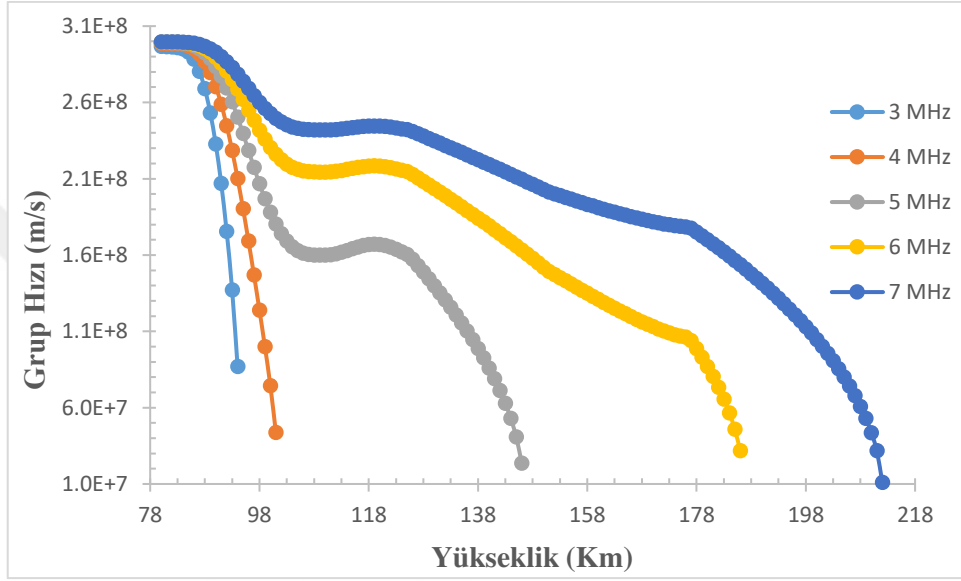


Şekil 5.9. Çarpışmasız ortamda sağa kutuplu dalganın mart ayı ekinoksu grup hızlarının yükseklikle değişimi

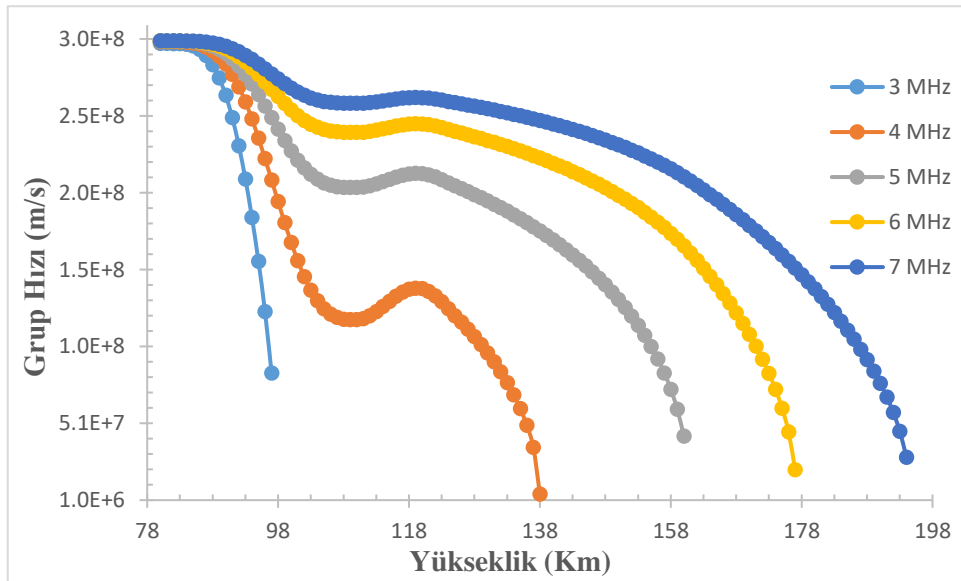


Şekil 5.10. Çarpışmasız ortamda sağa kutuplu dalganın eylül ayı ekinoksu grup hızlarının yükseklikle değişimi

Şekil 5.9 ve Şekil 5.10 da verilen grafikler sağa kutuplu dalga için mart ve eylül ekinoksları için elde edilen sonuçları verilmiştir. Grafiklerde frekanslara bağlı olarak ulaşılan yüksekliklerin arttığı görülmektedir. Dalgaların yapısına bağlı olarak 5, 6 ve 7 MHz frekanslı dalgaların eylül ekinoksunda mart ekinoksuna göre daha üst yüksekliklere ulaşmaktadır.



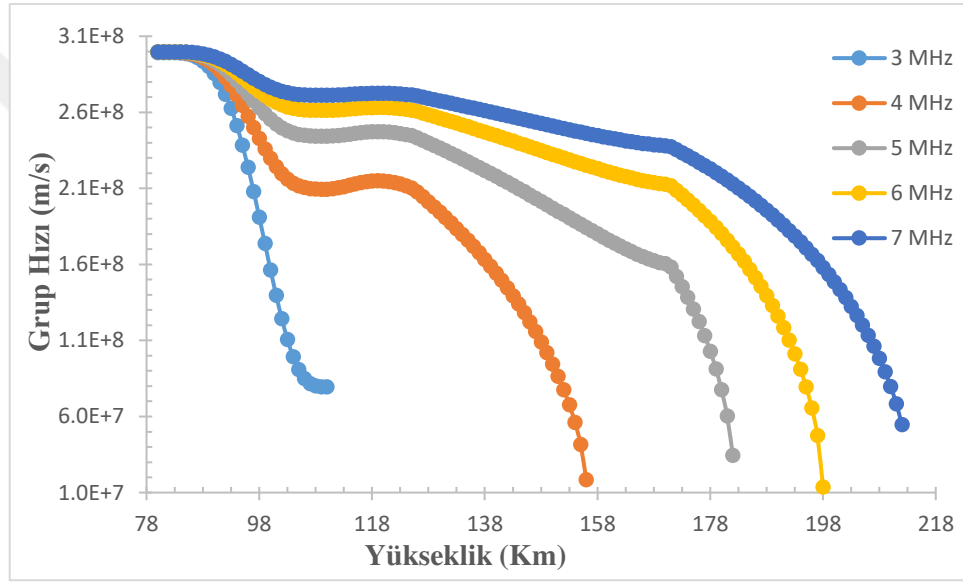
Şekil 5.11. Çarpışmasız ortamda sağa kutuplu dalganın haziran ayı gündönümü grup hızlarının yükseklikle değişimi



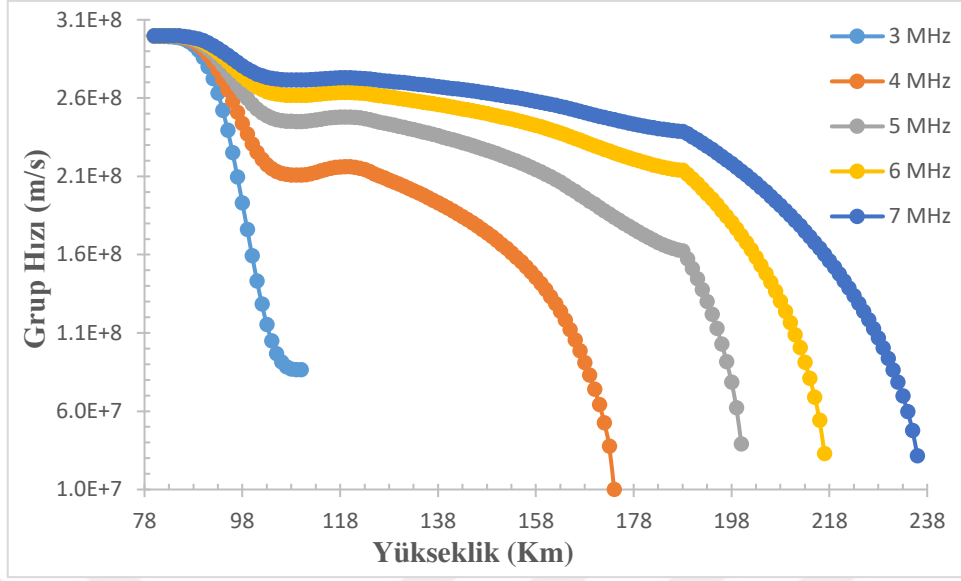
Şekil 5.12. Çarpışmasız ortamda sağa kutuplu dalganın aralık ayı gündönümü grup hızlarının yükseklikle değişimi

Şekil 5.11 ve Şekil 5.12 grafiklerinde sağa kutuplu dalgaların haziran ve aralık gündönümleri için elde edilen sonuçlar verilmiştir. Frekanslara bağlı olarak ulaşılan yüksekliklerin arttığı gözlenirken, Haziran gündönümünde dalgaların aralık gündönümüne göre daha üst yüksekliklere ulaştığı görülmektedir. Bu durum sağa kutuplu dalgaların özelliklerine bağlı olduğu ifade edilebilir.

5.1.4. Sola Kutuplu Dalga

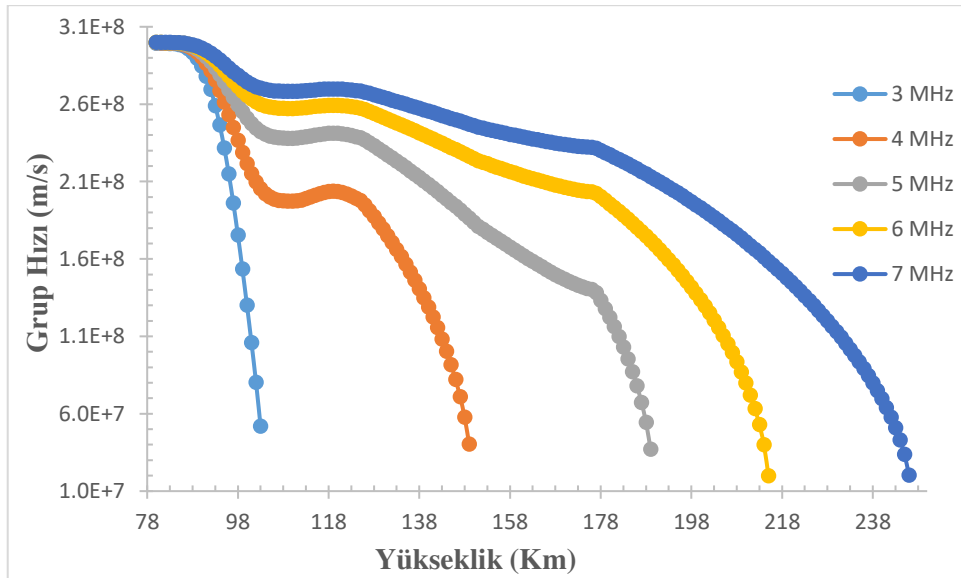


Şekil 5.13. Çarpışmasız ortamda sola kutuplu dalganın mart ayı ekinoksu grup hızlarının yükseklikle değişimi

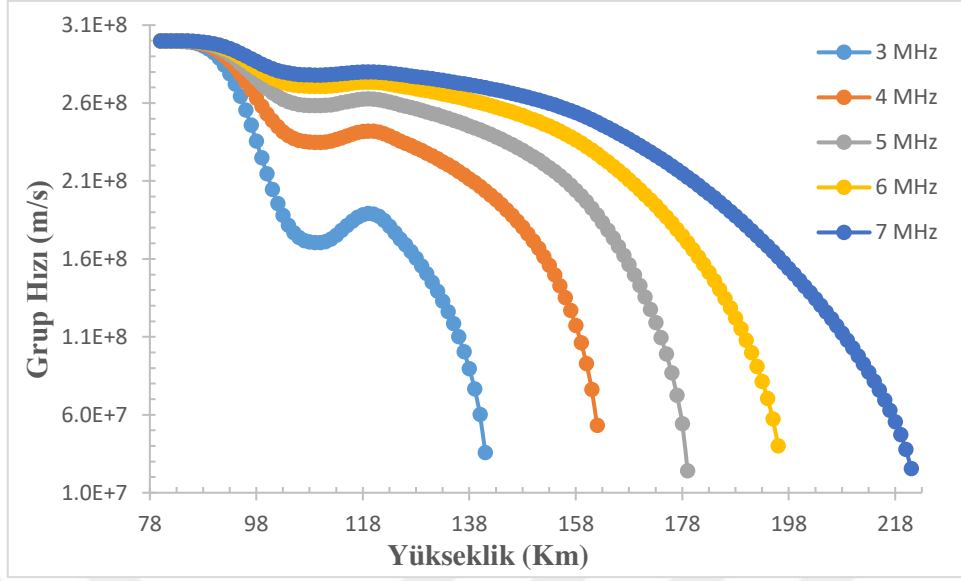


Şekil 5.14. Çarpışmasız ortamda sola kutuplu dalganın eylül ayı ekinoksu grup hızlarının yükseklikle değişimi

Şekil 5.13 ve Şekil 5.14 te verilen grafikler sola kutuplu dalga için mart ve eylül ekinoksları için elde edilen sonuçları verilmiştir. Grafiklerde frekanslara bağlı olarak ulaşılan yüksekliklerin arttığı görülmektedir. Dalgaların yapısına bağlı olarak 4, 5, 6 ve 7 MHz frekanslı dalgaların eylül ekinoksunda mart ekinoksuna göre daha üst yüksekliklere ulaşmaktadır.



Şekil 5.15. Çarpışmasız ortamda sola kutuplu dalganın haziran ayı gündönümü grup hızlarının yükseklikle değişimi



Şekil 5.16. Çarpışmasız ortamda sola kutuplu dalganın aralık ayı gündönümü grup hızlarının yükseklikle değişimi

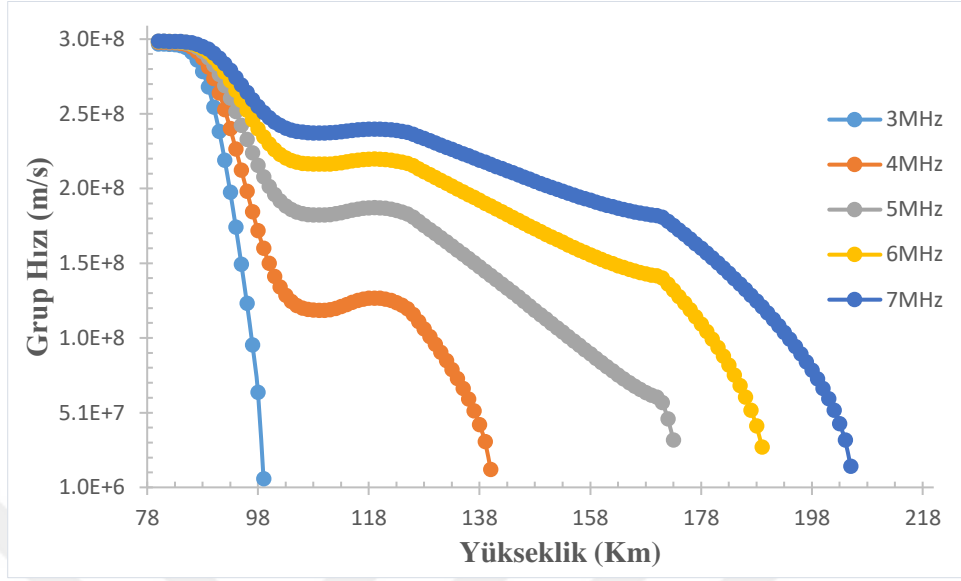
Şekil 5.15 ve Şekil 5.16 grafiklerinde sola kutuplu dalgaların haziran ve aralık gündönümleri için elde edilen sonuçlar verilmiştir. Frekanslara bağlı olarak ulaşılan yüksekliklerin arttığı gözlenirken, Haziran gündönümünde dalgaların aralık gündönümüne göre daha üst yüksekliklere ulaştığı görülmektedir. Bu durum sola kutuplu dalgaların özelliklerine bağlı olduğu ifade edilebilir.

5.2. Çarpışmalı Ortam

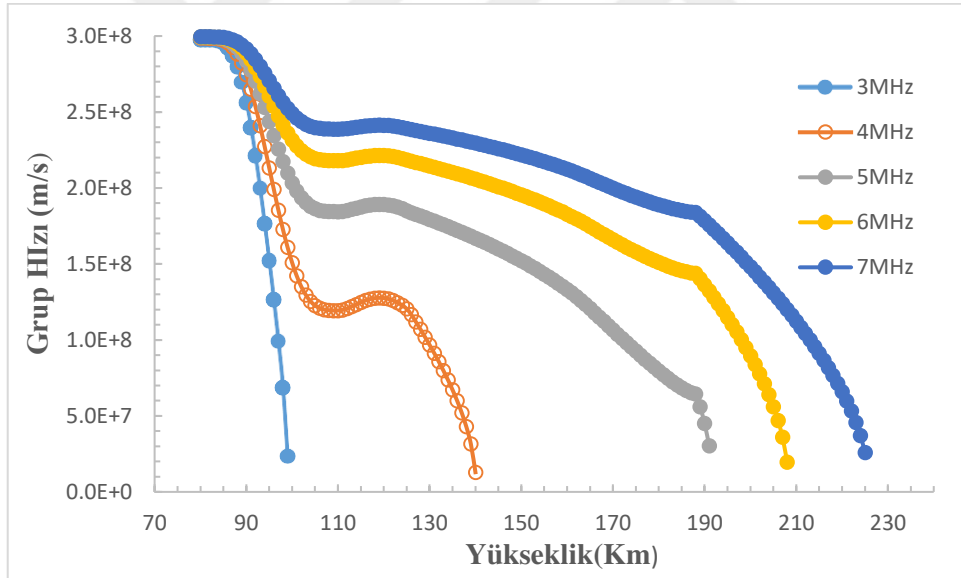
İyonküredeki çarpışmaların hesaplamalara dahil edildiği durumda farklı modlardaki dikey yayılan HF dalgaların grup hızları 3.25 genel denklemi ile hesaplanmıştır. Grup hızları için elde edilen genel denklemdeki değişkenler 3.26 – 3.33 denklemleri ile hesaplanmıştır. Hesaplamalarda çarpışma frekansları 4.1, 4.2 ve 4.3 denklemleriyle elde edilmiştir. Çarpışmaların hesaplamalara katıldığı durumda elektronların nötr ve yüklü parçacıklarla yaptıkları çarpışmalar Z terimini dolayısıyla kırılma indeksini değiştirmektedir. Bundan dolayı dalgalar daha fazla kayba uğrarlar.

Bu şekilde yapılan hesaplamalardan elde edilen sonuçlar ordinari, extraordinary, sağa kutuplu ve sola kutuplu dalgalar için farklı frekanslardaki karşılaştırmaları grafikleri çizilerek yapılmıştır.

5.2.1. Ordinari Dalga



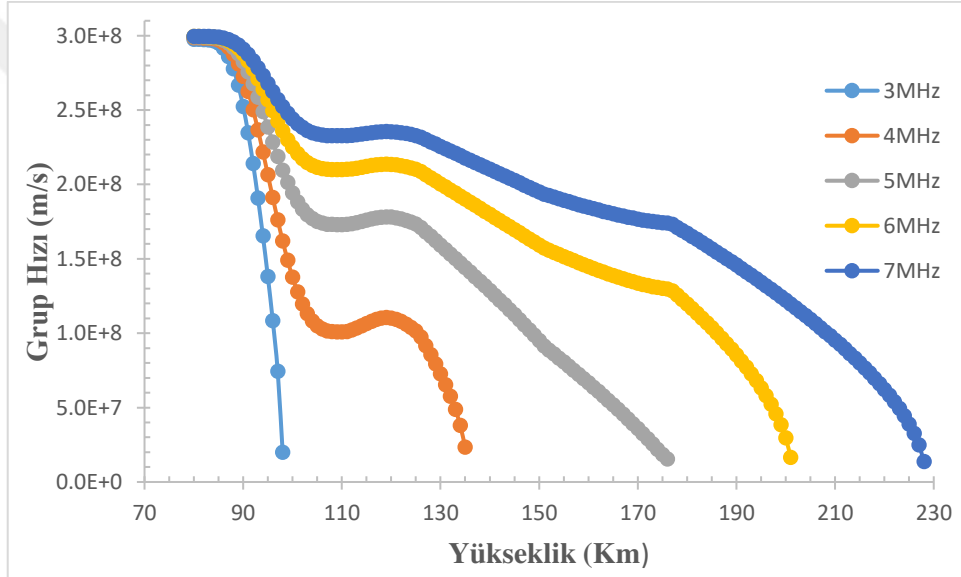
Şekil 5.17. Çarpışmalı ortamda ordinari dalganın mart ayı ekinoksu grup hızlarının yükseklikle değişimi



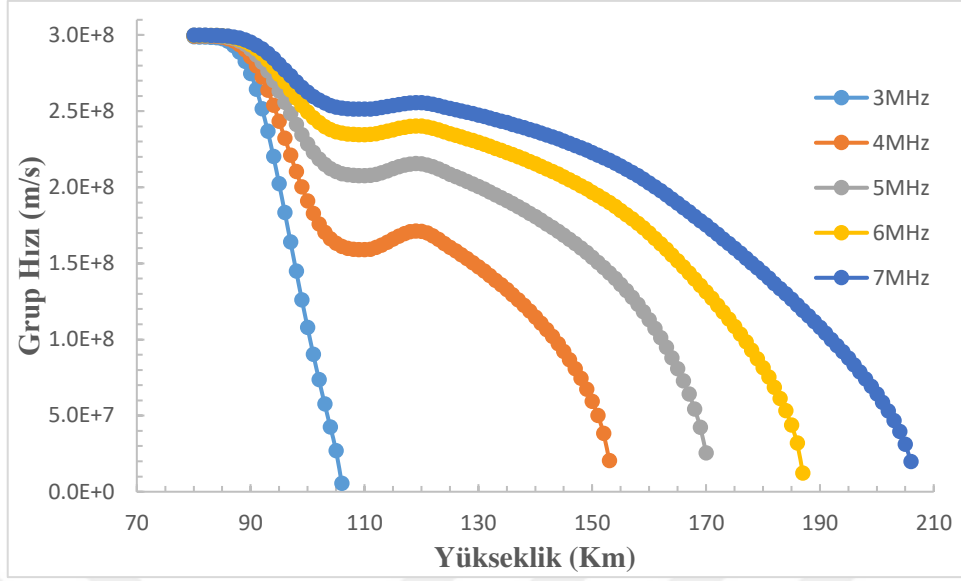
Şekil 5.18. Çarpışmalı ortamda ordinari dalganın eylül ayı ekinoksu grup hızlarının yükseklikle değişimi

Şekil 5.17 ve Şekil 5.18’de verilen grafikler ordinari dalganın çarpışmalı durumu için mart ve eylül ekinokslarında elde edilen sonuçları göstermektedir. Grafiklerde düşük frekanslı dalgalar yüksek frekanslı dalgalara göre daha alt yüksekliklere ulaşmaktadır. Mart ve Eylül ekinokslarının her ikisinde de frekansla arttıkça ulaşılan yüksekliklerin de arttığı tespit edilmiştir. Bilhassa 5, 6 ve 7 MHz frekanslı dalgalar eylül ekinosunda mart ekinoksuna

göre daha üst yüksekliklere ulaştığı sonucu elde edilmiştir. Bu durum mart ekinoksunda yerel zaman saat 12.00 gün ortası iken elektron yoğunluğu eylül ekinoksundaki yerel zaman saat 12.00 gün ortası olmamakta ve bunun sonucu mart ekinoksunda gün ortasındaki elektron yoğunluğu eylül ekinoksundaki elektron yoğunluğuna göre daha büyüktür. Bundan dolayı ortamın kırılma indeksi daha büyük olmaktadır. Ortamın kırma indeksinin daha büyük olduğu mart ekinoksunda dalgalar daha alt yüksekliklere ulaşırken eylül ekinoksunda daha üst yüksekliklere ulaşmaktadır.



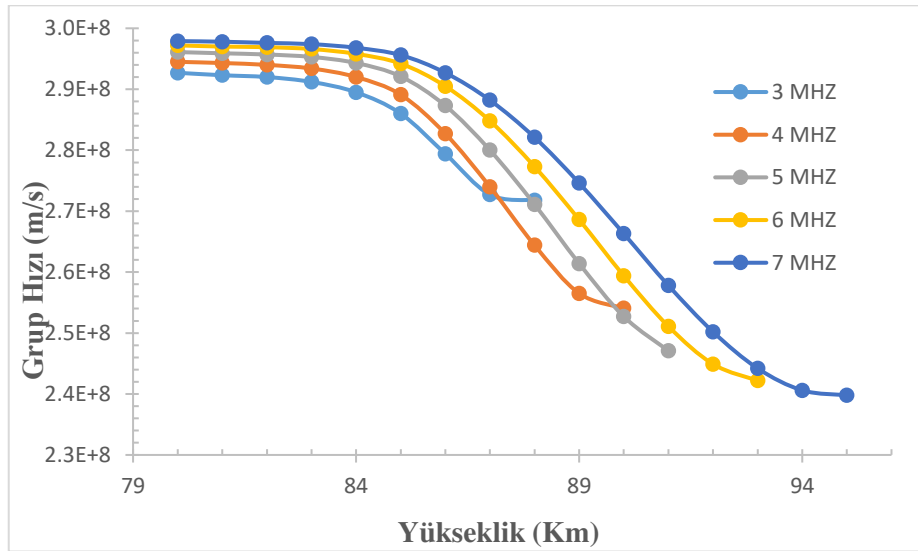
Şekil 5.19. Çarpışmalı ortamda ordinari dalganın haziran ayı gündönümü grup hızlarının yükseklikle değişimi



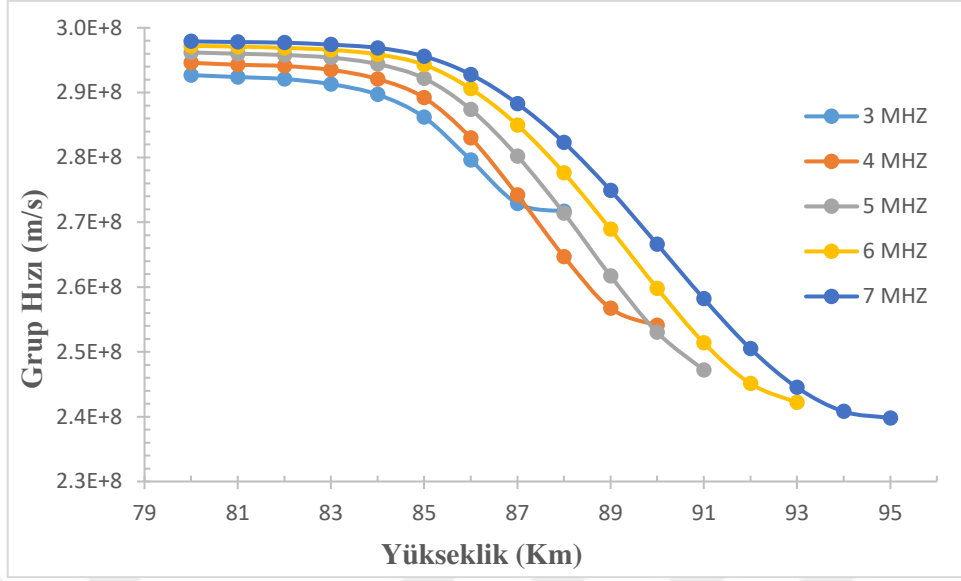
Şekil 5.20. Çarpışmalı ortamda ordinari dalga'nın aralık ayı gündönümü grup hızlarının yükseklikle değişimi

Şekil 5.19 ve Şekil 5.20 grafikleri ordinari dalga'nın çarpışmalı durumu için haziran ve aralık gündönümü günlerinde hesap edilen sonuçları göstermektedir. Elde edilen grup hızları 3 ve 4 Mhz. frekanslı dalgalar için aralık gündönümünde haziran gündönümüne göre büyük hesaplanmış ve dalgalar daha alt yüksekliklere ulaşmıştır. 5, 6 ve 7 MHz. frekanslı dalgaların grup hızları daha büyük hesaplanmış ve dalgalar daha üst yüksekliklere ulaşmaktadır.

5.2.2. Extraordinari Dalga

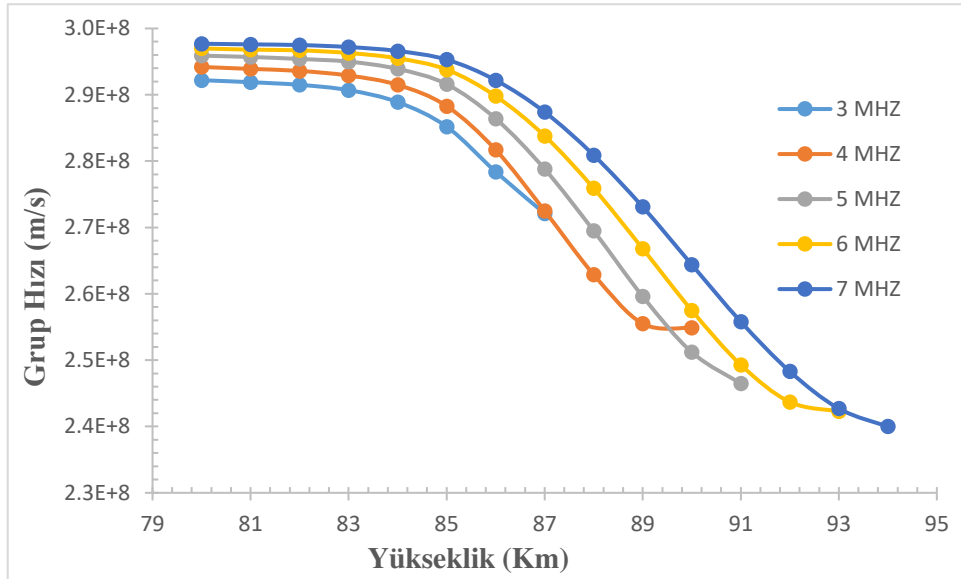


Şekil 5.21. Çarpışmalı ortamda extraordinary dalga'nın mart ayı ekinoksu grup hızlarının yükseklikle değişimi

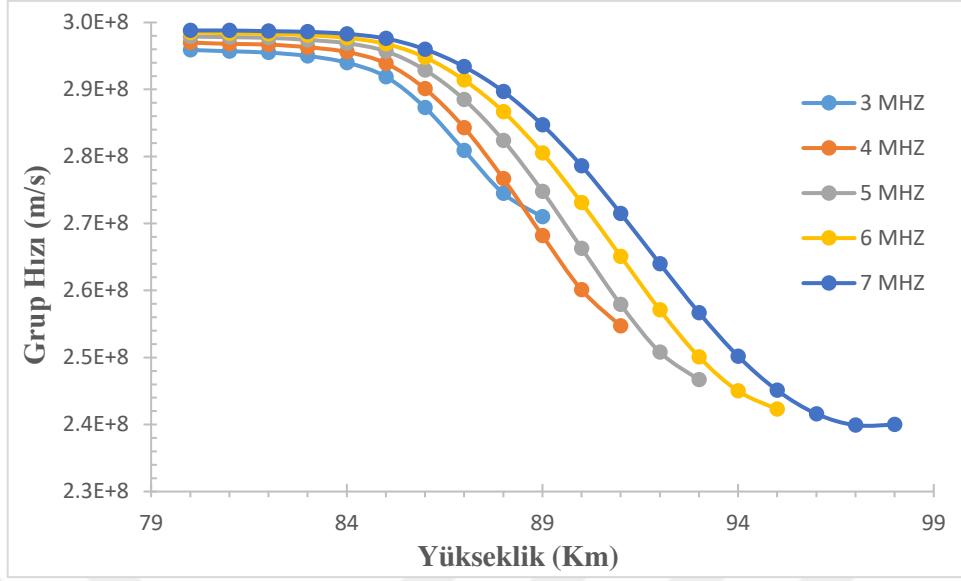


Şekil 5.22. Çarpışmalı ortamda extraordinary dalganın eylül ayı ekinoksu grup hızlarının yükseklikle değişimi

Şekil 5.21 ve Şekil 5.22 grafikler extraordinary dalganın çarpışmalı durumu için mart ve eylül ekinokslarında elde edilen sonuçları göstermektedir. Extraordinary dalganın bir özelliği olarak frekanslar arttığında ulaşılan yükseklikler artmasına rağmen tüm frekanslardaki dalgalar çarpışmaların etkisinden dolayı diğer modlara göre daha alt yüksekliklere ulaşmıştır.



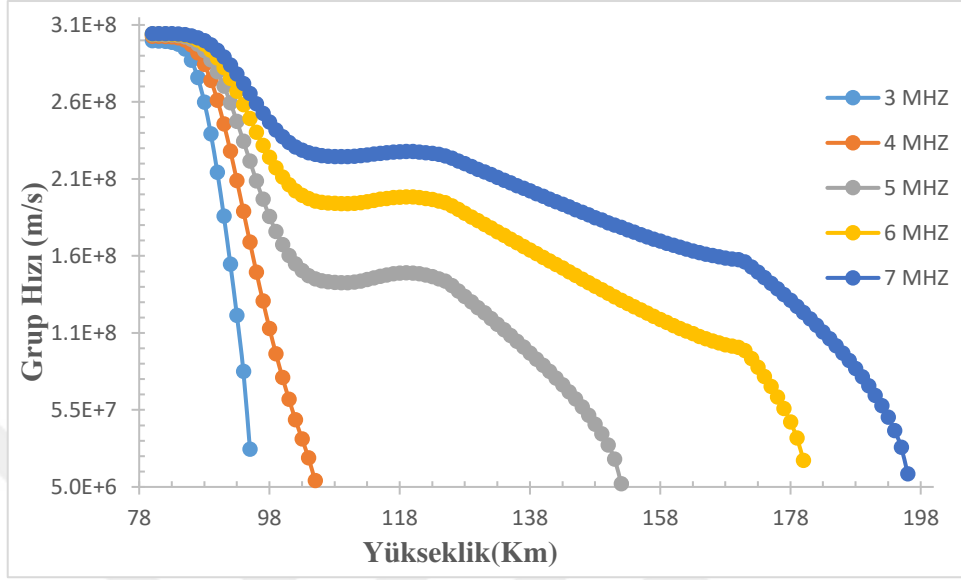
Şekil 5.23. Çarpışmalı ortamda extraordinary dalganın haziran ayı gündönümü grup hızlarının yükseklikle değişimi



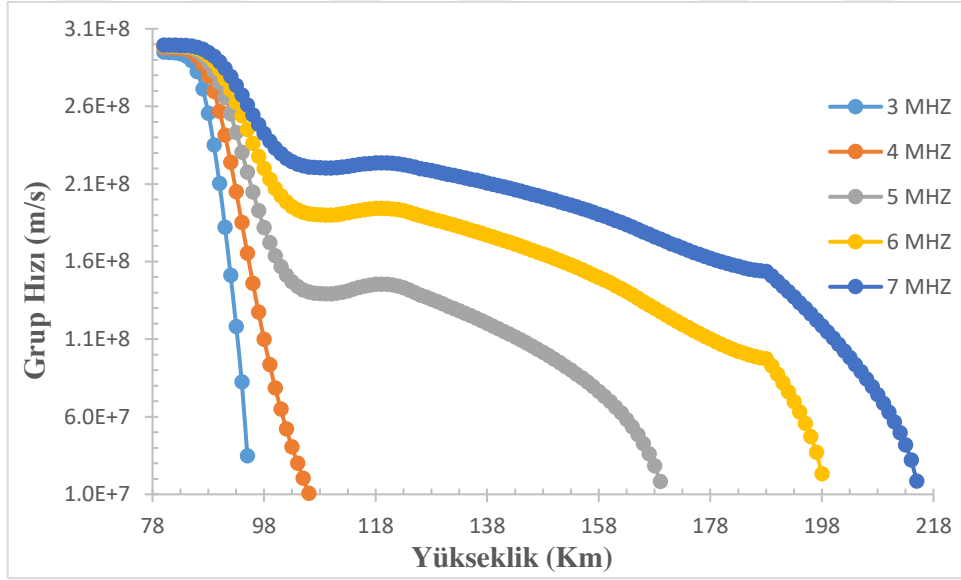
Şekil 5.24. Çarpışmalı ortamda extraordinary dalgaının aralık ayı gündönümü grup hızlarının yükseklikle değişimi

Şekil 5.23 ve Şekil 5.24 teki grafiklerde extraordinary dalgaının çarpışmalı durumu için haziran ve aralık gündönümleri için hesaplanan sonuçlar verilmiştir. Tüm frekanslardaki dalgaların ulaştığı yükseklikler haziran gündönümü için hesaplanan değerlerin aralık gündönümü için hesaplara göre daha küçüktür. Çünkü haziran gün dönümünde yüklü parçacık yoğunluğu ve dolayısıyla çarpışma frekansları büyüktür. Bu sebeple haziran gündönümünde dalgalar daha alt yüksekliklerde kalır.

5.2.3. Sağa Kutuplu Dalga



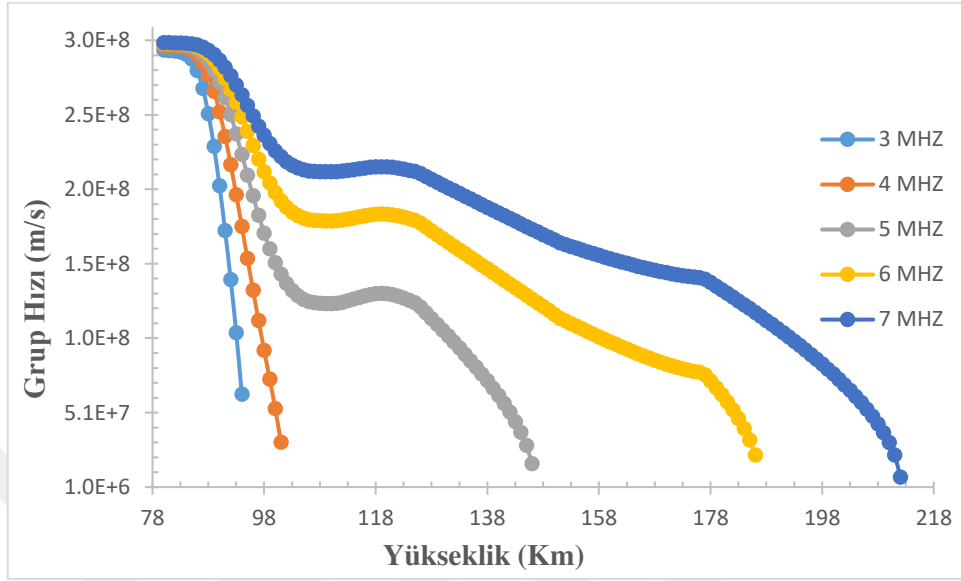
Şekil 5.25. Çarpışmalı ortamda sağa kutuplu dalganın mart ayı ekinoksu grup hızlarının yükseklikle değişimi



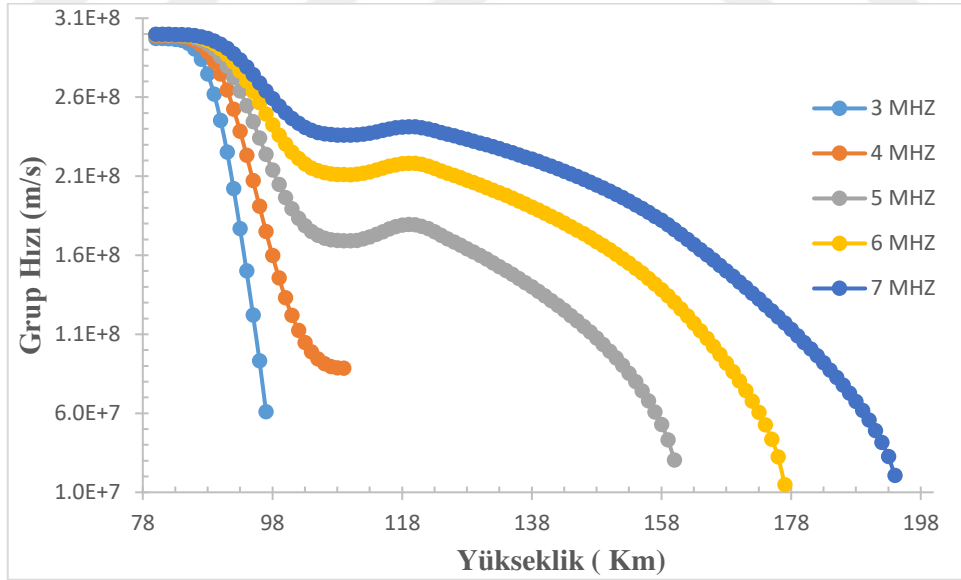
Şekil 5.26. Çarpışmalı ortamda sağa kutuplu dalganın eylül ayı ekinoksu grup hızlarının yükseklikle değişimi

Şekil 5.25 ve Şekil 5.26 grafikler sağa kutuplu dalganın çarpışmalı durumu için mart ve eylül ekinokslarında elde edilen sonuçları göstermektedir. Tüm frekanslar için eylül ekinoksunda elde edilen sonuçlar dalgaların mart ekinoksuna göre daha üst yüksekliklere

ulaştığını göstermektedir. Bu durum mart ayı için çarpışma frekanslarının daha büyük olduğunu ve ortamın kırılma indeksinin arttığı ifade eder.



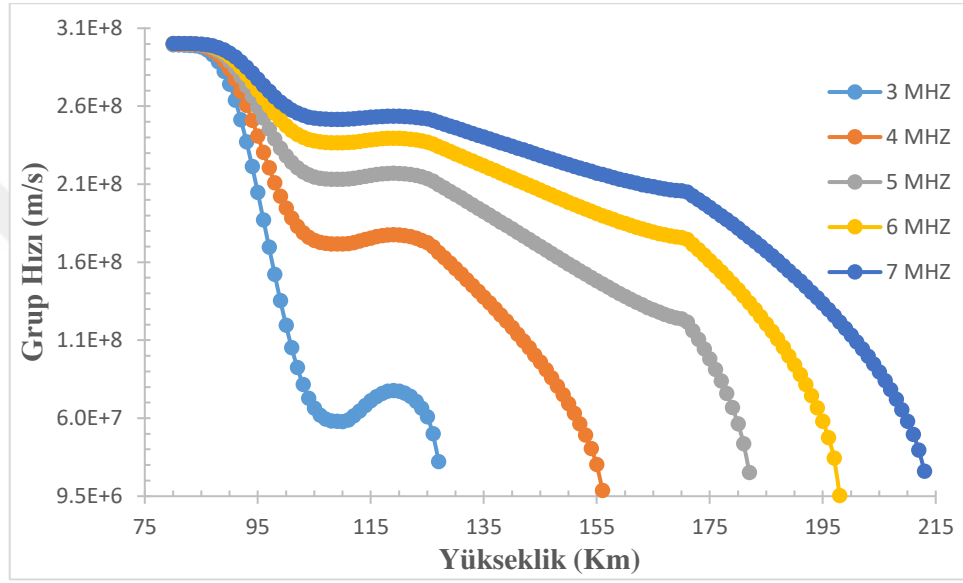
Şekil 5.27. Çarpışmalı ortamda sağa kutuplu dalganın haziran ayı gündönümü grup hızlarının yükseklikle değişimi



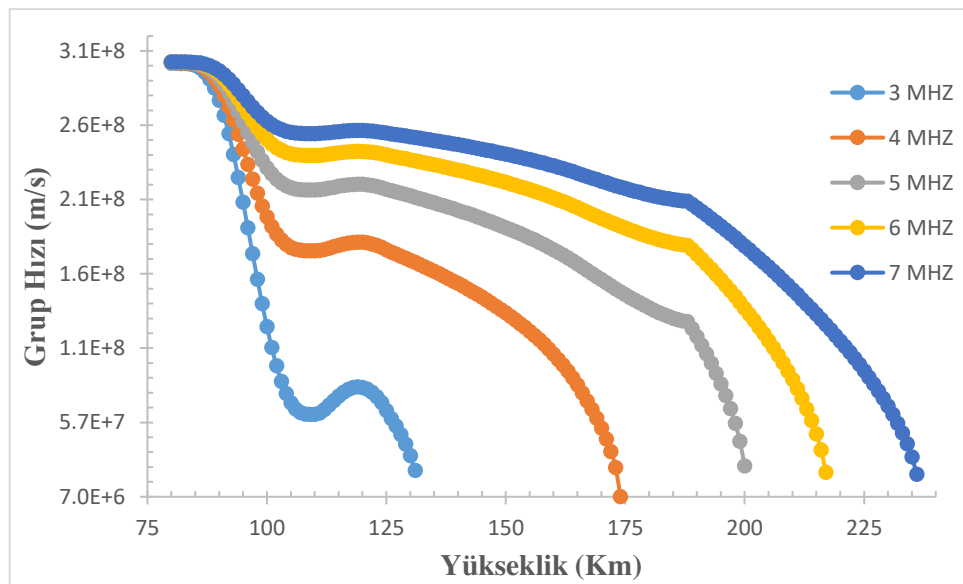
Şekil 5.28. Çarpışmalı ortamda sağa kutuplu dalganın aralık ayı gündönümü grup hızlarının yükseklikle değişimi

Şekil 5.27 ve Şekil 5.28 teki grafiklerde sağa kutuplu dalganın çarpışmalı durumu için haziran ve aralık gündönümleride hesaplanan sonuçlar verilmiştir. 3, 4 ve 5 MHz. frekanslı dalgalar aralık gündönümünde haziran gündönümüne göre daha üst yüksekliklere ulaşırken 6 ve 7 MHz. frekanslı dalgalar haziran gündönümünde daha üst yüksekliklere ulaşmıştır.

5.2.4. Sola Kutuplu Dalga

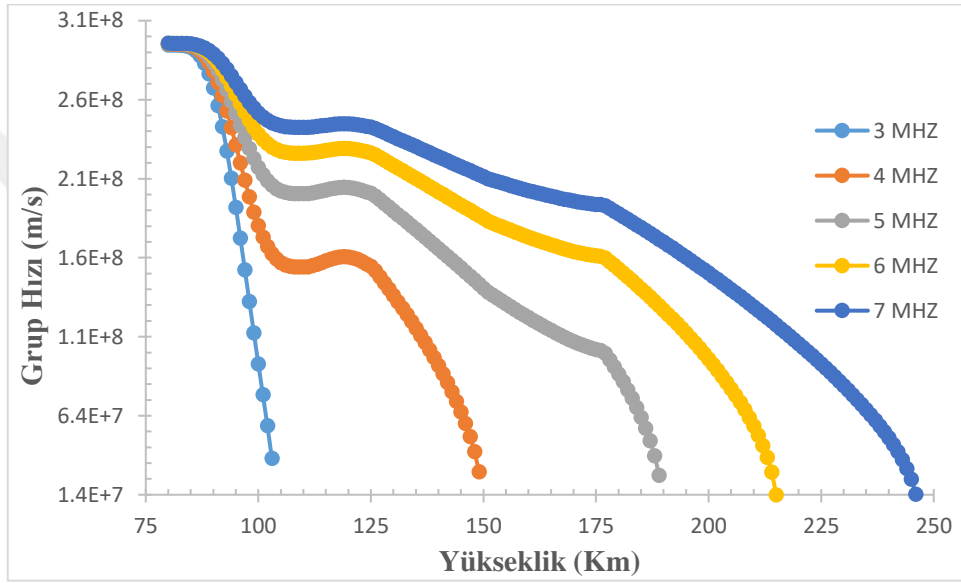


Şekil 5.29. Çarpışmalı ortamda sola kutuplu dalganın mart ayı ekinoksu grup hızlarının yükseklikle değişimi

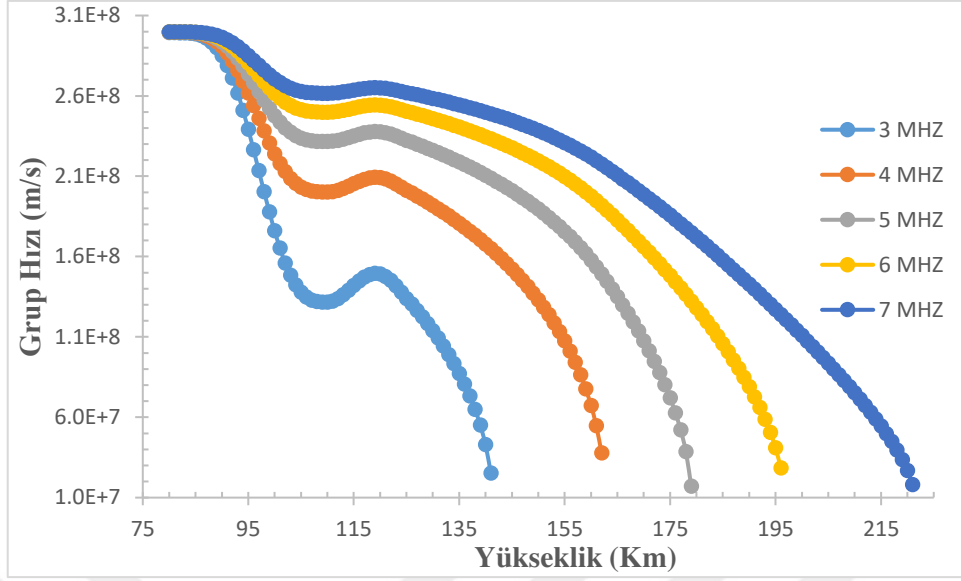


Şekil 5.30. Çarpışmalı ortamda sola kutuplu dalganın eylül ayı ekinoksu grup hızlarının yükseklikle değişimi

Şekil 5.29 ve Şekil 5.30 grafikler sola kutuplu dalgaının çarpışmalı durumu için mart ve eylül ekinokslarında hesaplanan değerleri göstermektedir. Eylül ekinoksunda tüm frekanslar için elde edilen sonuçlar dalgaların mart ekinoksuna göre daha üst yüksekliklere ulaştığını göstermektedir. Bu durum eylül ayı için çarpışma frekanslarının daha küçük olduğunu ve ortamın kırılma indeksinin mart ayına göre daha küçük olduğunu ifade eder.



Şekil 5.31. Çarpışmalı ortamda sola kutuplu dalgaının haziran ayı gündönümü grup hızlarının yükseklikle değişimi



Şekil 5.32. Çarpışmalı ortamda sola kutuplu dalga'nın aralık ayı gündönümü grup hızlarının yükseklikle değişimi

Şekil 5.31 ve Şekil 5.32 teki grafiklerde sola kutuplu dalga'nın çarpışmalı durumu için haziran ve aralık gündönümleride hesaplanan sonuçlar verilmiştir. 3, 4 ve 5 MHz. frekanslı dalgalar aralık gündönümünde haziran gündönümüne göre daha üst yüksekliklere ulaşırken 6 ve 7 MHz. frekanslı dalgalar haziran gündönümünde daha üst yüksekliklere ulaşmıştır.

6. SONUÇ

Dağıtılan bir ortamda yayılan elektromanyetik dalgalar sahip oldukları frekanslara bağlı olarak ortam içerisinde grup (yayılma) hızlarıyla yol alabilmektedir. Dalganın frekansı, taşıdığı enerji ve grup hızı ortamda ilerleyebilme kabiliyetini belirleyen temel parametrelerdir. Bunun yanı sıra ortamın özellikleri dalganın ulaşabileceği mesafeyi tanımlayan özelliklerdendir. Dalganın ulaştığı mesafe veya çıkabildiği yükseklik grup hızının değerini yorumlamak amacıyla kullanılmıştır. İyonküreyi çarpışmasız bir ortam olarak kabul ettiğimiz durum için farklı modlardaki dalgaların grup hızlarının ifadeleri 3.21, 3.22, 3.23 ve 3.24 denklemleri ile verilmiştir. Bu denklemler grup hızlarının ortamın manyetik alanı, elektron yoğunluğu ve elektron salınım frekanslarına bağlı olduğunu göstermektedir.

Çarpışmanın ihmal edildiği şartlarda; ekinoks günlerinde tüm modlardaki dalgaların eylül ekinoksundaki grup hızları mart ekinoksundaki grup hızlarından daha büyük olduğu hesaplanmıştır. Bu sebeple dalgalar eylül ekinoksunda daha üst yüksekliklere ulaşmaktadır.

Gündönümü günleri şartlarında, haziran gündönümü için hesaplanan grup hızları aralık gündönümü grup hızlarından daha büyük olduğu ve dalgaların daha üst yüksekliklere kadar çıkabildiği tespit edilmiştir.

Elektronların iyonlar ve nötr bileşenlerle yaptıkları çarpışmaların hesaba katıldığı çarpışmalı durum için grup hızlarının yüksekliğe bağlı olarak hesaplamaları; 3.25-3.33 denklemleri ve 4.1-4.3 çarpışma frekanslarının hesapladığı denklemler kullanılarak yapılmıştır. Hesaplanan grup hızları ortamın özellikleri ve çarpışma frekanslarına bağlı olarak değişmektedir. Yapılan hesaplamalarda çarpışma frekanslarının grup hızlarını azalttığı tespit edilmiştir.

Çarpışmaların dikkate alındığı durumda, tüm modlardaki dalgaların mart ekinoksundaki grup hızları eylül ekinoksundaki grup hızlarından daha küçük olduğu ve dalgaların eylül ekinoksunda daha üst yüksekliklere ulaştığı hesaplanmıştır.

Gündönümü günlerinde çarpışmalı ortam şartlarında, haziran gündönümü için hesaplanan 3 ve 4 MHz frekanslı dalgaların grup hızları aralık gündönümü grup hızlarından

daha küçük olduğu ve dalgaların daha alt yüksekliklere kadar çıkabildiği tespit edilmiştir. 5, 6 ve 7 MHz frekanslı dalgaların grup hızları haziran gündönümünde daha büyük olduğundan dalgalar aralık gündönümüne daha üst yüksekliklere ulaşmaktadır.

Sonuç olarak tüm modlardaki dalgaların grup hızları, frekanslarına ve ortamın şartlarına göre değişmektedir. Değişmelerin sebebi olarak zamanı, ortamın şartlarını ve çarpışmaların etkilerini ifade edebiliriz.



7. KAYNAKLAR

- [1].**Risbeth H., ve Garriot, O.K.**, 1969, “Intoduction to Ionospheric Physics”. Academic Press, New York.
- [2] **Nayir, H.**,2007, “Küresel Konumlama Sistemi Kullanılarak Toplam Elektron İçeriği Kestirimi, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [3] **Tascione, T. F.**, 1988, “Introduction to the Space Environment”, Orbit Book Company, Florida,
- [4] **Akdoğan, T.**, 2013, “VLF Dalga Yayılımına Güneş Aktivitesinin Etkilerinin İncelenmesi,” Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [5]**Canyılmaz, M.**, 2008, “VLF Yayılımını Kullanarak Yıldırımın Alt İyonküreÜzerine Etkilerinin Araştırılması”, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [6] **Özcan,O. Ünal, İ, Güzel E.**, 2003, “The integrated layer conductivities of the ionospheric E and F region” Balkan Physics letters. Vol:11 No:3,138-145.
- [7] **Millward, G. H.,Rishbeth, H., Fuller-Rowell, T. J., Aylward, A. D., Quegan, S. Moffett, R. J.**, 1996, Ionospheric F2-Layer Seasonal And Semi annual Variations, Journal of Geophysical Research, 101, 5149-5156
- [8] **Demirtaş, A.**, 2017, “İyonkürede Dikey Yayılan Dalganın Gürültü Özellikleri”, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [9] **Ünal, I., Özcan, O., Canyılmaz M.**, 2007,“Ionospheric Absorption of HF RadioWave in Vertical Propagation. Iranian J. of Sci. &Tec. Transac. A, Vol. 31, No. A4, pp:413-419.
- [10] **Belova, E.G.,Pashin, A.B., Lyatsky, W.B.**,1995,“Passage of a Powerful HF Radio Wave through the Lower Ionosphere as a Function of Initial Electron Density Profiles”, J. Atmos. Terr. Phys., 57, pp:265–272.
- [11]**Taranenko, Y.N.,Inan, U.S., andBell, T.F.**, 1992,“VLF-HF Heating of the Lower Ionosphere and ELF Wave Generation”, Geophys. Res. Lett., Vol:19, No:1, pp:61-64.
- [12] **E. Güzel, R. Atıcı, M. Canyılmaz**, 2011, “ Dikey Yayılan HF Radyo Dalgasının Farklı Modlarının Alt iyonkürede Elektron Sıcaklığına Etkisi” E- Journal of New World Sciences Academy, Vol. 6, No. 3, pp. 69–79.
- [13] **Stenner, D. M.,Gauthier, J. D., Neifeld A. M.**, 2003 “The speed of information in a fast-light optical medium” *Nature*, Vol. 425, p. 695-69.

- [16] **ÜNAL, İ.**, 2003, İyonküre İçerisinde Yayılan Yüksek Frekanslı (HF) Elektromanyetik Dalgaların Alan Şiddetinin Hesaplanması ve Ölçülmesi, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimler
- [17] **Canyılmaz, M., Atıcı, R., Güzel, E.**, The Effect of Earth's Magnetic Field on the HF Radio Wave Modes at the Heatedub ionosphere, ACTA PHYSICA POLONICA A Vol. 123 (2013)
- [18] **Aydoğdu, M., Yeşil, A. ve Güzel, E.**, (2004). The Group Refractive Indices of HF Waves in the Ionosphere and Departure From the Magnitude Without Collisions, J. Atmos. Terr. Phys., 66, 343-348,
- [19] **Canyılmaz, M., Atıcı, R., Güzel, E.**, Dikey Yayılan Hf Radyo Dalgasının Farklı Modlarının Alt İyonkürede Elektron Sıcaklığına Etkisi, e-Journal of New World Sciences Academy 2011, Volume: 6, Number: 3, ArticleNumber: 3A0037
- [20] **Rawer, K., Bilitza D., Ramakrishnan S., Sheikh, M.** 1978. Intentions and build up of the International Reference Ionosphere, in Operational Modeling of the Aerospace Propagation Environment, AGARD Conf. Proc. 238, 6.1 - 6.10.
- [21] **Schaer, S.** 1999. Mapping and Predicting the Earth's Ionosphere Using the Global Positioning System, Phd Thesis, Astronomical Institute, University of Bern..
- [22] iri.gsfc.nasa.gov
- [23] **K. Labitzke, J. J. Barnett, and B. Edwards (eds.)**, Handbook MAP 16, SCOSTEP, University of Illinois, Urbana, 1985.
- [24] **A. E. Hedin**, Extension of the MSIS Thermospheric Model into the Middle and Lower Atmosphere, J. Geophys. Res. 96, 1159, 1991.
- [25] omniweb.gsfc.nasa.gov/vitmo/msis_vitmo.html
- [26] <http://www.mathworks.com>
- [27] **Gilat, Amos** (2004). *MATLAB: An Introduction with Applications 2nd Edition*. John Wiley & Sons.

[28] **J. Bailey, K. Borer, F. Combley, H. Drumm, F. Krienen, F. Lange, E. Picasso, W. von Ruden, F.J.M. Farley, J.H. Field, W. Flegel, P.M. Hattersley**, Nature 268, 301 (1977)

[29] **Aydoğdu M and Özcan O**, The Possible Effects of the Magnetic Declination On the Wave Polarisation Coefficients At the Cutoff Point-Abstract, Journal of electromagnetic waves and applications, 2000/1/1.



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı: AİŞE İLHAN TUNÇ

Doğum Yeri: ELAZIĞ

Doğum Tarihi: 17.06.1988

Uyruk: T.C

Tel: +90 536 517 48 67

E-Posta: ilhan.aise@gmail.com

Eğitim Bilgiler

1. Fırat Üniversitesi Fizik Bölümü 2012
2. Milli Eğitim Bakanlığı'nda Fizik Öğretmenliği 2014-