

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**EKVATOR BÖLGESİNDE KIRILMA İNDİSİNİN
ENLEMLE DEĞİŞİMİ**

Kadri KURT

Danışman
Prof. Dr. Mehmet AYDOĞDU

YÜKSEK LİSANS TEZİ
FİZİK ANABİLİM DALI

ELAZIĞ, 2008

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

EKVATOR BÖLGESİNDE KIRILMA İNDİSİNİN ENLEMLE DEĞİŞİMİ

Kadri KURT

Yüksek Lisans Tezi
Fizik Anabilim Dalı

Bu tez, tarihinde aşağıda belirtilen jüri tarafından oybirliği /oyçokluğu ile başarılı / başarısız olarak değerlendirilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Mehmet AYDOĞDU

Üye:

Üye:

Üye:

Üye:

Bu tezin kabulü, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun/...../..... tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

TEŐEKKÜR

Bu çalışmanın hazırlanması süresince, yoğun ilgi ve desteğini esirgemeyen saygıdeğer hocam Prof. Dr. Mehmet AYDOğDU' ya teőekkür ederim. Ayrıca desteklerinden dolayı Prof. Dr. Osman ÖZCAN, Yrd. Doğ. Dr. Esat GÜZEL ve Yrd. Doğ. Dr. Ali YEŞİL hocalarıma teőekkür ederim. Dönem arkadaşım Selçuk SAğIR'a ve Burcu TAŐDEMİR'e teőekkür ederim.

Bu alıőmaları yürütürken hiçbir fedakârlıktan kaçınmayan, hep destek sunan sevgili eőim Fahriye KURT'a ve dostum M. İkbal YETİŐİR'e teőekkür ederim.

Kadri KURT

İÇİNDEKİLER

| | |
|--|----|
| İÇİNDEKİLER | I |
| ŞEKİLLER LİSTESİ | II |
| SİMGELER LİSTESİ | V |
| KISALTMALAR LİSTESİ | VI |
| 1. GİRİŞ | 1 |
| 2. İYONKÜRENİN YAPISI VE TABAKALARI | 3 |
| 2.1. İyonküre Bölgeleri | 3 |
| 2.1.1. D- Bölgesi: | 3 |
| 2.1.2. E- Bölgesi: | 3 |
| 2.1.3. F- Bölgesi: | 3 |
| 3. İYONKÜREDEKİ ANORMALLİKLER | 6 |
| 3.1. F Bölgesi Anormallikleri | 6 |
| 3.1.1. Mevsimsel Anormallik ve Yarı Yıllık-Yıllık Değişmeler | 6 |
| 3.1.2. Gece F2-Bölgesi | 7 |
| 3.1.3. Ekvatorial Anormallik | 7 |
| 3.1.3.1. Ekvatorial Anormalliğe Etki Eden Faktörler | 9 |
| 3.2. F2 BÖLGESİ EKVATORAL ANORMALLIĞI | 13 |
| 4. PLAZMANIN KIRILMA İNDİSİ | 14 |
| 4.1. Soğuk Plazmanın Kırılma İndisi | 14 |
| 4.1.1. Dalga Denklemleri | 14 |
| 4.1.2. Dalgalar ve Kırılma İndisi | 16 |
| 5. BULGULAR VE TARTIŞMA | 18 |
| 5.1. Ordinari Dalga | 18 |
| 5.2. Kutuplanmış Dalgalar | 23 |
| 5.3. Çarpışmalı Hal İçin | 31 |
| 5.3.1. Ordinari Dalga | 31 |
| 5.3.2. Ekstraordinari Dalga | 34 |
| 5.3.3. Kutuplanmış Dalgalar | 36 |
| 6. SONUÇ | 43 |
| KAYNAKLAR | 45 |
| ÖZGEÇMİŞ | 48 |

ŞEKİLLER LİSTESİ

| | |
|--|----|
| Şekil 2.1. İyonküredeki Nötr Atomlar ve İyonların Yoğunluklarının Yükseklikle Değişimi | 5 |
| Şekil 3.1. Kuzey ve Güney Yarımkürelerde Ekvatorial Çukur ve Tepeler..... | 8 |
| Şekil 3.2. Nötr Rüzgarın Düşey Hızı..... | 10 |
| Şekil 3.3. Nötr Rüzgarın Düşey Hızının Geometrisi | 11 |
| Şekil 3.4. Elektron yoğunluğundaki azalmanın neden olduğu etki | 12 |
| Şekil 4.1. Dünyanın Manyetik Alanının Geometrisi | 14 |
| Şekil 5.1. Elektron Yoğunluğunun Enlem ve Mevsimlerle Değişimi (Saat 1200 YZ) | 19 |
| Şekil 5.2. Elektron Yoğunluğunun Enlem ve Mevsimlerle Değişimi (Saat 2400 YZ) | 19 |
| Şekil 5.3. Ordinarı Dalganın Kırılma İndisinin Enlemlerle Değişimi(21 Haziran) | 20 |
| Şekil 5.4. Ordinarı Dalganın Kırılma İndisinin Enlemlerle Değişimi(21 Mart) | 21 |
| Şekil 5.5. Ordinarı Dalganın Kırılma İndisinin Enlemlerle Değişimi(23 Eylül)..... | 21 |
| Şekil 5.6. Ordinarı Dalganın Kırılma İndisinin Enlemlerle Değişimi(21 Aralık)..... | 22 |
| Şekil 5.7. Ordinarı Dalganın Kırılma İndisinin Karesinin Enlem ve Mevsimlerle Değişimi (Saat 1200 YZ) | 22 |
| Şekil 5.8. Ordinarı Dalganın Kırılma İndisinin Karesinin Enlem ve Mevsimlerle Değişimi (Saat 2400 YZ) | 23 |
| Şekil 5.9. Kutuplanmış Dalganın Kırılma İndisinin Karesinin Enlemle Değişimi (Saat 1200 YZ, Mart 21) | 24 |
| Şekil 5.10. Kutuplanmış Dalganın Kırılma İndisinin Karesinin Enlemle Değişimi (Saat 1200 YZ, Haz.21) | 24 |
| Şekil 5.11. Kutuplanmış Dalganın Kırılma İndisinin Karesinin Enlemle Değişimi (Saat 1200 YZ, Eyl.23) | 24 |
| Şekil 5.12. Kutuplanmış Dalganın Kırılma İndisinin Karesinin Enlemle Değişimi (Saat 1200 YZ, Aralık.21) | 26 |
| Şekil 5.13. Kutuplanmış Dalganın Kırılma İndisinin Karesinin Enlemle Değişimi (Saat 2400 YZ, Mart 21) | 26 |
| Şekil 5.14. Kutuplanmış Dalganın Kırılma İndisinin Karesinin Enlemle Değişimi (Saat 2400 YZ, Haz. 21) | 27 |
| Şekil 5.15. Kutuplanmış Dalganın Kırılma İndisinin Karesinin Enlemle Değişimi (Saat 2400 YZ, Eylül. 23) | 28 |
| Şekil 5.16. Kutuplanmış Dalganın Kırılma İndisinin Karesinin Enlemle Değişimi (Saat 2400 YZ, Aralık 21) | 28 |
| Şekil 5.17. Kutuplanmış Dalganın Kırılma İndisinin Karesinin Enlemle ve Mevsimlerle | |

| | |
|--|----|
| Değişimi (Saat 1200 YZ) | 29 |
| Şekil 5.18. Kutuplanmış Dalganın Kırılma İndisinin Karesinin Enlemle ve Mevsimlerle Değişimi (Saat 2400 YZ) | 29 |
| Şekil 5.19. Kutuplanmış Dalganın Kırılma İndisinin Karesinin Enlemle ve Mevsimlerle Değişimi (Saat 1200 YZ) | 30 |
| Şekil 5.20. Kutuplanmış Dalganın Kırılma İndisinin Karesinin Enlemle ve Mevsimlerle Değişimi (Saat 2400 YZ) | 30 |
| Şekil 5.21. Ordinari dalganın kırılma indisinin karesinin enlemle değişimi ($Z = 0$ ve $Z \neq 0$; 21 Mart). | 31 |
| Şekil 5.22. Ordinari dalganın kırılma indisinin karesinin enlemle değişimi $Z = 0$ ve $Z \neq 0$; 21 Haziran). | 32 |
| Şekil 5.23. Ordinari dalganın kırılma indisinin karesinin enlemle değişimi ($Z = 0$ ve $Z \neq 0$; 23 Eylül). | 32 |
| Şekil 5.24. Ordinari dalganın kırılma indisinin karesinin enlemle değişimi ($Z = 0$ ve $Z \neq 0$; 21 Aralık). | 33 |
| Şekil 5.25. Ekstraordinari dalganın kırılma indisinin karesinin enlemle değişimi ($Z = 0$ ve $Z \neq 0$; 21 Mart). | 34 |
| Şekil 5.26. Ekstraordinari dalganın kırılma indisinin karesinin enlemle değişimi ($Z = 0$ ve $Z \neq 0$; 21 Haziran). | 35 |
| Şekil 5.27. Ekstraordinari dalganın kırılma indisinin karesinin enlemle değişimi ($Z = 0$ ve $Z \neq 0$; 23 Eylül). | 35 |
| Şekil 5.28. Ekstraordinari dalganın kırılma indisinin karesinin enlemle değişimi ($Z = 0$ ve $Z \neq 0$; 21 Aralık). | 36 |
| Şekil 5.29. Sola kutuplanmış dalganın kırılma indisinin karesinin enlemle değişimi ($Z = 0$ ve $Z \neq 0$; 21 Mart). | 37 |
| Şekil 5.30. Sağa kutuplanmış dalganın kırılma indisinin karesinin enlemle değişimi ($Z = 0$ ve $Z \neq 0$; 21 Mart). | 38 |
| Şekil 5.31. Sola kutuplanmış dalganın kırılma indisinin karesinin enlemle değişimi ($Z = 0$ ve $Z \neq 0$; 21 Haziran). | 38 |
| Şekil 5.32. Sağa kutuplanmış dalganın kırılma indisinin karesinin enlemle değişimi ($Z = 0$ ve $Z \neq 0$; 21 Haziran). | 39 |
| Şekil 5.33. Sola kutuplanmış dalganın kırılma indisinin karesinin enlemle değişimi | |

| | |
|--|----|
| ($Z = 0$ ve $Z \neq 0$; 23 Eylül). | 40 |
| Şekil 5.34. Sağa kutuplanmış dalganın kırılma indisinin karesinin enlemle değişimi ($Z = 0$ ve $Z \neq 0$; 23 Eylül). | 40 |
| Şekil 5.35. Sola kutuplanmış dalganın kırılma indisinin karesinin enlemle değişimi ($Z = 0$ ve $Z \neq 0$; 21 Aralık). | 41 |
| Şekil 5.36. Sağa kutuplanmış dalganın kırılma indisinin karesinin enlemle değişimi ($Z = 0$ ve $Z \neq 0$; 21 Aralık). | 42 |

SİMGELER LİSTESİ

| | |
|--------------|---|
| λ | :Dalga boyu birimi |
| N | :Kırılma indisi |
| c | :Işık hızı |
| \mathbf{k} | :Dalğanın ilerleme vektörü |
| m | : Kütle |
| v | :Hız |
| \mathbf{B} | :Manyetik alan |
| \mathbf{E} | : Elektrik alan |
| ν | :Çarpışma frekansı |
| I | :Dip açısı |
| D | :Deklinasyon açısı |
| N | :Elektron yoğunluğu |
| e | :Elektron yükü |
| \mathbf{J} | :Elektronun akım yoğunluğu |
| ω | :Dalğanın açısal frekansı |
| ω_p | :Elektronun plazma frekansı |
| ω_c | :Elektronun siklotron frekansı |
| σ | :İletkenlik tensörü |
| ϵ_0 | :Dielektrik katsayısı |
| Γ | :Difüzyon parametresi |
| ∇ | :Dell operatörü |
| θ | :Dalga vektörü ile manyetik alan arasındaki açı |
| μ_0 | :Manyetik geçirgenlik |

KISALTMALAR LİSTESİ

| | |
|-------------|--|
| Nm | :Nanometre |
| UV | :Ultraviyole ışın |
| hmF2 | :F2-bölgesinin tepe yüksekliği |
| NmF2 | :F2-bölgesinin tepe yüksekliğindeki elektron yoğunluğu |

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

EKVATOR BÖLGESİNDE KIRILMA İNDİSİNİN ENLEMLE DEĞİŞİMİ

Kadri KURT

Fırat Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Fizik Anabilim Dalı

2008, Sayfa:59

Bu tezde, ekvator bölgesindeki iyonkürenin ordinari, kutuplanmış ve ekstraordinari dalgaların çarpışmasız ve çarpışmalı halleri için kırılma indisi çalışılmıştır. Hesaplamalar, 21 Mart, 21 Haziran, 23 Eylül, 21 Aralık günleri ile saat 1200 YZ ve 2400 YZ için yapılmıştır.

Ordinari dalganın kırılma indisinin gündüz değerleri, tüm mevsimler için 4° K ile 16° K enlemleri arasında maksimum, gece değerleri ise 8° G ile 8° K enlemleri arasında minimum olduğu tesbit edilmiştir. Sola kutuplanmış dalganın kırılma indisinin değerleri tüm mevsimlerde gündüz, 4° K ile 16° K enlemleri arasında maksimum, gece değerleri 0° ile 12° K enlemleri arasında, 21 Aralık için maksimum, diğer tüm mevsimler için minimumdur. Sağa kutuplanmış dalganın kırılma indisinin değerleri tüm mevsimlerde gündüz için, 10° K enleminde maksimum, gece değerleri 4° K enleminde minimum olmaktadır. Ekstraordinari dalganın kırılma indisi, 21 Mart için gündüz 24° K enleminde minimum iken gece maksimum olmaktadır. Bu kırılma indisinin 23 Eylül'de ise 12° K enleminde hem çarpışmasız hem de çarpışmalı haller için maksimum olduğu görülmüştür. Ekstraordinari dalganın kırılma indisi çarpışmalı haller için 21 Aralık'ta, 4° K enleminde maksimum, çarpışmasız haller için 22° K enleminde de minimum olduğu görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Ekvator anormalliği, Kırılma indisi, İyonküre

ABSTRACT
MASTER THESIS

**THE VARIATIONS OF THE REFRACTIVE INDEX IN THE EQUATORIAL REGION
WITH LATITUDE**

Kadri KURT

Firat University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering

2008, Page:59

In this thesis, the refractive index has been studied for ordinary, the polarized and extraordinary waves for both collisional and non-collision conditions in the equatorial region of ionosphere. The calculations have been done for 21 March, 21 June, 23 September and 21 December days for local times 1200 and 2400.

The refractive index of ordinary wave has maximum between 4°N - 16°N latitudes in daytime. It has been taking minimum values 8°N and 8°S latitudes for the whole of seasons by night. The refractive index of the left-handed polarized wave has been taking maximum values between 4°N - 16°N latitudes by day for every season. The refractive index of the right-handed polarized wave has been taking maximum value at 10°N latitude for all of season by day but it has minimum value at 4°N latitude by night. While the refractive index of the extraordinary wave has been taking minimum at 24°N latitude for 21 March daytime, it has becoming maximum for the same latitude nighttime. For same wave, the maximum values occur at 12°N latitude for 23 September for both collisional and non-collision cases. The refractive index of the extraordinary wave has maximum at 4°N latitude for December for collisional case but in the non-collision case, it becomes minimum at 22°N latitude.

Keywords: Equatorial Anomaly, Refractive Index, Ionosphere

1.GİRİŞ

Atmosfer Dünya gezegenini çevreleyen bir hava tabakasıdır. Atmosfer bulutların gezindiği ve meteorolojik olayların olup bittiği yerdir. Atmosfer canlıları çok çeşitli dış etkilere karşı korur. Güneşten gelen yüksek enerjili parçacıklar manyetoküre tarafından engellenirken, Dünya'nın dışından gelen kayaç parçaları, üst atmosferde durdurulur, akan yıldızlar veya meteorlar haline gelerek yok olur. Zararlı morötesi (UV) ışınlar, fotokimyasal tepkimeler sırasında soğrulurken, X- ışınları ve morötesi ışınların, atmosfer tarafından emilmesi atmosfer gazlarının iyonlaşmasına neden olur [11,13].

Dünya yüzeyini çevreleyen atmosfer, yerden uzaklaştıkça, yoğunluk ve bileşim açısından değişikliğe uğrar. Bu yoğunluk ve bileşenlere bağlı olarak genelde şu bölgelere ayrılır:

Tropoküre: Atmosferin en alt tabakasıdır. Atmosferik olayların yoğun yaşandığı yerdir. Bu tabaka yüzeyden yaklaşık 10 km yüksekliğe kadar uzanır. Su buharı, basınç ve sıcaklık değişkenlikleri nedeniyle, bu ortam homojen değildir. 800 nm dalga boyundan daha büyük ışınlar, temelde H₂O ve CO₂ tarafından soğrulur. Bu tabakada en çok bulunan gazlar oksijen ve azot molekülleridir [5,6,9,11].

Stratoküre: 10 km üzerindeki atmosfer bölgesine denilmektedir. Bu bölgede gazlar yaklaşık olarak 35 km yüksekliğe kadar yoğunluklarını korurlar. Stratoküre içinde yaklaşık 25 km yükseklikte ozon tabakası olur. Ozon tabakası doğal olarak UV ışınları ve O₂ moleküllerinin etkilenmesinden oluşmuştur. Ozon tabakası Dünya üzerindeki canlı yaşam için oldukça büyük önem arz etmektedir. Çünkü bu tabaka gelen zararlı ışınlarını soğurur.

Mezoküre: Stratoküreden sonra gelen ve üst sınır olarak 85 km'ye kadar uzanan bölgeye denir. Bu bölge atmosferin en soğuk bölgesidir. 175–200 nm dalga boyu arasındaki ışınlar oksijen tarafından soğurularak bu bölgeyi oluşturmuştur.

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

Ekzoküre: Buradaki moleküller arasındaki çarpışma çok azdır. Bu bölgede iyonlaşmış parçacıklar manyetik alan tarafından, nötr parçacıklar ise yerçekimi tarafından kısa mesafelerde hareket ettirilebilir.

İyonküre: Atmosferde 50 km'den başlayan 1000 km'nin üzerinde yüksekliğe ulaşan bölgeye iyonküre denilmektedir. İyonküre Güneş ışınımının iyonlaştırma etkisinden dolayı meydana gelen iyonlardan ve serbest elektronlardan oluşmaktadır. Eşit sayıda elektron ve

pozitif iyonlar içeren nötr ortama plazma denir. İyonkürede hemen hemen eşit sayıda elektron ve pozitif iyon içerdiğinden dolayı doğal bir plazmadır. İyonlaşma ve iyon ve elektron yoğunlukları yükseklik, günlük, mevsimlik ve güneş aktivitesine göre değişir. İyonküre üç bölgeye ayrılır. Bunlar; D bölgesi, E bölgesi ve F bölgesidir. Bu bölgeler arasında elektron yoğunluğu bakımından en zengin bölge F bölgesidir [1,11,13].

İyonküre radyo haberleşmesi açısından çok önemlidir. Uzun mesafeden yapılan radyo yayınları iyon küreden yansıtılmak suretiyle alıcılara ulaşır. Elektromanyetik dalgaların iyonküreden yansıtılması ve kırılması elektron yoğunluğuna doğrudan bağlıdır. Yayılma ve yansıma ortamın kırılma indisine bağlıdır. İyonküre plazmasının kırılma indisi, plazma yoğunluğuna, manyetik alana, parçacıkların plazma içindeki çarpışma frekanslarına bağlıdır. Bu çalışmanın amacı, ekvator anormalliğinin olduğu ekvator bölgesindeki iyonkürenin ordinari, kutuplanmış ve ekstraordinari dalgalar için kırılma indisini hesaplamaktır.

2. İYONKÜRENİN YAPISI VE TABAKALARI

2.1. İyonküre Bölgeleri

2.1.1. D- Bölgesi:

Bu bölge 50 km ile 90 km arasındaki iyonkürenin en alt bölgesi olarak adlandırılmaktadır. 1 \AA ile 10 \AA X- ışınları ve 1216 \AA UV ışınları tarafından meydana getirilir. Elektron yoğunluğu yaklaşık 10^3 cm^{-3} civarındadır. Gece boyunca D bölgesi kayıp süreçlerine bağlı olarak yok olur. Sadece gündüz saatlerinde D bölgesinden bahsedilebilir. Gündüz saatlerinde serbest elektron yoğunluğu artar.

2.1.2. E- Bölgesi:

İyonkürenin 90 km ile 160 kilometreleri arasındaki kısım olarak bilinmektedir. Genel olarak iyonkürenin E bölgesinin 10 \AA ile 100 \AA X- ışını ve 800 \AA ile 1026 \AA UV ışınları tarafından oluşturulan fotoiyonlaşmalar sonucunda meydana geldiği kabul edilmektedir. 115 km ile 120 kilometreleri arasında X- ışınları tamamen emilmekte O_2 molekülü iyonlaşmaktadır. N_2 molekülü ile O^+ atomunun iyonlaşması 130 km'de maksimum düzeye ulaşmaktadır [17]. E bölgesinde en fazla NO^+ iyonu bulunmaktadır. Daha sonra sırası ile O_2^+ , O^+ ve N_2^+ iyonları bulunmaktadır. Bu bölge iyonkürenin incelenmesi için en kolay, değişmelerin en düzgün olduğu bölgedir (Şekil 2.1).

2.1.3. F- Bölgesi:

İyonkürenin 150 km'den sonraki bölgesi F bölgesi olarak tanımlanmaktadır. Üst sınırı kesin olarak belli olmamak beraber H^+ ve He^+ gibi hafif iyonların O^+ iyonuna göre hâkim olmaya başladıkları yükseklik olarak kabul edilmektedir. Kısa dalgaların yayılması bakımından en önemli bölgedir (Şekil 2.1). 200 \AA ile 800 \AA üstündeki UV ışınları temel iyonlaşma kaynağıdır. Bu dalga boyundaki güneş ışınları 160km ile 180 km arasında büyük bir çoğunluğu emilmekte ve O_2^+ , N_2^+ iyonlarını oluşturmaktadır. İyonkürenin F bölgesi F1 ve F2 olmak üzere iki tabakaya ayrılır.

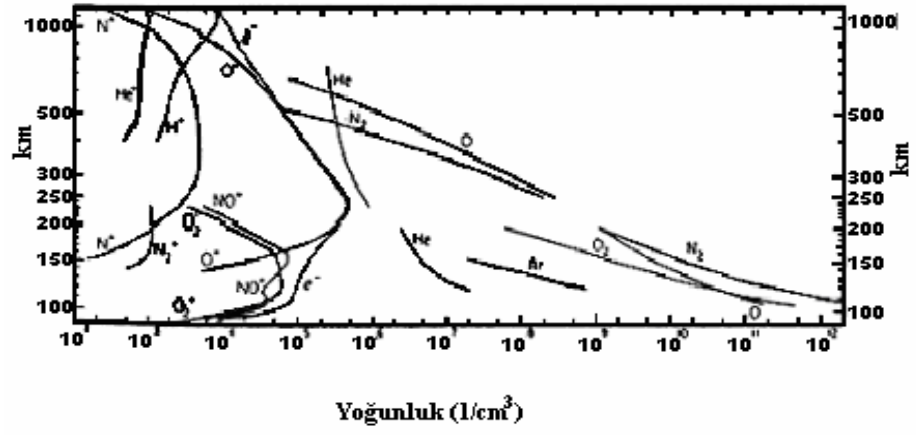
F1 bölgesi, yaklaşık 180 km yüksekliğinde, dalga boyu 200 \AA^0 ile 900 \AA^0 arasında bulunan UV ışınlarının iyonlaştırılması ile oluşturulur. Elektron yoğunluğu 200 km ile 300 kilometreleri arasında maksimumdur. Bu bölgede NO^+ ve O_2^+ iyonları bulunurken ikinci dereceden O^+ ve N^+ iyonları bulunur ((Şekil 2.1).

F2 bölgesi, 180 km ile 450 km yükseklik civarındadır. Elektron yoğunluğunun maksimum olduğu bölgedir. Dalga boyu 200 \AA^0 ile 800 \AA^0 arasında olan UV ışınları temel iyonlaşmayı sağlar bu bölgenin en önemli özelliği radyo haberleşmesinde oynadığı roldür. Bu bölgede maksimum elektron yoğunluğu 240 km ile 450 km arasında görülmektedir [6,13]. Bu bölgede O^+ temel iyondur. Bunun yanı sıra H^+ , He^+ , N^+ iyonları da bulunmaktadır (Şekil 2.1).

İyonküre plazması, serbest elektronlar, pozitif iyonlar ve nötr parçacıklardan oluşur. Elektronların kütlesi iyonların kütlesinden çok küçük olduğu için plazma içinde etkin parçacıklar iyonlardır.

F bölgesi, maksimum elektron yoğunluğu (NmF2) değerinin yalnızca $\cos^{1/2}\chi$ faktörüne bağlı olmadığı ölçümler sonucu ortaya çıkmıştır. İyonküre plazmasının rüzgârlar tarafından hareket ettirilmesi fotokimyasal süreçler, bu bölge üzerinde etkili olmaktadır. Bu etkiler dikkate alınarak F2 bölgesinde izlenen anormallikler açıklanabilir [12].

İyonküredeki elektron yoğunluğu bir süreçle oluşurken başka bir süreçle kaybolmaktadır. Ayrıca atmosferdeki dinamik süreçler yoluyla bir bölgeden başka bir bölgeye taşınabilmektedir. Bu durum ise bir bölge için kazanç diğer bir bölge için ise kayıp olmaktadır. D ve E bölgeleri için fotokimyasal süreçler elektron üretiminde en önemli faktör olurken F2 bölgesi için dinamik süreçler önemlidir. Bu nedenle F2 bölgesindeki elektron yoğunluğu üzerine etki eden süreçlere fotokimyasal ve dinamik süreçler olarak ikiye ayırabiliriz.



Şekil 2.1. İyonküredeki nötr atomlar ve iyonların yoğunluklarının yükseklikle değişimi [4]

3. İYONKÜREDEKİ ANORMALLIKLER

3.1. F Bölgesi Anormallikleri

3.1.1. Mevsimsel Anormallik ve Yarı Yıllık-Yıllık Değişmeler

İyonkürenin F2 bölgesinin anormallikler sergilediği bilinmektedir. Öğle saatlerinde NmF2 değerindeki mevsimsel değişime ait birçok anormallik kaydedilmiştir. Gözlemler sonucunda NmF2'nin kış değerlerinin yaz değerlerinden öğle saatlerinde çok daha büyük olduğu bulunmuştur. Bu durum, iyon ve elektron üretiminin kışın çok küçük olmasının beklenmesine ters bir durumdur. Bu durumu genellikle “mevsimsel anormalliği” veya “kış anormalliği” denilmektedir. İyonkürede NmF2'nin yıllık değişimi incelendiğinde elektron yoğunluğunun Aralık ayında Haziran ayındakinden %20 daha fazla olduğu ölçülmüştür. Güneş yer mesafesinin değişiminden dolayı Ocak ayında en büyüktür. Buna da “yıllık anormallik” denir [4].

Gün dönümlerinde NmF2'deki minimumlarla birlikte ekinokslardan maksimum gözlenir. Bu ise “yarıyıllık anormallik” olarak bilinir. Bu anormalliğe düşük enlemlerde çok rastlanır. Günlük değişimlerde öğle saatlerinde, elektron yoğunluğunda küçük bir azalma olur ve minimumlar sabah ve akşamüstü meydana gelir. N_e değerinin akşam saatlerindeki değişiminin özellikle gün batımındaki elektron sıcaklığındaki hızlı düşüslere bağlı olduğu düşünülür. Minimum Güneş lekesinde kış anormalliği ölçülmemiştir. Elektron yoğunluğundaki artışın başlaması kışın yazdan daha büyük bir χ zenit açısıyla olur. Bu açının kışın yaklaşık 97^0 yazın yaklaşık 93^0 olduğu tespit edilmiştir [4].

Yarıyıllık ve mevsimsel anormalliği her ikisinin de atmosferi bileşenlerindeki değişimlere çok sıkı bağlı olduğu bulunmuştur. Anormal olarak kışın yüksek NmF2 değeri, $[O]/[N_2]$ oranında etkilenir. $[O]/[N_2]$ kış mevsim değerleri yaz mevsim değerlerinden büyüktür. Nötr yoğunluktaki bu fark, NmF2'nin öğle zamanı kışın yazdan daha büyük olmasına neden olur. NmF2 değeri gün doğumundan sonra kışın, yazdan daha hızlı bir şekilde artar. Eğer $[O]/[N_2]$ oranı küçük olursa O^+ iyonu yoğunluğunun zamanla değişimi de küçük olur. Orta enlemlerdeki alt iyonkürede kışın, elektron yoğunluğundaki artıştan kaynaklanır. Moleküller gazlar ve atomik gazlar, plazmanın kayıp ve üretim oranlarını kontrol ettiğiinden dolayı düşük bir atomik veya moleküler oran, iyonküredeki düşük elektron yoğunluğundaki artışı verir. Diğer yandan kışın, sabah saatlerindeki hem solar maksimumda hem de solar minimumda

fotokimyasal süreç, taşınma süreçlerinden etkilidir ve bunun etkisi ile elektron yoğunluğu artmaktadır [4,5,6,17].

3.1.2. Gece F2-Bölgesi

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

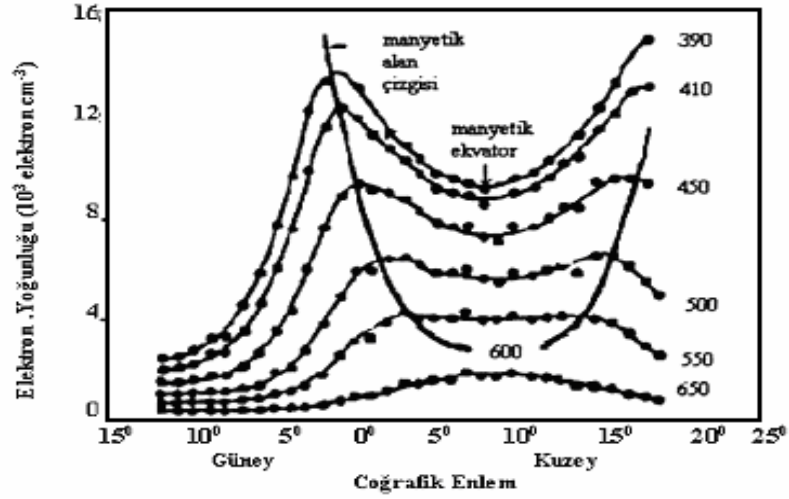
F2 bölgesinde, elektron sıcaklıklarının iyon sıcaklıklarından daha fazla olduğu, gündüz kadar gecede iyi gözlenir. Geceleyin, plazmayı ısıtan bir enerji kaynağı yoktur. Plazma, soğuduğu zaman, yüksek ısı kapasitesine sahip elektron yoğunluğu, elektron sıcaklığı ve elektron yoğunluğu arasındaki pozitif bağıntıyı (kolerasyonu- $Nm \propto T^{-1/2}$) verir. Gece üretim durur. Bu nedenle gece elektron yoğunluğundaki değişimler, kayba ve taşınma süreçlerine bağlı olacaktır. Elektron yoğunluğunun, gece saatlerindeki, yükseklik ve yerel zamana bağlı değişim verilerinin sayısal analizleriyle kayıp, difüzyon ve sürüklenme hızı değerlerini elde etmek mümkündür [4]. Sabit yükseklikte kayıp ve difüzyon değerlerini, gece gündüzden oldukça küçük bulunmuştur. Bu durum gece anormalliğine cevap sağlamaktadır. Gece ve gündüz arasındaki kayıp oranındaki bu fark, sabit yüksekliklerdeki moleküler yoğunlukta büyük fark yaratan ısısal genleşme ve büzülmeden ileri gelir. Ayrıca nötr rüzgarlardan dolayı yukarı doğru sürüklenme etkileriyle de açıklanabilir. Fakat bu mekanizmalar, elektron yoğunluğundaki kayıpları tamamen durdurmaz [4, 18, 23].

Bunlardan başka gece elektron yoğunluğunun artmasına önemli etkisi olan süreç, protonküreden gece aşağı doğru olan H^+ iyonu akışıdır. Gece, O^+ iyonu yoğunluğu gündüze göre daha az olduğu için H^+ tabakası aşağıya iner [1].

3.1.3. Ekvator Anormalliği

Düşük enlemlerdeki F2 bölgesinin davranışı farklıdır. Bazı zamanlarda elektron yoğunluğu, gece yarısı, öğle saatlerinden daha büyük olmaktadır. Burada, düşey yönde oluşan

difüzyon ihmal edilebilir. Çünkü iyonlaşma, yerin manyetik alan çizgilerinin bir tarafından öbür tarafına doğru dağılmaz, alan çizgileri boyunca dağılır. Bu dağılım iyonlaşmanın enlemsel dağılımına etki edebilir. Bunun yanı sıra elektromanyetik sürüklenme de elektron yoğunluğunun günlük değişimine büyük ölçüde etki eder [4,5,13].



Şekil 1.1 Kuzey ve güney yarımkürelerde ekvatorial çukur ve tepeler [1]

Şekil 3.1'den de görüleceği gibi, enlemin bir fonksiyonu olarak NmF₂'nin gece saatlerindeki değerleri, kuzey ve güney yarımkürede 15°-20°enlemlerde "tepelerle" birlikte manyetik dip ekvator üzerinde merkezlenmiş "çukur" denilen bir durum sergiler. Çukur, F₂-tepesinin aşağısındaki ve yukarısındaki sabit yükseklikteki elektron yoğunluğuna ait eğrilerden elde edilir. Burada ekvator çukura ait iki temel teori bulunmaktadır. İlk teori, yerin manyetik alan çizgilerinden aşağıda, yerçekimi altındaki plazmanın difüzyonuna bağlıdır. Bu durum, plazmanın boşalmasına, kuzeyde ve güneydeki yoğunluğa etki eder. Anormalliğin, iyonlaşmanın ekvator bölgesinden dağılmasından kaynaklandığını, kuzey ve güney yarımkürede elektronların birikmesine neden olduğu ileri sürülmüştür. İkinci teoride ise, manyetik alan boyunca gündüz plazmayı yukarı yönlü hareket ettiren sürüklenmeler kullanılır. Süreklilik denkleminin difüzyon ve sürüklenmeyi içeren denge çözümleri, bu mekanizmanın çok kolay gözlenen bir çukur meydana getireceğini ifade etmektedir. Bu önerme, manyetik alanın geometrisi hesaba katılarak, difüzyon denklemleri kullanılarak elde edilir. Bununla birlikte elektromanyetik sürüklenme hesaba katılır. Bu teoride, doğuya doğru olan elektrik alanlar, gün boyunca yukarı yönlü bir plazma sürüklenmesi meydana getirir. Plazma bu yolla yukarı doğru kaldırılır, ekvatorundan uzaklaşarak manyetik alan çizgilerinden aşağıda dağılır. Elektromanyetik sürüklenme ($\perp \mathbf{B}$) ve difüzyon ($\parallel \mathbf{B}$) birleşerek plazma hareketinde "fiskiye" gibi yukarı doğru

artmaya neden olur. Böylece anormallik tepeleri ekvator üzerinde yüksek bölgelerden difüzyon yoluyla beslenir. Burada üretim oranı çok düşüktür. Fakat plazma, üretim oranının daha büyük olduğu F2- tepesi civarında, daha düşük seviyelerden çekilir. Difüzyon ve elektromanyetik sürüklenme birleşimi, alt iyonkürede bir dinamo hareketi meydana getirir [17].

Elektron yoğunluğunun günlük dağılımındaki anormallik günün çoğunda meydana gelir. Çoğunlukla gün batımında oluşur ve gece yarısından sonra gözden kaybolur. Yine anormallik, farklı boylamlarda ve farklı Güneş döngüsünde, farklı özellikler gösterir. Ekinoks (gece gündüz eşitliği) dönemlerdeki periyotlar hariç, çoğu zamanlarda ekvatorial çukur, ekvator üzerinde asimetrik olarak gözlenir. Genel olarak ekvator bölgesinde, elektron yoğunluğundaki anormalliğe neden olan en etkili süreç elektromanyetik sürüklenmedir [18, 19, 21, 23,].

3.1.3.1. Ekvator Anormalliğine Etki Eden Faktörler

a. Plazma Difüzyonu

İyonlar ve elektronlar yerçekimi altında dağılırlar. Bu hareket, nötr havadaki çarpışmalar tarafından engellenir. İyonlar ve elektronlar arasındaki bu dağılım kütlelerine bağlı olarak kendi ölçek yüksekliklerine göre olur. Elektronun ölçek yüksekliği de bu nedenle çok büyüktür. İyonlar ise atmosferin daha alt kısımlarında kendi ölçek yüksekliklerine göre dağılırlar. İyonlar ve elektronlar aynı ϑ_D hızıyla hareket etmek için elektrik kuvvetleri tarafından zorlanır. Oluşan elektrostatik kuvvet elektronları aşağı, iyonları da yukarı doğru çeker. Böylece elektronlar ve iyonlar ortak bir hızla hareket etmeye başlarlar. Bu difüzyon, ambipolar difüzyondur. N_e elektron yoğunluğunun sadece düşey yönde değiştiği kabulüyle ϑ_D hızı:

$$\vartheta_D = -D \left[\frac{1}{N} \frac{dN}{dh} + \frac{1}{2H_p} \right] \quad (3.1)$$

dır. Burada $D = 2kT/m_i v_i$ ambipolar difüzyon katsayısı ve $H_p = kT_p/m_i g$ plazma ölçek yüksekliğidir. Yer'in manyetik alanından dolayı ϑ_D hızının düşey doğrultudaki bileşeni aşağıdaki gibidir.

$$W_D = \vartheta_D \sin I = -D \left[\frac{1}{N} \frac{\partial N}{\partial h} + \frac{1}{H_p} \right] \sin^2 I \quad (3.2)$$

Aşağı doğru olan W_D hızı, F_2 bölgesini aşağı iter, yukarı doğru olan W_D hızı ise bölgeyi yukarı doğru kaldırır. Ayrıca manyetik alanın geometrisinden dolayı W_D hızı, manyetik alanın yeryüzüne dik olduğu kutup bölgesinde en fazla etkiye sahiptir.

b. Nötr Rüzgârlar

Güneş ışınlarından kaynaklanan günlük ısınma ve soğuma genelde gündüz Dünyanın sıcak bölgesinden gece daha soğuk bölgesine doğru esen yatay rüzgârlara neden olur. Yatay yönlü bu rüzgâr gündüz ve gece arasındaki sıcaklık farkının sebep olduğu basınç farkından dolayı yüksek basınçtan alçak basınca doğru eser.

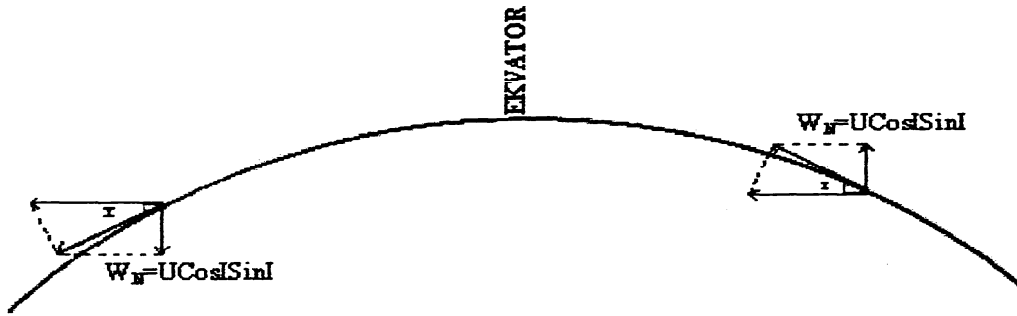
Rüzgârlar yatay yönde esmesine karşın iyon ve elektronlar manyetik alan boyunca harekete zorlanırlar. Yatay rüzgârın manyetik alan boyunca iz düşümü:

$$\vartheta = U \cos(D - \theta) \cos I \quad (3.3)$$

ile verilir. Düşey bileşeni ise

$$W_N = -(U_D \sin D + U_K \cos D) \sin I \cos I \quad (3.4)$$

şeklinde [4,17, 21].



Şekil 3. 2 Nötr rüzgârın düşey hızı

Denklem 3.4'de D ; dik açıklık (deklınasyon), I ; manyetik eğim, U_D , U_K ; karşılıklı olarak doğu ve kuzey yönde esen rüzgâr hızıdır. Şekil 3.3'de nötr rüzgârın düşey hızının geometrisi gösterilmiştir. Nötr rüzgârın etkisiyle, elektron yoğunluğunun günlük dağılımına ait eğrilerde ısırtık görünümünde bir azalma görülür.

$$\mathbf{v}_e = \frac{\mathbf{E} \times \mathbf{B}}{B^2} \quad (3.5)$$

ile verilmektedir. Bu hızın düşey bileşeni

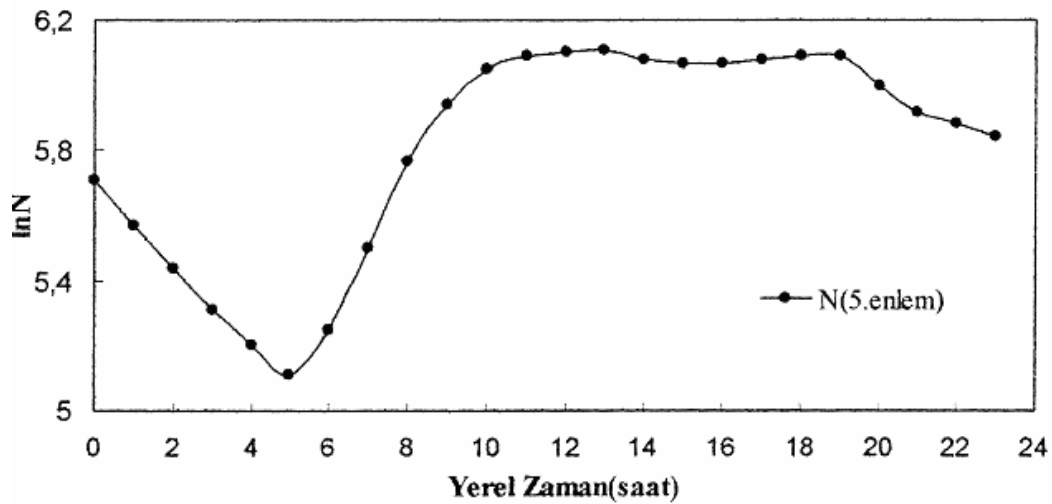
$$W_e = \frac{E_y}{B} \cos I \quad (3.6)$$

şeklinde. Burada gündüz elektrik alan doğuya doğru olurken W_e hızı yukarı doğru olmakta ve F2-bölgesini yukarı kaldırmakta; gece ise elektrik alanın yönü batıya ve W_e hızının yönü aşağı doğru olmaktadır. Bu nedenle orta enlemlerde gece aşağı doğru olan elektromanyetik sürüklenme elektron yoğunluğundan çok az bir kayba neden olmaktadır [18].

Elektromanyetik sürüklenme, Yer'in manyetik alanının paralel ekvatorial bölgede çok etkilidir. Ekvatorial anormalliğin temel nedeninin elektromanyetik sürüklenme olduğu ve aynı zamanda bu sürüklenmenin dip ekvatorunda öğle saatlerinde bir azalmaya neden olduğu gözlenmiştir [25].

Şekil 3.4'e göre, elektromanyetik sürüklenmenin, elektron yoğunluğunda öğle saatlerinde bir azalma meydana getirdiği görülmektedir. Elektromanyetik sürüklenmeyle birlikte nötr rüzgarların düşük enlemlerde NmF2'de gün batımından biraz önce anormalliğe neden olduğu saptanmıştır [17]. Şekil 3.4'te bu açıkça görülmektedir.

Bundan dolayı nötr rüzgarlarla birlikte elektromanyetik sürüklenmeler göz önüne alınarak F2 bölgesinde gözlenen birçok anormallik açıklanabilir. Çünkü nötr rüzgarlar elektrik alanını, elektrik alanı ise yatay yönde bir hava hareketi yaratır.



Şekil 3.4 Elektron yoğunluğunun yerel zamana göre değişimi [13].

d. Isıl Genleşme ve Büzülme

F-bölgesinde emilen Güneş ışınımı, nötr havanın ısıl genleşmesi ve büzülmesi tarafından eşlik edilen günlük sıcaklık değişimine neden olur. Hava yatay ve düşey olarak hareket eder ve plazmayı manyetik alanın yönlendirilmesiyle elde edilen bir mesafeye taşır.

Orta enlemlerde, manyetik alan eğime sahiptir. Hava, plazmayı düşey yönde gündüz genişletir, gece ise düşey yönde büzer [11], $NmF2 \propto T^{-1/2}$ olduğunu, ancak tepe noktası aşığındaki sabit yüksekliklerde elektron yoğunluğunun ısınma ile azaldığını buldu [17]. Buna bağlı olarak atmosferin en sıcak olduğu zaman, öğle saatlerinde sık sık meydana gelen elektron yoğunluğundaki azalmalar için bunun hesaplanabileceğini öne sürmüştür.

3.2. F2 Bölgesi Ekvator Anormalliği

Coğrafik ekvator ile ilişkili bir durum değildir. Düşük enlemlerde, ekvatorial anormalliğin nedeni elektromanyetik sürüklenmedir [17]. Elektron yoğunluğundaki artışlar veya azalmalar, elektrik alanında meydana gelen değişimlerden kaynaklanmaktadır. Elektromanyetik sürüklenme, ambipolar difüzyona etki ederek yoğunluğun başka bölgelere kaymasına neden olur. Orta enlemlerde ise, en etkili taşınma süreci nötr rüzgarlardır. Nötr rüzgarlar, plazmayı aşağı ve yukarı hareket ettirerek elektron yoğunluğundaki değişime etki eder [13,25].

4. PLAZMANIN KIRILMA İNDİSİ

4.1. Soğuk Plazmanın Kırılma İndisi

İyonküre plazmasının elektrik iletkenliği ve kırılma indisi, elektronun çarpışma frekansına ve dalga frekansına bağlıdır. Çarpışma frekansı, dalganın yansıma ve kırılma şartlarını değiştirmektedir. Plazmada termik hareketler göz önüne alınmazsa bu soğuk plazmayı tanımlar [2, 3, 7].

İlgili literatürden de yararlanılarak, yukarıda değinilen durumların göz önüne alınmasıyla elde edilen soğuk plazmaya ilişkin denklemler aşağıdaki gibidir.

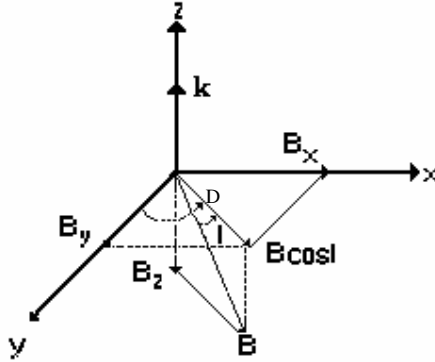
4.1.1. Dalga Denklemleri

Kütlesi m , hızı \mathbf{V} olan bir elektronun üzerine etki eden kuvvet,

$$m \frac{d\mathbf{V}}{dt} = -e[\mathbf{E} + \mathbf{V} \times \mathbf{B}] - m\nu \mathbf{V} \quad (4.1)$$

dır. Hız ve alanların $e^{i(\mathbf{k} \cdot \mathbf{r} - \omega t)}$ şeklinde değiştiği kabul edilecektir. Bu çalışmada, kuzey yarımkürede dalga z doğrultusunda ilerlemektedir. Yerel manyetik alanı,

$$\mathbf{B} = B_x \mathbf{a}_x + B_y \mathbf{a}_y + B_z \mathbf{a}_z \quad (4.2)$$



Şekil.4.1. Dünyanın manyetik alanının geometrisi

Burada, $B_x = B \cos I \sin D$, $B_y = B \cos I \cos D$ ve $B_z = -B \sin I$ dir. I manyetik dip ve D manyetik deklinasyon açısıdır. Bu çalışmada kullanılacak diğer notasyonlar şu şekildedir.

n: Kırılma İndisi

N: Elektron Yoğunluğu

$\mathbf{J} = -Ne\mathbf{V}$: Elektronun Akım Yoğunluğu

ω :Dalganın Açısal Frekansı

ω_p : Elektronun Plazma Frekansı

$v_e = v_{ei} + v_{en}$:Elektron- İyon ve Elektron- Nötr Çarpışma Frekansdır

ω_c :Elektron Siklotron Frekansı

Bunlar plazma parametrelerine bağlı olarak;

$$\omega_{cx} = \frac{eB_x}{m}, \omega_{cy} = \frac{eB_y}{m} \text{ ve } \omega_{cz} = \frac{eB_z}{m} \text{ dir.}$$

$$Z = \frac{v}{\omega}, X = \frac{\omega_p^2}{\omega^2}, U = 1 + i \frac{v}{\omega}, Y = \frac{\omega_c}{\omega}$$

şeklinde verilir. Burada;

$$Y_x = Y \cos I \sin d, Y_y = Y \cos I \cos d, Y_z = -Y \sin I$$

dir.

Bağıntı 4.1'den akım yoğunluğu:

$$\mathbf{J} = \sigma_0 \mathbf{E} - \frac{e}{m(v - i\omega)} \mathbf{J} \times \mathbf{B} \quad (4.3)$$

olarak elde edilir. Burada $\sigma_0 = \frac{Ne^2}{m(v - i\omega)}$ boyuna iletkenliktir. Bu ifadenin çözümünden akım,

$$\mathbf{J} = \sigma \mathbf{E} \quad (4.4)$$

şeklinde yazılırsa, iletkenlik tensörü σ ,

$$\sigma = \begin{bmatrix} \sigma_{xx} & \sigma_{xy} & \sigma_{xz} \\ \sigma_{yx} & \sigma_{yy} & \sigma_{yz} \\ \sigma_{zx} & \sigma_{zy} & \sigma_{zz} \end{bmatrix} \quad (4.5)$$

elde edilir. Tensörün elemanları aşağıdaki şekildedir.

$$\sigma_{xx} = \Gamma \sigma_0 [\omega_{cx}^2 + (v - i\omega)^2]$$

$$\sigma_{xy} = \Gamma \sigma_0 [\omega_{cx} \omega_{cy} - \omega_{cz} (v - i\omega)]$$

$$\sigma_{xz} = \Gamma \sigma_0 [\omega_{cx} \omega_{cz} + \omega_{cy} (v - i\omega)]$$

$$\sigma_{yx} = \Gamma \sigma_0 [\omega_{cx} \omega_{cy} + \omega_{cz} (v - i\omega)]$$

$$\sigma_{yy} = \Gamma \sigma_0 [\omega_{cy}^2 + (v - i\omega)^2]$$

$$\sigma_{yz} = \Gamma \sigma_0 [\omega_{cy} \omega_{cz} - \omega_{cx} (v - i\omega)]$$

$$\sigma_{zx} = \Gamma \sigma_0 [\omega_{cx} \omega_{cz} - \omega_{cy} (v - i\omega)]$$

$$\sigma_{zy} = \Gamma \sigma_0 [\omega_{cy} \omega_{cz} + \omega_{cx} (v - i\omega)]$$

$$\sigma_{zz} = \Gamma \sigma_0 [\omega_{cz}^2 + (v - i\omega)^2]$$

$$\Gamma = [\omega_{cx}^2 + \omega_{cy}^2 + \omega_{cz}^2 + (v - i\omega)^2]^{-1}$$

Ortamın kırılma indisini elde etmek için, Maxwell denklemleri,

$$\nabla \times \mathbf{E} = i\omega \mathbf{B} \quad (4.6)$$

$$\nabla \times \mathbf{B} = \mu_0 \sigma \mathbf{E} - i\omega \mu_0 \mathbf{E} \quad (4.7)$$

şeklinde yazılabilir ve buradan,

$$n^2 \mathbf{E} - \mathbf{n}(\mathbf{n} \cdot \mathbf{E}) = \left[I + \frac{i}{\epsilon_0 \omega} \sigma \right] \mathbf{E} \quad (4.8)$$

elde edilir. I birim matristir. Şekil 4.1'deki geometri ve bağıntı 4.5 kullanılarak bu ifade

$$\begin{bmatrix} n^2 - 1 - \frac{i}{\epsilon_0 \omega} \sigma_{xx} & -\frac{i}{\epsilon_0 \omega} \sigma_{xy} & -\frac{i}{\epsilon_0 \omega} \sigma_{xz} \\ -\frac{i}{\epsilon_0 \omega} \sigma_{yx} & n^2 - 1 - \frac{i}{\epsilon_0 \omega} \sigma_{yy} & -\frac{i}{\epsilon_0 \omega} \sigma_{yz} \\ -\frac{i}{\epsilon_0 \omega} \sigma_{zx} & -\frac{i}{\epsilon_0 \omega} \sigma_{zy} & -1 - \frac{i}{\epsilon_0 \omega} \sigma_{zz} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_x \\ E_y \\ E_z \end{bmatrix} = 0 \quad (4.9)$$

şeklinde bir matrise dönüşür. Bu matris dalganın ilerlemesiyle ilgili bilgileri içermektedir.

Bunun çözümü kırılma indisini verir [2].

4.1.2. Dalgalar ve Kırılma İndisi

Düşey iyon sondalarda olduğu gibi, dalga z doğrultusunda (Şekil 4.1, \mathbf{k}/\mathbf{B}) ilerlemektedir. Bu nedenle, Yer'in manyetik alanının düşey bileşeni dalganın ilerlemesine etki eder. Bu şartlarda bağıntı 4.9'un determinantının çözümünden,

$$a) \omega_p^2 = \omega^2 U \quad \text{Plazma titreşimidir} \quad (4.10)$$

$$b) n_k^2 = 1 - \frac{X(1 \mp Yz)}{(1 \mp Yz)^2 + Z^2} + iZ \frac{X}{(1 \mp Yz)^2 + Z^2} \quad (4.11)$$

olarak bulunur. Bunlar sağa (-) ve sola (+) kutuplanmış iki dalgadır. Aynı zamanda Yer'in manyetik alanının B_y bileşeni, y doğrultusunda da dalga meydana getirir. Bu ise,

$$a) n_0^2 = 1 - \frac{X}{1 + Z^2} + iZ \frac{X}{1 + Z^2} \quad (4.12)$$

ordinari dalgadır. Bu dalga Yer'in manyetik alanına bağlı değildir. Diğeri ise,

$$b) n_{ex}^2 = 1 - \frac{aX(1 - X) + Z^2 X(2 - X)}{a^2 + b^2} + iZ \frac{X(1 - X)(2 - X) - aX}{a^2 + b^2} \quad (4.13)$$

ise extraordinary dalgadır. Burada $a = 1 - x - Yy^2 - Z^2$ ve $b = z(2 - x)$ 'dir. Bağntı (4.13) ile verilen dalga aynı zamanda x doğrultusunda da görülmektedir. Sadece a ve b içindeki Y_y , Y_x olacaktır. Çarpışmalar ihmal edildiğinde, kırılma indislerinin kareleri (4.10 – 13) kompleks bir ifadedir.

Eğer kırılma indisi $n^2 = (\alpha + i\beta)^2 = M + iN$ şeklinde yazılırsa reel ve sanal kısımları,

$$\alpha^2 = \frac{1}{2} \left[(M^2 + N^2)^{1/2} + M \right] \quad (4.14)$$

$$\beta^2 = \frac{1}{2} \left[(M^2 + N^2)^{1/2} - M \right] \quad (4.15)$$

olmaktadır. Elektronun diğer parçacıklarla çarpışması, kırılma indisinin reel (α) ve sanal (β) kısımları üzerine etki etmektedir. Dalganın sönüme uğraması β ile temsil edilmektedir. Yüksek frekanslı dalgalarda (HF), $Z \ll 1$ olmaktadır. Bu nedenle, $(1 + Z^2)^{-1} \approx 1 - Z^2$ şeklinde açılabilir. Kutuplanmış (4.12), ordinari (4.13) ve extraordinary (4.14) dalgalara ait kırılma indislerinin reel kısımları ve faz hızları bu açılım kullanılarak hesaplanmıştır. Eğer ($\mathbf{k} \perp \mathbf{B}$) ise, burada yalnız manyetik alandan bağımsız ordinari, manyetik alana bağımlı extraordinary dalgalar oluşmaktadır. ($\mathbf{k} // \mathbf{B}$) durumunda da z yönünde kutuplanmış veya boyuna dalgalar meydana gelir, x ve y 'de extraordinary dalgalar oluşmaktadır [11,28].

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, yükseklik 270 km, $\omega=5.10^6$ Rad/sn, $\mathbf{B}=0.3$ Gauss, $R=10$ (Güneş lekesi) ve 30^0 doğu boylamında IRI programı kullanılarak orta enlemlerin kırılma indisinin karesi üzerine etkisi 1200 YZ ve 2400 YZ için araştırılmıştır. Bulgular bölümünde yer alan şekillerde (-) güney yarım küre enlemlerini (G), (+) ise kuzey yarım küre enlemlerini (K) göstermektedir.

5.1. Ordinari Dalga

Bölüm 4'te elde ettiğimiz ordinari (4.12) dalga denkleminde

$$n_0^2 = 1 - \frac{X}{1+Z^2} + iZ \frac{X}{1+Z^2}$$

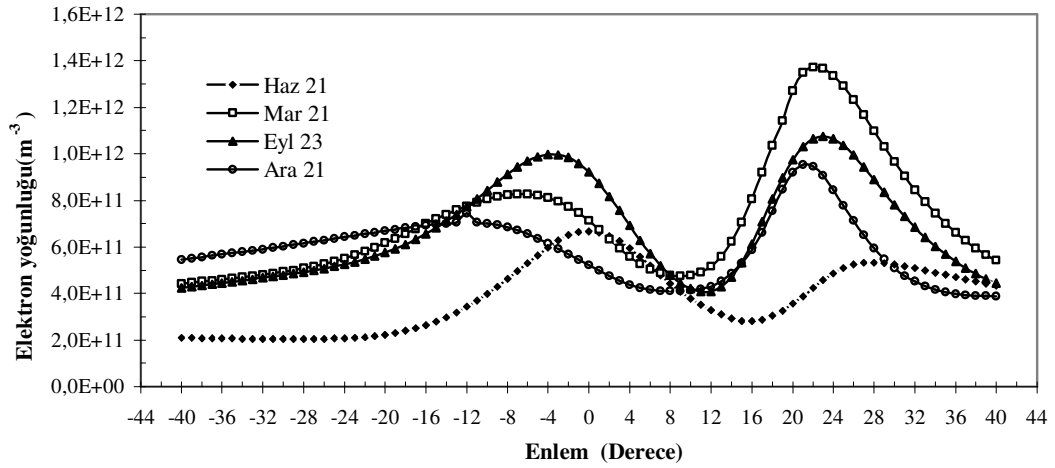
$Z=0$ alınırsa denklem,

$$n_0^2 = 1 - X \quad (5.1)$$

$$n_0^2 = 1 - \frac{\omega_p^2}{\omega^2} \quad (5.2)$$

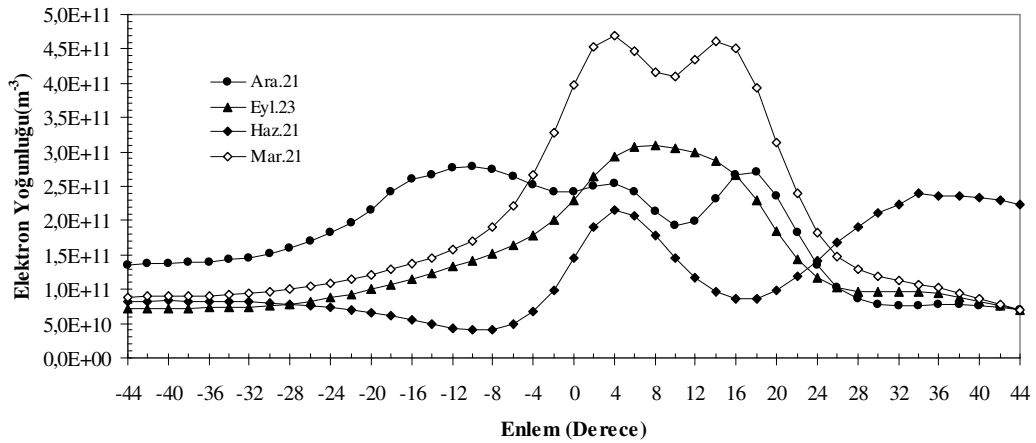
şeklinde elde edilir.

Şekil 5.1'e göre 23 Eylül'de 1200 YZ'de 4^0 G enleminde elektron yoğunluğu maksimum ve diğer tüm zamanlarından daha fazladır. Yaklaşık olarak 8^0 K ile 16^0 K enlemleri arasında elde edilen değerler bütün mevsimlerde (1200 YZ–2400 YZ) minimum olmaktadır. Ancak tekrar 20^0 K ile 28^0 K enlemlerindeki değerler her dört mevsimde maksimum oluşturmaktadır. Elektron yoğunlukları karşılaştırılırsa büyükten küçüğe doğru 21 Mart (1200 YZ), 23 Eylül (1200 YZ), 21 Aralık (1200 YZ), 21 Haziran (1200 YZ) olarak sıralanmaktadır.



Şekil 5.1. Elektron yoğunluğunun enlem ve mevsimlerle değişimi (1200 YZ).

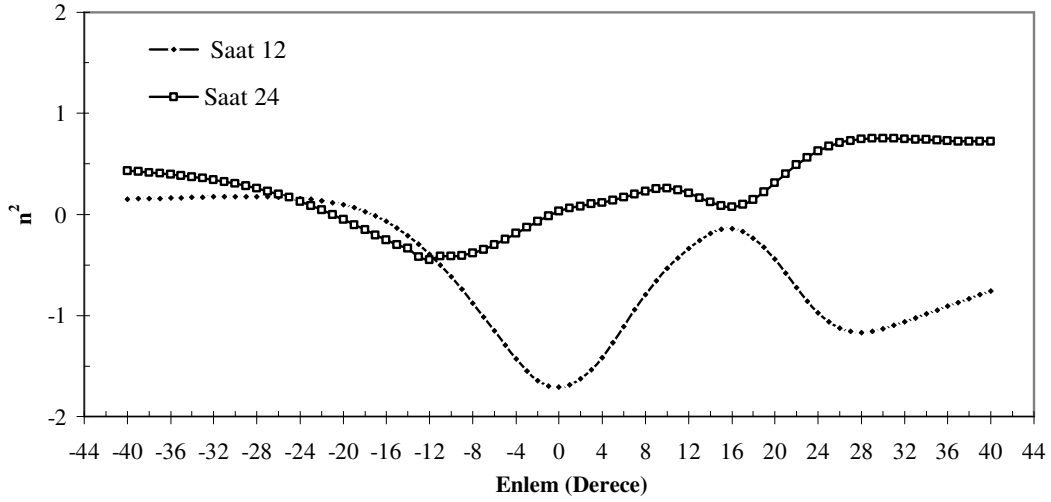
Orta enlemler için elektron yoğunluğunun gece değişimlerine (2400 YZ) ait değerler Şekil 5.2'de verilmiştir. Bu şekle göre 21 Aralık'da (2400 YZ) elektron yoğunluğunun 12° G enleminde maksimum olduğu görülmüştür. Diğer mevsimler için (Mart 21, Haziran 21, Eylül 23) 0° enlemi ile 20° K enlemi arasında maksimumlar görülmektedir. En büyük elektron yoğunluğuna 21 Mart'ta erişildiği görülmektedir. Burada 8° K enleminden sonra bir azalış, 12° K enleminde ise tekrar küçük bir artış görülmektedir. Elektron yoğunluğu bakımından 21 mart'tan sonra 23 Eylül'de maksimum olduğu görülmektedir. Ayrıca en küçük tepesinde 4° K enleminde 21 Haziranda olduğu görülmektedir.



Şekil 5.2. Elektron yoğunluğunun enlem ve mevsimlerle değişimi (2400 YZ).

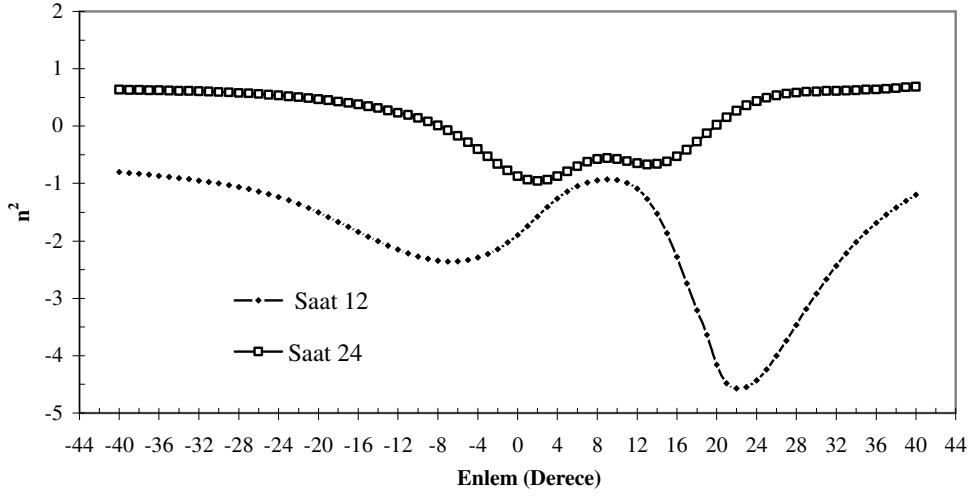
Ordinari dalganın ($Z=0$ 'da) denklem 5.2'ye göre kırılma indisinin karesinin orta enlemlerdeki değişimi Şekil 5.3, Şekil 5.4, Şekil 5.5, Şekil 5.6 ve Şekil 5.7 'de verilmiştir.

Şekil 5.3'e göre 1200 YZ'da 0° enleminde ordinari dalganın kırılma indisinin karesi minimum ve aldığı değerler negatif olmaktadır. 2400 YZ'da ise aynı enleminde yaklaşık olarak maksimum ve aldığı değerler pozitif olmaktadır. 1200 YZ için 16° K enleminde tekrar maksimum olmaktadır 28° K enleminde tekrar minimum ve negatif olmaktadır. 2400 YZ için 16° K enleminde bir minimum ve 28° K enleminde bir maksimum olmaktadır, aldığı değerler pozitifdir. Ordinari dalganın kırılma indisinin karesinin orta enlemlerde değişimi saat 1200 ve 2400 YZ'da asimetrikdir.



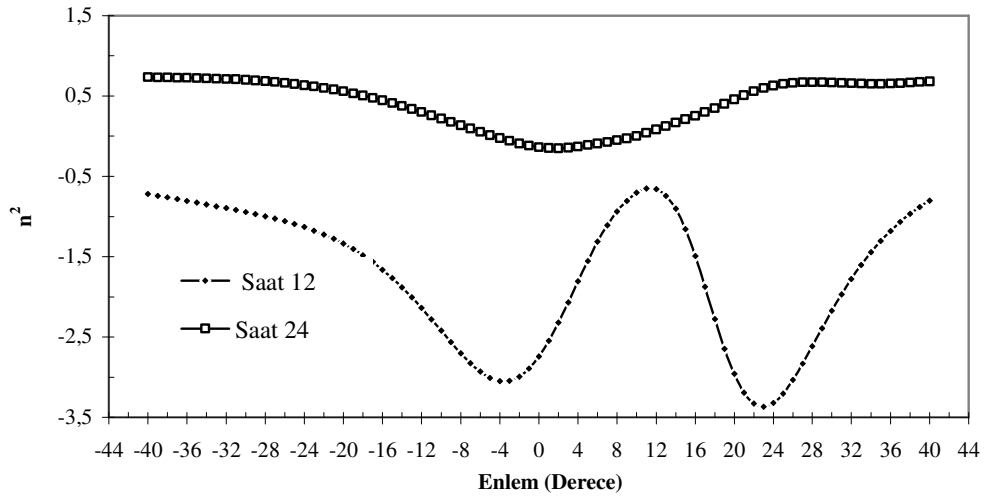
Şekil 5.3. Ordinari dalganın kırılma indisinin karesinin enlemlerle değişimi (21 Haziran).

Şekil 5.4, 21 Mart (1200–2400 YZ) için kırılma indisinin karesinin orta enlemlerdeki değişimini göstermektedir. Şekil 5.4'e göre 1200 YZ için 8° G enleminde minimum 8° K enleminde maksimum, 20° K enlemi ile 24° K enlemleri arasında ise tekrar bir azalma görülmektedir ve aldığı değerler sürekli negatiftir. 2400 YZ için 16° G enlemi ve 20° K enlemi arasında bir azalma, ve aldığı değerler bakımından negatif görülmektedir. Ancak diğer enlemlerde kırılma indisinin karesinin değerleri pozitifdir.



Şekil 5.4. Ordinari dalganın kırılma indisinin karesinin enlemlerle değişimi (21 Mart).

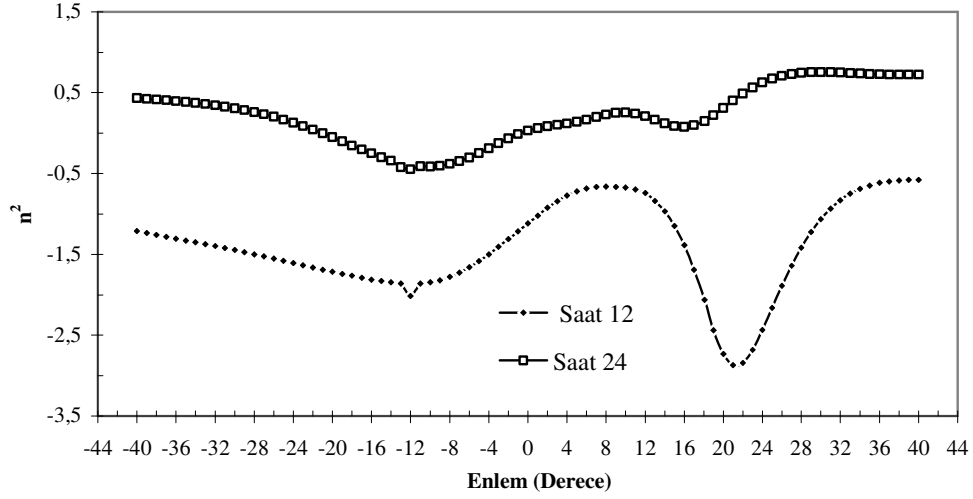
Şekil 5.5, 23 Eylül (1200–2400 YZ) için kırılma indisinin karesinin orta enlemlerdeki değişimini göstermektedir. Bu şekle göre, 1200 YZ'da 4^0 G enleminde minimum 12^0 K enleminde maksimum, 22^0 K enleminde tekrar minimum ve aldığı değerler bakımından da sürekli negatif olmaktadır. 2400 YZ'da ise 0^0 enlemi için minimum olmakta ve değerce sürekli pozitifdir.



Şekil 5.5. Ordinari dalganın kırılma indisinin karesinin enlemlerle değişimi (23 Eylül).

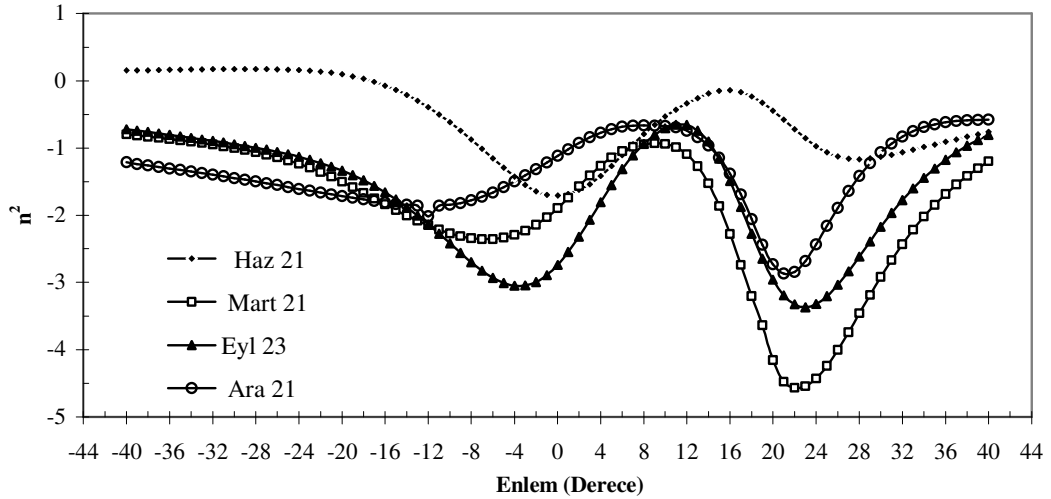
Şekil 5.6'da ordinari dalganın kırılma indisinin karesinin orta enlemler için 21 Aralık (1200–2400 YZ)'daki değişimini göstermektedir. Bu şekle göre 1200 YZ için 8^0 K enleminde

maksimum, 22° K enleminde minimum, 36° K enleminde ise tekrar maksimum olmaktadır, ancak değerce negatiftir. 2400 YZ için 10° G enleminde minimum ve 30° K enleminde maksimum olup değerleri sürekli pozitiftir. Gece saatlerinde kırılma indisinin karesi sürekli olarak gündüz saatlerinin üstünde değerlere sahip .ve bu değerlerin genellikle pozitif olduğu görülmüştür.

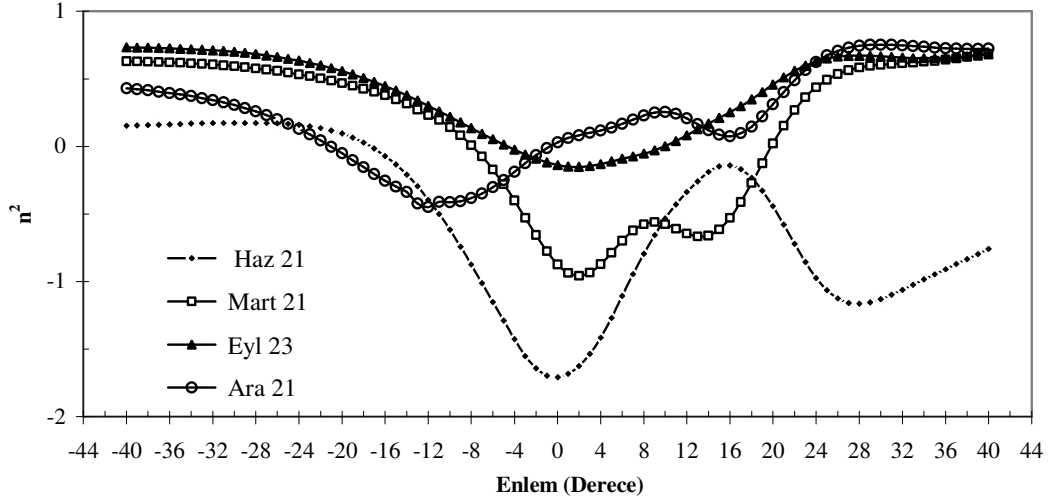


Şekil 5.6. Ordinari dalganın kırılma indisinin karesinin enlemlerle değişimi (21 Aralık).

Şekil 5.7 ve Şekil 5.8’de kırılma indisinin karesinin orta enlemlerdeki mevsimsel değişimi ile 1200 YZ ve 2400 YZ’deki değişimler birlikte verilmiştir.



Şekil 5.7. Ordinari dalganın kırılma indisinin karesinin enlem ve mevsimlerle değişimi(1200 YZ)



Şekil 5.8. Ordinari dalganın kırılma indisinin karesinin enlem ve mevsimlerle değişimi (2400 YZ).

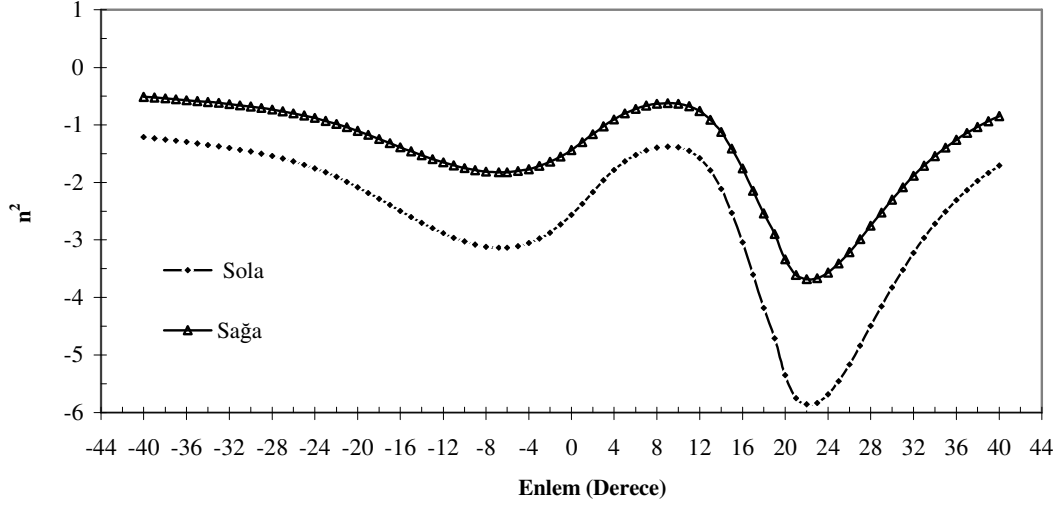
5.2 Kutuplanmış Dalgalar

4.11 denkleminde $Z=0$ alınırsa kırılma indisi,

$$n^2 = 1 - \frac{X}{1 \mp Y} \quad (5.3)$$

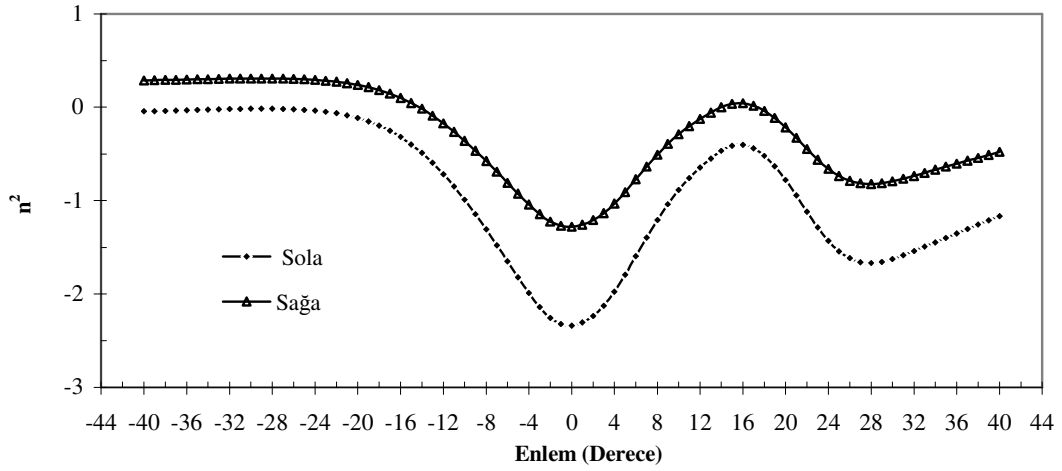
şeklini alır. Burada (-) sağa ve (+) sola kutuplanmış dalgaları göstermektedir.

Şekil 5.9, 21 Mart, 1200 YZ için sağa ve sola kutuplanmış dalgaların kırılma indisinin orta enlemlerdeki değişimini göstermektedir. Bu şekle göre, sağa kutuplanmış dalganın kırılma indisinin karesi 40° G enleminden itibaren azalarak 9° G enleminde minimum olmakta ve tekrar artarak yaklaşık 9° K enleminde maksimum, ve azalarak 23° K enleminde minimum olmaktadır. Bu dalganın kırılma indisinin karesi sürekli olarak negatif değerler almaktadır. Sola kutuplanan dalga sürekli sağa kutuplanan dalganın altında bir değere sahiptir. Her iki dalga türünün de enlemlerle değişim eğilimleri birbirlerine benzemektedir.



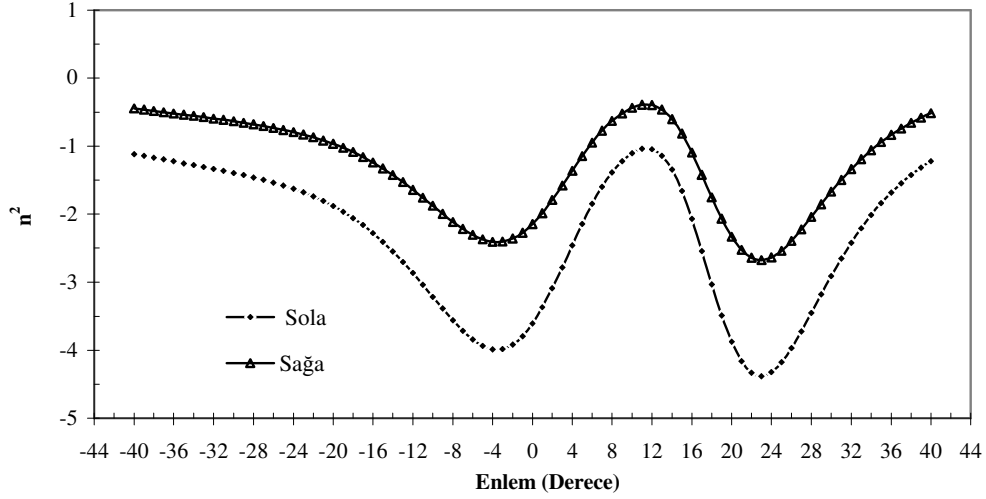
Şekil 5.9. Kutuplanmış dalganın kırılma indisinin karesinin enlemle değişimi (21 Mart, 1200 YZ).

Şekil 5.10, 21 Haziran, 1200 YZ için sağa ve sola kutuplanmış dalgaların kırılma indisinin orta enlemlerdeki değişimini göstermektedir. Bu şekle göre sağa kutuplanmış dalga 20^0 G enleminden itibaren azalmakta, 0^0 enleminde minimum olmakta, tekrar yükselerek 16^0 K enleminde maksimum ve tekrar azalarak 28^0 K enleminde minimum olmaktadır, değerce sürekli negatiftir. Sola kutuplanan dalga ise sağa kutuplanan dalgaya benzer bir değişim göstererek sürekli sağa kutuplanan dalganın üzerinde değerler almaktadır.



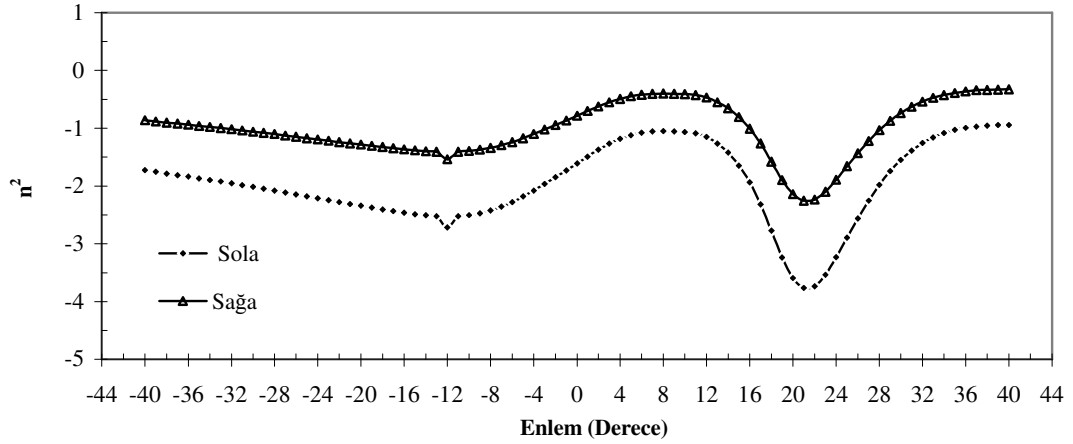
Şekil 5.10. Kutuplanmış dalganın kırılma indisinin karesinin enlemle değişimi (21 Haziran, 1200 YZ).

Şekil 5.11, 23 Eylül, 1200 YZ için sağa ve sola kutuplanmış dalgaların kırılma indisinin orta enlemlerdeki değişimini göstermektedir. Bu şekle göre sağa kutuplanan dalga sürekli sola kutuplanan dalganın üzerinde benzer bir değişim göstermektedir. Her iki dalga da benzer değişim göstererek yaklaşık 2^0 G enleminde minimum 10^0 K enleminde maksimum, tekrar azalarak 24^0 K enleminde minimum olmaktadır.



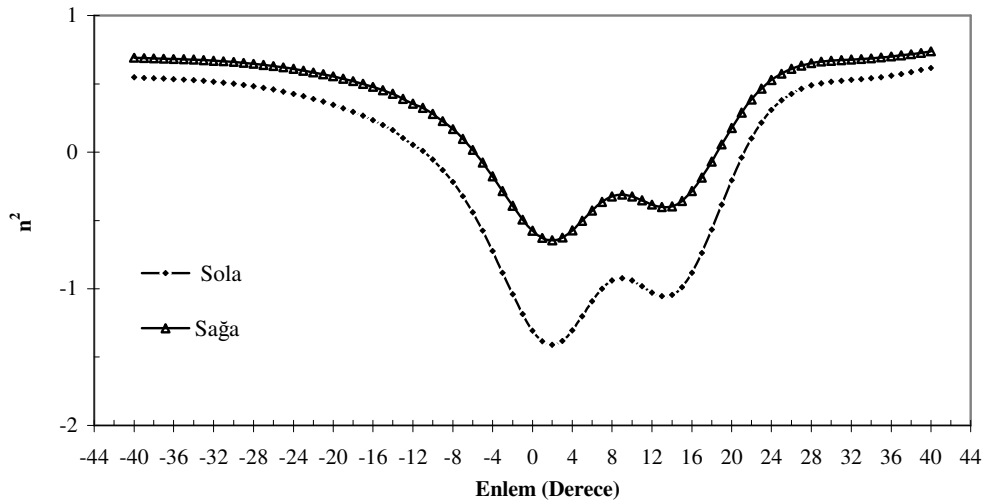
Şekil 5.11. Kutuplanmış dalganın kırılma indisinin karesinin enlemlerle değişimi (23 Eylül, 1200 YZ).

Şekil 5.12, 21 Aralık, 1200 YZ için sağa ve sola kutuplanmış dalgaların kırılma indisinin orta enlemlerdeki değişimini göstermektedir. Bu şekle göre sola kutuplanan dalga, kırılma indisinin karesinin aldığı değer bakımından, sürekli olarak sağa kutuplanan dalganın değerce altındadır. 40^0 G enleminde itibaren azalır ve 12^0 G enleminde sonra tekrar artar. 8^0 K enleminde maksimum, sonra tekrar azalarak 22^0 K enleminde minimum olmaktadır. Hem sağa kutuplanan dalga hem de sola kutuplanan dalganın kırılma indisinin karesinin aldığı değerler negatiftir.



Şekil 5.12. Kutuplanmış dalganın kırılma indisinin karesinin enlemle değişimi (21 Aralık, 1200 YZ).

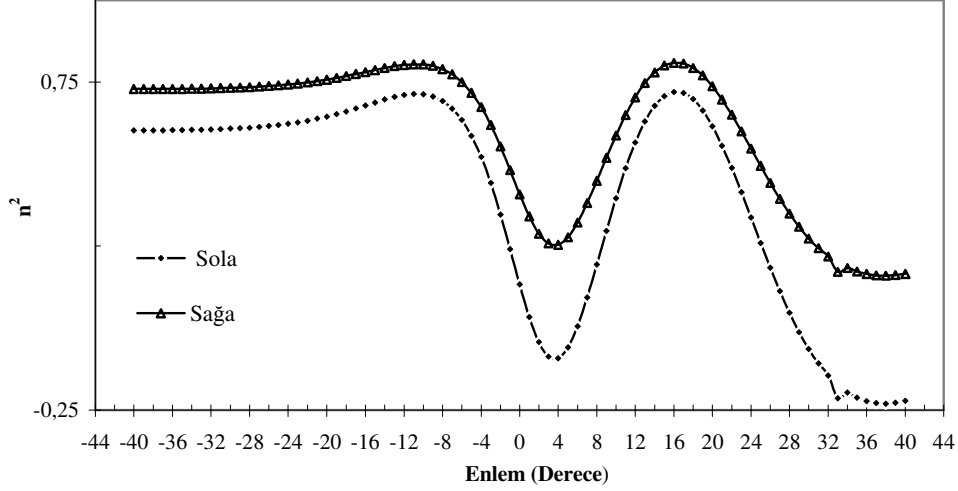
Şekil 5.13, 21 Mart, 2400 YZ için sağa ve sola kutuplanmış dalgaların kırılma indisinin orta enlemlerdeki değişimini göstermektedir. Bu şekle göre sağa kutuplanan dalga değerce sürekli sola kutuplanan dalganın üzerindedir. Her iki dalgada birbirine benzer bir değişim göstermektedir. Her iki dalga da 40° G enleminden itibaren azalarak pozitif bir değer almaktadır. 2° K enleminde ikisi de minimum olmaktadır. 4° K enleminden itibaren tekrar artarak 25° K enleminde maksimum olmaktadır. Ancak 8° G enlemi ve 20° K enlemi arasında her iki dalga da negatif değerler almaktadır.



Şekil 5.13. Kutuplanmış dalganın kırılma indisinin karesinin enlemle değişimi (21 Mart, 2400 YZ).

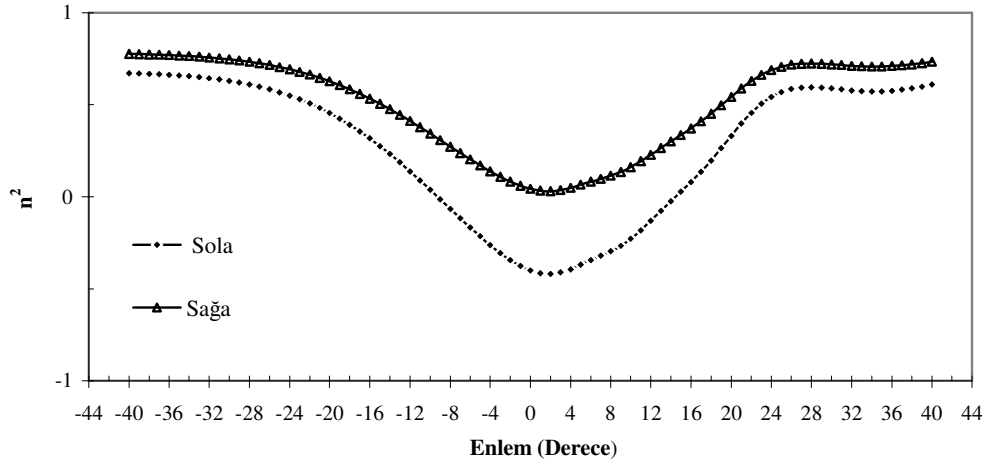
Şekil 5.14, 21 Haziran, 2400 YZ için sağa ve sola kutuplanmış dalgaların kırılma indisinin orta enlemlerdeki değişimini göstermektedir. Bu şekle göre sağa kutuplanan dalga

değerce sola kutuplanan dalganın üzerindedir. Kırılma indisinin karesi her iki dalga için de pozitif olurken sadece sola kutuplanan dalga 4° G ve 8° K enlemleri arasında negatif olmaktadır. Her iki dalga 4° K enleminde minimum, sonra tekrar artarak 16° K enleminde maksimum olmaktadır.



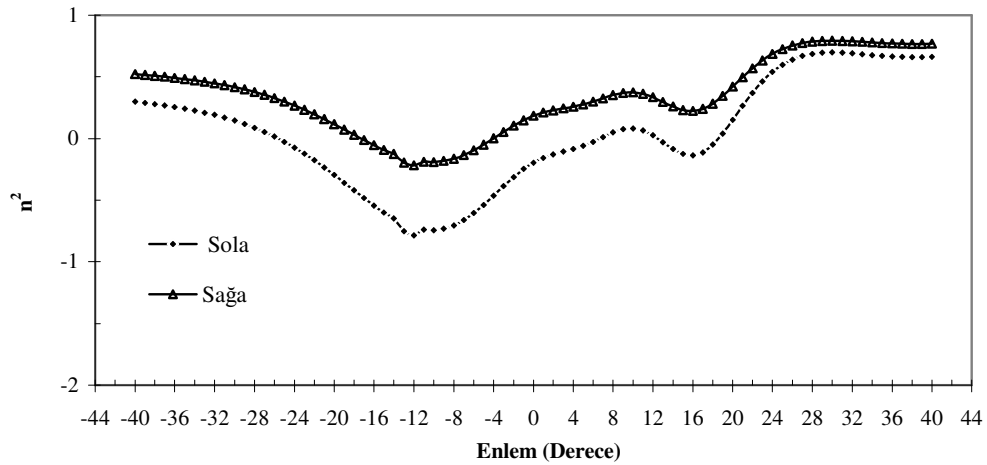
Şekil 5.14. Kutuplanmış dalganın kırılma indisinin karesinin enlemle değişimi (21 Haziran, 2400 YZ)

Şekil 5.15, 23 Eylül, 2400 YZ için sağa ve sola kutuplanmış dalgaların kırılma indisinin orta enlemlerdeki değişimini göstermektedir. Şekilde görüldüğü gibi sağa kutuplanan dalga değerce sürekli sola kutuplanan dalganın üzerindedir. Hem sağa hem sola kutuplanan dalganın kırılma indisinin 32° G enleminde itibaren azalarak 0° enleminde minimumlar oluşturduğu görülmektedir. 0° enleminde itibaren tekrar artma eğilimi gösterip, 25° K enleminde tekrar maksimumlar oluşmaktadır. Kırılma indisinin karesi, sağa kutuplanan dalga için sürekli pozitif değerlerde iken, sola kutuplanan dalga için 16° G ve 16° K enlemleri arasındaki değerleri negatiftir.



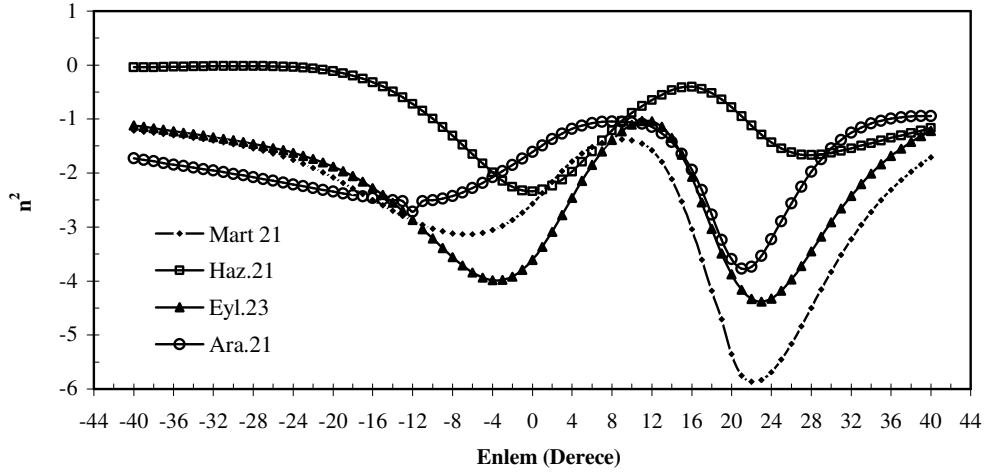
Şekil 5.15. Kutuplanmış dalganın kırılma indisinin karesinin enlemle değişimi (23 Eylül, 2400 YZ).

Şekil 5.16, 21 Aralık, 2400 YZ için sağa ve sola kutuplanmış dalgaların kırılma indisinin orta enlemlerdeki değişimini göstermektedir. Bu şekle göre sağa kutuplanan dalga değerice sola kutuplanan dalganın üzerindedir. Sağa kutuplanan dalga sürekli pozitif iken, sola kutuplanan dalga 30^0 G ve 20^0 K enlemleri arasında negatif olmaktadır. Kırılma indisinin karesi her iki dalga türünde de benzer şekilde değişmektedir. 40^0 G enleminden itibaren azalarak 10^0 G enleminde minimum olmaktadır ve sonra tekrar artarak 28^0 K enleminde maksimum olmaktadır.



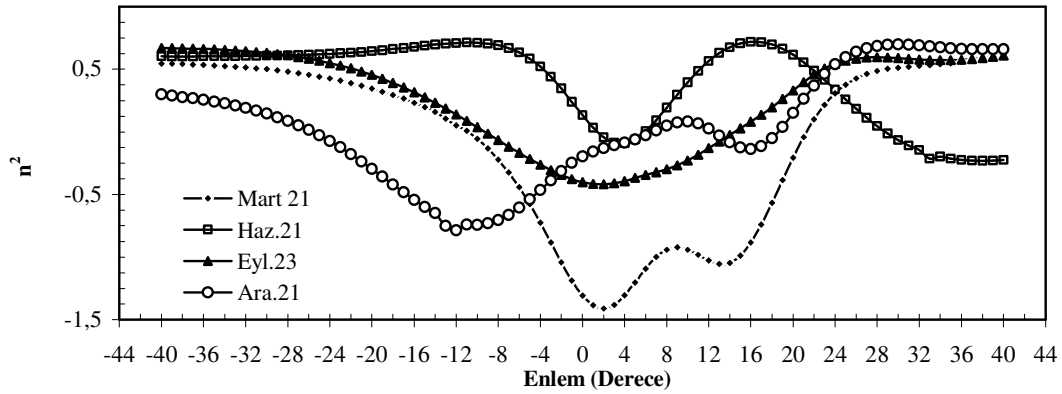
Şekil 5.16. Kutuplanmış dalganın kırılma indisinin karesinin enlemle değişimi (21 Aralık, 2400 YZ).

Şekil 5.17, 1200 YZ için sola kutuplanmış dalgaların kırılma indisinin orta enlemlerdeki mevsimsel değişimini göstermektedir. Bu şekillerde görüldüğü gibi tüm mevsimlerde 16° G ve 10° K enlemleri arasında minimumlar oluşmaktadır. En büyük çukur 23 Eylülde 4° G enleminde en az çukur ise 21 Martta 0° enleminde oluşmaktadır. 22° K enlemi ile 24° K enlemi arasında tüm mevsimlerde çukurların oluştuğu görülmüştür. En büyük çukur 22° K enleminde 21 Martta oluşurken, en az çukur 21 Haziranda oluşmaktadır.



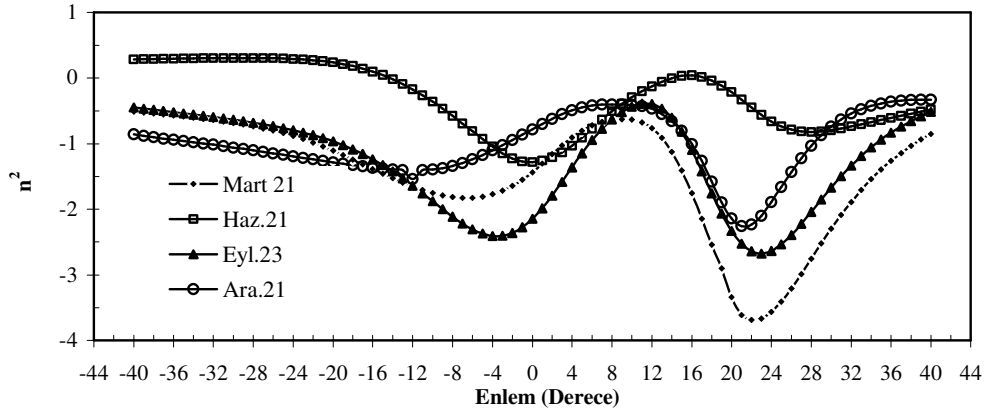
Şekil 5.17. Kutuplanmış dalganın kırılma indisinin karesinin enlemle ve mevsimlerle değişimi(1200 YZ)

Şekil 5.18 sola kutuplanmış dalganın kırılma indisinin karesinin orta enlemlerdeki mevsimsel değişimini (2400 YZ) göstermektedir. Bu şekle göre 21 Aralık'ta 12° G enleminde çukur oluşurken, 8° K enleminde maksimum oluşmaktadır. Ancak diğer tüm mevsimlerde 0° ve 4° K enlemleri arasında çukurlar oluşmaktadır. En büyük çukur 21 Mart'ta oluşurken en küçük çukur 21 Haziran'da oluşmaktadır.



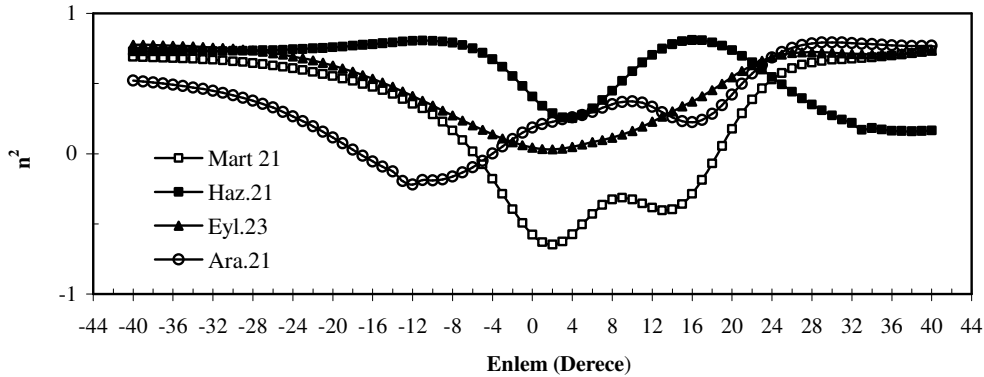
Şekil 5.18. Kutuplanmış dalganın kırılma indisinin karesinin enlemle ve mevsimlerle değişimi(2400 YZ)

Şekil 5.19, 1200 YZ için sağa kutuplanmış dalgaların kırılma indisinin orta enlemlerdeki mevsimsel değişimini göstermektedir. Bu şekillere göre, 12° G ve 12° K enlemleri arasında tüm mevsimler için çukurlar oluşmaktadır. Yaklaşık olarak 12° K ile 16° K enlemlerinde maksimumlar oluşmaktadır. Kırılma indisi 14° K enleminden itibaren azalarak 20° K ile 30° K enlemlerinde tekrar çukurlar oluşturmaktadır. Burada en büyük çukur 21 Haziran'da 22° K enleminde oluşurken en küçük çukur 21 Mart'ta oluşmaktadır. 22° K enleminde tüm mevsimlerde çukurlar oluşmaktadır. Burada en büyük çukur 21 Haziran'da, en küçük çukur ise 21 Mart'ta oluşmaktadır.



Şekil 5.19. Kutuplanmış dalganın kırılma indisinin karesinin enlemle ve mevsimlerle değişimi(1200 YZ)

Şekil 5.20, 2400 YZ için sağa kutuplanmış dalgaların kırılma indisinin orta enlemlerdeki mevsimsel değişimini göstermektedir. Bu şekillere göre en ilginç durum 14° G enleminde 21 Aralık'da çukur oluşmasıdır. Diğer mevsimler için ise 2° K enleminde çukurlar oluşurken 21 Aralık için tepe oluşturmaktadır. En büyük çukur 21 Haziran'da 2° K enleminde, en küçük çukur da 4° K enleminde 21 Mart'ta oluşmaktadır.



Şekil 5.20. Kutuplanmış dalganın kırılma indisinin karesinin enlemle ve mevsimlerle değişimi(2400 YZ)

5.3. Çarpışmalı Hal İçin

Bu bölümde çarpışmalı ($Z \neq 0$) ve çarpışmasız ($Z=0$) halleri için ordinari, ekstraordinari ve kutuplanmış dalgaların kırılma indislerinin değişimi çalışılmıştır.

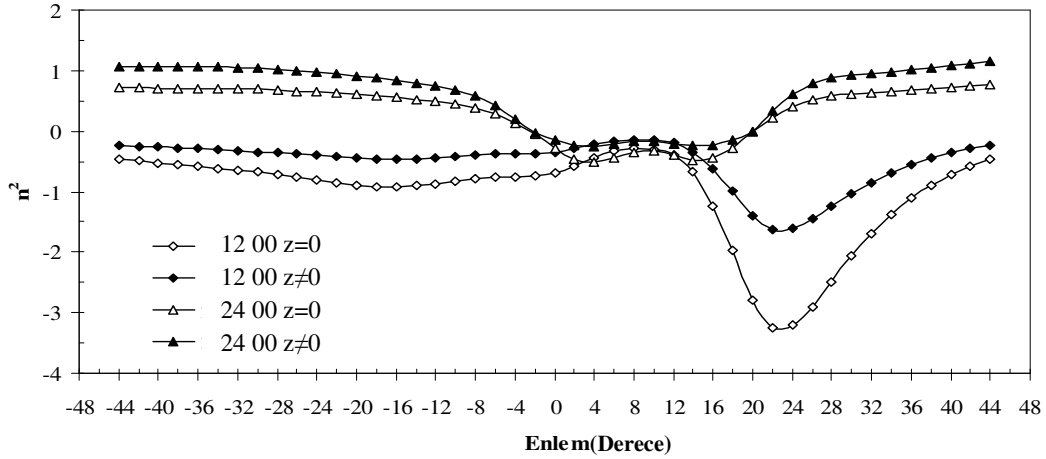
5.3.1. Ordinari Dalga

Kırılma indisi $n = \alpha + i\beta$ olduğundan α ve β

$$\alpha_0^2 \approx (1 - X) + Z^2 \frac{X(4 - 3X)}{4(1 - X)} \quad (5.4)$$

$$\beta_0^2 \approx Z^2 \frac{X^2}{4(1 - X)} \quad (5.5)$$

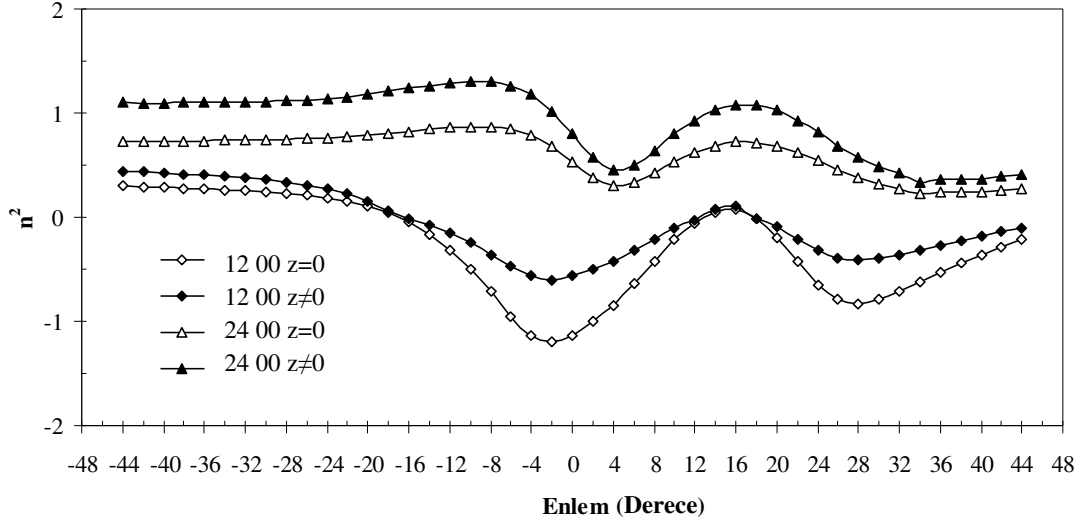
şeklinde verilmektedir [28]. Bu denklemler kullanılarak ordinari dalga için elde edilen sonuçlar Şekil 5.21'de verilmiştir.



Şekil 5.21. Ordinari dalganın kırılma indisinin karesinin enlemle değişimi ($Z=0$ ve $Z \neq 0$; 21 Mart).

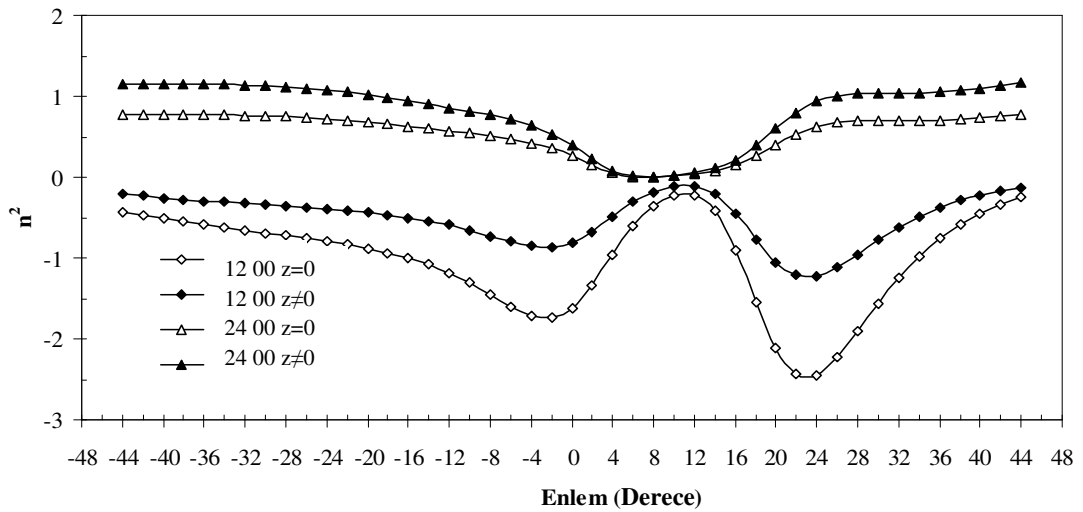
Şekil 5.21, 21 Mart, 1200 YZ ve 2400 YZ için ordinari dalgalarının çarpışmasız ve çarpışmalı hallerde kırılma indisinin enlemlere göre değişimini göstermektedir. Bu şekle göre, -4° K enlemi ile 24° K enlemi arasında kırılma indisinin karesinin aldığı değerler gündüz azalmakta iken, gece ise hemen hemen sabit kalmaktadır. Ayrıca şekle dayalı olarak, çarpışmalı durumlar ile çarpışmasız durumların benzer özellikler gösterdiği ve çarpışmalı halin çarpışmasız halden daha yüksek değerler aldığı söylenebilir. Gece değerleri için yaklaşık 16° K enlemi ile 32° K enlemi arasında hem çarpışmalı hal hem de çarpışmasız halin belirgin çukurlar oluşturduğu gözlenirken, çarpışmasız halin oluşturduğu çukurun çok daha derin olduğu

gözlenmektedir. Şekil 5.22, 21 Haziran için yapılan hesaplamaları göstermektedir. Şekilden, çarpışmasız ve çarpışmalı hallerin benzer dağılımlar gösterdikleri gözlenmektedir. Gündüz değerlerinde hem çarpışmalı hem de çarpışmasız hal için 4^0 K enleminde pozitif değerli bir çukur oluşurken, gece değerlerinde ise 12^0 G enlemi ile 12^0 K enlemi arasında azalmalar meydana gelmektedir. Gece değerleri kullanılarak çarpışmasız hal için elde edilen çukur, çarpışmalı hal için elde edilenden daha derindir.



Şekil 5.22. Ordinarı dalgaın kırılma indisinin karesinin enlemle değışimi (Z=0 ve Z≠0; 21 Haziran).

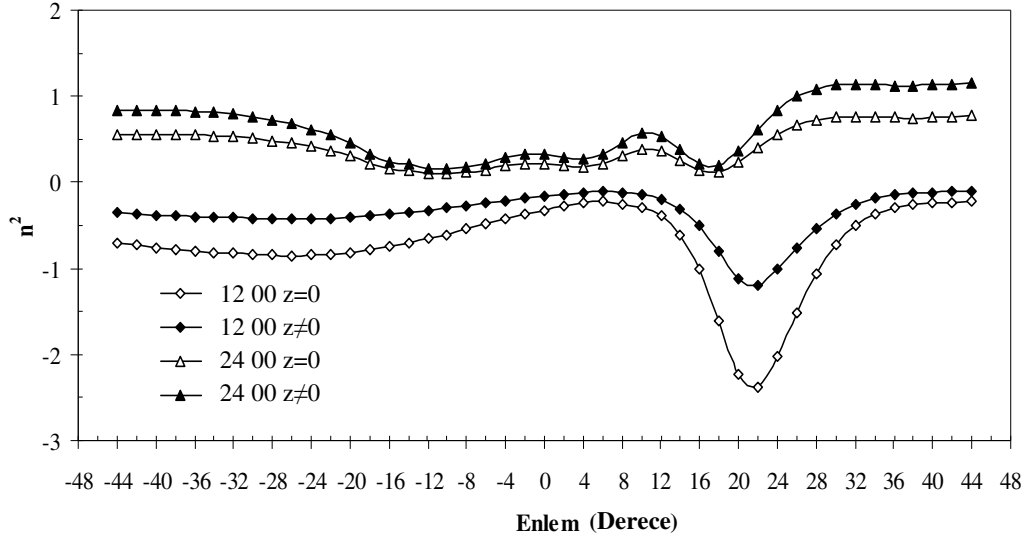
23 Eylül için yapılan hesaplamalar Şekil 5.23’de verilmiştir.



Şekil 5.23. Ordinarı dalgaın kırılma indisinin karesinin enlemle değışimi (Z=0 ve Z≠0; 23 Eylül).

0° enlemi ile 20° K enlemi arasında gündüz değerleri bir çukur oluşturmaktadır. Çukurun olduğu bölgede çarpışmalı hal için elde edilen değerler çarpışmasız hal için elde edilen değerlere göre daha derin bir çukur oluşturmaktadır. Bir diğer nokta da çukur bölgesinin dışındaki diğer tüm bölgelerde çarpışmalı hal için elde edilen değerlerin çarpışmasız hal için elde edilen değerler üzerinde seyrediyor olmasıdır. Gece değerleri için 0° enlemi ile 20° K enlemi arasında bir tepe oluşmakta ve çarpışmalı hal değerleri çarpışmasız hal değerlerinin üzerinde olduğu görülmektedir. Gündüz değerleri için oluşan çukurun dip noktası ile gece değerleri için oluşan eğrinin tepe noktasının birbirlerine teğet olduğu görülmüştür. Gece değerleri tekrar 16° K ile 32° K enlemi arasında hem çarpışmalı hem de çarpışmasız hal için çukur oluşturmaktadır.

Şekil 5.24'de 21 Aralık için yapılan hesaplamaların enleme dağılımını göstermektedir.



Şekil 5.24. Ordinari dalganın kırılma indisinin karesinin enleme dağılımını (Z=0 ve Z≠0; 21 Aralık).

Şekil 5.24.'e göre gündüz değerlerinin hem çarpışmalı hal için hem de çarpışmasız hal için benzer bir değişim izlediği görülmüştür. Her iki durum için de kırılma indisinin karesi pozitif olmaktadır. Gece değerleri birbirine benzer bir değişim izleyerek 16° K enlemi ile 28° K enlemi arasında belirgin bir çukur oluşturmaktadır. Burada gece değerleri için kırılma indisinin karesinin sürekli olarak negatif değerler aldığı gözlenmektedir.

5.3.2. Ekstraordinari Dalga

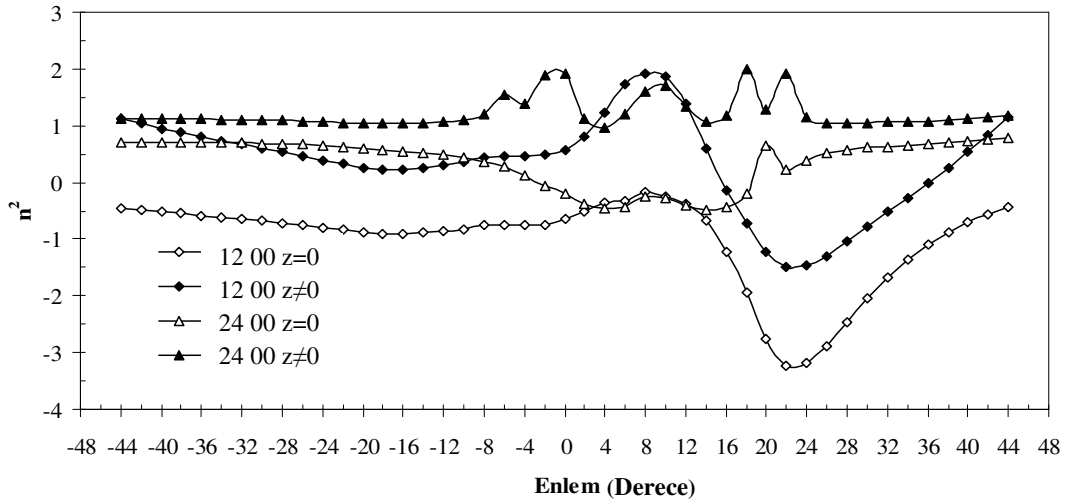
Çarpışmalı hal için n^2 'nin reel ve sanal kısımları;

$$\alpha_x^2 \approx \frac{(1-X)^2 - Y^2}{1-X-Y^2} + Z^2 \frac{X^2 [(1-X)^2 Y^2]^2}{4[1-X-Y^2]^3 [(1-X)^2 Y^2]} \quad (5.6)$$

$$\beta_x^2 \approx Z^2 \frac{X^2 [(1-X)^2 + Y^2]^2}{4[1-X-Y^2]^3 [(1-X)^2 - Y^2]} \quad (5.7)$$

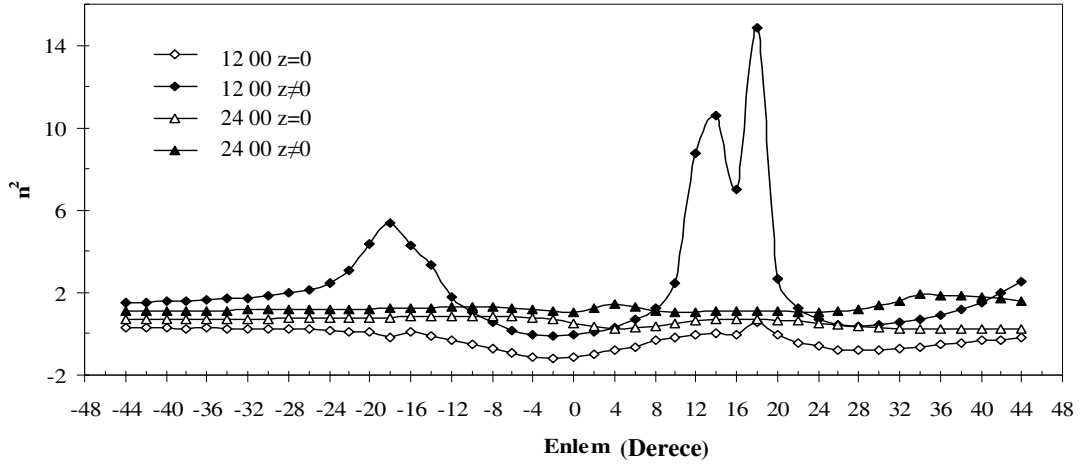
ifadeleri ile verilmektedir [28]. Bu ifadeler kullanılarak yapılan hesaplamalar Şekil 5.25, Şekil 5.26, Şekil 5.27 ve Şekil 5.28'de verilmiştir.

Şekil 5.25.'de görüldüğü gibi, çarpışmalı hal için gece ve gündüz değerlerinin benzer bir değişim izlediği; gece değerlerinin gündüz değerlerinden daha yüksek değerler aldığı görülmektedir. Yaklaşık olarak 12^0 K ile 36^0 K enlemleri arasında gündüz verileri negatif değere sahip bir çukur oluşturmuştur. Aynı şekilde gündüz verileri de benzer bir değişim göstererek 12^0 K enlemi ile 36^0 K enlemi arasında gündüz değeri negatif değere sahip bir çukur oluşturmuştur.



Şekil 5.25. Ekstraordinari dalganın kırılma indisinin karesinin enleme değişimi (Z=0 ve Z≠0; 21 Mart).

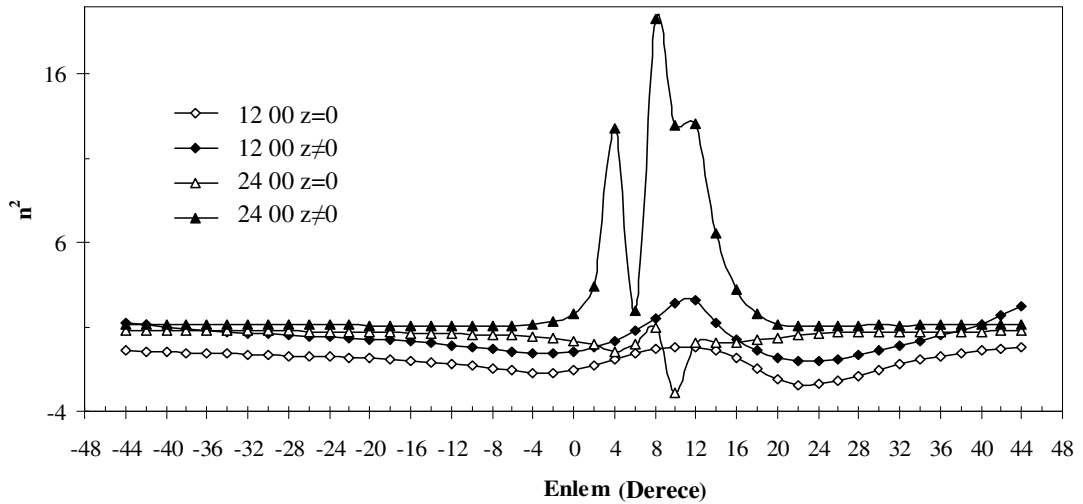
Şekil 5.26, 21 Haziran için yapılan hesaplamaları göstermektedir.



Şekil 5.26. Ekstraordinari dalganın kırılma indisinin karesinin enlemle değişimi (Z=0 ve Z≠0; 21 Haziran).

Şekil 5.26.'da gece ve gündüz için çarpışmalı ve çarpışmasız haller için tüm değerlerin pozitif değere sahip olduğu enlemle değişiklik göstermediği görülmektedir. Ancak gündüz değerleri çarpışmalı hal için 24⁰ G ile 12⁰ G enlemleri arasında bir artış; 8⁰ K ile 24⁰ K enlemleri arasında daha büyük bir artış görülmektedir.

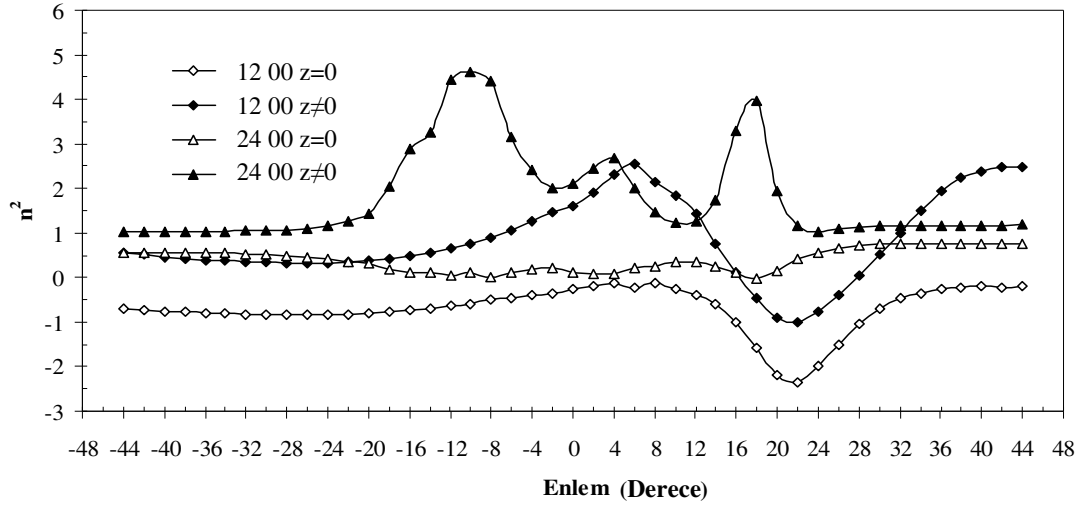
23 Eylül için yapılan hesaplamalar Şekil 5.27'de verilmiştir.



Şekil 5.27. Ekstraordinari dalganın kırılma indisinin karesinin enlemle değişimi (Z=0 ve Z≠0; 23 Eylül).

Şekle göre çarpışmalı ve çarpışmasız haller için elde edilen gece ve gündüz değerlerinin pozitif değerli olduğu ve bu değerlerin değişik enlemler boyunca benzer bir değişim izlediği görülmektedir. Sadece, çarpışmalı hal için gece değerlerinin 0^0 enlemi ile 20^0 K enlemleri arasında bir artış olduğu görülmüştür.

Şekil 5.28, 21 Aralık için yapılan hesaplamalar sonucunda elde edilen değerleri göstermektedir.



Şekil 5.28. Ekstraordinari dalganın kırılma indisinin karesinin enlemlerle değişimi (Z=0 ve Z≠0; 21 Aralık).

Şekle göre, çarpışmalı hal için gece değerlerinin 20^0 G ile 4^0 G enlemleri; 12^0 K ile 24^0 K enlemleri arasında iki tepe oluşturduğu görülmektedir. Benzer olarak gündüz değerlerinin 12^0 K enlemi ile 32^0 K enlemi arasında negatif değere sahip bir çukur oluşturduğu görülmektedir. Çarpışmasız haller için gece ve gündüz değerleri benzer bir seyir izlemekte; gündüz değerleri 16^0 K enlemi ile 32^0 K enlemi arasında bir çukur oluşturmaktadır. Şekilden de anlaşıldığı gibi, gece ve gündüz için çarpışmalı durumların pozitif değerler aldığı; çarpışmasız durumların ise negatif değerler aldığı görülmektedir.

5.3.3. Kutuplanmış Dalgalar

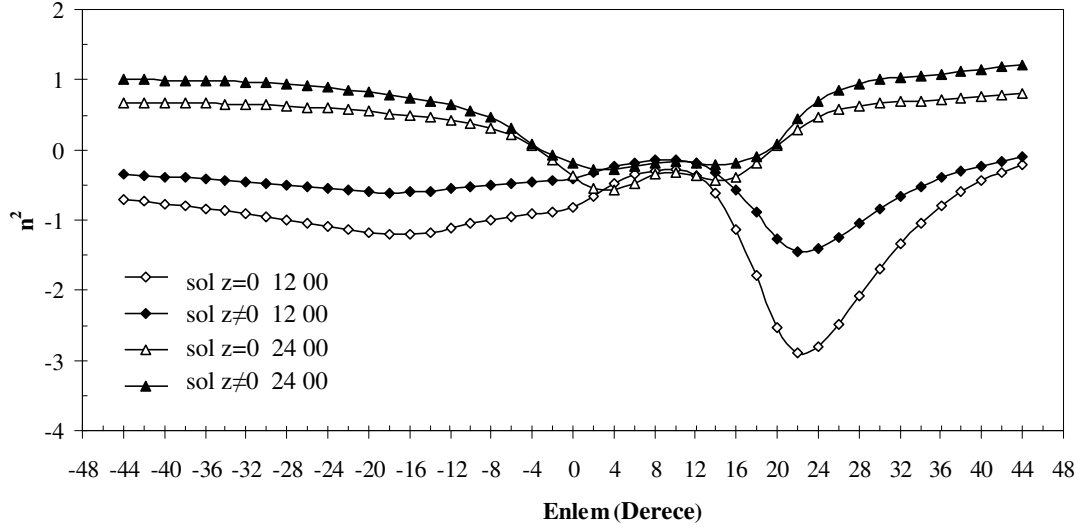
Kutuplanmış dalgaların kırılma indisinin reel ve sanal kısımları, $Z \neq 0$ için;

$$\alpha_p^2 \approx (1 - X) + Z^2 \frac{X(4 - 3X)}{4(1 - X)} \quad (5.8)$$

$$\beta_p^2 \approx Z \frac{X^2}{4(1-X)} \quad (5.9)$$

şeklinde verilmektedir [28]. Bu ifadeler kullanılarak aşağıdaki şekiller elde edilmiştir.

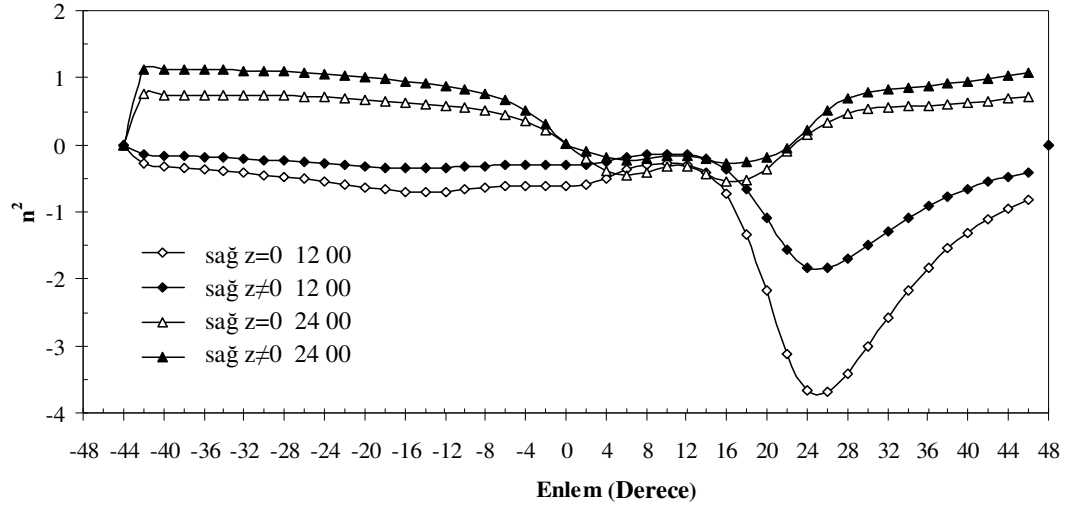
Şekil 5.29, 21 Mart için yapılan hesaplamaları göstermektedir.



Şekil 5.29. Sola kutuplanmış dalganın kırılma indisinin karesinin enlemle değişimi (Z=0 ve Z≠0; 21 Mart).

Şekle göre çarpışmalı ve çarpışmasız haller için elde edilen gece değerlerinin pozitif olduğu görülmektedir. Bu değerler 8^0 G enlemi ile 24^0 K enlemi arasında bir çukur oluşturmaktadır. Çarpışmalı ve çarpışmasız haller için gündüz değerleri negatif olup 12^0 K enlemi ile 36^0 K enlemi arasında bir çukur oluşturmaktadır. Ancak, çarpışmasız halde oluşan çukur çarpışmalı haldeki çukura göre daha derin olduğu görülmektedir.

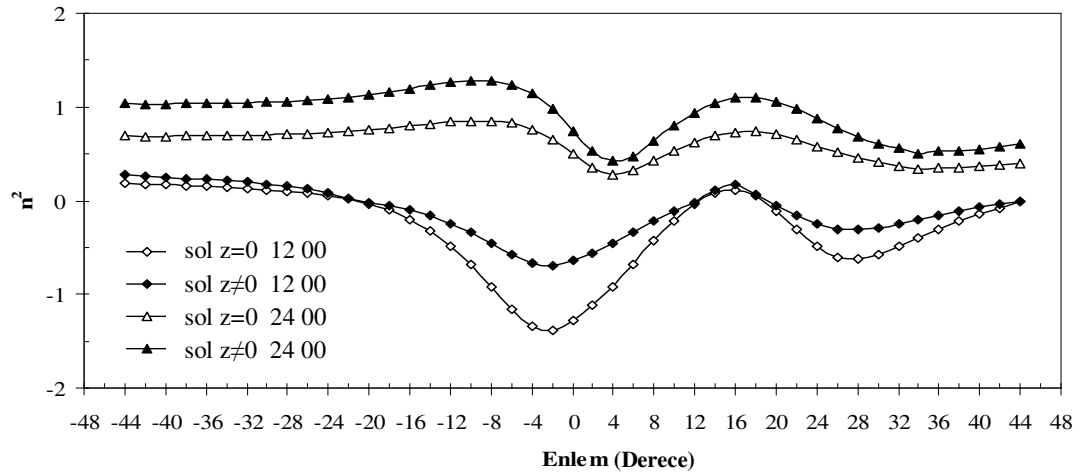
Sağa kutuplanan dalga için 21 Mart değerleri Şekil 5.30'da görülmektedir.



Şekil 5.30. Sağa kutuplanmış dalganın kırılma indisinin karesinin enlemle değişimi (Z=0 ve Z≠0; 21 Mart).

Gece ile gündüz için çarpışmalı ve çarpışmasız haller için elde edilen değerlerin, sola kutuplanmış dalga grafiğine benzer bir değişim izlediği görülmektedir. Ancak bu benzerliğe rağmen 16^0 K enlemi ile 36^0 K enlemi arasında çarpışmalı ve çarpışmasız haller için gece ve gündüz değerlerinin oluşturduğu çukurların daha derin olduğu saptanmıştır.

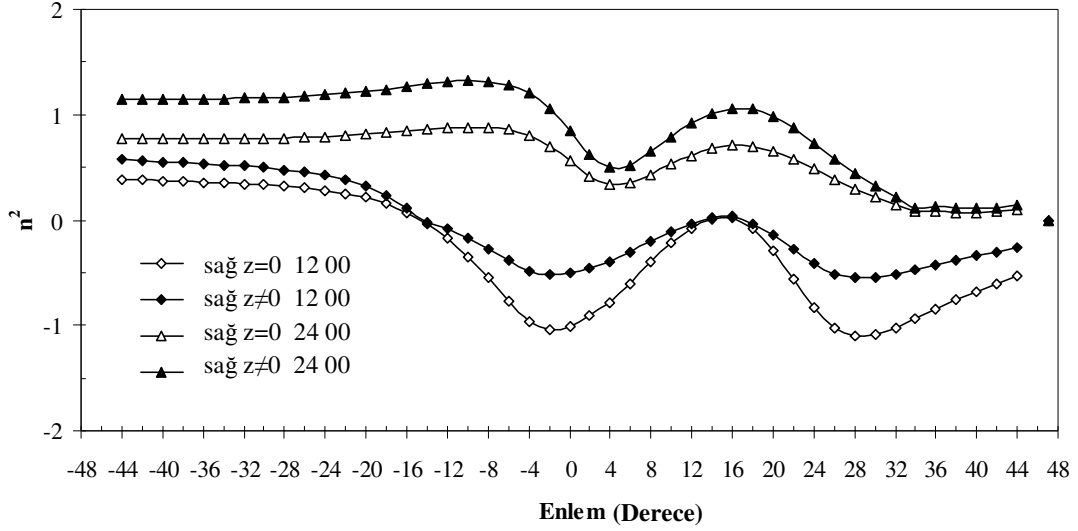
Şekil 5.31, sola kutuplanmış dalganın 21 Haziran için hesaplanan kırılma indislerini göstermektedir.



Şekil 5.31. Sola kutuplanmış dalganın kırılma indisinin karesinin enlemle değişimi (Z=0 ve Z≠0; 21 Haziran).

Şekil 5.31'e göre gece çarpışmalı ve çarpışmasız haller için elde edilen değerlerin dağılımının benzer olduğu gözlenirken, 4^0 G enlemi ile 8^0 K enlemi arasında bu değerlerin bir çukur oluşturduğu gözlenmektedir. Gündüz çarpışmalı ve çarpışmasız haller için elde edilen değerler de birbirine benzemekte ve bu değerlerin 12^0 G enlemi ile 8^0 K enlemi arasında bir çukur, 20^0 K ile 36^0 K enlemleri arasında başka bir çukur oluşturduğu görülmektedir. Gece için elde edilen değerlerin pozitif; gündüz için elde edilen değerlerin ise negatif olduğu görülmektedir.

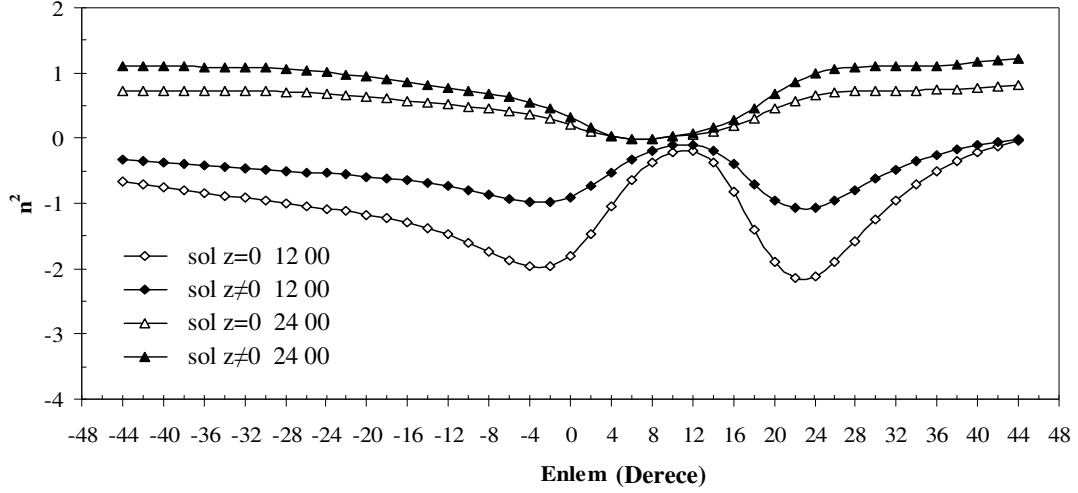
21 Haziran, sağa kutuplanmış dalga için hesaplanan kırılma indisleri Şekil 5.32'de gösterilmektedir.



Şekil 5.32. Sağa kutuplanmış dalganın kırılma indisinin karesinin enleme değişimi ($Z=0$ ve $Z \neq 0$; 21 Haziran).

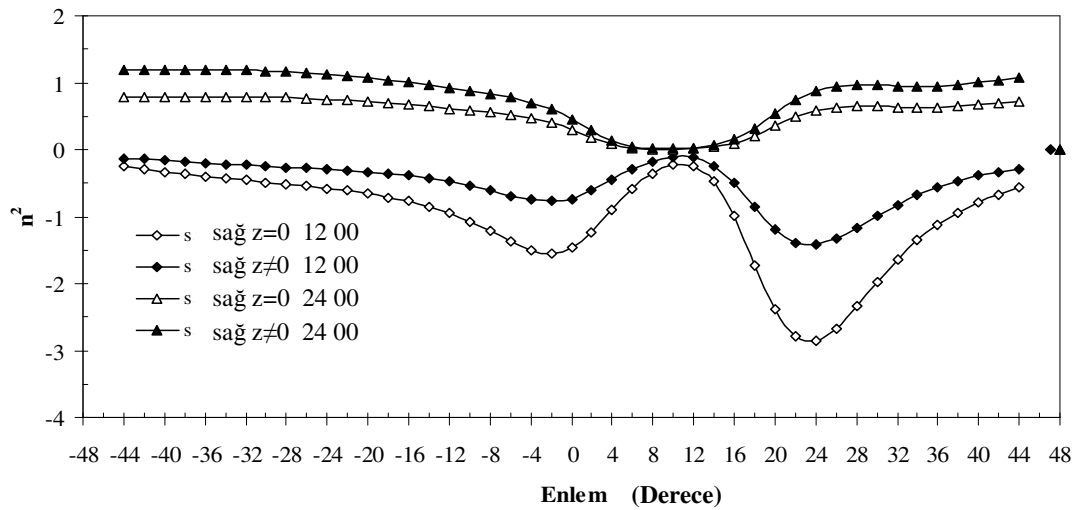
Şekil 5.32'ye göre çarpışmalı ve çarpışmasız haller için gece değerleri benzer dağılım gösterirken, 4^0 G enlemi ile 16^0 K enlemi arasında bir çukur oluşturduğu gözlenmektedir. Çarpışmalı ve çarpışmasız haller için gündüz elde edilen değerlerin de benzer seyir izleyerek 8^0 G enlemi ile 8^0 K enlemi arasında; 20^0 K ile 40^0 K enlemleri arasında iki tane çukur oluşturmaktadır. Burada da çarpışmalı haller için elde edilen değerlerin çarpışmasız haller için elde edilen değerlerden daha yüksek olduğu görülmektedir.

Sola ve sağa kutuplanan dalgaların kırılma indisinin 23 Eylül'e ait değerleri Şekil 5.33 ve Şekil 5.34'de verilmiştir.



Şekil 5.33. Sola kutuplanmış dalganın kırılma indisinin karesinin enlemle değişimi (Z=0 ve Z≠0; 23 Eylül).

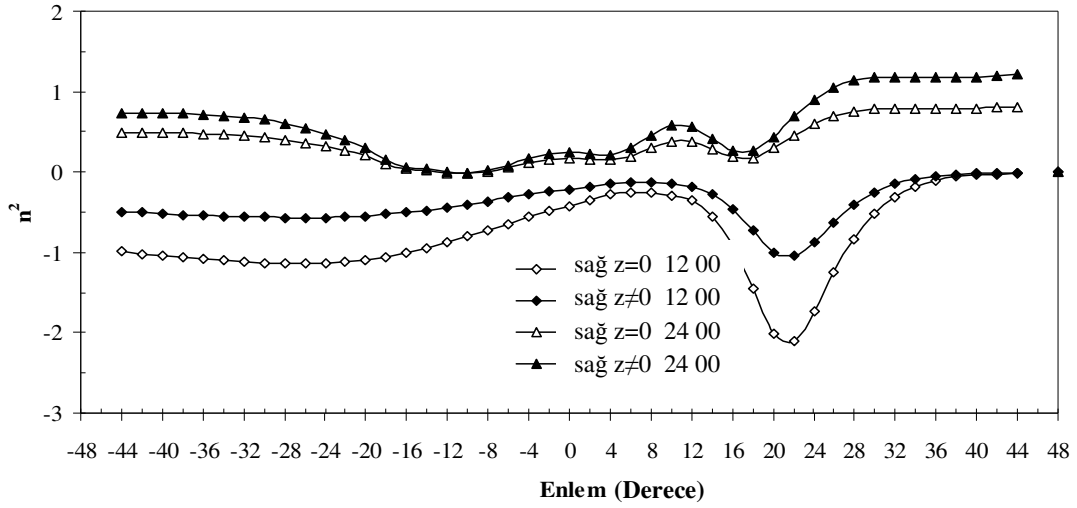
Şekil 5.33, çarpışmalı ve çarpışmasız haller için elde edilen gece ve gündüz değerlerini göstermektedir. 4^0 G enlemi ile 20^0 K enlemi arasında bir çukur oluşturmakta, aynı enlemler arasında gündüz çarpışmalı ve çarpışmasız haller için değerler tepe oluşturmaktadır. Diğer tüm şekillerde de görüldüğü gibi, hem çarpışmalı hem de çarpışmasız haller için gece elde edilen değerler pozitif iken; gündüz elde edilen değerler negatiftir.



Şekil 5.34. Sağa kutuplanmış dalganın kırılma indisinin karesinin enlemle değişimi (Z=0 ve Z≠0; 23 Eylül).

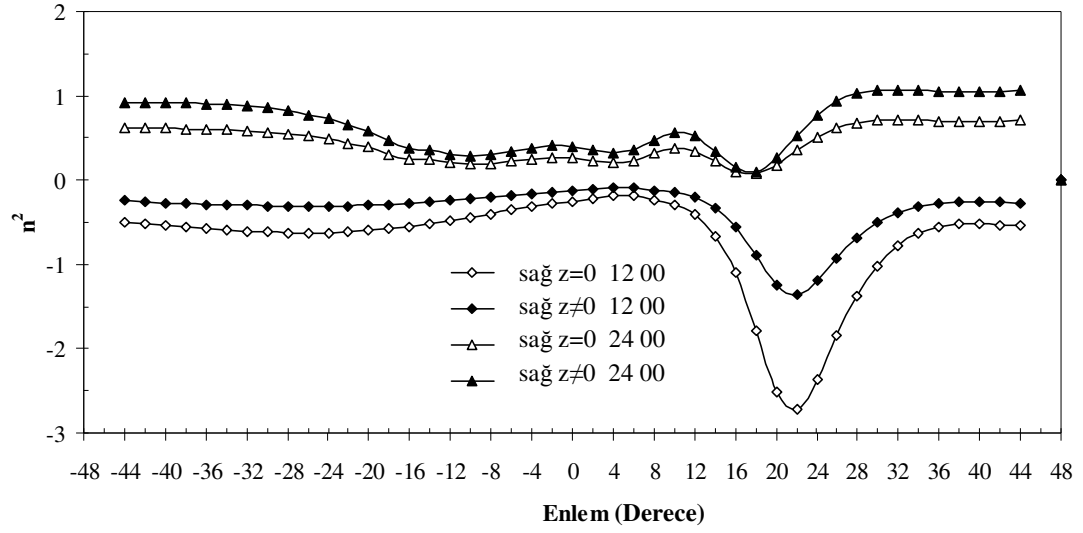
Şekil 5.34'e göre çarpışmalı ve çarpışmasız haller için elde edilen gece değerleri 0° enlemi ile 16° K enlemi arasında bir çukur oluştururken, gündüz değerleri de bir tepe oluşturmaktadır. Ayrıca gündüz değerleri 20° K ile 28° K enlemleri arasında hem çarpışmalı hem de çarpışmasız haller için birer çukur oluşturduğu görülmektedir.

21 Aralık'da, sola kutuplanan dalga için hesaplanan kırılma indisi dağılımı Şekil5.35'te gösterilmektedir. Şekle göre çarpışmalı ve çarpışmasız haller için elde edilen gece değerlerinin benzer bir dağılım gösterdiği gözlenmektedir. Gündüz için elde edilen değerler de benzer olup 12° K ile 32° K enlemleri arasında bir çukur oluşturduğu gözlenmektedir. Hem çarpışmalı hem de çarpışmasız haller için gece değerleri pozitif iken, gündüz değerleri ise negatiftir.



Şekil 5.35. Sola kutuplanmış dalganın kırılma indisinin karesinin enleme değişimi (Z=0 ve Z≠0; 21 Aralık).

Şekil 5.36, sağa kutuplanmış dalga için hesaplanan kırılma indisinin enleme değişimini göstermektedir. Şekle göre çarpışmalı ve çarpışmasız haller için elde edilen gece değerleri benzer bir dağılım göstermektedir. Gündüz için elde edilen değerler de 12° K ile 32° K enlemleri arasında çukur oluşturmaktadır. Çarpışmasız haller için elde edilen çukur, çarpışmalı hal için elde edilen çukurdan daha derindir.



Şekil 5.36. Sağa kutuplanmış dalganın kırılma indisinin karesinin enlemlerle değişimi (Z=0 ve Z≠0; 21 Aralık).

6. SONUÇ

Kırılma indisinin değişimi, temel olarak elektron yoğunluğuna bağlıdır. Elektron yoğunluğunun değişimi ise iyonküre plazmasında iç ve dış sebeplerle ilişkilidir. Elektron yoğunluğunun enlem ve mevsimlerle değişim şekilleri incelendiğinde, bütün mevsimler için (Haziran 21, Mart 21, Eylül 23 ve Aralık 21; 1200 YZ) 4^0 K ve 16^0 K enlemleri arasında yaklaşık olarak minimumlar oluşmaktadır. Ekvator bölgesindeki iyonlaşmanın dağılmasının yol açtığı bu durumun, kuzey ve güney yarım kürede elektronların birikmesine neden olduğu söylenebilir. Gece değerleri ise (Haziran 21, Mart 21, Eylül 23 ve Aralık 21; 2400 YZ) 8^0 G enlemi ile 12^0 K enlemi arasında maksimumlar oluşturmaktadır.

Ordinari dalganın kırılma indisinin karesinin mevsimsel olarak değişimi, farklı enlemlerde genel olarak 8^0 G enlemi ve 0^0 enlemi arasında minimum 8^0 K enlemi ile 12^0 K enlemi arasında maksimum olmaktadır. Minimumlarda, dalga plazma frekansına göre küçük, yine küçük fakat farklı değerlere sahiptir. Saat 2400 YZ'de ise ordinari dalganın kırılma indisinin karesi (Haziran 21, Mart 21, Eylül 23) 0^0 enleme yakın değerlerde minimum ancak Aralık 21'de yaklaşık 12^0 G enleminde minimum olmaktadır.

Kırılma indisinin karesinin sola kutuplanmış dalga için orta enlemlerdeki mevsimsel değişimi incelendiğinde, tüm mevsimlerde (Haziran 21, Mart 21, Eylül 23 ve Aralık 21; 1200 YZ) 12^0 G enlemi ile 4^0 K enlemi arasında çukurlar, 4^0 K enlemi ve 16^0 G enlemleri arasında tepeler ve tekrar 16^0 K enlemi ile 32^0 K enlemi arasında çukurlar oluşmaktadır. Gece değerleri için ise (2400 YZ) 21 Aralık'ta 12^0 G enleminde çukur oluşurken 8^0 K enleminde tepe oluşmaktadır. Ancak diğer tüm mevsimlerde (Haziran 21, Mart 21 ve Eylül 23; 2400 YZ) 0^0 enlemi ve 4^0 G enlemleri arasında çukurlar oluşmaktadır. En büyük çukur 21 Mart'ta oluşurken, en küçük çukur 21 Haziran'da oluşmaktadır.

Kırılma indisinin karesinin sağa kutuplanmış dalga için orta enlemlerdeki mevsimsel değişimi incelendiğinde, gündüz (1200 YZ) 12^0 G ve 4^0 K enlemleri arasında çukurlar, 4^0 K ile 12^0 K enlemleri arasında tepeler, 16^0 K ve 32^0 K enlemleri arasında tekrar çukurlar oluşmaktadır. Gece (2400 YZ) değerlerine bakıldığında ise 14^0 G enleminde Aralık 21 için çukur oluşmakta, diğer mevsimler için (Haziran 21, Mart 21 ve Eylül 23; 2400 YZ) 2^0 K enleminde çukurlar oluşurken Aralık 21 için 2^0 K enleminde tepe oluşmaktadır.

Ordinari dalganın çarpışmasız ($Z=0$) ve çarpışmalı ($Z \neq 0$) hali için kırılma indisinin karesinin enleme değişimi incelendiğinde, tüm mevsimlerde (Haziran 21, Mart 21, Eylül 23 ve Aralık 21; $Z \neq 0$) kırılma indisinin karesinin sayısal değerler bakımından, çarpışmalı hallerin değerce çarpışmasız hallerin (Haziran 21, Mart 21, Eylül 23 ve Aralık 21; $Z=0$) üzerinde bir eğilim içinde olduğu görülmektedir. Tüm çarpışmasız haller ile çarpışmalı hallerin eğilimlerinin

benzer olduğu gör÷lmektedir. Tüm mevsimlerde gece değerleri (Haziran 21, Mart 21, Eylül 23 ve Aralık 21; 2400 YZ), kırılma indisinin karesinin sayısal değerleri bakımından gündüz değerlerinin (Haziran 21, Mart 21, Eylül 23 ve Aralık 21; 1200 YZ) üzerinde bir eğilime sahiptir.

Ekstraordinari dalganın kırılma indisinin karesinin enleme değişimine bakıldığında; çarpışmasız hallerin gündüz (1200 YZ, $Z=0$) ve gece (2400 YZ, $Z=0$) grafik eğilimlerinin benzer olduğu, aynı şekilde çarpışmalı hallerin de gündüz (1200 YZ, $Z\neq 0$) ve gece (2400 YZ, $Z\neq 0$) grafik eğilimlerinin benzer olduğu gör÷lmektedir. Ancak, her zaman çarpışmalı hallerin ($Z\neq 0$), kırılma indisinin karesinin sayısal değeri bakımından, değerce çarpışmasız haller ($Z=0$) üzerinde bir eğilime sahip olduğu tespit edilmiştir.

Sağa ve sola kutuplanmış dalgaların kırılma indisinin karesinin enleme değişimi incelendiğinde; gündüz çarpışmasız (1200 YZ, $Z=0$) ve gündüz çarpışmalı (1200 YZ, $Z\neq 0$) hallere ilişkin olarak elde edilen şekillerin benzer eğilimde olduğu gör÷lmektedir. Bu durum gece (2400 YZ, $Z=0$ ve $Z\neq 0$) için de benzer şekildedir. Ancak, çarpışmalı hallerin ($Z\neq 0$) kırılma indisinin karesinin sayısal değeri, değerce sürekli olarak, çarpışmasız haller ($Z=0$) üzerinde bir eğilime sahip olduğu gözlenmektedir.

KAYNAKLAR

1. Aydoğdu, M., 1980, Ariel 4 uydusuyla elde edilen elektron yoğunluğu verilerinin 70⁰-80⁰ D ve 60⁰-70⁰ B boylamları arasında incelenmesi, Doktora Tezi, E.Ü. Fen Fakóltesi, İzmir
2. Booker, Henry.G, 1982, *Cold Plazma Waves*, Martinus Nihhoff, Puplis, Boston
3. Budden, K.G., 1985, *The Propagation of Radio Waves*, Cambridge University, Press, Cambridge
4. Rishbeth, H. ve Garriot, O.K., 1969, *Introduction to Ionospheric Physics*, Academic Pres, New York, 175-186
5. Rishbeth, H., 1973, *Physics and Chemistry of The Ionospheric Contemp*, Phys, 14,229, 240
6. Rishbeth, H., April, 1973, How The Termospheric Circulation Affects The Ionospheric F₂-Layer
7. Yeşil, A., 1998, Soğuk plazmanın elektromanyetik dalğanın yayılması üzerine etkisi, Yüksek Lisans Tezi, F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 3,4
9. Rishbeth, H., 1964, J. Atmosph. Terr. Phys., 26, 657
10. Micheal, C. Kelley, *The Earth's Ionosphere Plazma Physic's and Electroradynamics*
11. Rishbeth, H., 1967, J. Atmosph. Terr. Phys.29,225
12. Cezibarak, S., 2005, İyonkürede foto iyonlaşma süreçleri, Yüksek Lisans Tezi, F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ,7,8
13. . Rishbeth, H., 1967,A Review of Ionospheric F Region Theory, Proceedinds of The Ref. Vol. 55, No:1
14. Mikhailov,A.V.,2002, The Geomagnetic Control Concept of The F2 -Layer Parameter Long-Term Trends, Physics and Chemistry of The Earth
15. Smith, W. Roger, 1998, Vertical Winds: a Tutorial, Journal of Atmospheric and Solar Terrestrial Physics 60, 1425-1434

16. Suchy, K., 2000, Teory of High-Frequency (HF) Radio Wawes in The Second Half of The 20 th Century, Journal of Atmospheric and Solar Terrestrial Physics 62, 1683-1687
17. Rishbeth, H., 1998, How the Thermospheric Circulation Affects the Ionospheric F2-Layer, Journal of Atmospheric and Solar Terrestrial Physics 60, 1385-1402
18. Aydoğdu, M., 1986, Dip Ekvator Üzerindeki İyonkürenin F- Bölgesindeki Elektron Kayıp Katsayısının (β) Hesaplanması, Doğa TU Fiz. Ve Astrofiz. D.C 12 S. 1 1988
19. Aydoğdu, M., 1981, Ariel 4 uydusuyla elde edilen elektron yoğunluğu verilerinin 70^0 - 80^0 D ve 60^0 - 70^0 B boylamları arasında incelenmesi, F.Ü. Vet. Fak. Derg., Cilt 6,No:1-2
20. Aydoğdu, M., 1987, North-South Asymmetry in NmF2 at Mid-Latitude Conjugate Ionosphere Produced by Asymmetrical Thermospheric Winds, J. Geomag. Geoelectr., 39, 177-185
21. Aydoğdu, M., 1985, Güneş'in Doğuşu ve Batışı Sırasında İyonkürede Oluşan Düşey Hızın Hesaplanması, C.Ü. Fen-Edebiyat Fakültesi Fen Bil. Derg.3,
22. Aydoğdu, M. , ve Özcan, O., 1986, Türkiye Üzerindeki İyonkürenin Elektron Yoğunluğu, İyon Bileşeni, Elektron ve İyon Sıcaklıkları, C.Ü. Fen-Edebiyat Fakültesi Fen Bil. Derg.4
23. Aydoğdu, M. ve Özcan, O., 1991, Thermospheric Winds Over Turkey, Erc. Ün. Fen Bil. Derg.,7,1,1075-1083
24. , Özcan, O., Aydoğdu, M. , Yeşil, A. ve Güzel, E., 1996, The Damping of The Radio Waves İn The Ionospheric Plazma Over Elazığ, F.Ü Fen ve Müh. Bilimleri Dergisi 8(2), 113-123
25. Elias, G. Ana, 2006, foF2 Long-Term Trends at The Southern Crest of The Equatorial Anomaly, Physics and Chemistry of the Earth 31,63-67
26. Öke, G. Ve Tulunay, Y., 1975, Ariel 3 ve 4 Uydu Elektron Yoğunluğu Verilerinin Orta Enlemlerde Mukayesesi, T.B.T.A.K. V. Bilim Kongresi

27-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, Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, 66, 343-348,

28. Aydoğdu, M., Gzel, E., Yeşil, A., 2002, Effects of the Collisions on the Phase and Group Velocities of HF Waves Propagating in the Ionosphere Around Reflection Points, Turkish Journal of Telecommunications 1 (2), 79 – 89.

ÖZGEÇMİŞ

Kadri KURT

Fırat Üniversitesi
Fen-Edebiyat Fakültesi
Fizik Bölümü
23169, ELAZIĞ

Tel: (424) 2370000 / 6770
Faks: (424) 2330062
e-posta: kadri.kurt@hotmail.com

Kişisel Bilgiler:

Doğum Tarihi : 30.09.1972
Doğum Yeri : Diyarbakır
Uyruğu : T.C.
Medeni Hali : Evli

Eğitim:

İlköğretim:

1982-1987 Uzunbahçe İlköğretim Okulu (Diyarbakır)

Ortaöğretim:

1987-1990 Kazım Karabekir Orta Okulu (Diyarbakır)

Lise:

1990-1993 Burhanettin Yıldız Endüstri Meslek ve Teknik Lisesi (Diyarbakır)

Lisans:

1994-1998 Dicle Üniversitesi, Eğitim Fakültesi, Fizik Öğretmenliği, Diyarbakır

Yüksek Lisans:

2005-2007 Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ
Seminer Ekvator Bölgesinde Kırılma İndisinin Enleme Değişimi
Danışman: Pr. Dr. Mehmet AYDOĞDU

Çalıştığı Kurumlar:

1. 1998-2001 Fatih Lisesi ,Batman, Fizik Öğretmeni
2. 2001-2002 Batrman Lisesi, Batman, Fizik Öğretmeni
3. 2002-2007 Batman Fen Lisesi, Batman, Fizik Öğretmeni