



ISSN:1306-3111

e-Journal of New World Sciences Academy  
2011, Volume: 6, Number: 3, Article Number: 3A0037

**PHYSICAL SCIENCES**

Received: April 2011

Accepted: July 2011

Series : 3A

ISSN : 1308-7304

© 2010 www.newwsa.com

**Esat Güzel**

**Ramazan Atıcı**

**Murat Canyılmaz**

Firat University

eguzel@firat.edu.tr

Elazig-Turkey

**DIKEY YAYILAN HF RADYO DALGASININ FARKLI MODLARININ ALTIYONKÜREDE  
ELEKTRON SICAKLIĞINA ETKİSİ**

**ÖZET**

Bu çalışmada, radyo haberleşmesinde kullanılan HF radyo dalgasının farklı modlarının alt iyonkürede elektron sıcaklığı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Elektron yoğunluğu ile elektron sıcaklığındaki artışın ters orantılı olduğu ve güneş lekесinin maksimumunda sıcaklık artışının güneş lekесinin minimumundan oldukça düşük olduğu gözlenmiştir. En yüksek sıcaklık değerleri R-modunda görülürken, en düşük sıcaklık değerleri ise L- modunda görülmüştür. Bütün modlar için en yüksek sıcaklık değerleri yaklaşık 70-80 km aralığında gerçekleşmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Altıyonküre, HF Radyo Dalgası, Dalga Emilimi, Dalga Modları, Elektron Sıcaklığı

**THE EFFECT OF DIFFERENT MODES OF HF RADIO WAVE TO THE ELECTRON  
TEMPERATURE IN VERTICAL PROPAGATION AT SUBIONOSPHERE**

**ABSTRACT**

In this study, the effect of the different modes of the HF radio waves used in radio communication to the electron temperature have been investigated daily, seasonal and with sunspot at subionosphere. The relationship between electron density and increase at the electron temperature caused by the wave are inversely proportional at subionosphere. Also, the temperature increase is quite low at the maximum sunspot. The highest and lowest temperature values were observed in the R-mode and L-mode respectively. The highest temperature values were about 70-80 km for all modes.

**Keywords:** Subionosphere, HF Radio Wave, Wave Absorbtion, Wave Modes, Electron Temperature

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Yüksek frekans (HF) bandı 3-30 MHz frekans aralığını kapsar ve iyonküreden yansiyabilecek en yüksek frekans bandıdır. Ayrıca, HF bandındaki radyo dalgaları iyonküreden yansıtılıp dalğanın yayılımını ve yansımalarını etkileyen faktörler incelenerek iyonkürenin özellikleri araştırılır [1].

Vericiden gönderildikten sonra iyonküreden yansıtılıp alıcıya ulaşana kadar HF dalgası bu bölgede birçok fiziksel olaya maruz kalır. Bunlardan en önemlisi emilimdir. HF radyo dalgası iyonküreden geçerken enerjisinin bir kısmını zayıf bir şekilde iyonlaşmış plazma içindeki 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 dalğanın yoğunluğu çok fazla değişmeden yayılmaya devam eder. Fakat elektron ve iyonlar nötr parçacıklar ile çarpıştırlarsa, bu enerjinin büyük bir kısmı kaybedilir ve dalğanın enerjisi emilmiş olur [2, 3, 4 ve 5].

Isı etkisi, radyo dalgası tarafından hızlandırılan elektronlar ile nötr parçacıklar arasındaki çarpışmalardan dolayı oluşur. D-bölgesi bu dalga-elektron-nötr etkileşimi için ideal bir bölgedir. Çünkü, yeterli miktarda elektron yoğunluğuna ve elektronlar ile nötr parçacıklar arasındaki yüksek çarpışma frekansına sahiptir. Bu çarpışmalar sonucunda radyo dalgasının enerjisinin bir kısmı elektronların termal enerjisine aktarılır. Bu soğurulma ile birlikte dalga zayıflar ve dolayısıyla ısı etkisi genellikle D bölgesinin üstünde çok azdır. D bölgesinin altında ise çarpışma frekansı çok yüksek olduğu için dalga çarpışmalar arasında elektronları hızlandıramaz. D bölgesini düşük elektron yoğunluğu, yüksek çarpışma frekansı ve karışık iyon kimyasından dolayı radar teknikleri ile incelemek oldukça zordur. Bunun için bilim adamları tarafından yapay ısıtmanın genellikle E veya F bölgelerindeki etkileri araştırılır [6, 7 ve 8].

1980'lerde Norveç, İsveç ve Finlandiya yüksek güçlü vericiler kullanılarak HF radyo dalgaları ile D-bölgesi elektronlarının yapay olarak ısıtılması üzerine çok sayıda teorik ve deneysel çalışma yapılmaya başlanmıştır [9 ve 10]. Deneysel çalışmalar için Bunlardan en önemlisi Norveç, Tromsø'daki EISCAT (European Incoherent Scatter Scientific Association) vericisidir. Bunun yanı sıra, Porto Rico' da bulunan Arecibo ve Alaska'da bulunan HAARP (High-frequency Active Auroral Research Program) ve HIPAS (High-Power Auroral Stimulation) vericiler de mevcuttur. Teorik analizler elektron gazının ideal bir gaz yaklaşıklığı kullanılarak elektron enerji denge eşitliği vasıtasıyla yapılmıştır [11, 12 ve 13].

Bu teorik çalışmada, dikey olarak yayılan bir HF radyo dalgasının oluşan farklı modlarının alt iyonkürede elektron sıcaklığı üzerindeki etkisi gündeğümü ve gün ortasına göre mevsimsel ve güneş lekesine bağlı olarak incelenmiştir. İkinci bölümde, radyo dalgasının farklı modları ile elektron ısınmasının teorik analizi, üçüncü bölümde ise elde edilen sonuçlar ve tartışma kısmı yer almaktadır.

## 2. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ (RESEARCH SIGNIFICANCE)

Bu çalışmada, HF haberleşmesi için büyük önem arz eden iyonkürenin bir kısmı olan altiyonkürenin HF dalgalarının yayılımı üzerine etkisi incelenmiştir. Altiyonkürenin çok karmaşık bir yapıya sahip olması ve diğer tekniklerle (iyonsonda, balon, vs.)

araştırılmasının çok zor olması sebebi ile bu bölgenin haberleşme üzerindeki etkisi tam olarak bilinmemektedir. HF radyo dalgası iyonkürede yayılırken iyonkürenin özelliklerine ve dalğanın ilerleme doğrultusuna bağlı olarak farklı modlara ayrılır. Bu farklı modların altiyonküre üzerindeki elektron sıcaklığına etkisi önemlidir. Bu alanda yapılan çalışmalarda genellikle dalğanın belli modları incelenir. Ancak bu çalışmada, HF dalgasının yayılma doğrultusuna bağlı olarak oluşan tüm modlarının altiyonküredeki elektron sıcaklığı üzerindeki etkisi incelenmiştir.

### 3. TEORİK MODELLEME (THEORETICAL MODELLING)

#### 3.1. Dalğanın Sönümünün Tanımlanması

##### (Identification of Damping of the Wave)

HF yayılımında iyonların etkisi ihmal edilebilir. Bu durumda, hızı  $V$  ve kütlesi  $m$  olan bir elektrona etki eden kuvvet aşağıdaki gibidir [14]:

$$m_e dV/dt = -e[E + V \times B] - m_e v_{en} \quad (1)$$

Burada  $e$  elektronun yükü ve  $v_{en}$  elektron-nötr çarpışma frekansıdır ve aşağıdaki denklem ile hesaplanır [15]

$$v_{en} = 2.33 \times 10^{-17} [N_2] (1 - 1.21 \times 10^{-4} T_e) T_e + 1.82 \times 10^{-16} [O_2] (1 + 3.6 \times 10^{-2} (T_e)) (T_e) \quad (2)$$

$T_e$ ,  $[N_2]$  ve  $[O_2]$  sırasıyla, elektronun sıcaklığı, azot molekülü ve oksijen molekülünün yoğunluğudur. Nötr bileşenler  $m^{-3}$  ve elektron sıcaklığı  $K$  birimindedir. (1) denklemi çözülerek iyonkürede dikey olarak yayılan HF dalgasının ayrılma bağıntısı ve kırılma indisi iyonküre parametreleri cinsinden elde edilir. Dalga ilerlerken (1) nolu denklemin çözümünden iki farklı mod elde edilir. Bunlar plazma salınımları ve kutuplanmış dalgalardır. Kutuplanmış dalgalar sağa (Right-handed, R) ve sola (Left-handed, L) olmak üzere ikiye ayrılır. HF dalgası  $z$ -doğrultusunda ilerlemesine rağmen jeomanyetik alanın geometrisinden dolayı  $y$ - (veya  $x$ ) doğrultusunda yayılan dalgalar da vardır. Bunlar ise ordinari (O-wave) ve ekstraordinari (X-wave) dalgalardır [14]. Bu farklı modların kırılma indisleri aşağıdaki gibi elde edilir.

$$n_R^2 = 1 - \frac{X(1-Y)}{(1-Y)^2 + Z^2} + iZ \frac{X}{(1-Y)^2 + Z^2} \quad (3)$$

$$n_L^2 = 1 - \frac{X(1+Y)}{(1+Y)^2 + Z^2} + iZ \frac{X}{(1+Y)^2 + Z^2} \quad (4)$$

$$n_O^2 = 1 - \frac{X}{1+Z^2} + iZ \frac{X}{1+Z^2} \quad (5)$$

$$n_X^2 = 1 - \frac{X[(1-X)(1-X-Y^2)+Z^2]}{[1-X-Y^2-Z^2]^2 + Z^2[2-X]^2} + iZ \frac{X[(1-X)^2+Y^2+Z^2]}{[1-X-Y^2-Z^2]^2 + Z^2[2-X]^2} \quad (6)$$

Burada,  $X = \frac{\omega_p^2}{\omega^2}$ ,  $Y = \frac{\omega_{ce}}{\omega}$  ve  $Z = \frac{v_{en}}{\omega}$  dir.  $\omega$ ,  $\omega_p$  ve  $\omega_{ce}$  sırasıyla, HF dalgasının frekansı, plazma frekansı ve elektron dönme frekansıdır. Bu denklemler elektron çarpışmalarının gerçekleştiği durumda kırılma indisinin  $n^2 = (\mu - i\chi)^2 = M + iN$  şeklinde karmaşık olduğunu gösterir. Bu durumda kırılma indisinin sanal kısmı,

$$\chi^2 = \frac{1}{2} \left[ (M^2 + N^2)^{1/2} - M \right] \quad (7)$$

şeklinde tanımlanır. Kırılma indisinin sanal kısmı dalganın sönümünü tanımlar. Sönümün fiziksel anlamı, dalga enerjisinin bir kısmının plazma içerisinde emilmesidir. Bu enerji gerçekte elektronlar ve nötr parçacıklar arasında bölünmüştür, fakat büyük kütle farkından dolayı elektronlar enerjinin tümünü alır. Elektron gazı için ideal gaz yaklaşımı kullanılarak, emilime bağlı elektron sıcaklık değişimi aşağıda verilen doğrusal olmayan diferansiyel denklem ile tanımlanır [16].

$$\frac{dT_e}{dt} = \frac{2}{3k_B N_e} \left( -\chi \frac{2\omega S}{c} - L \right) \quad (8)$$

Burada,  $k_B$  Boltzman sabitini,  $S$  enerji akı yoğunluğunu ve  $L$  ise elastik çarpışmalardan, dönme ve titreşimden kaynaklanan elektron enerji kayıplarının toplamını tanımlar [16].

$$L_{\text{elast}}(e, N_2) = 1.89 \times 10^{-44} N_e N_{N_2} (1 - 1.21 \times 10^{-4} T_e) T_e (T_e - T_n) \quad (9)$$

$$L_{\text{elast}}(e, O_2) = 1.29 \times 10^{-43} N_e N_{O_2} (1 + 3.6 \times 10^{-2} T_e^{1/2}) T_e^{1/2} (T_e - T_n) \quad (10)$$

$$L_{\text{dön}}(e, N_2) = 4.65 \times 10^{-39} N_e N_{N_2} ((T_e - T_n)/T_e^{1/2}) \quad (11)$$

$$L_{\text{dön}}(e, O_2) = 1.11 \times 10^{-38} N_e N_{O_2} ((T_e - T_n)/T_e^{1/2}) \quad (12)$$

$$L_{\text{it}}(e, N_2) = 4.79 \times 10^{-37} N_e N_{N_2} \exp \{ f_1 (T_e - 2000)/(2000 T_e) \} \\ [\exp(-g (T_e - T_n)/(T_e T_n)) - 1] \quad (13)$$

$$f_1 = 1.06 \times 10^4 + 7.51 \times 10^3 \tanh[11 \times 10^{-4} (T_e - 1800)]$$

$$g = 3300 + 1.233(T_e - 1000) - 2.056 \times 10^{-4} (T_e - 1000)(T_e - 4000)$$

$$L_{\text{it}}(e, O_2) = 8.32 \times 10^{-38} N_e N_{O_2} \exp \{ f_2 (T_e - 700)/(700 T_e) \} \\ [\exp(-2770 (T_e - T_n)/(T_e T_n)) - 1] \quad (14)$$

$$f_2 = 3300 - 839 \sin[1.91 \times 10^{-5} (T_e - 2700)]$$

HF radyo dalgasının enerji akısının yükseklikle değişimi [7]

$$\frac{dS}{dz} = \frac{2\omega\chi}{c} S \quad (15)$$

şeklinde verilir. Buradan;

$$S(z) = \frac{ERP}{4\pi z^2} \exp \left( 2 \frac{\omega}{c} \int_0^z \chi(z') dz' \right) \quad (16)$$

ifadesi elde edilir. Etkin ışınma gücü (ERP), vericinin gücü ile antenin kazancının çarpımına eşittir.

### 3.2. Algoritma (The Algorithm)

İyonkürenin D bölgesi için (8) denklemi sayısal olarak çözüldüğü zaman elektron sıcaklığı mikrosaniyeler seviyesinde bir denge durumuna ulaşabilir. Bunun başlıca sebebi iyonküredeki yüksek çarpışma frekasıdır. Denge durumunda  $\frac{dT_e}{dt} = 0$  olur ve (8) nolu denklem  $T_e$ 'nin fonksiyonu olarak çözülebilir [6]. Bu hesaplama için

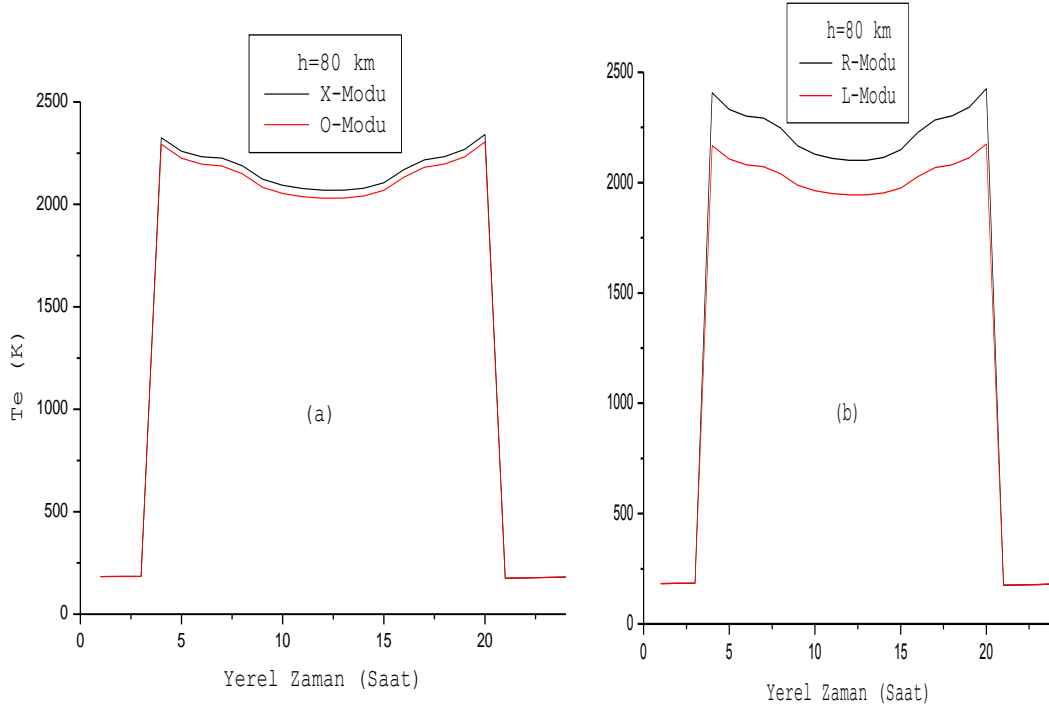
parametreler  $\omega, N_e, B_0, [N_2], [O_2]$  ve  $T_n$  dir. Bu çalışmada elektron yoğunluğu verileri IRI-2007 modelinden, nötr atmosfer parametreleri ise MSISE-90 modelinden ve  $B_0 = 4 \times 10^{-5}$  tesla olarak alınmıştır [17].

Denge durumunda ortama enerji aktarımı ve kaybı arasındaki farkın sifıra eşitlenmesi ile istenilen bir yükseklikte elektron sıcaklığı hesaplanır. Hesaplama yönteminde sayısal çözümün daha hassas olması için iyonküredeki yükseklik değişim aralığı 0,1 km olarak alınmıştır.

#### 4. HESAPLAMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA (CALCULATION RESULTS AND DISCUSSION)

HF radyo dalgasının alt iyonküredeki elektron sıcaklığı üzerindeki etkisini incelemek için EISCAT vericisinin değerlerine uygun frekans ( $f = 2.8 \text{ MHz}$ ) ve etkin ışımaya gücü ( $ERP = 200 \text{ MW}$ ) olarak seçilmiştir. Tüm hesaplamalar  $39^{\circ}41'$  K enlemi ve  $38^{\circ}14'$  D boylamı için yapılmıştır.

Dikey yayılan bir HF radyo dalgasının farklı modları (R, L, O ve X-Modu) için elektron sıcaklığının 80 km yükseklikte ve 21 Haziran 2009 tarihindeki günlük değişimi Şekil 1'de gösterilmiştir. Güneşin doğması ile beraber alt iyonküredeki elektron yoğunluğunun da artışı HF radyo dalgasından bir enerji emilimine sebep olmakta ve böylece elektron sıcaklığı artmaktadır. Elektron yoğunluğunun tepe değerlere ulaştığı saatlerde elektron sıcaklığında bir azalma olduğu görülmektedir. Dalganın manyetik alana bağlı olmayan modunun (O-modu) manyetik alana bağlı olan modundan (X-modu) yaklaşık olarak 30 K kadar daha az sıcak olduğu görülmektedir. Ayrıca sağa kutuplanmış (R-modu) dalganın gündoğumunda sola kutuplanmış (L-modu) dalgadan yaklaşık 250 K daha fazla elektronların sıcaklığını arttırdığı görülmektedir. Günün ilerleyen saatlerinde elektron yoğunluğundaki artışa bağlı olarak elektron sıcaklığında bir azalma gerçekleşmiştir.



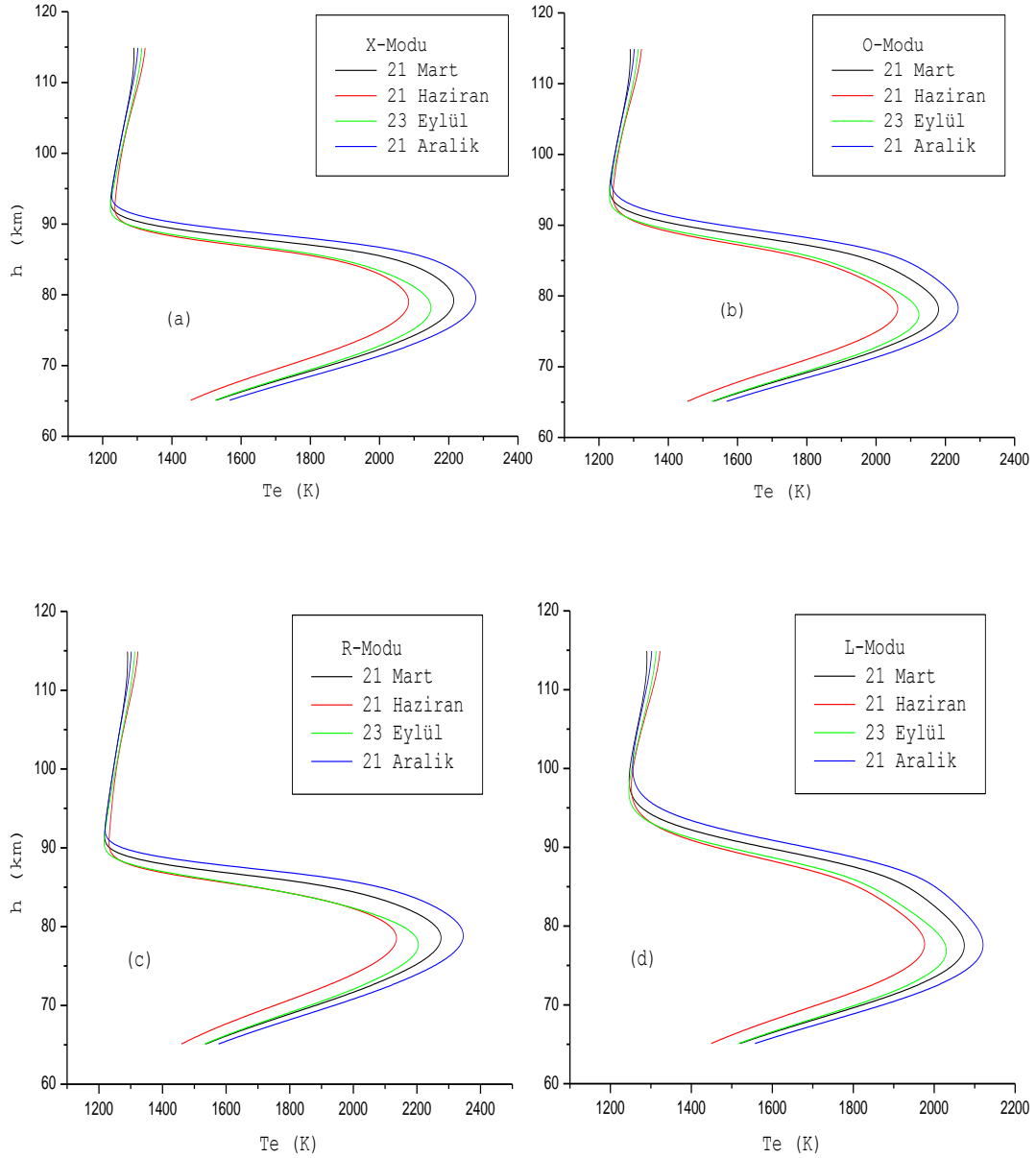
Şekil 1. Dikey yayılan HF radyo dalgasının farklı modlarının günlük değişimi

a) X ve O modu b) R ve L modu

(Figure 1. Daily variation of the different modes of the vertical propagated HF radio wave

a) X and O mode b) R and L mode)

Şekil 2'de dikey yayılan HF radyo dalgasının farklı modları için elektron sıcaklığının 2009 yılındaki mevsimsel değişimini gösterilmiştir. Mevsimsel değişim incelenirken ekinoks tarihleri ve yerel zaman 14.00 olarak alınmıştır. Elektron yoğunluğundaki artış kış aylarında yaz aylarından daha düşük olduğundan dolayı tüm modlar için aralık ayındaki elektron sıcaklığındaki artış haziran ayından daha yüksektir. Mart ayında eylül ayına nazaran daha az elektron bulunduğu için sıcaklık daha yüksektir. Sıcaklık artışı ile elektron yoğunluğu artışı ters orantılıdır. En büyük sıcaklık değeri yaklaşık 80 km yükseklikte 21 Aralık tarihinde R-modunda görülmüştür. En düşük sıcaklık değerleri ise bütün modlar için 90-95 km aralığında yaklaşık olarak 1200 K'dir.



Şekil 2. Dikey yayılan HF radyo dalgasının farklı modlarının mevsimsel değişimi

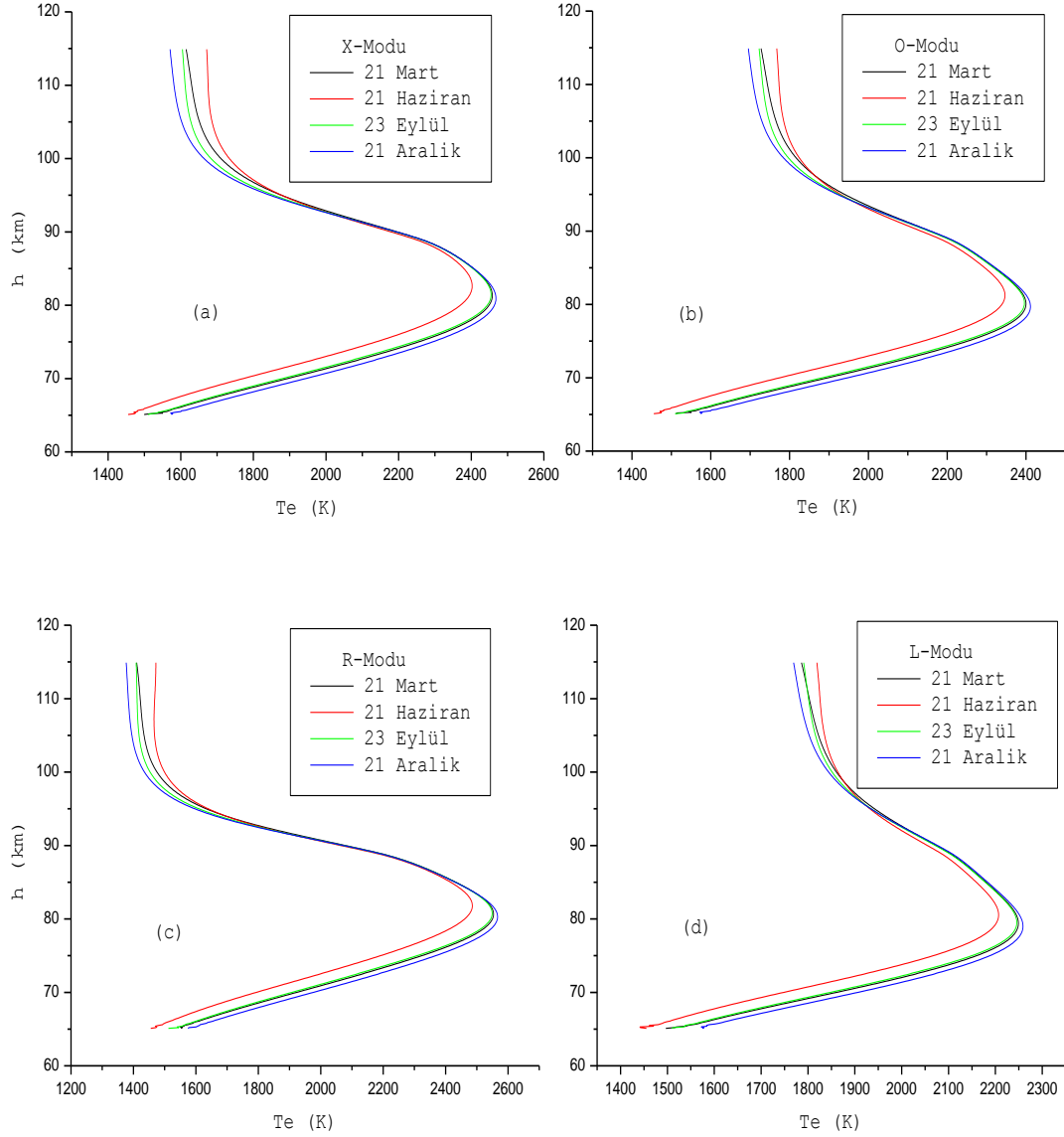
(a) X-modu (b) O- modu (c) R-modu (d) L-modu

(Figure 2. The seasonal variation of the different modes of the vertical propagated HF radio wave

(a) X-mode (b) O- mode (c) R-mode (d) L-mode)

HF radyo dalgasının farklı modlarının 2009 yılı ekinoks tarihlerinde gündeğümünü için elektron sıcaklığının yükseklikle değişimi Şekil 3'te gösterilmiştir. Gündeğümü mart ayı için saat 5.17, haziran ayı için saat 3.52, eylül ayı için saat 5.00 ve aralık ayı için saat 6.34 olarak alınmıştır. Şekilden de görüleceği üzere gündeğümünde elektron yoğunluğu az olduğundan dolayı tüm modlar için sıcaklık artışı daha fazladır. Ayrıca, yazın kış ayından daha fazla

iyonlaşma olacağından yazın elektron sıcaklığındaki artış kış ayından daha düşük olmuştur. Ayrıca dalganın X-modu ortam elektronlarını O-modundan yaklaşık 40-50 K'e kadar daha fazla ısıtırken R-modu L-modundan yaklaşık 300 K daha fazla ısıtmaktadır.



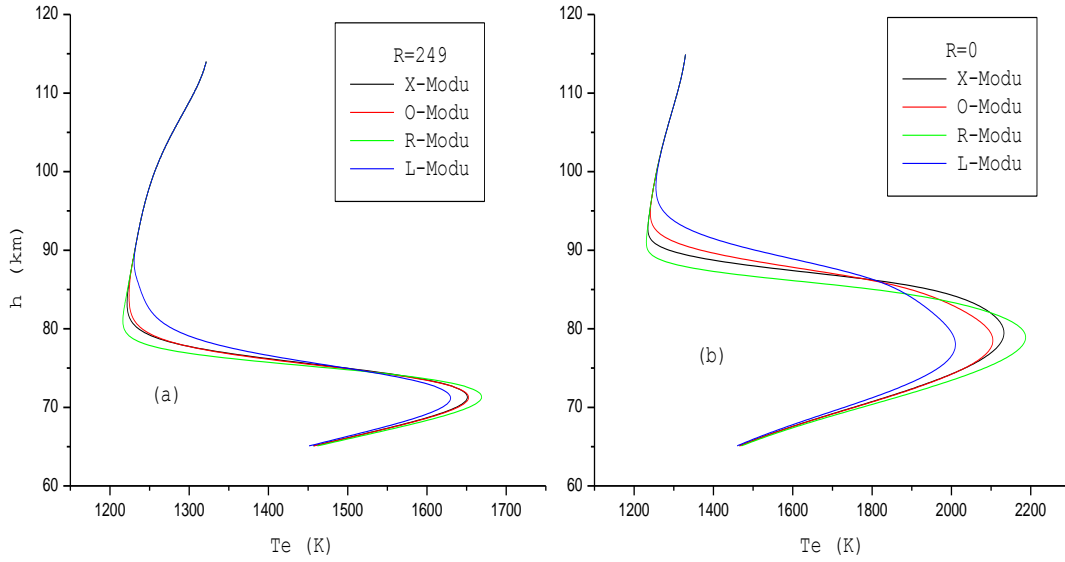
Şekil 3. HF radyo dalgasının farklı modlarının gündeğumunu için elektron sıcaklığının yükseklikle değışimi  
a) X-modu (b) O- modu (c) R-modu (d) L-modu

(Figure 3. The variaton of the electron temperature-height of the different modes of the vertical propagated HF radio wave at sunrise  
a) X-mode (b) O- mode (c) R-mode (d) L-mode)

Şekil 4'te güneş lekesi sayısının maksimum olduğu 19 Temmuz 2000 ve minimum olduğu 19 Temmuz 2009 tarihleri için HF radyo dalgasının farklı modlarının elektron sıcaklığındaki değışimleri gösterilmiştir. Bu hesaplamalarda saat 14.00 için yapılmıştır. Güneş lekesi sayıları <http://www.wdcb.ru/stp/data/solar.act/sunspot/> web adresinden



alınmıştır. Güneş lekесinin maksimum olduğu durumda sıcaklık artışı güneş lekесinin minimum olduğu durumdan oldukça düşüktür. Ayrıca, güneş lekесi maksimumunda dalga emilimin maksimum olduğu yükseklik güneş lekесinin minimum olduğu durumdakinden daha düşük yükseklikte gerçekleşir. Bunun nedeni güneş lekесi maksimumunda güneşten gelen yüksek güçlü ışımının alt iyonküreye kadar nüfuz ederek elektron yoğunluğunun artmasına sebep olmasıdır. Dalganın modlarının güneş lekесi maksimumunda ve minimumunda sıcaklık artışlarına bakıldığında en fazla artışın dalganın R-modunda meydana geldiği görülmektedir. En düşük artış ise dalganın L-modunda meydana gelmektedir. Ayrıca güneş lekесi minimumunda dalganın R-modunun L-modundan yaklaşık 150-200 K kadar ve X-modunun O-modundan yaklaşık 20-30 K kadar elektron sıcaklığını arttırdığı görülmektedir. Güneş lekесi maksimumunda ise dalganın R-modunun L-modundan yaklaşık 50-150 K e kadar daha fazla ve X-modunun ve O-modunun yaklaşık olarak aynı oranda elektron sıcaklığını arttırdığı görülmektedir.



Şekil 4. Güneş lekесi maksimumu ve minimumu için HF radyo dalgasının farklı modlarının elektron sıcaklığındaki artışın yükseklik ile değişimi

a) R=249 (b) R=0

(Figure 4. The variation of the electron temperature increase-height of the different modes of the vertical propagated HF radio wave for the sunspot maximum and minimum

(a) R=249 (b) R=0)

Radyo haberleşmesinde kullanılan HF radyo dalgasının farklı modlarının alt iyonkürede elektron sıcaklığı üzerindeki etkileri Yer'in manyetik alanı sabit alınarak teorik olarak incelenmiştir.

Günlük değişimde, güneşin doğması ile beraber alt iyonküredeki elektron yoğunluğunun da artışı HF radyo dalgasından bir enerji emilimine sebep olmakta ve böylece elektron sıcaklığı artmaktadır. Elektron yoğunluğunun tepe değerlere ulaştığı saatlerde elektron sıcaklığında bir azalma olduğu görülmektedir.

Mevsimsel değişimde, elektron yoğunluğundaki artış kışın yaz aylarından daha düşük olduğundan dolayı tüm modlar için aralık

ayındaki elektron sıcaklığındaki artış haziran ayından daha yüksektir. Mart ayında eylül ayına nazaran daha az elektron bulunduğu için sıcaklık daha fazladır. Sıcaklık artışı ile elektron yoğunluğu artışı ters orantılı bir ilişki içerisindedirler. Ayrıca gündeğümünde elektron yoğunluğu az olduğundan dolayı tüm modlar için sıcaklık artışı daha fazladır.

Güneş lekесinin maksimum olduğu durumda sıcaklık artışı güneş lekесinin minimum olduğu durumdan oldukça düşüktür. Ayrıca, güneş lekесi maksimumunda dalga emilimin maksimum olduğu yükseklik güneş lekесinin minimum olduğu durumdakinden daha düşük yükseklikte gerçekleşir.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Ünal, I., Özcan, O. ve Canyılmaz M., (2007). Ionospheric absorption of HF Radio Wave in Vertical Propagation. Iranian J. of Sci. & Tec. Transac. A, Vol. 31, No. A4, pp:413-419.
2. Rietveld, M.T., Kopka, H., and Stubbe, P., (1986). D-region characteristics deduced from pulsed ionospheric heating under auroral electrojet conditions, J. Atmos. Terr. Phys., 48, pp:311-326.
3. Belova, E.G., Pashin, A.B., and 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.
4. Taranenko, Y.N., Inan, U.S., and Bell, T.F., (1992) VLF-HF heating of the lower ionosphere and ELF wave generation, Geophys. Res. Lett., Vol:19, No:1, pp:61-64.
5. Barr, R. and Stubbe, P., (1991). ELF radiation from the Tromso super heater, Geophys. Res. Lett., Vol:18, pp:1035-1038.
6. Kero, A., Böisinger, T., Pollari, P., Turunen, E., and Rietveld, M., (2000). First EISCAT measurement of electron-gas temperature in the artificially heated D-region ionosphere, Ann. Geophys., 18, pp:1210- 15.
7. Kassa, M., Havnes, O., and Belove, E., (2005). The effect of electron bite-outs on artificial electron heating and the PMSE overshoot, Ann. Geophys., 23, pp:3633-3643.
8. Kosch, M.J., Rietveld, M.T., Hagfors, T., and Leyser, T.B., (2000). Highlatitude HF-induced airglow displaced equatorwards of the pump beam, Geophys. Res. Lett., 27, pp:2817-2820.
9. He, F. and Zhao, Z., (2009). Characteristics of high frequency radio wave propagated in heated ionospheric regions, Front. Elect. Electron. Eng., 4(2), pp:205-209.
10. Robinson, T.R., (1989). The heating of high latitude ionosphere by high radio waves, Physics Reports, 179, pp:79-209
11. Rietveld, M.T., Kohl, H., and Kopka, H., (1993). Introduction to ionospheric heating at Tromsø 1. Experimental overview, J. Atmos. Terr. Phys., 55, pp:577-599.
12. Jones, T.B., Robinson, T.R., Stubbe, P., and Kopka, H., (1986). EISCAT observations of the heated ionosphere, J. Atmos. Terr. Phys., 48, pp:1027-1035.
13. Borisova, T.D., Blagoveshchenskaya, N.F., Kornienko, V.A., Rietveld, M.T., Thide, B., and Leyser, T.B., (2005). Ionospheric effects observed when the Tromso HF heating facility was turned on/off, Geomagnetism and Aeronomy, Vol: 45, No: 3, pp:367-374.

14. 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,
15. Shunk, R.W. and Nugy, A.F., (2000). Ionospheres: Physics, Plasma Physics, and Chemistry, Cambridge University Press.
16. Rodriguez, J.V., (1994). Modification of the earth's ionosphere by very low frequency transmitters. Doktora Tezi, Elektrik Mühendisliği Bölümü, Stanford Üniversitesi, pp:176-178.
17. Hedin, A.E., (1991).Extension of the MSIS Thermosphere model into the middle and lower atmosphere, J. Geophys. Res., 96, pp:1159-1172.