

İyonosfer Kargaşası ve Yüzey Dalgalı Monostatik HF Radar Sistem Başarımına Etkileri *

Bülent Şen, Burak Polat
TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi, Bilişim Teknolojileri Araştırma Enstitüsü,
P.K. 21, 41470, Gebze, Kocaeli
Tel: 0(262) 641 23 00 /4753 veya 4822 Fax: 0 (262) 646 31 87
E-posta: bulents@btae.mam.gov.tr , polat@btae.mam.gov.tr

Özet: Bu çalışmada, yüzey dalgalı monostatik HF radar sisteminin alıcısındaki işaretin uğradığı atmosfer zayıflaması ve Doppler izgesi dispersiyonu, atmosferdeki elektron yoğunluğunun durağan olduğu halde Chapman dağılımı ile, zamana bağlı olduğu halde ise özilinti işlevi ile modellenerek incelenmiştir. İyonosferden gelen işaretin Doppler izgesindeki davranışının güneşin Zenith açısı, radar çalışma frekansı, türbülans hızı gibi birçok parametreye bağlılığı irdelenmiş ve radar sistem başarımına etkileri ortaya konmuştur.

1. Giriş

İyonosfer tabakasının Doppler ve çok yollu dispersiyon (*multipath dispersion*) cevabı HF iletişim sistemlerinin tasarımında önemli bir rol oynamaktadır ve yazında uzun yıllardır incelenegelmıştır[1]. İyonosfer kargaşasının zaman domenindeki çok yollu yayılım kaynaklı dispersiyonu üzerine özellikle Bailey[2] ve Salaman[3] birçok çalışmalar yapmış ve çalışmalarını ölçüm sonuçları ile desteklemişlerdir.

İyonosfer kargaşasının Doppler izgesindeki (*spectrum*) dispersiyonunun kaynağı faz yolunun (*phase path*) zamana bağlı değişimidir ve atmosfer içerisinde faz yolu, elektron yoğunluğunun troposfer ve iyonosfer tabakalarındaki değişimine ve dinamiklerine bağlıdır. Elektron yoğunluğunun konuma bağlı değişiminin kaynağı ise güneş ışınlarıdır. Güneş yükselmeye başladıktan sonra güneş ışınları atmosferin üst tabakalarını ısıtmaya başlar ve iyon oluşumunu tetikler. Güneşin konumuna göre iyonosfer hareketleri farklılıklar gösterir ve iyonosfer tabakası içerisinde radyo dalgası yayılımı mekanizması değişkenlik gösterir.



Şekil 1. Zenith açısının güneşin konumuna göre değişimi

Şekil 1'de χ , güneşin Zenith açısı adını alır ve Zenith doğrultusu ile yaptığı açı olarak tanımlanır. Bu çalışmada, iyonosfer kargaşasının HF yüzey dalga radarının algılama başarımını nasıl etkilediğinin ortaya çıkarılması amacıyla iyonosfer kargaşasının Doppler izgesi dispersiyonunu incelemek üzere bir model aşağıdaki kabuller altında kurulmuştur :

- Yeryüzünün magnetik alan etkisi ihmal edilmiştir.
- İyonosfer tabakası tek katlı kabul edilmiştir.
- İyonosfer kargaşasının sadece θ^0 yükselme açısındaki (dik çıkış) enerji yayılımından kaynaklandığı kabul edilmiştir.
- D tabakasında (troposfer) herhangi bir atmosferik kırılma olayının olmadığı kabul edilmiştir.

2. İyonosfer Yapısı

İyonosfer tabakasını modellemek üzere, elektron sayısı yoğunluğunun Zenith açısına ve yüksekliğe bağlı değişimini de içermesi nedeniyle Chapman modeli[4] uygun görülmüştür. Bu modele göre elektron sayısı yoğunluğu

$$N(\chi, z) = N_0 \exp\left\{\frac{1}{2} [1 - z - \sec(\chi) \exp(-z)]\right\} \quad (1)$$

* Bu çalışma Dz.K.K. 'lığı Araştırma Merkezi Komutanlığı (ARMERKOM) tarafından desteklenmiştir.

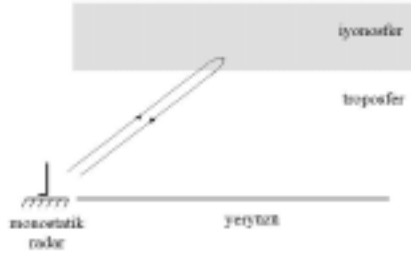
ifadesi ile verilir. Burada, $N[m^{-3}]$, elektron sayısı yoğunluğu, $N_0 [m^{-3}]$, güneş tepe noktasında iken en büyük elektron sayısı yoğunluğu, $\chi [rad]$, Zenith açısı, $z = (h - h_0)/H$, $h [m]$, yükseklik, $h_0 [m]$, güneş tepe noktasında iken en büyük elektron sayısı yoğunluğunun oluştuğu yükseklik, $H [m]$, ölçeklendirme faktörüdür.

3. İyonosfer Modeli

Modeldeki yayılım ortamı troposfer ve iyonosfer tabakalarından oluşmaktadır ve tabakaların kırılma indisleri konuma ve zamana aşağıdaki şekilde bağlıdır :

$$n(\vec{r}; f, t) = \begin{cases} n_T & , 0 \leq h \leq h_T \quad (\text{troposfer}) \\ n_I(\vec{r}; f, t) = n_{I0}(\vec{r}; f, t) + \Delta n_I(\vec{r}; f, t) & , h_T \leq h \leq h_I \quad (\text{iyonosfer}) \end{cases} \quad (2)$$

4. Matematiksel Model



Monostatik radardan gönderilen $\omega_0 (= 2\pi f_0) [rad/sn]$ taşıyıcı frekansına sahip Gauss tipi bir işaretin matematiksel ifadesi aşağıdaki gibidir:

$$f(t) = A_0 \exp(-t^2 / 2\sigma^2) \exp[j(\omega_0 t + mt^2 / 2)] \quad (3)$$

Burada, A_0 , işaretin genliği, σ , Gauss dağılımının standart sapmasıdır ve kurulan modelde frekans tarama hızı $m = 0 [rad/sn^2]$ alınmıştır.

Şekil 2. HF radyo dalgasının izlediği yol
Gönderilen işaretin iyonosferden yansıdıktan sonraki ifadesi

$$F(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} f(\omega) \exp[-j\varphi(\omega)] \exp[j\omega t] d\omega \quad (4)$$

şeklinindedir. (4) eşitliğindeki $\exp[-j\varphi(\omega)]$ terimi “iyonosferin transfer işlevi”dir[5]. $\varphi(\omega)$ faz kayması terimi olup çift yönlü (gidiş-geliş) yayılım için aşağıdaki şekilde ifade edilir :

$$\varphi(\omega) = \varphi_r(\omega) - j\varphi_i(\omega) = 2 \frac{\omega}{c} \int_0^R n ds \quad (5)$$

Bu halde

$$F(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} f(\omega) \exp[-\varphi_i(\omega)] \exp[-j\varphi_r(\omega)] \exp[j\omega t] d\omega \quad (6)$$

halini alır. $f(t)$ 'nin Gauss tipi ve dar bantlı olması nedeniyle (6) integral ifadesindeki $\exp[-\varphi_i(\omega)]$ terimi $\omega = \omega_0$ 'daki değeri ile integralin dışına alınabilir :

$$F(t) = \frac{1}{2\pi} \exp[-\varphi_i(\omega_0)] \int_{-\infty}^{\infty} f(\omega) \exp[-j\varphi_r(\omega)] \exp[j\omega t] d\omega \quad (7)$$

(7) ifadesindeki integral hesaplandığında alıcıdaki işaretin τ zaman gecikmesine bağlı ifadesi

$$F(\tau) = \exp[-\varphi_i(\omega_0)] A_m \exp \left[j \frac{1}{2} \tan^{-1} \left(- \frac{\varphi_r''(\omega_0)}{\sigma^2 [1 + m \varphi_r''(\omega_0)]} \right) \right] \times \exp \left[j \left(\omega_0 \tau + \omega_0 \varphi_r'(\omega_0) - \varphi_r(\omega_0) + \frac{m \tau^2}{2} \right) \right] \exp[-\tau^2 / 2\sigma_m^2] \quad (8)$$

olur.

Burada

$$A_m = \frac{A_0}{\left[1 + m\varphi''(\omega_0)^2 + (\varphi''(\omega_0)/\sigma^2)^2\right]^{1/4}}, \quad \sigma_m = \sigma \left[\left[1 + m\varphi''(\omega_0)^2 + (\varphi''(\omega_0)/\sigma^2)^2\right]^{1/2} \right] \quad (9)$$

ve $\tau = t - \varphi_r'(\omega_0)$ dir. $F(\tau)$ ifadesi, vericiden gönderilen Gauss işaretinin iyonosferden yansıdıktan sonra alıcı sistemdeki dalga şeklindedir. Alınan işaretin Doppler izgesindeki davranışı $F(\tau)$ ifadesinin Fourier dönüşümü alınarak elde edilir.

5. Elektron Sayısı Yoğunluğunun Modellenmesi

İyonosfer tabakası içerisinde herhangi iki nokta arasındaki elektron sayısı yoğunluğunun değişiminin özilinti (*auto-correlation*) işlevi aşağıdaki şekilde tanımlanır :

$$E[N(\vec{R}_1)N(\vec{R}_2)] = C(|\vec{R}_1 - \vec{R}_2|) \quad (10)$$

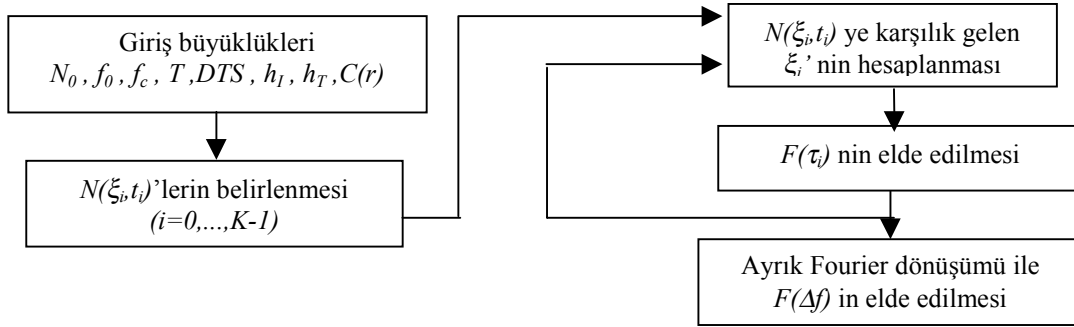
$C(r)$ özilinti işlevi için bu modelde, yazında sık olarak kullanılan aşağıdaki Gauss dağılımı seçilmiştir [4] :

$$C(r) = \sigma^2 \exp[-\pi r^2 / 4\Lambda^2] \quad , \quad r \geq 0 \quad (11)$$

Burada, $\sigma^2 = C(0)$ elektron sayısı yoğunluğu değişiminin karesel ortalaması ve $\Lambda [m]$ türbülans genişliğidir. Modelde, $N(h)$ rastgele süreci “Özdeğer/Özvektör Ayrıştırma (*Eigendecomposition*)” yöntemi kullanılarak elektron sayısı yoğunluğunun özilinti işlevinden geri dönüşüm ile elde edilmiştir.

6. Benzetim Sonuçları

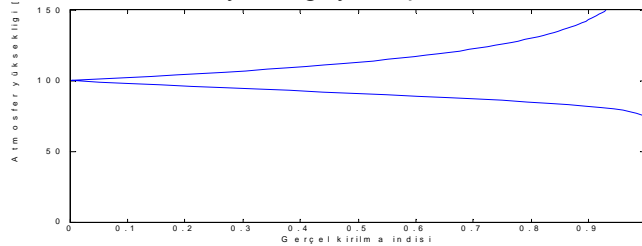
Kurulan modelin yordam akış şeması ana hatlarıyla aşağıdaki şekildedir :



Şekil 3. Model akış yordamı

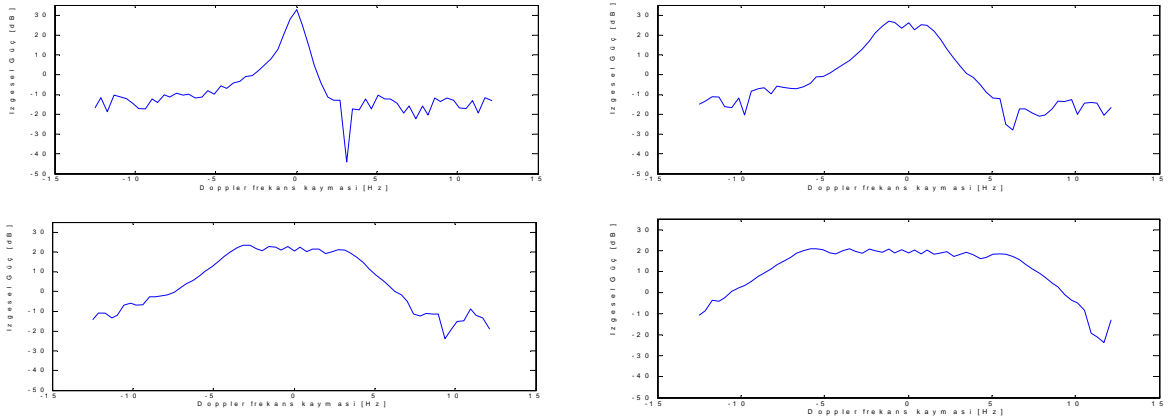
Burada, $\xi [m]$, işaretin iyonosferden yansıma noktası, $f_c [MHz]$, kritik frekans, $T [sn]$, darbe süresi, $DTS [sn]$, darbe tekrarlama süresi, K , integrasyon zamanı içerisinde gönderilen darbe sayısıdır.

D tabakası boyunca kırılma indisinin sabit alınması nedeniyle işaret h_T noktasına kadar herhangi bir kırılmaya uğramaz. İyonosfere giren HF radyo dalgası bir h_0 ($h_T < h_0 < h_I$) noktasında $n = n_r - jn_i$ karmaşık kırılma indisinin gerçel kısmının sıfıra gitmesiyle yansımaya uğramaktadır (bkz. Şekil 4). Chapman modelindeki N_0 ve h_0 parametreleri yukarıda anlatılan fiziksel olayları sağlayacak şekilde belirlenmelidir.



Şekil 4. Atmosferik kırılma indisinin gerçel kısmının (n_r) yükseklikle değişimi ($N_0 = 1.0062 \cdot 10^{12}$, $h_0 = 100km$ ve $\chi=0^\circ$)

Şekil 5'te kurulan model sonucunda iyonosfer kargaşasının Doppler izgesi dispersiyonunu belirleyen türbülans hızı, türbülans genişliği, integrasyon zamanı ve Zenith açısına bağlı değişimleri verilmiştir :



Şekil 5. $f_0 = 3 \text{ MHz}$, türbülans hızı $v = 150, 300, 450, 600 \text{ m/sn}$, türbülans genişliği $tw = 200 \text{ m}$ olmak üzere iyonosfer kargaşasının $\chi = 0^\circ$ için izgesel (spectral) güç değerinin Doppler frekans izgesi ile değişimi

Şekil 5'teki frekans dağılımlarına bakıldığında $\chi = 0^\circ$ için türbülans hızı arttıkça iyonosfer kargaşasının Doppler izgesindeki dağılımının genişlemesine rağmen izgesel güç değeri yaklaşık 10 dB kadar azalmaktadır.

İzgesel güç değerinin Zenith açısıyla değişimini belirlemek için bir S ölçütü tanımlanmıştır. S ölçütüne göre Doppler izgesindeki ortanca güç değeri alınmış, bu ölçüt her bir farklı Zenith açısına karşılık gelen ortanca güç değerleri ile karşılaştırılmıştır.

Zenith açısı	S ölçütü [dB]
0°	16.99
15°	17.59
30°	17.66
50°	17.74

Tablo 1'de görüldüğü üzere güneşin Zenith doğrultusu ile yaptığı açı arttıkça alıcıdaki işaretin izgesel güç değeri de artmakta (atmosfer zayıflaması azalmakta) ve kargaşanın radar sisteminin algılama başarımını etkileme olasılığı yükselmektedir. Yazında yer alan ampirik formüller de Zenith açısının artmasına bağlı olarak atmosfer zayıflamasının azaldığını göstermektedir[1].

Tablo 1. $f_0 = 3 \text{ MHz}$ için farklı Zenith açılara göre S ölçütünün değişimi

Sonuç olarak iyonosfer kargaşasının Doppler etkisini en aza indirmek için iki yol görülmektedir :

- Ölçümleri Zenith açısının sıfır olduğu anlarda almak,
- Zenith açısının sıfırdan farklı olduğu anlarda ise çalışma frekansını değiştirmek.

f_0 [MHz]	Ortanca güç [dB]
3	17.59
4	16.39
5	13.69
6	14.97
7	13.14

İyonosfer kargaşasının izgesel ortanca gücü, çalışma frekansı ile ters orantılıdır. Bu nedenle, iyonosfer kargaşasının sistemin algılama başarımını etkileme olasılığını azaltmak amacıyla çalışma frekansı yükseltilir. Tablo 2'de 6 MHz çalışma frekansında uyumsuzluk görülmesinin nedeni Doppler izgesinin standart sapmasının yüksek olmasından kaynaklanmaktadır, bu halde ortanca değeri güvenilir değildir.

Tablo 2. $\chi = 15^\circ$ için farklı çalışma frekanslarına göre alınan işaretin izgesel güç değeri

Kaynaklar

- [1] K. Davies, "Ionospheric Radio Propagation", Dover Publications, Inc., New York, 1965.
- [2] D.K.Bailey, "The effect of multipath distortion on the choice of operating frequencies for high-frequency communication circuits," IRE Trans. Antennas Propagat., cilt AP-7, sy.397-404, Ekim 1959.
- [3] R.K. Salaman, "A new ionospheric multipath reduction factor (MRF)," IRE Trans. Commun. Syst. (Corresp.), cilt CS-10, sy.220-222, Haz. 1962.
- [4] P.A. Bello, "A study of the relationship between multipath distortion and wavenumber spectrum of refractive index in radio links", Proc. IEEE, cilt 59, no.1, sy. 47-75, Ocak 1971.
- [5] G.H. Millman, C.D. Bell, "Ionospheric dispersion of an FM electromagnetic pulse", IEEE Trans. On Antennas and Propagat., cilt 19, no.1, sy. 152-155, Ocak 1971.