

# Düz İçbükey ve Dışbükey Yüzeylerden Yansıma için GO Yöntemi

Orhan ŞENGÜL, Altunkan HIZAL

TÜBİTAK-BİLTEN

ODTÜ Kampusu, İnönü Bulvarı, 06531, Balgat, Ankara, TÜRKİYE  
Tel: +90(312)210 1310 Fax: +90(312)210 1315 e-posta: orhan.sengul@bilten.metu.edu.tr

Elektrik-Elektronik Müh. Bölümü

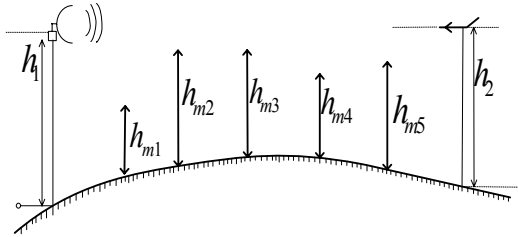
Orta Doğu Teknik Üniversitesi 06531, Balgat, Ankara, TÜRKİYE  
Tel: +90(312)210 2370 Fax: +90(312)210 1261 e-posta: ahizal@metu.edu.tr

**Özet:** İçbükey ve dışbükey yüzeyler Geometrik Yansıma Teorisi'ne dayalı bir ışın izleme yöntemi ile modellenmiştir. Arazi, çukurluklarla tepelerin, düz eğik platolarla ve içbükey-dışbükey eğik platolarla birleştirilmesiyle modellenmiştir

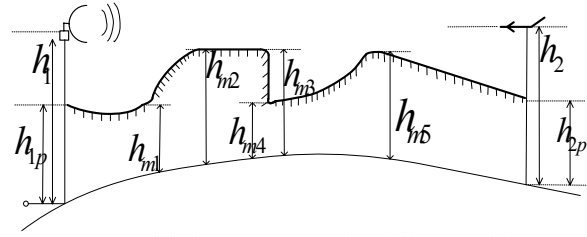
## 1. Giriş

Literatürde düz olmayan araziler için yüksek frekansta alan gücünü tahmin eden ve hesaplayan bir çok yöntem bulunmaktadır. İlk geliştirilenlerden biri olan ve en geniş biçimde kullanılan yayılım modeli bıçak sırtı modelidir. SEKE tarafından ele alınan bu model düz olmayan arazilerde alçak irtifa yayılımını modellemek için kullanılan bir bilgisayar modelidir[3]. Bu model genel arazilere özel olup; çoklu yol, küresel yeryüzü saçılımını ve çoklu bıçak sırtı saçılımını kayıplarını hesaplamaktadır(Şekil 1.a).

Longley-Rice modeli SEKE'ye çok benzeyen basitleştirilmiş bir modeldir. Bir diğer yayılım modeli olan RADCAL ise dairesel yeryüzü ve tepe saçılımıyla birleştirilmiş eğik plato yansımalarını ele alır [1,2]. Bu model saçıcı tepeler arasındaki düz ve eğik platolardan olan yansımaların katkısını göz önünde bulundurmaktadır. Model düz platolardan yansıyan ışınları, olay engellerini kontrol etmekte ve eğik açılarda dairesel tepe başlarından bıçak sırtı saçılımını dikkate almaktadır. Yansıma ve saçılım için beş-ışın yayılım modeli yol yayılma faktörünü bulmak için kullanılabilir. Bu model bıçak sırtı saçılımını ve yer yansımalarını birlikte içermektedir (Şekil 1.b).



Şekil 1.a. SEKE Arazi Modeli Geometrisi



Şekil 1.b. RADCAL Arazi Modeli Geometrisi

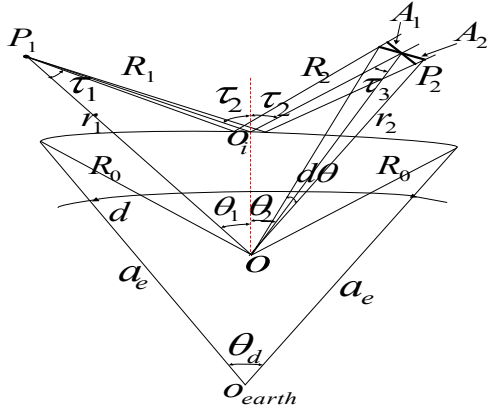
Yayılım faktörü, HF ve VHF için uygun tam dalga integral denklemi formülasyonu da bulunmaktadır [4]. Bir diğer yayılım modeli HF ve VHF için uygun parabolik denklem modelidir. Kolay ve çabuk uygulanabilir olması nedeniyle GO mikrodalga frekansları için daha uygundur. Bu model mikrodalga frekanslarında düz olmayan arazilerde aynasal yansıma kırınımlarında daha baskındır. Bu makalede GO (ışın optiği) daha önceden bilinen Dağılma Faktörünü ve yeni tanımlanacak Toplama Faktörünü bulmak için kullanıldı.

Makalenin kalan bölümünde Kısım 2'de Dağılma Faktörünün Geometrik Yorumu, Kısım 3'te Dağılma Faktörünün Geometrik Yorumu sunulmaktadır. Kısım 4'te Yöntemlerin Geometrik Doğrulaması yapılmaktadır. Son olarak Kısım 5'te Sonuç sunulmaktadır.

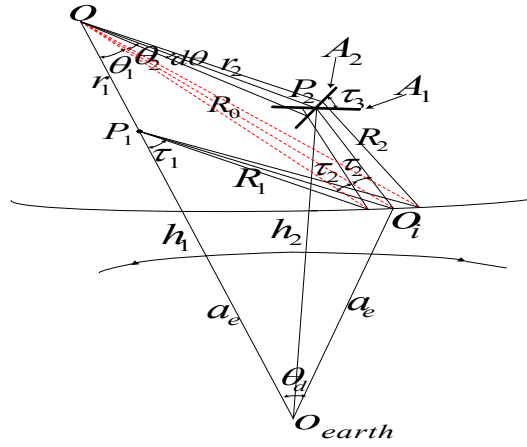
## 2. Dağılma Faktörünün Geometrik Yorumu

Dağılma Faktörü D, karışma bölgesindeki yüzeyden yansıyan zayıflayan enerjideki dünyanın dairesel şeklini temsil eden bir niceliktir. Kerr D.E. [5] Dağılma Faktörü için alan gücü denklemlerini kullanarak sadece geometrik çıkarımlarla bir formül ortaya koymuştur. İletken bir dairenin dalgalarının saçılımının ayrıntılı analizi sırasında aynı sonucu bulan Van der Pol ve Bremmer de Dağılma Faktörü D için bir geometrik çıkarım önermiştir [6].

Bu makalede aynı analogi ve Geometrik Saçınım Teorisi kullanılarak içbükey yüzeylerde Dağılma Faktörü aşağıdaki şekilde çıkarılmıştır.



Şekil 2.a. İçbükey YüzeYden Yansıma



Şekil 2.b. İçbükey YüzeYden Yansıma

Şekil-2.a'da üzerinde dışbükey yüzeyin bulunduğu yeryüzünden bir saçılım kesiti ve dışbükey dairenin merkezinden  $r_1$  yüksekliğinde yön bağımsız bir kaynak gösterilmektedir. Burada küçük koninin içerisinde bulunan ışın dalgalarının dışbükey bir yüzey üzerindeki bir noktadan yansıması veya düzlem bir alan üzerinde bulunan bir noktadan yansıması karşılaştırılacaktır. Alan kuvveti ışın yoğunluğunun karekökü ile orantılıdır. Daha doğrusu Dağılıma Faktörü ışın konisinin düzlemden yansımasının, dışbükey yüzeyden yansımasına oranının kareköküdür.

Kaynaktan ayrılan ışın demetinin saçılım kesiti  $R^2 \cdot \text{Sin} \tau_1 \cdot d\tau_1 \cdot d\phi$ 'dir.  $\phi$  sayfa düzlemine dik olarak ölçülen açı,  $R$  ise verev uzaklıktır. Düzlemden yandıktan sonraki saçılım kesiti ise  $(R_1 + R_2)^2 \text{Sin}(\tau_1 + \theta_1) \cdot d\tau_1 \cdot d\phi$ 'dir, burada yansıma noktasında teğet düzlemin altında bulunan kaynak imgesi  $R_1 + R_2$  mesafesi kadar yol almaktadır. Dışbükey yüzeyden yandıktan sonraki saçılım kesiti Şekil 2.a'daki  $A_1$  olup aynı zamanda  $A_2 \cdot \text{Cos} \tau_3$  eşittir. Burada  $A_2 = r_2 \cdot \text{Sin} \theta \cdot d\theta \cdot d\phi$ 'dir. Bu durumda Dağılıma Faktörü ise;

$$D = \sqrt{\frac{(R_1 + R_2)^2 \cdot \text{Sin}(\tau_1 + \theta_1) \cdot d\tau_1 \cdot d\phi}{r_2^2 \cdot \text{Sin} \theta \cdot \text{Cos} \tau_3 \cdot d\theta \cdot d\phi}} \quad (1)$$

Denklemden bulunan  $d\theta$ 'yı elde etmek için, Şekil 1.a'dan yararlanılarak birkaç bağıntı elde edilebilir.

$$R_0 \cdot \text{Sin} \tau_2 = r_1 \cdot \text{Sin} \tau_1 = r_2 \cdot \text{Sin} \tau_3 \quad (2)$$

$$R_1 \cdot \text{Sin} \tau_1 = R_0 \cdot \text{Sin} \theta_1 \quad R_2 \cdot \text{Sin} \tau_3 = R_0 \cdot \text{Sin} \theta_2 \quad (3)$$

$$R_1 = r_1 \cdot \text{Cos} \tau_1 - R_0 \cdot \text{Cos} \tau_2 \quad (4)$$

$$R_2 = r_2 \cdot \text{Cos} \tau_3 - R_0 \cdot \text{Cos} \tau_2 \quad (5)$$

$$R_1^2 = R_0^2 + r_1^2 - 2 \cdot R_0 \cdot r_1 \cdot \text{Cos} \theta_1 \quad (6)$$

$$R_2^2 = R_0^2 + r_2^2 - 2 \cdot R_0 \cdot r_2 \cdot \text{Cos} \theta_2 \quad (7)$$

Bu denklemler kullanılarak Dağılıma Faktörü aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

$$\frac{1}{D^2} \approx \frac{r_2 \cdot \text{Sin} \theta}{(R_1 + R_2) \cdot \text{Sin}(\tau_1 + \theta_1)} \left[ 1 + \frac{2 \cdot R_1 \cdot R_2}{R_0 \cdot (R_1 + R_2) \cdot \text{Sin} \tau_2} \right] \quad (8)$$

Bu denklem Kerr denklemine çok yakındır. Bu denklemin farkı, Kerr'in denklemindeki  $\theta_1$ 'in dünyanın büyük yarıçapı nedeniyle dikkate alınmamasıdır. Her iki denklemde büyük eğiklik yarıçapı için aynı sonucu vermektedir.

### 3. Toplama Faktörünün Geometrik Yorumu

Toplama Faktörü C, karışma bölgesindeki yüzeyden yansıyan enerjinin güçlendirildiği, dünyanın dışbükey kısımlarını temsil eden bir niceliktir. Dağılıma Faktörü gibi Toplama faktörünün yalnızca geometrik çıkarımlarla elde edilmesi mantıklıdır.

İçbükey yüzeylerde, yansıyan ışınlar yakınsar ve kesişirler. Bu kesişme noktalarının geometrik yerine ışın yüzeyi veya kostik yüzey denir. İdeal olarak kostik noktasında genlik sonsuzdur. İçbükey yüzeylerde, kostik noktasında ışın optiklerinin tehlikeleri halen bulunmaktadır. Hesaplamalarda bu noktalara dikkat edilmesi gerekmektedir.

Şekil-2.b'de üzerinde içbükey yüzeyin bulunduğu yeryüzünden bir saçılım kesiti ve içbükey dairenin merkezinden  $r_1$  yüksekliğinde yön bağımsız bir kaynak gösterilmektedir. Burada küçük koninin içerisinde bulunan ışın dalgalarının içbükey bir yüzey üzerindeki bir noktadan yansması veya düzlem bir alan üzerinde bulunan bir noktadan yansması karşılaştırılacaktır. Alan kuvveti ışın yoğunluğunun karekökü ile orantılıdır. Daha doğrusu Toplama Faktörü ışın konisinin düzlemden yansımamın, içbükey yüzeyden yansımaya oranının kareköküdür.

Kaynaktan ayrılan ışın demetinin saçılım kesiti  $R^2 \cdot \text{Sin} \tau_1 \cdot d\tau_1 \cdot d\phi$ 'dir.  $\phi$  sayfa düzlemine dik olarak ölçülen açı,  $R$  ise verev uzaklıktır. Düzlemden yansdıktan sonraki saçılım kesiti ise  $(R_1 + R_2)^2 \text{Sin}(\tau_1 - \theta_1) d\tau_1 \cdot d\phi$ 'dir, burada yansımaya noktasında teğet düzlemin altında bulunan kaynak imgesi  $R_1 + R_2$  mesafesi kadar yol almaktadır. İçbükey yüzeyden yansdıktan sonraki saçılım kesiti Şekil 2.b deki  $A_1$  olup aynı zamanda  $A_2 \cdot \text{Cos} \tau_3$  eşittir. Burada  $A_2 = r_2 \cdot \text{Sin} \theta \cdot d\theta \cdot d\phi$ 'dir. Bu durumda Toplama Faktörü ise;

$$C = \sqrt{\frac{(R_1 + R_2)^2 \cdot \text{Sin}(\tau_1 - \theta_1) \cdot d\tau_1 \cdot d\phi}{r_2^2 \cdot \text{Sin} \theta \cdot \text{Cos} \tau_3 \cdot d\theta \cdot d\phi}} = \frac{R_1 + R_2}{r_2} \sqrt{\frac{\text{Sin}(\tau_1 - \theta_1)}{\text{Sin} \theta \cdot \text{Cos} \tau_3 \cdot \frac{d\theta}{d\tau_1}}} \quad (9)$$

Denklemden bulunan  $d\theta$ 'yı elde etmek için, Şekil 1.b'den yararlanılarak birkaç bağıntı elde edilebilir.

$$R_0 \cdot \text{Sin} \tau_2 = r_1 \cdot \text{Sin} \tau_1 \quad (10)$$

$$R_1^2 = R_0^2 + r_1^2 - 2 \cdot R_0 \cdot r_1 \cdot \text{Cos} \theta_1 \quad (11)$$

$$R_2^2 = R_0^2 + r_2^2 - 2 \cdot R_0 \cdot r_2 \cdot \text{Cos} \theta_2 \quad (12)$$

$$R_0^2 = R_1^2 + r_1^2 + 2 \cdot R_1 \cdot r_1 \cdot \text{Cos} \tau_1 \quad (13)$$

$$R_0^2 = R_2^2 + r_2^2 + 2 \cdot R_2 \cdot r_2 \cdot \text{Cos} \tau_2 \quad (14)$$

$$R_0 \cdot \text{Sin} \tau_1 = R_0 \cdot \text{Sin} \theta_1 \Rightarrow \text{Sin} \theta_1 = \frac{R_1}{R_0} \cdot \text{Sin} \tau_1 \quad (15)$$

$$R_2 \cdot \text{Sin} \tau_2 = r_2 \cdot \text{Sin} \theta_2 \Rightarrow \text{Sin} \theta_2 = \frac{R_2}{r_2} \cdot \text{Sin} \tau_2 \quad (16)$$

$$r_2 \cdot \text{Sin} \tau_3 = R_0 \cdot \text{Sin} \tau_2 = r_1 \cdot \text{Sin} \tau_1 \quad (17)$$

Bu denklemler kullanılarak Toplama Faktörü aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$C = R_1 + R_2 \sqrt{\frac{\text{Sin}(\tau_1 - \theta_1)}{\text{Sin} \theta \cdot (R_0 \cdot \text{Cos} \tau_2 - R_2) \cdot r_2 \cdot \frac{d\theta}{d\tau_1}} \cdot \frac{r_1}{r_1}} \quad (18)$$

burada  $\frac{\partial \theta}{\partial \tau_1} = \frac{R_1}{R_0 \cdot \text{Cos} \tau_2} + \frac{R_2 \cdot (R_0 \cdot \text{Cos} \tau_2 - R_1)}{R_0 \cdot \text{Cos} \tau_2 \cdot (R_0 \cdot \text{Cos} \tau_2 - R_2)}$  ve  $r_1 \cdot \text{Sin}(\tau_1 - \theta_1)$  ifadesi  $\tau_2$  cinsinden yazılırsa

$$r_1 \cdot \text{Sin}(\tau_1 - \theta_1) = \frac{R_0 \cdot \text{Cos} \tau_2 \cdot (R_1 - R_0^2 - r_1^2) - 2 \cdot R_0 \cdot R_1 \cdot \text{Sin} \tau_2 \cdot (R_0 \cdot \text{Cos} \tau_2 - R_1)}{2 \cdot R_0 \cdot r_1} \quad (19)$$

bağıntıları yukarıdaki eşitlikler kullanılarak bulunabilir.

#### 4. Yöntemlerin Geometrik Doğrulaması

Bu makalede çıkarılan Dağılıma Faktörü, Kerr denkleminin tam sonucunun GO genişletilmesine dayalı olan Keller'ın denkleminin [7] sonuçlarıyla tamamen uyum içindedir. Keller düz iletken dışbükey bir yüzeye silindirik bir dalga uygulayarak; yansıyan ve saçılan dalgaları Geometrik Yansımaya Teorisi'ne dayalı bir ışın izleme yöntemi ile hesaplamıştır. Kısım 2 de açıklanan Dağılıma Faktörü bulma mantığı burada tekrar uygulanırsa Dağılıma Faktörü aşağıdaki şekilde bulunabilir.

$$D = \frac{\text{Disbukeyyuzeydenyansiyaralan}}{\text{Duzyuzeydenyansiyaralan}} = \frac{U_{ref}}{U_{ref/flat}} = \frac{\sqrt{p' + s}}{\sqrt{p'}} \left(1 + \frac{2s}{b \cdot \text{cos} \phi} + \frac{s}{p'}\right)^{-1/2} \quad (20)$$

Dışbükey yüzeylerden Dağılma Faktörünün hesaplanmasına benzer şekilde içbükey yüzeylerden olan Toplama Faktörü aşağıdaki şekilde hesaplanabilir.

$$C = \frac{\text{Icbukeyyuzeydenyansiyanalana}}{\text{Duz yuzeydenyansiyanalana}} = \frac{U_{ref}}{U_{ref / flat}} = \frac{\sqrt{p' + s}}{\sqrt{p'}} \left(1 + \frac{2s}{b \cdot \cos \phi} - \frac{s}{p'}\right)^{-1/2} \quad (21)$$

Burada bulduğumuz Dağılma Faktörü ve Toplama Faktörü denklemleri ile Kısım 2 ve Kısım 3'de bulduğumuz denklemlerde yer alan parametrelerin yerine sayısal değerler koyulup bulunan sonuçlar karşılaştırıldığında birbirine çok yakın sonuçlar elde edilmiştir.

Bu uygulamada ideal olmayan yüzeyler için Keller teknikleri, ideal iletken yansıyan alandan ideal olmayan iletkenler için kullanılan Fresnel katsayısı kullanılarak geliştirildi.

## 5. Sonuç

Bu makalede tüm çıkarım ve hesaplamalarda; eğik içbükey ve dışbükey platoların yarıçaplarının ( $R_0$ ), gelen ve yansıyan (dağılan) ışınların kaynak noktasından yansıma noktasına olan mesafesinin ( $R_1$ ) ve yansıma noktasından gözlem noktasına olan mesafenin ( $R_2$ ) dalga boyundan ( $\lambda$ ) çok büyük olduğu varsayılmaktadır.

$$R_0 \gg \lambda \quad \text{ve} \quad R_1 \gg \lambda \quad \text{ve} \quad R_2 \gg \lambda \quad (22)$$

Bu yüzden yansıma alanının düz olduğunu kabul edilebilir. Eğik içbükey ve dışbükey platoların yarıçaplarının çok büyük olduğunu varsayıldığından dolayı ( $R_0 \gg R_1 R_2$ ), bu alan daire olarak kabul edildi. Ayrıca yansıma noktasından gözlem noktasına olan mesafenin ( $R_2$ ), yansıma noktasından kostik noktasına olan mesafeden küçük olduğu kabul edildi. ( $R_{KOSTIK}$ ).

$$R_2 < R_{KOSTIK} \quad (23)$$

Son olarak, kaynak noktasının ve gözlem noktasının dünya yüzeyinden olan mesafesinin dalga boyundan ( $\lambda$ ) çok büyük olduğu kabul edildi:  $h_1 \gg \lambda$  ve  $h_2 \gg \lambda$ . Aksi takdirde Whispering Gallery (Yüzey Dalgası) modu oluşacak ve çıkarımlar doğru olmayacaktır.

Bu makalede Geometrik Yansıma Teorisi'ne dayalı ışın izleme yöntemi ile çukurluklarla tepelerin, düz eğik platolarla ve içbükey-dışbükey eğik platolarla birleştirilmesiyle modellenen arazi için Dağılma Faktörünü ve yeni tanımlanan Toplama Faktörünü hesaplama yöntemi sunulmuştur. Formüller yüzeye uygulanan bir silindirik dalga için çıkarılmıştır. Bu basitleştirilmiş yöntem birden fazla ışın tekniğine dayanan RADCAL yayılım modeline koymak için uygundur.

## Kaynaklar

- [1]. Hızal, A., 1988-2000. "Notes on Radar Calculation Software, RADCAL, Low Altitude Radar Performance Prediction", Part I, II Middle East Technical University/Department of Electric & Electronics Engineering
- [2]. Şengül, O. 2001. "Low Altitude Radar Simulation Program RADCAL", M.S. Thesis, The Department of Electrical & Electronic Engineering, Middle East Technical University.
- [3]. Ayaslı, S., 1986. "SEKE: A computer Model for Low Altitude Radar Propagation Over Irregular Terrain", IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. AP-34, No. 8
- [4]. R. E. Ott. "An alternative integral equation for Propagation over irregular terrain." Radio Sci., Vol. 6. s. 429-435, Nisan. 1971.
- [5]. Kerr, D.E., 1965. Propagation of Short Waves, Dover Publishing, New York.
- [6]. Van der Pol ve Bremmer, "Further note on the Propagation of Radio Waves over a Finitely Conducting Spherical Earth", Phil. Mag., 27, Ser. 7, No. 182, Mart 1930
- [7]. Keller, J. B., "One hundred years of diffraction theory", Transactions on Antennas and Propagation, vol. AP-33, Şubat. 1985, s. 123-126.
- [8]. Deygout J., "Multiple knife-edge diffraction of microwaves", IEEE Trans. Antennas Propagation, vol. AP-14, s. 480-489 Haziran 1966.
- [9]. Grosskopf R., "Comparison of different methods for the prediction of the Field Strength in the VHF range", IEEE Trans. Antennas Propagation, vol. AP-35, s. 852-859, Haziran 1987.
- [10]. Giovanelli C.L., "An analysis of simplified solutions for multiple knife-edge diffraction", IEEE Trans. Antennas Propagation, vol. AP-30, s. 297-301, Mart 1982.
- [11]. Meeks M.L., "A propagation experiment combining reflection and diffraction", IEEE Trans. Antennas Propagation, vol. AP-32, s. 951-955 Eylül 1984.