

# YUTUCU KESİK SİLİNDİRİN KENARINDAN KIRINAN ÜNİFORM ALANLARIN SINIR KIRINIM DALGASI TEORİSİ İLE HESABI

Can ALTINGÖZ\*, Uğur YALÇIN\*\*

\* Türk Telekom Batı 2 Bursa Bölge - Network Sistemleri Kurulum ve Operasyon Müdürlüğü, Bursa

\*\* Uludağ Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Elektronik Mühendisliği Bölümü, 16059, Bursa

[can.altingoz@turktelekom.com.tr](mailto:can.altingoz@turktelekom.com.tr), [uyalcin@uludag.edu.tr](mailto:uyalcin@uludag.edu.tr)

(Geliş/Received: 26.12.2011; Kabul/Accepted: 07.11.2012)

## ÖZET

Bu çalışmada, Sınır Kırınım Dalgası Teorisi(SKDT) yaklaşımı kullanılarak yutucu kesik silindirin kenarından kırınan üniform alanların hesabı yapılmıştır. İlk olarak silindirik dalga gelişi için vektör potansiyeli ifadesi yeniden elde edilmiştir. Elde edilen vektör potansiyeli ifadesi, gözlem noktasındaki toplam skaler elektrik/manyetik alan dağılımının hesaplanmasında kullanılmıştır. Helmholtz-Kirchoff integrali formunda kullanılan alan ifadesi Stokes teoremi ile kırınan alan ve geometrik optik alanın toplamı formuna dönüştürülmüştür. Elde edilen kırınan alan ifadesi üniform olmayan formda sonuç vermektedir. Üniform olmayan alan ifadesi fresnel fonksiyonu yardımıyla üniform hale getirilmiştir. Böylece yutucu kesik silindirin kenarından kırınan üniform alan ifadesi SKDT yaklaşımı ile ilk kez hesaplanmıştır. Son olarak toplam saçılan alan ifadesi kırınan ve geometrik optik alanların toplamı şeklinde hesaplanmıştır. Elde edilen üniform ve üniform olmayan kırınan alan ifadeleri ile toplam saçılan alan ifadesi sayısal olarak değerlendirilmiş ve davranışları incelenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Sınır Kırınım Dalgası Teorisi, Kırınan Alan, Fresnel Fonksiyonu, Saçılan Alan

## CALCULATION OF THE DIFFRACTED WAVES FROM THE EDGE OF AN OPAQUE CUT CYLINDER BY THE BOUNDARY DIFFRACTION WAVE THEORY

### ABSTRACT

In this paper the uniform diffracted fields from an opaque cylinder cut surface are studied with the theory of the boundary diffraction wave(BDW). For an incoming cylindrical wave, first the vector potential is refound. The new generated vector potential is used in the calculation of the scalar electric/magnetic field, for the observation point. The field expression is taken in Helmholtz-Kirchoff integral form. By applying the Stokes theorem, the field expression can be written as the sum of the diffracted wave field and the geometrical optic field. The obtained diffracted wave field expression results in a non-uniform structure. The non-uniform field expression is converted to uniform structure by using the fresnel function. In this work the diffracted wave field from the edge of an opaque cut cylinder is calculated with the boundary diffraction wave theory for the first time. Total scattered field is calculated as the sum of the diffracted and the geometrical optic wave fields in this work. Finally the uniform and non-uniform diffracted wave fields and the total scattered field are examined numerically.

**Keywords:** Boundary Diffraction Wave, Diffracted Field, Fresnel Function, Scattered Field

### 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Kırınım olayının dalga teorisi açısından izahı 1818 yılında ilk kez Fresnel tarafından yapılmıştır. Fresnel dalgaların üst üste binerek girişim oluşturma imkânını

dikkate alarak Huygens prensibini geliştirmiş ve yeni bir prensip ortaya koymuştur. Kırınım olayının incelenmesinde bu yeni prensip Huygens-Fresnel prensibi olarak adlandırılmıştır[1]. Sonraları Kirchoff

kırınım teorisinin matematik temelini ortaya koymuştur.

Young'ın kırınım doğasına dair fikirlerinin geliştirilmesi üzerine oluşturulmuş "Sınır Kırınım Dalgası Teorisi", Maggi-Rubonowicz tarafından yapılan çalışmalar sonucu ses getirmiştir[2,3]. Düzgün küresel yüzeylerin kenarından kırınan alanların hesabında Sınır Kırınım Dalgası Teorisi (SKDT) sıklıkla kullanılır. İlk formülasyonların Maggi-Rubinowicz tarafından yapıldığı bilinmektedir. Maggi-Rubinowicz formülasyonları düzlemsel ve küresel dalga gelişleri için Miyamoto ve Wolf tarafından genelleştirilmiştir[4,5]. SKDT yaklaşımını bir problem üzerinde ilk kez Otis ve Lit kullanmıştır[6]. Düzlemsel dalga için SKDT yaklaşımı ile uniform sonuca ilk kez Ganci ulaşmıştır[7,8].

Sınır Kırınım Dalgası Teorisi yutucu yüzeyler için geliştirilmiş olup, mükemmel iletken ve empedans yüzeyleri için çözüm sunmamaktadır. Sınır Kırınım Dalgası Teorisi önce mükemmel elektrik iletken yüzeyler için Yalçın tarafından geliştirilmiştir. Vektör potansiyeli ifadesi yeniden elde edilerek kırınan alanlar hesaplanmıştır[9]. Geliştirilmiş Sınır Kırınım Dalgası Teorisi sonradan mükemmel manyetik iletken yüzeyler için de kırınan alanların hesaplanmasında kullanılmıştır[10]. Son olarak empedans yüzeylerinden saçılma problemlerine uygun olarak yöntem yeniden geliştirilmiş ve üniform ifadelerle SKDT yaklaşımıyla ulaşılmıştır[11].

Bu çalışmada ise çizgisel akım kaynağından üretilen silindirik dalga gelişleri için yutucu kesik silindirik yüzeyin kenarından kırınan alanların hesabı Sınır Kırınım Dalgası Teorisi(SKDT) yaklaşımıyla ilk kez yapılmıştır. Geliştirilen vektör potansiyeli ifadesi kullanılarak üniform olmayan kırınan alan elde edilmiş ve üniform olmayan sonuç Fresnel fonksiyonunun yardımıyla fiziksel problemlere uygun hale getirilmiştir. Son olarak kırınan alan ve geometrik optik alan ifadeleri toplanarak toplam saçılan alan hesaplanmış ve sonuç sayısal olarak değerlendirilmiştir.

Zaman faktörü çalışmanın tamamında  $e^{j\omega t}$  olarak göz önüne alınacaktır.

## 2. SINIR KIRINIM DALGASI TEORİSİ (BOUNDARY DIFFRACTION WAVE THEORY)

Herhangi bir P gözlem noktasındaki skaler elektrik veya manyetik alan dağılımı Helmholtz-Kirchoff integrali cinsinden,

$$U(P) = \iint_S [\nabla_Q \times \vec{W}(Q,P)] \cdot \vec{n} dS \quad (1)$$

şeklinde verilebilir. Burada  $\vec{W}(Q,P)$  vektör potansiyelini ifade etmektedir.  $U(P)$  homojen Helmholtz denkleminin bir çözümüdür ve Stokes teoreminin kullanılmasıyla Helmholtz-Kirchoff integrali iki parçaya ayrılabilir.

$$U(P) = \int_c \vec{W}(Q,P) \cdot d\vec{l} + \sum_i \lim_{\sigma_i \rightarrow 0} \int_{c_i} \vec{W}(Q_i,P) \cdot \vec{l} dl \quad (2)$$

Burada (2) eşitliğinde görülen ilk terim bir yüzeyin kenarından kırınan toplam alanı temsil etmektedir ve  $\vec{l} = \vec{e}_z$  olup,

$$U_B(P) = \int_c \vec{W}(Q,P) \cdot d\vec{l} \quad (3)$$

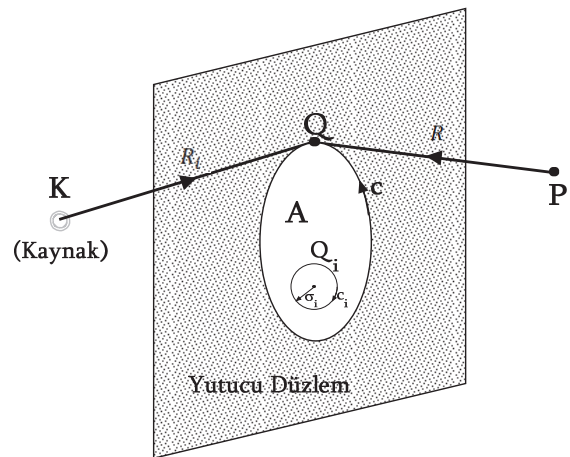
eşitliği ile verilebilir [4-5]. Bu eşitlikte görülen "c" A açıklık yüzeyinin integrasyon sınırını ifade etmektedir (Şekil-1).  $\vec{W}(Q,P)$  vektör potansiyelini temsil etmekte olup, matematiksel ifadesi;

$$\vec{W}(Q,P) = -\frac{U_i(Q)G \sin(\vec{R}, \vec{R}_i) \vec{e}_d}{4\pi[1 + \cos(\vec{R}, \vec{R}_i)]} \quad (4)$$

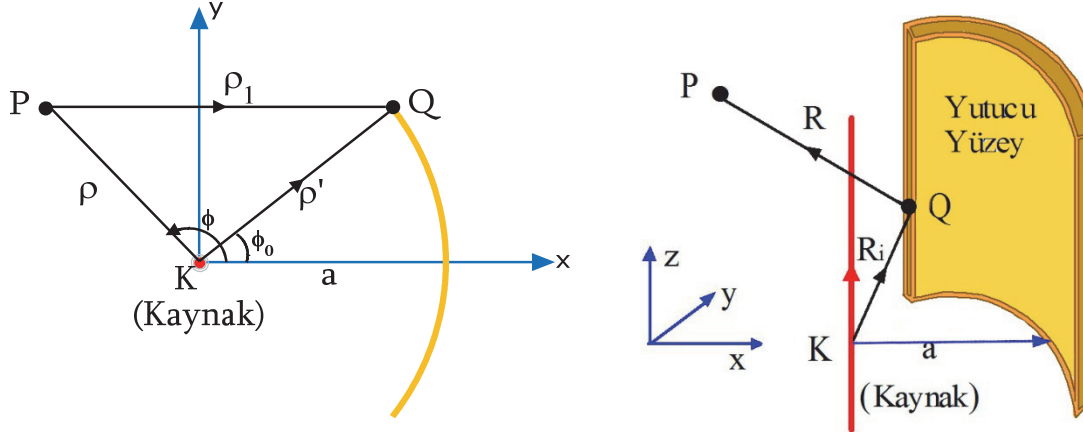
şeklinde verilebilir[12].  $\vec{e}_d$  birim vektörü ( $\vec{e}_R \times \vec{e}_i$ ) /  $|\vec{e}_R \times \vec{e}_i|$  ifadesiyle elde edilir. Buradaki  $\vec{e}_R$  ve  $\vec{e}_i$  birim vektörleri sırasıyla, Şekil-1 deki "R" ve "R<sub>i</sub>" vektörlerinin birim vektörleridir. Bu ifadede görülen  $U_i(Q)$  terimi gelen alanın kırınım noktasındaki değerini ifade etmektedir. "G" Green fonksiyonu,

$$G = \frac{e^{-jkR}}{R} \quad (5)$$

olarak ifade edilebilir.



Şekil 1: Sınır Kırınım Dalgası Teorisi Geometrisi (Geometry of the Boundary Diffraction Wave Theory)



**Şekil-2:** Yutucu Kesik Silindirin Kırınım Geometrisi ( Diffraction Geometry of the Diffracted Wave from an Opaque Cut Cylinder )

Dalga sayısı  $k = 2\pi/\lambda$  olarak verilebilir. Burada,  $R = \sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 + (z - z_0)^2}$  olup gözlem ve kırınım noktası arasındaki mesafeyi temsil etmektedir.

(2) eşitliğinde görülen ikinci terim geometrik optik alanı temsil etmektedir[2,4]. Bu terim ise,

$$U_{Go}(P) = \sum_i \lim_{\sigma_i \rightarrow 0} \int_{c_i} \vec{W}(Q_i, P) \cdot \vec{dl} \quad (6)$$

olarak verilebilir. Burada  $\sigma_i$  açıklık yüzeyi A üzerindeki herhangi bir  $Q_i$  noktasını çevreleyen  $c_i$  integrasyon sınırının yarıçapıdır (Şekil-1).

### 3. YUTUCU KESİK SİLİNDİRİN KENARINDAN KIRINAN ALANLARIN HESABI (CALCULATION OF THE DIFFRACTED WAVE FROM THE EDGE OF AN OPAQUE CYLINDER)

Bir çizgisel akım kaynağının alanında bulunan, yutucu kesik silindir için kırınım problemi geometrisi Şekil-2’de verilmiştir. Çizgisel kaynağın alanı P gözlem noktası için

$$U_i(P) = u_i \frac{e^{-jk\rho}}{\sqrt{k\rho}} \quad (7)$$

olarak verilebilir. Burada “k” boşluğun dalga sayısıdır ve

$$u_i = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \frac{\omega \mu I_0}{2} e^{j\pi/4}$$

şekindedir. Gelen alan ifadesi, Q kırınım noktası ( $\rho = a$  ve  $\phi = \phi_0$ ) için (7) eşitliğinden

$$U_i(Q) = u_i \frac{e^{-jka}}{\sqrt{ka}} \quad (8)$$

olarak elde edilebilir. Green fonksiyonu (5) eşitliğinde yer alan R ifadesi problemdeki kırınım geometrisi için  $\rho' = a$  olmak üzere ;

$$R = [\rho_1^2 + (z - z')^2]^{1/2} \quad (9)$$

şekindedir. Burada Şekil-2’deki geometriden

$$\rho_1^2 = [\rho^2 + a^2 - 2\rho a \cos(\phi - \phi_0)]$$

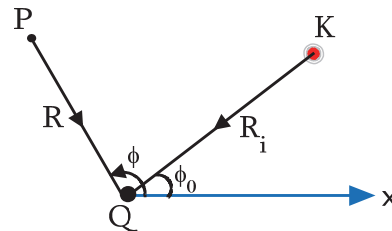
olarak verilebilir. (4) eşitliği ile verilen vektör potansiyeli ifadesinde görülen ilgili terim Şekil-3 göz önüne alınarak,

$$\frac{\sin(\vec{R}, \vec{R}_i)}{1 + \cos(\vec{R}, \vec{R}_i)} = \tan\left(\frac{\phi - \phi_0}{2}\right) \quad (10)$$

şeklinde elde edilebilir. Neticede silindirik dalga gelişi için (4),(5),(8) ve (10) eşitlikleri kullanılarak vektör potansiyeli ifadesi ilk kez

$$\vec{W} = -\vec{e}_z \frac{e^{-jka} e^{-jKR}}{4\pi\sqrt{ka}R} \tan\left(\frac{\phi - \phi_0}{2}\right) \quad (11)$$

olarak bulunur. Hesaplanan vektör potansiyeli (11) eşitliği, (3) eşitliğinde kullandığında



**Şekil-3:** Kırınım Geometrisi (Diffraction Geometry)

$$U_B(P) = -\frac{1}{4\pi} \tan\left(\frac{\phi - \phi_0}{2}\right) \times \frac{e^{-jka}}{\sqrt{ka}} \int_c \frac{e^{-jkR}}{R} dl \quad (12)$$

toplam kırınan alan ifadesi (12) elde edilebilir. Bu problem için  $dl = dz'$  dir. (12) eşitliği yeniden yazıldığında

$$U_B(P) = -\frac{1}{4\pi} \tan\left(\frac{\phi - \phi_0}{2}\right) \times \frac{e^{-jka}}{\sqrt{ka}} \int_{z'=-\infty}^{\infty} \frac{e^{-jkR}}{R} dz' \quad (13)$$

(13) eşitliği elde edilir. Burada integral ifadesi için

$$(z - z') = \rho_1 \sinh \gamma \quad (14)$$

değişken dönüşümü uygulanırsa (13) eşitliğindeki integral terimi :

$$\frac{j}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-jk\rho \cosh \gamma} d\gamma = H_0^{(2)}(k\rho) \quad (15)$$

Hankel fonksiyonu şeklinde tanımlanabilir[9]. İkinci nevi Hankel fonksiyonun debye asimptotik açılımı ( $k\rho \rightarrow \infty$ ) için

$$H_0^{(2)}(k\rho) = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \frac{e^{-jk\rho} e^{j\pi/4}}{\sqrt{k\rho}} \quad (16)$$

olarak verilebilir. Sonuç olarak, (13) eşitliğinde (15) ve (16) eşitlikleri kullanılarak kırınan alan ifadesi

$$U_B(P) = -u_i \frac{1}{2\sqrt{2\pi}} \tan\left(\frac{\phi - \phi_0}{2}\right) \times \frac{e^{-jka}}{\sqrt{ka}} \frac{e^{-jk\rho_1} e^{-j\pi/4}}{\sqrt{k\rho_1}} \quad (17)$$

kolayca elde edilebilir. Hesaplanan kırınan alan ifadesi geçiş bölgesinde sonsuza giden bir çözüm vermektedir ve elde edilen çözüm üniform olmayan çözümdür. Bu problemi ortadan kaldırmak için, üniform kırınan alanlar hesaplanacaktır.

$$1 = 2\cos^2(A) - \cos(2A) \quad (18)$$

(18) trigonometrik özdeşliği (17) eşitliğinde kullanılarak, kırınan alan ifadesi

$$U_B(P) = u_i \sin\left(\frac{\phi - \phi_0}{2}\right) \frac{e^{-jka}}{\sqrt{ka}} \frac{e^{-j\pi/4}}{2\sqrt{\pi}} \times \frac{e^{-jk\rho_1} [2\cos^2(\frac{\phi - \phi_0}{2}) - \cos(\phi - \phi_0)]}{-\sqrt{2k\rho_1} \cos\left(\frac{\phi - \phi_0}{2}\right)} \quad (19)$$

şeklinde ifade edilebilir. (19) eşitliğinde Fresnel integralini elde etmek amacıyla  $\xi$ ,

$$\xi = -\sqrt{2k\rho_1} \cos\left(\frac{\phi - \phi_0}{2}\right) \quad (20)$$

olarak tanımlanır[21] ise, kırınan alan ifadesi

$$U_B(P) = u_i e^{jk\rho_1 \cos(\phi - \phi_0)} \sin\left(\frac{\phi - \phi_0}{2}\right) \times \frac{e^{-jka}}{\sqrt{ka}} \frac{e^{-j\pi/4}}{2\sqrt{\pi}} \frac{e^{-j\xi^2}}{\xi} \quad (21)$$

eşitliğindeki gibi elde edilir. Bu ifadede  $\hat{F}(\xi)$  fonksiyonu

$$\hat{F}(\xi) = \frac{e^{-j(\xi^2 + \pi/4)}}{2\xi\sqrt{\pi}} \quad (22)$$

olmak üzere (21) eşitliği

$$U_B(P) = \hat{F}(\xi) u_i e^{jk\rho_1 \cos(\phi - \phi_0)} \times \sin\left(\frac{\phi - \phi_0}{2}\right) \frac{e^{-jka}}{\sqrt{ka}} \quad (23)$$

olarak elde edilebilir. Burada  $\hat{F}(\xi) = F(|\xi|) \text{sgn}(\xi)$  özdeşliği kullanılarak, üniform kırınan alan ifadesi

$$U_B(P) \cong u_i F(|\xi|) \text{sgn}(\xi) e^{jk\rho_1 \cos(\phi - \phi_0)} \times \sin\left(\frac{\phi - \phi_0}{2}\right) \frac{e^{-jka}}{\sqrt{ka}} \quad (24)$$

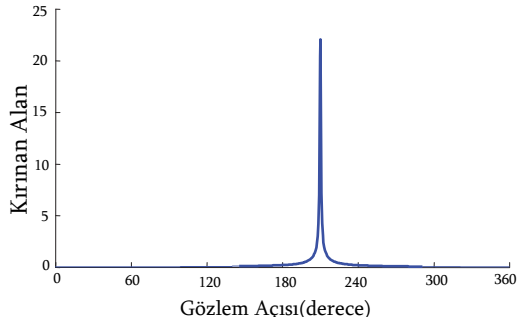
şeklinde bulunabilir. Burada,  $\text{sgn}(\xi)$  signum fonksiyonunu göstermektedir. Fresnel integrali  $F(\xi)$ ,

$$F(\xi) = \frac{e^{j\pi/4}}{\sqrt{\pi}} \int_{\xi}^{\infty} e^{-jt^2} dt \quad (25)$$

olarak verilebilir.

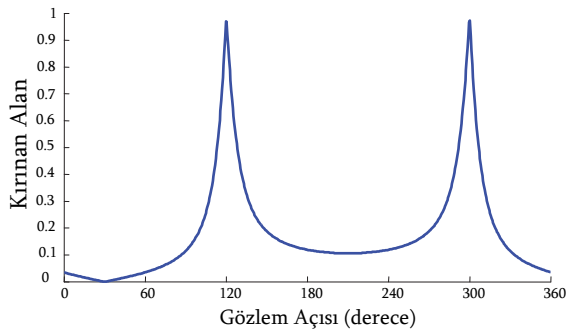
#### 4. TARTIŞMA VE SAYISAL SONUÇLAR (DISCUSSION AND NUMERICAL RESULTS)

Sayısal olarak yapılan değerlendirmelerde  $u_i$  birim genlik, silindirin yarıçapı  $a=0.5$  m ve silindirik dalgaların yüzeye geliş açısı  $\phi_0 = \frac{\pi}{6}$  seçilmiştir. Diğer ilgili parametreler ise fiziksel problemlere uygun olarak  $k = 8\pi$  ve  $\rho = 100/k$  seçilmiştir. Şekil-4'te üniform olmayan kırınan alanların grafiği verilmiştir. Bu grafik (17) eşitliğinin mutlak değeri alınıp, sayısal değerler kullanılarak çizilmiştir. Ancak elde edilen ifade sayısal olarak değerlendirildiğinde fiziksel probleme uygun olmayan sonuçlar vermektedir. Bunun nedeni,  $\phi = \pi + \phi_0 = 7\pi/6$  gölge sınırında alan ifadesinin sonsuz değer vermesidir.



**Şekil-4:** Düzenli Olmayan Kırınan Alanın Değişimi (Non-uniform Diffracted Wave Variation)

Bu problemi ortadan kaldırmak için üniform kırınan alan ifadesi hesaplanmıştır. Şekil-5'te üniform kırınan alanların grafiği verilmiştir.



**Şekil-5:** Üniform Kırınan Alanın Değişimi (Uniform Diffracted Wave Variation)

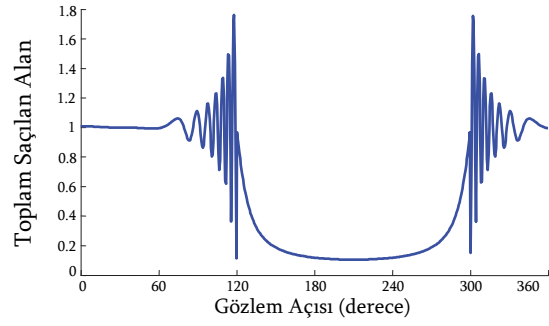
Bu grafik, (24) eşitliğinin mutlak değeri alınıp, sayısal değerler kullanılarak çizilmiştir. Düzenli olmayan kırınan alan grafiğinden farklı olarak sonsuza giden değer vermediği görülmektedir. Üniform ve üniform olmayan kırınan alan grafikleri literatürle uyum içerisindedir[21]. Gözlem noktasındaki toplam saçılan alan, gelen ve kırınan alanların toplamından elde edilebilir.

$$U_{ts}(P) = U_i(P) + U_B(P) \quad (26)$$

(7) ve (24) eşitlikleri (26) denkleminde kullanılarak gözlem noktasındaki

$$U_{ts}(P) = u_i \left[ \frac{e^{-jk\rho}}{\sqrt{k\rho}} u(-\xi) \right] + u_i \left[ F(|\xi|) \operatorname{sgn}(\xi) e^{jk\rho_1 \cos(\phi - \phi_0)} \times \sin\left(\frac{\phi - \phi_0}{2}\right) \frac{e^{-jka}}{\sqrt{ka}} \right] \quad (27)$$

toplam saçılan alan ifadesi elde edilir.



**Şekil-6:** Toplam Saçılan Alan (Total Scattered Field)

Burada birim basamak fonksiyonu, gelen alanın gölge sınırına kadar olan kısmını hesaplamak için kullanılmıştır. Şekil-6'da gözlem noktasındaki toplam saçılan alan grafiği görülmektedir. Saçılan alan ifadesi literatürle uyumlu sonuç vermektedir[19].

## 5. SONUÇ (CONCLUSION)

Bu çalışmanın katkısı çizgisel akım kaynağının alanında bulunan yutucu kesik silindirik bir yüzeyden kırınan alanların hesabının Sınır Kırınım Dalgası Teorisi (SKDT) yaklaşımıyla ilk olarak yapılmış olmasıdır. Yeni vektör potansiyeli ifadesi elde edilip, öncelikle üniform olmayan kırınan alanların hesabı SKDT yaklaşımı kullanılarak yapılmıştır. Daha sonra üniform olmayan kırınan alan ifadesi fresnel fonksiyonu kullanılarak üniform hale getirilmiştir. Elde edilen üniform ve üniform olmayan kırınan alanların davranışı sayısal olarak değerlendirilmiş ve literatür ile uyumlu olduğu görülmüştür. Son olarak gözlem noktasındaki toplam saçılan alanın hesabı yapılmış ve alan ifadesi sayısal olarak da değerlendirilmiştir.

## KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Longhurst, R. S., **Geometrical and Physical Optics**, 2nd Edition, Longmans [London], 1968
2. Maggi, G. A., "Sulla Propagazione Libera e Perturbata delle Onde Luminose in un Mezzo Izotropo", **Ann. di Mat. Ila**, Vol. 16, 21-48, 1888.
3. Rubinowicz, A., "Die Beugungswelle in der Kirchoffschen Theorie der Beugungsercheinungen", **Ann. Physik**, Vol. 4, 257-278, 1917.
4. Miyamoto, K. and Wolf, E., "Generalization of the Maggi-Rubinowicz Theory of the Boundary Diffraction Wave Part I", **J. Opt. Soc. Am.**, Vol. 52, 615-625, 1962.
5. Miyamoto, K. and Wolf, E., "Generalization of the Maggi-Rubinowicz Theory of the Boundary Diffraction Wave Part II", **J. Opt. Soc. Am.**, Vol. 52, 626-637, 1962.
6. Otis, G. and Lit, J. W. Y. "Edge-on Diffraction of a Gaussian Laser Beam by a Semi-infinite Plane", **App. Optics**, Vol. 14, 1156-1160, 1975.

7. Ganci, S., "A General Scalar Solution for the Half-plane Problem", **J. Modern Opt.**, Vol. 42, 1707-1711, 1995.
8. Ganci, S., "Boundary Diffraction Wave Theory for Rectilinear Apertures", **Eur. J. Phys.**, Vol. 18, 229-236, 1997.
9. Yalçın, U., "Uniform Scattered Fields of the Extended Theory of Boundary Diffraction Wave for PEC Surfaces", **Progress in Electromagnetics Research M**, Vol. 7, 29-39, 2009.
10. Yalçın, U., "Scattering from Perfectly Magnetic Conducting Surfaces: The Extended Theory of Boundary Diffraction Wave Approach", **Progress in Electromagnetics Research M**, Vol. 7, 123-133, 2009.
11. Yalçın, U., "Analysis of Diffracted Fields with the Extended Theory of the Boundary Diffraction Wave for Impedance Surfaces", **Appl. Opt.**, Vol. 50, 296-302, 2011
12. Umul, Y. Z., "Modified Diffraction Theory of Kirchhoff", **J. Opt. Soc. Am. A**, Vol 25, 1850-1860, 2008.
13. Marchand, E. W. and Wolf, E., "Boundary Diffraction Wave in the Domain of the Rayleigh-Kirchhoff Diffraction Theory", **J. Opt. Soc. Am.**, Vol 52, 761-763, 1962
14. Umul, Y. Z., "The Relation Between the Boundary Diffraction Wave Theory and Physical Optics", **Opt. Communications**, Vol 281, 4844-4848, 2008.
15. Miyamoto, K., "New Representation Wave Field", **Proc. Phys. Soc.**, Vol. 79, 617-629, 1962.
16. Otis, G., "Application of the Boundary Diffraction Wave Theory to Gaussian Beams", **J. Opt. Soc. Am.**, Vol. 64, 1545-1550, 1974.
17. Lit, J. W. Y. "Boundary Diffraction Waves due to a General Point Source and Their Applications to Aperture Systems", **Optica Acta**, Vol. 19, No 12, 1007-1014, 1972
18. Marchand, E. W. and Wolf, E., "Consistent Formulation of Kirchhoff's Diffraction Theory", **J. Opt. Soc. Am.**, Vol 56, 1712-1721, 1966
19. Umul, Y. Z., Yalçın, U. "Asymptotic Evaluation Of The Edge Diffraction In Cylindric Paraboloidal Reflector Antennas", **Mathematical & Computational Applications**, Vol 8, No 2 143-150, 2003
20. Umul, Y. Z., "Uniform Theory of the Boundary Diffraction Wave", **Optics & Laser Technology**, Vol 41, 285-288, 2009.
21. Yalçın, U. "Yutucu Yarı Düzlemin Kenarından Kırınan Üniform Alanların Sınır Kırınım Dalgası Teorisi ile Hesabı", **Çankaya Üniversitesi 2.Müh. ve Tek. Sempozyumu**, 2009.