

Dışbükey Zarf Tekniğine Dayalı Eğim Kırınımı Modelinin Çoklu Kırınım Geometrisinde Kullanılması

S-UTD-CH Model in Multiple Diffraction Geometry

Mehmet Barış Tabakcioğlu¹, Ahmet Cansız²

¹Bayburt Meslek Yüksekokulu Elektrik ve Enerji Bölümü
Bayburt Üniversitesi
mbtabakcioglu@bayburt.edu.tr

²Mühendislik Fakültesi Elektrik Elektronik Mühendisliği
Atatürk Üniversitesi
acansiz@atauni.edu.tr

Özet

Çoklu kırınım içeren geometrilerde elektromanyetik dalganın bağıl yol kaybını hesaplamak çok önemlidir. Bu bağlamda çok kırınım modeli geliştirilmiştir. Bu modeller arasında hesaplama zamanı ve kestirilen bağıl yol kaybının kesinliği arasında ödünleşme vardır. Bazı modeller yüksek hesaplama zamanına sahip iken düşük kesinliğe sahiptir, tersi de doğrudur. Bu çalışmada, optimum bir model olan Eğim Kırınımına Dayalı Dışbükey Zarf Tekniği (EKDZ) modeli özetlenip çeşitli benzetim sonuçları verilmiştir. EKDZ modeli, Geometrik Kırınım Teorisinin (GKT) türevsel bileşenlerini içeren Eğim Kırınımı ile Dışbükey Zarf (DZ) yöntemlerinin birleştirilmesine dayanmaktadır. Benzetimlerde elektromanyetik dalganın polarizasyon türü, kama iç açısı, kamanın iletkenliği ve kamanın bağıl elektrik geçirgenlik sabitinin bağıl yol kaybını nasıl etkilediği gözlemlenmiştir. Ayrıca bu çalışmada bir profil için farklı modellerin hesaplama süresi ve kestirim hatası bakımından karşılaştırılma sonuçları verilmektedir.

Abstract

Calculation of relative path loss of electromagnetic wave in multiple diffraction geometries is important. In this respect, many diffraction models have been introduced. There is a trade-off between computation time and accuracy of estimated field strength. Some models have higher computation time with lower accuracy, or vice versa. In this study, Slope UTD with Convex Hull (S-UTD-CH), optimum model for accuracy and computation time, is introduced briefly, and simulation results are given. S-UTD-CH model is based on slope diffraction (S-UTD) including slope terms of UTD, and convex hull (CH) method. It is observed in simulation how polarization types, interior wedge angle, conductivity and relative permittivity of wedge affects the relative path loss. Moreover, comparative results of different models with respect to accuracy and computational time for a given profile are presented in this study.

1. Giriş

Daha güvenilir ve verimli dijital haberleşme ağları ve yayıncılık sistemleri yapmak için, doğruluğu yüksek ve zaman açısından verimli alan kestirimi yapabilen modellere ihtiyaç duyulmuştur. Bu bağlamda birçok elektromanyetik dalga yayılım modelleri geliştirilmiştir. Bu modeller, nümerik ve ışın izleme tekniğine dayalı olmak üzere iki kısımda incelenebilir. Nümerik modeller hemen hemen kesin sonuç vermesine karşın hesaplama zamanı çok yüksektir. Bunun aksine ışın izleme tekniğine dayalı modeller kesinliği nümerik modele göre daha düşük olmakla beraber çok kısa hesaplama zamanına sahiptir. Işın izleme tekniğine dayalı olan Geometrik Kırınım Teorisi [1] de ileri sürülmüştür. Eğer verilen geometride alıcı ve verici arasında bir veya daha az engel varsa, veya bir çok engel bulunup bu engeller biri diğerinin geçiş bölgesinde değilse bu model en kısa hesaplama süresine sahip olup kestirilen alandaki hata miktarı da çok azdır. Bu durum sağlanmadığı takdirde çok hatalı sonuçlar kestirilmektedir. Bu hatayı ortadan kaldırmak için eğim kırınım teorisi [2] ileri sürülmüştür. Bu teoride gelen alanlarla birlikte bu alanların türevsel bileşenleri de toplam alana eklenmektedir. Türevsel bileşenlerin eklenmesiyle verimliliğin artmasına rağmen geçiş bölgelerinde süreksizlikler oluşmaktadır. Bu süreksizlikler uzaklık parametrelerini hesaplarken faz sürekliliği sağlanarak çözülmüştür [3]. Eğim Kırınım modeli de 9 kırınımdan sonra hata vermeye başlamaktadır. Yüksek frekansta işlem yapıldığından dolayı verilen geometrideki binalar ve tepeler bıçak kenarlı ve iç açılı kama olarak modellenebilmektedir. Dokuzdan fazla engel içeren geometrilerde işlem yapabilmek için bıçak kenarlı ve iç açılı kamalar için referans 4 ve 5'de ileri sürülen Eğim Kırınımına dayalı Dışbükey Zarf tekniği geliştirilmiştir. Bu model verilen geometrideki etkin binaları Dışbükey Zarf tekniği ile tespit ederek eleyip, kalan binalar üzerinden Eğim Kırınımı modelini çalıştırmaktadır. Böylece daha fazla engel içeren geometrilerin incelenmesine imkan bulunmuş olacaktır. Bu çalışmada verilen bir geometri için hesaplama süresi ve hata miktarına göre EK ve EKDZ karşılaştırılması yapılmıştır. Ayrıca bu makalede referans 4 ve 5 ek olarak, iletkenlik, kama

iç açısı ve bağıl elektrik geçirgenlik sabiti gibi malzeme özellikleri ile elektromanyetik dalganın polarizasyon türünün de alıcıdaki alan şiddetini etkilediğini gösteren benzetim sonuçları verilmiştir. Gelecek kısımlarda EKDZ modeli hakkında bilgi ve çeşitli benzetim sonuçları verilecektir.

2. Eğim Kırınımına Dayalı Dışbükey Zarf Tekniği (EKDZ)

2.1. Eğim Kırınımı (EK)

EK tekniği ile bir engelden kırınım sonucu gözlem noktasındaki elektrik alan aşağıdaki formülle hesaplanır [6].

$$E = \left[E_i D + \frac{\partial E_i}{\partial n} d_s \right] A(s) e^{-jks} \quad (1)$$

Burada D ve d_s sırasıyla genlik ve eğim kırınım katsayılarıdır [8, 9]. E_i gelen alan, A yayılma faktörü, s yayılım mesafesi, k dalga sayısı, n yüzey normalini ifade etmektedir. Engeller, dağlar, tepeler ve binalar olabilir. Sayısal haberleşmede UHF bandında çalışıldığından dolayı dağlar ve tepeler iç açılı empedans kama, binalar ise bıçak kenarlı kama olarak modellenebilir [7].

Genlik kırınım katsayısı şu şekilde yazılabilir.

$$D_h = R_{oh} R_{nh} D_1 + D_2 + R_{oh} D_3 + R_{nh} D_4 \quad (2)$$

h alt indisi dikey polarizasyonu, o ve n ise Şekil 1'de verilen çoklu kama yapısındaki her bir kamanın ön ve arka yüzünü gösterir. Son olarak R ise yansıma katsayısını vermektedir.

Denklem (2) deki kırınım katsayıları D_i ($i=1,2$) aşağıdaki şekilde verilmektedir [9].

$$D_i = \frac{-e^{-j\pi/4}}{2n\sqrt{2\pi k}} \cot(\psi(i)) F(2kLn^2 \sin^2(\psi(i))) \quad (3)$$

ve burada

$$\psi(1) = \frac{\pi + \varphi - \varphi'}{2n}, \psi(2) = \frac{\pi - \varphi + \varphi'}{2n}, \psi(3) = \frac{\pi - \varphi - \varphi'}{2n}, \psi(4) = \frac{\pi + \varphi + \varphi'}{2n}$$

dır. Buradaki n kamanın iç açısıyla alakalı bir sayı olup $n = 2 - \beta/\pi$ ile verilebilir. β kamanın iç açısıdır.

Yukarıda L parametresi genlik kırınım katsayısıdır. Şekil 1 de görülen P_1 ve P_4 gibi gölge sınır noktaları, L_{012} , L_{0123} ve L_{s0123} parametrelerini hesaplamak için tespit edilir. Bu parametreler daha kolay bir şekilde daha önce elde edilen aşağıdaki denklemler aracılığıyla da bulunabilir [4, 11].

$$L_{s,h0ij} = \frac{r_{0j} r_{jk}}{r_{0k}} \quad (4-a)$$

$$L_{s,h0ijk} = \left(\frac{D_{s,h}(L_{s,h0ijk}) A_{0ik}}{D_{s,h}(L_{s,h0ij}) A_{0ij} A_{0ijk}} \right)^2 \quad (4-b)$$

$$L_{s,h0ijk} = \left(\frac{d_{s,h}(L_{s,h0ijk}) A_{0ik} r_{ij} r_{jk}}{d_{s,h}(L_{s,h0ij}) A_{0ij} A_{0ijk} r_{ik}} \right)^{2/3} \quad (4-c)$$

Yukarıdaki denklemlerde i, j and k sırasıyla kaynak, kırınım ve gölge sınır noktalarına ait indislerdir. r_{ij} iki nokta arası uzaklıktır. $D_{s,h}$ ve $d_{s,h}$ sırasıyla genlik ve eğim kırınım katsayılarıdır.

Her bir polarizasyon için eğim kırınım katsayısı denklem (2)'nin türevi ile elde edilir. Aşağıda dikey polarizasyon için eğim kırınım katsayıları verilmiştir.

$$ds_h = \frac{\partial R_{oh}}{\partial \varphi'} R_{nh} D_1 + R_{oh} R_{nh} \frac{\partial D_1}{\partial \varphi'} + \frac{\partial D_2}{\partial \varphi'} + \frac{\partial R_{oh}}{\partial \varphi'} D_3 + R_{oh} \frac{\partial D_3}{\partial \varphi'} + R_{nh} \frac{\partial D_4}{\partial \varphi'} \quad (5)$$

Empedans kama için bıçak kenarlı kama yapılarındaki gibi sadece kırılan alanlarla doğrudan gelen alanlar hesaplanmaz. Bunların yanı sıra kamaların yüzeylerinden yansıyan alanlar da toplam alana eklenir. Bu yansıyan alanları hesaplamak için yansıma katsayıları hesap edilmesi gerekir. Aşağıdaki denklemler yansıma katsayılarını vermektedir [10].

$$R_{oh} = \frac{\varepsilon_r \sin(\varphi') - \sqrt{\varepsilon_r - \cos^2(\varphi')}}{\varepsilon_r \sin(\varphi') + \sqrt{\varepsilon_r - \cos^2(\varphi')}} \quad (6-a)$$

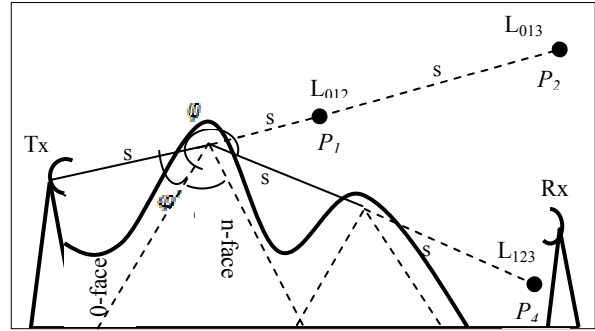
$$R_{nh} = \frac{\varepsilon_r \sin(n\pi - \varphi') - \sqrt{\varepsilon_r - \cos^2(n\pi - \varphi')}}{\varepsilon_r \sin(n\pi - \varphi') + \sqrt{\varepsilon_r - \cos^2(n\pi - \varphi')}} \quad (6-b)$$

Eğim kırınım katsayısını hesaplamak için yukarıdaki denklemlerin φ' açısına göre türevlerinin hesaplanması gerekmektedir. Bu ifadeler de aşağıda verilmiştir.

$$\frac{\partial R_{oh}}{\partial \varphi'} = \frac{2\varepsilon_r \cos(\varphi') - (\varepsilon_r - 1)}{\sqrt{\varepsilon_r - \cos^2(\varphi')} (\sin(\varphi') + \sqrt{\varepsilon_r - \cos^2(\varphi')})^2} \quad (7-a)$$

$$\frac{\partial R_{nh}}{\partial \varphi'} = 0 \quad (7-b)$$

Yukarıdaki denklemlerde φ ve φ' Şekil 1 de görüleceği üzere sırasıyla kırılma ve geliş açılarıdır.



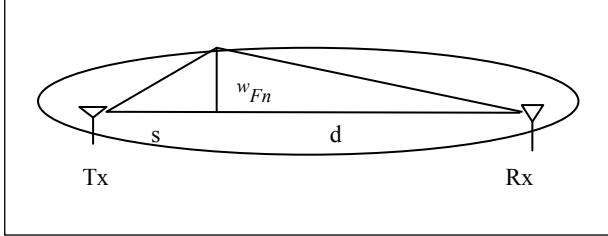
Şekil 1: Çoklu iç açılı kama yapısı

2.2. Dışbükey Zarf Tekniği (DZ)

DZ tekniği, dalga yayılımının Fresnel bölgeleri ile açıklanmasına dayanır. Fresnel bölgeleri alıcı ve verici arasında, alıcı ve vericinin tepe noktalarını odak noktaları olarak alan, Şekil 2 deki gibi eliptik bölgedir. Yayılan enerjinin büyük bir kısmı bu eliptik bölgede bulunmaktadır. Fresnel bölgesinin yarıçapı [12] deki denklem ile bulunur.

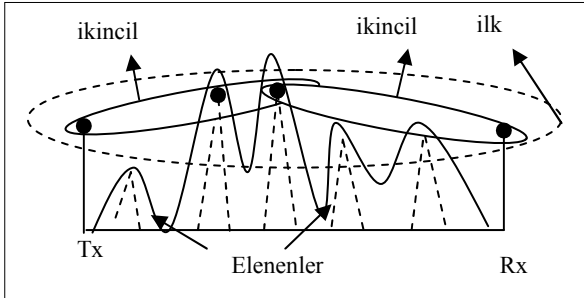
$$W_{Fn} = \sqrt{m \frac{\lambda s d}{s+d}} \quad (8)$$

Yukarıdaki denklemde m Fresnel bölgesinin sırası, λ elektromanyetik dalganın dalga boyudur. s verici ile yarıçapını bulmak istediğimiz nokta arası, d ise nokta ile alıcı arasındaki mesafedir.



Şekil 2: Fresnel Bölgesi

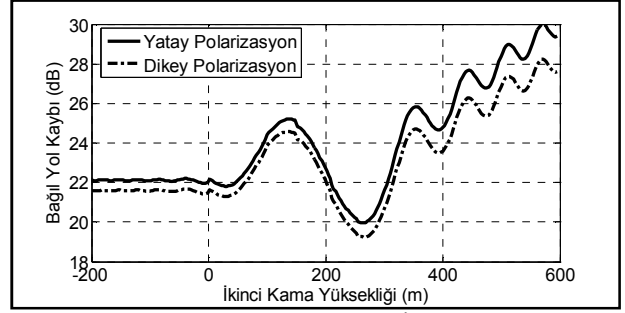
Her ne kadar Fresnel bölgesinin dışında kalan engellerden yansıyan veya kırılan ışınlar alıcıya gelse de, bunların etkisi yok denecek kadar azdır. Dış büyük zarf tekniği temelinde bu Fresnel bölgesinin dışındaki engelleri elemeye dayalı bir tekniktir. Dışbükey Zarf tekniği algoritması şu şekilde özetlenebilir. Alıcı ve verici arasında ilk Fresnel bölgesi çizilir. Bu bölgenin dışında kalan engeller elenir. Daha sonra en yüksek engel ile alıcı ve verici arasında ikinci Fresnel bölgeleri çizilir. Tekrar dışarıda kalan engeller elenir. Bu işlem eleme işlemi bitene kadar devam eder. Şekil 3 de, bu süreç belirtilmiştir ve sonuçta kalan engeller bir “dış büyük zarf” oluşturur. Bu dışbükey zarf üzerinde 2D ışın izleme algoritması çalıştırılarak toplam alana katkısı olan bütün ışınlar belirlenir. Son olarak da EK algoritması bu ışınları kullanarak toplam alanı hesaplar. Dışbükey zarf tekniği ile etkin engeller saptanır. Bazı durumlarda, sadece bir engelin elenmesi ile bile hesaplama süresi %80 düşebilmektedir.



Şekil 3: Dışbükey zarfın oluşturulması

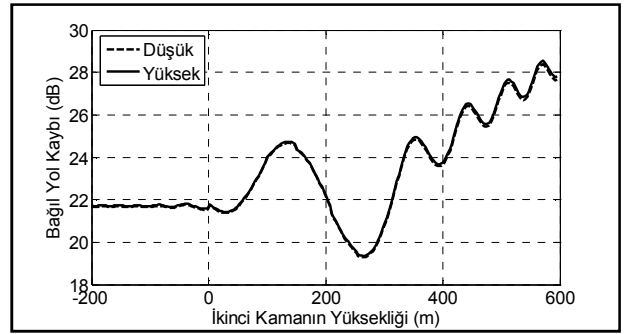
3. Benzetim Sonuçları

Bu kısımda elde edilen çeşitli benzetim sonuçları verilmiştir. Polarizasyon türü, kamanın iç açısı, kamanın iletkenliği ve kamanın bağıl elektrik geçirgenlik sabiti alıcı üzerindeki alanın şiddetini etkilemektedir. Bu etkileri görebilmek için referans 13’deki geometri incelenmiştir. Alıcı ve verici anten yükseklikleri 0 m ve aralarındaki mesafe 30 km dir. İşlem frekansı 100 MHz dir. Onuncu ve yirminci kilometrelerde iç açısı 60° ve yüksekliği 100 m olan iki tane iç açılı kama vardır. On beşinci kilometrede ise iç açısı 60° ve yüksekliği -200 ile 600 m arasında değişen bir kama vardır. Elektromanyetik dalganın polarizasyon türünün alıcıdaki alan şiddetini nasıl etkilediği Şekil 4 de verilmiştir.



Şekil 4: Polarizasyon Türünün İncelenmesi

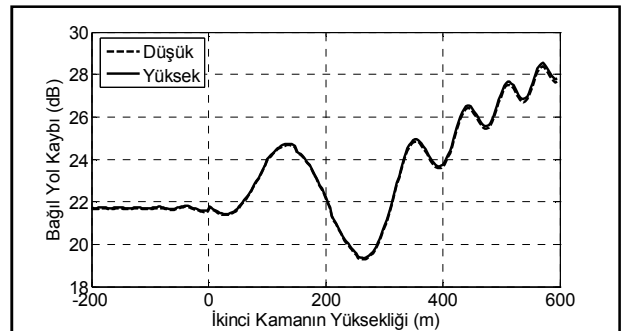
Şekil 4’de görüleceği üzere yatay ile dikey polarizasyon türü arasında yaklaşık 0.8 dB’lik bir fark vardır. Bu fark elektromanyetik dalganın elektrik alan bileşeninin rotasyonundan kaynaklanmaktadır. Buna ek olarak kamanın iç açısı da alıcıdaki alan şiddetini etkilemektedir. Yukarıda bahsedilen geometri için iç açıları 120, 90, 60 ve 30° olarak düşünülürse Şekil 5’deki sonuçlar elde edilir.



Şekil 5: Kama iç açısı incelenmesi

Şekil 5’de görüldüğü gibi BKK (Bıçak kenarlı kama) kama iç açısının sıfır olduğu durumdur. İç açı arttıkça bağıl yol kaybının da arttığı görülmektedir.

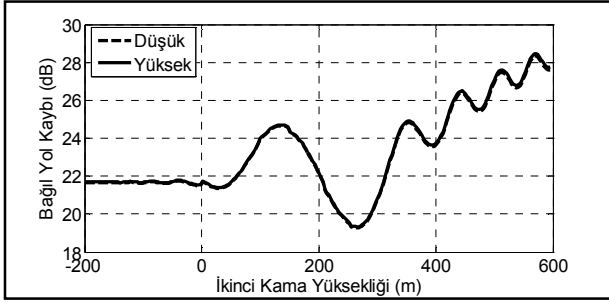
Kamanın iletkenliğinin alıcı üzerindeki alan şiddetini etkilemektedir. Yukarıda verilen geometri için Şekil 6’da iletkenlik incelemesi sonuçları verilmiştir. İletkenliğin çok düşük (0,0012 S/m) ve yüksek (12000000 S/m) olduğu iki durum vardır.



Şekil 6: Kama iletkenliği incelenmesi

Şekil 6’dan da anlaşılabacağı gibi kamanın iletkenliği alıcı üzerindeki alan şiddetini çok az etkilemektedir (yaklaşık 0.05 dB).

Son olarak kamanın bağıl elektrik geçirgenlik sabiti de alıcı üzerindeki alan şiddetini etkilemektedir. Şekil 7’de bağıl elektrik geçirgenliği çok düşük (15) ve çok yüksek (150000000) kamalar için benzetim sonuçları verilmiştir.



Şekil 7: Kama bağıl elektrik geçirgenlik sabiti incelenmesi

Şekil 7’den de anlaşılacağı gibi kamanın bağıl elektrik geçirgenlik sabiti alıcı üzerindeki alan şiddetini çok az etkilemektedir (yaklaşık 0.05 dB).

İkinci bir geometri olarak referans 14’deki yeryüzü profili incelenmiştir. Buna göre EK ve EKDZ modelleri için benzetimler yapılmıştır. Kırınım sayısı 10 dan az olduğundan dolayı EK modeli referans model olarak kullanılmıştır. Verici anten yüksekliği 300 m, işlem frekansı 100 GHz, 10.75. km de iç açısı 169° yüksekliği 500 m olan bir tepe, 27. km de iç açısı 171.3° yüksekliği 380 m olan diğer bir tepe bulunmaktadır. Alıcı ve verici anten arası mesafe 38 km dir. Tablo 1 ve 2 de yatay ve dikey polarizasyon için benzetim sonuçları verilmiştir.

Tablo 1 Yatay polarizasyon için benzetim sonuçları

Alıcı yüksekliği(m)	EK (dB)	EKDZ (dB)	Elenen tepe sayısı	EK-EKDZ hata (dB)
0	-79,12	-79,12	0	0
100	-75,24	-75,24	0	0
200	-68,91	-68,91	0	0
300	-44,68	-44,68	0	0
400	-38,48	-38,26	1	-0,22
500	-36,58	-36,55	1	-0,029
600	-34,44	-34,50	1	0,055
700	-31,96	-31,92	1	-0,04
800	-28,40	-28,42	1	0,024
900	-22,81	-22,80	1	-0,011
1000	-9,44	-9,44	1	0,002
1100	-0,68	1,93	2	-2,608
1200	-0,39	-1,93	2	1,538

Tablo 1’den de görüleceği üzere, soldan birinci sütun alıcı yüksekliğini, daha sonraki iki sütun Eğim Kırınımı (EK) ve Eğim Kırınımına Dayalı dışbükey Zarf Tekniği (EKDZ) için alıcı üzerindeki alan şiddetini, gelen sütun ise EKDZ modeli kullanınca elenen tepe sayısını, en sağdaki sütun ise EKDZ modeli kullanılarak ne kadar hata yapılmış olduğunu vermektedir. Bir tepe elenirse işlem zamanı 1/5 ine

düşmektedir. Örneğin alıcı yüksekliği 1000 m de iken 1 tepe elenmiştir ve hata sadece 0.002 dB olmuştur.

Tablo 2 Dikey polarizasyon için benzetim sonuçları

Alıcı yüksekliği(m)	EK (dB)	EKDZ (dB)	Elenen tepe sayısı	EK-EKDZ hata (dB)
0	-77,95	-77,95	0	0
100	-74,27	-74,27	0	0
200	-68,14	-68,14	0	0
300	-44,13	-44,13	0	0
400	-38,00	-37,78	1	-0,216
500	-36,17	-36,14	1	-0,029
600	-34,11	-34,17	1	0,053
700	-31,71	-31,67	1	-0,037
800	-28,22	-28,25	1	0,022
900	-22,71	-22,70	1	-0,01
1000	-9,42	-9,43	1	0,002
1100	-0,68	1,93	2	-2,603
1200	-0,38	-1,93	2	1,544

Tablo 2’den de görüleceği üzere, en sol sütun alıcı yüksekliğini, daha sonraki iki sütun EK ve EKDZ için alıcı üzerindeki alan şiddetini, gelen sütun ise EKDZ modeli kullanınca elenen tepe sayısını, en sağdaki sütun ise EKDZ modeli kullanılarak ne kadar hata yapılmış olduğunu vermektedir. Bir tepe elenirse işlem zamanı 1/5 ine düşmektedir. Örneğin alıcı yüksekliği 900 m de iken 1 tepe elenmiştir ve hata sadece 0.01 dB olmuştur.

4. Sonuçlar

Yaşam alanı olan kentsel ortamlarda, daha verimli dijital haberleşme ve yayın yapmak için çoklu kırınım modellerine ihtiyaç duyulmaktadır. Çoklu kırınım çok uzun zamandır araştırılıp ve nümerik ve ışın izleme tekniğine dayalı modeller geliştirilmiştir. Bu modellerin bazıları hesaplama zamanı açısından, bazıları da kestirilen alanın kesinliği açısından daha iyidir. Kırınım modellerinde hesaplama zamanı ve kesinlik arasında bir ödünleşme vardır. Yapılan benzetimler sonucunda EKDZ modelinin hesaplama zamanı ve kesinlik açısından optimum bir model olduğu gözlenmiştir. Ayrıca yatay ve dikey polarizasyon türü de alıcı üzerindeki alan şiddetini etkilemiştir (0.8 dB). Bunlara ek olarak bina veya tepelerin iç açısı, iletkenliği ve bağıl elektrik geçirgenlik sabiti de alıcı üzerindeki alan şiddetini etkilemektedir. Tepelerin iç açısı azaldıkça bıçak kenarlı kama modeline kayılmaktadır.

5. Kaynaklar

- [1] Kouyoumjian, R. G. ve Pathak, P. H., “A uniform geometrical theory of diffraction for an edge in a perfectly conducting surface”, *Proceedings of the IEEE*, 1974, 1448–1461.
- [2] Andersen, J. B. “UTD multiple-edge transition zone diffraction”, *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 45, 1093–1097, 1997.

- [3] Rizk, K., Valenzuela, R., Chizhik, D. ve Gardiol, F., "Application of the slope diffraction method for urban microwave propagation prediction", *IEEE Vehicular Technology Conference*, 1998, 1150-1155.
- [4] Tabakcioglu, M.B. ve Kara, A., "Comparison of Improved Slope UTD Method with UTD based Methods and Physical Optic Solution for Multiple Building Diffractions", *Electromagnetics*, 29, 303-320, 2009.
- [5] Tabakcioglu, M.B. ve Kara, A., "Improvements on Slope Diffraction for Multiple Wedges", *Electromagnetics*, 30, 285-296, 2010.
- [6] McNamara, D.A., Pistorious, C.V. ve Malherbe, J.A.V., *Introduction to the Uniform Geometrical Theory of Diffraction*, MA: Artech House, Boston, 1990.
- [7] Andersen, J. B., "Transition zone diffraction by multiple edges", *IEE Proc.-Microw. Antennas Propag.*, 1994, 382-384.
- [8] Karousos, A. ve Tzaras, C., "Multi Time-Domain Diffraction for UWB Signals", *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 56, 1420-1427, 2008.
- [9] Koutitas, G. ve Tzaras, C., "A Slope UTD Solution for a Cascade of Multishaped Canonical objects", *IEEE Trans. Antenna Propagation*, 54, 2969-2976, 2006.
- [10] Torabi, E., A. Ghorbani ve H. R. Amindavar. "Modification of the UTD Model for Cellular Mobile Communication in an Urban Environment", *Electromagnetics*, 27, 263-285, 2007.
- [11] Tabakcioglu, M. B. ve Kara, A., "On the improvements in the multiple edge transition zone diffraction", *EuCAP'07*, 2007, 1-5.
- [12] Bertoni, H. L., *"Radio propagation for modern wireless systems"*, Prentice Hall, New Jersey, 2000.
- [13] Vogler, L., "An attenuation function for multiple knife-edge diffraction", *Radio Sci.*, 17, 1541-1546, 1982.
- [14] Afacan, E., "Alçak İrtifa Radar Sistemleri İçin Yayılma Yolu Üzerindeki Engellerin Modellenmesi", Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi, 1995