



EKDZ modelinin farklı bina dağılımları içeren senaryolara uygulanarak eğim kırınımı etkisinin araştırılması

Mehmet Barış Tabakcıoğlu^{1*}, Muhammed Reşit Çorapsız²

05.12.2014 Geliş/Received, 30.09.2015 Kabul/Accepted

ÖZ

Bu çalışmada, karasal radyo yayıncılığında kullanılan bazı yayılım modelleri kısaca anlatılacak, daha sonra EKDZ ve UKT yayılım modelleri kullanılarak benzetimler yapılacaktır. Bu benzetimler için kullanılacak senaryolar bazı istatistiksel ve geometrik dağılımlar kullanılarak belirlenecektir. Bu dağılımlar üzerinden yapılacak benzetimler sonucunda eğim kırınımı etkisi tartışılacaktır.

Anahtar Kelimeler: EKDZ modeli, eğim kırınımı, istatistiksel dağılımlar, radyo yayıncılığı, UKT modeli

Investigation of slope diffraction effect via application of S-UTD-CH model into scenarios including different building distribution

ABSTRACT

In this study, after giving brief information about some electromagnetic wave propagation model used in terrestrial radio broadcasting, simulations will be made by means of S-UTD-CH and UTD models. The scenarios used in simulations will be determined by some statistical and geometrical distributions. In conclusion, slope diffraction contribution will be discussed according to simulation results.

Keywords: S-UTD-CH model, slope diffraction, statistical distributions, radio broadcasting, UTD model

* Sorumlu Yazar / Corresponding Author

1 Bursa Teknik Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Bursa - mehmet.tabakcioglu@btu.edu.tr

2 Bayburt Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu Elektrik ve Enerji Bölümü, Bayburt - rcorapsiz@bayburt.edu.tr

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Radyo planlama araçlarında, geri planda, elektromanyetik dalga yayılım modelleri çalışmaktadır. Elektromanyetik dalga yayılım modelleri, ışın izleme tekniği ve nümerik integrasyon tekniği olmak üzere iki ana grupta toplanabilir [1]. Nümerik modellerin hesaplama zamanları çok uzun olmasına rağmen çok kesin sonuçlar vermektedir. Işın izleme tekniği tabanlı modeller ise bunu tam aksinedir [2]. Uniform Kırınım Teorisi [3] hesaplama zamanı kısa, fakat kestirimdeki kesinliği sınırlı bir modeldir [4]. Engellerin birbirinin geçiş bölgesinde olması durumunda model kesinliğini yitirmektedir [5]. Dışbükey Zarf Tekniğine Dayalı Eğim Kırınımı (EKDZ) modeli, ışın izleme tekniği tabanlı bir model olup, hesaplama zamanı ve kestirilen alanın kesinliği açısından optimum bir modeldir [6-8]. EKDZ modeli, daha önceden geliştirilen eğim kırınımı modeli [9] ve dışbükey zarf tekniği modelinin [10] birleştirilmesiyle oluşturulmuştur. Bu çalışmada, geometrik ve istatistiksel bazı dağılımlar ile oluşturulan yayılım senaryolarına UKT ve EKDZ modelleri uygulanacak ve eğim kırınımı etkisi tartışılacaktır. İlerleyen kısımlarda bu iki model hakkında kısaca bilgi verilecek, bina senaryolarının nasıl belirlendiği anlatılacak ve sonuç olarak karşılaştırmalar yapılarak eğim kırınımı etkisi tartışılacaktır.

2. UKT MODELİ (UTD MODEL)

Kırılma ve yansıma olaylarını açıklayan Geometrik optik modeli, çok uzun zamanlardan beri kullanılan yüksek frekans asimptotik bir modeldir [11]. Geometrik optik modelinde kesin gölge sınırı vardır. Gölge bölgesinde elektrik alan sıfırdır [12]. Bu yüzden Geometrik optik modeli, gölge bölgesinde kullanılamamaktadır. Gölge bölgesindeki alan bileşenlerini bulmak için Geometrik Kırınım Teorisi (GKT) Keller tarafından ileri sürülmüştür. Geometrik optik modelinin bir uzantısı olan bu model, kırınan alanları da hesaba katmaktadır [13]. GKT modeli, gölge sınırlarında büyük süreksizlikler oluşturmaktadır [14]. Uniform Kırınım Teorisi (UKT) modeli Kouyoumjian ve Pathak tarafından geçiş fonksiyonu kırınım katsayısı içine eklenerek geliştirilmiştir [3]. UKT modeline göre bir engelin arkasında kalan noktadaki elektrik alan şiddetini hesaplamak için kullanılan denklem aşağıda verilmiştir.

$$E = [E_i D(\alpha)] A(s) e^{-jks} \quad (1)$$

Yukarıdaki denklemde E_i engel üzerine gelen elektrik alan şiddeti, $D(\alpha)$ genlik kırınım katsayısı, $A(s)$ yayılma faktörü, k dalga sayısı, s ise yayılım mesafesidir.

UKT modelinde kullanılan genlik kırınım katsayısı bıçak kenarlı kama yapılar [2] için aşağıda verilmiştir.

$$D = - \frac{e^{-\frac{j\pi}{4}}}{2\sqrt{2\pi k \cos^2 \frac{\alpha}{2}}} F(x) \quad (2)$$

Yukarıdaki denklemde k dalga sayısını, α kırınım açısını, F ise geçiş fonksiyonunu sembolize etmektedir. $x = 2kL \cos^2 \alpha/2$ olup buradaki L ise genlik kırınım katsayısında kullanılan ve süreklilik denklemleri çözümlenerek hesaplanan uzaklık parametresidir.

Denklem (1)'de $A(s)$ yayılma faktörü olup [9] da aşağıdaki gibi verilmiştir.

$$A_{ijk} = \sqrt{\frac{\sum_{m=0}^{j-1} S_m}{\sum_{m=j}^{k-1} S_m \sum_{m=0}^{k-1} S_m}} \quad (3)$$

i, j ve k sırasıyla kaynak, kırınım ve gözlem noktalarını temsil etmektedir. s noktalar arası mesafedir.

UKT modeli, GKT modelinin hatasını büyük ölçüde telafi etmiştir. Fakat UKT modelinde geçiş bölgelerinde hatalar bulunmaktadır. Bu hatalar, engellerin birbirini bloke etmesi durumunda ortaya çıkmaktadır [15].

3. EKDZ MODELİ (S-UTD-CH MODEL)

UKT modelinde geçiş bölgelerinde meydana gelen hataları ortadan kaldırmak için [4] de Eğim kırınımı modeli ileri sürüldü. Eğim kırınımı modeli, süreksizlik problemlerini büyük ölçüde çözmesine rağmen gölge sınır noktalarında hatalar oluşturdu. Daha sonra [9] de iyileştirilmiş eğim kırınımı modeli ileri sürüldü. İyileştirilmiş EK modeline göre bir engelin arkasında kalan noktadaki elektrik alan şiddetini hesaplamak için kullanılan denklem aşağıda verilmiştir.

$$E = \left[E_i D(\alpha) + \frac{\partial E_i}{\partial \alpha} ds(\alpha) \right] A(s) e^{-jks} \quad (4)$$

Yukarıdaki denklemde E_i engel üzerine gelen elektrik alan şiddeti, $D(\alpha)$ genlik kırınım katsayısı, $\frac{\partial E_i}{\partial \alpha}$ engel üzerine gelen elektrik alan şiddetinin türevi, $ds(\alpha)$ eğim kırınım katsayısı, $A(s)$ yayılma faktörü, k dalga sayısı, s ise yayılım mesafesidir.

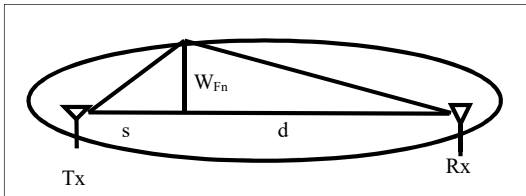
$ds(\alpha)$ eğim kırınım katsayısı olup bıçak kenarlı kama yapılar için [2] de verilmiştir.

$$d_s(\alpha) = \frac{1}{jk} \frac{\partial D(\alpha)}{\partial \alpha} = \frac{-e^{-j\pi/4}}{\sqrt{2\pi k}} L_s \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) [1 - F(x)] \quad (5)$$

Yukarıdaki denklemde $\frac{\partial D(\alpha)}{\partial \alpha}$ genlik kırınım

katsayısının kırınım açısına göre türevi, k dalga sayısı, L_s eğim kırınım katsayısı için süreklilik denklemleri çözülerek hesaplanan uzaklık parametresi, F ise geçiş fonksiyonudur.

Bu modelde kırınım katsayıları belirlemede kullanılan uzaklık parametrelerini hesaplamak için genlik, eğim ve faz süreklilikleri kullanıldı. Bu model de geliştirilerek [2] de iç açılı empedans kamalar içeren çoklu kırınım senaryolarına uyarlandı. Fakat bu modelde engel sayısının fazla olması durumunda, hesaplama zamanı artmakta ve model hatalı sonuçlar vermektedir. EKDZ modeli, Eğim Kırınımı (EK) modeli ile Dışbükey zarf tekniği (DZ) modelinin birleştirilmesiyle oluşturuldu. EKDZ modeli, etkin olmayan engelleri kırınım senaryosundan çıkardığı için bina sayısını düşürmekte ve kestirimdeki kesinliği yüksek sonuçlar vermektedir. Dışbükey zarf, Şekil 1'de gösterilen fresnel bölgeleri kullanılarak oluşturulur.



Şekil 1. Fresnel Bölgesi (Fresnel Zone)

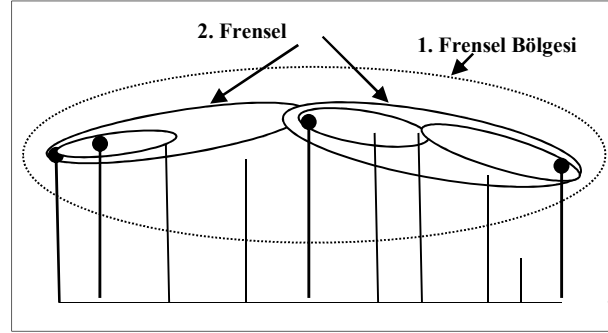
Tx ve Rx verici ve alıcı antenleri temsil etmektedir. d ve s ise alıcı ve verici antenlerden uzaklığı göstermektedir. W ise istenilen noktadaki fresnel bölgesinin yarıçapını ifade edip aşağıda verilmiştir.

$$w_{Fn} = \sqrt{\frac{n\lambda sd}{s+d}} \quad (6)$$

Yukarıdaki denklemde λ dalga boyunu simgeler.

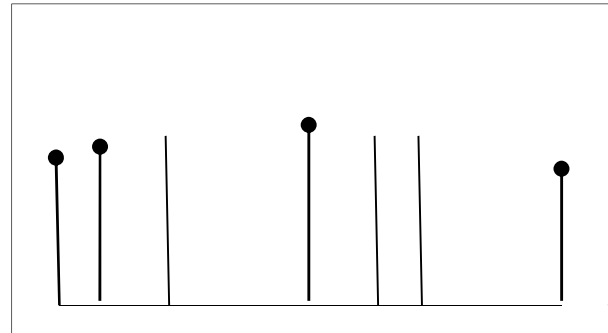
Alıcı ve verici antenler arasında birinci fresnel bölgesi çizilir. Bu bölgenin dışında kalan engeller senaryodan çıkarılır. Daha sonra alıcı ve verici anten arasında çizilen doğruyu kesen en yüksek bina seçilir. Antenler ile bu bina arasında ikinci fresnel bölgesi çizilir. Yine bölgeler dışındaki engeller kırınım senaryosundan çıkarılır. Aynı işlem, elenecek engel kalmayıncaya kadar devam eder ve

elenmeyen engeller üzerinden dışbükey zarf oluşturulur [16]. Dışbükey zarf oluşturulması Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Dışbükey Zarf Oluşturulması (Convex Hull Construction)

Şekil 3'te kırınımına katkısı olmayan engellerin senaryodan çıkarılmasıyla oluşturulan dışbükey zarf verilmiştir.



Şekil 3. Dışbükey Zarf (Convex Hull)

Son olarak Eğim kırınımı algoritması dışbükey zarf için çalıştırılır ve kesinliği yüksek tahminler yapılır. Bir sonraki bölümde iki farklı bina dağılımı için karşılaştırmalar yapılacaktır.

4. ENGEL DAĞILIMLARI VE KARŞILAŞTIRMALAR (OBSTACLE DISTRIBUTIONS AND COMPARISONS)

Bu kısımda, dışbükey parabolik ve gauss dağılımlarıyla üretilen engel – yükseklik dağılımları için EKDZ ve UKT modelleri çalıştırılarak, UKT modeline eğim kırınımı katkısı tartışılacaktır. Birinci uygulamada alıcı ve verici antenler arasında dışbükey parabolik bir zarf oluşturulmuştur. Bu zarf üzerine eşit aralıklı 8 engel yerleştirilmiştir. Engeller arası mesafe eşittir. Alıcı ve verici yükseklikleri 10 m, iki anten arası mesafe 20 m, işlem frekansı 100 MHz seçilmiştir. Şekil 4'te görülebileceği gibi parabolün tepe noktası 20 m olarak belirlenmiştir. Parabolün tepe noktası ikişer metre azaltılarak yeni kırınım senaryoları oluşturulmuştur. Her bir kırınım senaryosu için UKT ve EKDZ modelleri

çalıştırılmış ve bağıl yol kayıpları (dB) ve hesaplama süreleri (s) Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1’de görülebileceği gibi en sol sütun parabolün tepe noktasının yüksekliğini vermektedir. Sonraki gelen kısımlar sırasıyla EKDZ ve UKT modelleri için hesaplama süresi ve bağıl yol kaybını vermektedir. Son sütun ise EKDZ modelinin UKT modelline katkısını göstermektedir. Yine Tablo 1’den de görülebileceği gibi dışbükey parabolik zarfın tepe noktası 20 m den başlayarak 10 m ye kadar çekilmiştir. UKT modeli tüm benzetimlerde en küçük hesaplama zamanına sahiptir. EKDZ modeli ise kestirimdeki kesinlik açısından referans bir modeldir. Her bir benzetim için 3-5 dB değerinde bir eğim kırınım katkısı olmaktadır. Parabolün tepe noktası aşağı çekildikçe bağıl yol kaybı azalmaktadır. Bu durumlarda kırınım etkisi azalmakta, direkt gelen alan bileşenlerinin katkısı artmaktadır.

İkinci uygulamada alıcı ve verici antenler arasında gauss eğrisiyle bir zarf oluşturulmuştur. Bu zarf üzerine eşit aralıklı 8 engel yerleştirilmiştir. Engeller arası mesafe eşittir. Alıcı ve verici yükseklikleri 10 m, iki anten arası mesafe 20 m, işlem frekansı 100 MHz seçilmiştir. Şekil 5’te görülebileceği gibi gauss eğrisinin tepe noktası 7,8 – 20,2 m arasında değişmektedir. Birbirinden farklı tepe noktaları için farklı bir kırınım senaryosu oluşturulmuştur. Her bir kırınım senaryosu için UKT ve EKDZ modelleri çalıştırılmış ve bağıl yol kayıpları (dB) ve hesaplama süreleri (s) Tablo 2’de verilmiştir. Tablo 2’de görülebileceği gibi en sol sütun gauss eğrisinin tepe noktasının yüksekliğini vermektedir. Sonraki gelen kısımlar sırasıyla EKDZ ve UKT modelleri için hesaplama süresi ve bağıl yol kaybını vermektedir. Son sütun ise EKDZ modelinin UKT modelline katkısını göstermektedir.

Yine Tablo 2’den görüleceği üzere, her bir gauss eğrisi altında kalan engellerden oluşan kırınım senaryosu için gelen alanların türevsel bileşenlerinin katkısı olan eğim kırınımı etkisi bulunmaktadır. Tepe noktasının yüksek olduğu durumlarda Şekil 4’te görülebileceği gibi engeller birbirinin geçiş bölgesine girmiştir. Bundan dolayı UKT hatalı sonuçlar vermektedir. Bu durumlar için hesaplama zamanı, yayılıma etkisi olmayan engeller çıkarıldığı için çok daha düşüktür. Tepe noktasının düşük olduğu durumlarda baskın mekanizma direkt gelen alanlardır. Kırınımın etkisi son derece azdır. Bu durumlarda UKT modeli, düşük hesaplama zamanıyla yayılım modellemeye kullanılabilir.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ (DISCUSSION AND RESULTS)

UKT, EK ve EKDZ gibi ışın izleme tekniğine dayalı modeller kapsama alanı hesaplaması ve alıcı üzerindeki

elektrik alan şiddetini ölçmek için radyo planlama araçlarında kullanılmaktadır. UKT modeli, ışın izleme tekniğine dayalı bir model olup, genellikle kırsal alanlarda radyo yayılımında kullanılmaktadır. Engeller birbirinin geçiş bölgesindeyse UKT modeli alan şiddeti kestiriminde hatalı sonuçlar vermektedir. Bu durumda alıcıdan çıkan elektromanyetik dalga engel tarafından bloke edilmiştir. UKT modeli çoklu kırınım olmayan kırsal kesimlerde, tek engel içeren kentsel bölgelerde ve bina yükseklik varyasyonları çok büyük olan şehir merkezlerinde çok az hatayla kullanılabilir. Bina yükseklik varyasyonlarının büyük olması binaların birbirinin geçiş bölgesinde olmaması sonucunu doğurur ve az hata ile tahmin yapılmasına olanak verir. UKT modelinin geçiş bölgesindeki süresizlikleri ortadan kaldırmak için gelen alanların türevsel bileşenlerinin alıcı üzerindeki toplam alana eklenmesine dayalı olan eğim kırınımı (EK) modeli ileri sürülmüştür. EK modeli ise 10 engele kadar kesinliği yüksek tahminler yapabilmektedir. 10 engelden daha fazla engel içeren senaryoları incelemek için, etkin olmayan engellerin çıkarılmasını öngören EKDZ modeli ileri sürülmüştür. EKDZ modeli EK modeliyle hemen hemen aynı sonuçları çok daha kısa sürede vermektedir. Bu çalışmada gauss ve dışbükey parabolik zarflar ile oluşturulan senaryolar için UKT ve EKDZ modelleri üzerinden benzetimler yapılmıştır. Bu benzetimlerden elde edilen sonuçlara göre, dışbükey parabolik zarf için yaklaşık 3 – 5 dB değerinde bir katkı görülmüştür. Dışbükey parabolik zarf dağılımlarda, her durumda daha verimli ve daha güvenilir bir yayıncılık sistemi için EKDZ modeli kullanılmalıdır. Dışbükey parabolik zarf dağılımlarda binalar diğerlerinin geçiş bölgesinde oldukları için eğim kırınım katkısı görülmektedir. Gauss dağılımında ise gauss eğrisinin tepe noktasının yüksek olduğu durumlarda EKDZ modeli kullanılmalıdır çünkü binalar bir diğerini bloke eder. Fakat eğrinin tepe noktasının düşük olduğu durumlarda, binalar birbirinin geçiş bölgesinde olmadığı için, düşük hesaplama zamanı ve düşük bir hataya sahip olan UKT modeli kullanılabilir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

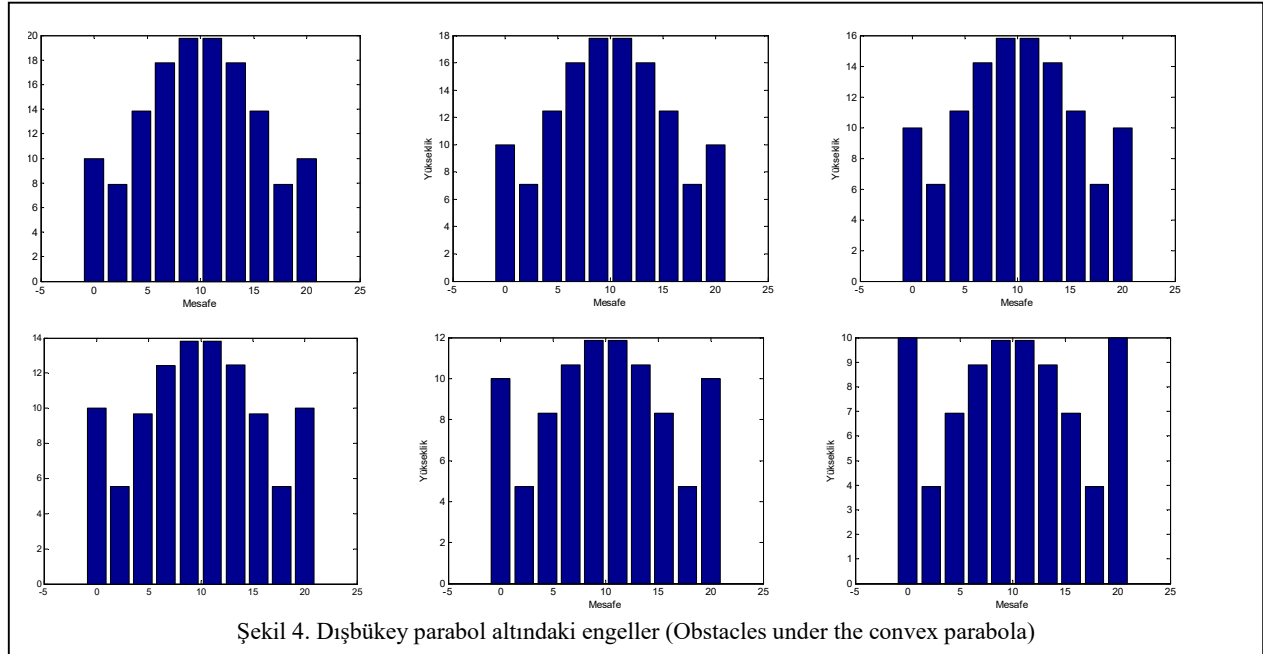
Bu çalışma Bayburt Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projelerini Destekleme Birimi tarafından 2013-1/14 proje numarasıyla desteklenmiştir.

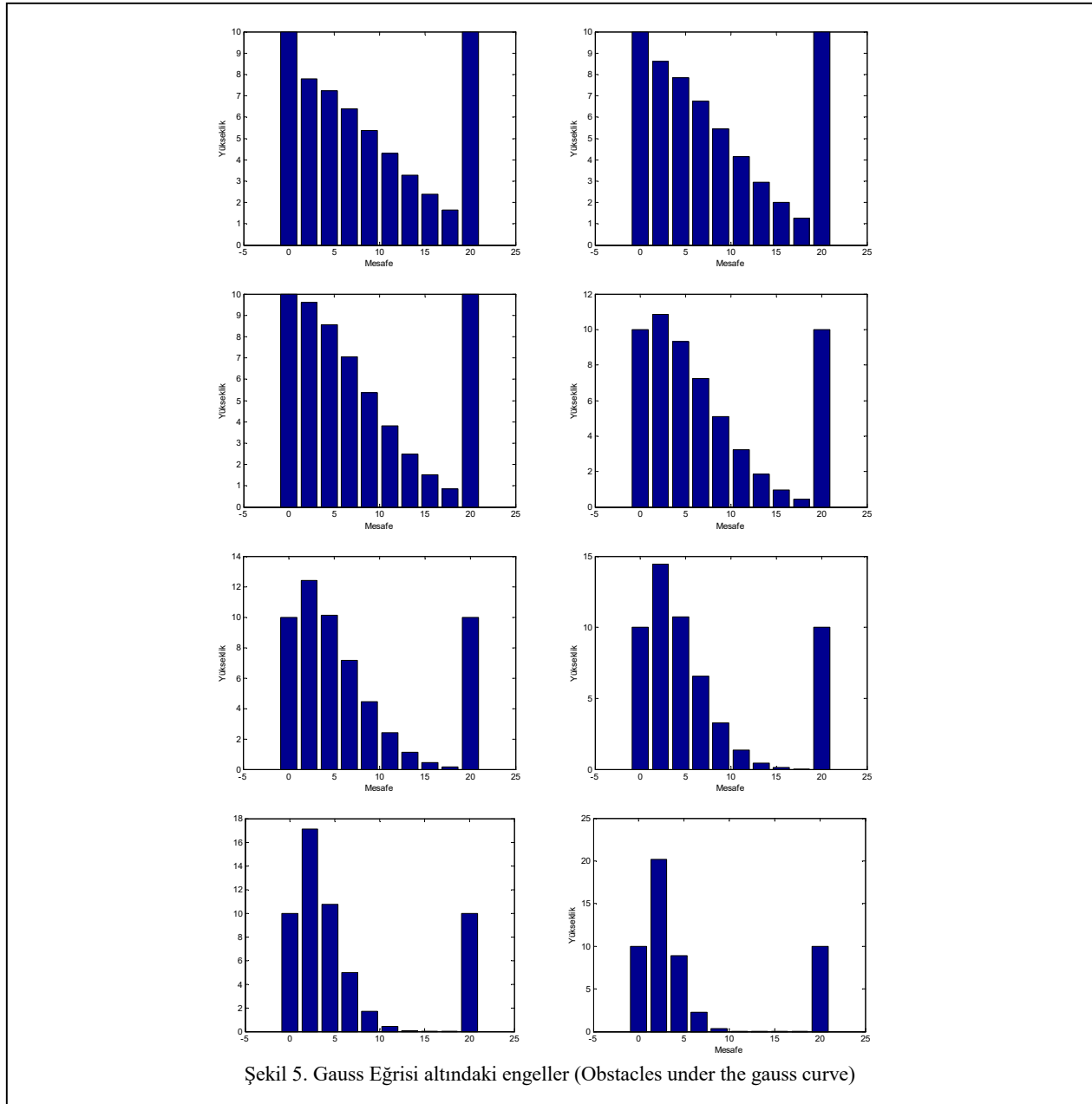
Tablo 1. Dışbükey parabol karşılaştırma sonuçları (Convex parabol comparison results)

Tepe noktası (m)	EKDZ (s)	UKT (s)	EKDZ (dB)	UKT (dB)	EK Katkısı (dB)
20	4,66	1,08	-47,1296	-51,3772	4,2476
18	4,74	0,97	-40,6985	-45,6944	4,9959
16	5,33	1,07	-33,0647	-38,0088	4,9441
14	5,27	1,064	-25,1482	-28,8664	3,7182
12	5,53	1,16	-16,8775	-20,3799	3,5024
10	5,58	1,18	-7,8897	-10,9092	3,0195

Tablo 2. Gauss eğrisi karşılaştırma sonuçları (Gauss curve comparison results)

Tepe noktası (m)	EKDZ (s)	UKT (s)	EKDZ (dB)	UKT (dB)	EK Katkısı (dB)
20,2	0,03	5,629	-17,5954	-15,8896	-1,7058
17,1	0,316	5,44	-15,7175	-14,3296	-1,3879
14,4	8,63	4,26	-13,2749	-12,8506	-0,4243
12,4	8,59	3,95	-11,532	-11,4092	-0,1228
10,8	38,51	3,11	-9,4596	-9,97	0,5104
9,5	35,99	2,75	-7,7704	-8,6704	0,9
8,6	39,36	3,12	-6,3917	-7,2085	0,8168
7,8	41,08	3,42	-5,3301	-5,6255	0,2954





KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] M.B. Tabakcioğlu and A. Cansız, “Çoklu kırınım içerikli senaryolar için elektromanyetik dalga yayılım modelleri”, *Uludağ University Journal of the Faculty of Engineering and Architecture*, vol. 19, no. 1, pp. 37-46, 2014.
- [2] C. Tzaras and S.R. Saunders, “An improved heuristic UTD solution for multiple-edge transition zone diffraction”, *IEEE Trans. Antennas Prop.*, vol. 49, no. 12, pp. 1678–1682, 2001.
- [3] R.G. Kouyoumjian and P.H. Pathak, “A uniform geometrical theory of diffraction for an edge in a perfectly conducting surface”, *IEEE Proceedings*, pp. 1448–1461, 1974.
- [4] J.B. Andersen, “UTD multiple-edge transition zone diffraction”, *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 45, pp. 1093–1097, 1997.
- [5] R.J. Luebbers, “A uniform double diffraction coefficient”, *IEEE Trans. Antennas Prop.*, vol. 57, no. 1, pp. 1270-1273, 1989.
- [6] M.B. Tabakcioğlu and A. Kara, “Comparison of improved slope uniform theory of diffraction with some geometrical optic and physical optic methods for multiple building diffractions”, *Electromagnetics*, vol. 29, no. 1, pp. 303-320, 2009.
- [7] M.B. Tabakcioğlu and A. Kara, “Improvements on Slope Diffraction for Multiple Wedges”, *Electromagnetics*, vol. 30, no. 3, pp. 285-296, 2010.
- [8] M.B. Tabakcioğlu and A. Cansız, “Application of S-UTD-CH Model into Multiple Diffraction Scenarios”, *International Journal of Antennas and Propagation*, vol. 2013, pp. 1-5, 2013.
- [9] K. Rizk, R. Valenzuela, D. Chizhik and F. Gardiol, “Application of the slope diffraction method for urban microwave propagation prediction”, *IEEE Vehicular Technology Conference*, vol. 2, pp. 1150-1155, 1998.
- [10] O.M. Bucci, A. Capozzoli, C. Curcio and G. Delia, “The experimental validation of a technique to find the convex hull of the scattering systems from field data”, *IEEE APS Proceedings*, pp. 539-542, 2003.
- [11] C.A. Balanis, *Advanced Engineering Electromagnetics*. John Wiley & Sons, New York, USA, 1989, p. 981.
- [12] P.Y. Ufimtsev, *Fundamentals of the Physical Theory of Diffraction*, John Wiley & Sons, New Jersey, USA, 2007, p. 329.
- [13] C.A. Balanis, L. Sevgi and P.Y. Ufimtsev, “Fifty Years of High Frequency Diffraction”, *International Journal of RF and Microwave Computer-Aided Engineering*, 2013.
- [14] R.J. Luebbers, “Finite conductivity uniform GTD versus knife edge diffraction in prediction of propagation path loss”, *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 32, no. 1, pp. 70-76, 1984.
- [15] J.B. Andersen, “Transition zone diffraction by multiple edges”, *IEEE Proceedings Microwave Antennas and Propagation*, vol. 141, no. 5, pp. 382-384, 1994.
- [16] H.K. Chung and H.L. Bertoni, “Application of Isolated Diffraction Edge (IDE) Method for Urban Microwave Path Loss Prediction”, *IEEE Vehicular Technology Conference*, vol. 3, pp. 205-209, 2003.