

EKDZ Modelinin Çoklu Kırınım İçeren bir Senaryoya Uygulanması

Mehmet Barış TABAKCIOĞLU^{1,*}, Ahmet CANSIZ²

¹Bayburt Üniversitesi Bayburt Meslek Yüksekokulu Elektrik ve Enerji Bölümü, Bayburt.

²İstanbul Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik Fakültesi Elektrik Mühendisliği Bölümü, İstanbul.

Özet

Bu çalışmada, karasal yayıncılıkta kapsama alanı hesabında kullanılmak üzere ışın izleme tekniğine dayanan yayılım modelleri karşılaştırılmaktadır. Geometrik Kırınım Teorisi (GKT), Eğim Kırınımı ve Dışbükey Zarf Tekniğine dayalı Eğim Kırınımı (EKDZ) modelleri hesaplama süresi ve yayılım yol kaybı açısından karşılaştırılmaktadır. EKDZ modeli hesaplama süresi ve bağıl yol kaybını hesaplamadaki kesinliği açısından optimum bir modeldir. Bu çalışmada 1800 MHz işlem frekansı için verici yüksekliğinin, alıcı üzerindeki bağıl yol kaybına etkisi tartışılmaktadır. Verici yüksekliği azaldıkça binalar daha fazla birbirinin geçiş bölgesine gireceğinden bağıl yol kaybı azalmaktadır. Bu durumda alıcıya direkt gelen ışınların etkisi azalmaktadır.

Anahtar kelimeler: EKDZ modeli, eğim kırınımı, radyo yayıncılığı, GTD modeli, yayılım modelleri.

Application of S-UTD-CH Model into Multiple Diffraction Scenarios

Abstract

In this study, propagation prediction models based on ray tracing in coverage estimation for digital broadcasting systems are compared. Geometrical Theory of Diffraction (GTD), Slope Diffraction (S-UTD) and Slope UTD with Convex Hull (S-UTD-CH) models are compared for computation time and propagation path loss. S-UTD-CH model is optimum model with respect to computation time and relative path loss. In this study, effects of transmitter height to relative path loss at the receiver for 1800 MHz operational frequency are discussed. As the transmitter height decreases, buildings penetrate into transition zone of previous buildings and so relative path loss at the receiver decreases. In this case, effects of direct rays decreases.

* Mehmet Barış TABAKCIOĞLU, mbtabakcioglu@bayburt.edu.tr, Tel: (458) 2114683.

Keywords: *S-UTD-CH model, slope diffraction, radio broadcasting, GTD model, propagation models.*

1. Giriş

Çoklu kırınım içeren geometrilere elektromanyetik dalganın alıcı üzerine ulaşan bağıl yol kaybını hesaplamak daha güvenilir radyo yayıncılığı için çok önemlidir. Radyo yayıncılığı için çok uzun zamanlardan beri ışın izleme tekniği tabanlı birçok elektromanyetik dalga yayılım modelleri geliştirilmiştir. Radyo yayıncılığında baz istasyonu lokasyonu alıcı üzerindeki alan şiddetinin verimi ve hesaplama süresi açısından çok önemlidir. Tüm kullanıcılara ulaşabilmek için kapsama alanı kestirimini doğru ve hızlı bir şekilde hesaplamak çok önemlidir. Kapsama alanı ve kullanıcı üzerindeki elektromanyetik dalganın şiddetini hesaplayan planlama araçlarında arka planda yayılım modelleri çalışmaktadır. Mevcut planlama araçlarında hesaplama süresinin kısalığından dolayı ışın izleme tekniği tabanlı modellerden Geometrik Kırınım Teorisi (GKT) kullanılmaktadır [1-6]. Kentel bölgelerde çoklu kırınım olacağından ve bu bölgelerde bina yükseklikleri birbirine yakın olacağından binalar birbirinin geçiş bölgesine düşmektedir. Bu durumlara GKT modeli alıcı üzerindeki alan şiddetini hesaplamada başarısız olmaktadır. Çoklu kırınım olmayan kırsal bölgelerde bu model çok düşük hesaplama zamanıyla kullanılabilir. Geçiş bölgesindeki süreklilik problemini ortadan kaldırmak için gelen alanların türevsel bileşenlerinin de alıcı üzerindeki toplam alana eklenmesi prensibine dayanan Eğim Kırınımı (EK) modeli ileri sürülmüştür [7-11]. İncelenen senaryodaki bina sayısı çok fazla ise EK modeli hatalı sonuçlar vermekte ve çok fazla hesaplama zamanı gerektirmektedir. Dışbükey Zarf Tekniğine Dayalı Eğim Kırınımı (EKDZ) modeli hesaplama süresi ve kestirilen alanın kesinliği açısından optimum bir modeldir [12, 13]. Bu çalışmada, yayıncılıkta kullanılan GKT, EK ve EKDZ modelleri karşılaştırılacaktır. Ayrıca bu çalışmada, verici yüksekliğinin alıcı üzerindeki bağıl yol kaybına etkisi tartışılacaktır. Verici yüksekliği azaldığı durumlarda binalar birbirinin geçiş bölgesine düşer. Doğrudan alıcıya gelen ışınlar azalır. Bu durumda kırınım mekanizması asıl işi yapmaktadır. Alıcıya sadece kırınarak gelen ışınlar ulaşabilmektedir.

2. GKT Temelli Modeller

GKT temelli modeller çok uzun zamandan beri karasal yayıncılıkta kullanılmaktadır. GKT modeli çoklu kırınım içeren senaryolar uygulandığında hatalı sonuçlar vermektedir. Verilen geometride tekli kırınım varsa veya çoklu kırınım olup binalar birbirinin geçiş bölgesinde değilse bu model radyo yayıncılığında kullanılabilir. Aksi takdirde bu model hata vermektedir. Çoklu kırınım içeren senaryolarda GKT modelinin geçiş bölgesindeki hatasını ortadan kaldırmak için gelen alanların türevsel bileşenleri hesaplanarak alıcı üzerindeki toplam alana eklenmiştir. Böylelikle GKT modelinin hatası ortadan kaldırılmıştır. Eğim Kırınımı modeli 10 kırınımından fazla olduğu durumlarda çok fazla zaman harcamaktadır. Ayrıca bu model kırınım sayısı arttıkça alan kestirimindeki kesinliğini yitirmektedir. EK modelinin hatasını telafi etmek için EKDZ modeli ileri sürüldü. Bu model aslında yeni bir model olmayıp dışbükey zarf tekniği ve eğim kırınımı modellerinin birleştirilmesiyle oluşmuştur. Fresnel bölgesi kavramıyla önce kırınım katkısı olmayan engeller senaryodan çıkarılıp kalan engeller

üzerinden dışbükey zarf oluşturulmaktadır. Bu dışbükey zarfa ışın izleme tekniği uygulanarak alıcıya ulaşan muhtemel alan bileşenler tespit edilmektedir. Daha sonra bu alan bileşenlerine EK modeli uygulanmaktadır [14]. Kırınım etkisi az olan binalar senaryodan çıkarıldığından alan kestiriminin kesinliğinden ödün verilmeyip, engel sayısı azaldığından hesaplama süresi azalmaktadır. Sadece bir engel bile elense hesaplama süresi yaklaşık 5 kat düşmektedir [15].

3. GKT Temelli Modellerin Karşılaştırılması

Kırınım sayısı 11'dan az olduğu sürece EK modeli kesin sonuçlar vermektedir. Bu bölümde karşılaştırma yapılırken EK modeli referans alınacaktır. Modelleri karşılaştırmak için Şekil 1'deki senaryo kullanılmıştır. Bu senaryoda verici anten yüksekliği 25, 20, 15, 10 ve 5 m olarak seçilmektedir. İşlem frekansı 1800 MHz olarak atanmıştır. Ortalama bina yüksekliği 10 m olup binalar 10 ± 4 m yükseklikte rastgele dağıtılmıştır. Binalar arası mesafe 20 m olup bina mesafeleri 20 ± 5 m aralıkta dağıtılmıştır. Alıcı anten yüksekliği 1,5 m seçilmiştir.

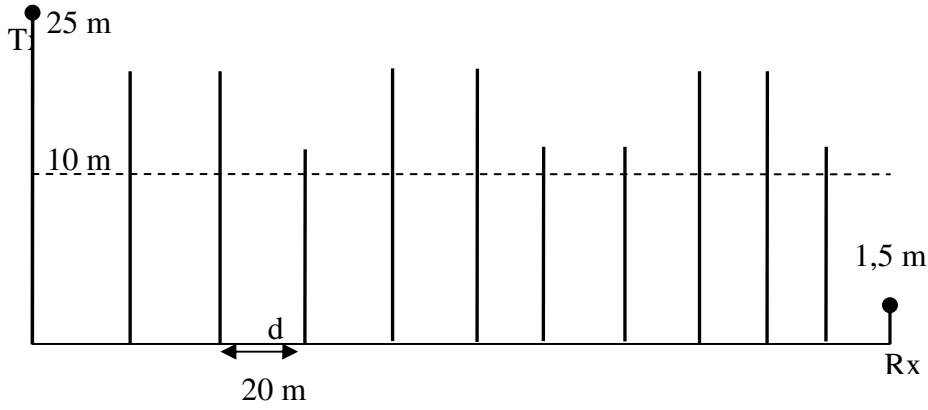
Yukarıda verilen senaryoda verici anten yüksekliği 25 m (çok yüksek) için her üç model için 20 kez benzetim yapılmış benzetim sonuçları Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Çok Yüksek Verici Yüksekliği (25 m) Benzetim Sonuçları (1800 MHz).

GKT (s)	EK (s)	EKDZ (s)	GKT-EK (dB)	EKDZ-EK (dB)	ELENEN
0,921	183,051	0,203	0,754	0,018	5
1,373	216,654	0,016	0,003	0,082	8
1,201	247,62	0	0,224	0,333	7
1,155	204,985	0	0,022	0,521	8
1,108	174,206	0	0,013	1,07	9
0,843	161,164	0	0,003	0,121	8
0,889	200,649	0,015	0,795	0,16	7
0,749	126,049	0	0,013	0,556	9
0,781	96,143	0	0,016	0,122	9
1,138	188,231	0	0,013	0,214	9
1,342	291,815	0	0,044	0,037	7
0,624	101,042	0,016	0,022	0,003	7
0,921	186,561	0	0,001	1,081	9
1,233	206,486	0,046	0,025	0,007	6
0,328	63,102	0	0,035	0,036	7
0,765	135,658	0,016	0,032	0,138	7
0,702	99,903	0	0,002	0,16	8
0,686	139,59	0	0,026	0,042	7
0,609	124,192	0	0,004	0,294	9
0,78	173,145	0	0,003	0,401	9
0,907	166,012	0,016	0,103	0,270	7,750
0,274	56,094	0,046	0,235	0,321	1,164

Tablo 1'den de görülebileceği gibi soldaki üç sütun GKT, EK ve EKDZ modelleri için hesaplama sürelerini vermektedir. Sonraki sütun GKT modeline EK katkısını göstermektedir. EK modelinin bu katkısı türevsel bileşenlerin eklenmesinden oluşur. Diğer sütun EKDZ modelinin EK modelinden ne kadar saptığını göstermektedir. En sağdaki sütunda ise EKDZ modelinde alıcı üzerindeki toplam alana etkisi yok denecek kadar az olan senaryodan çıkarılan bina sayısını vermektedir. Her üç model için 20 kez benzetim yapılmıştır. Son iki satır ortalama değeri ve standart sapmayı vermektedir.

Yine bu tablodan görüleceği üzere EK modeli en çok zaman tüketen modeldir. Kırınım sayısı arttıkça bu süre de artmaktadır. EKDZ modelinde etkin olmayan binalar senaryodan çıkarıldığı için hesaplama süresi çok düşüktür. EK ve EKDZ modelleri neredeyse aynı sonucu (0,270 dB fark) vermesine karşın EKDZ modelinin hesaplama süresi 0,016 s iken EK modelinin hesaplama süresi 166,012 s olmaktadır. EK modelinin türevsel bileşenleri eklemesinden dolayı GKT modeline katkısı 0,103 dB olmaktadır. 20 benzetim sonucunda ortalama 7,75 bina kırınımına katkısı neredeyse hiç olmasından dolayı elenmiştir.



Şekil 1. GKT Tabanlı Modelleri Karşılaştırma Senaryosu.

Yukarıdaki verilen senaryoda bütün parametreler sabit tutulup verici anten yüksekliği 20 m (yüksek) yapılırsa Tablo 2'deki sonuçlar elde edilir.

Tablo 2. Yüksek Verici Yüksekliği (20 m) Benzetim Sonuçları (1800 MHz).

GKT (s)	EK (s)	EKDZ (s)	GKT-EK (dB)	EKDZ-EK (dB)	ELENEN
0,749	123,459	0,219	0,282	0,007	5
1,076	186,39	0	0,093	0,162	8
1,31	274,079	0,015	0,226	0,028	7
0,624	81,76	0	0,006	0,601	8
1,576	338,975	0	0,03	0,194	7
0,936	210,991	0,032	1,935	0,214	6
0,624	136,095	0,016	0,036	0,111	7
0,702	132,071	0	0,061	0,656	9
1,216	276,153	0	0,135	0,027	7
0,811	165,112	0	0,156	0,696	7
0,452	69,483	0	0,084	0,549	7
0,422	82,977	0,031	0,014	0,028	6
0,827	226,358	0,031	0,152	0,075	6
0,421	83,991	0	0,077	0,249	7
1,233	248,416	0,031	0,193	0,005	6
0,375	64,725	0,046	0,262	0,011	6
1,279	250,195	0,202	0,06	0,056	5
0,671	163,473	0	0,015	1,036	8
1,045	176,967	0	0,04	0,392	7
0,562	86,846	0,015	0,067	0,285	7
0,846	168,926	0,032	0,196	0,269	6,800
0,348	80,806	0,063	0,418	0,293	1,005

Tablo 2'den görüleceği üzere EK modeli yine en çok zaman tüketen modeldir. EKDZ modelinde etkin olmayan binalar senaryodan çıkarıldığı için hesaplama süresi çok düşüktür. EK ve EKDZ modeli neredeyse sonucu (0,269 dB fark) vermesine karşın

EKDZ modelinin hesaplama süresi 0,032 s iken EK modelinin hesaplama süresi 168,926 s olmaktadır. 20 benzetim sonucunda ortalama 6,8 bina kırımına katkısı neredeyse hiç olmasından dolayı elenmiştir. Verici anten yüksekliği aşağıya çekildiği için bina yükseklikleri birbirine daha da yaklaştı ve birbirinin geçiş bölgesine girmeye başladı. Yine Tablo 2’den de görülebileceği gibi EK modelinin GKT modeline katkısı türevsel bileşenlerin katkıları artmasından dolayı artmıştır (0,196 dB). Bina yükseklikleri yakınlığından elenen bina sayısı da azalmıştır. Daha az bina elendiğinden EKDZ modelinin süresi artmıştır (0,032 s).

Yukarıdaki verilen senaryoda bütün parametreler sabit tutulup verici anten yüksekliği 15 m (aynı seviye) yapılırsa Tablo 3’teki sonuçlar elde edilir.

Tablo 3. Aynı Seviye Verici Yüksekliği (15 m) Benzetim Sonuçları (1800 MHz).

GKT (s)	EK (s)	EKDZ (s)	GKT-EK (dB)	EKDZ-EK (dB)	ELENEN
0,873	164,129	0,203	0,066	0,027	5
1,513	352,968	0,203	0,041	0,038	5
0,468	83,32	0,032	0,392	0,497	6
0,92	202,146	0,016	3,273	0,59	7
1,311	298,866	0	0,07	0,404	8
1,872	354,621	0,031	0,177	0,054	6
3,401	607,187	0	0,009	0,83	8
1,404	308,382	0,032	0,033	0,061	6
1,638	299,522	0,234	0,214	0,397	5
2,231	459,657	0	0,05	0,223	8
1,139	292,736	0,031	0,113	0,034	6
2,044	352,562	0	0,008	0,057	7
0,717	121,821	0,047	0,042	0,513	6
1,466	283,797	0,032	0,064	0,195	6
1,154	223,363	0	0,02	0,92	8
0,452	73,96	0,031	0,32	0,259	6
0,499	84,459	0,016	0,382	0,766	7
1,076	190,431	0	0,005	0,419	7
1,31	330,223	0,031	1,143	0,144	6
1,045	181,648	0,062	0,014	0,137	6
1,327	263,290	0,050	0,322	0,328	6,450
0,697	133,560	0,073	0,742	0,284	0,999

Tablo 3’ten görüleceği üzere EK modeli yine en çok zaman tüketen modeldir. EKDZ modelinde etkin olmayan binalar senaryodan çıkarıldığı için hesaplama süresi çok düşüktür. EK ve EKDZ modeli neredeyse aynı sonucu (0,328 dB fark) vermesine karşın EKDZ modelinin hesaplama süresi 0,050 s iken EK modelinin hesaplama süresi 263,290 s olmaktadır. 20 benzetim sonucunda ortalama 6,450 bina kırımına katkısı neredeyse hiç olmasından dolayı elenmiştir. Verici anten yüksekliği aşağıya çekildiği için bina yükseklikleri birbirine daha da yaklaştı ve birbirinin geçiş bölgesine girmeye başladı ve elenen bina sayısı azaldı. Yine Tablo 3’te görülebileceği gibi binalar birbirinin geçiş bölgesine girdiği için EK modelinin GKT modeline katkısı artmıştır (0,322 dB). Daha az bina elendiğinden EKDZ modelinin süresi artmıştır (0,050 s).

Yukarıdaki verilen senaryoda bütün parametreler sabit tutulup verici anten yüksekliği 10 m (düşük) yapılırsa Tablo 4’teki sonuçlar elde edilir.

Tablo 4. Düşük Verici Yüksekliği (10 m) Benzetim Sonuçları (1800 MHz).

GKT (s)	EK (s)	EKDZ (s)	GKT-EK (dB)	EKDZ-EK (dB)	ELENEN
1,123	21,83	0,905	1,107	0,006	4
1,841	475,616	0,171	2,714	0,121	5
1,216	345,308	0,172	0,759	0,098	5
1,311	263,657	0,047	0,103	0,098	6
0,327	58,391	0,172	0,995	0,039	5
0,702	140,042	0,047	0,012	0,19	6
1,622	359,255	0	1,368	0,062	7
0,733	127,437	0,031	0,871	0,229	6
1,903	428,348	0,031	0,255	0,274	6
0,998	209,463	0,249	0,148	0,106	5
0,687	117,827	0	0,453	0,05	7
1,576	406,101	0,827	0,083	0,034	4
0,484	105,504	0,156	0,663	0,284	5
1,326	360,908	4,571	2,648	0,01	3
2,168	466,287	0	0,057	0,127	7
1,368	292,923	0,203	2,435	0,045	5
1,841	439,439	1,123	0,018	0,003	4
0,499	86,331	0,218	3,083	0,115	5
0,624	137,842	0,499	2,967	0,021	4
2,59	540,044	0,172	0,875	0,799	5
1,247	269,128	0,480	1,081	0,136	5,200
0,624	161,758	1,016	1,081	0,178	1,105

Tablo 5. Çok Düşük Verici Yüksekliği (5 m) Benzetim Sonuçları (1800 MHz).

GKT (s)	EK (s)	EKDZ (s)	GKT-EK (dB)	EKDZ-EK (dB)	ELENEN
0,437	103,849	0,016	0,498	0,381	6
1,092	257,199	0,421	2,762	0,303	4
0,609	172,818	0,343	2,736	0,009	4
1,014	252,129	0,015	0,073	0,26	6
0,437	87,813	0,016	0,29	0,086	6
1,092	331,113	3,447	3,45	0,017	3
0,405	70,435	0,125	1,599	0,03	5
1,186	308,882	0,031	0,468	0,183	6
1,154	283,844	0,843	2,09	0,12	4
0,811	192,63	2,371	1,893	0,268	3
0,374	94,786	0,016	0,207	0,304	6
1,514	370,486	3,651	0,892	0,002	3
0,982	237,746	0,078	0,095	0,632	5
0,905	217,559	0,156	2,215	0,222	5
0,624	156,827	0,016	0,032	0,268	6
0,265	65,209	1,996	1,417	0,042	3
0,655	158,435	0,078	1,352	0,219	5
1,077	264,468	0,016	0,01	0,896	6
0,78	188,87	0	0,049	0,194	6
1,389	345,386	0,873	1,171	0,067	4
0,840	208,024	0,725	1,165	0,225	4,800
0,356	94,377	1,172	1,074	0,221	1,196

Tablo 4'ten de görüleceği üzere EK modeli yine en çok zaman tüketen modeldir. EKDZ modelinde etkin olmayan binalar senaryodan çıkarıldığı için hesaplama süresi çok düşüktür. EK ve EKDZ modeli neredeyse aynı sonucu (0,136 dB fark) vermesine karşın EKDZ modelinin hesaplama süresi 0,480 s iken EK modelinin hesaplama süresi 269,128 s olmaktadır. 20 benzetim sonucunda ortalama 5,2 bina kırımına katkısı neredeyse hiç olmasından dolayı elenmiştir. Verici anten yüksekliği aşağıya çekildiği

için bina yükseklikleri birbirine daha da yaklaştı ve birbirinin geçiş bölgesine girmeye başladı. EK modelinin GKT modeline katkısı türevsel bileşenlerin katkıları artmasından dolayı artmıştır (1,081 dB). Bina yükseklikleri yakınlaştığından elenen bina sayısı da azalmıştır.

Yukarıdaki verilen senaryoda bütün parametreler sabit tutulup verici anten yüksekliği 5 m (çok düşük) yapılırsa Tablo 5'teki sonuçlar elde edilir.

Tablo 5'te görüleceği üzere EK modeli yine en çok zaman tüketen modeldir. EKDZ modelinde etkin olmayan binalar senaryodan çıkarıldığı için hesaplama süresi çok düşüktür. EK ve EKDZ modeli hemen hemen aynı sonucu (0,225 dB fark) vermesine karşın EKDZ modelinin hesaplama süresi 0,725 s iken EK modelinin hesaplama süresi 208,024 s olmaktadır. 20 benzetim sonucunda ortalama 4,8 bina kırımına katkısı neredeyse hiç olmasından dolayı elenmiştir. Verici anten yüksekliği aşağıya çekildiği için bina yükseklikleri birbirine daha da yaklaştı ve birbirinin geçiş bölgesine girmeye başladı. EK modelinin GKT modeline katkısı türevsel bileşenlerin katkıları artmasından dolayı artmıştır (1,165 dB). Bina yükseklikleri yakınlaştığından elenen bina sayısı da azalmıştır.

3. Sonuçlar ve Tartışma

Genel olarak GKT modeli radyo yayılımında en hızlı kestirimi yapmaktadır. İncelenen senaryodaki bina sayısı 10 ve daha az olduğu durumlarda EK modeli en kesin sonuçları vermektedir. EK modeli kesin sonuçlar vermesine karşın hesaplama zamanı çok yüksektir. Elenen bina sayısı azaldıkça EK ile EKDZ modeli hemen hemen aynı sonucu vermektedir. Elenen bina olmadığı durumlarda EK modeli ile EKDZ modeli aynı sonucu vermektedir. Bina yükseklikleri arasındaki fark azaldığında binalar daha çok birbirine yaklaşacağından türevsel bileşenlerin katkısı en fazla görülmektedir. Verici anten yüksekliği çok yüksek ve yüksek olduğu durumlarda doğrudan gelen alanlar baskın olacağından ve türevsel bileşenlerin katkısı azalacağından GKT modelini kullanmak hesaplama zamanı açısından önemlidir. Sonuç olarak EKDZ modelinin çoklu kırınım içeren senaryolara uygulanması hesaplama zamanı ve kestirimdeki kesinlik açısından daha uygundur.

Kaynaklar

- [1] Kouyoumjian, R. G. ve Pathak, P. H., A uniform geometrical theory of diffraction for an edge in a perfectly conducting surface, **Proceedings, IEEE**, 1448–1461, (1974).
- [2] Rodriguez, J.V., Molina-Garcia-Pardo, J.M. and Leandro, J.L., An Improved Solution Expressed in Terms of UTD Coefficients for Multiple Building Diffraction of Plane Waves, **IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters**, 4, 16-19, (2005).
- [3] Tajvidy, A. and Ghorbani, A., A New Uniform Theory-of-Diffraction-Based Model for the Multiple Building Diffraction of Spherical Waves in Microcell Environments, **Electromagnetics**, 28 (5), 75-387, (2008).

- [4] Torabi, E., Ghorbani, A. and Amindavar, H.R., Modification of the UTD model for cellular mobile communication in an urban environment, **Electromagnetics**, 27, 263–285, (2007).
- [5] Rodriguez, J.V., Molina-Garcia-Pardo, J.M. and Leandro, J.L., UTD-PO Formulation for the Multiple-Diffraction of Spherical Waves by an Array of Multimodeled Obstacles, **IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters**, 8, 379-382, (2009).
- [6] Rodriguez, J.V., Molina-Garcia-Pardo, J.M., Pascual-Garcia J. and Leandro, J.L., Comparison of a UTD-PO Formulation for Multiple-Plateau Diffraction With Measurements at 62 GHz, **IEEE Trans. Antennas Prop.**, 61, (2), 1000-1003, (2013).
- [7] Andersen, J. B., Transition zone diffraction by multiple edges, **IEEE Proceedings Microwave Antennas and Propagation**, (1994).
- [8] Andersen, J. B. , UTD multiple-edge transition zone diffraction. **IEEE Transactions on Antennas and Propagation**, 45, 1093–1097, (1997).
- [9] Rizk, K., Valenzuela, R., Chizhik, D. ve Gardiol, F., Application of the slope diffraction method for urban microwave propagation prediction, **Proceedings, IEEE Vehicular Technology Conference**, 1150–1155, (1998)
- [10] Tzaras, C., and Saunders, S. R., An improved heuristic UTD solution for multiple-edge transition zone diffraction, **IEEE Trans. Antennas Prop.**, 49, 12, 1678–1682, (2001).
- [11] Karousos, A. and Tzaras, C., Multi Time-Domain Diffraction for UWB Signals. **IEEE Transactions on Antennas and Propagation**, 56 (5), 1420-1427, (2008).
- [12] Tabakcioglu, M.B. and Kara, A., Comparison of Improved Slope UTD Method with UTD based Methods and Physical Optic Solution for Multiple Building Diffractions, **Electromagnetics**, 29, 4, 303-320, (2009)
- [13] Tabakcioglu, M.B. and Kara, A., Improvements on Slope Diffraction for Multiple Wedges, **Electromagnetics**, 30, 3, 285-296, (2010).
- [14] Tabakcioglu, M.B. ve Cansız, A., Comparison of S-UTD-CH model with other UTD based models, **Mosharaka International Conference on Communications, Propagation and Electronics**, Jordan, (2010)
- [15] Tabakcioglu, M.B., Ayberkin, D. and Cansız, A., Comparison and Analyzing Propagation Models, **Asia-Pasific Conference on Antennas and Propagation**, Singapore, (2012)