

# MOBİL HABERLEŞMEDE YENİ BİR ÇATI MODELİ

Nilgün ALTIN, Erdem YAZGAN, Erkan AFACAN  
Hacettepe Üniversitesi  
Elektrik-Elektronik Mühendisliği  
Beytepe, Ankara  
[altin@ee.hacettepe.edu.tr](mailto:altin@ee.hacettepe.edu.tr), [yazgan@hacettepe.edu.tr](mailto:yazgan@hacettepe.edu.tr)

Gazi Üniversitesi  
Elektrik-Elektronik Mühendisliği  
Maltepe, Ankara  
[afacan@mmf.gazi.edu.tr](mailto:afacan@mmf.gazi.edu.tr)

**Özet-** Farklı şekildeki bina çatılarının ard arda yerleşmesi sonucunda meydana gelen çoklu kırınım yayılım yol kaybı hesabı mobil iletişimde önemlidir. Bina çatıları literatürde kama biçimli olarak incelenmiştir. Bu makalede bina çatısı gerçeğe daha uygun bir yapı olarak ele alınmıştır ve bu yapıdaki çatı şekline sahip binaların ardışık yerleşmesi sonucu alıcı anten ile verici anten arasında meydana gelen yayılım yol kaybı hesaplanmıştır.

## I. GİRİŞ

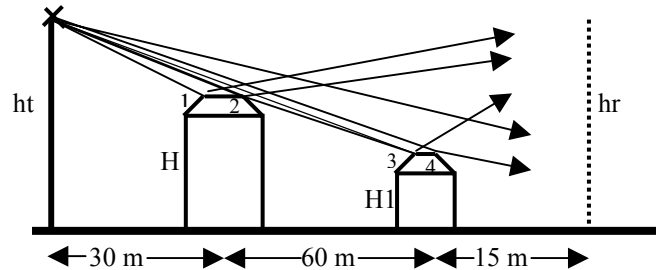
Yüksek frekanslı elektromanyetik dalgaların yayılmasında yayılım yolu üzerindeki engellerin etkisini incelemeye bilinen üniform geometrik kırınım teorisi uygulanır. Bilinen kırınım katsayısı hem mükemmel iletken çatılarda hem de pürüzlü kayıplı çatılardan kırınımı hesaplamada ve değişken iletkenliği, geçirgenliği ve yüzey pürüzlülüğüne sahip alanlarda yol kaybını tahmin etmek için kullanılır. En iyi sonuçlar 100 MHz ile 10 GHz arasında elde edilmiştir. Bu çalışmalarda da yüzey dalgaları ele alınmamıştır.[4]

İkinci çatı eğer ilk fiziksel yapıdan kırınan alanların gölge bölgesi sınırında kalıyorsa elde edilen sonuçlarda süreksizlik meydana gelir. Bu süreksizliği ortadan kaldırmak için hüristik SD (Slope Diffraction) düzeltme kısmı kullanılmıştır. SD terimi her iki kutuplanma için hem mükemmel iletken çatılarda hem de pürüzlü, kayıplı çatılarda sürekliliği sağlamaktadır. Çatının uçları arasında teğet gelmede (grazing incidence) çatının kayıplı olması durumunda kırınım katsayısı özel bir kazanç faktörüyle çarpılmaktadır.[5]

Bu çalışmada bina çatısının iç açılarının değiştirilmesi sonucunda her iki kutuplanma durumunda mükemmel iletken çatı ve pürüzlü, kayıplı çatılardaki kırınan alanların karşılaştırılması verilmiştir.

## II. FORMULASYON

Formulasyonda bilinen Üniform Geometrik Kırınım teorisinde kullanılan üç çeşit ışın temel alınmıştır. Bunlar, a) doğrudan gelen ışın b) çatı yüzeyinden yansıyan ışınlar ve c) çatı uçlarından kırınan ışınlardır.[2]



Şekil 1. Alıcı ile verici anten arasında yayılım modeli

Şekil 1’de gösterilen ışınların ifadelerini yazalım.

- a) Doğrudan gelen ışın: Bu ışın verici antenden çıkıp doğrudan alıcı antene ulaşan ışındır. Doğrudan gelen ışının ifadesi aşağıdaki gibi alınmaktadır:

$$E_i = \frac{e^{-iks}}{ks} U_1 \quad (1)$$

Burada  $U_1$  doğrudan ışın ile ilgili birim basamak işlevidir.  $s$  ise verici anten ile alıcı anten arasındaki toplam yol uzunluğudur.

- b) Çatı yüzeyinden yansıyan ışınlar: Bu ışın verici antenden çıkıp çatının yüzeyinden yansdıktan sonra alıcı antene ulaşan ışındır. Çatı yüzeyinden yansıyan ışının ifadesi aşağıdaki gibi alınmaktadır:

$$E_r = R \frac{e^{-ik(s_1+s_2)}}{k(s_1+s_2)} U_2 \quad (2)$$

Burada  $U_2$  yansıyan ışın ile ilgili birim basamak işlevidir.  $s_1$  verici anten ile çatının yüzeyindeki yansımaya noktası arasındaki uzaklık,  $s_2$  çatının yüzeyindeki yansımaya noktası ile alıcı anten arasındaki uzaklıktır.  $R$  çatının yüzeyinden uygun kutuplanma için yansımaya katsayısıdır. Mükemmel iletken çatı yüzeyinde  $R$  paralel kutuplanma için  $-1$ , dikey kutuplanma için  $+1$  alınır. Pürüzlü ve kayıplı çatılarda yansımaya katsayısı

$$R = R_s \cdot \rho \quad (3)$$

$R_s$  düzlem dalga yansımaya katsayısı,  $\rho$  yüzey pürüzlülük zayıflama faktörüdür.

$$R_s = \frac{\sin \varphi - \sqrt{\hat{\epsilon}_r - \cos^2 \varphi}}{\sin \varphi + \sqrt{\hat{\epsilon}_r - \cos^2 \varphi}}, \quad R_s = \frac{\hat{\epsilon}_r \sin \varphi - \sqrt{\hat{\epsilon}_r - \cos^2 \varphi}}{\hat{\epsilon}_r \sin \varphi + \sqrt{\hat{\epsilon}_r - \cos^2 \varphi}} \quad (4)$$

Sırasıyla paralel ve dikey polarizasyon için yansımaya katsayısıdır.

$$\rho = e^{-\delta^2/2}, \quad \delta = \frac{4\pi\Delta h}{\lambda} \sin \varphi \quad (5)$$

$\Delta h$  yüzey pürüzlülüğünün normal dağılımının standart sapması,  $\lambda$  dalga boyudur.

$$\hat{\epsilon}_r = \epsilon_r - i\sigma/\omega\epsilon_0 \quad (6)$$

$\hat{\epsilon}_r$  karmaşık geçirgenlik ve  $\sigma$  iletkenliktir. Sonlu bir iletkenliğe sahip çatının uçları arasında teğet gelmede kırınım katsayısı özel bir katsayı ile çarpılır.[3]

- c) Kırınan ışın: Bu ışın çatının uçlarına çarparak kırınan ve alıcı antene ulaşan ışındır. Çatının ucundan kırınan ışının ifadesi:

$$E_1^d = E_2^i = E_1^i D_1(\phi_1, \phi_1') \sqrt{\frac{s'}{s''(s'+s'')}} e^{-iks''} U_3 \quad (7)$$

$s' = |s'|$  olup verici anten ile çatının uç noktası arasındaki uzaklıktır.  $s'' = |s''|$  olup çatının uç noktası ile alıcı anten arasındaki uzaklıktır.  $\phi_1'$ , çatının sol yüzeyi ile  $s'$  arasındaki açıdır.  $\phi_1$ , çatının sol yüzeyi ile  $s''$  arasındaki açıdır.  $D_1$  [1]'deki Uniform Geometrik Kırınım teorisindeki kırınım katsayısıdır. Burada  $U_3$  kırınan ışınla ilgili birim basamak işlevidir.

- d) Kırınan-Kırınan ışın: Bu ışın çatının birinci ucundan kırındıktan sonra ikinci ucundan tekrar kırınan ışındır. Bu ışına SD (Slope Diffraction) terimi eklenir.

$$E_3^i = E_2^d = \left[ E_2^i D_2(\phi_2, \phi_2') + \frac{1}{2ik} \frac{\partial D_2(\phi_2, \phi_2')}{\partial \phi'} \frac{\partial E_2^i}{\partial u_2} \right] \sqrt{\frac{s'+s''}{s'''(s'+s''+s''')}} e^{-iks'''} U_4 \quad (8)$$

$s' = |s'|$  olup verici anten ile çatının uç noktası arasındaki uzaklıktır.  $s'' = |s''|$  olup çatının iki uç noktası arasındaki uzaklıktır.  $s''' = |s'''|$  çatının ikinci ucu ile alıcı anten arasındaki uzaklıktır.  $\phi_2'$ , çatının sol yüzeyi ile  $s''$  arasındaki açıdır.  $\phi_2$ , çatının sol yüzeyi ile  $s'''$  arasındaki açıdır.  $D_2$  [1]'deki Uniform Geometrik Kırınım teorisindeki

kırınım katsayısıdır. Yukarıda verilen ikinci ifadedeki SD teriminin açık ifadesi [5]'de verilmiştir. Burada  $U_4$  kırınan ışınla ilgili birim basamak işlevidir.

e) Kırınan-Kırınan-Kırınan ışın: Bu ışın çatının tek ucundan kırınan ışın ile kırınan-kırınan ışının birleşiminden oluşur. Yukarıda yapılan açıklamalar burada da geçerlidir. Burada  $U_5$  kırınan ışınla ilgili birim basamak işlevidir.

$$E_4^i = E_3^d = E_3^i D_3(\phi_3, \phi_3') \sqrt{\frac{s' + s'' + s'''}{s^{iv}(s^{iv} + s' + s'' + s''')}} e^{-iks^{iv}} U_5 \quad (9)$$

f) Kırınan-Kırınan-Kırınan-Kırınan ışın: Bu ışın çatının uçlarından ardışık kırınımından oluşmuştur. Yukarıda yapılan açıklamalar burada geçerlidir.

$$E_4^d = \left[ E_4^i D_4(\phi_4, \phi_4') + \frac{1}{2ik} \frac{\partial D_4(\phi_4, \phi_4')}{\partial \phi'} \frac{\partial E_4^i}{\partial u_4} \right] \sqrt{\frac{s^{iv} + s' + s'' + s'''}{s(s + s^{iv} + s' + s'' + s''')}} e^{-iks} \quad (10)$$

Bu ışınların toplamından oluşan toplam alan aşağıdaki gibi bulunur. Değişik noktalar ve özellikleri göz önüne alınarak formülasyonda 14 değişik tipdeki ışın ele alınmıştır:

$$E_{toplam} = E_i + E_r + E_{k1} + E_{k2} + E_{k3} + E_{k4} + E_{k1k2} + E_{k2k3} + E_{k2k4} + E_{k3k4} + E_{k2k3k4} + E_{k1k2k4} + E_{k1k2k3} + E_{k1k2k3k4} \quad (11)$$

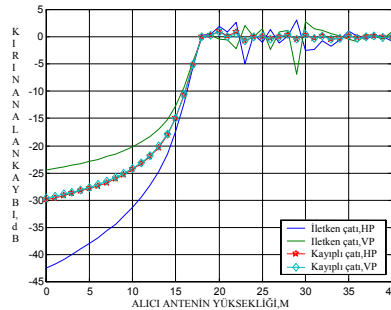
Burada alt indislerde görülen i'ler gelen alanı, r'ler yansıyan alanı ve k'lar tekli ve çoklu kırınan alanları ifade etmektedirler.

### III. HÜRİSTİK SD YÖNTEMİNİN ARD ARDA YERLEŞMİŞ DEĞİŞİK AÇILI ÇATILARA UYGULANARAK YAYILIM YOL KAYBININ HESAPLANMASI

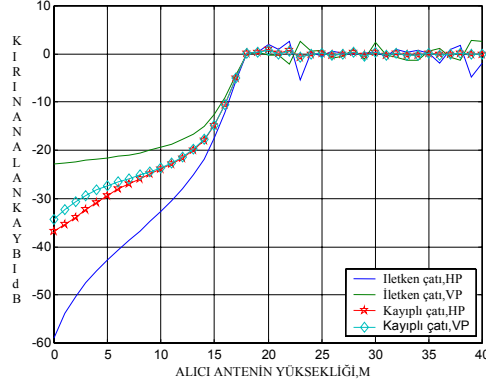
Yukarıdaki formüller yardımıyla alıcıdaki toplam alan, Şekil 1'deki geometride alıcı anten ile verici anten arasında kırınan alan kaybı hesap edildiğinde sonuçlar aşağıdaki verilen grafiklerle gözlenebilir. Burada parametre olarak alıcı antenin yüksekliği ele alınmıştır.

SD (Slope Diffraction) düzeltme terimi, mükemmel iletken çatılarda paralel kutuplanma ve pürüzlü, kayıplı çatılarda her iki kutuplanma sonucunda meydana gelen süreksizliği düzeltmektedir. Bu çalışmada; yol kaybı hesaplamalarında kırınan alanların etkisini açıkça göstermek amacıyla yeryüzünden yansımalar hesaplamalara dahil edilmemiştir. Gerçek yol kaybı hesaplamalarında yeryüzünden yansımalarında dahil edilmesi beklenir..

Pürüzlü ve kayıplı çatı parametreleri; bağıl geçirgenlik 15, iletkenlik 0.012 S/m ve yüzeyin pürüzlülüğü 0.23 m. Şekil 2 ve 3'te bina çatısının uçlarındaki açılarının değiştirilmesi sonucunda her iki kutuplanma durumunda mükemmel iletken çatı ve pürüzlü, kayıplı çatılarda kırınan alanlar sonucunda oluşan kayıplar karşılaştırılmıştır. Bina çatısının uçlarındaki açılar  $95^\circ$ - $115^\circ$  için incelenmiştir.



Şekil 2. Bina çatı uçlarının açısı  $95^\circ$  iken kırınan alanların kaybı. frekans 900 MHz, 1.bina yüksekliği 30 m, 2. bina yüksekliği 20 m ve kalınlığı 10m



Şekil 3. Bina çatı uçlarının açısı  $115^\circ$  iken kırılan alanların kaybı. frekans 900 MHz, 1.bina yüksekliği 30 m, 2. bina yüksekliği 20 m ve kalınlığı 10 m

Şekil 2 ve 3'den görüldüğü gibi binanın çatısının uçları arasındaki açı arttıkça alınan paralel kutuplanmalı dalgada mükemmel iletken çatılarda ve pürüzlü, kayıplı çatılarda her iki kutuplanmada alınan dalgada zayıflama artmaktadır. Şekil 2'de yüzeyin kayıplı olması durumunda paralel ve dikey kutuplanma arasında farklılıklar yoktur; bununla birlikte mükemmel iletken çatılarda paralel ve dikey kutuplanma arasında farklılıklar vardır. Şekil 3'de çatının uçları arasındaki açı arttıkça pürüzlü ve kayıplı çatıda alıcı antenin yüksekliği düşük olduğunda paralel ve dikey kutuplanma arasında farklılıklar daha belirgin olduğu görülmektedir.  $h_r=0$  m'de pürüzlü ve kayıplı çatının uçları arasındaki açı  $95^\circ$  olduğu durumda toplam kayıp paralel ve dikey kutuplanmada 30 dB, açı  $115^\circ$  olduğu zaman paralel kutuplanmada 37 dB ve dikey kutuplanmada 35 dB olduğu grafiklerden görülmektedir. Mükemmel iletken çatılarda paralel kutuplanmada dalgalar yeryüzüne paralel olduğundan zayıflama diğerlerine göre daha fazladır ve çatının uçları arasındaki açı  $95^\circ$  iken zayıflama 43 dB'dir.

#### IV. SONUÇ

Bilinen kama kırınım katsayılarına SD teriminde eklenmesiyle alıcı ve verici anten arasındaki yayılım yol kaybının hesaplanması mümkün olmuştur. Bina çatısının uçlarındaki iç açılarının değiştirilmesi sonucunda her iki kutuplanma durumunda mükemmel iletken çatı ve pürüzlü, kayıplı çatılardaki alanların karşılaştırılması sonucu pürüzlü ve kayıplı çatının beklenildiği gibi kaybı arttırdığı gözlenmiştir. Gerçekte bina çatıları kayıplı ve pürüzlü olduğu için pürüzlü ve kayıplı çatılardan elde edilen kırınım alan kayıpları gerçeğe daha uygundur.

#### KAYNAKLAR

- [1] Kouyoumjian, R. G. ve Pathak, P. H., 1974, "A uniform geometrical theory of diffraction for an edge in a perfectly conducting surface", Proc. IEEE, 62, 1448-1461.
- [2] McNamara, D.A., Pistorius, C.W.I. ve Malherbe, J. A. G., 1990, "Introduction to the uniform geometrical theory of diffraction", Artech House, Inc, London, sf. 471.
- [3] Luebbers, R. J., 1984a, "Finite Conductivity uniform GTD versus knife edge diffraction in prediction of propagation path loss", IEEE, Trans. Antennas Propagat., AP-32, 1, 70-76.
- [4] Luebbers, R. J., 1984b, "Propagation Prediction for Hilly Terrain Using GTD Wedge Diffraction", IEEE, Trans. Antennas Propagat., AP-32, 9, 951-955.
- [5] Luebbers, R. J., 1989, "A Heuristic UTD Slope Diffraction Coefficient for Rough Lossy Wedges", IEEE, Trans. Antennas Propagat., 2,206-211