

Bina İçi İletişimde Propagasyonun Modellenmesi

Ebru GEDİK, A. Fahri BURŞUK
İstanbul Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü,
34850 Avcılar, İSTANBUL
e-posta: ebrug@istanbul.edu.tr e-posta: afbursuk@istanbul.edu.tr

Özet: Bu bildiri, bina içi radyo yayılımını modellemek için literatürde kullanılan en güçlü yöntemlerden imaj teorisi ile ışın izleme yöntemi birlikte kullanılarak, daha etkin bir radyo yayılım model sunulacaktır. Kullanılan imaj teorisine göre, kaynak ile bu kaynağın bulunduğu odanın duvarlarına göre alınan görüntü kaynakları, ikinci odada elektrik alanı oluşturan toplam kaynaklardır. Geliştirilmiş iki boyutlu ışın izleme yönteminde ise kaynak, görüntü kaynakları ve inceleme noktalarının koordinatlarının bilindiği kabul edilip, bu inceleme noktalarından geçecek ışınlar kestirilmiş ve bu ışınların oluşturduğu alanlar hesaplanmıştır. Önerilen model iki boyutlu, iki odalı bir yapıya uygulanmış ve bu yapının duvarlarının hem kayıpsız hem de kayıplı olma durumları için simülasyon sonuçları gösterilmiştir.

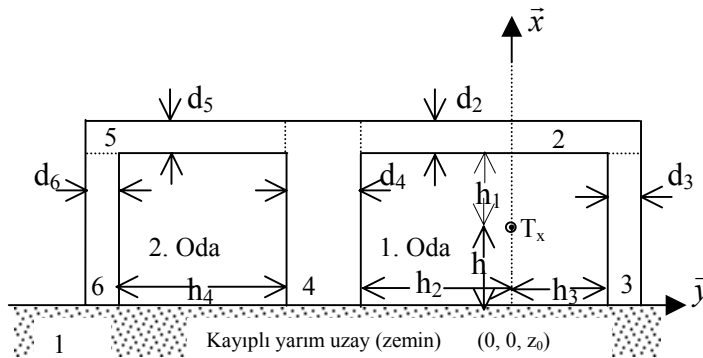
1. Giriş

Teorik bir çözüm sunan ışın izlemeye (ray-tracing) dayalı yöntemler, bina içi propagasyon modellerinin oluşturulmasında oldukça ilgi çekmektedir [1],[2],[3],[4]. Literatürde bulunan çalışmalarda, propagasyon ortamının tipik boyutları dalga boyu yanında çok büyük olduğu durumlarda, problem ışın izleme yöntemleri ile çözülebilmektedir. Diğer taraftan, oda geometrilerinin içerdiği simetrisi, bir çok durumda ışın yollarının imaj teorisi yardımıyla belirlenmesini mümkün kılmıştır [5],[6].

Bu çalışmada, bina içi radyo yayılımını modellemek için literatürde kullanılan en güçlü yöntemlerden imaj teorisi ile ışın izleme yöntemi birlikte kullanılarak, daha etkin bir radyo yayılım model elde edilmiştir. Önerilen yaklaşımın başarımının incelenmesi için göz önüne alınan benzetim örneğinde iki boyutlu, iki odalı bir yapı incelenmiştir. Odaların duvarlarını ise, sonlu genişlik ve uzunlukta kayıpsız-kayıplı dielektrik maddeler ve kayıplı-yarım uzay oluşturmaktadır. Odalardan birine sonsuz uzunlukta birim çizgisel elektrik kaynağı yerleştirilmiştir. Bu kaynağın ikinci odada oluşturduğu elektrik alan şiddeti, değişik inceleme noktaları için yazılan bir programla hesaplanmıştır. Programda frekans, oda boyutları, duvar kalınlıkları, zemin ve duvarların elektriksel özellikleri değiştirilebilmekte olup, iki boyutlu, iki odalı yapılara uygulanabilen genel bir programdır. Önerilen yaklaşımın ve yazılan programın, 2-B Moment Metod çözümü benzer sonuçlar verdiği görülmüştür [2].

2. Yöntem

Simulasyonda kullanılan iki boyutlu, iki odalı genel bir yapı Şekil-1.'de görülmektedir. Odaların duvarlarını, sonlu genişlik ve uzunlukta kayıpsız (kayıplı) dielektrik maddeler ve kayıplı-yarım uzay oluşturmaktadır. Odalardan birine sonsuz uzunlukta birim çizgisel elektrik kaynağı yerleştirilmiştir. Bu kaynağın ikinci odada oluşturduğu elektrik alan şiddeti, değişik inceleme noktaları için bulunmuştur.



Şekil-1. Boyutları ve duvar numaraları verilen iki boyutlu, iki odalı yapı.

2.1. Sonsuz Uzunlukta Cizgi Kaynak

Sonsuz uzunlukta ve üzerinde I_e sabit akımı akan bir elektrik çizgi kaynağın, uzak alan inceleme noktaları için sınırsız bir ortama yaydığı elektrik alan aşağıdaki bağıntıyla verilir.

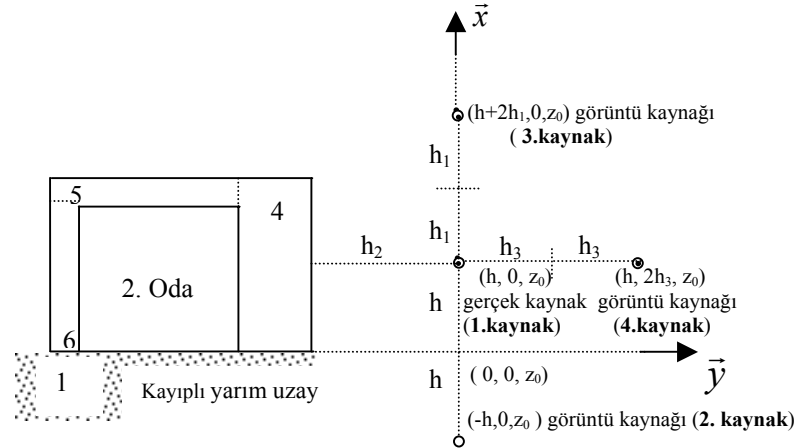
$$E_z = -I_e \frac{\beta^2}{4\omega\epsilon} H_o^{(2)}(\beta\rho) \stackrel{\beta\rho \rightarrow \text{büyük}}{\cong} -\eta I_e \sqrt{\frac{j\beta}{8\pi}} \frac{\exp(-j\beta\rho)}{\sqrt{\rho}} \quad (1)$$

(1) bağıntısında görüldüğü gibi, elektrik alan z eksenini boyunca olup şekil-1.'de, xy düzleminde bulunan iki boyutlu, iki odalı yapıya diktir. Bu durumda açıkça görüldüğü gibi, sonsuz uzunlukta elektrik çizgi kaynağın bu yapıya yaydığı dalganın polarizasyonu dik polarizasyondur.

2.2. Kaynağın Görüntü Kaynaklarını Elde Etme

Bu bölümde şekil-1.'de verilen iki boyutlu, iki odalı yapının sağ tarafında ki odada bulunan kaynağın, etrafındaki duvarlara göre görüntü kaynakları alınacak ve bu duvarlar ortadan kaldırılacaktır.

(h, 0, z₀) koordinatlarında bulunan kaynağın kayıplı yarım uzaya göre, yani duvar 1'e göre görüntü kaynağının koordinatları (-h, 0, z₀), duvar 2'ye göre görüntü kaynağının koordinatları (h+2h₁, 0, z₀) ve duvar 3'e göre görüntü kaynağının koordinatları (h, 2h₃, z₀) dir. Şekil-1.'deki yapının kaynak ve görüntü kaynaklarıyla oluşturulan eşdeğeri şekil-2.'de görülmektedir.



Şekil-2. Kaynak ve görüntü kaynaklardan oluşan eşdeğer sistem.

2.3. İki Boyutlu Işın İzleme Yöntemi

Bu çalışmada şekil-1.'de görülen yapı için 2 Boyutlu ışın izleme programı geliştirilmiştir. Geliştirilen 2-B ışın izleme programında kaynak, görüntü kaynakları ve inceleme noktalarının koordinatlarının bilindiği kabul edilip, inceleme noktalarından geçebilecek ışınlar kestirilmiş ve bu ışınların oluşturduğu alanlar hesaplanmıştır. Ancak, inceleme noktalarından geçecek olan bütün ışınlar dikkate alınmamıştır. Bunun sebebi, ışınların duvarlardaki yansımaya ve iletimlerinde, yansımaya ve iletim katsayılarıyla belirli olan zayıflamaya maruz kalmalarıdır. Bu yüzden, kaynak ve üç görüntü kaynağın ikinci odaya doğrudan gönderdiği ışınlar ile kaynağın ikinci odadaki birinci, beşinci ve altıncı duvarlarda bir kez yansımaya uğrayan ışınları dikkate alınmıştır. İnceleme noktalarından geçen ışınları kestirmek için, kaynak ve görüntü kaynakların herbiri incelenmiş ve bu inceleme sonucunda iki ve üç bilinmeyenli denklemler elde edilmiştir.

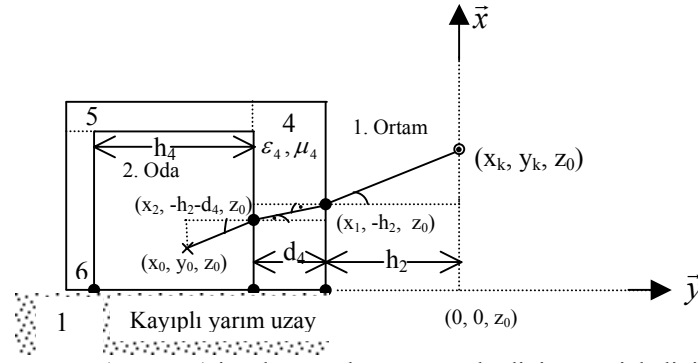
2.3.1. Elde Edilen İki ve Üç Bilinmeyenli Denklemlerin Bağıntıları

Şekil-3.'de (x_k, y_k, z₀) kaynağının, ikinci odada herhangi bir inceleme noktası olan (x₀, y₀, z₀) noktasına gönderdiği ışının izlediği yol görülmektedir. (x_k, y_k, z₀), şekil-2.'de görülen kaynak ya da görüntü kaynaklarından herhangi birini temsil etmektedir. (x_k, y_k, z₀) ve (x₀, y₀, z₀) koordinatlarından geçecek olan ışın aşağıda verilen iki bilinmeyenli denklemlerden belirlenir.

$$\frac{x_k - x_1}{\sqrt{(x_k - x_1)^2 + (y_k + h_2)^2}} \cdot \frac{\sqrt{(x_1 - x_2)^2 + d_4^2}}{(x_1 - x_2)} = \sqrt{\epsilon_{r4}} \quad (2)$$

$$\frac{x_k - x_1}{\sqrt{(x_k - x_1)^2 + (y_k + h_2)^2}} \cdot \frac{\sqrt{(x_2 - x_0)^2 + (-h_2 - d_4 - y_0)^2}}{(x_2 - x_0)} = 1 \quad (3)$$

$$x_2 < x_1 < x_k, \quad x_0 < x_2 < x_1 \quad (4)$$



Şekil-3. (x_k, y_k, z_0) kaynağının, (x_0, y_0, z_0) inceleme noktasına gönderdiği ışının izlediği yol.

Bu denklemlerin x_1 ve x_2 bilinmeyenlerinin sağladığı koşullar ise, kaynak ve görüntü kaynaklarının herbiri için farklı farklıdır.

Ayrıca $(-h, 0, z_0)$ görüntü kaynağı ile $(h+2h_1, 0, z_0)$ görüntü kaynağının ikinci odada ulaşamadığı inceleme noktaları vardır. Bu iki görüntü kaynağının ikinci odada ulaşamadığı inceleme noktalarını önceden belirleyip, bu noktaları programda hesaba katmamak, programın daha doğru ve daha hızlı bir şekilde çalışmasını sağlamıştır. Benzer işlemler $(h, 0, z_0)$ kaynağından çıkıp ikinci odada birinci ve beşinci duvarlarda bir kez yansımaya uğrayan ışınlar için de tekrarlanmıştır ve aşağıda verilen üç bilinmeyenli denklemler elde edilmiştir.

$$\frac{x_k - x_1}{\sqrt{(x_k - x_1)^2 + (y_k + h_2)^2}} \cdot \frac{\sqrt{(x_1 - x_2)^2 + d_4^2}}{(x_1 - x_2)} = \sqrt{\epsilon_{r4}} \quad (5)$$

$$\frac{x_1 - x_2}{\sqrt{(x_1 - x_2)^2 + d_4^2}} \cdot \frac{\sqrt{(x_2 - x_3)^2 + (-h_2 - d_4 - y_3)^2}}{(x_2 - x_3)} = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_{r4}}} \quad (6)$$

$$\frac{(x_2 - x_3)}{\sqrt{(x_2 - x_3)^2 + (-h_2 - d_4 - y_3)^2}} \cdot \frac{\sqrt{(x_0 - x_3)^2 + (y_3 - y_0)^2}}{(x_0 - x_3)} = 1 \quad (7)$$

$$x_2 < x_1 < x_k, \quad x_3 < x_2 < x_1, \quad y_0 < y_3 < -h_2 - d_4 \quad (8)$$

(8) bağıntısıyla verilen x_1, x_2 ve y_3 bilinmeyenlerinin sağladığı koşullar, ikinci odada birinci ve beşinci duvardan yansıma durumları için farklı farklıdır.

Ayrıca, $(h, 0, z_0)$ kaynağından çıkıp, ikinci odada birinci duvardan yansıyan ışınlar ile ikinci odada beşinci duvardan yansıyan ışınların da ikinci odada ulaşamadığı inceleme noktaları vardır.

$(h, 0, z_0)$ kaynağının ikinci odada altıncı duvarlardan yansıyan ışınları için geliştirilmiş ışın izleme programında kullanılan üç bilinmeyenli denklemler :

$$\frac{x_k - x_1}{\sqrt{(x_k - x_1)^2 + (y_k + h_2)^2}} \cdot \frac{\sqrt{(x_1 - x_2)^2 + d_4^2}}{(x_1 - x_2)} = \sqrt{\epsilon_{r4}} \quad (9)$$

$$\frac{x_1 - x_2}{\sqrt{(x_1 - x_2)^2 + d_4^2}} \cdot \frac{\sqrt{(x_2 - x_3)^2 + (h_4)^2}}{(x_2 - x_3)} = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_{r4}}} \quad (10)$$

$$\frac{(x_2 - x_3)}{\sqrt{(x_2 - x_3)^2 + (h_4)^2}} \cdot \frac{\sqrt{(x_3 - x_0)^2 + (y_0 + h_2 + d_4 + h_4)^2}}{(x_3 - x_0)} = 1 \quad (11)$$

$$x_2 < x_1 < x_k, \quad x_3 < x_2 < x_1, \quad x_0 < x_3 < x_2 \quad (12)$$

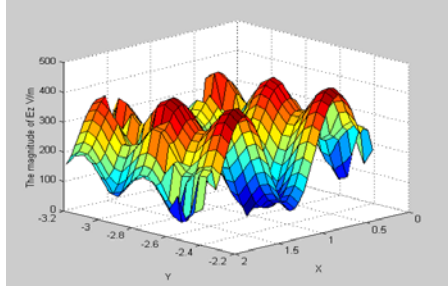
(12) bağıntısıyla verilen x_1, x_2 ve x_3 bilinmeyenlerinin sağladığı koşullar ise, inceleme noktasının kaynak seviyesinin altında ve üstünde bulunma durumları için farklı farklıdır.

3. Sayısal Örnek

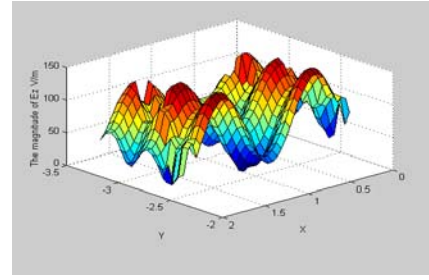
Şekil-1.'de görülen yapının oda boyutları, (h, h_1, h_2, h_3, h_4) , duvar kalınlıkları $(d_2, d_3, d_4, d_5, d_6)$, zemin ve duvarların elektriksel özellikleri aşağıdaki gibi alınmış ve hem kayıpsız hem de kayıplı duvarlar için elektrik alan dağılımı şekil-4-(a) ve (b)'de sırayla gösterilmiştir.

Tablo-1. İki boyutlu , iki odalı yapı için simülasyonda alınan değerler.

Frekans :	450 MHz
Oda Boyutları:	$h = 1\text{m}, h_1 = 1\text{m}, h_2 = 2\text{m}, h_3 = 1.5\text{m}, h_4 = 1\text{m}.$
Duvar Kalınlıkları:	$d_2 = 0.1\text{ m}, d_3 = 0.1\text{ m}, d_4 = 0.3\text{ m}, d_5 = 0.1\text{ m}, d_6 = 0.1\text{ m}$
Kayıplı Zemin ve Kayıpsız Duvarların Elektriksel Özellikleri (a):	$\epsilon_{r1} = 5 - j3, \epsilon_{r2} = \epsilon_{r3} = \epsilon_{r4} = \epsilon_{r5} = \epsilon_{r6} = 2.$ $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5 = \mu_6 = \mu_0.$
Kayıplı Zemin ve Kayıplı Duvarların Elektriksel Özellikleri (b):	$\epsilon_{r1} = 5 - j3, \epsilon_{r2} = \epsilon_{r3} = \epsilon_{r4} = \epsilon_{r5} = \epsilon_{r6} = 2 - j.$ $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5 = \mu_6 = \mu_0.$



(a)



(b)

Şekil-4. 450 MHz frekansında kayıpsız (a) ve kayıplı (b) duvarlar için ($\epsilon_r = 2, \epsilon_r = 2 - j$), şekil-1'deki yapının ikinci odasında oluşan elektrik alan şiddeti dağılımları.

4. Sonuç

Bu çalışmada, bina içi radyo yayılımını modellemek için literatürde kullanılan yöntemlerden imaj teorisi ve ışın izleme yöntemi birlikte kullanılarak, daha etkin bir radyo yayılım model elde edilmiştir. Şekil-1.'de görülen iki boyutlu, iki odalı yapı içerisinde elektromanyetik dalga yayan sonsuz uzunlukta elektrik çizgi kaynağın ikinci odada oluşturduğu alanın şiddeti, değişik inceleme noktaları için geliştirilen programla hesaplanmıştır. Yazılan programda şekil-1.'de görülen oda boyutları (h, h_1, h_2, h_3, h_4), duvar kalınlıkları (d_2, d_3, d_4, d_5, d_6), zemin ve duvarların elektriksel özellikleri değiştirilebilmekte olup, program iki boyutlu, iki odalı yapılara uygulanabilen genel bir programdır. Çalışmada kullanılan teorilerin ve geliştirilen ışın izleme yönteminin basit ve kolay anlaşılır olması yanında elde edilen sonuçların, önerilen yöntemleri daha ağır olan ve buna bağlı olarak çok daha kompleks programlarla elde edilen sonuçlardan daha iyi olduğu görülmüştür. Böylece kayıpsız- kayıplı iki boyutlu, iki odalı yapılara uygulanabilecek bir yöntem bu çalışmada önerilmektedir. Literatürde yapılan çalışmaların çoğunda olduğu gibi, bu çalışmada da difraksiyonun etkisi incelenmemiştir. Bunun sebebi, difraksiyon alan kuvveti doğrudan, yansıyan ve iletilen yayılımdan çok daha küçük olmasıdır.

5. Kaynakça

- [1] SEIDEL S. Y., RAPPAPORT T. S., (1994), ' Site-Specific Propagation Prediction for Wireless In-Building Personal Communication System Design.', IEEE Trans. Veh. Technol., Vol. 43, No.4, sf. 879-891.
- [2] YANG C.F., WU B.C., KO C. J., (1998), ' A Ray-Tracing Method for Modeling Indoor Wave Propagation and Penetration.', IEEE Trans. Antennas Propagat., Vol.46, No. 6, sf. 907-919.
- [3] WANG Y., SAFAVI-NAEINI S., CHAUDHURI S. K., (2000), ' A Hybrid Technique Based on Combining Ray Tracing and FDTD Methods for Site-Specific Modeling of Indoor Radio Wave Propagation.', IEEE Trans. Antennas Propagat., Vol.48, No. 5, sf. 743-754.
- [4] JI Z., LI B. H., WANG H. X., CHEN H.Y., SARKAR T. K., (2001), ' Efficient Ray-Tracing Methods for Propagation Prediction for Indoor Wireless Communications.', IEEE Antennas and Propagation Magazine, Vol.43., No.2, sf. 41-49.
- [5] CHEN S. H., JENG S. K., (1996), ' SBR Image Approach for Radio Wave Propagation in Tunnels with and Without Traffic.', IEEE Trans. Veh. Technol., Vol. 45, No.3, sf. 570-578.
- [6] GIBSON T. B., JENN D. C., (1999), ' Prediction and Measurement of Wall Insertion Loss.', IEEE Trans. Antennas Propagat., Vol.47, No. 1, sf. 55-57