

BLUETOOTH KABLOSUZ İLETİŞİM TEKNOLOJİSİNİN MODELLENMESİ VE PROPAGASYON ANALİZİ

N. Özlem ÜNVERDİ¹ N. Aydın ÜNVERDİ²

¹ Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü
Elektrik-Elektronik Fakültesi
Yıldız Teknik Üniversitesi, 34349, Beşiktaş, İstanbul

² Makina Mühendisliği Bölümü
Makina Fakültesi
İstanbul Teknik Üniversitesi, 34437, Gümüşsuyu, İstanbul

¹ e-posta: unverdi@yildiz.edu.tr ² e-posta: unverdi@itu.edu.tr

Anahtar sözcükler : Bluetooth, Kablosuz İletişim, Antenler ve Propagasyon

ABSTRACT

In this study, electromagnetic wave propagation in Bluetooth wireless environment is investigated. Antenna parameters such as time-average power density, half-power beamwidth, radiation pattern, radiated total gain, directivity gain, radiation resistance and efficiency are analyzed. Communications among four computers with 2.4 GHz half-wavelength dipole antennas is modelled using the antenna parameters.

1. GİRİŞ

Günümüz koşulları, haberleşme alanında daha geniş olanaklara, daha uygun ortam ve araçlara olan ihtiyacı artırmaktadır. Bu konudaki gereksinimler doğrultusunda geliştirilen Bluetooth kablosuz iletişim teknolojisinin tercih edilmesinin en önemli nedeni, kablodan bağımsız olmasıdır. Kişisel alan ağlarının (Personal Area Network, PAN) meydana gelmesinde rol alan bu teknolojiye, bilgisayar, yazıcı, faks ve modem gibi birimlerin aralarında kablo olmadan iletişim halinde olmaları, kullanımda rahatlık sağlamaktadır.

Teknoloji, birbirine olan uzaklıkları en fazla 10 metre olan Bluetooth birimlerinin nasıl haberleşeceğini tanımlar. Gerekli altyapı sayesinde, bu uzaklık, 100 metreye çıkarılabilir. Yerel alan ağları (Local Area Network, LAN) bu yapıya örnek olarak verilebilir. Frekans Sıçramalı Geniş Spektrum Yöntemi (Frequency Hopping Spread Spectrum, FHSS) ile sistemin verimi artırılır. Bluetooth kablosuz iletişim teknolojisinin diğer iletişim uygulamaları içindeki en güçlü yanı, Bluetooth çipinin çok küçük, ucuz ve güç tüketiminin az olmasıdır; bu şekilde, geniş kullanım alanı bulmaktadır.

Bu çalışmada, Bluetooth kablosuz iletişim teknolojisi, elektromagnetik açıdan ele alınmıştır. Çalışmanın 2. Bölümü'nde, Bluetooth teknolojisinin çalışma mantığı ve sistem yapısı incelenmiştir. 3. Bölüm'de,

teknolojide kullanılan dipol antenin parametreleri incelenmiş ve 2.4 GHz frekansında çalışan Bluetooth sistemi modellenerek dipol antenin parametreleri belirlenmiş, 4. Bölüm'de, elde edilen sonuçlar değerlendirilerek yorumlanmıştır.

2. BLUETOOTH TEKNOLOJİSİ

Bluetooth kablosuz iletişim teknolojisi, her geçen gün hızla gelişen iletişim uygulamalarında önemli bir yere sahiptir. Teknolojinin geliştirilmesindeki amaç, günümüzde sayıları hızla artmakta olan birbirinden farklı elektronik aletlerin kendi aralarındaki haberleşmenin kablosuz olarak gerçekleştirilmesi, bu sayede de söz konusu olan elektronik aletleri birbirine bağlamak için kullanılan kabloları duyulan ihtiyacın ortadan kaldırılmasıdır.

2.1 ÇALIŞMA MANTIĞI

Bluetooth kablosuz iletişim teknolojisindeki ilk adımlar, 1994'de Ericsson'un mobil telefonların aksesuarları arasında düşük güç gerektiren ve maliyeti az olan kablosuz haberleşme arabirimleri üzerinde yaptığı araştırmalar sırasında atılmıştır. Çalışmalar sırasında, standartların belirlenmesi, geliştirilmesi ve tanıtılması amacıyla Bluetooth Özel İlgi Grubu (Bluetooth Special Interest Group, SIG) kurulmuştur. Bu grubun hazırladığı teknik şartname ile Bluetooth kablosuz iletişim teknolojisinin, lisanssız kullanıma açık olan 2.4 GHz frekans bandında Frekans Sıçramalı Geniş Spektrum Yöntemi'ni kullanarak haberleşmesi sağlanmıştır.

2.4 GHz frekans bandı, ISM (Industrial, Scientific, Medical – Endüstriyel, Bilimsel, Tıbbi) bandı olarak adlandırılır ve isminde geçen alanlarda herhangi bir lisans gerektirmeden kullanılır. ISM bandı, lisanssız kullanıma açık olduğu için bu bandı kullanan elektronik alet sayısı fazladır; bu durum da, söz konusu frekans bandında meydana gelen girişim miktarını artırmaktadır. Bluetooth kablosuz iletişim teknolojisinde, bu sorun, Frekans Sıçramalı Geniş

Spektrum Yöntemi ve kullanılan düşük güç ile büyük ölçüde çözülmüştür. Bu yöntemde, devamlı olarak değişen frekanslarda haberleşme yapıldığı için iki farklı haberleşmenin aynı frekans üzerinden yapılma olasılığı azalır ve böylece girişim büyük ölçüde engellenmiş olur. Aynı ortamda aynı spektrumu kullanan bütün uygulamalar, Frekans Sıçramalı Geniş Spektrum Yöntemi'ni kullandıkları zaman, uygulamaların RF girişimi meydana getirme olasılığı, her uygulamanın kanalı uzun süreli kullanması sırasında girişim yapma olasılığından çok daha azdır. Ayrıca, az bir olasılık da olsa, Frekans Sıçramalı Geniş Spektrum Yöntemi'ni kullanan uygulamalarda, bazen aynı kanal kullanılıyor olabilir ve bunun sonucunda girişim meydana gelebilir; ancak, haberleşme, paketler halinde yapıldığı için, bu girişimden sadece tek bir paket etkilenir ve bu paketin iletimi başarısız olur, hemen arkasından paket, başka bir frekanstan gönderilir; dolayısıyla, girişim meydana gelse de olumsuz etkisi azdır.

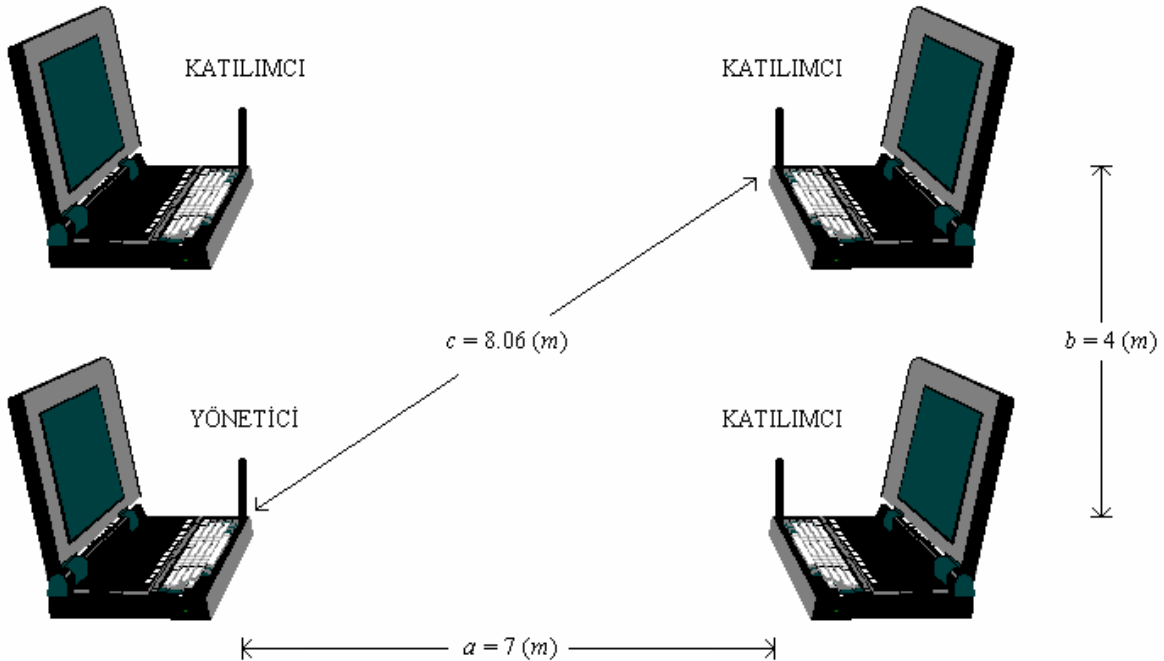
Frekans Sıçramalı Geniş Spektrum Yöntemi'nin ikinci yararı ise, gönderilen mesajın istenmeyen kişiler tarafından elde edilmesini zorlaştırarak güvenli bir haberleşme ortamını sağlamasıdır. Mesaj paketleri, devamlı olarak değişen farklı kanallardan iletilir ve bu paketler, sadece frekans sıçrama düzenini bilen alıcılar tarafından eksiksiz olarak alınabilir, böylece orijinal mesaj elde edilir. Yöntemde güvenliğin sağlanması konusu, George Antheil ve Hedy Lamarr'a atfedilir; onların 1942'de aldıkları frekans sıçrama kavramının patenti, İkinci Dünya Savaşı'nda radyo dalgalarıyla kontrol edilen torpidolar için gizli bir haberleşme yolu bulmaya çalışılırken kullanılmıştır [1].

2.2 SİSTEM YAPISI

Şekil-1'de görüldüğü gibi, elektronik aletler bir Bluetooth bağlantısı oluşturduklarında, aletlerden birisi yönetici (master), diğerleri de katılımcı (slave) görevini üstlenir. Bluetooth şartnamesi, herhangi bir Bluetooth aletinin her iki görevi de üstlenmesine olanak sağlar ve bir alet, Bluetooth bağlantılarından birisinde yönetici konumundayken, diğerinde katılımcı olabilir. Yönetici konumundaki alet, aletler arasında Frekans Sıçramalı Geniş Spektrum Yöntemi ile haberleşmenin senkronizasyonunu idare eder.

Bir yönetici aletin haberleşebileceği aktif katılımcı alet sayısı en fazla 7, park halindeki katılımcı sayısı ise en fazla 255 tanedir. Yönetici ve yöneticiyle haberleşen bütün katılımcıların oluşturduğu ağ pikonet olarak adlandırılır.

Bluetooth kablosuz iletişim teknolojisinde temel band konumları, bağlantı ve bekleme konumu olmak üzere iki tanedir. Bağlantı konumu, aktif mod, dinleme modu, durgun mod ve park hali modlarını içerir. Aktif modda, katılımcı, devamlı olarak yöneticiden gelecek olan sinyalleri dinler. Bu mod, en kısa cevaplama zamanına sahiptir ve en fazla güç tüketimi burada yapılır. Dinleme modunda, periyodik olarak aktif moda geçilerek güç tüketimi azaltılır; bu moddaki güç tüketimi ve cevaplama duyarlılığı, dinleme aralıklarının uzunluğuna bağlıdır. Durgun modda, katılımcı, belirli bir zaman aralığı için paketleri dinlemeyi durdurur, periyodun sonunda katılımcı, yöneticiden gelen paketleri dinlemeye devam eder. Park hali modu, bir katılımcının, yönetici ile senkronize kalmayı sürdürdüğü, ancak, artık aktif sayılmadığı moddur [1,2].

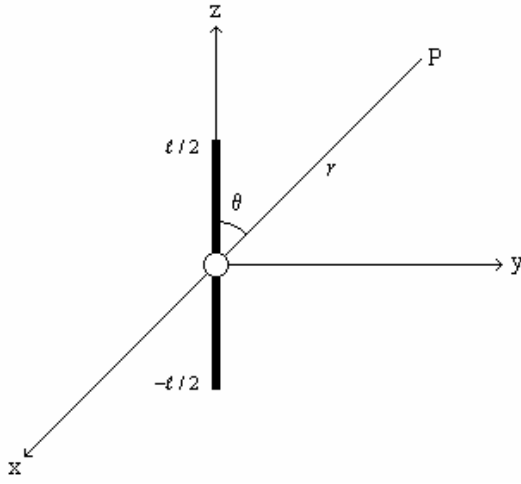


Şekil-1 Bluetooth kablosuz iletişim teknolojisi ile haberleşen dört bilgisayar.

3. MODELLEME

Bluetooth kablosuz iletişim teknolojisinde, çeyrek dalgaboylu anten ve yarım dalga dipol anten gibi harici antenlerin yanında mikroşerit anten gibi dahili antenler de kullanılır.

Bu bölümde, Şekil-1'de görülen dikdörtgen biçimindeki bir yerleşim yerinin dört köşesine yerleştirilmiş olan dört adet bilgisayardaki yarım dalga dipol antenin 2.4 GHz frekansındaki etkileşme mekanizması incelenmiştir [3-8]. 2.25 (inch) (=5.715 (cm)) uzunluğunda, lineer düşey polarizasyonlu, 50 (Ω)'luk empedansı olan anten ele alınmıştır. Antenin dalgaboyuna göre boyu, $\frac{\ell}{\lambda} = 0.4572$ 'dir. Bu değer, modellemede 0.5 olarak alınarak, antenin yarım dalga dipol anten olduğu kabul edilmiştir.



Şekil-2 Dipol anten.

Şekil-2'de görülen ortasından beslenmiş ℓ boyundaki dipol antenin P noktasındaki elektrik alan bağıntısı,

$$E_{\theta} = \frac{j\eta I_m e^{-j\beta r}}{2\pi r \sin\theta} \left[\cos\left(\frac{\beta\ell}{2} \cos\theta\right) - \cos\left(\frac{\beta\ell}{2}\right) \right] \quad (1)$$

dir [8]. Burada, η , ortamın empedansı, I_m , akımın maksimum değeri, β ise, faz sabitidir. Yarım dalga dipol anten için, (1) eşitliği,

$$E_{\theta} = j \frac{60 I_m}{r \sin\theta} e^{-j\beta r} \left[\cos\left(\frac{\pi}{2} \cos\theta\right) \right] \quad (2)$$

formunu alır; buradan da,

$$|E_{\theta}| = 60 \frac{I_m}{r} \frac{\cos\left(\frac{\pi}{2} \cos\theta\right)}{\sin\theta} \quad (3)$$

olarak ifade edilir.

Gerilimin maksimum değeri ile akımın maksimum değeri arasında

$$\frac{V_m}{I_m} = -j Z_0 \quad (4)$$

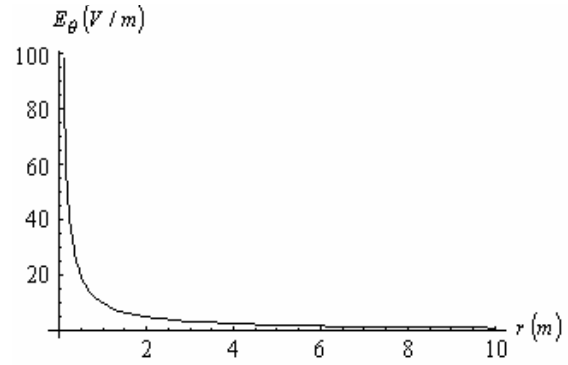
bağıntısı vardır. Modellemede, (4) eşitliğindeki V_m değeri 12 (V), Z_0 değeri de yarım dalga dipolün özempedans değeri olan $Z = 73 + j42.5$ (Ω)'un reel kısmı olarak alınır ve bu durumda, akımın maksimum değeri,

$$|I_m| = \frac{V_m}{Z_0} = 0.164 (A) \quad (5)$$

olarak elde edilir.

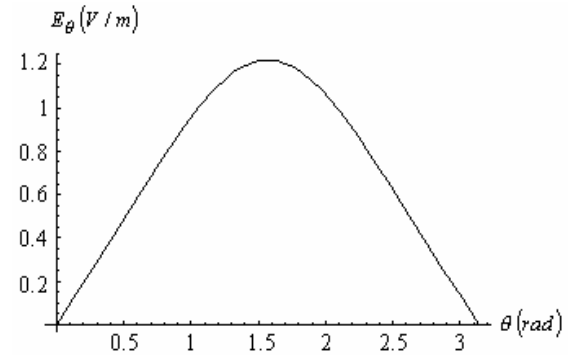
Elektrik alan, maksimum değerine $\theta = \frac{\pi}{2}$ 'de ulaşır.

Bu θ değeri ve $|I_m| = 0.164$ (A) değeri için E_{θ} 'nin r uzaklığına göre değişimi, Şekil-3'de yer almaktadır.



Şekil-3 $\theta = \frac{\pi}{2}$ için elektrik alanının uzaklığa göre değişimi.

Şekil-1'deki yerleşim modeli dikkate alınarak, $r = c = 8.06$ (m) için çizilen E_{θ} 'nin θ 'ya göre değişimi Şekil-4'de görülmektedir. $r = a = 7$ (m) ve $r = b = 4$ (m) için E_{θ} 'nin θ 'ya göre değişimlerinin de benzer özellik göstereceği açıktır.



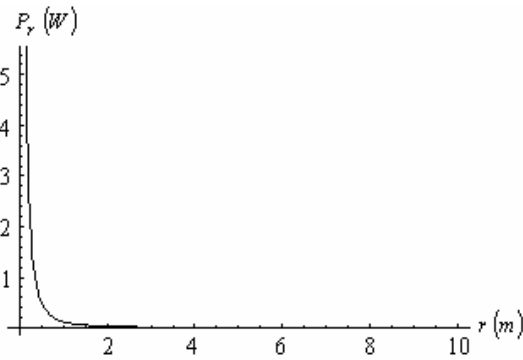
Şekil-4 $r = c = 8.06$ (m) için elektrik alanının θ 'ya göre değişimi.

Yarım dalga dipol anten için ortalama güç yoğunluğu, Poynting vektörü ve (3) eşitliği yardımıyla,

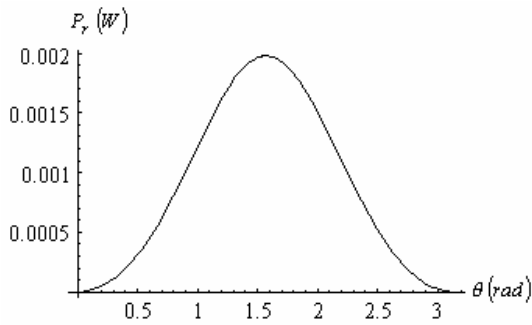
$$P_r = \frac{15 I_m^2}{\pi r^2 \sin^2 \theta} \left[\cos \left(\frac{\pi}{2} \cos \theta \right) \right]^2 \quad (6)$$

olarak bulunur.

Ortalama güç yoğunluğunun maksimum değerini aldığı $\theta = \frac{\pi}{2}$ için, $I_m = 0.164 (A)$ olması koşulunda, r uzaklığına göre değişim Şekil-5'de yer almaktadır. Şekil-6'da $r = c = 8.06 (m)$ için çizilmiş olan ortalama güç yoğunluğunun θ 'ya göre değişimi, $r = a = 7 (m)$ ve $r = b = 4 (m)$ için de aynı yapıda olacaktır.



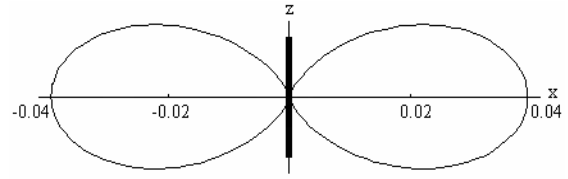
Şekil-5 $\theta = \frac{\pi}{2}$ için ortalama güç yoğunluğunun uzaklığa göre değişimi.



Şekil-6 $r = c = 8.06 m$ için ortalama güç yoğunluğunun θ 'ya göre değişimi.

Yarım dalga dipol antenin yarım güç huzme genişliği, (6) eşitliğinde yer alan ortalama güç yoğunluğu yardımıyla bulunur. Gücün maksimum değerinin yarıya düştüğü doğrultular arasındaki açı yarım güç huzme genişliğini verir; bu değer, yarım dalga dipol anten için 78° dir.

Şekil-7'deki antenin ışın diyagramından maksimum ışınımın $\theta = \frac{\pi}{2}$ 'de olduğu görülmektedir.



Şekil-7 Yarım dalga dipol antenin ışın diyagramı.

Yarım dalga dipol antenden ışınan toplam güç,

$$W_T = 15 I_m^2 \text{Cin}(2\pi) \quad (7)$$

eşitliği yardımıyla $W_T = 0.98 \cong 1 (W)$ olarak elde edilir.

Antenin ışın direnci,

$$R_{i\vartheta} = \frac{2 W_T}{I_m^2} \quad (8)$$

eşitliğinden yararlanılarak $R_{i\vartheta} = 73.11 (\Omega)$ olarak bulunur.

Antenin yönelticiliği,

$$D = \frac{\eta F_{max}(\theta)}{\pi R_{i\vartheta}} \quad (9)$$

dır. Burada,

$$F(\theta) = \frac{\left[\cos \left(\frac{\beta \ell}{2} \cos \theta \right) - \cos \left(\frac{\beta \ell}{2} \right) \right]^2}{\sin^2 \theta} \quad (10)$$

olduğuna göre, $F_{max}(\theta) = 1$ olarak bulunur. (9) eşitliğinden, serbest uzayın karakteristik empedansı olan $\eta = 120 \pi (\Omega)$ değeri ve (8) eşitliği yardımıyla bulunan antenin ışın direnci $R_{i\vartheta} = 73.11 (\Omega)$ değeri göz önünde bulundurularak, antenin yönelticiliği, $D = 1.64 = 2.15 (dBi)$ olarak elde edilir.

Antenin verimi,

$$e = \frac{R_{i\vartheta}}{R_{i\vartheta} + R_k} \quad (11)$$

eşitliği ile bulunur. Burada, $R_{i\vartheta}$, antenin ışın direnci, R_k ise antenin kayıp direncidir. Yarım dalga dipol antenin ışın direnci, (8) eşitliği yardımıyla $R_{i\vartheta} = 73.11 (\Omega)$ olarak elde edildiğine göre, verimin hesaplanmasında antenin kayıp direncinin bulunması gerekir. Antenin kayıp direnci,

$$R_k = \frac{\ell}{\sigma 2\pi a \delta} \quad (12)$$

dır. Burada, σ , antenin iletkenliğini, a , antenin yarıçapını ve δ ise etkin derinliği ifade eder. μ , antenin bulunduğu ortamın magnetik geçirgenliği ve ω , açısal frekans olmak üzere, etkin derinlik,

$$\delta = \left(\frac{2}{\omega \mu \sigma} \right)^{1/2} \quad (13)$$

formundadır. Bu durumda, bu çalışmada analiz edilen alüminyumdan yapılmış olan 2.25 (inch) (=5.715 (cm)) uzunluğunda ve 5 (mm) yarıçapındaki yarım dalga dipol antenin verimi, alüminyumun iletkenliği olan $\sigma = 4 \times 10^7$ (S/m) değeri dikkate alınarak, % 99.9 olarak elde edilir ve antenin yapımında kullanılan alüminyumun uygun bir malzeme olduğu görülür.

4. SONUÇ

Bu çalışmada, günümüzde her türlü mobil ve sabit iletişim birimi üzerinden eş zamanlı olarak veri transferini gerçekleştirerek kablosuz ağların çalışmasında önemli rolü olan Bluetooth kablosuz iletişim teknolojisi, elektromagnetik açıdan analiz edilmiştir. Sistemde kullanılan yarım dalga dipol anten baz alınarak, Bluetooth teknolojisi, yerleşim yerindeki dört adet bilgisayarın haberleşmesi, antenin parametreleri ve elektromagnetik özellikleri

doğrultusunda değerlendirilmiştir. Modellemede kullanılan dipol antenin gücünün maksimum değerine

$\theta = \frac{\pi}{2}$ 'de ulaştığı ve fiziksel mekanizmanın sonucu olarak, kaynaktan uzaklaştıkça gücün azaldığı görülmüştür.

KAYNAKLAR

- [1] Miller B. A., Bisdikian C., *Bluetooth Revealed*, Prentice-Hall, Inc., New Jersey, 2001.
- [2] Kammer D., McNutt G., Senese B., Bray J., *Bluetooth - Application Developer's Guide*, Rockland, 2002.
- [3] Felsen L. B., Marcuvitz N., *Radiation and Scattering of Waves*, Prentice-Hall, Inc., New Jersey, 1973.
- [4] Collin R. E., *Antennas and Radiowave Propagation*, McGraw-Hill, Singapore, 1985.
- [5] Kraus J. D., *Antennas*, McGraw-Hill, New York, 1988.
- [6] Balanis C. A., *Advanced Engineering Electromagnetics*, John Wiley & Sons, New York, 1989.
- [7] Balanis C. A., *Antenna Theory - Analysis and Design*, John Wiley & Sons, New York, 1997.
- [8] Canbay C., *Anten ve Propagasyon I*, Yeditepe Üniversitesi Yayınları, İstanbul, 1997.