

E ŞEKİLLİ KOMPAKT MİKROŞERİT ANTENLERİN REZONANS FREKANSININ HESAPLANMASI

Abdurrahim Toktaş*, Ali Akdağlı**

* Mersin Üniversitesi, Bilgi İşlem Daire Başkanlığı, Çiftlikköy, 33343, Mersin

** Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Müh. Bölümü, Çiftlikköy, 33343, Mersin
atoktas@mersin.edu.tr, akdagli@mersin.edu.tr

(Geliş/Received: 30.11.2011; Kabul/Accepted: 01.08.2012)

ÖZET

Bu çalışmada, E şekilli kompakt mikroşerit antenlerin (EKMA) rezonans frekansının belirlenmesi için etkin rezonans uzunluğu hesabına dayanan yeni ve basit bir yöntem önerilmiştir. Bu amaçla, ilkin farklı boyutlara ve elektriksel parametrelere sahip 144 adet EKMA'nın rezonans frekansları moment metoduna (MoM) dayanan IE3D™ simülasyon yazılımı kullanarak belirlenmiş, daha sonra simülasyon verileri kullanarak rezonans frekansı için bir formülasyon türetilmiştir. Rezonans frekansı hesabında kullanılan etkin uzunluk ifadesinin katsayıları, bir sürü zekası optimizasyon algoritması olan yapay arı koloni (YAK, artificial bee colony - ABC) algoritması yardımıyla belirlenmiştir. Etkin uzunluk ifadesi ile hesaplanan rezonans frekanslarının ortalama yüzde hata değeri % 0,89 olarak elde edilmiştir. Etkin uzunluk ifadesinin doğruluğu ve geçerliliği, dikdörtgen mikroşerit antene (DMA) göre % 61 daha küçük olan ve bu çalışmada gerçekleştirilen bir EKMA üzerinde gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Mikroşerit anten, E şekilli kompakt mikroşerit anten, etkin uzunluk, rezonans frekansı.

COMPUTATION OF RESONANT FREQUENCY OF E-SHAPED COMPACT MICROSTRIP ANTENNAS

ABSTRACT

In this study, a new and simple method based on the effective length expression to calculate the resonant frequency of E-shaped compact microstrip antennas (ECMAs) is presented. For this purpose, the resonant frequencies of 144 ECMAs having different dimensions and electrical parameters are firstly determined by using the software IE3D™ based on method of moment (MoM), then the formulation for resonant frequency has been derived with the use of simulation data. The coefficients of the effective length expression used in the calculation of resonant frequency are determined with artificial bee colony (ABC) algorithm which is an intelligent swarm optimization algorithm. The resonant frequencies calculated by the effective length expression are obtained with the average percentage error of 0.89 %. The validity and accuracy of the effective length expression is demonstrated on the ECMA fabricated in this work, whose size is less than 61 % as compared to that rectangular microstrip antenna (RMA).

Key Words: Microstrip antenna, E-shaped compact microstrip antenna, effective length, resonance frequency.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Evrensel mobil iletişim sistemi (global system for mobile - GSM), dijital kablosuz telefon (digital enhanced cordless telephone - DECT), geniş bant uzun mesafe internet erişimi (worldwide interoperability for microwave Access - WIMAX), kablosuz yerel ağ (wireless local area network - WLAN), evrensel konum sistemleri (global positioning system - GPS) ve diğer küçültülmüş yeni nesil kişisel iletişim sistemlerinde (personal

communication systems - PCS) kullanılan antenlerin boyutları önem taşımaktadır. Mikroşerit antenler (MA) küçük boyut, hafiflik, düşük maliyet, üretim basitliği ve entegre devrelere kolay yerleşimi gibi özelliklerinden dolayı özellikle kablosuz iletişimde geniş bir kullanım alanı bulmaktadır. MA'lar bu avantajların yanında, düşük kazanç, düşük güçte çalışma ve dar bant genişliği gibi dezavantajlara da sahiptir. Yapılan çalışmaların çoğu, analiz ve tasarım kolaylığı bakımından dikdörtgen, üçgen ve daire gibi düzgün şekilli MA'lar üzerinde yoğunlaşmıştır [1-4].

Düzgün geometrilere sahip MA'ların boyutları UHF bandında çalışması için nispeten büyüktür, bu yüzden modifiye edilmesi gerekmektedir. MA'larda, iletken yama (patch) veya toprak düzleminde boşluk açma (slot loading) [3] ve kısa devre pin (shorting pin) [4] gibi çeşitli modifikasyonlar yapmak suretiyle daha düşük rezonans frekansı elde edilebilmektedir. Dikdörtgen MA'nın (DMA) kenar(lar)ında oluşturulan girintilerin etkisiyle (slot loading) antenin etkin uzunluğu artmakta, böylece rezonans frekansı azalmaktadır. Bu şekilde küçültülen antenlere kompakt MA (KMA) denilmektedir. İletken yamada boşluk açma yöntemi kullanılarak elde edilen L, E [5-9] ve birçok farklı şekillere [10-15] sahip KMA yapıları incelemeye yönelik çok sayıda çalışma literatürde mevcuttur. Bu çalışmalardan bazılarında, rezonans frekansı hesaplaması için birbirine göre basitliği ve doğruluğu farklı olan yöntemler önerilmiştir [7-15]. Deshmukh ve arkadaşları [9] C, H ve halka şekilli; Neog ve arkadaşları [8, 10] E, H ve L şekilli; Akdağlı ve arkadaşları [11, 12] C ve H şekilli; Günel [13] E ve H şekilli MA'ların yaklaşık rezonans frekansı formüllerini önermiştir.

Düzgün şekilli MA'ların analizinde, boşluk modeli (cavity model) [16] ve iletim hattı modeli (transmission line model) [17] gibi teknikler kullanılmaktadır. Ancak, KMA'ların analizi, düzgün olmayan şekillerinden dolayı bu teknikler kullanılarak yapılması oldukça zordur. Bu yüzden, KMA'ların analiz ve tasarımında genellikle FDTD (finite difference time domain) [18] veya MoM (method of moment) [19] gibi ileri sayısal yöntemlere dayanan elektromanyetik simülasyon yazılımlarından faydalanılmaktadır.

KMA'lar geleneksel MA'larda olduğu gibi dar bant genişliğine sahiptir. Bu yüzden rezonans frekansının belirlenmesi oldukça önemlidir. Rezonans frekansı, temel bir anten parametresi olduğu için bu parametrelerin belirlenmesinde basit ve doğru modellerin kullanılması gerekmektedir. Bilgisayar teknolojilerinin son yıllardaki hızlı gelişimi ile birlikte optimizasyon ve yapay zeka teknikleri, klasik optimizasyon ve geleneksel analitik yaklaşımlardan daha esnek ve elverişli sonuçlar üreten güçlü alternatif araçlar olmuştur. Son zamanlarda genetik algoritma [20, 21], farksal gelişim (differential evolution) algoritması [22], parçacık sürü (particle swarm) optimizasyonu [23, 24] ve karınca koloni (ant colony) optimizasyonu [25, 26] gibi bilinen optimizasyon algoritmaları ve yapay sinir ağları [15] farklı şekildeki antenlerin parametrelerinin belirlenmesinde sıkça kullanılmıştır. Optimizasyon algoritmaları kullanılarak yapılan çalışmalarda rezonans frekansını belirlemeye yönelik ifadeler elde edilmiştir [11-14].

Sunulan çalışmada, bal arılarının yiyecek aramadaki zeki davranışından esinlenerek oluşturulmuş yapay arı koloni (YAK, artificial bee colony – ABC)

algoritması [27], E şekilli kompakt mikroşerit antenlerin (EKMA) rezonans frekansı hesaplanması için etkin uzunluk ifadesinin elde edilmesinde kullanılmıştır. Bu ifadenin elde edilmesi için boyutları ve elektriksel parametreleri farklı 0,78 – 3,5 GHz arasında çalışan 144 adet EKMA'nın simülasyonu, MoM'a dayanan bir elektromanyetik analiz yazılımı olan IE3D™ [28] ile gerçekleştirilmiştir. Simülasyon verileri kullanılarak etkin uzunluk ifadesi oluşturulmuş ve bu ifadenin bilinmeyen katsayıları YAK algoritması ile belirlenmiştir. Ayrıca, boşluk açma yöntemi ile elde edilen EKMA'ların boşluk boyutlarının rezonans frekansı ve bant genişliği parametreleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Elde edilen etkin uzunluk ifadesinin doğruluğu ve geçerliliği 2,4 GHz frekansında çalışan bir EKMA üzerinde gösterilmiştir.

2. YAPAY ARI KOLONİ (YAK) ALGORİTMASI (ARTIFICIAL BEE COLONY (ABC) ALGORITHM)

Sürü zekasına dayanan optimizasyon teknikleri; arılar, karıncalar, kuşlar, balık sürüleri gibi aralarında etkileşim olan böceklerin veya diğer sosyal hayvanların topluluk halindeki davranışlarını örnek alarak, problemlere çözüm getirmeyi amaçlayan yapay zeka teknikleridir. YAK algoritması [27], optimizasyon problemlerine çözüm bulmak amacıyla bal arılarının topluluk halinde yaşama davranışlarından ve yiyecek aramalarından esinlenilerek geliştirilmiş, popülasyona dayalı yeni bir optimizasyon algoritmasıdır. Arı kolonilerinin kovan civarında dolaşarak nektar kaynağı bulmaları ve bu bilgileri birbirlerine aktarımaları, sürü zekasına temel teşkil eden zeki davranışlardır.

Bir kolonide iki önemli işlev vardır; kendi başına organize olabilmek (self-organization) ve iş bölümü yapabilmek. Kendi başına organize olabilmek, bir sistemdeki temel birimlerin diğer birimlerle etkileşimden aldıkları bilgileri kullanarak kendi başlarına işlev görererek sistemin bütünü etkilemeleridir. Sistemin diğer birimleri ile etkileşiminde temel komşuluk bilgilerinden faydalanılır. İş bölümü, topluluktaki bireylerin eş zamanlı olarak farklı işleri gerçekleştiriyor olmasıdır. Özel işe sahip bireylerin bir arada çalışarak gösterdikleri performans, bu şekilde bir iş bölümüne tabi olmayan bireylerin gösterdikleri performanstan daha etkili olmaktadır ve bu özellik araştırma uzayındaki değişimlere cevap verebilmeyi sağlamaktadır.

YAK algoritmasında, bir koloni de üç grup arı bulunmaktadır: işçi arılar, gözcü arılar ve kaşif arılar. Yapay arılar, çok boyutlu uzayda gezilebilir kabiliyetine sahiptirler. İşçi arılar kendi deneyimlerine bağlı olarak belirli nektar kaynakları ile ilişkilidirler ve gözcü arılar işçi arıların kovan içerisindeki danslarını izleyerek nektar kaynaklarının yerlerini öğrenirler. Kaşif arılar nektar kaynakları için rastgele

gezerler. Her bir nektar kaynağı için sadece bir işçi arı bulunmaktadır. Nektar kaynağı biten işçi arılar kaşif arı olarak görevlendirilir. Başlangıçta, bütün nektar kaynakları kaşif arılar tarafından tespit edilir. Böylece, nektar kaynakları işçi ve gözcü arılar tarafından tüketilir. Daha sonra, nektar kaynağı biten işçi arı, yeni kaynaklar bulmak üzere kaşif arı olarak görevlendirilir. YAK algoritmasında, her nektar kaynağını yeri, problemin muhtemel bir çözümüdür ve nektar miktarı ise ilgili çözümün kalitesi (fitness) ile ilişkilidir. Kovan etrafında her işçi arı bir nektar kaynağı ile ilişkilendirildiği için, işçi arı sayısı nektar kaynağı ki (problemin çözümü) sayına eşittir. Algoritmanın temel adımları ise şu şekildedir:

Başlangıç fazı: Kaşif arılarını muhtemel nektar kaynaklarına gönder

TEKRARLA

İşçi arı fazı: İşçi arılarını kaynaklara gönder ve nektar miktarlarını hesapla

Gözcü arı fazı: Gözcü arılarını kaynaklara gönder ve nektar miktarlarını hesapla

Kaşif arı fazı: Rastgele yeni kaynakları bulmaları için kaşif arılarını gönder

O ana kadarki en iyi kaynağı hafızada tut
DUR (Maksimum döngü sayısına ulaşıncaya)

3. E ŞEKLİ KOMPAKT MİKROŞERİT ANTENİN ETKİN UZUNLUĞUNUN TÜRETİLMESİ

(DERIVING THE EFFECTIVE LENGTH EXPRESSION OF E-SHAPED COMPACT MICROSTRIP ANTENNAS)

EKMA, Şekil 1(a)'da verilen, $L \times W$ boyutlarında dikdörtgen şekilli iletken yamanın uzun kenarların birinde, $l_s \times w_s$ boyutlarında eşit ve merkeze göre simetrik iki boşluğun açılmasıyla elde edilen E şekilli yamanın, toprak düzlem üzerinde bulunan h yüksekliğindeki ϵ_r dielektrik sabitine sahip, alttaş malzemenin üzerine yerleştirilmesiyle Şekil 1(b)'de gösterildiği gibi elde edilmiştir.

Literatürde, genel olarak DMA'nın ilk rezonans frekansı (TM_{10} baskın mod için) aşağıdaki ifade kullanılarak hesaplanır [1-2].

$$f_r = \frac{c}{2L_{eff} \sqrt{\epsilon_{reff}}} \quad (1)$$

Çizelge 1. Simülasyonu yapılan EKMA'ların fiziksel ve elektriksel parametreleri

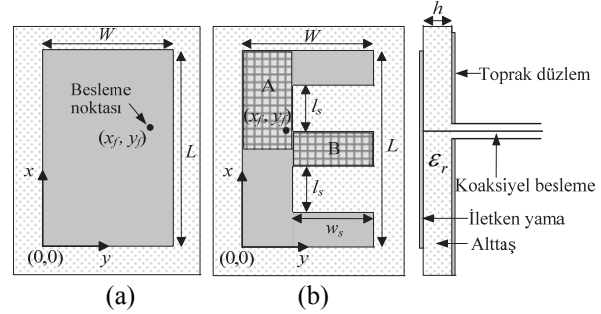
(The physical and electrical parameters of simulated ECMAs)

Simülasyon sayısı	Anten boyutları (mm)					ϵ_r
	L	W	l_s	w_s	h	
3 x 48	25	20	2; 4; 6; 8	4; 8; 12; 16	1,57	2,33; 4,5; 6,15
	32,5	25	2,5; 5; 7,5; 10	5; 10; 15; 20	2,5	2,33; 4,5; 6,15
	40	30	3; 6; 9; 12	6; 12; 20; 26	3,17	2,33; 4,5; 6,15

$\tan\delta = 0,0012$

$$L_{eff} = L + 2\Delta L \quad (2)$$

burada; L_{eff} , DMA'nın etkin rezonans uzunluğunu; ϵ_{reff} , etkin dielektrik sabitini; ΔL , kenar uzama miktarını ve c ise ışık hızını ifade etmektedir. Etkin dielektrik sabiti (ϵ_{reff}) DMA'nın kenarlarındaki elektrik alan çizgileri, sadece alttaş (ϵ_r) sınırları içinde olmadığından homojen olmayan dielektrik yapının etkisini temsil etmektedir. Anten kenarlarındaki saçaklanma (fringing), antenin her iki kenarının elektriksel olarak ΔL kadar daha uzun görünmesine neden olmaktadır [1-2].



Şekil 1. (a) DMA geometrisi (The geometry of RMA)
(b) EKMA geometrisi (The geometry of ECMA)

Bu çalışmada, Eşitlik (1)'de verilen ifade, EKMA'nın rezonans frekansı hesabı için aşağıdaki gibi modifiye edilmiştir.

$$f_r = \frac{c}{2L_{Eeff} \sqrt{\epsilon_r}} \quad (3)$$

burada, L_{Eeff} EKMA'nın etkin uzunluğunu temsil etmektedir. Basit bir formülasyon elde etmek için homojen olmayan ışınma ve kenar uzama etkileri, sunulan çalışmada elde edilen etkin uzunluk ifadesine (L_{Eeff}) dahil edildiğinden Eşitlik (1)'de verilen ϵ_{reff} yerine ϵ_r kullanılmış ve Eşitlik (2)'de verilen ΔL kullanılmamıştır. Böylece, tek bir ifade ile EKMA'nın rezonans frekansı belirlenmiştir. Etkin uzunluk ifadesinin oluşturulmasında kullanılan Çizelge 1'de verilen, boyutları ve dielektrik sabitleri farklı, 0,78 – 3,5 GHz frekans aralığında çalışan 144 adet EKMA'nın simülasyonları IE3D™ paket yazılımı kullanılarak yapılmıştır.

EKMA ile yapılan simülasyonlar öncesinde uygun besleme noktaları araştırılmıştır. Yapılan birkaç simülasyon sonucunda besleme noktası, Şekil 1b'de verilen EKMA'nın A bölgesinde seçildiğinde, Şekil 1a'da verilen aynı dış boyutlara sahip DMA'ya göre daha düşük rezonans frekansı ve daha dar bant genişliği elde edilmiştir. Bununla birlikte, besleme noktası B bölgesinde seçildiğinde [6, 7] daha yüksek rezonans frekansı ve geniş bant elde edilmiştir.

Çeşitli şekillerdeki MA'ların rezonans frekansının belirlenmesine yönelik çalışmalar literatürde mevcuttur [8-15]. Neog ve arkadaşları [8, 10] E, H ve L şekilli MA'ların yaklaşık rezonans frekansı formülleri önermiştir. Bu formüllerin elde edilmesinde, boşluk açılarak oluşturulan KMA'ların yama alanının, denk DMA yama alanına dönüştürülmesi yöntemi kullanılmıştır. Önerilen formülasyonlar nispeten karmaşık ve hesaplaması zordur [8, 10, 13]. Literatürde verilen EKMA'lar [6, 7] ve rezonans frekansı formülasyonları [8, 10, 13], antenlerin besleme noktaları B bölgesinde (Şekil 1b) seçildiği için rezonans frekansları aynı dış boyutlara sahip DMA'ya göre daha büyük olmasına neden olduğundan bu çalışma kapsamında değerlendirilmemiştir.

IE3D™ ile yapılan simülasyonlarda, ızgaralama (meshing) hesabında maksimum frekans 4 GHz ve hücre/dalga boyu oranı 40 olarak alınmıştır. Simülasyonlar 0 – 4 GHz frekans aralığında 401 noktada yapılmıştır. Antenlere 50 ohm koaksiyel besleme uygulanmıştır. Yukarıda bahsedildiği gibi, besleme noktası B bölgesinde (Şekil 1b) seçildiğinde yüksek rezonans frekansı oluşmasına sebep olduğundan ve bu çalışmada küçük boyutlu kompakt anten tasarımı amaçlandığı için antenlerin besleme noktası A bölgesinde seçilmiştir. Besleme noktasının belirlenmesinde, IE3D™ yazılımına ait genetik algoritmaya [20] dayanan optimizasyon modülü kullanılmış ve amaç fonksiyonu s_{11} (dB) < -12 olarak seçilmiştir.

Simülasyonu gerçekleştirilen 144 adet EKMA'nın fiziksel boyutları (L , W , l_s , w_s , h) ve dielektrik sabiti (ϵ_r) ile birlikte rezonans frekansı değerleri, YAK algoritmasında giriş olarak tanımlanmıştır. Birçok model denemelerinden sonra, doğru sonuçları üreten etkin uzunluk ifadesi;

$$L_{Eff} = (\alpha_1 L + \alpha_2 l_s) \left(\frac{l_s}{L}\right)^{\alpha_3} + \alpha_4 W \left(\frac{w_s}{W}\right)^{\alpha_5} + \frac{\alpha_6 h}{\epsilon_r^{\alpha_7}} \quad (4)$$

olarak belirlenmiştir. YAK algoritmasında koloni sayısı, azami döngü sayısı, limit değeri, bilinmeyen katsayıların (α_1 , α_2 , ..., α_7) alt ve üst sınır değerleri, sırasıyla, 20, 1000, 20, -10 ve 10 olarak seçilmiştir. Daha sonra, etkin uzunluk ifadesinin bilinmeyen katsayıları aşağıda verilen ortalama yüzde hata değeri

(OYH) ve uygunluk (fitness) fonksiyonu kullanılarak optimize edilmiştir.

$$OYH = 100 \frac{\sum_{k=1}^{144} \left| \frac{f_{sim_k} - f_{hes_k}}{f_{sim_k}} \right|}{144} \quad (5)$$

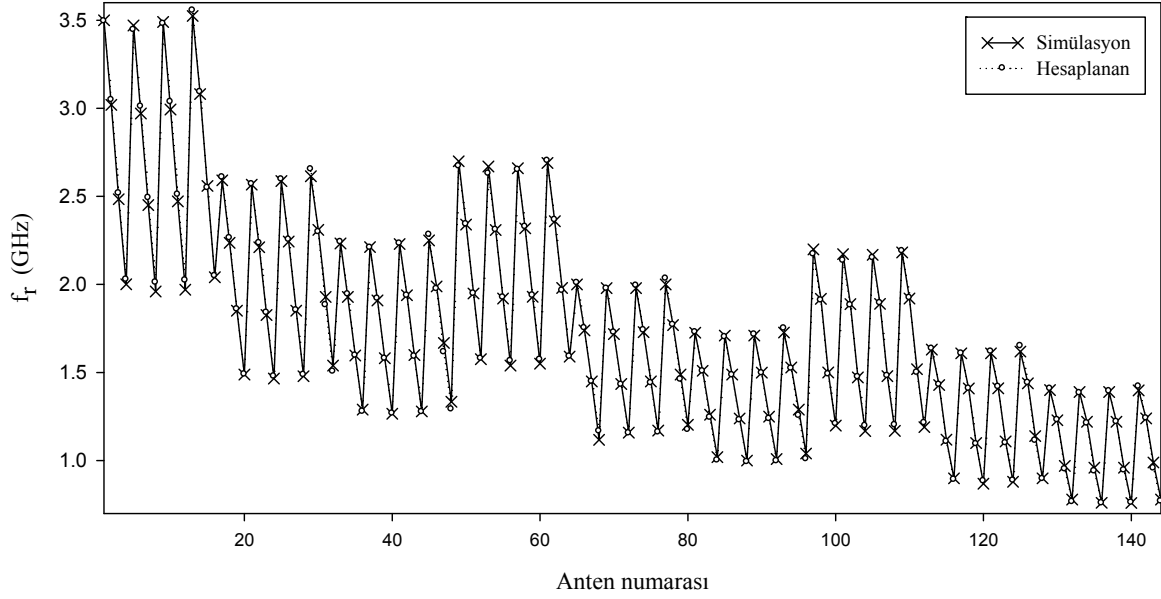
$$fitness = \frac{1}{1 + OYH} \quad (6)$$

burada, k anten numarasını, f_{sim} ve f_{hes} , sırasıyla, simülasyon ve hesaplama sonucunda bulunan rezonans frekans değerlerini belirtmektedir. YAK algoritması ile katsayıları belirlenmiş etkin uzunluk ifadesi aşağıda verilmiştir.

$$L_{Eff} = (1,321L - 0,677l_s) \left(\frac{l_s}{L}\right)^{0,086} + 1,693W \left(\frac{w_s}{W}\right)^{1,974} + \frac{6,371h}{\epsilon_r^{2,458}} \quad (7)$$

EKMA'nın rezonans frekansı, Eşitlik (7)'de verilen etkin uzunluk ifadesi kullanılarak hesaplanan değer Eşitlik (3)'de yerine konulmasıyla hesaplanmıştır. Hesaplanan rezonans frekansı değerlerinin OYH değeri % 0,89 olarak elde edilmiştir. Boyutları ve elektriksel parametreleri, Çizelge 1'de verilen 144 EKMA için simülasyon ve hesaplama sonucunda elde edilen rezonans frekansı değerleri karşılaştırmalı olarak Şekil 2'de verilmiştir. Sonuçları detaylı olarak incelemek amacıyla ilk 16 EKMA için simülasyon ve hesaplama sonucunda elde edilen rezonans frekansı değerleri Çizelge 2'de verilmiştir. Ayrıca, daha iyi bir karşılaştırma yapabilmek için aynı dış boyutlara sahip bir DMA'nın rezonans frekansı değeri, yine Çizelge 2'de verilmiştir. Şekil 2 ve Çizelge 2'den görüldüğü gibi etkin uzunluk ifadesi kullanılarak hesaplanan rezonans frekansı değerleri simülasyon değerlerine oldukça yakındır.

Simülasyonlarda, iletken yamada açılan boşlukların antenin rezonans frekansı ve bant genişliği üzerindeki etkileri incelenmiştir. DMA'da açılan boşlukların etkisiyle etkin rezonans uzunluğu artmakta, böylece rezonans frekansında azalma meydana geldiği görülmüştür. Bununla beraber, bant genişliğinin de azaldığı gözlenmiştir. Ayrıca, EKMA'nın boşluk boyu l_s ve eni w_s 'nin rezonans frekansı ve bant genişliği üzerindeki etkileri ayrı ayrı incelenmiş ve boşluk eni w_s 'nin rezonans frekansı ve bant genişliği üzerinde, boşluk boyu l_s 'den daha etkin olduğu görülmüştür. Genel olarak, boşluk boyu l_s değişimi rezonans frekansı ve bant genişliğini çok az değiştirdiği ancak boşluk eninin w_s artması rezonans frekansını ve bant genişliğini etkin olarak düşürdüğü gözlenmiştir.



Şekil 2. Simülasyon ve hesaplama ile elde edilen rezonans frekansı değerleri
(The resonant frequency obtained by simulation and calculation)

Çizelge 2. Simülasyon ve hesaplama sonuçları (The simulation and calculation results)

Anten	Anten numarası	Boşluk boyutları (mm)		Besleme noktası (mm)		Rezonans frekansı (GHz)		Hata (%)
		l_s	w_s	x_f	y_f	Sim.	Hes.	
DMA	—	0	0	17,64	16,63	3,759	—	—
	1	2	4	10,77	15,30	3,500	3,491	-0,26
	2	2	8	11,40	15,52	3,019	3,044	+0,82
	3	2	12	3,22	14,25	2,484	2,514	+1,20
	4	2	16	2,95	14,17	2,001	2,025	+1,18
	5	4	4	12,65	14,80	3,470	3,441	-0,84
	6	4	8	4,75	14,85	2,970	3,006	+1,20
	7	4	12	6,25	14,27	2,450	2,488	+1,54
EKMA	8	4	16	2,82	13,97	1,959	2,008	+2,49
	9	6	4	6,40	15,30	3,490	3,475	-0,44
	10	6	8	6,62	14,90	2,993	3,031	+1,28
	11	6	12	5,75	14,25	2,472	2,505	+1,36
	12	6	16	3,00	14,67	1,970	2,019	+2,50
	13	8	4	6,25	15,70	3,524	3,548	+0,69
	14	8	8	6,60	14,90	3,081	3,087	+0,20
	15	8	12	4,75	14,20	2,559	2,543	-0,61
	16	8	16	2,30	14,15	2,041	2,044	+0,14

$L=25$; $W=20$; $h=1,57$ (mm); $\epsilon_r=2,33$; $\tan\delta=0,0012$

4. E ŞEKİLLİ KOMPAKT MİKROŞERİT ANTENİN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ (FABRICATION OF E-SHAPED COMPACT MICROSTRIP ANTENNA)

Etkin uzunluk ifadesinin geçerliliğini göstermek için parametreleri Çizelge 3’de verilen, 2,4 GHz frekansında çalışan bir EKMA ve bir DMA, IE3D™ yazılımı aracılığıyla tasarlanmıştır. Tasarlanan EKMA, Rogers™ RT/duroid 5870 malzemesi

kullanılarak Şekil 3’te gösterildiği gibi gerçekleştirilmiştir. Simülasyon ile elde edilen ve Agilent E5071B ENA Series RF network analizör ile ölçülen antenin geriye dönme kaybı grafiği (S_{11}) Şekil 4’de verilmiştir. Çizelge 3’te görüldüğü gibi, simülasyon, ölçüm ve hesaplanan rezonans frekansı değerleri, sırasıyla 2,4 GHz, 2,407 GHz ve 2,398 GHz olarak elde edilmiştir. Simülasyon ve ölçüm sonucunda elde edilen geriye dönme kaybı eğrileri uyum içinde olmakla birlikte, antende kullanılan malzemenin parametrelerindeki olası üretim kaynaklı

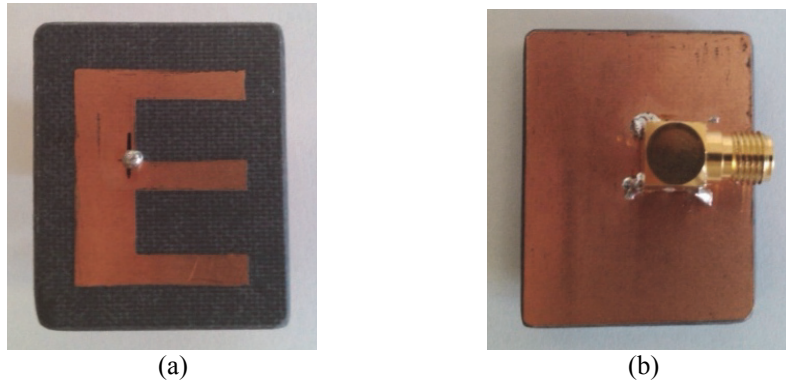
hatalardan, antenin gerçekleştirilmesinde kullanılan alet ve cihazların yeterince hassas olmamasından ve simülasyon yazılımındaki hesaplama hatalarından dolayı rezonans frekansında % 0,3 gibi bir kayma meydana gelmiştir. Ayrıca, 2,4 GHz’de çalışan EKMA’nın yama boyutlarının DMA’nın yama boyutlarından % 61 daha küçük olduğu Çizelge 3’de görülmektedir. Böylece, boşluk açma yönteminin MA’ların küçültülmesinde etkin olarak kullanılabileceği gösterilmiştir.

Çizelge 3’de verilen EKMA ve DMA’nın IE3D™ ile elde edilen ışıma grafikleri Şekil 5’de verilmiştir. Şekillerde görüldüğü gibi EKMA’nın huzme genişliği, DMA’nın huzme genişliğinden daha büyüktür. Simülasyonlarda, maksimum kazanç $\phi=90^\circ$ ’da DMA için 7,33 dBi, EKMA için 6,88 dBi olarak ve yarı güç huzme genişliği (half power beam width) DMA için $109,36^\circ$ iken EKMA için $118,72^\circ$ olarak belirlenmiştir.

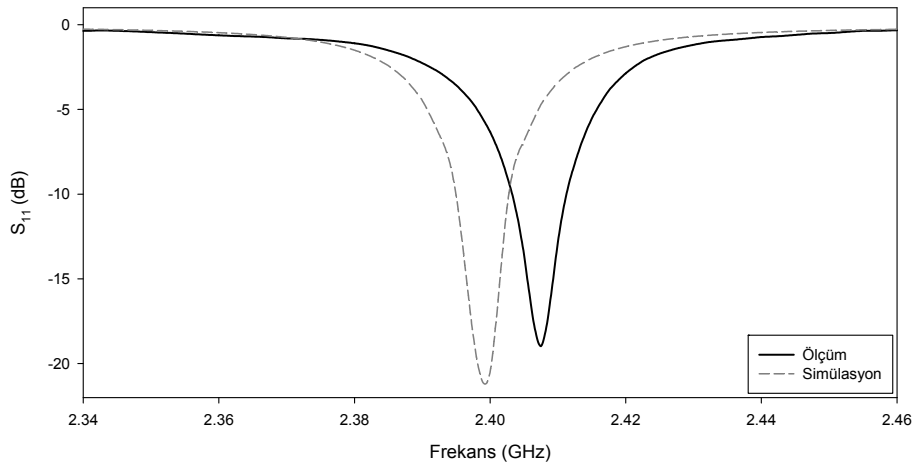
Çizelge 3. Simülasyon, ölçüm ve hesaplama sonuçları (The simulation, measurement and calculation results)

Anten	Yama boyutları (mm)				Besleme noktası (mm)		Rezonans frekansı (GHz)		
	L	W	l_s	w_s	x_f	y_f	Sim.	Ölç.	Hes.
EKMA*	25,00	20,00	7,47	13,03	6,45	14,23	2,400	2,407	2,398
DMA	39,85	32,35	—	—	31,07	26,3	2,400	—	—

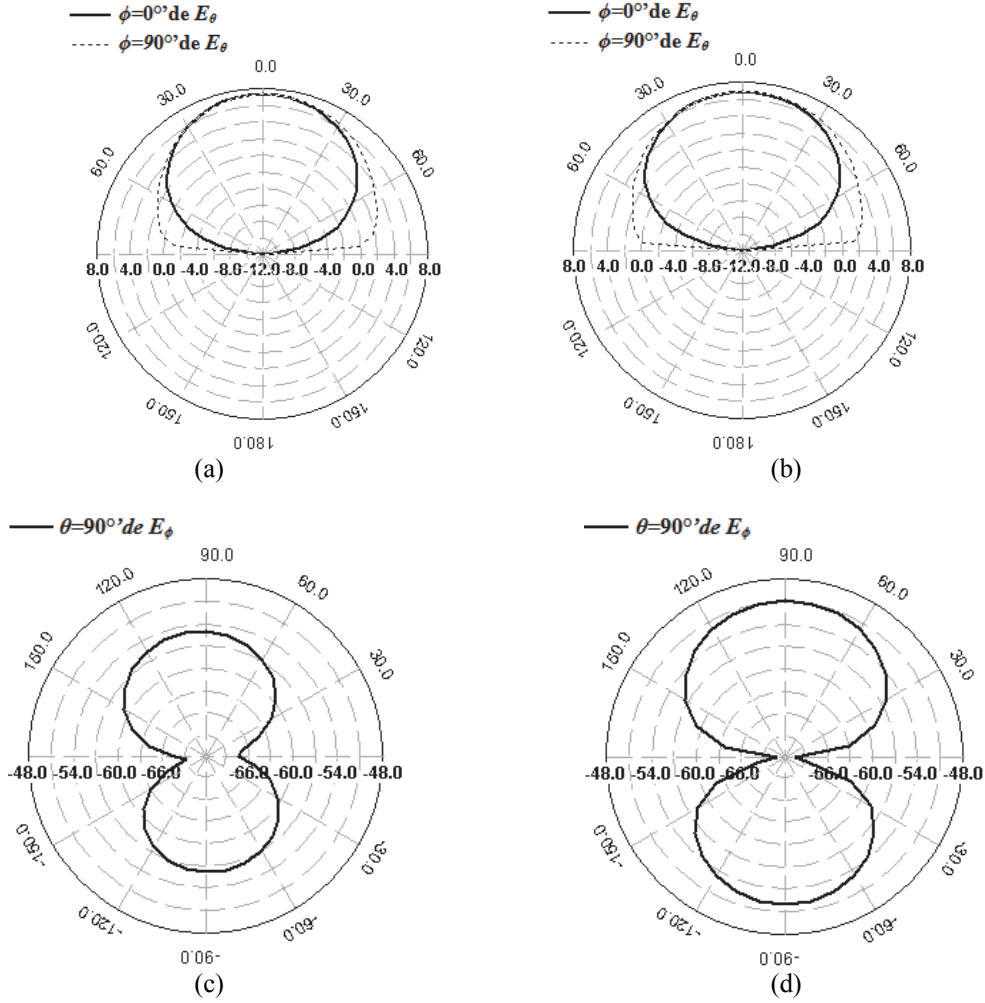
$h=1,57$ mm; $\epsilon_r=2,33$; $\tan\delta=0,0012$; * Rogers™ RT/duroid 5870 kullanılarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3. Gerçekleştirilen EKMA’nın fotoğrafları: (a) ön yüzü (b) arka yüzü
(The photographs of the fabricated ECMA: (a) front side (b) back side)



Şekil 4. Gerçekleştirilen EKMA’nın geriye dönme kaybı eğrileri
(The return loss curves of the fabricated ECMA)



Şekil 5. DMA ve EKMA'ya ait ışınma diyagramları: a) DMA için 3,759 GHz'deki E_θ ; b) EKMA için 2,4 GHz'deki E_θ ; c) DMA için 3,759 GHz'deki E_ϕ ; d) EKMA için 2,4 GHz'deki E_ϕ .

(The radiation patterns of RMA and ECMA: a) E_θ for RMA at 3.759 GHz; b) E_θ for ECMA at 2.4 GHz; c) E_ϕ for RMA at 3.759 GHz; d) E_ϕ for ECMA at 2.4.)

5. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada, EKMA'nın ilk rezonans frekansı hesabında kullanılan, basit ve yeni bir etkin uzunluk ifadesi önerilmiştir. Bu amaçla farklı boyutlara ve dielektrik sabitine sahip 144 adet EKMA'nın rezonans frekansı değerleri, IE3D™ simülasyon yazılımı aracılığıyla elde edilmiştir. İfadenin bilinmeyen katsayıları, bir optimizasyon algoritması olan YAK ile belirlenmiştir. Etkin uzunluk ifadesi ile hesaplanan rezonans frekanslarının ortalama yüzde hata değeri % 0,89 olarak elde edilmiştir. Ayrıca, etkin uzunluk ifadesinin doğruluğunu ve geçerliliğini göstermek için 2,4 GHz frekansında çalışan bir EKMA, IE3D™ yazılımı aracılığıyla tasarlanmış ve gerçekleştirilmiştir. EKMA'nın geometrisinin oluşturulmasında kullanılan boşlukların rezonans frekansı ve bant genişliği üzerindeki etkisi incelenmiştir. EKMA'lardaki boşluk alanı artıkça rezonans frekansı ve bant genişliğinin azaldığı

gözlenmiştir. Boşluk eni değişiminin rezonans frekansı ve bant genişliği üzerindeki etkisi, boşluk boyu değişiminden daha etkili olduğu ve bu sayede rezonans frekansının belirlenebileceği gösterilmiştir.

6. KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Kumar, G. ve Ray, K.P., “**Broadband Microstrip Antennas**”, Artech House, USA, 2003.
2. Wong, K. L., “**Compact and Broadband Microstrip Antennas**”, John Wiley & Sons, Inc., 2002.
3. Dobost, G. ve Rabbia, A., “Analysis of a slot microstrip antenna”, **IEEE T Antenn Propag**, Cilt 34, No 2, 155–163, 1986.
4. Pan, S. C. ve Wong, K. L., “Dual-frequency triangular microstrip antenna with a shorting pin”, **IEEE T Antenn Propag**, Cilt 45, No 12, 1889–1891, 1997.

5. Amit, A., Deshmukh, A. A. ve Kumar, G., “Compact broadband gap-coupled shorted L-shaped microstrip antennas”, **Microw Opt Techn Let**, Cilt 47, No 6, 599–605, 2005.
6. Yang, F., Zhang, X. X., Ye, X. ve Rahmat-Samii Y., “Wide-band E-shaped patch antennas for wireless communications”, **IEEE T Antenn Propag**, Cilt 49, No 7, 1094–1110, 2001.
7. Wong, K-L. ve Hsu, W-H., “A broad-band rectangular patch antenna with a pair of wide slits”, **IEEE T Antenn Propag**, Cilt 49, No 9, 1345–1347, 2001.
8. Neog, D. K., Pattnaik, S. S., Panda, D. C., Devi, S., Dutta, M. ve Bajpai, O. P., “New expression for the resonance frequency of an E-shaped microstrip patch antenna”, **Microw Opt Techn Let**, Cilt 48, No 8, 1561 –1563, 2006.
9. Deshmukh, A. ve Kumar, G., “Formulation of resonant frequency for compact rectangular microstrip antennas”, **Microw Opt Techn Let**, Cilt 49, No 2, 498–501, 2007.
10. Neog, D. K. ve Devi, R., “Determination of resonant frequency of slot-loaded rectangular microstrip patch antennas”, **Microw Opt Techn Let**, Cilt 52, No 2, 446–448, 2010.
11. Akdagli, A. ve Toktas, A., “A novel expression in calculating resonant frequency of H-shaped compact microstrip antennas obtained by using artificial bee colony algorithm”, **J Electromagnet Wave App**, Cilt 24, 2049–2061, 2010.
12. Akdagli, A., Bicer, M. B. ve Ermis, S., “A novel expression for resonant length obtained by using artificial bee colony algorithm in calculating resonant frequency of C-shaped compact microstrip antennas”, **Turk J Elec Eng & Comp Sci**, Cilt 19, No 4, 597–606, 2011.
13. Gunel, T., “Modified resonant frequency calculation for E-shaped and H-shaped microstrip patch antennas”, **Microw Opt Techn Let**, Cilt 53, No 10, 2348–2351, 2011.
14. Toktas, A., Akdagli, A., Bicer, M. B. ve Kayabasi, A., “Simple formulas for calculating resonant frequencies of C and H shaped compact microstrip antennas obtained by using artificial bee colony algorithm”, **J Electromagnet Wave App**, Cilt 25, 1718–1729, 2011.
15. Kayabasi, A., Bicer, M. B., Akdagli, A. ve Toktas, A., “Computing resonant frequency of H-shaped compact microstrip antennas operating at UHF band by using artificial neural networks”, **Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University**, Cilt 26, No 4, 833–840, 2011.
16. Richards, W. F., Lo Y. T. ve Harrison, D. D., “An improved theory for microstrip antennas and applications”, **IEEE T Antenn Propag**, Cilt 29, No 1, 38–46, 1981.
17. Bhattacharyya, K. ve Garg, R., “A Generalized transmission line model for microstrip patches”, **IEE Proc. Microwave Antennas Propag**, Cilt 132, No 2, 93–98, 1985.
18. Taflove, A., “**Computational Electrodynamics: The Finite-Difference Time Domain Method**”, Artech House, Boston, 1995.
19. Harrington, R. F., “**Field Computation by Moment Methods**”, IEEE Press, Piscataway, NJ, 1993.
20. Holland, J. H., “**Adaptation in Natural and Artificial Systems**”, University of Michigan Press, Ann Arbor, 1975.
21. Saxena, N. K., Khan, A., Pourush, P. K. S. ve Kumar, N., “GA optimization of cutoff frequency of magnetically biased microstrip circular patch antenna”, **Aeu-Int J Electron C**, Cilt 65, No 5, 476–479, 2011.
22. Wang, W., S. Gong, X. Wang, Guan, Y. ve Jiang, W., “Differential evolution algorithm and method of moments for the design of low-RCS antenna”, **IEEE T Antenn Propag**, Cilt 9, 295–298, 2010.
23. Robinson, J. ve Rahmat-Samii, Y., “Particle swarm optimization in electromagnetic”, **IEEE T Antenn Propag**, Cilt 52, No 2, 397–407, 2004
24. Yilmaz, A. E. ve Kuzuoglu, M., “Calculation of optimized parameters of rectangular microstrip patch antenna using particle swarm optimization”, **Microw Opt Techn Let**, Cilt 49, No 12, 2905–2907, 2007.
25. Dorigo, M., Maniezzo, V. ve Colomi, A., “Ant system: Optimization by a colony of cooperating agents”, **IEEE T Syst Man Cy B**, Cilt 26, No 1, 29–41, 1996.
26. Kalinli, A., Sagiroglu, S., ve Sarikoc, F., “Parallel ant colony optimization algorithm based neural method for determining resonant frequencies of various microstrip antennas”, **Electromagnetics**, Cilt 30, No 5, 463–481, 2010.
27. Karaboga, D. ve Basturk, B., “A powerful and efficient algorithm for numerical function optimization: artificial bee colony (ABC) algorithm”, **J Global Optim**, Cilt 39, 459–471, 2007.
28. IE3D™, version 14, Menthor graphics corporation, Boeckman Road Wilsonville, OR 97070.