

# UHF BANDINDA ÇALIŞAN H ŞEKLİ KOMPAKT MİKROŞERİT ANTENLERİN REZONANS FREKANSININ YAPAY SİNİR AĞLARI KULLANILARAK HESAPLANMASI

**Ahmet Kayabaşı<sup>\*</sup>, Mustafa Berkan Biçer<sup>\*\*</sup>, Ali Akdağlı<sup>\*\*</sup> ve Abdurrahim Toktaş<sup>\*\*\*</sup>**

<sup>\*</sup> Selçuk Üniversitesi Silifke-Taşucu MYO, Elektronik Teknolojisi Programı 33900 Taşucu, Mersin

<sup>\*\*</sup> Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Müh. Bölümü, Çiftlikköy, 33343 Mersin

<sup>\*\*\*</sup> Mersin Üniversitesi, Bilgi İşlem Daire Başkanlığı, Çiftlikköy, 33343, Mersin

[ahmetkayabasi@selcuk.edu.tr](mailto:ahmetkayabasi@selcuk.edu.tr), [mbbicer@mersin.edu.tr](mailto:mbbicer@mersin.edu.tr), [akdagli@mersin.edu.tr](mailto:akdagli@mersin.edu.tr), [atoktas@mersin.edu.tr](mailto:atoktas@mersin.edu.tr)

(Geliş/Received: 21.02.2011; Kabul/Accepted: 22.08.2011)

## ÖZET

Bu çalışmada, UHF bandında çalışan H şekilli kompakt mikroşerit antenlerin (HKMA) rezonans frekansı, çok katmanlı algılayıcılara (ÇKA) dayanan yapay sinir ağları (YSA) ile hesaplanmıştır. Fiziksel ve elektriksel parametreleri farklı 216 adet HKMA'nın simülasyonu, FDTD (Finite Difference Time Domain) yöntemini kullanan bir elektromanyetik simülasyon programı ile yapılmış ve her bir anten için rezonans frekansı değeri belirlenmiştir. Bu antenlerin 196'sı, YSA modelinin eğitilmesinde kullanılırken geriye kalan 20'si ise test edilmesinde kullanılmıştır. Oluşturulan YSA modelinde, eğitim ve test için ortalama yüzde hata değerleri, sırasıyla, % 0,68 ve % 0,84 olarak elde edilmiştir. Ayrıca, YSA yapısının doğruluğunu ve geçerliliğini göstermek için, literatürde sunulan bazı çalışmalarda verilen simülasyon ve ölçüm sonuçları ile bu çalışmada tasarlanan HKMA'nın ölçüm sonuçları da test amacıyla kullanılmış ve ortalama yüzde hata değerleri, sırasıyla % 1,18 ile % 1,20 olarak elde edilmiştir. Bu sonuçlar, ÇKA'ya dayanan YSA'nın, HKMA'ların rezonans frekansının belirlenmesinde başarılı bir şekilde kullanılabileceğini göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Mikroşerit Anten, Kompakt Mikroşerit Anten, H Şekli Kompakt Mikroşerit Anten, Rezonans Frekansı, Yapay Sinir Ağları, Çok Katmanlı Algılayıcılar

## COMPUTING RESONANT FREQUENCY OF H-SHAPED COMPACT MICROSTRIP ANTENNAS OPERATING AT UHF BAND BY USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS

### ABSTRACT

In this study, resonant frequency of H-shaped compact microstrip antennas (HCMA) operating at UHF band is computed by artificial neural network (ANN) based on the multilayer perceptrons (MLP). The resonant frequencies of 216 HCMA having different electrical and physical parameters are determined by simulating with the use of electromagnetic packaged software based on finite-difference time domain method (FDTD). 196 HCMA are employed for training while 20 HCMA are used for testing ANN. For training and testing, average percentage error values are obtained as 0.68 % and 0.84 %, respectively. Furthermore to point out the validity and accuracy of ANN, simulation and measurement resonant frequency results given in the studies presented in literature, and measurement results of the HCMA designed in this study are also utilized and the average percentage error is obtained as 1.18 % and 1.20 %, respectively. The results achieved in this work illustrate that ANN based on MLP can be successfully used to determine the resonant frequency of HCMA.

**Keywords:** Microstrip Antenna, Compact Microstrip Antenna, H Shaped Compact Microstrip Antenna, Resonant Frequency, Artificial Neural Network, Multilayer Perceptrons

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Mikroşerit antenler (MA) küçük boyut, düşük maliyet, hafiflik, baskı devre teknolojisi ile kolay üretim gibi birçok avantaja sahiptir [1-15]. MA'lar, yarı iletken mikrodalga devre elemanlarıyla aynı dielektrik katmanı paylaşabildiklerinden, taşınabilir cihazların boyutlarını büyütmeden entegre devre yapılarına uyum sağlayabilmektedirler. Bu avantajlarından dolayı MA'lar, uçaklar, radar sistemleri, uzay araçları, kablosuz iletişim, uydu ve füze gibi birçok mikrodalga uygulamalarında kullanılmaktadır. Literatürde MA için yapılan çalışmaların çoğu, analizlerinin kolaylığından dolayı dikdörtgen, üçgen ve daire gibi bilinen geometriler üzerinde yoğunlaşmıştır [1-7].

Büyük bir ivme ile gelişen teknolojiye paralel olarak, kişisel iletişim sistemleri (Personal Communication Systems - PCS), mobil uydu iletişimi (Mobile Satellite Communication - MSC), kablosuz yerel ağlar (Wireless Local Area Network - WLAN) ve diğer birçok minyatürize iletişim sistemleri küçük boyutlu antenlere ihtiyaç duymaktadır. Bilinen geometrilere sahip MA'ların boyutları, UHF bandı uygulamaları için nispeten büyüktür. Bu nedenle, bu frekanslar için bilinen geometrilere sahip MA konfigürasyonları modifiye edilmelidir. Bilinen MA'ların iletken kısmında modifikasyon yapmak suretiyle rezonans uzunluğunu artırmak ve bu sayede rezonans frekansını azaltmak için kompakt MA (KMA) önerilmiştir [8-17]. Bu yöntem ile aynı rezonans frekansı için KMA'nın iletken yamanın boyutu, MA'nın boyutuna göre önemli oranda küçülmektedir. KMA ile anten boyutlarındaki küçülmeye karşılık verim ve bant genişliği gibi bazı performans kriterlerinde düşüş olabilmektedir [3, 11].

Bilinen geometrik şekillere sahip MA'lar, transmisyon hattı modeli (transmission line model) [18] ve boşluk modeli (cavity model) [19] gibi yöntemlerle analitik olarak analiz edilebilmektedir. Bununla beraber, KMA'ların analizi, geometrilerinin düzgün olmamasından dolayı bu yöntemlerle analitik olarak mümkün değildir. Bu nedenle, KMA'ların analiz ve tasarımında, genellikle elektromanyetik nümerik hesaplama yöntemleri kullanılır. Başlıca elektromanyetik nümerik hesaplama yöntemleri, moment metodu [20] ve zaman domeninde Maxwell denklemlerinin çözümünü sağlayan FDTD (Finite Difference Time Domain) [21] metodudur.

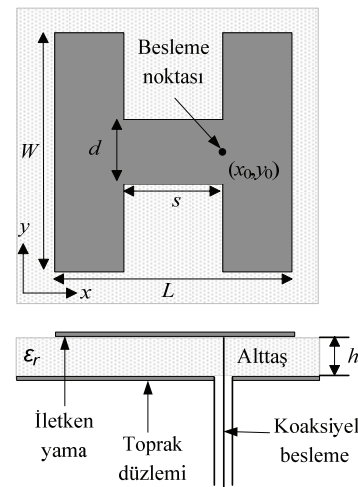
MA'lar sadece rezonans frekansı civarında çalışabildiklerinden dolayı rezonans frekansının belirlenmesi önemlidir. MA'ların rezonans frekansının hesaplanması, iletken yamanın kenarlarındaki elektromanyetik alan saçaklanmalarından (fringing field) dolayı kompleks bir problemdir. Literatürde değişik konfigürasyonlara sahip KMA'ların rezonans frekanslarının

belirlenmesinde farklı doğruluk ve basitlikte bazı metotlar sunulmuştur [3, 10, 13, 15-17]. MA'ların elektronik iletişim pazarında kullanımının artması, performans analizinin yapılmasında daha basit metotların kullanılmasını gerektirmektedir. Bundan dolayı MA tasarımcıları, çok fazla bilgi ve zaman gerektirmeyen basit yaklaşımları tercih ederler.

Literatürde, HKMA'ların rezonans frekansını hesaplamak için çeşitli ifadeler önerilmiştir [3, 13, 16, 17]. Önerilen ifadelerde, dikdörtgen MA'lar için yaygın olarak kullanılan etkin dielektrik sabiti ve iletken boyundaki uzamayı hesaplayan formüller kullanılır. Sunulan çalışmada, ilk olarak UHF (300-3000 MHz) bandında çalışan HKMA'ların rezonans frekansı değerleri FDTD metodunu [21] kullanan elektromanyetik simülasyon programı XFDTD [22] ile belirlenmiştir. Daha sonra, simülasyonu yapılan anten parametrelerini kullanarak, HKMA'nın rezonans frekansını belirlemek için çok katmanlı algılayıcılara (ÇKA) dayanan yapay sinir ağı (YSA) [23] modeli önerilmiştir. YSA, öğrenme ve genelleme yapabilme kabiliyeti ve hızlı hesaplama yeteneğine sahiptir, bu yüzden mikrodalga ve elektromanyetik problemlerin çözümünde sıkça kullanılır [4-9].

## 2. H-ŞEKİLLİ KOMPAKT MİKROŞERİT ANTEN (H-SHAPED COMPACT MICROSTRIP ANTENNA)

HKMA, Şekil 1'de görüldüğü gibi boyutları  $L \times W$  olan dikdörtgen yamanın ışınım yapmayan kenarlarında,  $(W-d)/2 \times s$  boyutlarında simetrik ve eşit iki boşluğun açılmasıyla elde edilen yamanın, toprak düzlem üzerinde bulunan  $h$  yüksekliğindeki dielektrik malzemenin üzerine yerleştirilmesi ile oluşturulur [11]. Dikdörtgen MA'da açılan boşlukların etkisiyle etkin rezonans uzunluğu artmakta, böylece rezonans frekansında azalma meydana gelmektedir.

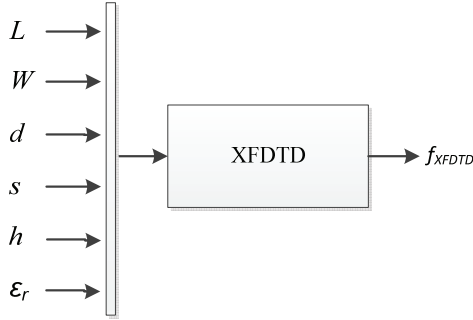


Şekil 1. HKMA'nın Geometrisi (Geometry of HCMA)

### 3. H-ŞEKLİ KOMPAKT MİKROŞERİT ANTENİN REZONANS FREKANSININ YAPAY SİNİR AĞLARI İLE HESAPLANMASI (COMPUTING RESONANT FREQUENCY OF H-SHAPED COMPACT MICROSTRIP ANTENNA BY USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORK)

#### 3.1. Simülasyon Süreci (Simulation Process)

Şekil 2’de görüldüğü gibi, farklı fiziksel ve elektriksel parametrelere sahip HKMA’ların rezonans frekansı ( $f_{XFDTD}$ ), XFDTD [22] ile belirlenmiştir. Simülasyonda kullanılan 216 antenin iletken yama boyutları ve dielektrik sabitleri Tablo 1’de verilmiştir. XFDTD ile yapılan simülasyonlarda, kaynak olarak Gaussian dalga formu kullanılmıştır. Antenler, 50 ohm’luk koaksiyel kablo ile  $x_0=(L-s)/2+s$  ve  $y_0=W/2$  civarında beslenmiştir. FDTD’de ızgaralama işlemi için kübik bir bölgede maksimum hücre boyutu 0,7 mm alınmıştır.



Şekil 2. XFDTD ile simülasyon süreci (Simulation process by XFDTD)

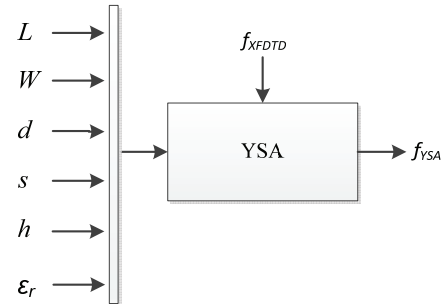
#### 3.2. YSA Eğitim Süreci (Training Process of ANN)

HKMA’nın rezonans frekansı hesabı için çok katmanlı algılayıcılara (ÇKA) dayanan yapay sinir ağları (YSA) modeli kullanılmıştır [4-9]. YSA, biyolojik sinir sisteminin çalışma prensibi temel alınarak geliştirilmiştir ve insan beyninin biyolojik sinir sistemini elektronik devreler veya bilgisayar programları ile çok sınırlı şekilde taklit etmeye çalışmaktadır. Biyolojik sistemlerin, doğrusal olmama, yüksek düzeyde paralellik, eğitime ve genelleştirme yetenekleri gibi bilgi işleme karakteristiklerine sahip olmaları, YSA’nın büyük ölçüde ilgi çekmesini sağlamıştır. YSA, nöronların birbirleri ile çeşitli şekillerde bağlanmasından oluşur ve genellikle katmanlar şeklinde düzenlenir.

YSA’ların birçok yapısı mevcuttur. Bu yapılardan ÇKA, en çok kullanılan YSA yapısıdır ve mühendislik problemlerinde başarılı ve yaygın bir şekilde kullanılmaktadır [4-9]. Bir ÇKA yapısı, giriş katmanı, gizli katman ya da katmanlar ve çıkış katmanından oluşmaktadır. Giriş katmanındaki nöronlar, giriş verileri  $x_i$ ’nin gizli katmandaki nöronlara dağıtılmasını sağlarlar. Gizli katmanda bulunan her bir  $j$  indisli nöron için çıkış şu şekilde ifade edilir.

$$y_i = f\left(\sum w_{ji}x_i\right) \quad (1)$$

Burada  $y_i$  çıkışı,  $x_i$  giriş verileri ile gizli katman nöron ağırlığı  $w_{ji}$  çarpıldıktan sonra toplanır ve bir  $f$  fonksiyonu olarak hesaplanır. Burada  $f$ , lineer, sigmoidal, logaritmik, sigmoidal veya hiperbolik tanjant fonksiyonu gibi bir eşik fonksiyonu olabilir. Çıkış katındaki nöron veya nöronların çıkışları da benzer şekilde hesaplanır. Bir ağı eğitime işlemi, değişik eğitim algoritmalarını kullanarak ağı ağırlıklarını ayarlamak suretiyle gerçekleştirilir. ÇKA’nın eğitiminde, bir çok mühendislik uygulamasında kullanılan ve hızlı bir optimizasyon algoritması olan Levenberg-Marguart (LM) algoritması tercih edilmiştir [23].



Şekil 3. YSA eğitim süreci (Training process of ANN)

Kullanılan YSA modelinde giriş ve çıkış verisini elde etmek için HKMA’ların simülasyonları XFDTD elektromanyetik simülasyon programı ile yapılmıştır. UHF bandında çalışan, fiziksel ( $L$ ,  $W$ ,  $d$ ,  $s$  ve  $h$ ) ve elektriksel parametreleri ( $\epsilon_r$ ) farklı 216 adet HKMA’nın simülasyonu yapılarak her bir anten için rezonans frekansı ( $f_{XFDTD}$ ) elde edilmiştir. Şekil 3’te görüldüğü gibi, anten parametreleri ( $L$ ,  $W$ ,  $d$ ,  $s$ ,  $h$  ve  $\epsilon_r$ ) YSA modeline giriş olarak, simülasyon sonucunda elde edilen rezonans frekansı ( $f_{XFDTD}$ ) değerleri ise

Tablo 1. Simülasyonu yapılan HKMA’ların fiziksel ve elektriksel parametreleri (Physical and electrical parameters of simulated HCMAs)

Simülasyon sayısı	Anten boyutları (mm)					
	$L$	$W$	$d$	$s$	$h$	$\epsilon_r$
54	30	30	6; 14; 22	6; 14; 22	1,59; 2,12	2,5; 4,5; 10,2
54	40	30	10; 20; 30	6; 14; 22	1,59; 2,12	2,5; 4,5; 10,2
54	40	40	10; 20; 30	10; 20; 30	1,59; 2,12	2,5; 4,5; 10,2
54	50	50	12,5; 25; 37,5	12,5; 25; 37,5	1,59; 2,12	2,5; 4,5; 10,2

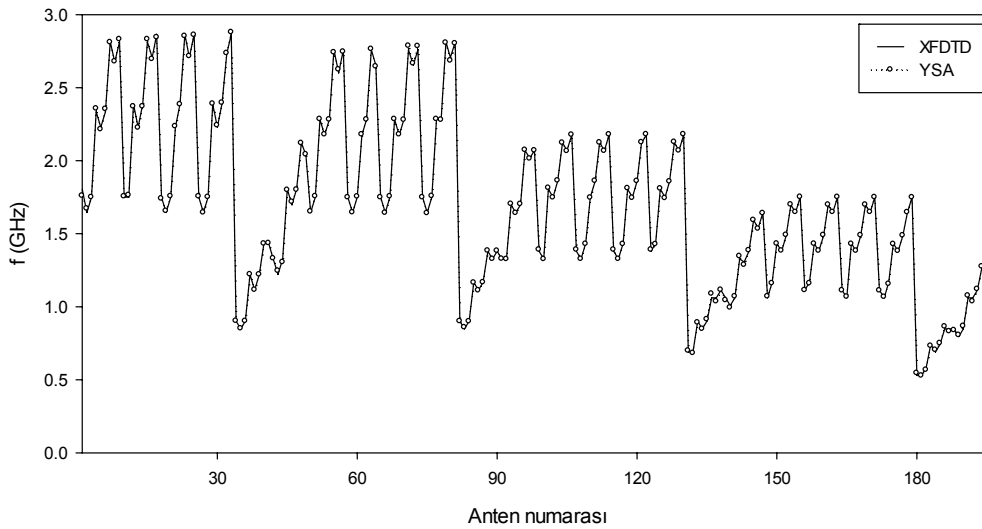
hedef olarak sunulmuştur.

Burada  $f_{YSA}$ , YSA modelinin hesapladığı rezonans frekansını temsil etmektedir. Şekil 4'te görüldüğü gibi YSA modeli 3 nöronlu 1 gizli katmandan oluşmaktadır. Eğitim sürecinde eğitim algoritması olarak LM algoritması kullanılmıştır ve epok sayısı, minimum gradyent, momentum katsayısı  $\mu$ ,  $\mu$  değerindeki artış,  $\mu$  değerindeki düşüş ve  $\mu$  değerinin maksimumu, sırasıyla, 250;  $10^{-10}$ ; 0,0001; 4; 0,1;  $10^{10}$  olarak alınmıştır ve bu değerler kullanılarak elde edilen 196 antenin eğitim sonuçları Şekil 5'te gösterilmiştir. Şekil 5'te görüldüğü gibi, XFDTD ile elde edilen sonuçlar ile YSA'nın hesapladığı rezonans frekansı değerleri iyi bir uyum içerisinde ve aşağıda verilen ifade ile hesaplanan ortalama yüzde hata (OYH) değeri % 0,68 olarak hesaplanmıştır.

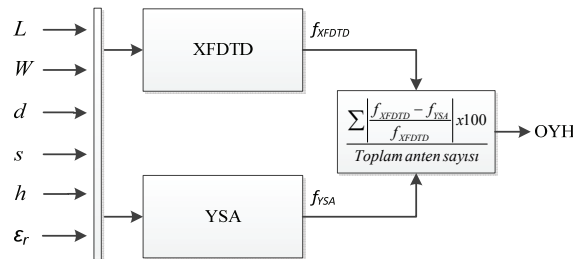
$$OYH = \frac{\sum \left| \frac{f_{XFDTD} - f_{YSA}}{f_{XFDTD}} \right| \times 100}{\text{Toplam anten sayısı}} \quad (2)$$

### 3.3. YSA Test Süreci (Test Process of ANN)

Simülasyonu yapılan 216 antenin içinden çözüm uzayını temsil edecek şekilde seçilen 20 anten, eğitilen YSA'nın başarısını test etmek için kullanılmıştır. Bu süreç, Şekil 6'da gösterilmiştir.

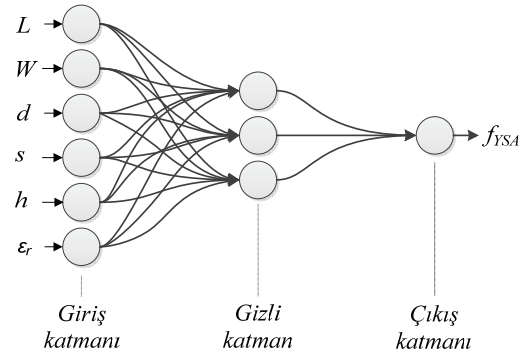


Şekil 5. Simülasyon ve YSA'nın karşılaştırmalı sonuçları (Comparative results of simulation and ANN)



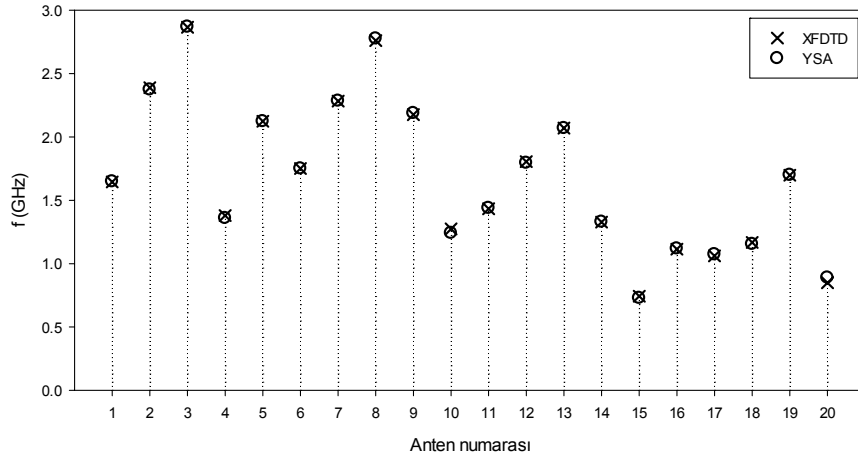
Şekil 6. Test süreci (Test process)

Tablo 2 ve Şekil 7'den görüldüğü gibi test için kullanılan 20 antenin rezonans frekansları değerleri ile YSA'nın hesapladığı rezonans frekansları değerleri arasındaki uyum oldukça iyidir ve test için OYH değeri % 0,84 olarak elde edilmiştir.



Şekil 4. YSA modeli (Model of ANN)

Çalışmada oluşturulan YSA modelini, simülasyon verilerinin dışında test etmek amacıyla, Rogers™ RT/duroid 5870 malzemesi kullanarak, Tablo 3'de anten parametreleri verilen HKMA gerçekleştirilmiştir (Şekil 8) ve Şekil 9'da verilen geriye dönme kaybı ( $s_{11}$ : return loss) eğrisi, Agilent E5071B ENA Series RF network analizör ile ölçülerek antenin rezonans frekansları belirlenmiştir.



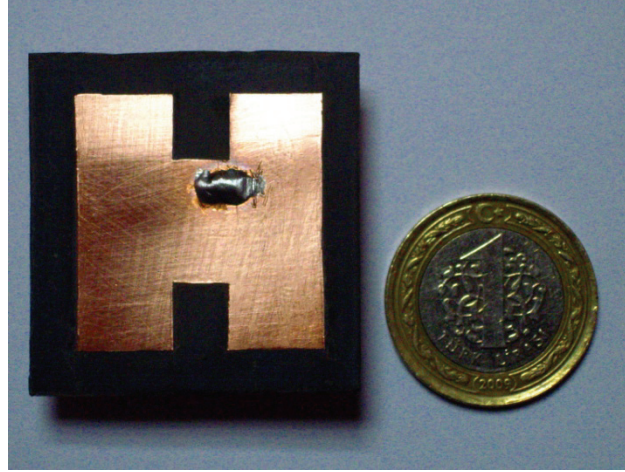
**Şekil 7.** Test verileri için simülasyon ile YSA sonuçlarının karşılaştırılması  
(Comparison of the results of ANN and simulation for training test)

**Tablo 2.** Test süreci için YSA ile belirlenen rezonans frekansları  
(Resonant frequencies determined by ANN for test process)

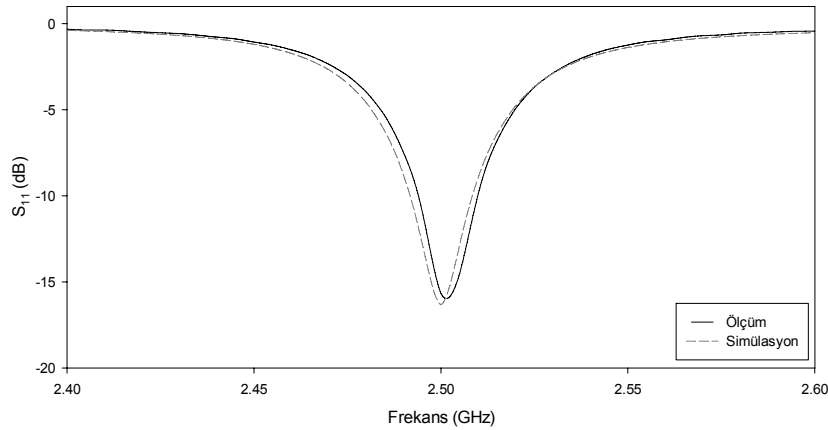
Anten boyutları (mm)					$\epsilon_r$	Rezonans frekansı (GHz)		Hata (%)
$L$	$W$	$d$	$s$	$h$		XFDTD	YSA	
30	30	6	14	1,59	2,5	1,645	1,648	0,182
30	30	14	6	1,06	2,5	2,389	2,373	0,669
30	30	22	6	0,53	2,5	2,866	2,869	0,104
30	30	22	14	1,59	10,2	1,380	1,359	1,521
30	30	22	22	1,59	4,5	2,123	2,122	0,047
30	40	10	6	2,12	2,5	1,751	1,750	0,057
30	40	20	6	1,59	2,5	2,282	2,284	0,087
30	40	30	22	1,59	2,5	2,760	2,776	0,579
30	40	20	14	0,53	2,5	2,176	2,187	0,505
30	40	10	14	1,59	4,5	1,274	1,241	2,590
40	40	10	30	2,12	2,5	1,433	1,438	0,348
40	40	20	10	1,59	2,5	1,805	1,795	0,554
40	40	30	20	1,06	2,5	2,070	2,069	0,048
40	40	10	20	0,53	2,5	1,327	1,329	0,150
40	40	10	30	1,59	10,2	0,743	0,728	2,018
50	50	12,5	12,5	2,12	2,5	1,114	1,118	0,359
50	50	12,5	25	1,59	2,5	1,061	1,073	1,131
50	50	12,5	37,5	1,06	2,5	1,167	1,154	1,114
50	50	37,5	12,5	0,53	2,5	1,698	1,699	0,058
50	50	37,5	37,5	1,59	10,2	0,849	0,889	4,711
OYH								0,84

**Tablo 3.** Gerçeklenen HKMA'nın simülasyon, ölçüm ve YSA sonuçları  
(Results of simulation, measurement and ANN for fabricated HCMA)

Anten boyutları (mm)						Rezonans frekansları (GHz)			Hata (%)
$L$	$W$	$d$	$s$	$h$	$\epsilon_r$	Simülasyon	Ölçüm	YSA	
29	30,02	15	6,5	1,57	2,33	2,500	2,505	2,535	1,20



**Şekil 8.** Gerçeklenen HKMA'nın fotoğrafı  
(Photograph of fabricated HCMA)



**Şekil 9.** Gerçeklenen HKMA'ya ait geriye dönme kaybı ( $S_{11}$ ) grafiği  
(Return loss ( $S_{11}$ ) graph of fabricated HCMA)

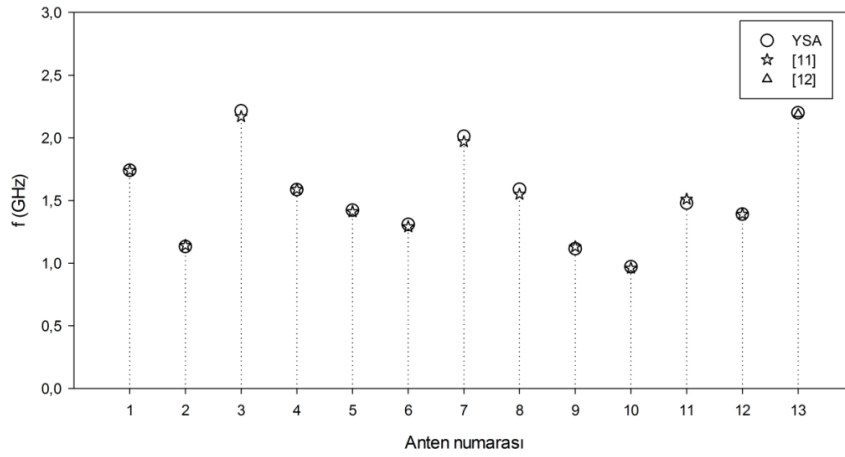
Yukarıda verilen sonuçlar, oluşturulan YSA modelinin, HKMA rezonans frekansının belirlenmesi üzerinde başarılı olduğunu göstermektedir. YSA'nın doğruluğunun ve geçerliliğinin, sadece bu çalışmada XFDTD ile yapılan simülasyon sonuçları ve deneysel sonuç ile sınırlı olmadığını göstermek amacıyla literatürde sunulan simülasyon [11] ve deneysel [12] veriler için oluşturulan ağ modeli test edilmiştir ve test işleminin sonuçları Şekil 10'da gösterilmiştir. Ayrıca, YSA ve kaynak [17]'de verilen rezonans frekansı ifadesi ile hesaplanan rezonans frekansı

değerleri Tablo 4'de verilmiştir. OYH değerleri, kaynak [17]'de sunulan formülasyon için % 1,73 olarak elde edilirken bu çalışmada önerilen YSA modeli için % 1,18 olarak elde edilmiştir.

Şekiller 5, 7, 10 ve Tablolar 2 - 4'den açıkça görüldüğü gibi YSA ile hesaplanan rezonans frekansı değerleri, hem bu çalışmada elde edilen simülasyon ve deneysel sonuçlar hem de literatürde sunulan simülasyon ve deneysel sonuçlar ile oldukça iyi bir uyum içerisindedir.

**Tablo 4.** Simülasyon [11] ve ölçüm [12] verileri için YSA ile elde edilen rezonans frekansları  
(Resonant frequencies obtained by ANN for simulation [11] and measurement [12] data)

Anten boyutları (mm)						Rezonans frekansları (GHz)				Hata (%)	
$L$	$W$	$d$	$s$	$h$	$\epsilon_r$	* [11], $\Delta$ [12]	YSA	[17]	YSA	[17]	
54,60	33	33	26,00	1,59	2,5	1,74*	1,741	1,774	0,058	1,954	
54,60	33	10	26,00	1,59	2,5	1,14*	1,132	1,107	0,702	2,895	
32,69	33	15	4,09	1,59	2,5	2,17*	2,216	2,270	2,120	4,608	
43,59	33	15	14,99	1,59	2,5	1,59*	1,586	1,613	0,252	1,447	
49,04	33	15	20,44	1,59	2,5	1,41*	1,423	1,436	0,922	1,844	
54,60	33	15	26,00	1,59	2,5	1,29*	1,309	1,298	1,473	0,620	
35,54	33	15	26,00	1,59	2,5	1,97*	2,013	2,022	2,183	2,640	
45,08	33	15	26,00	1,59	2,5	1,55*	1,590	1,574	2,581	1,548	
64,16	33	15	26,00	1,59	2,5	1,13*	1,115	1,109	1,327	1,858	
75,00	33	15	26,00	1,59	2,5	0,96*	0,971	0,955	1,146	0,521	
54,60	23	15	26,00	1,59	2,5	1,51*	1,479	1,498	2,053	0,795	
54,60	28	15	26,00	1,59	2,5	1,39*	1,391	1,390	0,072	0,000	
24,00	38	11	8,00	1,59	2,2	2,19 $\Delta$	2,20	2,199	0,411	1,781	
OYH									1,18	1,73	

**Şekil 10.** Simülasyon [11], ölçüm [12] ve YSA için karşılaştırılmalı sonuçlar  
(Comparative results for simulation [11], measurement [12] and ANN)

#### 4. SONUÇLAR ve DEĞERLENDİRME (RESULTS and CONCLUSION)

Bu çalışmada, HKMA'ların rezonans frekansının belirlenmesinde ÇKA'ya dayanan bir YSA modeli önerilmiştir. 216 adet HKMA'nın rezonans frekansını belirlemek için FDTD yöntemini kullanan bir elektromanyetik sayısal hesaplama programı olan XFDTD ile simülasyon yapılmıştır. Önerilen YSA modeli için 196 HKMA'nın fiziksel ve elektriksel parametreleri, eğitim verisi olarak kullanılmış, kalan 20 anten ise test için kullanılmıştır. Eğitim ve test verileri için YSA ile hesaplanan değerlerin, simülasyon sonuçları ile oldukça iyi bir uyum içerisinde olduğu görülmüştür. YSA'nın doğruluğunu ve geçerliliğini göstermek amacıyla literatürde sunulan farklı simülasyon ve deneysel veriler için oluşturulan ağ modeli test edilmiş ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Bu sonuçlar, ÇKA'ya dayanan YSA'nın UHF bandında çalışan HKMA'ların rezonans frekansının belirlenmesinde başarılı bir

şekilde kullanılabileceğini göstermektedir. YSA modelin avantajları, kolaylıkla uygulanabilmesi ve elde edilen sonuçların doğruluğudur.

#### 5. KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Sainati, R. A., **CAD of Microstrip Antennas for Wireless Applications**, Artech House, Nowood, MA, 1996.
2. Garg R., Bhartia P., Bahl I. ve Ittipiboon A., **Microstrip Antenna Design Handbook**, Londra, Artech House, 2001.
3. Kumar G. ve Ray K.P., **Broadband Microstrip Antennas**, USA, Artech House, 2003.
4. Sagiroglu S. ve Guney K., "Calculation of Resonant Frequency for an Equilateral Triangular Microstrip Antenna with the Use of Artificial Neural Networks", **Microw Opt Techn Let**, Cilt. 14, 89-93, 1997.
5. Guney K. ve Gultekin S.S., "Artificial Neural Networks For Resonant Frequency Calculation of

- Rectangular Microstrip Antennas with Thin and Thick Substrates”, **Int J Infrared Milli**, Cilt 25, No 9, Eylül 2004.
6. Turker N., Gunes F. ve Yildirim T., “Artificial Neural Design of Microstrip Antennas”, **Turk J Elec Engine**, Cilt 14, No 3, 2006.
  7. Malathi P. ve Kumar R., “On The Design of Multilayer Circular Microstrip Antenna using Artificial Neural Network”, **International Journal of Recent Trends in Engineering**, Cilt. 2, No 5, Kasım 2009.
  8. Thakare V. V. ve Singhal P., “ Microstrip antenna design using artificial neural networks”, **Int J RF Microwave Computer-Aided Engineering**, Cilt 20, 76-86, 2010.
  9. Tighilt Y., Boutout F. ve Khellaf A., “Modeling and design of printed antennas using neural networks”, **Int J RF Microwave Computer-Aided Engineering**, Cilt 21, 228–233, 2011.
  10. Paulson M., Kundukulam S.O., Aanandan C.K. ve Mohanan P., “Resonance Frequencies of Compact Microstrip Antenna”, **Electron Lett**, Cilt 37, 1151–1153, 2001.
  11. Gao, S.C., Li, L. W., Leong, M. S. ve Yeo, T. S. “Analysis of an H-Shaped Patch Antenna by using FDTD Method”, **Prog Electromagn Res**, Cilt 34, 165-187, 2001.
  12. Sheta A.F., Mohra A. ve Mahmoud S.F., “Multi-band Operation of a Compact H-Shaped Microstrip Antenna”, **Microw Opt Techn Let**, Cilt 35, 363–367, 2002.
  13. Deshmukh A.A. ve Kumar G., “Formulation of Resonant Frequency for Compact Rectangular Microstrip Antennas”, **Microw Opt Techn Let**, Cilt 49, 498–501, 2007.
  14. Bhunia S., Sarkar D. ve Biswas S., “Reduced Size Small Dual and Multi-frequency Microstrip Antennas”, **Microw Opt Techn Let**, Cilt 50, 961–965, 2008.
  15. Akdagli, A. C. Ozdemir, S. Yamacli, ve C. C. Arcasoy, “Improved Formulas for the Resonant Frequencies of Dual Frequency Arrow Shaped Compact Microstrip Antenna”, **Microwave Opt Technol Lett**, Cilt 50, 62-65, 2008.
  16. Toktas A., Farksal Gelişim Algoritması Kullanarak H Şekilli Mikroşerit Antenlerin Rezonans Frekansının Hesaplanması, **Yüksek Lisans Tezi**, Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mersin, Türkiye, 2009.
  17. Akdagli, A. ve A. Toktas, “A Novel Expression in Calculating Resonant Frequency of H-Shaped Compact Microstrip Antennas Obtained by using Artificial Bee Colony Algorithm”, **J Electromagnet Wave**, Cilt 24, No 14-15, 2049-4061, 2010
  18. Bhattacharyya, A. K. ve Garg, R., “A Generalized Transmission Line Model for Microstrip Patches”, **IEE Proc Microwave Antennas Propag**, Cilt132, No 2, 93–98, 1985.
  19. Richards, W. F., Lo, Y. T. ve Harrison, D. D., “An Improved Theory for Microstrip Antennas and Applications” **IEEE T Antenn Propag**, Cilt 29, 38–46, 1981.
  20. Harrington, R. F., **Field Computation by Moment Methods**, IEEE Press, Piscataway, NJ, 1993.
  21. Taflove, A., Computational Electrodynamics The Finite – Difference Time Domain Method, **Artech House**, Boston, 1995
  22. XFDTD, Remcom Inc., State College, PA, versiyon 6.0, 2008.
  23. Haykin S., **Neural Networks: A Comprehensive Foundation**, Macmillan College Publishing Company, New York, A.B.D., 1994.