

# ÖYÜK YÜKLÜ KOMPAKT MİKROŞERİT ANTENLERİN REZONANS FREKANSININ HESAPLANMASINDA YSA VE BMSDUA YÖNTEMLERİNİN KULLANIMI

Ahmet KAYABAŞI<sup>1</sup>, Ali AKDAĞLI<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Selçuk Üniversitesi, Silifke-Taşucu MYO, Elektronik Teknolojisi Programı, 33900, Taşucu, Mersin

<sup>2</sup>Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Müh. Bölümü, Çiftlikköy, 33343, Mersin

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

(Geliş/Received: 12.12.2014; Kabul/Accepted: 22.10.2015)

## ÖZET

Mikroşerit antenler (MA), diğer mikrodalga antenlere olan bazı üstünlükleri nedeniyle kablosuz haberleşme sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadırlar. MA'ların iletken kısımlarında modifikasyon yaparak kompakt mikroşerit antenler (KMA) elde edilir. KMA'lar aynı rezonans frekansı için geleneksel MA'lara göre daha küçük boyutlarda olmaları gibi bazı avantajlara sahiptirler. Literatürde, dikdörtgen halka şekilli KMA (DHKMA), C şekilli KMA (CKMA), E şekilli KMA (EKMA), H şekilli KMA (HKMA) ve L şekilli KMA'ların (LKMA) rezonans frekansı hesabı için yapay sinir ağları (YSA) ve/veya bulanık mantık sitemine dayalı uyarlanırlık (BMSDUA) modelleri kullanılmıştır. Bu tarama çalışmasında, oyuk yüklü bu KMA'ların rezonans frekansı hesabı için kullanılan YSA ve BMSDUA modelleri ile elde edilen sonuçlar, literatürdeki diğer metotlar ile elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmış ve daha başarılı olduğu görülmüştür. Bu sonuçlara göre düzgün geometriye sahip olmayan oyuk yüklü KMA'ların rezonans frekansı hesabı için yapay zeka tekniklerinden YSA ve BMSDUA ağlarının başarılı bir şekilde kullanılabileceği görülmektedir. Ayrıca YSA ve BMSDUA çalışmalarını incelendiğinde diğer metotlara göre daha hızlı ve etkili olduğu sonucu ortaya çıkmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Mikroşerit anten, kompakt mikroşerit anten, H şekilli kompakt mikroşerit anten, rezonans frekansı, yapay sinir ağları, çok katmanlı algılayıcılar

## USAGE OF ANN AND ANFIS METHODS FOR COMPUTING RESONANT FREQUENCY OF SLOT-LOADED COMPACT MICROSTRIP ANTENNAS

### ABSTRACT

Microstrip antennas (MAs) have been widely used in the wireless communication systems since they have some superiorities over other microwave antennas. Compact microstrip antennas (CMAs) are obtained by modifying the conductor parts of MAs. CMAs have some advantages over the conventional MAs such as smaller size for the same resonant frequency. The models of artificial neural network (ANN) and/or adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS) have been used for computing the resonant frequency of rectangular ring shaped CMA (RRCMA), C shaped CMA (CCMA), E shaped CMA (ECMA), H shaped CMA (HCMA) and L shaped CMA (LCMA) in the literature. In this survey study, the results obtained by the ANN and ANFIS models used for the resonant frequency computation of these slot loaded CMAs were compared with those of the other methods in the literature and it is seen that these methods are more successful. According to these results, it is seen that ANN and ANFIS networks which are the artificial intelligence techniques can be successfully used for computing the resonant frequency of slot loaded CMA. Moreover, when the ANN and ANFIS studies were investigated, it appears that they are faster and more effective than the other methods.

**Keywords:** Microstrip antenna, compact microstrip antenna, resonant frequency, artificial neural network, adaptive neuro-fuzzy inference system

### 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

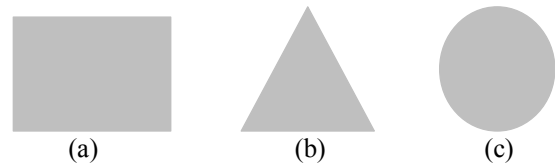
Son yıllarda teknolojinin hızla gelişmesi ile birlikte kablosuz cihazların kullanımı her geçen gün artmakta

ve boyutları küçülmektedir. Bu nedenle, söz konusu cihazlarda kullanılan antenlerden en önemlisi olan mikroşerit antenler (MA) yoğun ilgi görmektedir. Literatüre sunulan çalışmalar incelendiğinde, MA'lar

İçin yapılan çalışmaların çoğu, analizlerinin kolaylığından dolayı dikdörtgen, üçgen ve daire gibi bilinen geometriler üzerinde yoğunlaşmıştır [1-7]. Bununla beraber, bilinen geometrilere sahip MA'ların boyutları, UHF (Ultra high frequency) bant uygulamaları için nispeten büyüktür. Bilinen MA'ların iletken kısımlarında modifikasyon yapmak suretiyle rezonans uzunluğunu artırmak ve bu sayede rezonans frekansını azaltmak için kompakt mikroşerit antenler (KMA) önerilmiştir [8-15]. Bu yöntem ile rezonans frekansı değişmeden KMA'nın iletken yama boyutları, MA'nın boyutlarına göre önemli oranda küçülmektedir. KMA'da anten boyutlarındaki küçülmeye karşılık, verim ve bant genişliği gibi bazı performans kriterlerinde düşüş olabilmektedir [3, 9]. Bilinen geometrik şekillere sahip MA'lar, transmisyon hattı modeli (transmission line model) [16] ve boşluk modeli (cavity model) [17] gibi yöntemlerle analitik olarak analiz edilebilmektedir. Bununla beraber, geometrilerinin düzgün olmamasından dolayı bu yöntemlerle KMA'ların analitik olarak analizi oldukça zordur. Bu nedenle, KMA'ların tasarımında ve analizinde, genellikle elektromanyetik nümerik hesaplama yöntemleri kullanılır. Başlıca elektromanyetik nümerik hesaplama yöntemleri, moment metodu (Method of Moment - MoM) [18] ve zaman domeninde Maxwell denklemlerinin çözümünü sağlayan zamanda sonlu farklar domeni (Finite Difference Time Domain - FDTD) [19] metodudur. Literatürde değişik yapılar sahip KMA'ların rezonans frekanslarının belirlenmesinde, birbirinden farklı doğruluk ve basitlikte yöntemler sunulmuştur [3, 8, 11-15]. Önerilen yöntemlerde, dikdörtgen MA'lar (DMA) için yaygın olarak kullanılan etkin dielektrik sabiti ve iletken boyundaki uzamayı hesaplayan ifadeler kullanılmıştır. Bu yöntemlerin kullanılması formüllerin sayısını artırmakta ve hesaplama süresini nispeten uzatmaktadır. KMA'ların elektriksel (dielektrik sabiti) ve fiziksel (anten boyutları) parametreleri kullanılarak, antenin rezonans frekansının belirlenmesi, yüksek derecede doğrusal olmayan bir problemdir. Bu nedenle, rezonans frekansının nümerik yöntemlerle hesaplanması için anten parametreleri kullanılarak çok sayıda benzetim yapılır. MA'ların elektronik iletişim pazarında kullanımının artması, performans analizinin yapılmasında daha basit metodların kullanılmasını gerektirmektedir. Bundan dolayı MA tasarımcıları, çok fazla hesaplama zamanı gerektirmeyen basit yaklaşımları tercih etmektedirler. Bilgisayar teknolojilerinin son yıllardaki hızlı gelişimi ile birlikte yapay sinir ağları (YSA) ve bulanık mantık sistemine dayalı uyarlanabilir ağ (BMSDUA) gibi yapay zekaya dayanan teknikler, klasik optimizasyon ve geleneksel analitik yaklaşımlardan daha esnek ve elverişli sonuçlar üreten güçlü alternatif araçlar olmuştur [4-6]. YSA ve BMSDUA, MA'ların rezonans frekansının hesaplanmasında çokça kullanılmıştır [5-6, 20-22, 24, 27]. Bu tarama çalışmasında; farklı geometrik şekillerdeki KMA'ların rezonans frekansının hesaplanmasında YSA ve BMSDUA modellerini kullanarak sonucu kısa sürede hesaplayan basit yaklaşımlar incelenmiştir.

## 2. MİKROŞERİT ANTENLER (MICROSTRIP ANTENNAS)

Diğer mikrodalga antenlere olan üstünlükleri nedeniyle araştırmacıların ilgi odağı haline gelen MA'lar, bugüne kadar çok büyük gelişme kaydetmiştir. Küçük hacimleri, üretimlerinin kolay olması, maliyetinin düşük olması ve çift bant özelliklerine sahip olmaları gibi avantajlarından dolayı güdümlü füzeler, roketler, uydular gibi sadece askeri uygulamalarda kullanılan MA'lar, günümüzde kablosuz haberleşmenin hemen hemen her alanında kullanılmaktadırlar [1-3]. Literatürde MA için yapılan çalışmalar, Şekil 1'de görülen dikdörtgen, üçgen ve daire gibi bilinen geometriler üzerinde yoğunlaşmıştır [1-3, 4-7].



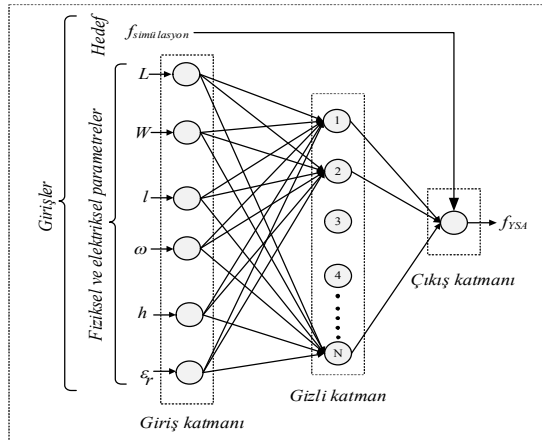
Şekil 1. Geleneksel MA geometrileri (The geometries of traditional MA)

## 3. OYUK YÜKLÜ KOMPAKT MİKROŞERİT ANTENLER (SLOT LOADED COMPACT MICROSTRIP ANTENNAS)

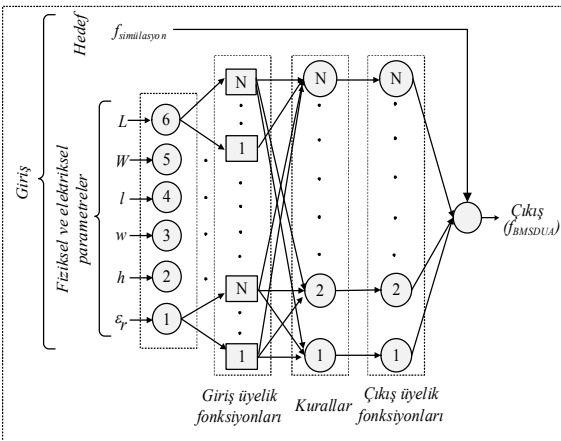
MA'larda, iletken yama veya toprak düzleminde boşluk açma (slot loading) ve kısa devre pin gibi çeşitli modifikasyon yöntemleri kullanılarak daha düşük rezonans frekansında çalışan antenler elde etmek mümkündür. DMA'nın kenar(lar)ında oluşturulan girintilerin etkisiyle (slot loading) antenin etkin uzunluğu artmakta, böylece rezonans frekansı azalmaktadır. Bu şekilde küçültülen antenlere KMA denilmektedir. Bu bölümde, YSA ve BMSDUA modellerinin oyuk yüklü KMA'ların rezonans frekansını hesabı için literatüre sunulan çalışmalar taranmış ve literatüre sunulan diğer metotlara göre başarıları değerlendirilmiştir. Bu kapsamda, E şekilli KMA (EKMA) ve H şekilli KMA (HKMA) için YSA, dikdörtgen halka şekilli KMA (DHKMA) ve C şekilli KMA (CKMA) için BMSDUA ve L şekilli KMA (LKMA) için ise hem YSA hem de BMSDUA modellerinin literatüre sunulduğu görülmektedir. Bu çalışmalarda, YSA ve BMSDUA ağlarının eğitimi ve testi için, farklı fiziksel ve elektriksel parametrelere sahip belirli sayıda KMA'nın benzetimleri elektromanyetik benzetim paket programları kullanılarak yapılmıştır. Bu kapsamda, CKMA [37] ve HKMA [38] benzetimleri FDTD metodunu kullanan XFDTD elektromanyetik benzetim programı ile, EKMA [39], LKMA [40] DHKMA [41] benzetimleri ise MoM kullanan IE3D™ elektromanyetik benzetim programı ile gerçekleştirilmiş ve antenlerin rezonans frekansları elde edilmiştir. İncelenen çalışmalarda, KMA'ların rezonans frekansını hesabı için Şekil 2'de görülen ileri

beslemeli, geri yayımlı, ÇKA'ya dayanan YSA modeli kullanılmıştır. ÇKA'nın eğitiminde, bir çok mühendislik uygulamasında kullanılan ve hızlı bir optimizasyon algoritması olan Levenberg-Marguart (LM) tercih edilmiştir. KMA'ların rezonans frekansı hesabı için ise Şekil 3'de görülen Sugeno tip bulanık çıkarım sistemi (BÇS) temelli BMSDUA modeli kullanılmış ve BMSDUA ağına ait parametreler hibrit öğrenme algoritması ile güncellenmiştir. YSA ve BMSDUA ağlarına, benzetimleri yapılan KMA'ların boyutları ve dielektrik sabiti giriş olarak, rezonans frekansı ise çıkış olarak verilmiştir. Ağların, eğitim ve test hataları Eşitlik 1'de verilen ortalama yüzde hata (OYH) ifadesi ile hesaplanmıştır. YSA ve BMSDUA ağlarının başarılarını, benzetim verilerinin dışında test etmek için belirli sayı ve şekillerde gerçekleştirilen KMA'ların ölçüm sonuçları ile karşılaştırılmış ve başarılı sonuçlar alındığı görülmüştür [37-41].

$$OYH = \frac{\sum \left| \frac{f_{XFDTD/IE3D} - f_{YSA/BMSDUA}}{f_{XFDTD/IE3D}} \right| \times 100}{\text{Toplam anten sayısı}} \quad (1)$$



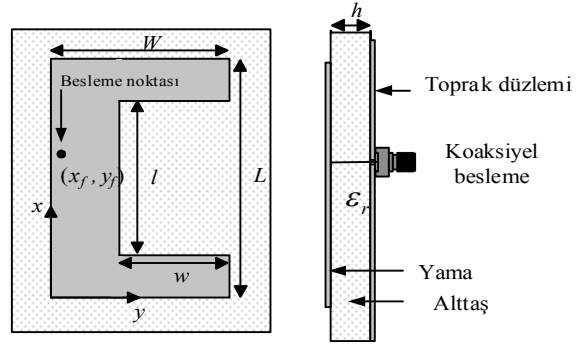
Şekil 2. KMA'ların rezonans frekansı hesabı için kullanılan YSA modeli (ANN model used for computing the resonant frequency of CMAs)



Şekil 3. KMA'ların rezonans frekansı hesabı için kullanılan BMSDUA modeli (ANFIS model used for computing the resonant frequency of CMAs)

### 3.1 C Şekli Kompakt Mikroşerit Anten (C Shaped Compact Microstrip Antennas)

Bir CKMA, Şekil 4'de gösterildiği gibi, bir DMA'dan, onun ışına yapmayan kenarı boyunca simetrik olarak (l x w) boyutlarında açılan bir boşlukla elde edilir.



Şekil 4. CKMA geometrisi (Geometry of CCMA)

Literatürde CKMA'ların rezonans frekansı hesabı için belirli sayıda benzetim verileri kullanarak, etkin dielektrik sabiti ve iletken boyundaki uzamayı hesaplayan formüller [11, 14-15] ve yapay zeka tekniklerinden BMSDUA'nın kullanıldığı [37] yaklaşımlar önerilmiştir. Literatürde CKMA'ların rezonans frekansı hesabı için Eşitlik 2'de [15] yerine konularak kullanılan, iletken boyundaki uzamayı hesaplayan formüllerden bir tanesi Eşitlik 3'de [15] örnek olarak verilmiştir.

$$f_{r_x} = \frac{c}{2L_{Xeff} \sqrt{\epsilon_r}} \quad (2)$$

$$L_{Ceff} = 0.351L + 0.5 \left( \frac{L+s}{\epsilon_r^{0.033}} \right) \left( \frac{W}{h} \right)^{0.08} + 2.922 d \left( \frac{d}{L} \right) - 0.436s \left( \frac{s}{W} \right) \quad (3)$$

Akdağlı vd. [37] tarafından 2011 yılında yapılan çalışmada rezonans frekansı hesabı için Tablo 1'de parametreleri verilen BMSDUA modeli kullanılmıştır.

Tablo 1. CKMA'nın rezonans frekansı hesabında kullanılan BMSDUA parametreleri (The ANFIS parameters used for computing the resonant frequency of CCMA's)

Parametreler	Tip/değer
Giriş üyelik fonksiyonu	Gaussian
Çıkış üyelik fonksiyonu	Linear
Giriş sayısı	6
Çıkış sayısı	1
Bulanık kurallar sayısı	16
Üyelik fonksiyonlar sayısı	16
Epok	50
Etki aralığı	0,5
Sıkıştırma faktörü	1,25
Kabul oranı	0,5
Geri çevirme oranı	0,15
Nonlinear parametre sayısı	6 x 16 x 2 = 192
Linear parametre sayısı	7 x 16 = 112
Düğüm sayısı	233
Eğitim veri çifti sayısı	129

Benzetimi yapılan 129 CKMA, BMSDUA ağını eğitmek için kullanılmış ve eğitim için OYH değeri % 0,841 olarak elde edilmiştir. BMSDUA modelini test etmek için kullanılan 15 CKMA verisi için rezonans frekansı sonuçları Tablo 2’de verilmiştir. Tablo 2’den OYH değerinin %1,259 olarak hesaplandığı görülmektedir. BMSDUA kullanılarak yapılan bu çalışma, benzetim sonuçları ve Deshmukh ve Kumar, 2007 [11], Akdağlı vd., 2011 [14] ve Toktas vd., 2011 [15] tarafından önerilen formüller ile elde edilen

sonuçlar ile de karşılaştırılmış ve sonuçları Tablo 3 ve Tablo 4’de verilmiştir. Tablo 3 ve Tablo 4’de, BMSDUA ile elde edilen sonuçların literatürde önerilen formülasyon [11, 16, 15] sonuçlarına göre daha başarılı olduğu görülmektedir. Ayrıca, bu çalışmada önerilen BMSDUA modeli, aynı çalışmada laboratuvar ortamında gerçekleştirilmiş CKMA sonucu ile de test edilmiştir. Tablo 5’de, gerçekleştirilen CKMA için benzetim, ölçüm ve BMSDUA ile elde edilen rezonans frekans değerleri görülmektedir.

**Tablo 2.** Test süreci için BMSDUA ile belirlenen CKMA rezonans frekans değerleri (The resonant frequencies of CCMAAs determined by ANFIS for test process)

Anten sayısı	Yama boyutları (mm)					$\epsilon_r$	Rezonans frekansları (GHz)		Yüzelik hata (%)
	L	W	l	w	h		Benzetim [37]	BMSDUA [37]	
1	30	20	15	7	1,6	2,33	2,654	2,643	0,399
2	30	20	7	15	1,6	4,28	1,380	1,346	2,435
3	30	20	20	7	1,6	4,28	2,017	2,020	0,139
4	30	20	12	15	1,6	9,80	0,902	0,886	1,807
5	30	20	20	15	1,6	9,80	0,956	0,915	4,289
6	60	40	30	20	3	2,33	1,164	1,152	1,014
7	60	40	20	9	3	4,28	1,081	1,086	0,444
8	60	40	40	20	3	4,28	0,887	0,891	0,440
9	60	40	30	9	3	9,80	0,721	0,721	0,055
10	60	40	40	30	3	9,80	0,471	0,468	0,658
11	90	60	20	13	6	2,33	0,970	0,997	2,794
12	90	60	40	30	6	2,33	0,776	0,777	0,116
13	90	60	20	40	6	4,28	0,527	0,525	0,304
14	90	60	60	40	6	4,28	0,527	0,524	0,664
15	90	60	60	13	6	9,80	0,499	0,516	3,327
OYH									1,259

**Tablo 3.** Benzetim verileri [11] için BMSDUA ile elde edilen CKMA rezonans frekansları (The resonant frequencies of CCMA obtained by ANFIS for simulation data [11])

Boşluk boyutları (mm)		Rezonans frekansları (GHz)						
l	w	Benzetim	BMSDUA [37]	Hesaplanan			[11]	
		[11]		[15]	[14]	#1	#2	#3
5	5	1,562	1,603	1,562	1,657	1,502	1,630	—
10	10	1,445	1,429	1,445	1,497	1,398	1,408	—
15	15	1,286	1,275	1,286	1,334	1,309	1,241	—
20	20	1,130	1,125	1,130	1,178	1,231	1,111	1,002
25	25	0,991	0,991	0,991	1,035	1,164	1,008	0,928
40	30	0,899	0,901	0,899	0,924	—	0,893	0,856
5	30	0,929	0,931	0,929	0,963	—	1,029	0,904
10	30	0,887	0,901	0,887	0,938	—	—	0,896
2	30	0,964	0,953	0,964	0,982	—	—	0,910

L=60 mm, W=40 mm, h=1,59 mm,  $\epsilon_r=2,33$ ,  $\tan\delta=0,001$

**Tablo 4.** Benzetim verileri [11] için hesaplanan yüzelik hatalar (The percentage errors calculated for simulation data [11])

Boşluk boyutları (mm)		Yüzelik hatalar (%)					
l	w	BMSDUA [37]	[15]	[14]	[11]		
					#1	#2	#3
5	5	2,612	0	6,082	3,841	4,353	—
10	10	1,107	1,315	3,599	3,253	2,561	—
15	15	0,855	0,467	3,732	1,788	3,499	—
20	20	0,451	0,531	4,248	8,938	1,681	11,33
25	25	0,010	0,908	4,440	17,46	1,715	6,357
40	30	0,245	1,001	2,781	—	0,667	4,783
5	30	0,248	0,215	3,660	—	10,764	2,691
10	30	1,567	2,706	5,750	—	—	1,015
2	30	1,151	1,867	1,867	—	—	5,602
OYH		0,916	1,001	1,151	7,055	3,605	5,296

L=60 mm, W=40 mm, h=1,59 mm,  $\epsilon_r=2,33$ ,  $\tan\delta=0,001$

**Tablo 5.** Gerçeklenen CKMA'nın [37] benzetim, ölçüm ve BMSDUA sonuçları (The results of simulation, measurement and ANFIS for fabricated CCMA [37])

Yama boyutları (mm)						Rezonans frekansı (GHz)		
L	W	l	w	h	$\epsilon_r$	Benzetim [37]	Ölçüm [37]	BMSDUA [37]
30	20	5	20	1,57	2,33	2,870	2,930	2,900

**Tablo 6.** HKMA'nın rezonans frekansı hesabında kullanılan YSA parametreleri (The ANN parameters used for computing the resonant frequency of HCMA's)

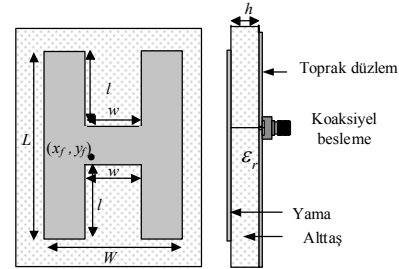
Parametreler	Değer
Giriş sayısı	6
Çıkış sayısı	1
Epok sayısı	250
Minimum gradient azalması	$10^{-10}$
Momentum katsayısı ( $\mu$ )	0,0001
$\mu$ değerindeki artış	4
$\mu$ değerindeki düşüş	0,1
Maksimum $\mu$ değeri	$10^{10}$

### 3.2 H Şekli Kompakt Mikroşerit Antenler (H Shaped Compact Microstrip Antennas)

Bir HKMA Şekil 5'de görüldüğü gibi DMA'nın iki kısa kenarı boyunca ( $l \times w$ ) boyutlarında açılmış iki simetrik ve eşit boşlukla gerçekleştirilmiştir [3, 11]. HKMA için literatürde iletken boyundaki uzamayı hesaplayan formüller kullanılarak rezonans frekansı hesabı yapan yaklaşımlar mevcuttur [11, 15]. İletken boyundaki uzamayı hesaplayan formüllerden biri Eşitlik 2'deki [15] rezonans frekansı formülünde yerine konulmak üzere Eşitlik 4'te [15] verilmiştir.

$$L_{Heff} = (0.912L - 0.643s) \left( \frac{s}{d} \right)^{0.437} + W \left( \frac{L}{d} \right)^{0.726} + \frac{h}{\epsilon_r} - 0.445L \left( \frac{W}{d} \right) \quad (4)$$

Kayabaşı vd. [38] 2011 yılında, HKMA'nın rezonans frekansı hesabı için Tablo 6'da ağ parametreleri verilen, 3 nöronlu 1 gizli katmandan oluşan ve daha başarılı sonuçlar veren bir YSA modeli önermişlerdir. Benzetimi yapılan 216 HKMA'nın 196'sını, YSA ağını eğitmek için kullanmışlar ve eğitim için OYH değerini % 0,68 olarak hesaplamışlardır.

**Şekil 5.** HKMA geometrisi (Geometry of HCMA)**Tablo 7.** Test sürecinde YSA ile belirlenen HKMA rezonans frekansları (The resonant frequencies of HCMA determined by ANN for test process)

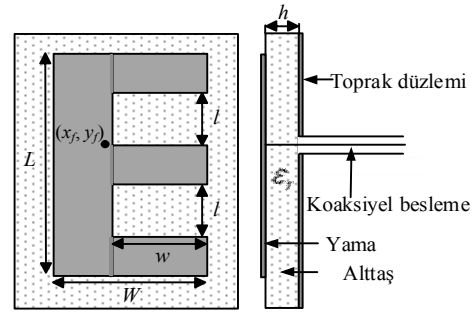
Anten sayısı	Anten boyutları (mm)					$\epsilon_r$	Rezonans frekansı (GHz)		Yüzdelerik hata (%)
	L	W	l	w	h		Benzetim [38]	YSA [38]	
1	30	30	6	14	1,59	2,5	1,645	1,648	0,182
2	30	30	14	6	1,06	2,5	2,389	2,373	0,669
3	30	30	22	6	0,53	2,5	2,866	2,869	0,104
4	30	30	22	14	1,59	10,2	1,380	1,359	1,521
5	30	30	22	22	1,59	4,5	2,123	2,122	0,047
6	30	40	10	6	2,12	2,5	1,751	1,750	0,057
7	30	40	20	6	1,59	2,5	2,282	2,284	0,087
8	30	40	30	22	1,59	2,5	2,760	2,776	0,579
9	30	40	20	14	0,53	2,5	2,176	2,187	0,505
10	30	40	10	14	1,59	4,5	1,274	1,241	2,590
11	40	40	10	30	2,12	2,5	1,433	1,438	0,348
12	40	40	20	10	1,59	2,5	1,805	1,795	0,554
13	40	40	30	20	1,06	2,5	2,070	2,069	0,048
14	40	40	10	20	0,53	2,5	1,327	1,329	0,150
15	40	40	10	30	1,59	10,2	0,743	0,728	2,018
16	50	50	12,5	12,5	2,12	2,5	1,114	1,118	0,359
17	50	50	12,5	25	1,59	2,5	1,061	1,073	1,131
18	50	50	12,5	37,5	1,06	2,5	1,167	1,154	1,114
19	50	50	37,5	12,5	0,53	2,5	1,698	1,699	0,058
20	50	50	37,5	37,5	1,59	10,2	0,849	0,889	4,711
OYH									0,840

YSA modelini test etmek için kullanılan 20 HKMA verisi için rezonans frekansı sonuçları Tablo 7’de görülmektedir. Tablo 7’de görüldüğü gibi OYH değeri % 0,840 olarak hesaplanmıştır. YSA kullanılarak yapılan çalışma, literatürdeki benzetim sonuçları [9] ve deneysel [10] veriler kullanılarak da test edilmiştir. YSA ile elde edilen sonuçlar, ayrıca, Akdağlı ve Toktaş, 2010 [13] tarafından HKMA’lar için önerilen formül sonuçları ile de karşılaştırılmış ve karşılaştırma sonuçları Tablo 8’de verilmiştir. Ayrıca bu çalışmada sunulan yaklaşım, aynı çalışma içerisinde deneysel olarak ölçülmüş HKMA verileri ile de test edilmiş ve sonuçlar Tablo 9’da görüldüğü gibi başarılı bir şekilde elde edilmiştir.

### 3.3 E Şekli Kompakt Mikroşerit Antenler (E Shaped Compact Microstrip Antennas)

EKMA boyutları ( $L \times W$ ) olan DMA’nın uzun kenarların birinde, ( $l \times w$ ) boyutlarında eşit ve merkeze göre simetrik iki boşluğun açılmasıyla elde edilen E şekilli yamanın, toprak düzlem üzerinde bulunan  $h$  yüksekliğindeki  $\epsilon_r$  dielektrik sabitine sahip alttaş malzemenin üzerine yerleştirilmesiyle Şekil 6’da gösterildiği gibi elde edilmiştir [42, 43]. Literatürde EKMA için yapılan çalışmalarda besleme noktası seçimine bağlı olarak, DMA’ya göre daha yüksek rezonans frekansları ve geniş bant elde eden ve yaklaşık rezonans frekansı formülleri öneren çalışmalar mevcuttur [43-46]. Ayrıca DMA’ya göre daha düşük rezonans frekansına sahip, daha küçük boyut hedeflenerek yapılmış ve etkin uzunluk ifadesi

formülünün önerildiği çalışmalarda vardır [47]. Eşitlik 2’de yerine konulmak üzere etkin uzunluk ifadesinin kullanıldığı formül Eşitlik 5’te [47] verilmiştir.



Şekil 6. EKMA geometrisi (Geometry of ECMA)

$$L_{Eff} = (1.321L - 0.677l_s) \left( \frac{l_s}{L} \right)^{0.086} + 1.693W \left( \frac{w_s}{W} \right)^{1.974} + \frac{6.371h}{\epsilon_r^{2.458}} \quad (5)$$

Akdağlı vd. [39] tarafından 2013 yılında yapılan çalışmada, DMA’ya göre daha küçük boyut amaçlanarak yapılmış ve EKMA’ların rezonans frekansı hesabı için Tablo 10’da ağ parametreleri verilen ve 3 nöronlu 1 gizli katmandan oluşan YSA modelini kullanan bir yaklaşım önerilmiştir.

**Tablo 8.** Benzetim [9] ve ölçüm [10] verileri için YSA ile elde edilen HKMA rezonans frekansları ve sonuçların karşılaştırılması (The resonant frequencies of HCMA determined by ANN for simulation [9] and measurement [10] data and comparison of the results)

Anten sayısı	Anten boyutları (mm)				$\epsilon_r$	Rezonans frekansları (GHz)			Yüzdelerik hata (%)	
	$L$	$W$	$l$	$w$		[9*],[10 <sup>Δ</sup> ]	YSA [38]	[13]	YSA [38]	[13]
1	54,6	33	33	26	2,5	1,740*	1,741	1,774	0,058	1,954
2	54,6	33	10	26	2,5	1,140*	1,132	1,107	0,702	2,895
3	32,69	33	15	4,09	2,5	2,170*	2,216	2,270	2,120	4,608
4	43,59	33	15	14,99	2,5	1,590*	1,586	1,613	0,252	1,447
5	49,04	33	15	20,44	2,5	1,410*	1,423	1,436	0,922	1,844
6	54,6	33	15	26	2,5	1,290*	1,309	1,298	1,473	0,620
7	35,54	33	15	26	2,5	1,970*	2,013	2,022	2,183	2,640
8	45,08	33	15	26	2,5	1,550*	1,590	1,574	2,581	1,548
9	64,16	33	15	26	2,5	1,130*	1,115	1,109	1,327	1,858
10	75	33	15	26	2,5	0,960*	0,971	0,955	1,146	0,521
11	54,6	23	15	26	2,5	1,510*	1,479	1,498	2,053	0,795
12	54,6	28	15	26	2,5	1,390*	1,391	1,390	0,072	0,000
13	24	38	11	8	2,2	2,190 <sup>Δ</sup>	2,200	2,199	0,411	1,781
OYH									1,180	1,730

$h = 1,59 \text{ mm}$

**Tablo 9.** Gerçeklenen HKMA’nın benzetim, ölçüm ve YSA sonuçları (The results of simulation, measurement and ANN for fabricated HCMA)

$L$	Yama boyutları (mm)				$\epsilon_r$	Rezonans frekansı (GHz)		
	$W$	$l$	$w$	$h$		Benzetim [38]	Ölçüm [38]	YSA [38]
29	30,02	15	6,5	1,57	2,33	2,500	2,505	2,535

**Tablo 10.** EKMA'nın rezonans frekansı hesabında kullanılan YSA parametreleri (The ANN parameters used for computing the resonant frequency of ECMA's)

Parametreler	Değer
Giriş sayısı	6
Çıkış sayısı	1
Epok sayısı	250
Seed değeri	7559532
Minimum gradient azalması	$10^{-10}$
Momentum katsayısı ( $\mu$ )	0,0001
$\mu$ değerindeki artış	4
$\mu$ değerindeki düşüş	0,1
Maksimum $\mu$ değeri	$10^{10}$

**Tablo 11.** YSA [39] ve formül [47] ile hesaplanan rezonans frekans değerleri ve yüzdelik hatalar (The resonant frequencies and percentage errors determined by ANN [39] and formula [47])

Yama boyutları (mm)						Rezonans frekansları (GHz)			Yüzdelik hata (%)	
$L$	$W$	$l$	$w$	$h$	$\epsilon_r$	Benzetim [39]	Formül [47]	YSA [39]	Formül [47]	YSA [39]
25	20	6	4	1,57	2,33	3,490	3,474	3,492	0,455	0,066
25	20	4	8	1,57	2,33	2,970	3,005	2,972	1,188	0,071
25	20	8	4	1,57	2,33	3,524	3,548	3,542	0,668	0,516
25	20	6	4	1,57	4,5	2,587	2,592	2,578	0,185	0,332
25	20	2	12	1,57	6,15	1,597	1,594	1,603	0,215	0,382
32,5	25	7,5	5	2,5	2,33	2,660	2,646	2,675	0,513	0,560
32,5	25	2,5	10	2,5	4,5	1,739	1,750	1,728	0,628	0,615
32,5	25	7,5	20	2,5	4,5	1,170	1,159	1,157	0,952	1,103
32,5	25	7,5	20	2,5	6,15	1,009	0,995	1,003	1,413	0,644
40	30	3	20	3,17	2,33	1,500	1,489	1,492	0,744	0,533
40	30	3	26	3,17	4,5	0,899	0,890	0,886	1,013	1,446
25	20	8	8	1,57	4,5	2,310	2,293	2,301	0,719	0,403
40	30	3	6	3,17	6,15	1,400	1,406	1,405	0,437	0,371
40	30	9	12	3,17	6,15	1,220	1,218	1,223	0,203	0,279
OYH									0,667	0,523

**Tablo 12.** Gerçeklenen EKMA'nın benzetim, ölçüm ve YSA sonuçları (The results of simulation, measurement and ANN for fabricated ECMA)

Yama boyutları (mm)				Besleme noktası		Rezonans frekansları (GHz)		
$L$	$W$	$l$	$w$	$x_f$	$y_f$	Benzetim [39]	Ölçüm [39]	YSA [39]
25,00	20,00	7,47	13,03	6,45	14,23	2,400	2,407	2,396

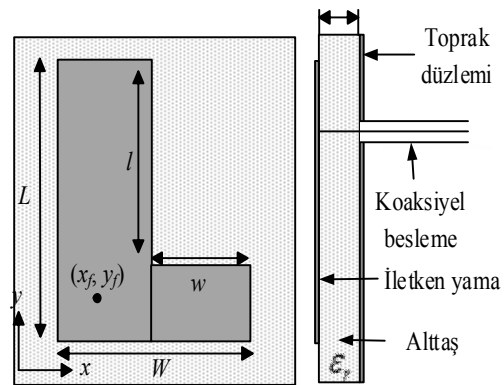
$h=1.57$  mm,  $\epsilon_r=2,33$ ,  $\tan\delta=0,0012$ , \* Rogers™ RT/duroid 5870

Bu çalışmada, benzetimleri yapılan 144 EKMA'dan 130'u YSA modelinin eğitiminde kullanılmış ve eğitim neticesinde OYH değeri % 0,257 olarak hesaplanmıştır. Geriye kalan ve eğitim sürecinde ağır görmediği 14 anten ise YSA modelinin testinde kullanılmıştır. Test neticesinde elde edilen sonuçlar Tablo 11'de, Toktaş ve Akdağlı, 2012 [47] tarafından önerilen formül sonuçları ile de karşılaştırılmıştır. Bu çalışma ile literatüre sunulan YSA modeli [39], aynı çalışma için gerçekleştirilmiş olan EKMA verileri ile de test edilmiş ve Tablo 12'de görüldüğü gibi başarılı bir sonuç elde edilmiştir.

### 3.4. L Şekilli Kompakt Mikroşerit Antenler (L Shaped Compact Microstrip Antennas)

LKMA, Şekil 7'de görüldüğü gibi boyutları ( $L \times W$ ) olan dikdörtgen yamanın ışın yapmayan kenarlarından birinde, ( $l \times w$ ) boyutlarında bir boşluğun açılmasıyla elde edilen yamanın, toprak düzlem üzerinde bulunan  $h$  yüksekliğindeki dielektrik malzemenin üzerine yerleştirilmesi ile

oluşturulmuştur [45-48]. Literatürde,  $L=50$  mm,  $W=45$  mm,  $l=22$ mm,  $w=20$ mm,  $h=8$  mm ve  $\epsilon_r=1,07$  fiziksel ve elektriksel parametrelerde LKMA'nın rezonans frekansı için benzetim ve ölçüm sonuçları [48] ve DMA'ya göre eşdeğer alan kullanarak iletken boyundaki uzamaya bağlı formüller [46] sunulmuştur.

**Şekil 7.** LKMA geometrisi (Geometry of LCMA)

Ayrıca, Kayabaşı vd. [40] tarafından 2014 yılında yapılan çalışma ile LKMA'ların rezonans frekansı hesabı için sırasıyla Tablo 13 ve 14'de ağ parametreleri verilen YSA ve BMSDUA modelleri önerilmiştir. YSA modeli 3 nöronlu bir gizli katmandan oluşmakta ve giriş ve gizli katmanlar için tanjant sigmoid fonksiyonu, çıkış katmanı için ise purelin fonksiyonu kullanılmıştır. BMSDUA modelinde ise giriş ve çıkış değerleri için üyelik fonksiyonu sayısı 22 olarak seçilmiştir.

Kayabaşı vd., 2014 [40], benzetimleri yapılan farklı fiziksel ve elektriksel parametrelere sahip 192 LKMA'nın 172'sini, YSA ve BMSDUA modellerinin eğitimi için kullanmışlar ve eğitim neticesinde OYH sırasıyla % 0,345 ve % 0,090 olarak hesaplamışlardır.

Tablo 15'de elektriksel ve fiziksel parametreleri verilen, eğitim aşamasında ağların görmediği 20 LKMA ise YSA ve BMSDUA'nın başarısını test etmek için kullanılmıştır. Tablo 16'da görüldüğü gibi test neticesinde YSA ve BMSDUA modelleri ile hesaplanan rezonans frekansları ile benzetim sonuçları arasındaki uyum oldukça iyidir ve test için OYH değeri sırasıyla % 0,533 ve % 0,461 olarak elde edilmiştir.

LKMA'ların rezonans frekansı hesabı için sunulan bu yaklaşımların doğruluğu ve geçerliliği hem aynı çalışmada ölçümü yapılan LKMA verileri, hem de literatürde [48] benzetimi ve ölçümü yapılan LKMA verileri ile de test edilmiştir. Test neticesinde Tablo 17'de görüldüğü gibi başarılı sonuçlar alınmıştır.

**Tablo 13.** LKMA'nın rezonans frekansı hesabında kullanılan YSA parametreleri (The ANN parameters used for computing the resonant frequency of LCMA's)

Parametreler	Değer
Giriş sayısı	6
Çıkış sayısı	1
Epok sayısı	250
Seed değeri	1446455104
Minimum gradient azalması	$10^{-10}$
Momentum katsayısı ( $\mu$ )	0.0001
$\mu$ değerindeki artış	4
$\mu$ değerindeki düşüş	0.1
Maksimum $\mu$ değeri	$10^{10}$

**Tablo 14.** LKMA'nın rezonans frekansı hesabında kullanılan BMSDUA parametreleri (The ANFIS parameters used for computing the resonant frequency of LCMA's)

Parametreler	Tip/değer
Giriş üyelik fonksiyonu	Gaussian
Çıkış üyelik fonksiyonu	Linear
Giriş sayısı	6
Çıkış sayısı	1
Bulanık kurallar sayısı	22
Üyelik fonksiyonlar sayısı	22
Epok	100
Etki aralığı	0.5
Sıkıştırma faktörü	1.25
Kabul oranı	0.5
Geri çevirme oranı	0.15
Nonlinear parametre sayısı	$6 \times 22 \times 2 = 264$
Linear parametre sayısı	$7 \times 22 = 154$
Düğüm sayısı	317
Eğitim veri çifti sayısı	172

**Tablo 15.** YSA ve BMSDUA modellerinin testi için kullanılan LKMA'ların fiziksel ve elektriksel parametreleri (The physical and electrical parameters of LCMA's used for ANN and ANFIS test process)

Anten sayısı	Yama boyutları (mm)						Rezonans frekansı (GHz)	
	L	W	l	w	h	$\epsilon_r$	Benzetim [40]	
1	30	25	15	8	1,57	2,33	2,969	
2	30	25	25	4	1,57	2,33	3,128	
3	30	25	25	12	1,57	2,33	2,640	
4	30	25	10	16	1,57	4,5	2,200	
5	30	25	10	4	1,57	6,15	2,013	
6	30	25	20	16	1,57	6,15	1,563	
7	30	25	20	16	1,57	9,8	1,244	
8	40	30	25	5	2,5	2,33	2,359	
9	40	30	30	20	2,5	2,33	1,844	
10	40	30	25	5	2,5	4,5	1,713	
11	40	30	35	10	2,5	4,5	1,650	
12	40	30	20	10	2,5	6,15	1,432	
13	40	30	30	20	2,5	6,15	1,183	
14	40	30	20	15	2,5	9,8	1,090	
15	50	35	30	6	3,17	2,33	1,904	
16	50	35	35	18	3,17	2,33	1,635	
17	50	35	35	6	3,17	4,5	1,380	
18	50	35	40	12	3,17	4,5	1,303	
19	50	35	35	12	3,17	6,15	1,114	
20	50	35	45	24	3,17	6,15	0,983	



**Tablo 16.** LKMA'lar için benzetim, YSA ve BMSDUA sonuçlarının karşılaştırılması (The comparison of the results of simulation, ANN and ANFIS for LCMA's)

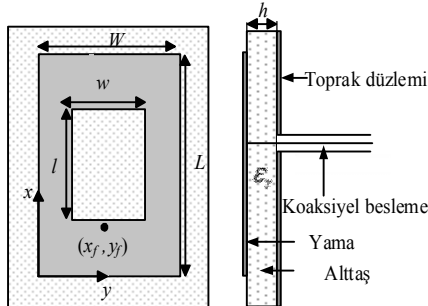
Anten sayısı	Rezonans frekansı (GHz)			Yüzelik hata (%)	
	Benzetim [40]	YSA [40]	BMSDUA [40]	H <sub>YSA</sub> [40]	H <sub>BMSDUA</sub> [40]
1	2,969	2,959	2,959	0,328	0,339
2	3,128	3,125	3,137	0,116	0,277
3	2,640	2,650	2,640	0,371	0,004
4	2,200	2,216	2,204	0,714	0,195
5	2,013	2,031	2,020	0,899	0,373
6	1,563	1,556	1,564	0,448	0,096
7	1,244	1,246	1,261	0,181	1,387
8	2,359	2,345	2,361	0,605	0,086
9	1,844	1,837	1,816	0,382	1,489
10	1,713	1,716	1,725	0,187	0,718
11	1,650	1,647	1,648	0,164	0,152
12	1,432	1,423	1,429	0,634	0,215
13	1,183	1,189	1,190	0,507	0,616
14	1,090	1,093	1,101	0,306	0,976
15	1,904	1,944	1,925	2,061	1,095
16	1,635	1,618	1,634	1,008	0,029
17	1,380	1,376	1,378	0,254	0,146
18	1,303	1,305	1,303	0,170	0,008
19	1,114	1,110	1,119	0,358	0,459
20	0,983	0,993	0,978	0,968	0,568
OYH				0,533	0,461

**Tablo 17.** LKMA'lar için [40] ve [48] sonuçları ile YSA ve BMSDUA sonuçlarının karşılaştırması (Comparison of the results of [40], [48] simulation and measurement for LCMA's)

LKMA	Rezonans frekansları (GHz)			Yüzelik hatalar (%)	
	Ölçüm	YSA	BMSDUA	YSA	BMSDUA
[46]	3,13	3,121	3,135	0,542	0,096
[54]	2,68	2,738	2,765	0,436	0,545

### 3.5 Dikdörtgen Halka Şekli Kompakt Mikroşerit Anten (Rectangular Ring Shaped Compact Microstrip Antennas)

Şekil 8'de görüldüğü gibi, DHKMA, ( $L \times W$ ) boyutlarındaki DMA'nın iletken yamasının merkezinde, simetrik olacak şekilde ( $l \times w$ ) ölçülerinde dikdörtgen bir boşluk açılması ile elde edilmektedir [11].

**Şekil 8.** DHKMA geometrisi (Geometry of RRCMA)

Deshmukh ve Kumar [11], 2007 yılında DHKMA'ların rezonans frekansı hesabı için iletken boyundaki uzamaya bağlı olarak farklı formüller önermişlerdir. Bu formüller,  $L=60$  mm,  $W=40$  mm,

$h=1,59$  mm ve  $\epsilon_r=2,33$  fiziksel ve elektriksel parametrelerde, farklı boşluk uzunluklarına sahip 7 benzetim verisi ile test edilmiştir. Akdağlı vd., 2014 [41] tarafından DHKMA'ların rezonans frekansı hesabı için Tablo 18'de ağ parametreleri verilen BMSDUA modeli önerilmiştir. BMSDUA modelinin eğitimi için IE3D™ ile benzetimi yapılan 108 DHKMA'nın 96'sı kullanılmış ve OYH % 0,014 olarak hesaplanmıştır. Benzetimi yapılan 108 DHKMA'nın içinden eğitim aşamasında ağın görmediği ve çözüm uzayını temsil edecek şekilde seçilen 12 anten eğitilen BMSDUA modelinin başarısını test etmek için kullanılmış ve hesaplanan rezonans frekans değerleri Tablo 19'da verilmiştir.

Yapay zeka tekniklerinden BMSDUA modelinin önerildiği bu yaklaşımın geçerliliğini göstermek için literatürde [11] verilen benzetim ve hesaplama sonuçları için de test işlemi uygulanmıştır. Tablo 20'de görüldüğü gibi BMSDUA'nın hesapladığı sonuçlar, Deshmukh ve Kumar, 2007 [11] tarafından hesaplanan sonuçlardan daha iyidir. Ayrıca BMSDUA modeli [41] aynı çalışmada ölçümü yapılan DHKMA verileri ile de test edilmiş ve Tablo 21'de görüldüğü başarılı sonuçlar alınmıştır.

**Tablo 18.** DHKMA'nın rezonans frekansı hesabında kullanılan BMSDUA parametreleri (The ANFIS parameters used for computing the resonant frequency of RRCMAs)

Parametreler	Tip/değer
Giriş üyelik fonksiyonu	Gaussian
Çıkış üyelik fonksiyonu	Linear
Giriş sayısı	6
Çıkış sayısı	1
Bulanık kurallar sayısı	30
Üyelik fonksiyonlar sayısı	30
Epok	100
Etki aralığı	0,5
Sıkıştırma faktörü	1,25
Kabul oranı	0,5
Geri çevirme oranı	0,15
Nonlineer parametre sayısı	$6 \times 30 \times 2 = 360$
Lineer parametre sayısı	$7 \times 30 = 210$
Düğüm sayısı	429
Eğitim veri çifti sayısı	96

**Tablo 19.** Test sonucunda BMSDUA ile belirlenen DHKMA rezonans frekansları (The resonant frequencies of RRCMAs determined by ANFIS for test process)

Anten sayısı	Yama boyutları (mm)					$\epsilon_r$	Rezonans frekansları (GHz)		Yüzdellik hata (%)
	$L$	$W$	$l$	$w$	$h$		Benzetim [41]	BMSDUA [41]	
1	30	20	12	8	3,175	2,2	3,153	3,155	0,063
2	40	30	10	16	3,175	2,2	2,207	2,219	0,544
3	50	40	18	14	3,175	2,2	1,861	1,850	0,591
4	60	40	24	18	3,175	2,2	1,506	1,505	0,066
5	30	20	8	8	1,6	4,4	2,170	2,171	0,046
6	40	30	14	16	1,6	4,4	1,450	1,431	1,310
7	50	40	24	18	1,6	4,4	1,199	1,218	1,585
8	60	40	24	18	1,6	4,4	1,007	0,996	1,092
9	30	20	8	8	0,64	10,2	1,373	1,373	0,000
10	40	30	10	16	0,64	10,2	0,910	0,923	1,429
11	50	40	18	18	0,64	10,2	0,750	0,756	0,800
12	60	40	18	18	0,64	10,2	0,641	0,644	0,468
OYH									0,666

**Tablo 20.** DHKMA benzetim ve hesaplama sonuçları [11] ile BMSDUA sonuçlarının [41] karşılaştırılması (The comparison of the results of simulation, calculation [11] and ANFIS for RRCMAs)

Yama boyutları (mm)					$\epsilon_r$	Rezonans frekansları (GHz)			Yüzdellik hata (%)	
$L$	$W$	$l$	$w$	$h$		Benzetim [11]	Formül [11]	BMSDUA [41]	$H_{[11]}$	$H_{BMSDUA}$
60	40	5	5	1,59	2,33	1,593	1,643	1,538	3,139	3,471
60	40	10	10	1,59	2,33	1,534	1,525	1,517	0,587	1,121
60	40	15	15	1,59	2,33	1,428	1,425	1,424	0,210	0,308
60	40	20	20	1,59	2,33	1,315	1,338	1,305	1,749	0,798
60	40	40	20	1,59	2,33	1,345	1,274	1,370	5,279	1,874
60	40	45	25	1,59	2,33	1,260	1,293	1,287	2,619	2,175
60	40	50	30	1,59	2,33	1,210	1,164	1,230	3,802	1,620
OYH									2,484	1,624

**Tablo 21.** DHKMA için benzetim, ölçüm ve BMSDUA sonuçlarını karşılaştırılması (The comparison of the results of simulation, measurement and ANFIS for RRCMAs)

DHKMA	Yama boyutları mm)						Rezonans frekansı (GHz)		
	$L$	$W$	$l$	$w$	$h$	$\epsilon_r$	Benzetim	Ölçüm	BMSDUA
[47]	35	25	18	10,15	1,575	2,33	2,437	2,439	2,456

#### 4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada, CKMA, HKMA, EKMA, LKMA ve DHKMA gibi oyuk yüklü KMA'ların rezonans frekansı hesabı için YSA ve BMSDUA ağlarının kullanıldığı, literatüre sunulmuş çalışmalar ve sonuçları ele alınmıştır. Literatürde sunulan çalışmalarda, YSA ve BMSDUA ağlarının eğitimi ve testi için veriler elektromanyetik benzetim programları kullanılarak elde edilmiştir. Ayrıca YSA ve BMSDUA modellerinin benzetim verilerinin dışında test etmek için daha önce yapılmış çalışmalardaki benzetim ve ölçüm sonuçları da kullanılmış ve literatürde önerilen diğer metotların sonuçları ile de karşılaştırılmıştır. Oyuk yüklü KMA'ların hesaplanan rezonans frekansı ve karşılaştırma sonuçlarına bakıldığında, yapay zeka tekniklerinin, KMA'ların rezonans frekansı hesapları için etkili ve başarılı bir şekilde kullanılabileceği görülmektedir. Bu çalışmalardan, KMA tasarımcılarının tasarlamak istedikleri antenlerin fiziksel ve elektriksel parametrelerini, YSA ve BMSDUA modellerini kullanarak hazırlanan programlara giriş verisi olarak girerek KMA'ların rezonans frekansını çok fazla zaman gerektirmeden büyük bir doğruluk içinde hesaplayabilecekleri görülmektedir.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Sainati, R. A. **CAD of Microstrip Antennas for Wireless Applications**, Nowood, MA: Artech House, 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**, Artech House, USA, 2003.
4. Sagiroglu, S. ve Güney, K., "Calculation of Resonant Frequency for an Equilateral Triangular Microstrip Antenna with the Use of Artificial Neural Networks", **Microwave and Optical Technology Letters**, Cilt 14, No 2, 89-93, 1997.
5. Güney, K. ve Gultekin, S. S., "Artificial Neural Networks for Resonant Frequency Calculation of Rectangular Microstrip Antennas with Thin and Thick Substrates", **International Journal of Infrared and Millimeter Waves**, Cilt 25, No 9, 1383-1399, 2004.
6. Güney, K. ve Sarıkaya, N. "Input Resistance Calculation for Circular Microstrip Antennas Using Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System", **International Journal of Infrared and Millimeter Waves**, Cilt 25, No 4, 703-716, 2004.
7. Krishna, D. D., Gopikrishna, M., Aanandan, C. K., Mohanan, P. ve Vasudevan, K., "Compact Dual Band Slot Loaded Circular Microstrip Antenna with a Superstrate", **Progress In Electromagnetics Research**, Cilt 83, 245-255, 2008.
8. Paulson, M., Kundukulam, S.O., Aanandan, C.K. ve Mohanan, P., "Resonance Frequencies of Compact Microstrip Antenna", **Electronics Letters**, Cilt 37, 1151-1153, 2001.
9. Gao, S.C., Li, L. W., Leong, M. S. ve Yeo, T. S., "Analysis of an H-Shaped Patch Antenna by Using FDTD Method", **Progress In Electromagnetics Research**, Cilt 34, 165-187, 2001.
10. Sheta, A.F., Mohra, A. ve Mahmoud, S.F., "Multi-Band Operation of a Compact H-Shaped Microstrip Antenna", **Microwave and Optical Technology Letters**, Cilt 35, 363-367, 2002.
11. Deshmukh, A. A. ve Kumar, G., "Formulation of Resonant Frequency for Compact Rectangular Microstrip Antennas", **Microwave and Optical Technology Letters**, Cilt 49, No 2, 498-501, 2007.
12. Akdağlı, A. Özdemir, C., Yamaçlı, S. ve Arcasoy, C. C., "Improved Formulas for the Resonant Frequencies of Dual Frequency Arrow Shaped Compact Microstrip Antenna", **Microwave and Optical Technology Letters**, Cilt 50, 62-65, 2008.
13. Akdağlı, A. ve Toktas, A. "A Novel Expression in Calculating Resonant Frequency of H-Shaped Compact Microstrip Antennas Obtained by Using Artificial Bee Colony Algorithm", **Journal of Electromagnetic Waves and Applications**, Cilt 24, No 14-15, 2049-4061, 2010.
14. Akdağlı, 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", **Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences**, Cilt 19, 597-606, 2011.
15. Toktas A., Akdağlı A., Bicer M.B., ve Kayabaşı, A., "Simple Formulas for Calculating Resonant Frequencies of C and H Shaped Compact Microstrip Antennas Obtained by Using Artificial Bee Colony Algorithm", **Journal of Electromagnetic Waves and Applications**, Cilt 25, 1718-1729, 2011.
16. Bhattacharyya, A. K. ve Garg, R., "A Generalized Transmission Line Model for Microstrip Patches", **IEEE Proceedings Microwave Antennas and Propagation**, Cilt 132, No 2, 93-98, 1985.
17. Richards, W. F., Lo, Y. T. ve Harrison, D. D., "An Improved Theory for Microstrip Antennas and Applications", **IEEE Transactions on Antennas and Propagation**, Cilt 29, 38-46, 1981.
18. Harrington, R. F., **Field Computation by Moment Methods**, IEEE Press, Piscataway, NJ, 1993.
19. Taflov, A., **Computational Electrodynamics: The Finite - Difference Time Domain Method**, Boston, Artech House, 1995.

20. Haykin, S., **Neural Networks: A Comprehensive Foundation**, Macmillan College Publishing Company, New York, A.B.D., 1994.
21. Turker, N., Gunes, F. ve Yildirim, T., "Artificial Neural Design of Microstrip Antennas", **Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer**, Cilt 14, No 3, 445-453, 2006.
22. Thakare, V. V. ve Singhal, P., "Microstrip Antenna Design Using Artificial Neural Networks", **International Journal of RF and Microwave Computer-Aided Engineering**, Cilt 20, 76-86, 2010.
23. Tighilt, Y., Bouttout, F. ve Khellaf A., "Modeling and Design of Printed Antennas Using Neural Networks", **International Journal of RF and Microwave Computer-Aided Engineering**, Cilt 21, 228-233, 2011.
24. Guney, K. ve Sarikaya, N., "Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System for Computing the Resonant Frequency of Circular Microstrip Antennas", **The Applied Computational Electromagnetic Society**, Cilt 19, No 3, 188-197, 2004.
25. Jang, J. S. R., "ANFIS: Adaptive-Network-Based Fuzzy Inference System", **IEEE Transactions on Systems**, Cilt 23, No 3, 665-685, 1993.
26. Jang, J.-S.R., "Self-Learning Fuzzy Controllers Based on Temporal Backpropagation", **IEEE Transactions on Neural Networks**, Cilt 3, No 5, 714-723, 1992.
27. Sagirolu, S., Güney, K. ve Erler, M., "Resonant Frequency Calculation for Circular Microstrip Antennas Using Artificial Neural Networks", **International Journal of RF and Microwave Computer-Aided Engineering**, Cilt 8, 270-277, 1998.
28. Karaboğa, D., Güney K., Sağıroğlu S. ve Erler M., "Neural Computation of Resonant Frequency of Electrically Thin and Thick Rectangular Microstrip Antennas", **IEE Proceedings Microwave Antennas and Propagation**, Cilt 146, No 2, 155-159, 1999.
29. Koçer, D., **Daire ve Dikdörtgen Geometrik Yapılı Mikroşerit Antenlerin Simülasyonu ve Rezonans Frekanslarının Yapay Sinir Ağları ile Belirlenmesi**, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2009.
30. Merad L., Bendimerad F. T. ve Meriah, S. M., "Design and Resonant Frequency Calculation of Rectangular Microstrip Antennas", **International Journal of Numerical Modelling: Electronic Networks, Devices and Fields**, Cilt 24, 144-153, 2011.
31. Yildiz, C., Gultekin, S., Guney, K. ve Sagirolu, S., "Neural Models for the Resonant Frequency of Electrically Thin and Thick Circular Microstrip Antennas and the Characteristic Parameters of Asymmetric Coplanar Waveguides Backed with a Conductor", **International Journal of Electronics and Communications**, Cilt 56, No 6, 396-406, 2002.
32. Brinholo, E. R. Destro, J. F. Z., de Freitas, A. A. C. ve de Alcantara, N. P. Jr., "Determination of Resonant Frequencies of Triangular and Rectangular Microstrip Antennas, Using Artificial Neural Networks", **Progress In Electromagnetics Research Symposium**, Hangzhou, China, 22-26, 579-582, 2005.
33. Gupta, P., Gupta, R., Sharma, R. ve Yadav, B., "Calculation of Resonating Frequency of an Equilateral Triangular Microstrip Antenna Using Artificial Neural Network", **Advanced Computational Techniques in Electromagnetics**, Article ID acte-00126, 8 Pages doi: 10.5899/2013/acte-00126, 2013.
34. Ouchar, A., Aksas, R. and Baudrand, H., "Artificial Neural Network for Computing the Resonant Frequency of Circular Patch Antennas," **Microwave and Optical Technology Letters**, Cilt 47, No 6, 564-566, 2005.
35. Sarıkaya Baştürk N., **Bulanik Mantik Sistemleri ile Çeşitli Tipteki Mikroşerit Antenlerin Karakteristik Parametrelerinin Hesaplanması**, Doktora Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2009.
36. Angiulli, G. ve Versaci, M., "Resonant Frequency Evaluation of Microstrip Antennas Using a Neural-Fuzzy Approach", **IEEE Transactions on Magnetics**, Cilt 39, No 3, 1333-1336, 2003.
37. Akdağlı A., Kayabaşı A. ve Develi İ., "Computing Resonant Frequency of C-Shaped Compact Microstrip Antennas by Using ANFIS", **International Journal of Electronics**, Cilt 102, No 3, 407-417, 2014.
38. Kayabaşı A., Bicer M. B., Akdağlı 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.
39. Akdağlı A., Toktas A., Kayabaşı A. ve Develi İ., "An Application of Artificial Neural Network to Compute the Resonant Frequency of E-Shaped Compact Microstrip Antennas", **Journal of Electrical Engineering- Elektrotechnicky Casopis**, Cilt 64, No 5, 317-322, 2013.
40. Kayabaşı A., Toktas A., Akdağlı A., Bicer M. B. ve Ustun D., "Applications of ANN and ANFIS to Predict the Resonant Frequency of L-shaped Compact Microstrip Antennas", **The Applied Computational Electromagnetic Society**, Cilt 29, No 6, 460-469, 2014.
41. Akdağlı A., Toktas A., Bicer M. B., Kayabaşı A., Ustun D., ve Kurt K., "ANFIS Model for Determining Resonant Frequency of Rectangular Ring Compact Microstrip Antennas", **International Journal of Applied**

- Electromagnetics Mechanics**, in the status of pre-press, Cilt 46, 483-490, 2014.
42. Ooi B. L ve Shen Q., “A Novel E-Shaped Broadband Microstrip Patch Antenna”, **Microwave and Optical Technology Letters**, Cilt 27, No 5, 348-352, 2000.
  43. Yang, F., Zhang, X. X., Ye, X. N. ve Rahmat-Samii, Y., “Wide-Band E-Shaped Patch Antennas for Wireless Communications”, **IEEE Transactions on Antennas and Propagation**, Cilt 49, 1094-1100, 2001.
  44. 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”, **Microwave and Optical Technology Letters**, Cilt 48, 1561-1563, 2006.
  45. Neog, D. K. ve Devi, R., “Determination of Resonant Frequency of Slot-Loaded Rectangular Microstrip Patch Antennas”, **Microwave and Optical Technology Letters**, Cilt 52, No 2, 446-448, 2010.
  46. Gunel, T., “Modified Resonant Frequency Calculation for E-Shaped and H-Shaped Microstrip Patch Antennas”, **Microwave and Optical Technology Letters**, Cilt 53, 2348-2351, 2011.
  47. Toktas A. ve Akdagli A., “Computation of Resonant Frequency of E-Shaped Compact Microstrip Antennas”, **Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University**, Cilt 27, 847-854, 2012.
  48. Chen, Z.N., “Radiation Pattern of A Probe Fed L-Shaped Plate Antenna”, **Microwave and Optical Technology Letters**, Cilt 27, 410-413, 2000.

