

KOAKSİYEL VE ELEKTROMANYETİK KUPLAJ BESLEMELİ KOMPAKT ÇİFT FREKANSLI OK BİÇİMLİ MİKROŞERİT ANTENLERİN REZONANS FREKANSININ BULANIK MANTIK SİSTEMİNE DAYALI UYARLANIR AĞ İLE HESAPLANMASI

Kerim GÜNEY¹

Nurcan SARIKAYA²

Ali AKDAĞLI³

^{1,3} Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi
Erciyes Üniversitesi, 38039, Kayseri

² Uçak Elektrik-Elektronik Bölümü, Sivil Havacılık Yüksekokulu
Erciyes Üniversitesi, 38039, Kayseri

¹e-posta: kguney@erciyes.edu.tr ²e-posta: nurcanb@erciyes.edu.tr
³e-posta: akdagli@erciyes.edu.tr

Anahtar sözcükler: Mikroşerit Antenler, Rezonans Frekansı, Bulanık Mantık

ABSTRACT

A new method based on the adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS) for calculating the resonance frequencies for a compact dual frequency arrow-shaped microstrip antenna is presented. The ANFIS is a class of adaptive networks which are functionally equivalent to fuzzy inference systems. It combines the powerful features of fuzzy inference system with those of neural networks to achieve a desired performance. A hybrid learning algorithm based on the least square method and the backpropagation algorithm is used to identify the parameters of ANFIS. The resonance frequencies results obtained by using ANFIS are in good agreement with the results available in the literature.

1. GİRİŞ

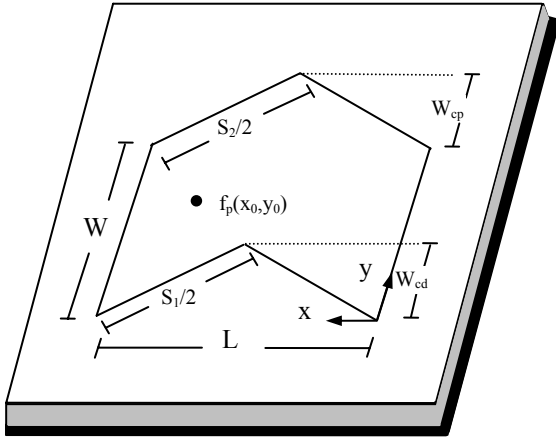
Son yıllarda mikroşerit antenler, uzay araçlarında, uçaklarda, radarlarda, uydu haberleşmesinde, güdümlü mermi gibi bir çok askeri alanda, adaptif anten dizilerinde ve biomedikal uygulamalarda geniş bir şekilde kullanılmaktadır [1-3]. Yaklaşık olarak 100 MHz'den 80 GHz'e kadar geniş bir frekans aralığında kullanılan mikroşerit antenlerin bilinen mikrodalga antenlerine göre bazı üstünlükleri şu şekilde sıralanabilir: Hafifliği, küçük hacimli olması, düşük üretim maliyeti, düzlemsel biçimliliği nedeniyle kullanışlı olması, besleme konumundaki ufak değişikliklerle doğrusal ve dairesel kutuplanmış ışıma yapabilmeleri, osilatörler, yükselteçler, anahtarlar, modülatörler, karıştırıcılar v.s. gibi katı hal araçlarının mikroşerit antenlerin tabanına ilave edilerek bileşik sistemlerin geliştirilebilmesi, besleyici hatları ve uyumlandırma devrelerinin antenle birlikte aynı zamanda üretilebilir biçimde olmasıdır. Mikroşerit antenler dar band genişliğine sahip oldukları ve yalnız

rezonans frekansının komşuluğunda verimli olarak çalışabildikleri için bu tür antenlerin rezonans frekansının doğru olarak belirlenmesi gerekmektedir. Literatürde, kompakt silindirik mikroşerit antenlerin [4] TM_{10} modu için, geniş band çift frekanslı mikroşerit antenlerin [5] ve kompakt çift frekanslı mikroşerit antenlerin [6] TM_{10} ve TM_{01} modları için rezonans frekansının hesaplanmasına yönelik analitik yöntemler mevcuttur. Bu çalışmada, bulanık mantık sistemine dayalı uyarlanırlık ağı (BMSDUA) [7], koaksiyel ve elektromanyetik kuplaj beslemeli kompakt çift frekanslı ok biçimli mikroşerit antenlerin hem TM_{10} hem de TM_{01} mod rezonans frekanslarını hesaplamak için alternatif bir çözüm yöntemi olarak sunulmuştur.

Bulanık mantık ve yapay sinir ağları son yıllarda pek çok mühendislik probleminin çözümünde kullanılmıştır. Bulanık mantığın yaygın olarak kullanılmasının en önemli sebepleri; anlaşılmasının kolay olması, esnek bir yapıya sahip olması, kesin olarak bilinmeyen verileri tolere etme ve lineer olmayan fonksiyonları modelleyebilme özelliğidir. Yapay sinir ağları ise, öğrenme yeteneği, kolayca farklı problemlere uyarlanabilirliği, genelleme yapabilmesi, daha az bilgi gerektirmesi, paralel yapılarından dolayı hızlı çalışabilme yeteneği ve kolay bir şekilde uygulanabilmesi gibi pek çok avantaja sahiptir. Bu çalışmada, hem YSA'ların hem de bulanık mantık sistemlerinin cazip özelliklerini birleştiren BMSDUA yöntemi ile koaksiyel ve elektromanyetik kuplaj beslemeli kompakt çift frekanslı ok biçimli mikroşerit antenlerin TM_{10} ve TM_{01} mod rezonans frekansları hesaplanmıştır. Daha önceki çalışmalarda da [8-10] BMSDUA, farklı mikroşerit anten yapılarının çeşitli karakteristik parametrelerini başarılı bir şekilde hesaplamak amacıyla kullanılmıştır.

2. KOAKSİYEL BESLEMELİ OK BİÇİMLİ MİKROŞERİT ANTEN

Şekil-1’de, bilinen standart dikdörtgen yamalı mikroşerit antenlere göre %65 den daha fazlaya varan alan tasarrufu ile benzer ışıma karakteristiği gösterebilen ok biçimli mikroşerit anten geometrisi verilmiştir [6]. Burada L yama uzunluğu, W yama genişliği, W_{cd} ve W_{cp} yama girinti ve çıkıntı yükseklikleri, S_1 ve S_2 yama eğim uzunlukları, h taban kalınlığı ve ϵ_r taban dielektrik sabitidir. Çift frekanslı ok biçimli mikroşerit antenin TM_{10} ve TM_{01} mod frekanslarını uyarmak için, anten $f_p(x_0, y_0)$ noktasından koaksiyel beslenmiştir.



Şekil 1: Koaksiyel beslemeli ok biçimli mikroşerit anten geometrisi.

Şekil-1’de gösterilen çift frekanslı ok biçimli mikroşerit antenin f_{10} ve f_{01} rezonans frekansları, dikdörtgen mikroşerit antenin rezonans frekansını hesaplamak için kullanılan standart denklemlerin W_{cd} ve W_{cp} yama girinti ve çıkıntı uzunlukları dikkate alınarak yeniden düzenlenmesi ile elde edilen aşağıda verilen ifadelerden hesaplanabilir [6].

$$f_{10} = \frac{c}{2(S_{eff} + 2\Delta l_1)\sqrt{\epsilon_1}} \quad (1)$$

$$f_{01} = \frac{c}{2(W_{eff} + 2\Delta l_2)\sqrt{\epsilon_2}} \quad (2)$$

Burada c boşlukta elektromanyetik dalgaların hızıdır. Eşitlik (1) için ϵ_1 ve Δl_1

$$\epsilon_1 = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2}(1 + 12h/W)^{-1/2} \quad (3)$$

$$\Delta l_1 = \frac{0.412h(\epsilon_1 + 0.3)(W/h + 0.258)}{(\epsilon_1 - 0.258)(W/h + 0.8)} \quad (4)$$

ile verilir. Eşitlik (2) için ϵ_2 ve Δl_2 ise sırasıyla eşitlik (3) ve (4) de W yerine S konularak hesaplanır. Burada S , $(S_1 + S_2)/2$ ’ye eşittir. Efektif uzunluk S_{eff} ve efektif genişlik W_{eff} , $L < W$ için eşitlik (5) ve $L \geq W$ için eşitlik (6) kullanılarak hesaplanır [6].

$$\left. \begin{aligned} S_{eff} &= S_1 - (0.0001/L) + 0.01W \\ &- 0.68(W_{cd} - 0.01) - 0.03(W_{cp} - 0.01) \\ W_{eff} &= W + 0.58W_{cp} - 0.43W_{cd} \end{aligned} \right\} W_{cd}/W \leq 0.5$$

$$\left. \begin{aligned} S_{eff} &= 0.5(S_1 + L) + 0.4W_{cd} - 0.175W \\ &- 0.03(W_{cp} - 0.01) \\ W_{eff} &= 0.78W + 0.025W_{cd} + 0.49W_{cp} \end{aligned} \right\} W_{cd}/W > 0.5 \quad (5)$$

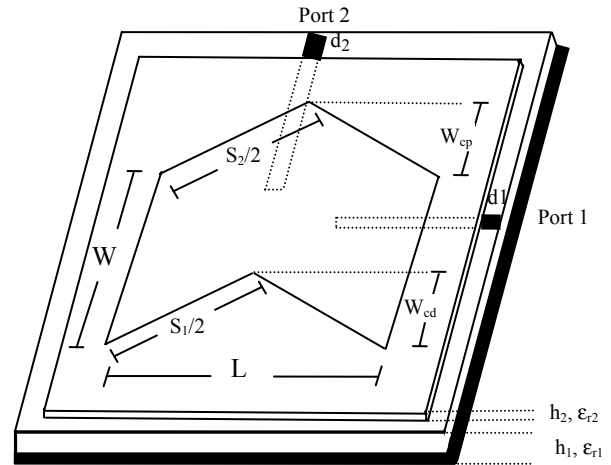
$$S_{eff} = S_1 + 2.3(L - 2W - 0.0046/L)W_{cd} + 0.00006/L - 0.01(W_{cp} - 0.01), \quad W_{cd}/W < 1;$$

$$W_{eff} = W + 0.58W_{cp} - 0.43W_{cd} + 0.0023(L - W)/W, \quad W_{cd}/W \leq 0.5; \quad (6)$$

$$W_{eff} = 0.78W + 0.025W_{cd} + 0.49W_{cp} + 0.0025W_{cd}/W + 0.17(L - W - 0.01), \quad W_{cd}/W > 0.5.$$

3. ELEKTROMANYETİK KUPLAJLI ÇİFT PORTLU OK BİÇİMLİ MİKROŞERİT ANTEN

İki kutuplama arasındaki karışımı engellemek ve portlar arasında mükemmel bir yalıtım elde etmek amacıyla iki dikey mikroşerit besleme hattı kullanılarak, koaksiyel beslemeli ok biçimli mikroşerit antenin yeniden yapılandırılması ile oluşturulmuş elektromanyetik kuplaj ile beslenmiş çift portlu ok biçimli mikroşerit anten geometrisi Şekil-2’de görülmektedir [6]. Bu antenin f_{10} ve f_{01} rezonans frekansları (1-6) eşitliklerinde h yerine $h_1 + h_2$ ve ϵ_r yerine de ϵ_{r1} ve ϵ_{r2} konularak hesaplanır.



Şekil 2: Elektromanyetik kuplaj beslemeli ok biçimli mikroşerit anten geometrisi.

Şekil-2'den görüldüğü gibi h_1 ve h_2 dielektrik taban kalınlıkları, ϵ_{r1} ve ϵ_{r2} dielektrik sabitleridir.

4. BULANIK MANTIK SİSTEMİNE DAYALI UYARLANIR AĞ (BMSDUA)

Kullanışlı bir hesaplama yapısı olan bulanık mantık sistemleri; bulanık küme teorisi, bulanık eğer-ise kural dizisi ve bulanık muhakeme kavramlarına dayanır. BMSDUA, bulanık mantık sistemlerine fonksiyonel olarak eşdeğer olan bir çeşit uyarlanabilir ağıdır [7]. Bulanık mantık sisteminin parametreleri optimum olarak belirlenmelidir. BMSDUA'nın temel amacı, eşdeğer bulanık mantık sisteminin parametrelerini, giriş-çıkış veri kümelerini kullanıp bir öğrenme algoritması vasıtasıyla optimize etmektir. Parametre optimizasyonu, gerçek çıkış ile hedef çıkış arasındaki hata değeri minimum olacak şekilde yapılmaktadır.

Tipik bir BMSDUA yapısı, Şekil-3'de verilmiştir. Burada, sabit düğümler daire, uyarlanırlar düğümler ise kare şeklinde gösterilmiştir. Basit olması açısından, BMSDUA'nın x ve y gibi iki girişinin ve z gibi bir çıkışının olduğu kabul edilmiştir. BMSDUA için, bu çalışmada birinci dereceden Sugeno bulanık modeli kullanılmıştır. Bu model için tipik bir kural seti olan iki bulanık eğer-ise kuralı aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

Kural 1: Eğer x , A_1 ve y , B_1 ise $z_1 = p_1x + q_1y + r_1$ (7a)

Kural 2: Eğer x , A_2 ve y , B_2 ise $z_2 = p_2x + q_2y + r_2$ (7b)

Burada A_i ve B_i başlangıçtaki bulanık kümelerdir, p_i , q_i ve r_i eğitime işlemi boyunca belirlenen tasarım parametreleridir. BMSDUA, Şekil-3'de olduğu gibi beş katmandan oluşmaktadır:

1. Katman: Birinci katmandaki her bir düğüm aşağıda verilen bir düğüm fonksiyonunu kullanır.

$$O_i^1 = \mu_{A_i}(x), \quad i = 1, 2 \quad (8a)$$

$$O_i^1 = \mu_{B_{i-2}}(y), \quad i = 3, 4 \quad (8b)$$

Burada $\mu_{A_i}(x)$ ve $\mu_{B_{i-2}}(y)$ herhangi bir bulanık üyelik fonksiyonuna uyumlandırılabilir. Bu çalışmada aşağıdaki üçgen, gauss ve genelleştirilmiş çan üyelik fonksiyonları kullanılmıştır.

$$\text{üçgen}(x; a, b, c) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b}, & b \leq x \leq c \\ 0, & c \leq x \end{cases} \quad (9a)$$

$$\text{gauss}(x; c, \sigma) = e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-c}{\sigma}\right)^2} \quad (9b)$$

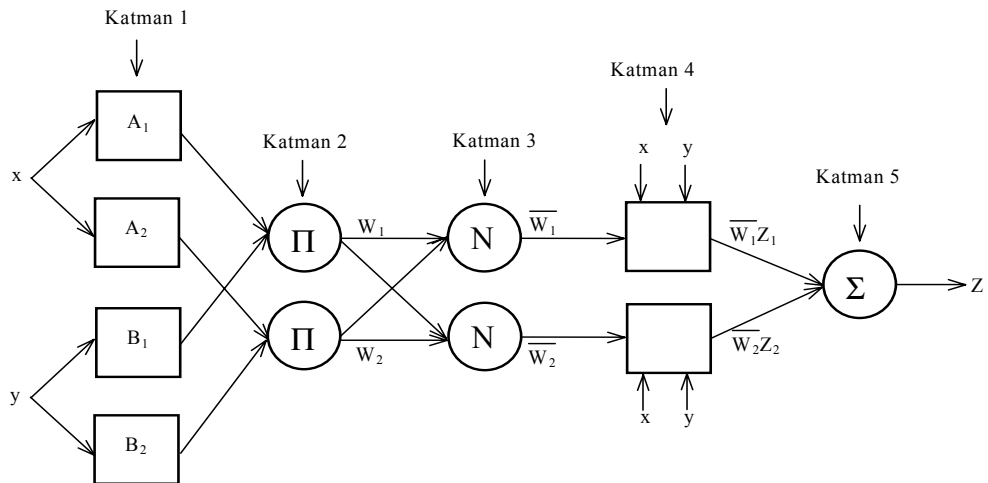
$$\text{genelleştirilmiş çan}(x; a, b, c) = \frac{1}{1 + \left|\frac{x-c}{a}\right|^{2b}} \quad (9c)$$

Burada $\{a_i, b_i, c_i, \sigma_i\}$ üyelik fonksiyonunun şeklini değiştiren parametreler kümesidir. Bu katmandaki parametreler lineer olmayan parametreler olarak bilinir.

2. Katman: Bu katmandaki her bir düğüm, kuralların çarpımı ile elde edilen ağırlığı

$$O_i^2 = \omega_i = \mu_{A_i}(x) \mu_{B_i}(y), \quad i = 1, 2 \quad (10)$$

şeklinde hesaplar.



Şekil-3. BMSDUA yapısı.

3. Katman: Bu katmandaki i 'nci düğüm, i 'nci kuralın ağırlığının tüm ağırlıkların toplamına oranını aşağıdaki şekilde belirler.

$$O_i^3 = \overline{\omega_i} = \frac{\omega_i}{\omega_1 + \omega_2}, \quad i = 1, 2 \quad (11)$$

Burada $\overline{\omega_i}$ normalize edilmiş ağırlık olarak adlandırılır.

4. Katman: Bu katmanda, her bir i düğümü aşağıdaki fonksiyona sahiptir:

$$O_i^4 = \overline{\omega_i z_i} = \overline{\omega_i (p_i x + q_i y + r_i)}, \quad i = 1, 2 \quad (12)$$

Burada $\overline{\omega_i}$ üçüncü katmanın çıkışıdır ve $\{p_i, q_i, r_i\}$ parametre setidir. Bu katmandaki parametreler, lineer parametreler olarak bilinir.

5. Katman: Bu katmanda tek bir düğüm, gelen bütün işaretlerin toplamı olan genel çıkışı aşağıda ifade edildiği gibi hesaplar:

$$O_1^5 = \sum_{i=1}^2 \overline{\omega_i z_i} = \frac{\omega_1 z_1 + \omega_2 z_2}{\omega_1 + \omega_2} \quad (13)$$

Açıkça ki, BMSDUA'nın, lineer ve lineer olmayan parametreler olarak isimlendirilen ayarlanabilir iki parametre seti vardır. Eğitim işlemi boyunca, birinci katmandaki lineer olmayan parametreler ve dördüncü katmandaki lineer parametreler, bulanık mantık sistemi arzu edilen cevaba ulaşana dek ayarlanır. Bu çalışmada, en küçük kareler metodu ve geri yayılım algoritmalarının birleşmiş hali olan melez öğrenme algoritması [7], bulanık mantık sistemini eğitim ve uyarlamada kullanılmıştır. Bu algoritmanın yakınsaması, geri yayılım algoritmasının araştırma süresinin boyutunu küçülttüğü için çok daha hızlıdır. Üyelik fonksiyonlarının lineer olmayan parametre değerleri sabit tutulduğunda, BMSDUA'nın çıkışı lineer parametrelerin bir lineer kombinasyonu olarak yazılabilir:

$$z = (\overline{\omega_1 x})p_1 + (\overline{\omega_1 y})q_1 + (\overline{\omega_1})r_1 + (\overline{\omega_2 x})p_2 + (\overline{\omega_2 y})q_2 + (\overline{\omega_2})r_2 \quad (14)$$

En küçük kareler metodu, lineer parametrelerin optimum değerlerini belirlemede kullanılabilir. Lineer olmayan parametreler sabit tutulmadığında, araştırma uzayı büyür ve eğitim yakınsaması yavaşlar. Melez öğrenme algoritması ile bu problem çözülebilir.

5. BMSDUA İLE REZONANS FREKANSININ HESABI

Bu çalışmada BMSDUA, koaksiyel ve elektromanyetik kuplaj beslemeli kompakt çift frekanslı ok biçimli mikroşerit antenlerin TM_{10} ve TM_{01} mod rezonans frekanslarının hesaplanması için

uyarlanmıştır. BMSDUA'nın girişleri, L , W , W_{cp} , W_{cd} , h ve ϵ_r 'dir. BMSDUA'nın çıkışı ise, üç boyutlu mikroşerit antenlerin analizi ve tasarımı için yaygın bir şekilde kullanılan ve tümleşik bir tam dalga elektromanyetik benzetim ve optimizasyon yazılım paketi olan IE3D [11] ile hesaplanan f_{10} ve f_{01} rezonans frekansları değerleridir. Tablo-1'de verilen ilk 19'u koaksiyel beslemeli ve son 9'u elektromanyetik kuplaj beslemeli kompakt çift frekanslı ok biçimli mikroşerit antene ait toplam 28 veri [6, 11] BMSDUA'yı eğitmek ve test etmek için kullanılmıştır. Bu 28 veriden, 23'ü ağı eğitmek için 5'i ise ağı test etmek için kullanılmıştır. Melez öğrenme algoritması kullanılarak BMSDUA eğitilmiştir. Eğitimden önce giriş ve çıkış veri kümeleri 0 ile 1 arasında normalize edilmiştir. Eğitim için epok sayısı 21'dir. Giriş değişkenleri L , W , W_{cp} , W_{cd} , h ve ϵ_r için üyelik fonksiyon sayıları 2'dir. Bu durumda kural sayısı 64 ($2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2 = 64$)'dür. Giriş değişkenleri L , W , W_{cp} , W_{cd} , h ve ϵ_r için üyelik fonksiyonları sırasıyla üçgen, gauss, genelleştirilmiş çan eğrisi, gauss, genelleştirilmiş çan eğrisi, ve genelleştirilmiş çan eğrisi'dir. Eşitlik (9)'dan açıkça görüldüğü gibi, üçgen, gauss ve genelleştirilmiş çan eğrisi üyelik fonksiyonları sırasıyla 3, 2 ve 3 parametreye sahiptirler. Böylece BMSDUA, 32 ($2 \times 3 + 2 \times 2 + 2 \times 3 + 2 \times 2 + 2 \times 3 + 2 \times 3 = 32$) lineer olmayan parametre ve 448 ($7 \times 64 = 448$) lineer parametre olmak üzere toplam 480 parametre içermektedir.

Koaksiyel ve elektromanyetik kuplaj beslemeli kompakt çift frekanslı ok biçimli mikroşerit antenler için BMSDUA yöntemi ile elde edilen f_{10} ve f_{01} rezonans frekans sonuçları, IE3D [11] ve analitik yöntemler [6] kullanılarak elde edilen rezonans frekansı hesaplama sonuçları ile Tablo-1'de karşılaştırılmıştır. BMSDUA yöntemi ile elde edilen sonuçların IE3D ile elde edilen hesaplama sonuçları ile çok iyi bir uyumluluk içerisinde olduğu Tablo-1'den açıkça görülmektedir. IE3D sonuçları ile analitik yöntemin [6] sonuçları arasındaki mutlak hataların toplamı, f_{10} için 0.3396 GHz ve f_{01} için 0.4010 GHz'dir. IE3D sonuçları ile bu çalışmada sunulan BMSDUA yönteminin sonuçları arasındaki mutlak hataların toplamı ise f_{10} için 0.0720 GHz ve f_{01} için 0.0032 GHz'dir.

6. SONUÇLAR

Koaksiyel ve elektromanyetik kuplaj beslemeli kompakt çift frekanslı ok biçimli mikroşerit antenlerin TM_{10} ve TM_{01} mod rezonans frekansları, hem bulanık mantık sistemlerinin hem de YSA'ların cazip özelliklerini birleştiren BMSDUA yöntemi ile başarılı bir şekilde hesaplanmıştır. BMSDUA yöntemi ile elde edilen sonuçların, IE3D'nin sonuçlarıyla çok iyi bir uyumluluk içerisinde olduğu gösterilmiştir. Sunulan yöntemin avantajları, kolaylıkla uygulanabilmesi ve elde edilen sonuçların doğruluğudur.

Tablo 1. Koaksiyel ve elektromanyetik kuplaj beslemeli kompakt çift frekanslı ok biçimli mikroşerit antenler için BMSDUA yöntemi ile elde edilen sonuçların, IE3D [6, 11] ve analitik yöntem [6] ile elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılması.

No	L (cm)	W (cm)	W _{cp} (cm)	W _{cd} (cm)	h (cm)	ϵ_r	TM ₁₀ mod f_{10} (GHz)			TM ₀₁ mod f_{01} (GHz)		
							f_{IE3D} [6, 11]	f_{ku} [6]	Sunulan BMSDUA Yöntemi	f_{IE3D} [6, 11]	f_{ku} [6]	Sunulan BMSDUA Yöntemi
1	3	4	0.5	1	0.160	4.28	2.1590	2.1611	2.1590	1.8860	1.8831	1.8860
2	3	4	2	1	0.160	4.28	2.1720	2.1895	2.1720	1.5470	1.5366	1.5470
3	3	5	1	3	0.160	4.28	1.4120	1.4017	1.4120	1.6050	1.6175	1.6050
4	3	6	2	1	0.160	4.28	2.1630	2.1550	2.1630	1.1110	1.0898	1.1110
5	3	6	1	5	0.160	4.28	0.9661	0.9512	0.9661	1.3720	1.3618	1.3720
6	4	5	1	1	0.160	4.28	1.6910	1.6893	1.6910	1.4240	1.4134	1.4240
7	4	7	1	1	0.160	4.28	1.6870	1.6694	1.6870	1.0350	1.0261	1.0350
8*	5	6	0.5	1	0.160	4.28	1.3760	1.3750	1.3710	1.2450	1.2415	1.2450
9	7	5	1	4	0.160	4.28	0.7455	0.7480	0.7455	1.4740	1.4738	1.4740
10	7	4	2	1	0.160	4.28	1.0380	1.0375	1.0380	1.4680	1.4652	1.4680
11	5	5	1	1	0.320	2.20	1.9030	1.9002	1.9030	1.9030	1.9066	1.9030
12*	7	5	1	1	0.320	2.20	1.3740	1.4003	1.3780	1.8620	1.8625	1.8630
13	8	5	1	1	0.320	2.20	1.2170	1.2356	1.2170	1.8470	1.8427	1.8470
14	3	5	1	1	0.080	2.20	2.9820	3.0031	2.9820	1.9870	1.9620	1.9870
15	6	5	1	1	0.080	2.20	1.6200	1.6394	1.6200	1.9540	1.9330	1.9540
16	8	5	1	1	0.080	2.20	1.2340	1.2435	1.2340	1.9250	1.8962	1.9250
17*	4	5	1	1	0.066	10.2	1.1120	1.1026	1.1260	0.9318	0.9183	0.9318
18	3	5	1	4	0.066	10.2	0.7419	0.7283	0.7419	1.0670	1.0440	1.0670
19	3	5	1	1	0.066	10.2	1.4250	1.4126	1.4250	0.9389	0.9218	0.9389
20	3	5	1	1	0.320	4.28	2.0800	2.1070	2.0800	1.3950	1.4175	1.3950
21*	4	5	1	1	0.320	4.28	1.6450	1.6690	1.6930	1.3790	1.4057	1.3770
22	5	5	1	1	0.320	4.28	1.3680	1.3926	1.3680	1.3630	1.3963	1.3630
23	4	7	1	1	0.320	4.28	1.6330	1.6433	1.6330	1.0130	1.0280	1.0130
24	5	7	1	1	0.320	4.28	1.3430	1.3582	1.3430	1.0080	1.0210	1.0080
25	6	7	1	1	0.320	4.28	1.1480	1.1557	1.1480	1.0030	1.0570	1.0030
26*	3	5	1	1	0.132	10.2	1.4090	1.4084	1.4100	0.9364	0.9278	0.9366
27	4	5	1	1	0.132	10.2	1.1120	1.1030	1.1120	0.9295	0.9220	0.9295
28	5	5	1	1	0.132	10.2	0.9263	0.9143	0.9263	0.9172	0.9176	0.9172

*Test Verileri

KAYNAKLAR

- [1] Bahl I. J., Bhartia P., Microstrip Antennas, Artech House, Dedham, MA, 1980.
- [2] James J. R., Hall P. S., Wood, C., Microstrip Antennas-Theory and Design, Peter Peregrinus Ltd., London, 1981.
- [3] Garg R., Bhartia P., Bahl I. J., Ittipiboon A., Microstrip Antenna Design Handbook, Artech House, Dedham, MA, 2000.
- [4] George J., Deepukumar M., Aanandan C.K., Mohanan P., Nair K.G., New compact microstrip antenna, ELECT LETT, Vol. 32, pp. 508–509, 1996
- [5] Deepukumar M., George J., Aanandan C.K., Mohanan P., Nair K.G., Broadband dual frequency microstrip antenna, ELECT LETT, Vol. 32, 1531–1532, 1996.
- [6] Kundukulan S. O., Paulson M., Aanandan C.K., Mohanan P., Analytical Equations for Compact Dual Frequency Microstrip Antenna, INT J OF RF AND MICROWAVE CAE, Vol.12, pp. 477-482, 2002.
- [7] Jang J.-S. R., ANFIS: Adaptive-Network-Based Fuzzy Inference System, IEEE TRANS SYSTEMS, MAN AND CYBERNETICS, Vol. 23, pp. 665-685, 1993.
- [8] Guney, K., Sarikaya, N., Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System for the Input Resistance Computation of Rectangular Microstrip Antennas With Thin and Thick Substrates, J OF ELECTROMAGNETIC WAVES AND APP (JEW), Vol. 18, No. 1, pp. 23-39, 2004.
- [9] Guney, K., Sarikaya, N., Computation of Resonant Frequency for Equilateral Triangular Microstrip Antennas Using the Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System, INT J OF RF AND MICROWAVE CAE, Vol. 14, pp. 134-143, 2004.
- [10] Guney, K., Sarikaya, N., Input Resistance Calculation for Circular Microstrip Antennas Using Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System, INT J OF INFRARED AND MILLIMETER WAVES, Vol. 25, No. 4, pp. 703-716, 2004.
- [11] IE3D User's Manual, Release 3. Zeland Software, Inc., Fremont, CA, 2000.