

BULANIK MANTIK SİSTEMİNE DAYALI UYARLANIR AĞ İLE ELEKTRİKSEL OLARAK İNCE VE KALIN DİKDÖRTGEN MİKROŞERİT ANTENLERİN REZONANS FREKANSININ HESAPLANMASI

Nurcan SARIKAYA¹

Kerim GÜNEY²

¹Erciyes Üniversitesi, Sivil Havacılık Yüksekokulu, Uçak Elektrik-Elektronik Bölümü, 38039, Kayseri

²Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Bölümü, 38039, Kayseri

¹e-posta:nurcanb@erciyes.edu.tr

²e-posta:kguney@erciyes.edu.tr

Anahtar sözcükler: Mikroşerit Antenler, Rezonans Frekansı, Bulanık Mantık

ABSTRACT

A new method for calculating the resonant frequency of electrically thin and thick rectangular microstrip antennas, based on the adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS), is presented. The ANFIS has the advantages of expert knowledge of fuzzy inference system and learning capability of neural networks. A hybrid learning algorithm, which combines the least square method and the backpropagation algorithm, is used to identify the parameters of ANFIS. The resonant frequency results obtained by using ANFIS are in very good agreement with the experimental results available in the literature.

1. GİRİŞ

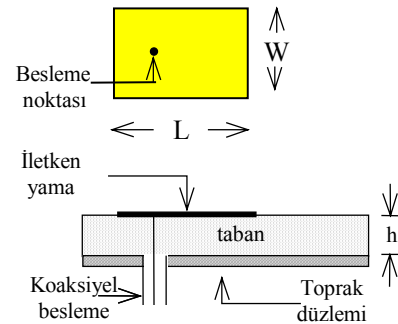
Son yıllarda mikroşerit antenler, uzay araçlarında, uçaklarda, radarlarda, uydu haberleşmesinde, güdümlü mermi gibi bir çok askeri alanda, adaptif anten dizilerinde ve biomedikal uygulamalarda geniş bir şekilde kullanılmaktadır [1-3]. Mikroşerit antenler dar band genişliğine sahip oldukları ve yalnız rezonans frekansının komşuluğunda verimli olarak çalışabildikleri için rezonans frekansının doğru olarak belirlenmesi gerekmektedir [1-14]. Literatürde bu konuda önerilen yöntemlerin çoğu yalnız elektriksel olarak ince dikdörtgen mikroşerit antenler ($h/\lambda_d \leq 0.02$, burada h dielektrik taban kalınlığı ve λ_d dielektrik tabandaki dalga boyudur) için geçerlidir. Elektriksel olarak ince mikroşerit antenlerin band genişliği düşüktür. Bu tür antenlerin band genişliğini artırmak için kullanılabilecek tekniklerden biri, uygun bir şekilde dielektrik taban kalınlığını artırmaktır. Literatürdeki mevcut klasik ve nümerik yöntemlerle elektriksel olarak hem ince hem de kalın dikdörtgen mikroşerit antenlerin rezonans frekansı için elde edilen teorik sonuçlar, deneysel sonuçlarla iyi bir uyumluluk içerisinde değildir. Bu sebepten dolayı bu çalışmada, bulanık mantık sistemine dayalı uyarlanırlık ağı (BMSDUA) [15] yöntemi, elektriksel olarak ince

ve kalın dikdörtgen mikroşerit antenlerin rezonans frekansını hesaplamak için sunulmuştur.

Bulanık mantık ve yapay sinir ağları (YSA) 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. YSA 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 elektriksel olarak ince ve kalın dikdörtgen mikroşerit antenlerin rezonans frekansı hesaplanmıştır. Daha önceki çalışmalarda da [16-18] BMSDUA, farklı mikroşerit anten yapılarının çeşitli karakteristik parametrelerini başarılı bir şekilde hesaplamak amacıyla kullanılmıştır.

2. REZONANS FREKANSI

Şekil-1'de gösterilen yama genişliği W , uzunluğu L ,



Şekil-1. Dikdörtgen mikroşerit anten geometrisi.

dielektrik taban kalınlığı h ve bağıl dielektrik sabiti ϵ_r olan bir dikdörtgen mikroşerit antenin rezonans frekansı aşağıdaki ifadeden hesaplanabilir [1-3].

$$f_{mn} = \frac{c}{2\sqrt{\epsilon_e}} \left[\left(\frac{m}{L_e} \right)^2 + \left(\frac{n}{W_e} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (1)$$

Burada, ϵ_e efektif dielektrik sabiti, c boşlukta elektromagnetik dalgaların hızı, m ve n tamsayı değerler, L_e ve W_e ise efektif boyutlardır. TM_{10} modu için, eşitlik (1) aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$f_{10} = \frac{c}{2L_e\sqrt{\epsilon_e}} \quad (2)$$

Effektif uzunluk

$$L_e = L + 2\Delta L \quad (3)$$

ile verilir. Eşitlik (3)'de ΔL kenar uzamasıdır. Effektiv dielektrik sabiti ϵ_e ve kenar uzaması ΔL için literatürde çok sayıda öneri mevcuttur [1-3]. Literatürde sunulan tüm yöntemlerden [1-14] görülmüştür ki TM_{10} modundaki dikdörtgen mikroşerit antenin rezonans frekansı sadece W , L , h ve ϵ_r 'ye bağlıdır.

3. 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 [15]. 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-2'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:

$$\text{Kural 1: Eğer } x, A_1 \text{ ve } y, B_1 \text{ ise } z_1 = p_1x + q_1y + r_1 \quad (4a)$$

$$\text{Kural 2: Eğer } x, A_2 \text{ ve } y, B_2 \text{ ise } z_2 = p_2x + q_2y + r_2 \quad (4b)$$

Burada A_i ve B_i başlangıçtaki bulanık kümelerdir, p_i , q_i ve r_i eğitme işlemi boyunca belirlenen tasarım parametreleridir. BMSDUA, Şekil-2'de olduğu gibi beş katmandan oluşmaktadır:

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

$$O_i^1 = \mu_{A_i}(x), \quad i = 1, 2 \quad (5a)$$

$$O_i^1 = \mu_{B_{i-2}}(y), \quad i = 3, 4 \quad (5b)$$

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

$$\text{çan}(x; a, b, c) = \frac{1}{1 + \left| \frac{x-c}{a} \right|^{2b}} \quad (6a)$$

$$\text{yamuk}(x; a, b, c, d) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ 1, & b \leq x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c}, & c \leq x \leq d \\ 0, & d \leq x \end{cases} \quad (6b)$$

$$\text{gauss}(x; c, \sigma) = e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{x-c}{\sigma} \right)^2} \quad (6c)$$

Burada $\{a_i, b_i, c_i, d_i, \sigma_i\}$ 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

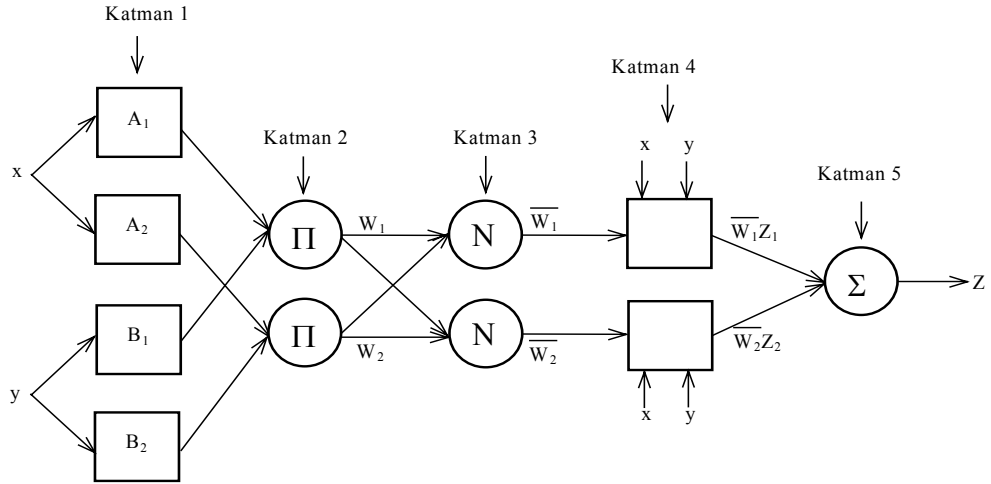
$$O_i^2 = \omega_i = \mu_{A_i}(x) \mu_{B_i}(y), \quad i = 1, 2 \quad (7)$$

şeklinde hesaplar.

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

$$O_i^3 = \bar{\omega}_i = \frac{\omega_i}{\omega_1 + \omega_2}, \quad i = 1, 2 \quad (8)$$

Burada $\bar{\omega}_i$ normalize edilmiş ağırlık olarak adlandırılır.



Şekil-2. BMSDUA yapısı.

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

$$O_i^4 = \bar{\omega}_i z_i = \bar{\omega}_i (p_i x + q_i y + r_i), \quad i = 1, 2 \quad (9)$$

Burada $\bar{\omega}_i$ 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:

$$O_1^5 = \sum_{i=1}^2 \bar{\omega}_i z_i = \frac{\omega_1 z_1 + \omega_2 z_2}{\omega_1 + \omega_2} \quad (10)$$

Açıktır 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 [15], bulanık mantık sistemini eğitime 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:

$$z = (\bar{\omega}_1 x) p_1 + (\bar{\omega}_1 y) q_1 + (\bar{\omega}_1) r_1 + (\bar{\omega}_2 x) p_2 + (\bar{\omega}_2 y) q_2 + (\bar{\omega}_2) r_2 \quad (11)$$

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 [15] ile bu problem çözülebilir.

4. BMSDUA İLE REZONANS FREKANSININ HESABI

Bu çalışmada, BMSDUA dikdörtgen mikroşerit antenlerin rezonans frekansının hesaplanması için uyarlanmıştır. BMSDUA'nın girişleri, W , L , h ve ϵ_r 'dir. BMSDUA'nın çıkışı ise, ölçülen rezonans frekansı değerleridir. BMSDUA'yı eğitmek ve test etmek için, Tablo-1'de verilen farklı 46 elektriksel olarak ince ve kalın dikdörtgen mikroşerit antene ait ölçme verileri [6, 8, 13, 14] kullanılmıştır. Bu 46 ölçme verisinden 37'si ağı eğitmek için, 9'u 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 1500'dür. Giriş değişkenleri W , L , h ve ϵ_r için üyelik fonksiyon sayıları sırasıyla 3, 3, 2 ve 3'dür. Bu durumda kural sayısı 54 ($3 \times 3 \times 2 \times 3$)'dür. Giriş değişkenleri W , L , h ve ϵ_r için üyelik fonksiyonları sırasıyla genelleştirilmiş çan eğrisi, yamuk, gauss ve genelleştirilmiş çan eğrisi'dir. Eşitlik (6)'dan açıkça görüldüğü gibi, genelleştirilmiş çan eğrisi, yamuk ve gauss üyelik fonksiyonları sırasıyla 3, 4 ve 2 parametreye sahiptirler. Böylece BMSDUA, 34 ($3 \times 3 + 4 \times 3 + 2 \times 2 + 3 \times 3$) lineer olmayan parametre ve 270 (5×54) lineer parametre olmak üzere toplam 304 parametre içermektedir.

Elektriksel olarak ince ve kalın dikdörtgen mikroşerit antenler için BMSDUA yöntemi ile elde edilen sonuçlar, ölçme sonuçları ile Tablo-1'de karşılaştırılmıştır. Tablo-2'de de BMSDUA yöntemi ile hesaplanan rezonans frekansı sonuçları ile ölçülen rezonans frekansları arasındaki toplam mutlak hatalar hem literatürdeki mevcut on ayrı klasik yöntemden elde edilen sonuçlar ile hem de genişletilmiş delta-bar-

Tablo-1. Elektriksel olarak ince ve kalın dikdörtgen mikroşerit antenler için BMSDUA yönteminin rezonans frekansı sonuçları ile ölçme sonuçlarının karşılaştırılması.

W (cm)	L (cm)	h (cm)	ϵ_r	(h/λ_d)	Ölçülen f_r (MHz) [6,8,13,14]	Sunulan BMSDUA Yöntemi
5.700	3.800	0.3175	2.33	0.03732	2310	2310
4.550	3.050	0.3175	2.33	0.04669	2890	2890
2.950	1.950	0.3175	2.33	0.06850	4240	4240
1.950	1.300	0.3175	2.33	0.09434	5840	5840
1.700	1.100	0.3175	2.33	0.10990	6800*	6825
1.400	0.900	0.3175	2.33	0.12440	7700	7700
1.200	0.800	0.3175	2.33	0.13360	8270	8270
1.050	0.700	0.3175	2.33	0.14770	9140	9139
1.700	1.100	0.9525	2.33	0.22920	4730	4730
1.700	1.100	0.1524	2.33	0.06103	7870	7870
4.100	4.140	0.1524	2.5	0.01790	2228	2228
6.858	4.140	0.1524	2.5	0.01767	2200*	2194
10.800	4.140	0.1524	2.5	0.01752	2181	2181
0.850	1.290	0.0170	2.22	0.00654	7740	7740
0.790	1.185	0.0170	2.22	0.00713	8450*	8492
2.000	2.500	0.0790	2.22	0.01558	3970	3970
1.063	1.183	0.0790	2.55	0.03251	7730	7729
0.910	1.000	0.1270	10.2	0.06219	4600	4600
1.720	1.860	0.1570	2.33	0.04042	5060	5059
1.810	1.960	0.1570	2.33	0.03838	4805*	4797
1.270	1.350	0.1630	2.55	0.05692	6560	6562
1.500	1.621	0.1630	2.55	0.04859	5600	5600
1.337	1.412	0.2000	2.55	0.06600	6200*	6204
1.120	1.200	0.2420	2.55	0.09081	7050	7050
1.403	1.485	0.2520	2.55	0.07780	5800	5801
1.530	1.630	0.3000	2.5	0.08333	5270	5270
0.905	1.018	0.3000	2.5	0.12630	7990	7992
1.170	1.280	0.3000	2.5	0.10390	6570	6566
1.375	1.580	0.4760	2.55	0.12920	5100*	5101
0.776	1.080	0.3300	2.55	0.14050	8000	7998
0.790	1.255	0.4000	2.55	0.15190	7134	7137
0.987	1.450	0.4500	2.55	0.14540	6070	6072
1.000	1.520	0.4760	2.55	0.14750	5820*	5864
0.814	1.440	0.4760	2.55	0.16170	6380	6378
0.790	1.620	0.5500	2.55	0.17540	5990	5989
1.200	1.970	0.6260	2.55	0.15530	4660	4660
0.783	2.300	0.8540	2.55	0.20910	4600	4601
1.256	2.756	0.9520	2.55	0.18140	3580*	3575
0.974	2.620	0.9520	2.55	0.20170	3980	3979
1.020	2.640	0.9520	2.55	0.19760	3900	3901
0.883	2.676	1.0000	2.55	0.21190	3980	3980
0.777	2.835	1.1000	2.55	0.22840	3900	3900
0.920	3.130	1.2000	2.55	0.22160	3470	3470
1.030	3.380	1.2810	2.55	0.21820	3200*	3223
1.265	3.500	1.2810	2.55	0.20320	2980	2980
1.080	3.400	1.2810	2.55	0.21480	3150	3150

*Test Verileri

delta (GDBD), geri yayılım (GY), delta bar delta (DBD), hızlı yayılım (HY), yönlendirilmiş rasgele arama (YRA), genetik algoritma (GA), Levenberg-Marquardt (LM), Broyden-Fletcher-Goldfarb-Shanno

(BFGS), otomatik düzenleme (OD), ölçeklendirilmiş eşlenik gradyent (ÖEG), esnek geri yayılım (EGY), tek adım secant (TAS), eşlenik gradyent Powell-Beale (PB), eşlenik gradyent Polak-Ribiére (PR), eşlenik gradyent Fletcher-Reeves (FR), adaptif öğrenme oranlı geri yayılım (AGY) ve momentumlu geri yayılım (MGY) gibi farklı algoritmaları ile eğitilen YSA modellerden [19-21] elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Literatürdeki mevcut klasik yöntemlerden elde edilen en düşük toplam mutlak hata, 19179 MHz iken farklı öğrenme algoritmaları ile eğitilen YSA modellerden elde edilen en düşük toplam mutlak hata, 281 MHz'dir. Bu çalışmada sunulan BMSDUA yöntemi ile elde edilen toplam mutlak hata ise, 183 MHz'dir.

Tablo-2. Literatürde mevcut yöntemlerden hesaplanan rezonans frekansı sonuçları ile ölçülen rezonans frekansları arasındaki mutlak hataların toplamı.

Yöntemler		Toplam Mutlak Hata (MHz)	
BMSDUA	Sunulan Yöntem	183	
Klasik Yöntemler	[4]	36059	
	[5]	26908	
	[6]	1104916	
	[1]	19179	
	[2]	32930	
	[7]	23746	
	[9]	23761	
	[10]	19899	
	[11]	31436	
	[14]	108707	
YSA Modeller	[19,20]	GDBD	667
		GY	751
		DBD	806
		HY	1365
		YRA	2692
		GA	2760
	[21]	LM	395
		BFGS	662
		OD	555
		ÖEG	608
		EGY	665
		TAS	877
		PB	402
		PR	753
		FR	281
		AGY	834
		MGY	972

5. SONUÇLAR

Elektriksel olarak ince ve kalın dikdörtgen mikroşerit antenlerin rezonans frekansı, hem bulanık mantık sistemlerinin hem de YSA'ların cazip özelliklerini birleştiren BMSDUA yöntemi ile başarılı bir şekilde hesaplanmıştır. BMSDUA yöntemi ile elde edilen sonuçların, literatürde mevcut klasik yöntemlerden ve YSA modellerden elde edilen sonuçlardan daha iyi deneysel sonuçlarla uyumluluk içerisinde olduğu gösterilmiştir. Sunulan yöntemin avantajları, kolaylıkla uygulanabilmesi ve elde edilen sonuçların doğruluğudur.

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] Howell J. Q., Microstrip Antennas, IEEE TRANS. ON ANTENNAS PROPAG., Vol. AP-23, pp. 90-93, January 1975.
- [5] Hammerstad E. O., Equations for Microstrip Circuits Design, PROC. FIFTH EUROPEAN MICROWAVE CONF., Hamburg, pp. 268-272, September 1975.
- [6] Carver K. R., Practical Analytical Techniques for the Microstrip Antenna, PROC. WORKSHOP ON PRINTED CIRCUIT ANTENNA TECHNOLOGY, New Mexico State University, Las Cruces, Vol. 7, pp. 1-20, October 1979.
- [7] Sengupta D. L., Approximate Expression for the Resonant Frequency of a Rectangular Patch Antenna, ELECTRONICS LETTERS, Vol. 19, pp. 834-835, 1983.
- [8] Chang E., Long S. A., Richards W. F., An Experimental Investigation of Electrically Thick Rectangular Microstrip Antennas, IEEE TRANS. ON ANTENNAS PROPAG., Vol. AP-34, pp. 767-772, 1986.
- [9] Garg R., Long S. A., Resonant Frequency of Electrically Thick Rectangular Microstrip Antennas, ELECTRONICS LETTERS, Vol. 23, pp. 1149-1151, 1987.
- [10] Chew W. C., Liu Q., Resonance Frequency of a Rectangular Microstrip Patch, IEEE TRANS. ON ANTENNAS PROPAG., Vol. AP-36, pp. 1045-1056, 1988.
- [11] Guney K., A New Edge Extension Expression for the Resonant Frequency of Electrically Thick Rectangular Microstrip Antennas, INT. JOURNAL OF ELECTRONICS, Vol. 75, pp. 767-770, 1993.
- [12] Guney K., Resonant Frequency of a Tunable Rectangular Microstrip Patch Antenna, MICROWAVE AND OPTICAL TECHNOLOGY LETTERS, Vol. 7, pp. 581-585, 1994.
- [13] Kara M., The Resonant Frequency of Rectangular Microstrip Antenna Elements with Various Substrate Thicknesses, MICROWAVE AND OPTICAL TECHNOLOGY LETTERS, Vol. 11, pp. 55-59, 1996.
- [14] Kara M., Closed-Form Expressions for the Resonant Frequency of Rectangular Microstrip Antenna Elements with Thick Substrates, MICROWAVE AND OPTICAL TECHNOLOGY LETTERS, Vol. 12, pp. 131-136, 1996.
- [15] Jang J.-S. R., ANFIS: Adaptive-Network-Based Fuzzy Inference System, IEEE TRANS. SYSTEMS, MAN AND CYBERNETICS, Vol. 23, pp. 665-685, 1993.
- [16] Guney, K., Sarikaya, N., Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System for the Input Resistance Computation of Rectangular Microstrip Antennas With Thin and Thick Substrates, JOURNAL OF ELECTROMAGNETIC WAVES AND APPLICATIONS (JEWA), Vol. 18, No. 1, pp. 23-39, 2004.
- [17] 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 COMPUTER-AIDED ENGINEERING, Vol. 14, pp. 134-143, 2004.
- [18] Guney, K., Sarikaya, N., Input Resistance Calculation for Circular Microstrip Antennas Using Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System, INTERNATIONAL JOURNAL OF INFRARED AND MILLIMETER WAVES, Vol. 25, No. 4, pp. 703-716, 2004.
- [19] Karaboga D., Guney K., Sagioglu S., Erler M., Neural Computation of Resonant Frequency of Electrically Thin and Thick Rectangular Microstrip Antennas, IEE PROC. MICROW. ANTENNAS PROPAG., Vol. 146, No. 2, pp. 155-159, April 1999.
- [20] Guney K., Sagioglu S., Erler M., Comparison of Neural Networks for Resonant Frequency Computation of Electrically Thin and Thick Rectangular Microstrip Antennas, JOURNAL OF ELECTROMAGNETIC WAVES AND APPLICATIONS (JEWA), Vol. 15, No. 8, pp. 1121-1145, 2001.
- [21] Gültekin, S.S., Güney, K., Sağiroğlu S., Elektriksel Olarak İnce ve Kalın Dikdörtgen Mikroşerit Antenlerin Rezonans Frekansının Farklı Algoritmalarla Eğitilen Yapay Sinir Ağları ile Hesaplanması, ELECO'2002 ELEKTRİK-ELEKTRONİK-BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ SEMPOZYUMU, 171-175, 18-22 Aralık 2002, BURSA.