

# BULANIK MANTIK SİSTEMİNE DAYALI UYARLANIR AĞ İLE EŞKENAR ÜÇGEN MİKROŞERİT ANTENLERİN REZONANS FREKANSININ HESAPLANMASI

Nurcan SARIKAYA<sup>1</sup> Kerim GÜNEY<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Uçak Elektrik-Elektronik Bölümü, Sivil Havacılık Yüksekokulu, Erciyes Üniversitesi, 38039, Kayseri,

<sup>2</sup>Elektronik Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Erciyes Üniversitesi, 38039, Kayseri,

e-posta: nurcanb@erciyes.edu.tr

e-posta: kguney@erciyes.edu.tr

*Anahtar sözcükler: Mikroşerit Antenler, Rezonans Frekansı, Bulanık Mantık*

## ÖZET

*Bu çalışmada, bulanık mantık sistemine dayalı uyarlanırlık ağı (BMSDUA) yöntemi, eşkenar üçgen mikroşerit antenlerin rezonans frekansını hesaplamak için sunulmuştur. BMSDUA'yı eğitime ve test işleminde, literatürde mevcut on beş farklı eşkenar üçgen mikroşerit antene ait rezonans frekansı ölçme verileri kullanılmıştır. BMSDUA yöntemi ile elde edilen sonuçların, literatürde mevcut yöntemlerden elde edilen sonuçlardan daha iyi deneysel sonuçlarla uyumluluk içerisinde olduğu gösterilmiştir.*

## 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, 2]. Pratikte en çok kullanılan mikroşerit anten tiplerinden biri, fiziksel olarak küçük olma avantajıyla birlikte dikdörtgen mikroşerit antenlerle benzer ışınma özelliklerine sahip olan eşkenar üçgen mikroşerit antenlerdir. Özellikle periyodik dizi tasarımlarında üçgen mikroşerit antenler tercih edilir çünkü bu antenler ile komşu dizi elemanları arasındaki kuplajı minimuma düşürmek mümkündür. 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 [1-11]. Literatürdeki mevcut klasik yöntemlerle eşkenar üçgen 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) [12, 13] yöntemi, eşkenar üçgen 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.

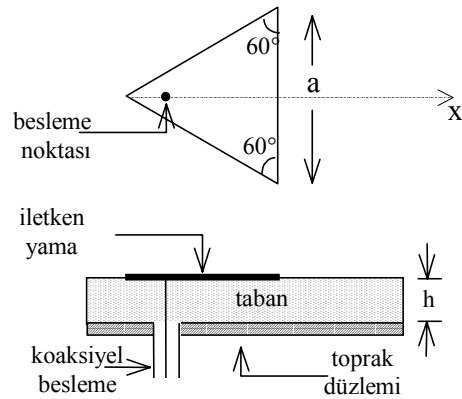
YSA ise, öğrenme yeteneği, kolayca farklı problemlere uyarlanabilirliği, genelleme yapabilmesi, daha az bilgi gerektirmesi, paralel yapılarından dolayı hızlı çalışabilme yeteneği ve kolay bir şekilde uygulanabilmesi gibi pek çok avantaja sahiptir. Bu avantajlarından dolayı, daha önceki çalışmalarda [10, 14-18], bulanık mantık sistemleri ve YSA'lar birbirinden farklı mikroşerit anten yapılarının çeşitli karakteristik parametrelerini başarılı bir şekilde hesaplamak amacıyla kullanılmıştır. Bu çalışmada ise, hem bulanık mantık sistemlerinin hem de YSA'ların avantajlarını birleştiren BMSDUA yöntemi ile üçgen mikroşerit antenin rezonans frekansı hesaplanmıştır.

## 2. EŞKENAR ÜÇGEN MİKROŞERİT ANTENİN REZONANS FREKANSI

Şekil-1'de verilen kenar uzunluğu  $a$ , dielektrik taban kalınlığı  $h$  ve bağıl dielektrik sabiti  $\epsilon_r$  olan bir eşkenar üçgen mikroşerit antenin rezonans frekansı aşağıdaki ifadede hesaplanabilir [1]

$$f_{mn} = \frac{2c}{3a_{eff}(\epsilon_r)^{1/2}} [m^2 + mn + n^2]^{1/2} \quad (1)$$

Burada,  $c$  boşlukta elektromagnetik dalgaların hızı,  $a_{eff}$  efektif kenar uzunluğu,  $m$  ve  $n$  tam sayılardır. Literatürde sunulan tüm yöntemlerden [1-11] görülmüştür ki, üçgen mikroşerit antenin rezonans frekansı sadece  $m$ ,  $n$ ,  $a$ ,  $h$  ve  $\epsilon_r$ 'ye bağlıdır.



Şekil 1: Üçgen mikroşerit anten geometrisi.

### 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 ağdır [12, 13]. 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 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  $z_1 = p_1x + q_1y + r_1$  (2a)

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

Burada  $A_i$  ve  $B_i$  başlangıçtaki bulanık kümelerdir,  $p_i$ ,  $q_i$  ve  $r_i$  eğitime 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.

$$O_i^1 = \mu_{A_i}(x), \quad i = 1,2 \quad (3a)$$

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

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

$$\text{çan}(x; a, b, c) = \frac{1}{1 + \left| \frac{x-c}{a} \right|^{2b}} \quad (4a)$$

$$\text{yamuk}(x; a, b, c, d) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ 1, & b \leq x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c}, & c \leq x \leq d \\ 0, & d \leq x \end{cases} \quad (4b)$$

$$\text{gauss}(x; c, \sigma) = e^{-\frac{1}{2} \left( \frac{x-c}{\sigma} \right)^2} \quad (4c)$$

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

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

şeklinde hesaplar.

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

$$O_i^3 = \bar{\omega}_i = \frac{\omega_i}{\omega_1 + \omega_2}, \quad i = 1,2 \quad (6)$$

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

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

$$O_i^4 = \bar{\omega}_i z_i = \bar{\omega}_i (p_i x + q_i y + r_i), \quad i = 1,2 \quad (7)$$

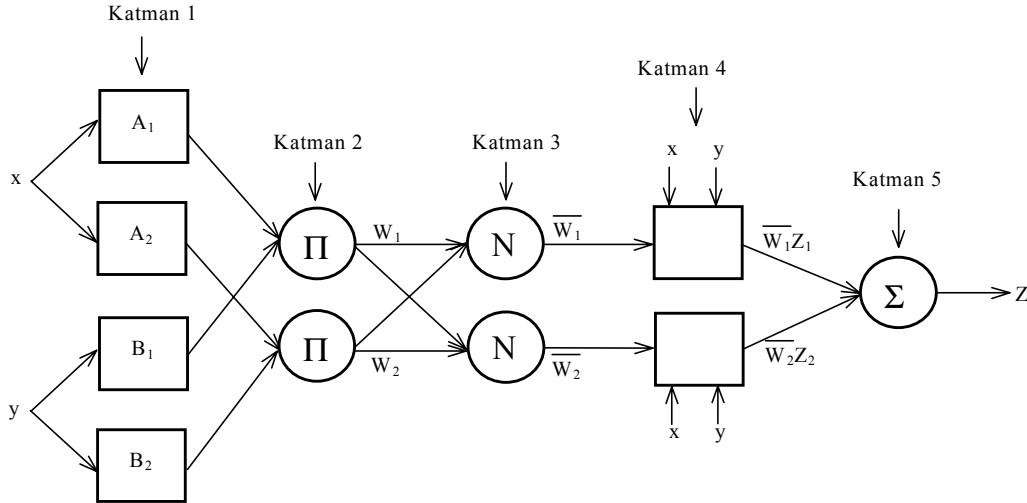
Burada  $\bar{\omega}_i$  üçüncü katmanın çıkışıdır ve  $\{p_i, q_i, r_i\}$  parametre setidir. Bu katmandaki parametreler, lineer parametreler olarak bilinir.

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

$$O_1^5 = \sum_{i=1}^2 \bar{\omega}_i z_i = \frac{\omega_1 z_1 + \omega_2 z_2}{\omega_1 + \omega_2} \quad (8)$$

Açıktır ki, BMSDUA'nın, lineer ve lineer olmayan parametreler olarak isimlendirilen ayarlanabilir iki parametre seti vardır. Eğitime işlemi boyunca, birinci katmandaki lineer olmayan parametreler ve dördüncü katmandaki lineer parametreler, bulanık mantık sistemi arzu edilen cevaba ulaşana kadar ayarlanır. Bu çalışmada, en küçük kareler metodu ve geri yayılım algoritmalarının birleşmiş hali olan melez öğrenme algoritması [12, 13], 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:

$$z = (\bar{\omega}_1 x) p_1 + (\bar{\omega}_1 y) q_1 + (\bar{\omega}_1) r_1 + (\bar{\omega}_2 x) p_2 + (\bar{\omega}_2 y) q_2 + (\bar{\omega}_2) r_2 \quad (9)$$



Şekil 2: BMSDUA yapısı.

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 [12, 13] ile bu problem çözülebilir.

#### 4. BMSDUA İLE REZONANS FREKANSININ HESAPLANMASI

Bu çalışmada, BMSDUA eşkenar üçgen mikroşerit antenlerin rezonans frekansının hesaplanması için uyarlanmıştır. BMSDUA'nın girişleri,  $m$ ,  $n$ ,  $a$ ,  $h$  ve  $\epsilon_r$ 'dir. BMSDUA'nın çıkışı ise, ölçülen rezonans frekansı değerleridir. BMSDUA'yı eğitime ve test işleminde, literatürde mevcut on beş farklı üçgen mikroşerit antene ait Tablo-1'de verilen rezonans frekansı ölçme verileri kullanılmıştır. Melez öğrenme algoritması kullanılarak BMSDUA eğitilmiştir.

Eğitmeden önce giriş ve çıkış veri kümeleri 0 ile 1 arasında normalize edilmiştir. Eğitim için epok sayısı 20'dir. Giriş değişkenleri  $m$ ,  $n$ ,  $a$ ,  $h$  ve  $\epsilon_r$  için üyelik fonksiyon sayıları sırasıyla 2, 5, 2, 5 ve 2'dir. Bu durumda kural sayısı 200 ( $2 \times 5 \times 2 \times 5 \times 2$ )'dür. Giriş değişkenleri  $m$ ,  $n$ ,  $a$ ,  $h$  ve  $\epsilon_r$  için üyelik fonksiyonları sırasıyla genelleştirilmiş çan eğrisi, yamuk, gauss, genelleştirilmiş çan eğrisi ve yamuk'tur. Eşitlik (4)'den açıkça görüldüğü gibi, genelleştirilmiş çan eğrisi, yamuk ve gauss üyelik fonksiyonları sırasıyla 3, 4 ve 2 parametreye sahiptirler. Böylece BMSDUA, 53 ( $2 \times 3 + 5 \times 4 + 2 \times 2 + 5 \times 3 + 2 \times 4$ ) lineer olmayan parametre ve 1200 ( $6 \times 200$ ) lineer parametre olmak üzere toplam 1253 parametre içermektedir.

BMSDUA yöntemi ile elde edilen sonuçlar, deneysel sonuçlarla Tablo-1'de karşılaştırılmıştır. Tablo-2'de de BMSDUA yöntemi ile elde edilen teorik sonuçlar ile ölçülen rezonans frekansları arasındaki mutlak hataların toplam sonuçları, hem literatürdeki mevcut dokuz ayrı klasik yöntemden elde edilen sonuçlar ile hem de geri yayılım algoritması ile eğitilen YSA

modelden elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Literatürdeki mevcut klasik yöntemlerden elde edilen en düşük toplam mutlak hata, 273 MHz'dir. YSA'dan elde edilen toplam mutlak hata, 23 MHz'dir. Bu çalışmada sunulan BMSDUA yöntemi ile elde edilen toplam mutlak hata ise, 13 MHz'dir.

#### 5. SONUÇLAR

Eşkenar üçgen 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'dan elde edilen sonuçlardan daha iyi deneysel sonuçlarla uyumluluk içerisinde olduğu gösterilmiştir. Bu yöntemin avantajları, kolaylıkla uygulanabilmesi ve elde edilen sonuçların doğruluğudur.

Tablo-1 Eşkenar üçgen mikroşerit antenler için BMSDUA yönteminin rezonans frekansı sonuçları ile ölçme sonuçlarının karşılaştırılması

m	n	a (cm)	h (cm)	$\epsilon_r$	Ölçme Sonuçları (MHz) [4, 7]	Sunulan BMSDUA Yöntemi (MHz)
1	1	4.1	0.07	10.5	2637	2637
2	0	4.1	0.07	10.5	2995	2995
1	0	4.1	0.07	10.5	1519*	1519
2	1	4.1	0.07	10.5	3973	3973
3	0	4.1	0.07	10.5	4439	4439
1	1	8.7	0.078	2.32	2596	2596
2	0	8.7	0.078	2.32	2969	2969
2	1	8.7	0.078	2.32	3968	3968
1	0	8.7	0.078	2.32	1489*	1492
3	0	8.7	0.078	2.32	4443	4443
1	0	10	0.159	2.32	1280	1280
1	1	10	0.159	2.32	2242	2242
2	0	10	0.159	2.32	2550*	2560
2	1	10	0.159	2.32	3400	3400
3	0	10	0.159	2.32	3824	3824

\*Test Verileri

Tablo-2 Literatürde mevcut yöntemlerden hesaplanan rezonans frekansı sonuçları ile ölçülen rezonans frekansları arasındaki toplam mutlak hatalar

	Sunulan BMSDUA Yöntemi	Literatürdeki Mevcut Yöntemler									
		[1]	[3]	[5]	[6]	Eğri Uydurma Formülü [7]	Moment Yöntemi [7]	[8]	[9]	[11]	YSA [10]
Hata (MHz)	13	5124	424	326	1843	408	472	314	590	273	23

**KAYNAKLAR**

- [1] Bahl J.I., Bhartia P., Microstrip Antennas, Artech House, Dedham, MA, 1980.
- [2] Garg R., Bhartia P., Bahl I., Ittipiboon A., Microstrip Antenna Design Handbook, Artech House, Canton, MA, 2001.
- [3] Helszajn J., James D. S., Planar Triangular Resonators with Magnetic Walls, IEEE TRANS. MICROWAVE THEORY TECHNOLOGY, Vol. 26, No. 2, pp. 95-100, 1978.
- [4] Dahele J. S., Lee K. F., On the Resonant Frequencies of the Triangular Patch Antenna, IEEE TRANS. ANTENNAS PROPAGAT., Vol. 35, No. 1, pp. 100-101, 1987.
- [5] Garg R., Long S. A., An Improved Formula for the Resonant Frequency of the Triangular Microstrip Patch Antenna, IEEE TRANS. ANTENNAS PROPAGAT., Vol. 36, p. 570, 1988.
- [6] Gang X., On the Resonant Frequencies of Microstrip Antennas, IEEE TRANS. ANTENNAS PROPAGAT., Vol. 37, No. 2, pp. 245-247, 1989.
- [7] Chen W., Lee K. F., Dahele J. S., Theoretical and Experimental Studies of the Resonant Frequencies of the Equilateral Triangular Microstrip Antenna, IEEE TRANS. ANTENNAS PROPAGAT., Vol. 40, No. 10, pp. 1253-1256, 1992.
- [8] Güney K., Resonant Frequency of a Triangular Microstrip Antenna, MICROWAVE AND OPTICAL TECHNOLOGY LETTERS, Vol. 6, No. 9, pp. 555-557, 1993.
- [9] Güney K., Comments on 'On the Resonant Frequencies of Microstrip Antennas', IEEE TRANS. ANTENNAS PROPAGAT., Vol. 42, No. 9, pp. 1363-1365, 1994.
- [10] Sağiroğlu Ş., Güney K., Calculation of Resonant Frequency for an Equilateral Triangular Microstrip Antenna with the Use of Artificial Neural Networks, MICROWAVE AND OPTICAL TECHNOLOGY LETTERS, Vol. 14, pp. 89-93, 1997.
- [11] Karaboğa D., Güney K., Kaplan A., Akdağlı A., A New Effective Side Length Expression Obtained Using a Modified Tabu Search Algorithm for the Resonant Frequency of a Triangular Microstrip Antenna, INTERNATIONAL JOURNAL OF RF AND MICROWAVE COMPUTER-AIDED ENGINEERING, Vol. 8, pp. 4-10, 1998.
- [12] Jang J.-S. R., ANFIS: Adaptive-Network-Based Fuzzy Inference System, IEEE TRANS. SYSTEMS, MAN AND CYBERNETICS, Vol. 23, pp. 665-685, 1993.
- [13] Jang J.-S. R., Sun C. T., Mizutani E., Neuro-Fuzzy and Soft Computing: A Computational Approach to Learning and Machine Intelligence, Prentice-Hall, Upper Saddle River, NJ, 1997.
- [14] Özer Ş., Güney K., Kaplan A., Computation of the Resonant Frequency of Electrically Thin and Thick Rectangular Microstrip Antennas with the Use of Fuzzy Inference Systems, INTERNATIONAL JOURNAL OF RF AND MICROWAVE COMPUTER-AIDED ENGINEERING, Vol. 10, pp. 108-119, 2000.
- [15] Kaplan A., Güney K., Özer Ş., Fuzzy Associative Memories for the Computation of the Bandwidth of Rectangular Microstrip Antennas with Thin and Thick Substrates, INTERNATIONAL JOURNAL OF ELECTRONICS (IJE), Vol. 88, pp. 189-195, 2001.
- [16] Güney K., Erler M., Sağiroğlu Ş., Artificial Neural Networks for the Resonant Resistance Calculation of Electrically Thin and Thick Rectangular Microstrip Antennas, ELECTROMAGNETICS, Vol. 20, pp. 387-400, 2000.
- [17] Güney K., Sağiroğlu Ş., 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, pp. 1121-1145, 2001.
- [18] Güney K., Sarıkaya N., Artificial Neural Networks for Calculating The Input Resistance of Circular Microstrip Antennas, MICROWAVE AND OPTICAL TECHNOLOGY LETTERS, Vol. 37, pp. 107-111, 2003.