

YAPAY SİNİR AĞLARI İLE SONLU DİELEKTRİK TABANLI GELENEKSEL EŞ DÜZLEMLİ DALGA KILAVUZLARININ QUASI-STATİK ANALİZLERİNİN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

Celal YILDIZ¹ Şeref SAĞIROĞLU² Mustafa TÜRKMEN³ Oytun SARAÇOĞLU⁴

^{1,3}Elektronik Mühendisliği Bölümü

²Bilgisayar Mühendisliği Bölümü

Mühendislik Fakültesi

⁴Kayseri M.Y.O. Endüstriyel Elektronik Bölümü

Erciyes Üniversitesi, 38039, Melikgazi, Kayseri

¹e-posta: yildizc@erciyes.edu.tr

²e-posta: ss@erciyes.edu.tr

³e-posta: turkmen@erciyes.edu.tr

⁴e-posta: saraco@erciyes.edu.tr

Anahtar sözcükler: Elektromagnetik Alanlar ve Mikrodalga Tekniği, Eş Düzlemlî Dalga Kılavuzları, Karakteristik Empedans, Efektif Dielektrik Sabiti, Yapay Sinir Ağları

ABSTRACT

Artificial neural networks (ANNs) have been introduced to microwave engineering because of their fast and flexible solutions for modelling, simulation and optimization. In this paper, a new model based on ANN has been presented for analysing the quasi-static parameters, the characteristic impedance and the effective permittivity, of conventional coplanar waveguide with a finite dielectric thickness. ANN model was trained by Levenberg-Marquardt algorithm. The results obtained from ANN model are very good agreement with the results of Conformal Mapping Technique and Spectral Domain Approach for coplanar waveguide structures and provide more accuracy, simplicity in design, analysis and application.

1. GİRİŞ

Mikrodalga teknolojisinde yaygın olarak kullanılan farklı yapılarıdaki iletim hatlarının karakteristik parametrelerinin belirlenmesinde literatürde birçok teknikten faydalanılmaktadır [1,2]. Farklı geometrik yapılarıdaki geleneksel eş düzlemlî dalga kılavuzlarının (EDDK) efektif dielektrik sabitlerinin ve karakteristik empedanslarının hesaplanmasında klasik teknikler olarak adlandırdığımız frekans bağımlı tam-dalga analizleri veya Konform Dönüşüm Tekniği (KDT) gibi quasi-statik yaklaşımlar kullanılmaktadır [1-9]. Ancak frekans bağımlı çözümlerin işlem süresinin uzun olması, güçlü bir teorik bilgi birikimi gerektirmesi, pahalı paket programlarla

çözümlenebilmeleri, KDT'de ise yapıların karakteristik parametrelerine ait kapalı form ifadelerinin belirli yaklaşımlarla çözülebilen eliptik integraller içermesi gibi bazı dezavantajlar mevcuttur.

Yapay sinir ağları (YSA), probleme özel basit yapıları, öğrenme ve genelleme yapabilme kabiliyetleri, hızlı hesaplama becerileri, lineer olmayan farklı problemlere kolay ve hızlı çözümler sunabilmeleri sebebiyle birçok mühendislik problemlerinin yanı sıra, mikrodalga ve elektromagnetik problemlerin çözümlerinde yeni yaklaşımlar olarak kullanılmaktadırlar [10-14]. EDDK'nın karakteristik parametrelerinin YSA ile modellenmesine ilişkin olarak literatürde Günel ve Bayraktar tarafından yapılan bir çalışma mevcuttur [14]. Ancak yapılan bu çalışmada sadece yapının karakteristik empedansı modellenmiş olup geri yayılım algoritmasıyla eğitilen ve test sonuçları yeterince doğru olmayan bir model sunulmuştur.

Bu çalışmada, YSA'ların belirtilen cazip özelliklerinden faydalanılarak, EDDK'nın hem efektif dielektrik sabitini hem de karakteristik empedansını hesaplamak için tek bir YSA modeli oluşturulmuştur. Levenberg-Marquardt öğrenme algoritması ile eğitilen kompakt YSA modeli ile elde edilen sonuçlar literatürde mevcut olan KDT [2] ve Spektral Domen Analizi (SDA) [5] ile karşılaştırılmış ve doğruluğu test edilmiştir.

2. KDT İLE EDDK'LARIN QUASI-STATİK ANALİZLERİ

Karakteristik parametreleri belirlenecek olan sonlu dielektrik tabanlı geleneksel EDDK'nın geometrik yapısı Şekil 1'de gösterilmiştir. Şekildeki w 'lar yarı genişliklerini, $2a$ ile verilen S merkez iletken genişliğini,

2b'ye eşit olan d yarıklar ve merkez iletken genişlikleri toplamını, h dielektrik tabanın kalınlığını, t ise metal şerit kalınlığını göstermektedir.

Quasi-TEM yaklaşımında, EDDK'nın karakteristik parametreleri olan efektif dielektrik sabiti ve karakteristik empedanslarının hesaplanması sırasında dalga kılavuzlarının birim uzunluk başına kapasite değeri belirlenmelidir. EDDK'nın birim uzunluk başına kapasite değeri kısmi kapasitelerin toplamı olarak $C_{EDDK}=C_I+C_{hava}$ ile belirlenebilir. Burada C_I dielektrik malzemenin kapasite değerini, C_{hava} ise dielektrik malzeme olarak hava kullanılması durumundaki kapasite değerini göstermektedir. Bu değerler belirlenirken metal şeritlerin kalınlıkları ihmal edilmiştir. Kısmi kapasitelerin hesaplanması sırasında yapı bir dizi düzlem dönüşümü ile paralel levhali kondansatör haline dönüştürülerek C_I ve C_{hava} kapasiteleri;

$$C_I = 2 \cdot \epsilon_0 \cdot (\epsilon_r - 1) \frac{K(k_1)}{K(k_1')} \quad (1)$$

$$C_{hava} = 4 \cdot \epsilon_0 \cdot \frac{K(k_0)}{K(k_0')} \quad (2)$$

ile belirlenir [2]. Burada k_1 , k_1' , k_0 ve k_0' terimleri

$$k_1 = \frac{\sinh(\pi S / 4h)}{\sinh([\pi(S + 2w)] / 4h)} \quad (3)$$

$$k_1' = \sqrt{1 - k_1^2} \quad (4)$$

$$k_0 = \frac{S}{S + 2w} \quad (5)$$

$$k_0' = \sqrt{1 - k_0^2} \quad (6)$$

ile verilir. Böylece EDDK'nın birim uzunluk kapasite değeri;

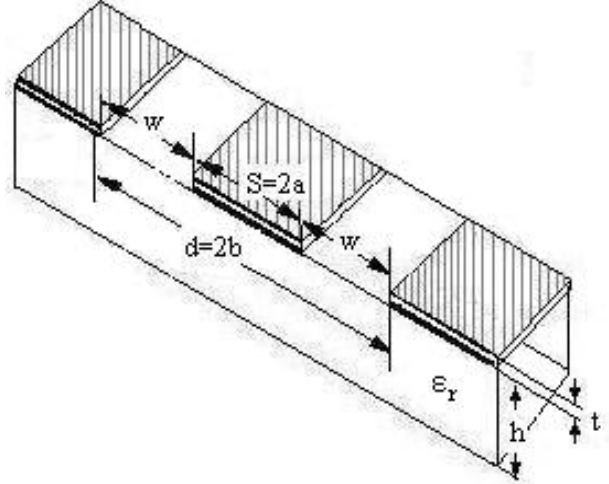
$$C_{EDDK} = 2 \cdot \epsilon_0 \cdot (\epsilon_r - 1) \cdot \frac{K(k_1)}{K(k_1')} + 4 \cdot \epsilon_0 \cdot \frac{K(k_0)}{K(k_0')} \quad (7)$$

olarak tespit edilir. Bu tür yapıların efektif dielektrik sabitini (ϵ_{eff}) ve karakteristik empedansını (Z_0) hesaplamak için literatürde mevcut olan ifadelerin kullanılması ile

$$\epsilon_{eff} = \frac{C_{EDDK}}{C_{hava}} = 1 + \frac{(\epsilon_r - 1)}{2} \cdot \frac{K(k_1)}{K(k_1')} \cdot \frac{K(k_0')}{K(k_0)} \quad (8)$$

$$Z_0 = \frac{1}{c C_{hava} \sqrt{\epsilon_{eff}}} = \frac{30\pi}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \cdot \frac{K(k_0')}{K(k_0)} \quad (9)$$

elde edilir. Bu ifadelerdeki c boşluktaki ışık hızını gösterirken, $K(k_0)$, $K(k_0')$, $K(k_1)$ ve $K(k_1')$ birinci tür tam eliptik integralleri göstermektedir. EDDK'ların efektif dielektrik sabiti ve karakteristik empedanslarına ilişkin olarak verilen bu ifadeler Ghione ve Naldi tarafından verilen ifadelerle özdeşdir [3,4].



Şekil 1. Geleneksel EDDK'nın geometrik yapısı

3. YAPAY SİNİR AĞLARI

Yapay sinir ağları (YSA) birçok disipline yeni çözümler sunan zeki bir yaklaşım olarak karşımıza çıkmaktadır. YSA'ların birçok farklı yapısı mevcut olup çok katlı perseptronlar (ÇKP), birçok alana uygulanmış bir YSA yapısıdır [15,16]. Genel olarak bir ÇKP-YSA yapısında giriş katındaki nöronlar tampon gibi davranırlar ve x_i giriş sinyali ara kattaki nöronlara dağıtırlar. Ara kattaki her bir nöron j 'nin çıkışı, kendine gelen bütün giriş sinyalleri x_i 'leri takip eden bağlantı ağırlıkları w_{ji} ile çarpımlarının toplanması ile elde edilir. Elde edilen bu toplam, bir fonksiyondan geçirilerek çıkış elde edilir. Burada kullanılacak fonksiyon basit bir eşik fonksiyonu, bir sigmoid veya hiperbolik tanjant fonksiyonu olabilir. Diğer katlardaki nöronların çıkışları da aynı şekilde hesaplanır. Bu çalışmada, ÇKP'lere giriş olarak yapıların geometrik boyutları ve bağıl dielektrik sabitleri, çıkış olarak efektif dielektrik sabiti ve karakteristik empedans değerleri uygulanmıştır. ÇKP'leri eğitmek için bir çok öğrenme algoritması kullanılabilir [15,16]. Bu çalışmada Levenberg-Marquardt algoritması (LMA) YSA'ları öğretmede kullanılmıştır [16]. Temel olarak LMA, maksimum komşuluk fikri üzerine kurulmuş bir hesaplama metodu olup Gauss-Newton ve Steepest-Descent algoritmalarının en iyi özelliklerinden oluşmuştur ve bu iki metodun kısıtlamalarını ortadan kaldırır. $E(w)$ 'nin bir amaç hata fonksiyonu olduğu düşünülürse m tane hata terimi için $e_i^2(w)$ aşağıda verilmiştir.

$$E(w) = \sum_{i=1}^m e_i^2(w) = \|f(w)\|^2 \quad (10)$$

Bu eşitlikte $e_i(w) \equiv (y_i^{(0)} - y_i)$ dir. LMA'da hedef, parametre vektörü w 'nin, $E(w)$ 'nin minimum iken

bulunmasıdır. LMA'nın kullanılmasıyla yeni ağırlık vektörü w_{k+1} bir önceki ağırlık vektörü w_k 'den hesaplanır. Ağırlıklar

$$w_{k+1} = w_k - (J_k^T f(w_k))(J_k^T J_k + \lambda I)^{-1} \quad (11)$$

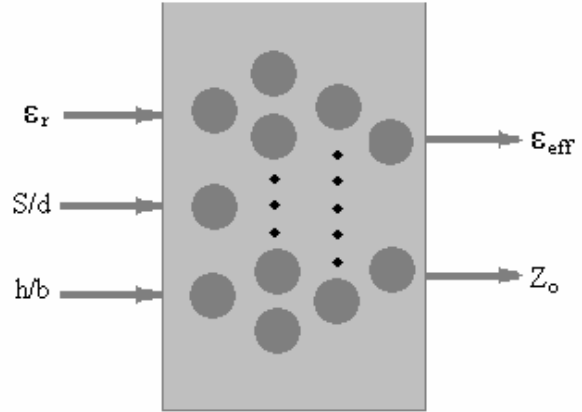
ile güncelleştirilir. Bu eşitlikte, J f 'nin w_k ağırlığında Jakobiyesi, λ Marquardt parametresi ve I ise birim matristir. Sonuçların elde edilmesi öğretim işlemine ağırlık dizisi w 'ya bir başlangıç değerinin atanması ile başlar ve hataların kareleri toplamı e_i^2 'nin hesaplanmasıyla devam eder. İşlemler bütün veri seti için istenilen hata değerine ulaşıncaya kadar tekrar tekrar uygulanır.

YSA'nın bu probleme uygulanmasındaki asıl amaç daha önceki metotlarda karşılaşılan, işlem süresinin uzun olması, güçlü bir teorik bilgi birikimi gerektirmesi, pahalı paket programlarla çözümlenebilmeleri, kapalı formdaki ifadelerin belirli yaklaşımlarla çözülebilen eliptik integraller içermesi gibi güçlüklerin giderilmesi için yüksek performanslı bir model oluşturmaktır.

4. YSA MODELİ İLE EDDK'NIN QUASİ-STATİK ANALİZLERİNİN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

EDDK'ların karakteristik parametrelerinin YSA ile belirlenmesi için oluşturulan üç giriş ve iki çıkıştan oluşan çok girişli ve çok çıkışlı yapıya sahip YSA modeli Şekil 2'de gösterilmiştir. Bu YSA modeline tasarımda kullanılacak olan taban malzemesinin bağıl dielektrik sabiti ϵ_r ve yapının geometrik boyutları ile ilgili parametreler olan S/d ile h/b giriş olarak uygulanırken yapının efektif dielektrik sabiti

ϵ_{eff} ve karakteristik empedansı Z_0 çıkış olarak uygulanmıştır.

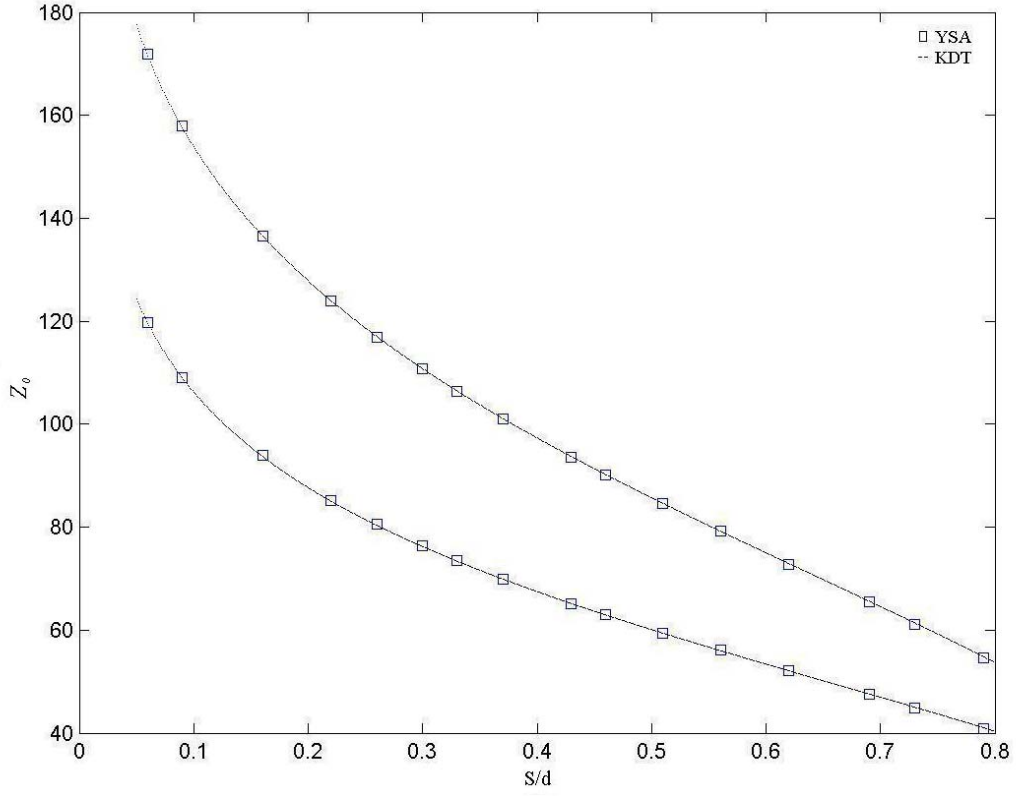


Şekil 2. Sunulan YSA modeli

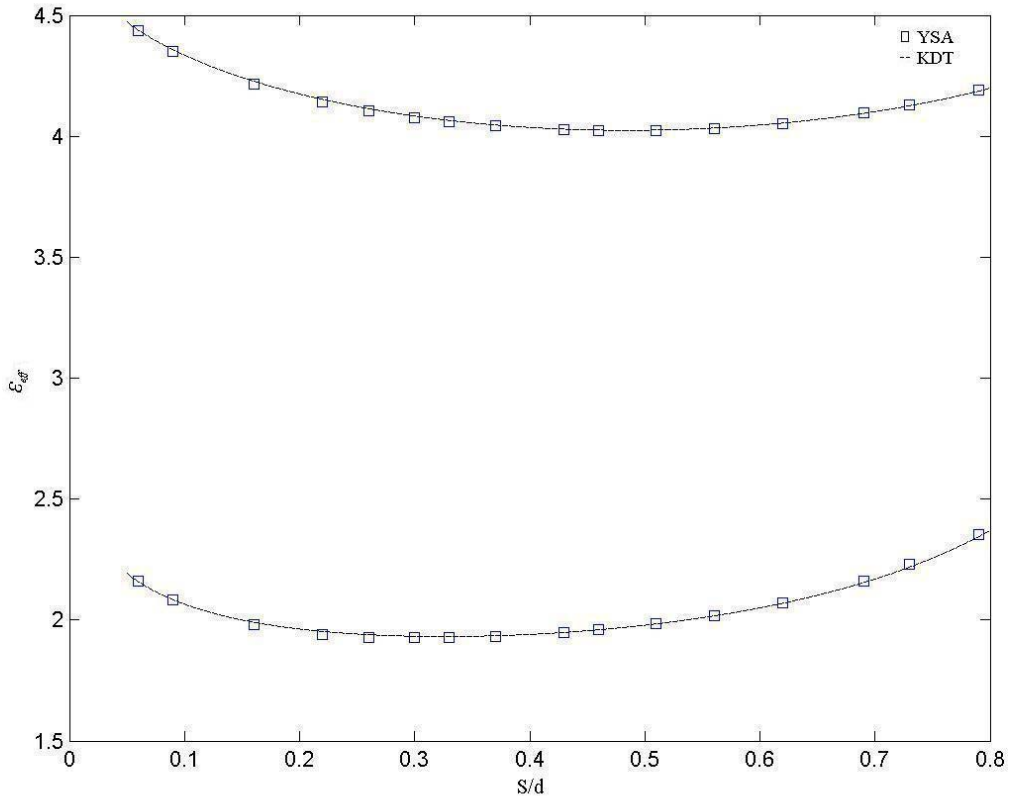
Burada tek bir YSA modeli ile iki farklı çıkış elde edildiğini belirtmek faydalı olacaktır. YSA'lar 600 adet veriden oluşan bir veri seti ile eğitilmiştir. Bu veri setindeki giriş parametrelerinin değişim aralıkları taban malzemesinin bağıl dielektrik sabiti ϵ_r 2 ile 22 arasında değişirken, S/d 0.05 ile 0.8 arasında, h/b ise 0.1 ile 100 arasında değişmektedir. Test için ise eğitim setinden farklı olarak oluşturulmuş 448 adet veriden oluşan bir veri seti kullanılmıştır. Kullanılan YSA modeli bir giriş, iki ara kat ve bir çıkış katına sahip ÇKP-YSA yapısındadır. Ara katmanların ilkinde 6 nöron ikincisinde ise 4 nöron kullanılmıştır. YSA modelinin eğitimi Levenberg-Marquardt öğrenme algoritması kullanılarak gerçekleştirilmiştir. YSA'yı eğitime işlemine, belirlenen bir iterasyon sayısına veya belirlenen bir hata kriterine ulaşıldığında son verilmiştir.

Tablo 1. YSA modeliyle elde edilen karakteristik empedansa ait sonuçların klasik tekniklerle karşılaştırılması.

		Sunulan YSA Modeli			Spektral Domen Analizi [4]			Konform Dönüşüm Tekniği [1]		
S/d	b(μm)	$\epsilon_r=20$	$\epsilon_r=12.9$	$\epsilon_r=2.25$	$\epsilon_r=20$	$\epsilon_r=12.9$	$\epsilon_r=2.25$	$\epsilon_r=20$	$\epsilon_r=12.9$	$\epsilon_r=2.25$
0.2	50	55.48	68.19	141.86	55.76	68.28	141.40	54.49	67.95	140.75
	170	57.47	70.62	143.90	57.52	70.27	142.97	57.52	70.29	142.86
	230	59.09	72.52	145.48	59.02	71.95	143.95	59.00	72.13	144.83
	350	63.01	76.95	148.85	62.60	75.93	146.30	62.89	76.44	147.85
0.4	50	42.06	51.64	107.23	42.22	51.69	106.99	42.04	51.47	106.57
	170	43.78	53.78	109.01	43.86	53.56	108.32	43.88	53.60	108.47
	230	45.21	55.43	110.36	45.20	55.05	109.34	45.28	55.21	109.82
	350	48.51	59.13	113.11	48.24	58.44	111.41	48.46	58.82	112.62
0.6	50	33.29	40.96	84.75	33.48	40.99	84.83	33.32	40.80	84.45
	170	34.75	42.75	86.29	34.86	42.56	85.84	34.87	42.59	86.04
	230	35.94	44.07	87.39	35.93	43.76	86.68	35.99	43.87	87.12
	350	38.47	46.85	89.56	38.26	46.36	88.38	38.41	46.63	89.24
0.8	50	25.66	31.56	65.40	25.86	31.66	65.51	25.68	31.45	65.09
	170	26.72	32.82	66.52	26.80	32.71	66.03	26.81	32.75	66.03
	230	27.54	33.70	67.26	27.53	33.54	66.59	27.56	33.61	66.59



a) Karakteristik empedans Z_0



b) Efektif dielektrik sabiti ϵ_{eff}

Şekil-3. $\epsilon_r=10$ için KDT ile YSA modeli çıktıların karşılaştırılması

Değerlendirme kriteri olarak hataların kareleri ortalaması tercih edilmiştir. Sunulan YSA modelinin eğitim ve test hataları sırası ile $1.2146 \cdot 10^{-7}$ ve $1.3704 \cdot 10^{-6}$ olarak bulunmuştur. Şekil 3.a'da EDDK'nın karakteristik parametrelerden biri olan Z_0 karakteristik empedansına ve Şekil 3.b'de ise diğer bir parametre olan ϵ_{eff} efektif dielektrik sabitine ait grafiklerde, YSA modeli ile elde edilen sonuçlar KDT sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Bu grafiklerde taban malzemesinin bağıl dielektrik sabiti $\epsilon_r=10$ alınmıştır. Tablo 1'de ise daha genel bir karşılaştırma yapılabilmesi için KDT ve SDA ile YSA modelinden elde edilen yapının karakteristik empedansına ait sonuçlar tablo halinde verilmiştir. Bu tabloda verilen değerler $h=200\mu\text{m}$ için geçerlidir. SDA, frekans bozulmalarının etkisinden sakınmak amacıyla 1 GHz için gerçekleştirilmiştir [4]. Şekil 3'deki grafiklerden ve ayrıca Tablo 1'deki sonuçlardan açıkça görüleceği gibi YSA modeli ile elde edilen sonuçlar literatürde mevcut KDT ve SDA gibi klasik tekniklerle de uyumludur.

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada, YSA'ların öğrenme ve genelleme yapabileceği, farklı problemlere kolay çözümler sunabilmesi, matematiksel olarak modellenmesi zor ve karmaşık problemlere kolay çözümler sunması, uygulanan konu ile ilgili çok fazlaca teorik bilgi gerektirmemesi gibi cazip özellikleri kullanılarak sonlu dielektrik tabanlı geleneksel EDDK'ların quasi-statik analizleri başarıyla gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçların literatürde mevcut olan diğer tekniklerle elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmaları sonucunda ortaya çıkan uyumluluk dikkate alındığında sunulan YSA modelinin, bu tür problemlerin çözümünde yeni bir alternatif çözüm olarak kullanılabilirliğini ortaya koymuştur. Bu çalışmada sunulan modelde literatürde ilk kez iki parametrenin belirlenmesi için tek bir model ortaya konulmuştur. Buda sunulan modelin basitliğinin diğer bir göstergesidir.

KAYNAKLAR

- [1] Gupta K. C., Garg R., Bahl I. and Bhartia P., Microstrip lines and Slotlines, ATRECH HOUSE ISBNs: 0-89006-766-X, 1996.
- [2] Rainee N. Simons, Coplanar waveguide circuits, components and systems, JOHN WILEY AND SONS. INC. ISBNs: 0-47-16121-7
- [3] Ghione G. and Naldi C., Analytical formulas for coplanar lines in hybrid and monolithic MICs, ELECTRON. LETT. Vol. 20, Iss.4, pp.179-181, 1984.
- [4] Ghione G. and Naldi C. U., Coplanar waveguides for MMIC applications: effect of upper shielding, conductor backing, finite-extent ground planes, and line-to-line coupling, IEEE TRANS. MICROWAVE THEORY TECH. Vol.35, Iss.3, pp.260-267, 1987.

- [5] Bedair S. S. and Wolff I., Fast, accurate and simple approximate analysis formulas for calculating the parameters of supported coplanar waveguides for (M)MIC's, IEEE TRANS. MICROWAVE THEORY TECH., Vol.40 Iss.1, pp.41-48,1992.
- [6] Su H. C. and Wong K. L., Full-wave analysis of the effective relative permittivity of a coplanar waveguide printed inside a cylindrical substrate, MICROWAVE AND OPT. TECH. LET., Vol 12, Iss 4, pp 94-97, 1996.
- [7] Su H. C. and Wong K. L., Quasi-static solutions of cylindrical coplanar waveguides, MICROWAVE AND OPT. TECH. LET., Vol 14, Iss 6, pp 347-351, 1997.
- [8] Dib N., Weller T., Scardelletti M. and Imparato M., Analysis of cylindrical transmission lines with the finite difference time domain method, IEEE TRANS. MICROWAVE THEORY TECH., Vol. 47, pp.509-512, 1997.
- [9] Dib N. and Al-Zoubi A., Quasi-static analysis of asymmetric cylindrical coplanar waveguides with finite-extent ground, INT. JOURNAL OF ELEC., Vol.87, Iss.2, pp.185-198, 2000.
- [10] Watson D.M. and Gupta K.C., Design and optimization of CPW circuits using EM-ANN Models for CPW components, IEEE TRANS. MICROWAVE THEORY TECH., vol.MTT-45, pp.2515-2523, 1997.
- [11] Wang F., Devabhaktuni V.K. and Zhang Q.J., A hierarchical neural network approach to the development of a library of neural models for microwave design, IEEE TRANS. MICROWAVE THEORY TECH., vol.MTT-46, pp. 2391-2403, 1998.
- [12] Sagioglu S., Güney K., and Erler M., Resonant frequency calculation for circular microstrip antennas using artificial neural networks, INT.J.RF.MICROW.C.E., Vol.8, pp.270-277, 1998.
- [13] Günel T., Combination of artificial neural network model with genetic algorithm for the synthesis of microstrip radial stub, AEÜ. INT. J. ELEC. COM., Vol.54, pp.241-243, 2000.
- [14] Günel T. ve Bayraktar İ. Ö., Tektaş mikrodalga tümleşik devre teknolojisinde kullanılan transmisyon hatları için karakteristik empedansların Yapay Sinir Ağı modelleri, ELECO'2000, ISBN 975 395-406-9, sf., 109-113, 8-12 Kasım 2000.
- [15] Haykin S., Neural Networks: A comprehensive Foundation, New York, USA, MACMILLAN COLLEGE PUBLISHING COMP., ISBN 0-0235-2761-7, 1994.
- [16] Pham D. T. and Sagioglu S., Three methods of training multi-layer perceptrons to model a robot sensor, INT. J. OF ROBOTICA, Vol.13, pp.531-538, 1995.