

ELEKTRONİK DEVRELERİN MODELLENMESİNDE YÜKSEK BAŞARIMLI BİLGİ TABANLI YAPAY SİNİR AĞLARININ KULLANIMI

Murat ŞİMŞEK¹

İpek TÜRKER²

N. Serap ŞENGÖR³

^{1,3} İstanbul Teknik Üniversitesi, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Fakültesi, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü, 80626, Maslak, İstanbul, Türkiye.

²Doğuş Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü, 34722, Acıbadem, Kadıköy, İstanbul, Türkiye.

¹ e-posta: murat@ehb.itu.edu.tr

² e-posta: iturker@dogus.edu.tr

³ e-posta: neslihan@ehb.itu.edu.tr

Anahtar sözcükler: Yapay Sinir Ağları, Radyal Tabanlı Ağlar, Bilgi Tabanlı Sistemler

ABSTRACT

This paper presents a new knowledge-based artificial neural network (ANN) topology, which is used to model the structures used in RF and Microwave designs. The main purpose in modeling circuits using ANN methods is to reach as good and correct outputs as outputs obtained by an EM simulator. The proposed knowledge-based ANN combines the known knowledge-based ANN models. These are Source Difference Method and Prior Knowledge Input Method. Therefore, the proposed topology sums up the advantages of both methods, and results in significantly lower error quantity caused by the difference between the ANN outputs and EM Simulator outputs. MATLAB simulation results of the new ANN model application on a microstrip line to find the relation between the physical dimensions and equivalent circuits capacitance values, which correspond to ANN inputs and outputs, respectively.

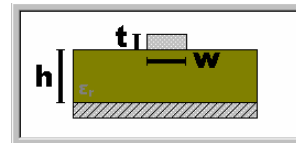
1. GİRİŞ

Yapay sinir ağları basit işlemci ünitelerinden oluşmuş çok yoğun paralel dağılmış düzende çalışan işlemcilerdir[1]. RF ve mikrodalga devre tasarımlarını analiz edip çözümlemede kullanılabilecek yöntemlerden biri uygun elektromagnetik (EM) simülörleri kullanmak, diğeri ise ölçüm yapma yoluna gitmektir. Yapay sinir ağlarının (YSA) geliştirilmesi ile EM benzetim metotlarına veya deney düzeneğine gerek kalmadan sadece eğitilmiş YSA modeli kullanarak verilen girişlere karşılık gelen çıkışlar çok daha kısa sürede elde edilebilmektedir. YSA, eldeki RF sisteme ilişkin olarak EM benzetim veya ölçme yolu ile elde edilmiş yeterli sayıda giriş-

çıkış çifti (eğitim kümesi) kullanılarak eğitilir ve bu eğitim sonunda artık söz konusu YSA, eğitim seti dışındaki başka girişlere karşılık da istenilen doğru çıkışlara yakın değerlere ulaşmayı sağlar. Ancak YSA ile devre modellemesi kara kutu yöntemine karşılık gelmektedir ve YSA bloğunun gerçeklediği işlemler fiziksel olgulara dayanmamaktadır. Bu nedenle YSA ile modelleme yaparken güvenilirliği arttırmak için ‘Bilgi Tabanlı YSA Modelleri’ geliştirilmiştir. Bu çalışmada Bilgi Tabanlı YSA modellerinden olan iki modelin bir arada kullanılması ile yeni bir model önerilmektedir. Bu YSA modelinin giriş bloğunda ‘Ön Bilgi Giriş Metodu (Prior Knowledge Input - PKI)’, çıkış bloğunda ise ‘Kaynak Fark Metodu (Source Difference - SD)’ kullanılmış, böylelikle bu iki bilgi tabanlı model tek bir YSA bünyesinde birleştirilmiştir. Bu yapıda bir model Radyal Tabanlı YSA yapısına uygulanarak elde edilen MATLAB sonuçları ile EM benzetim sonuçları arasındaki farkın (hata miktarı), diğer bilgi-tabanlı YSA metotlarına göre daha küçük olduğu gözlenmiştir.

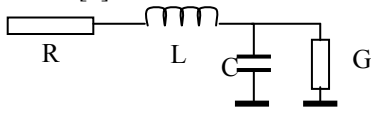
2. YSA İLE MODELLENEN RF YAPISI

Bu çalışmada Şekil-1’de gösterilen mikro şerit yapının eşdeğerinde birim uzunluktaki kapasite değerinin bulunması için önerilen YSA modeli kullanılmıştır.



Şekil.1. Modellenen mikro şerit yapı ve fiziksel boyutları

Bu mikro şerit yapının eşdeğer devresi Şekil-2’de verilmektedir [2].



Şekil.2. Mikro şerit yapının eşdeğer devresi.

Kullanılan radyal tabanlı YSA modelinde giriş olarak mikro şerit yapının aşağıdaki fiziksel boyutları alınmıştır.

- İletkenin genişliği (w)
- İletkenin yüksekliği (h)
- Dielektrik malzemenin yüksekliği (t)

YSA’nın elde edilmek istenen çıkış değeri olarak da eşdeğer devreye ilişkin birim uzunluktaki kapasite değeri alınmıştır.

Bu uygulamada YSA’nın eğitimi ve test aşamasında her bir fiziksel boyut için aşağıdaki aralıklar dahilinde rastlantısal değerler seçilmiş ve 100 değer eğitim kümesi, 25 değer de test kümesi için belirlenmiştir.

$$1 \times 10^{-3} < w < 12,9 \times 10^{-3} \text{ [m]}$$

$$0,4 \times 10^{-3} < t < 1,59 \times 10^{-3} \text{ [m]}$$

$$4,4 \times 10^{-3} < h < 9,8 \times 10^{-3} \text{ [m]}$$

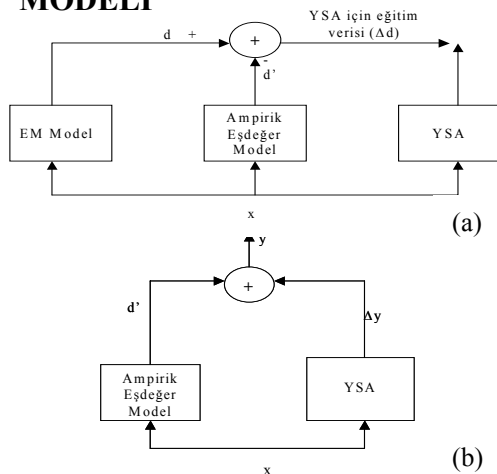
Önerilen YSA modelinin başarımı, eğitim kümesinin alt ve üst sınırlarının dışında fakat bu sınırlara yakın değerlerde alınan rastlantısal girişler için de incelenmiştir. Bu ekstrapolasyon uygulaması için, giriş değerleri aşağıdaki sınır değerleri arasında seçilmiştir. Bu değerlerden 5’i eğitim kümesinin alt sınırından küçük, diğer 5’i de üst sınırından büyük değerler olacak şekilde alınarak test kümesi için 10 değer tespit edilmiştir.

$$(0,9 \times 10^{-3} < w < 1 \times 10^{-3}) \text{ \& } (12,9 \times 10^{-3} < w < 14 \times 10^{-3}) \text{ [m]}$$

$$(0,2 \times 10^{-3} < t < 0,4 \times 10^{-3}) \text{ \& } (1,59 \times 10^{-3} < t < 1,7 \times 10^{-3}) \text{ [m]}$$

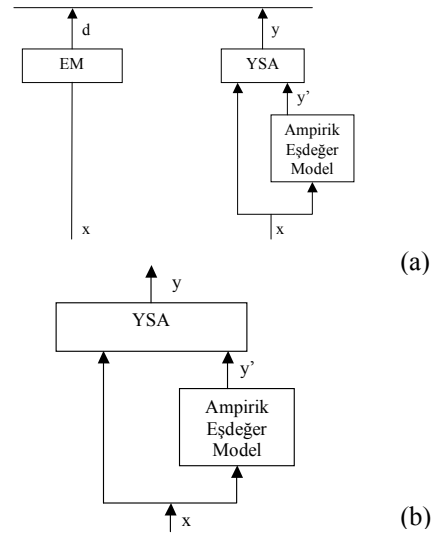
$$(3 \times 10^{-3} < h < 4,4 \times 10^{-3}) \text{ \& } (9,8 \times 10^{-3} < h < 10,7 \times 10^{-3}) \text{ [m]}$$

3. ÖNERİLEN BİLGİ TABANLI YSA MODELİ



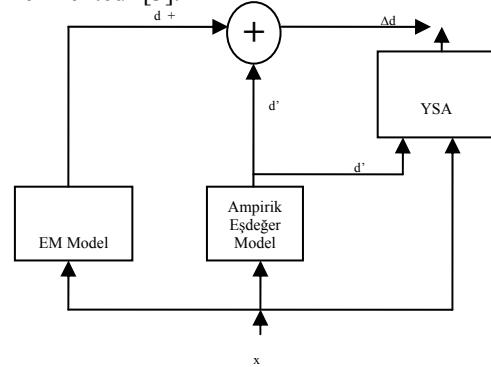
Şekil.3. SD Metodunun (a) eğitim ve (b) test aşamaları. [3]

Bilgi tabanlı ağ modellerinden biri olan SD metodunda ağın eğitilmesi için EM simülör hesaplamalarının yanı sıra eşdeğer devreye ilişkin ampirik veya yaklaşık bağıntılar da gerekli olmaktadır. Şekil-3(a)’da görüldüğü üzere, ampirik ve EM simülör çıktıların arasındaki fark YSA çıkışı olarak öngörülmekte ve YSA bu şekilde eğitilmektedir[3]. Eğitilmiş YSA’nın performansının gözlendiği Şekil-3(b)’deki test aşamasında ise, eğitilen YSA’nın girişlerine karşılık elde edilen çıkışlara bu defa ampirik hesaplama sonuçları eklenmekte ve istenilen çıkışlara erişilmeye çalışılmaktadır.

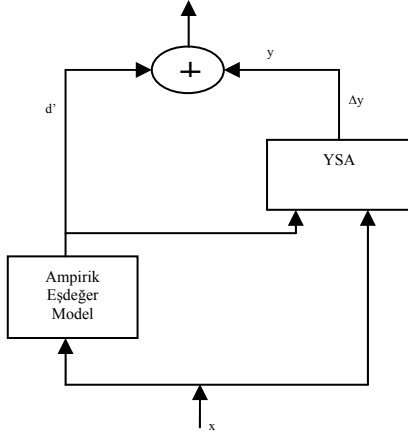


Şekil.4. PKI Metodunun (a) eğitim ve (b) test aşamaları [3].

Şekil-4(a)’da gösterilen PKI metodunun eğitim aşamasında, YSA’nın girişine hem eğitim kümesindeki giriş verisi hem de bu verilerin ampirik eşdeğer bağıntılara uygulanması sonucu elde edilen çıkışlar uygulanmaktadır. Eğitimde kullanılan istenilen çıkış değerleri de her zaman olduğu gibi EM simülör çıktıları olarak alınmaktadır. Şekil-4(b)’de gösterilen test aşamasında ise, test veri girişleri ve bunların ampirik eşdeğer çıktıları YSA ya uygulanmakta ve çıkışın istenilen test çıktılarına (EM simülör hesaplamaları) yaklaşıklığı gözlenmektedir[3].



Şekil.5(a). Önerilen PKI&SD Metodunun eğitim aşaması

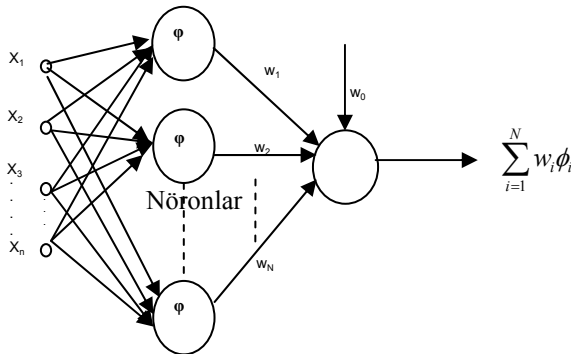


Şekil.5(b). Önerilen PKI&SD Metodunun test aşaması

Şekil-5(a)'da görülen PKI&SD metodunun eğitim aşamasında giriş olarak elde edilen eğitim kümesinde yer alan giriş verisine ek olarak ampirik eşdeğer bağıntılardan elde edilen yaklaşık çıkışlar da kullanılmıştır. Bu yapının çıkışı olarak da EM simülasyon sonuçları ile ampirik bağıntılarla elde edilen yaklaşık çıkışların farkı alınmıştır. Önerilen bu yapı ile ampirik bağıntılar ile elde edilen değerlere hem yapının girişinde hem de çıkışında yer verilerek, YSA'nın öğrenme işlemini kolaylaştırmak ve hata değerini düşürmek hedeflenmiştir.

4. KAPASİTE İÇİN AMPİRİK EŞDEĞER DEVRE BAĞINTILARI VE KULLANILAN EM SİMÜLATÖR

EM simülasyonu çıktıları 'TraceSim' programından elde edilmiştir. TraceSim transmisyon hatlarına ilişkin olan karakteristik empedans, kapasite, endüktans ve karşılıklı iletimden kaynaklanan girişimi kapsayan parametreleri hesap eder. Bu çalışmada TraceSim'in kapasitans hesap sonuçları Radyal Tabanlı ağın yapısı (Şekil-6) üzerine oturtulan Bilgi-Tabanlı ağ modellerinin istenen çıkış değerleri olarak alınmıştır.



Şekil.6. 'n' girişli 1 çıkışlı genel Radyal Tabanlı Ağ yapısı

Eşdeğer devrenin birim uzunluğundaki kapasitansın hesabına ilişkin ampirik bağıntılar aşağıda verilmiştir [1].

$$\varepsilon_{r, \text{eff}, 0} = \frac{\varepsilon_r + 1}{2} + \frac{\varepsilon_r - 1}{2} \cdot \left(1 + \frac{10 \cdot h_g}{w}\right)^{-a \cdot b} \quad (1)$$

$$a = 1 + \frac{1}{49} \cdot \ln \left\{ \frac{\left(\frac{w}{h_g}\right)^4 + \left(\frac{w}{52 \cdot h_g}\right)^2}{\left(\frac{w}{h_g}\right)^4 + 0.432} \right\} + \frac{1}{18.7} \cdot \ln \left\{ 1 + \left(\frac{w}{18.1 \cdot h_g}\right)^3 \right\}$$

$$b = 0.564 \cdot \left(\frac{\varepsilon_r - 0.9}{\varepsilon_r + 3} \right)^{0.053}$$

$$Z_{L0} = \frac{\eta_0}{2\pi} \cdot \ln \left\{ \frac{F_1 \cdot h_g}{w} + \sqrt{1 + \left(\frac{2 \cdot h_g}{w}\right)^2} \right\} \quad (2)$$

$$F_1 = 6 + (2\pi - 6) \cdot \exp \left\{ - \left(30.666 \cdot \frac{h_g}{w} \right)^{0.7528} \right\}$$

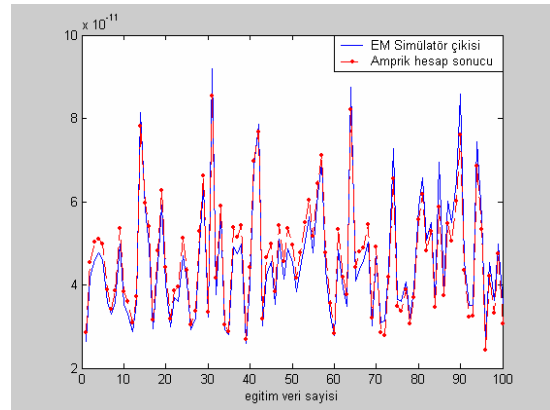
$$C' = \varepsilon_{r, \text{eff}} \cdot C'_a \quad (3)$$

$$\varepsilon_{r, \text{eff}} = \varepsilon_{r, \text{eff}, 0} (w_{\text{eq}} Z)^2 \cdot \left[\frac{Z_{L0}(w_{\text{eq}})}{Z_{L0}(w_{\text{eq}} Z)} \right]^2$$

$$C'_a = \frac{1}{\varepsilon_0 \cdot Z_{L0}(w_{\text{eq}})} \quad (4)$$

5. ÖNERİLEN YSA YAPISININ PERFORMANS SONUÇLARI

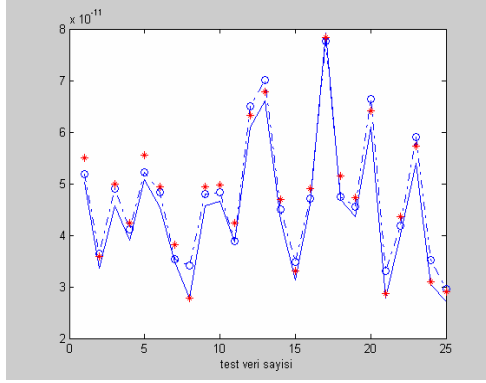
EM simülasyon sonuçları ile yaklaşık bağıntılar kullanılarak hesaplanan çıkış değerlerinin karşılaştırılması Şekil-7'de verilmiştir.



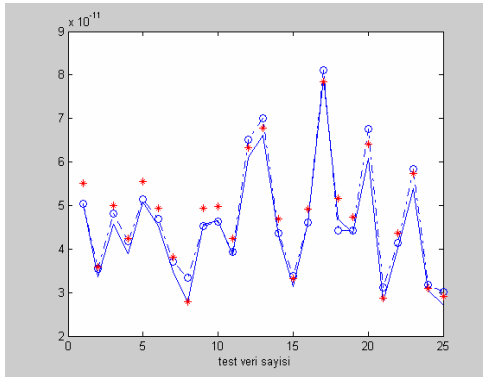
Şekil.7. EM simülasyon çıktıları ile ampirik hesaplama sonuçlarının karşılaştırılması

Ele alınan tüm YSA yapılarında 50 nöronluk Radyal Tabanlı Ağ modeli temel alınmıştır. Ağların öğrenme hızları ve düzenlilik kazandıran momentum değerlerinin tespiti için birçok deneme yapılarak içlerinden en iyi sonuçları verenler seçilmiştir (0,05 – 0,06).

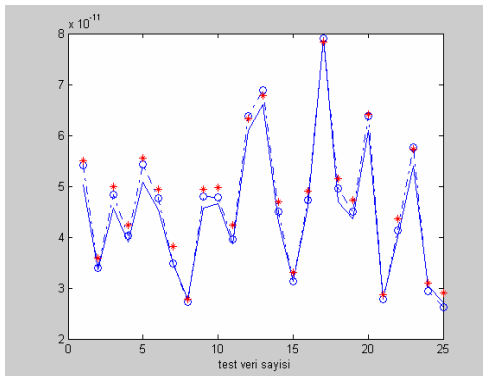
Aşağıdaki dört şekilden ilki sadece Radyal Tabanlı YSA kullanılarak elde edilen model olup diğer üçü Bilgi-Tabanlı Ağ Modellerini göstermektedir. Şekillerin içerisindeki sürekli çizgiler (—) istenen EM simülasyon çıkışlarını, kesikli çizgiler (---) YSA çıkışlarını ve yıldız işareti ile belirtilen (*) noktalar ise yaklaşık bağıntı hesaplama sonuçlarını göstermektedir.



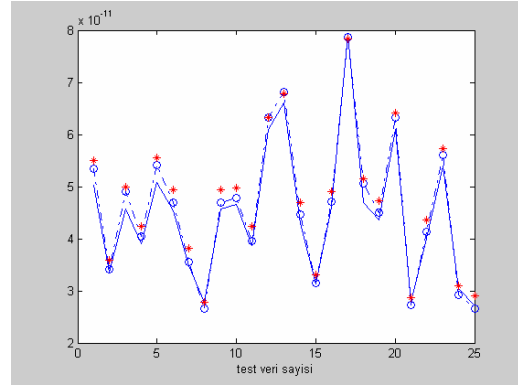
Şekil.8. Radyal Tabanlı YSA



Şekil.9. PKI Metodunun uygulandığı Bilgi-Tabanlı YSA



Şekil.10. SD Metodunun uygulandığı Bilgi-Tabanlı YSA



Şekil.11. PKI&SD Metodunun Uygulandığı Bilgi-Tabanlı YSA

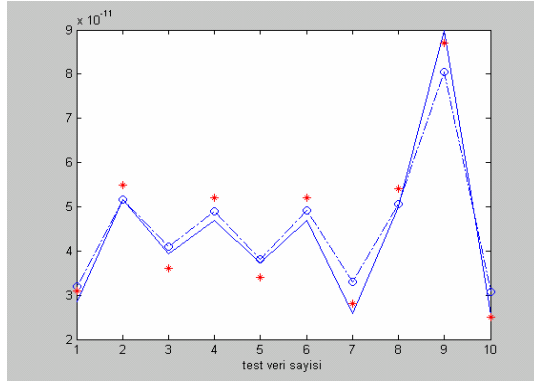
Yapılan çalışmada başlangıç değerleri rastlantısal alınarak her bir YSA yapısı 20 defa çalıştırılmış ve bundan elde edilen sonuçlar ve istatistikî veriler Tablo-1'de verilmiştir. Tablo-1'de görüldüğü üzere PKI metodu hem ortalama hem de maksimum hatada en yüksek değeri vermiştir. Buna karşın önerilen PKI&SD metodu en düşük hata değerleri ile en yüksek performansı sağlamıştır.

Tablo.1. Kullanılan YSA Yapılarının Performans Karşılaştırması (Ort.:ortalama, Std.:Standart Sapma)

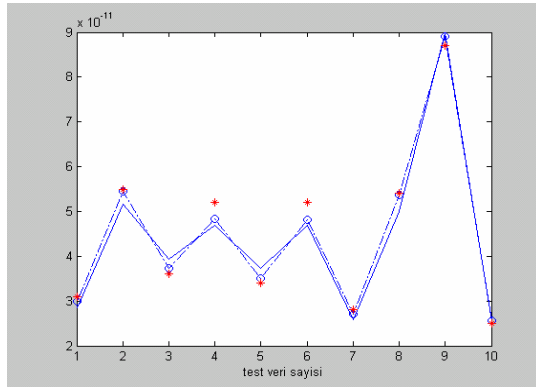
		Radyal Tabanlı YSA	PKI	SD	PKI&SD
Zaman (sn)	Ort.	68,36	22,79	53,84	36,26
	Std.	34,19	32,6	41,48	14,81
İterasyon	Ort.	311,85	100,55	245,8	161
	Std.	157,57	147,06	191,07	67,09
Max.Hata	Ort.	6,79E-12	9,05E-12	3,19E-12	2,81E-12
	Std.	7,34E-13	4,12E-12	5,28E-13	3,84E-13
	Üst Sınır	8,68E-12	2,43E-11	4,98E-12	3,77E-12
	Alt Sınır	5,63E-12	5,94E-12	2,61E-12	2,39E-12
Ort.Hata	Ort.	3,38E-12	3,53E-12	1,48E-12	1,38E-12
	Std.	4,71E-13	7,21E-13	1,41E-13	7,64E-14
	Üst Sınır	4,72E-12	5,25E-12	1,74E-12	1,59E-12
	Alt Sınır	2,64E-12	2,20E-12	1,27E-12	1,28E-12

(Yapılan matlab simülasyonlarında Pentium-IV 2.6 MHz işlemcili 256 DDR Ram'li bilgisayar kullanılmıştır.)

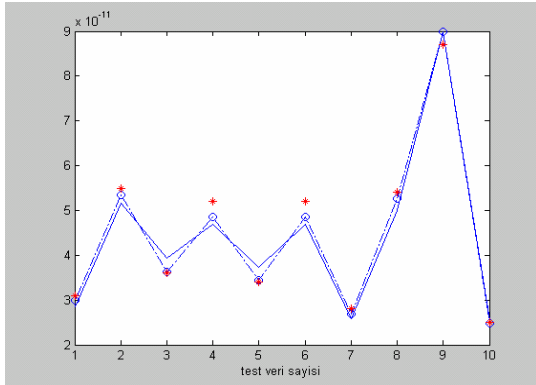
YSA'ların eğitimi için kullanılan giriş kümesinin alt ve üst sınır değerleri dışında toplam 10 adet farklı giriş alınmıştır. Bu girişler eldeki YSA yapılarının ekstrapolasyon performansını test etmek için kullanılmıştır. Buna ilişkin sonuçlar aşağıdaki grafikler ve Tablo-2'de verilmektedir.



Şekil.12. PKI Metodunun Ekstrapolasyon Uygulaması



Şekil.13. SD Metodunun Ekstrapolasyon Uygulaması



Şekil.14. PKI&SD Metodunun Ekstrapolasyon Uygulaması

YSA yapılarının ekstrapolasyon sonuçları incelendiğinde en düşük hata ile en iyi sonucun bu çalışmada önerilen PKI&SD metodunda gözlenmektedir.

Tablo.2. Kullanılan YSA Yapılarının Ekstrapolasyon Uygulaması Performans Karşılaştırması (Ort.:ortalama, Std.:Standart Sapma)

		PKI	SD	PKI&SD
Zaman	Ort.	19,71	44,54	33,53
	Std.	24,45	30,7	26,72
İterasyon	Ort.	86,9	212,55	156,65
	Std.	110,24	149,09	126,74
Max. Hata	Ort.	1,41E-11	4,17E-12	3,62E-12
	Std.	5,11E-12	7,91E-13	5,71E-13
	Üst Sınır	2,55E-11	6,29E-12	4,65E-12
	Alt Sınır	8,59E-12	3,17E-12	2,79E-12
Ort. Hata	Ort.	5,57E-12	2,28E-12	2,03E-12
	Std.	2,01E-12	2,65E-13	2,45E-13
	Üst Sınır	9,92E-12	2,88E-12	2,62E-12
	Alt Sınır	3,31E-12	1,74E-12	1,67E-12

6. SONUÇ

Bu çalışmada bilinen Bilgi-Tabanlı Ağ metodlarının avantajlarını içeren PKI&SD metodu önerilmiş ve bu metodun diğer Bilgi-Tabanlı Ağ yapıları ile karşılaştırılması yapılmıştır. Önerilen ağ yapısının performansı EM simülatör, MATLAB simülasyonları ve ampirik devre bağıntılarının kullanıldığı grafikler ve istatistiksel bilgilerin yer aldığı tablolar ile gösterilmiştir. PKI metodu daha az iterasyon ile eğitilebilmesine rağmen test aşamasında hata değeri yeterince düşük olmamaktadır. Buna karşın SD metodu kullanıldığında iterasyon sayısı artmakla beraber hata değeri düşmektedir. PKI&SD metodu kullanıldığında ise hata değeri en düşük seviyesine inmekte ve iterasyon sayısı da PKI'dekine çok yakın seviyede olmaktadır. Bu durum, önerilen metodun tercih edilmesini artıran bir etken olmaktadır. PKI&SD metodunun yüksek ekstrapolasyon performansı da tercih edilmesinin diğer nedenlerinden biri olmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] Haykin S.S., NEURAL NETWORKS: A COMPREHENSIVE FOUNDATIONS, Prentice Hall, 1999.
- [2] Schnieder F., Heinrich W., MODEL OF THIN-FILM MICROSTRIP LINE FOR CIRCUIT, IEEE Trans. Microwave Theory, Vol.49, pp 104, Jan.2001.
- [3] Zhang Q.J., Gupta K.C., NEURAL NETWORKS FOR RF AND MICROWAVE DESIGN, Artech House, Boston, 2000.