

Lineer Olmayan Dinamik Sistemlerin Yapay Sinir Ağları ile Modellenmesinde MLP ve RBF Yapılarının Karşılaştırılması

Comparison of MLP and RBF Structures in Modeling of Nonlinear Dynamic Systems with Artificial Neural Networks

Erdal KILIÇ¹,
ekilic@ksu.edu.tr

Ümit ÖZBALCI²,
umitozbalci@gmail.com

Hasan Rıza ÖZÇALIK³
ozcalik@ksu.edu.tr

^{1,2} Afşin Meslek Yüksekokulu, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi
³ Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi

Özet

Sistem modelleme, uygulamalarla veya matematik ifadelerle elde edilmiş verilerden faydalanarak sistemlerin modellerinin elde edilmesidir. Sistem modellemede amaç bilinmeyen bir sistemin transfer fonksiyonunun belirlenmesidir. Modelleme, bir sistemin dinamik davranışlarının belirlenmesinde ve tasarlanmasında yardımcı olmaktadır. Çıkış işaretinin tahmin edilmesi veya sistemle ilgili karşılaşılan problemlere çözüm bulunması konusunda da faydalı olmaktadır.

Bu çalışmada, çok katmanlı yapay sinir ağları (ÇKYSA) ile radyal taban fonksiyonlu yapay sinir ağları (RTYSA), lineer olmayan bir dinamik sisteme (tanktaki su seviyesi) sistem modelleme amacıyla uygulanmıştır. Matlab simülasyon sonuçları incelenmiş ve bu iki modelin performansları karşılaştırılmıştır.

Abstract

System modeling denotes obtaining models of the systems through applications or utilizing the data from mathematical expressions. System modeling aims to determine transfer function of an unknown system. Modeling assists in determining dynamic behavior of a system and designing it. It is also instrumental in estimating output signal or finding solutions against problems regarding the system.

In this study, multilayer perceptron (MLP) neural network and radial basis function (RBF) neural networks are applied to a nonlinear dynamic system (water level in the tank) modeling with the aim of system modeling. Matlab simulation results are analyzed and the performance of these two models is compared.

1. Giriş

Endüstriyel uygulamaların çoğu lineer olmayan sistemlerdir. Karmaşık ve lineer olmayan sistemlerin kimliklendirilmesinde yapay sinir ağları (YSA) yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. YSA'nın lineer olmayan yapısı öğretilecek sistemlerin yapıları ile iyi bir uyum sağlamaktadır [1].

Sistem kimliklendirme ve modelleme amacıyla YSA'nın kullanılması birçok araştırmacının konusu olmuştur. YSA'nın çok detaylı bilgiye ihtiyaç duymadan bir sistemin davranışını öğrenebilmesi ve sahip olduğu gürültü toleransı özelliği ile bu tür uygulamalarda önemli bir avantaj olarak ortaya çıkmaktadır [2].

Karmaşık lineer olmayan dinamik sistemlerin modellenmesinde YSA'nın kullanımı mümkün olmaktadır [3].

YSA, kontrol sistemlerindeki etkinliği açısından doğrusal olmayan herhangi bir fonksiyonu yeterli doğrulukta yaklaştırabilme özelliğine sahiptir. Son yıllarda lineer olmayan dinamik sistemlerin modellenmesi ve kontrolü için YSA'nın uygulamaları üzerine birçok araştırmalar yapılmıştır [4].

YSA, sistem çıkışı ile model çıkışı arasındaki hata sinyali kullanılarak eğitilir. Öğrenme, ağda bulunan nöronlar arasındaki bağlantı ağırlıklarının değiştirilmesi ile olur.

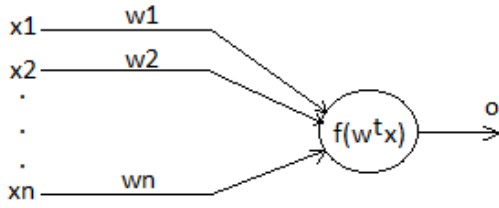
Çalışmada YSA'nın genel yapısı, ÇKYSA ve RTYSA yapıları anlatılmıştır. Modelleme yapılacak sistem olan tanktaki su seviyesi hakkında bilgi verilmiştir. Modelleme için YSA yapısı oluşturulmuş ve modelleme Matlabta yapılmıştır. Elde edilen simülasyon sonuçları incelenmiştir.

2. Yapay Sinir Ağlarının Yapısı

YSA, insan beyninin özelliklerinden olan öğrenme yolu ile yeni bilgi türetebilme, yeni bilgiler oluşturabilme ve keşfedebilme gibi yetenekleri herhangi bir yardım almadan doğrudan gerçekleştirmek amacı ile geliştirilen bilgisayar sistemleridir [5].

YSA, deneysel bilgiyi alan, depolayan ve kullanan fiziksel hücreli sistemlerdir. Yapay sinir ağları ve biyolojik sinir ağları arasında hem mimarileri hem de yetenekleri yönünden büyük farklılıklar vardır [6].

Yapay sinir hücreleri (nöronlar), YSA'larının temel bilgi işleme birimidir. Standart bir nöron, tek bir çıkış ve ağırlıklı giriş bağlantılarından oluşan bir işlem elemanıdır [7].



Şekil 1. Temel yapay nöron [6].

Nöron çıkış sinyali şu şekilde ifade edilmektedir.

$$o = f(w^t x) \quad (1)$$

veya

$$o = f\left(\sum_{i=1}^n w_i \cdot x_i\right) \quad (2)$$

Burada w ağırlık vektörü, x ise giriş vektörüdür.

$$w = [w_1 w_2 \dots w_n]^T \quad (3)$$

$$x = [x_1 x_2 \dots x_n]^T \quad (4)$$

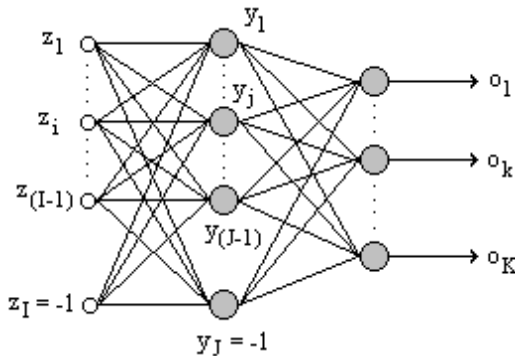
Genellikle bir net değişkeni tanımlanır ve aktivasyon fonksiyonu $f(\text{net})$ biçiminde kullanılır.

$$\text{net} = w^t x \quad (5)$$

3. Çok Katmanlı Yapay Sinir Ağları

ÇKYSA lineer olmayan problemlerin çözümünde en sık kullanılan YSA modelidir. En az üç katmandan meydana gelen, ileri beslemeli, geri yayımlı ağıdır [8].

ÇKYSA çok sayıda katman içeren YSA'dır. ÇKYSA'nda sinirler ayrı paralel katmanlara yerleştirilmişlerdir. Ağda ayrı katmanlara bağlantının sonucu olarak giriş ve çıkış arasındaki doğrusal olmayan eşlemenin daha karmaşık olması mümkündür. Bu özellik sınıflandırma ve hatırlama uygulamalarında değişkenler arasındaki lineer olmayan ilişkiyi göstermek için kullanılır. Şekil 2'de çok katmanlı YSA'ndan üç katmanlı bir yapay sinir ağı şeması verilmektedir.



Şekil 2: ÇKYSA Ağ Yapısı.

İlk katman olan giriş katmanında hesaplama için nöronlar bulunmaz sadece birinci ara katmandaki nöronları beslemek için girişler bulunur. Bu katmanı ikinci ara katman ve diğer ara katmanlar takip eder. En son olarak çıkış katmanı yer alır.

Genel olarak giriş katmanı ile çıkış katmanı arasındaki katmanlar ara katman olarak anılır. Aynı katmandaki düğümler arasında bir bağlantı bulunmamaktadır. Teorik olarak çok sayıda ara katman bulunur. Fakat bu eğitilmiş ağı karmaşıklığını önemli derecede artırır. Bir veya iki ara katmanlı ağlarda doğruluk, sağlamlık ve genelleştirme çoğu durumda sağlanmaktadır.

İleri beslemeli YSA'nda her nöron bitişikteki katmanın tüm nöronları ile bağlantılıdır ve diğer nöronlarla bağlantısı bulunmamaktadır. Katman içindeki bağlantılara izin verilmemektedir.

Ara katman sayısının ve ara katman nöron sayılarının belirlenmesinde genel bir kural yoktur. Belirlenme işlemi yapılan eşlemenin karmaşıklığına bağlıdır. Giriş sayılarının ve çıkış sayılarının belirlenmesi tamamen probleme özgüdür. Nöronların ve bağlantılarının sayıları sinir ağının doğru olarak saklayabildiği örüntü sayısına kadar sınırlıdır [8].

4. ÇKYSA için Delta Öğrenme Kuralı

Delta öğrenme kuralı, çok katmanlı YSA'lara uygulanan bir eğitim algoritmasıdır. Hatanın geriye yayılım eğitim algoritması da denir. Geriye yayılım eğitimi, çok katmanlı ağlarda tecrübeyle giriş-çıkış dönüşüm bilgisinin kazandırılmasını sağlar. Şekil 2'deki yapı dikkate alınarak çıkış katmanındaki net terimi;

$$\text{net}_k = \sum_{j=1}^J w_{kj} \cdot y_j \quad (6)$$

Aktivasyon fonksiyonu;

$$o_k = \frac{1}{1 - e^{-\lambda \text{net}_k}} \quad (7)$$

Burada λ aktivasyon fonksiyonunun diklik katsayısıdır. λ değeri $0 < \lambda < \infty$ arasındadır. Genellikle $0 < \lambda < 4$ arasında alınmaktadır. Bu çalışmada $\lambda = 1$ alınmıştır.

Aşağıdaki denklemde d öğretici değerlerin vektörüdür. Buna göre hata sinyali terimi;

$$\delta_{ok} = (d_k - o_k) f'(net_k) \quad (8)$$

Ağırlıkları düzeltme denklem 9 gibi olur.

$$\Delta w_{ji} = \eta \cdot \delta_{ok} \cdot y_j \quad (9)$$

Burada η öğrenme katsayısıdır. Genellikle 0.01 ile 0.9 arasında bir değerdir. Çalışmada $\eta = 0.25$ alınmıştır.

n iterasyon sayısını göstermek üzere çıkış ağırlıklarını güncelleme ifadesi;

$$w_{kj}(n+1) = w_{kj}(n) + \Delta w_{kj}(n) \quad (10)$$

Ara katmanındaki nöron ifadeleri;

$$\text{net}_j = \sum_{i=1}^I v_{ji} \cdot z_i \quad (11)$$

$$\delta_{yj} = f'(net_j) \sum_{k=1}^K \delta_{ok} \cdot w_{kj} \quad (12)$$

$$\Delta v_{ji} = \eta \cdot \delta_{yj} \cdot z_i \quad (13)$$

n iterasyon sayısını göstermek üzere giriş ağırlıkları güncelleme ifadesi;

$$v_{ji}(n+1) = v_{ji}(n) + \Delta v_{ji}(n) \quad (14)$$

5. Radyal Taban Fonksiyonlu Yapay Sinir Ağları

RTYSA, ileri beslemeli YSA yapılarına benzer şekilde giriş katmanı, ara katman ve çıkış katmanından oluşur. Giriş katmanından ara katmana dönüşüm, radyal tabanlı aktivasyon fonksiyonları ile doğrusal olmayan sabit bir dönüşümdür. Ara katmandan çıkış katmanına ise doğrusal bir dönüşüm gerçekleşir. RTYSA'da uyarlanabilecek serbest parametreler; merkez vektörleri, merkezci fonksiyonların genişliği ve çıkış katman ağırlıklarıdır. RTYSA'nın matematiksel ifadesi aşağıdaki gibidir.

$$\phi_j = \exp\left[-\frac{\|x - c_j\|^2}{\sigma_j^2}\right] \quad (15)$$

Burada x giriş vektörü, c_j j . Gaussian fonksiyonunun merkezi ve σ_j standart sapma değeridir. Eşitlik $\|x - c_j\|$ ifadesi x ve c_j vektörleri arasındaki Euclidean uzaklığı belirtmektedir. j . ara düğümün aktivasyon seviyesi ϕ_j 'ye eşittir.

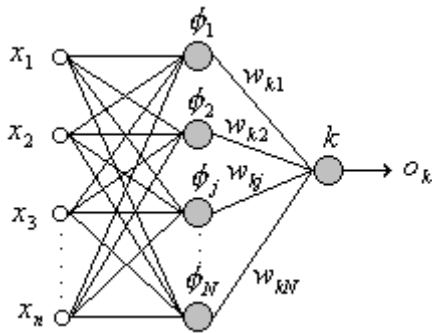
Ara katman çıkışları;

$$y_{kj} = \prod \phi_j(x, c, \sigma) \quad (16)$$

k. düğümün çıkışı denklem 17 ile verilir

$$o_k = \sum_{j=1}^J w_{kj} y_{kj} \quad (17)$$

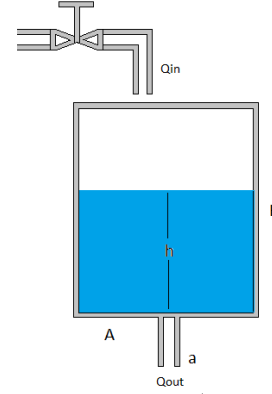
Burada w_{kj} k. Çıkış düğümü ile j. ara katman düğümü arasındaki ağırlıktır.



Şekil 3: RBF Ağ Yapısı.

6. Modellemesi Yapılacak Sistem Yapısı

Bu çalışmada bir tanktaki su seviyesinin modellemesi yapılacaktır. Taban alan kesiti A , yüksekliği H ve çıkış borusu kesiti a olan su tankı şekil 4 de gösterilmektedir. Q_{in} su girişini h ise tanktaki su seviyesini göstermektedir.



Şekil 4: Tank Sistemi.

Modelleme esnasında sistem şu şekilde çalışmaktadır:

1.durum: 0-200 s arası tankın su girişi açık, su çıkışı kapalı durumdadır. Burada tanktaki su seviyesi artmaktadır. 200 s sonunda tanka toplam 1 m^3 su girişi sağlanarak tanktaki su seviyesi 3 m 'ye yükseltilmektedir. $0,002 \cos(0,157t)$ ifadesi su girişinde küçük artış ve azalışlar oluşturarak bir dalgalandırma oluşturma amacıyla kullanılmıştır. Tanka su giriş ifadesi;

$$Q_{in} = 0,005 + 0,002 \cos(0,157t) \text{ m}^3/\text{s} \quad (18)$$

2.durum: 200-400 s arası tankın hem su girişi hem de su çıkışı açık durumdadır. Tanka giren su miktarı ile tanktan çıkan su miktarı yaklaşık eşit olduğundan su seviyesi dengede kalmaktadır.

Bernoulli denklemine göre tanktaki a kesitli çıkış ağzından akan su miktarı (tanktan su çıkışı);

$$Q_{out} = a\sqrt{2gh} \text{ m}^3/\text{s} \quad (19)$$

Burada h tanktaki su seviyesini g ise yer çekim ivmesini göstermektedir.

3.durum: 400-600 s arası tankın su girişi kapalı, su çıkışı açık durumdadır. Bu durumda tanktaki seviye, çıkış oranına bağlı olarak düşmektedir.

Bir tanktaki su seviyesinin diferansiyel denklemi aşağıdaki gibidir;

$$\frac{dh}{dt} = \frac{Q_{in} - Q_{out}}{A} = \frac{Q_{in} - a\sqrt{2gh}}{A} \quad (20)$$

Denklem 20 diferansiyel ifadesi Euler ileri yayılım metoduyla ayrıklaştırılırsa;

$$\frac{h(k+1) - h(k)}{Ts} = \frac{Q_{in}(k) - a\sqrt{2gh(k)}}{A} \quad (21)$$

elde edilir. Denklem 21'deki Ts terimi örnekleme zamanını göstermektedir. Bu çalışmada $Ts = 1 \text{ s}$ alınmıştır.

Denklem 21 aşağıdaki gibi düzenlenirse;

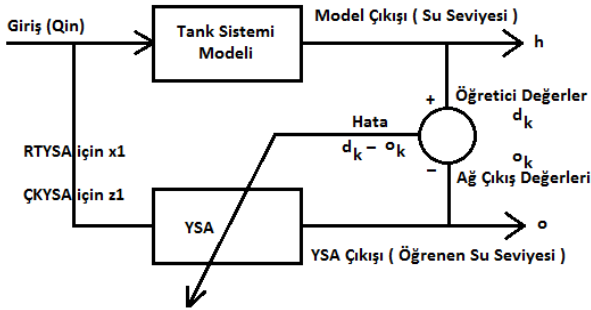
$$h(k+1) = h(k) + Ts \left(\frac{Qin(k) - a\sqrt{2gh(k)}}{A} \right) \quad (22)$$

Tankın parametre değerleri aşağıdaki gibidir:

$$A = 1 \text{ m}^2, a = 0,0005 \text{ m}^2, H = 4 \text{ m}, g = 9,82 \text{ m/s}^2, h(0) = 2 \text{ m}.$$

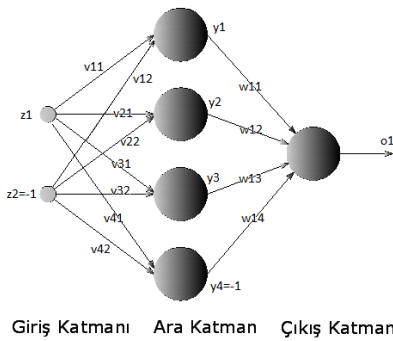
7. Sistemin Modellenmesi

Sistemin modellenmesi ile ilgili blok diyagramı şekil 5'te verilmiştir. Bu modelleme sisteminde girişimiz hem sisteme hem de YSA'na (ölçeklendirilerek) verilmektedir. Sistem çıkışı (tanktaki su seviyesi) ile ağ çıkışı karşılaştırılarak meydana gelen hata ile YSA modeli öğretilmektedir. Modellemede kullanılan ağ yapıları şekil 6 ile şekil 7'de verilmiştir.



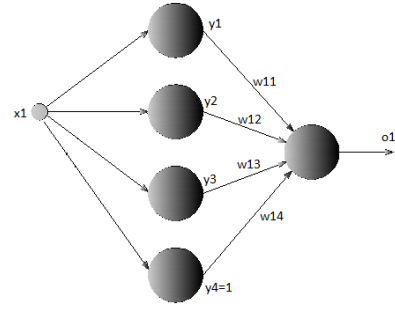
Şekil 5: Sistem Modelleme Blok Şeması.

ÇKYSA yapısı; giriş, çıkış ve bir ara katmandan oluşmaktadır. Giriş katmanında bir sistem girişi ve birde bias girişi vardır. Ara katmanda 4 adet nöron bulunmaktadır. ÇKYSA modelleme uygulamalarında giriş değerlerinden sonuncusu olarak bir bias değerinin alınması uygun görülmektedir. Bu bias değeri (-1) alınmaktadır [6].



Şekil 6: Modellemede kullanılan ÇKYSA Ağ Yapısı.

Şekil 7' de verilen RTYSA yapısı, giriş, çıkış ve bir ara katmandan oluşmaktadır. Ara katmanda 4 adet nöron bulunmaktadır. Ara katmanın 4. Nöron çıkışı 1 olarak alınmaktadır. Burada sadece ara katman ile çıkış katmanı arasında ağırlıklar bulunmaktadır [9].



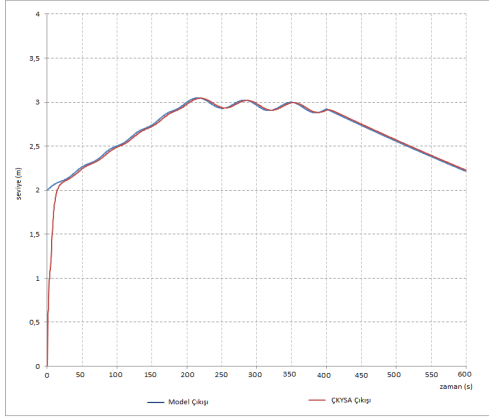
Şekil 7: Modellemede kullanılan RTYSA Ağ Yapısı.

YSA'nın eğitim verileri model çıkışından elde edilen simülasyon değerleridir. Her iki ağ yapısının girişi Qin alınmıştır. Sistemden elde edilen seviye değerleri (600 değer) ağa öğretici değerler d_k olarak girilmektedir. YSA bu değerleri kullanarak tanktaki sıvı seviyesini öğrenmektedir. Öğrenen değerler o_k ağ çıkış değerleridir. Öğretici değerlerle ağ çıkış değerlerinin ilk 20 değeri Tablo 1'de gösterilmiştir.

Zaman (s)	Model Çıkışı	ÇKYSA Çıkışı	RTYSA Çıkışı
1	2,0035000	0,0071674	0,1747871
2	2,0104846	0,5996646	1,0847677
3	2,0174081	0,7762766	1,5885169
4	2,0242232	0,9946176	1,8155621
5	2,0308852	1,0974862	1,9950976
6	2,0373532	1,1943912	2,0032074
7	2,0435912	1,3331957	2,0385286
8	2,0495686	1,5123573	2,0447059
9	2,0552614	1,6473640	2,0506149
10	2,0606527	1,7495785	2,0562384
11	2,0657327	1,8273536	2,0615619
12	2,0704995	1,8868507	2,0665778
13	2,0749588	1,9326306	2,0712860
14	2,0791240	1,9680823	2,0756940
15	2,0830156	1,9957326	2,0798165
16	2,0866607	2,0174725	2,0836755
17	2,0900928	2,0347221	2,0872992
18	2,0933505	2,0485532	2,0907218
19	2,0964765	2,0597779	2,0939823
20	2,0995171	2,0690160	2,0971238

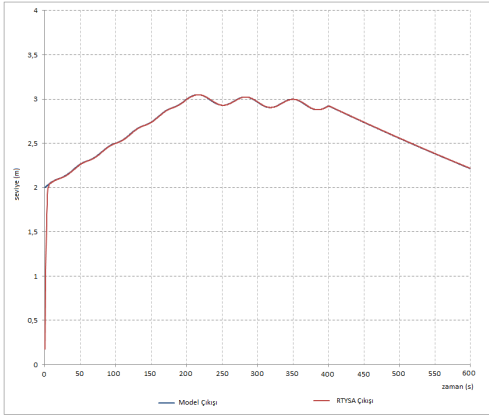
Tablo 1: Modellemede ilk 20 s için model, ÇKYSA ve RTYSA çıkış değerleri.

Modelleme esnasında Matlab ortamında yapılan çalışmada elde edilen değerler şekil 8, 9 ve 10'da gösterilmiştir.



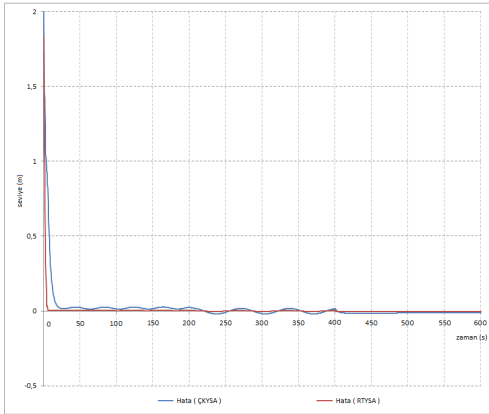
Şekil 8: ÇKYSA ile modelleme grafiği.

Şekil 8 incelendiğinde ÇKYSA çıkışı, model çıkışını (istenen değer) 20.saniyeden sonra yakalayabilmektedir ve daha sonra küçük bir hatayla takip etmektedir.



Şekil 9: RTYSA ile modelleme grafiği.

Şekil 9 incelendiğinde RTYSA çıkışı, model çıkışını (istenen değer) 10.saniyelerde yakalamaktadır ve daha sonra ÇKYSA'ya göre çok daha küçük bir hatayla takip etmektedir.



Şekil 10: ÇKYSA ve RTYSA'nın öğrenme hatalarının karşılaştırılması grafiği.

Şekil 10 incelendiğinde RTYSA çıkışı, ÇKYSA çıkışına göre model çıkışını (istenen değer) daha iyi takip ettiği görülmektedir.

8. Sonuçlar

Bu çalışmada lineer olmayan dinamik bir sistem olan bir tanktaki su seviyesi YSA ile modellenmiştir. Simülasyon sonuçlarından elde edilen bulgulardan bu sistemde ÇKYSA'nın ve RTYSA'nın modelleme amacı ile kullanımında her iki yapı da başarılı sonuçlar vermiştir. Aynı model üzerinde ve benzer ağ yapısında yapılan modelleme çalışmasının sonuçları incelendiğinde RTYSA'nın ÇKYSA'na göre daha başarılı olduğu görülmektedir. RTYSA ile modellemede hata daha hızlı sıfıra yaklaşmakta ve sonrasında çok küçük değerlerde kalmaktadır.

9. Kaynaklar

- [1] Özçalık, H.R., Küçüktüfekçi, A. "Dinamik Sistemlerin Yapay Sinir Ağları ile Düz ve Ters Modellenmesi", KSÜ Fen ve Mühendislik Dergisi, 6(1) 2003.
- [2] Kalınlı, A., "Elman Ağının Simulated Annealing Algoritması Kullanarak Sistem Kimliklendirme için Eğitilmesi" Osmangazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Dergisi C.XVI, S.', 2002.
- [3] Calderon, G., Draye, J.-P., Pavisic, D., Teran, R., Libert, G., "Nonlinear Dynamic System Identification with Dynamic Recurrent Neural Networks", IEEE Neural Networks for Identification, Control, Robotics, and Signal/Image Processing, 21-23 Aug 1996.
- [4] Tekin, A., Gökbulut, M., "Yapay Sinir Ağları İle Asenkron Motorların Hız Kontrolü İçin Bir Eğitim Yazılımının Geliştirilmesi", Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 20 (3), 449-458, 2008.
- [5] Öztemel, E., "Yapay Sinir Ağları", Papatya Yayıncılık-Ekim 2006-İstanbul
- [6] Zurada, J.M., Introduction to Artificial Neural Systems. West Publishing Company, 1992.
- [7] Saman, M., "Elektrik Devrelerinin Yapay Sinir Ağları ile Tanınması ve Kontrolü", Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Yüksek Lisans Tezi, 2003.
- [8] Batar, H., "EEG İşaretlerinin Dalgacık Analiz Yöntemleri Kullanılarak Yapay Sinir Ağları ile Sınıflandırılması", Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Yüksek Lisans Tezi, 2005.
- [9] Haykin, S., Neural Networks: A Comprehensive Foundation, 2nd Edition, Prentice-Hall, 1999.