



YAPAY SİNİR AĞLARI İLE ELEKTROSTATİK LENS SİSTEM TASARIMI

Nimet IŞIK^{1*}, Ali Hakan IŞIK²

¹ Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Eğitim Fakültesi, Matematik ve Fen Bilimleri Eğitimi Bölümü, Burdur, Türkiye

² Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Burdur, Türkiye

Anahtar Kelimeler

*Elektrostatik Lensler,
Paralel Elektron Demeti,
Yapay Sinir Ağları.*

Öz

Yapay zekâ algoritmalarıyla son yıllarda birçok bilim dalında başarılı uygulamalar geliştirilmektedir. Deneysel veya benzetim programlarından elde edilen veriler söz konusu algoritmalarla işlenmektedir. Tasarlanan algoritma mimarileri ile veriler işlenerek tahmin ve sınıflandırma çalışmaları yapılmaktadır. Bu algoritmalar, amaca ve veri kümesine uygun olan algoritmanın seçilmesi büyük önem taşımaktadır. Bu kapsamda, fizik alanındaki yenilikçi çalışmalarda yapay sinir ağı algoritması kullanmak yüksek performans değerleri elde etmeyi sağlamaktadır. Biyolojik nöronlardan esinlenen yapay sinir ağı (YSA), öğrenme yeteneğine sahip paralel hesaplama sistemidir. Bu çalışmada, üç katmanlı yapay sinir ağı kullanılarak beş elemanlı elektrostatik silindirik lenslerin paralel demet modu belirlenmektedir. Çalışmada kullanılan veri kümesi, yüksek doğrulukta hesaplama yapabilen CPO (Yüklü Parçacık Optiği) programı yardımıyla elde edilmiştir. Verilerin analizi Matlab R2012b programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, yapay sinir ağının fizik alanında paralel demet modunu belirlemede yüksek performans değerlerine sahip olan ve elektrostatik problem çözümlerinde sonlu fark ve sınır eleman metoduna alternatif bir metot olduğu ortaya konulmuştur. Oluşturulan YSA algoritması, test verilerinin %85,7'sini doğru olarak sınıflandırmıştır.

ELECTROSTATIC LENS SYSTEM DESIGN WITH THE ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS

Keywords

*Electrostatic Lenses,
Parallel Electron Beam,
Artificial Neural Networks.*

Abstract

Successful applications have been developed in many disciplines with artificial algorithms in recent years. The data obtained from experimental or simulation programs have been processed with the corresponding algorithms. Prediction and classification studies are carried out by processing the data with the designed algorithm architectures. From these algorithms, it is of great importance to select the algorithm that is appropriate for the purpose and data set. In this context, using artificial neural network algorithms in innovative studies in the field of physics ensures high performance values. Artificial neural network (ANN), inspired by biological neurons, is parallel computing system having learning ability. In this study, the parallel beam mode of the five-element electrostatic cylindrical lenses is determined using a three layer artificial neural network. The data set used in the study was obtained with the aid of the CPO (Charged Particle Optics) program enabling highly accurate calculation. Analysis of the data was performed using Matlab R2012b program. According to the obtained results, it has been revealed that the artificial neural network has high performance values in determining the parallel beam mode in the field of physics and it is an alternative method to the finite difference and boundary element method in electrostatic problem solutions. The generated YSA algorithm correctly classifies 85.7% of the test data.

* İlgili yazar / Corresponding author: nokumus@mehmetakif.edu.tr, +90-248-213-4023

Alıntı / Cite

Işık, N., Işık, A. H., (2020). Yapay Sinir Ağları İle Elektrostatik Lens Sistem Tasarımı, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 8(2), 388-396.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

N. Işık, 0000-0002-1347-6628

A. H. Işık, 0000-0003-3561-9375

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date 16.05.2019

Revizyon Tarihi / Revision Date 16.04.2020

Kabul Tarihi / Accepted Date 06.05.2020

Yayın Tarihi / Published Date 25.06.2020

1. Giriş (Introduction)

Elektronların atom ve moleküller ile çarpışma deneyleri, kuantum parçacıklar arasındaki temel etkileşimleri belirlemede önemli rol oynamaktadır (Al-Hagan vd., 2009). Bu deneylerdeki hedef atom ya da molekül, çarpışma bölgesinde paralel elektron demeti ile dik olarak kesişmektedir (Sise vd., 2009; Işık vd., 2016). Çarpışma sonrası saçılan elektronların ölçülmesiyle, çarpışma dinamiği hakkında bilgi elde edilmektedir (Lahmam-Bennani, 1991). Söz konusu deneylerde, araştırma süresince paralel elektron demeti elde etmek önemlidir. Elektrostatik lenslere uygulanan farklı voltajlar sayesinde, deneylerde istenilen çapta elektron demeti elde edilebilmektedir. Deneysel araştırma öncesi, lens sistemlerinin optimizasyonu ile istenilen çapta paralel demet elde edilmesini sağlayan lens voltajlarının belirlenmesi gerekmektedir.

Yapay zekâ teknolojileri fiziğin birçok alanında olduğu gibi (Sumpter vd., 1992; Sigman ve Rives, 1994; Lagaris vd., 1997; Khan vd., 2001; Bayram vd., 2014), son yıllarda elektrostatik lens tasarımında da kullanılmaktadır (Weng vd., 1991; Tam vd., 2000; Nouri ve Pierre-Jean, 1992; Petkovic vd., 2014; Işık, 2015a; Işık, 2015b; Işık, 2016; Işık ve Işık, 2016a; Işık ve Işık, 2016b). Yapay zekâ metotlarından biri olan yapay sinir ağları metodu, insan beyninden esinlenerek ortaya çıkan bir metottur. Yapay sinir ağları, girilen örneklerden bilgiler toplayarak, bu bilgiler yardımıyla genellemeler yapabilmektedir. Eğitilen YSA algoritması, genelleme yapabilme ve öğrenebilme yeteneği sayesinde daha önceden görmediği örnekler hakkında karar verebilmektedir. Deneysel çalışmalardan önce, elektrostatik lens sistemlerinin optimizasyonuna yardımcı olacak alternatif ve etkin bir çözüm olarak, YSA algoritması, ilk olarak 2015'de üç-elemanlı lenslerin odaklama voltaj değerlerinin sınıflandırılması amacıyla kullanılması önerilmiştir (Işık, 2015a). Öncü bir çalışmanın ardından, yüksek doğrulukta elde edilen sonuçlar, uygun mimaride oluşturulan ve eğitilen YSA algoritmalarının sınıflandırma özelliğinin aperture lens sistemlerinde (Işık, 2016) ve çarpışma deneylerinde sıklıkla kullanılan elektron tabancalarında (Işık ve Işık, 2016a) da başarısını göstermektedir. Bu çalışmaların devamı niteliğinde gerçekleştirilen bu çalışmada ise, paralel demet elde etmek için en uygun değerde elektrostatik lens voltajlarını araştırmada yapay sinir ağı algoritması kullanılmıştır. Elektron-atom/molekül çarpışma deneyleri başta olmak üzere çoğu deneysel çalışmalarda etkileşme bölgesinde elektron ya da yüklü parçacık demetinin paralel ve belirli bir çapta olması istenmektedir. Paralel demet elde etmek için, lenslere uygulanacak voltaj değerleri belirlenmelidir. Bu amaç ile elektrostatik problemlerde çözümler veren SIMION ve CPO simülasyon programları kullanılmaktadır (Sise vd., 2009). Fakat bu programlar yardımıyla verileri elde etmek için sistem tasarımı yapılmak zorundadır. Tasarımı yapılan sistem içinde yüklü parçacığın yörüngesi her bir voltaj değeri için hesaplanmalıdır. Bu durum, zaman ve emek kaybına neden olmaktadır. Bununla beraber, paralel demet modunu veren voltaj değerlerinin saptanmasında, hızlı çözümler üretebilen yapay sinir ağları uygulaması kaynakçada bulunmamaktadır. Bu nedenle, kaynakçadaki eksikliği tamamlayacak olan bu çalışmada, uygun eğitim veri kümesiyle eğitilen YSA algoritmasının analiz sonuçları verilmiştir. Yapay sinir ağı algoritmasının eğitimi ve testi için sınır eleman metodunu (BEM) kullanan CPO programından giriş-çıkış veri kümesi elde edilmiştir (Heddle, 2000; Read ve Bowring, 2011). BEM, kısmi diferansiyel denklemler ile sınır değer problemlerinin analizinde kullanılan sayısal bir hesaplama yöntemidir. Çalışmada önerilen yapay sinir ağı, etkileşim bölgesinde paralel ve paralel olmayan elektron demeti elde eden lens voltajlarını yüksek doğrulukta sınıflandırmaktadır.

Bu çalışma, dört temel bölümden oluşmaktadır. İkinci bölüm, YSA algoritmasının eğitimi ve testinde kullanılan veri kümesinin hesaplama yöntemi ve YSA algoritması hakkında ayrıntılı bir bilgi içermektedir. Üçüncü bölümde ise, oluşturulan YSA mimarisinin verileri sınıflandırmadaki performans sonuçları verilmektedir. Dördüncü bölümde ise, elde edilen sonuçlar ve araştırmanın geliştirilmesine yönelik gelecekte yapılabilecek çalışmalar değerlendirilmiştir.

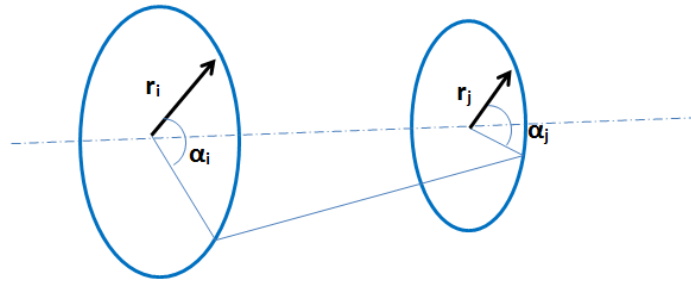
2. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

2.1. Sınır Eleman Metodu (Boundary Element Method (BEM))

Elektrostatik bir alanda yüklü parçacıkların hareketi, Laplace denkleminin uygun birtakım sınır şartlarında çözümü ile elde edilmektedir (Hedde, 2000). V , elektrostatik lens potansiyeli olmak üzere, polar koordinatlar kullanılarak Laplace denklemi,

$$\frac{\partial^2 V}{\partial z^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial V}{\partial r} \right) = 0 \quad (1)$$

olarak yazılmaktadır. Laplace denklem çözümünde, sınır eleman metodu, eksensel simetrik lensler arasında hareket eden elektron demetinin yörüngesini yüksek doğrulukta hesaplayabilmektedir (Harting ve Read, 1976). Sınır eleman metodunda her bir elektrot, elektrot yüzeyindeki yükler sistemi ile temsil edilebilmektedir (Read vd., 1971; Cubric vd., 1999). Şekil 1'de gösterildiği gibi, $r(j)$ yarıçaplı halkanın yüküne göre, $r(i)$ yarıçaplı halkanın potansiyeli bulunarak, elektrot potansiyeli bulunabilmektedir.



Şekil 1: Sınır eleman metodunda, bir yük halkasına göre, belirli bir noktanın potansiyelini hesaplamasında koordinatları belirtmek için elde edilen diyagram. (In the boundary element method, a diagram obtained to specify coordinates in calculating the potential of a particular point according to a load ring)

V_k , n elektrodun herbiri üzerinde r_j konumlarındaki $q_j = \sigma_j dS_j$ yüklerine göre r_k konumundaki potansiyeli temsil etmek üzere;

$$V_k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \sum_{j=1}^n \int_{S_j} \frac{\sigma_j r_j dS_j}{|r_j - r_k|} \quad (2)$$

denklemi eksensel simetri göz önüne alınarak çözülmektedir (Hedde, 2000). Bu çalışmada, YSA eğitiminde kullanılan veri kümesi, sınır eleman metodu kullanılarak elde edilmiştir.

2.2. Yapay Sinir Ağı Algoritması (Artificial Neural Network Algorithm)

İnsan beyninin fonksiyonlarını taklit ederek, insan zihninin öğrenebilme ve öğrenilen bilgidan çıkarımda bulunabilme yeteneklerinin bilgisayar ortamında uygulanması, yapay zekâ uygulamaları olarak nitelendirilmektedir. Yapay zekâ algoritmalarının alt dallarından olan yapay sinir ağı, doğrusal olmayan karmaşık problemlerin çözülmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Yapay sinir ağı, örnek veri kümesi aracılığıyla, biyolojik sinir sisteminin çalışmasını taklit eden bilgi işleme sistemidir. Bu sistemler, sinir hücrelerinin benzetildiği nöronlardan oluşur. Nöronların her biri farklı şekillerde birbirlerine bağlanmasıyla ağ mimarisi oluşmaktadır. Girilen girdi-çıkı veri kümesi aracılığıyla, bu ağ veriler arasındaki ilişkiyi öğrenebilmekte ve hafızaya alabilmektedir. Öğrenme yeteneği sayesinde, daha önceden ağ tarafından bilinmeyen veri için uygun çıktıyı üretebilmektedir. Bu durum, performans analiz yöntemleriyle araştırılmaktadır. Yapay sinir ağı, eksik bilgilerle çalışabilme ve girilen verilere göre çözüm üretebilme yeteneklerinden dolayı farklı alanlarda kullanılabilir. Yapılan çalışmada, beş elemanlı silindirik elektrostatik lens sistemlerinde voltaj oranlarına bağlı demet çapının belirlenmesinde YSA algoritması kullanılmıştır. Böylece, YSA algoritması sayesinde elektron demet çapının odaksız ya da paralel olup olmadığı belirlenmiştir.

Sınıflandırma sonuçlarının performansının değerlendirilmesinde, karışıklık matrisi (confusion matrix), regresyon analizi (ROC eğrisi) ve hata histogramı kullanılmıştır. Karışıklık matrisinde, doğruluk oranı (accuracy), duyarlılık (sensitivity), belirlilik (specificity), parametreleri, oluşturulan YSA mimarisinin performansını değerlendirmede kullanılmıştır. Söz konusu performans ölçüm parametrelerinden belirlilik oranı değeri, bir testin gerçekten ilgili sınıfa ait olmayanları ayırt edebilme kabiliyetini belirlemeyi sağlayan değerdir. DN=Doğru Negatif, DP=Doğru Pozitif, YN=Yanlış Negatif, YP=Yanlış Pozitif, N=Negatif, P=Pozitif olmak üzere belirlilik değeri,

$$\text{Belirlilik} = \text{DN} / (\text{DN} + \text{YP}) \quad (3)$$

denklemi ile bulunmaktadır. Duyarlılık oranı değeri, ilgili sınıfa ait olanların test tarafından hangi değerde belirlenebildiğini bulan değerdir. Duyarlılık oranı değeri,

$$\text{Duyarlılık} = \text{DP} / (\text{DP} + \text{YN}) \quad (4)$$

olarak hesaplanmaktadır. Doğruluk oranı değeri, bir testin ilgili sınıfa ait olanları söz konusu sınıfta bulan, ilgili sınıfa ait olmayanları söz konusu sınıfta olmadığını bulan sınıflandırma oranıdır ve bir testin performans amaçlı ne kadar güvenilir olduğunu belirler. Doğruluk oranı,

$$\text{Doğruluk} = (\text{DP} + \text{DN}) / (\text{DP} + \text{YP} + \text{DN} + \text{YN}) \quad (5)$$

ile hesaplanmaktadır. Tablo 1’de karışıklık matrisi analizi gösterilmektedir.

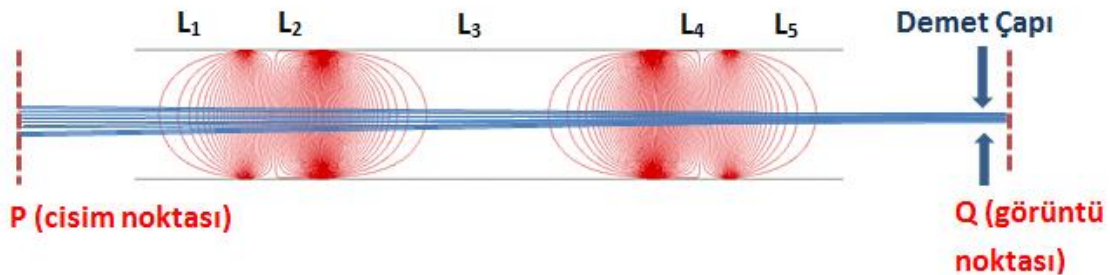
Tablo 1: Karışıklık matrisinde belirlilik, duyarlılık ve doğruluk oranı değerlerinin görünümü. (Specificity, sensitivity and accuracy values in the confusion matrix)

		Öngörülen Sınıf		
		P	N	
Gerçek Sınıf	P	DP	YP	
	N	YN	DN	
		Duyarlılık	Belirlilik	Doğruluk

Ayrıca ROC eğrisi ile değişken parametrelerden herhangi birinin belirli bir birim değiştiğinde, diğer parametrenin nasıl bir değişim gösterdiği incelenebilmektedir. ROC eğrileri, uygun kesim noktalarının oluşturulan sınıflandırma çizelgelerindeki belirlilik ve duyarlılık değerlerine bakılarak oluşturulurlar. ROC eğrisi içinde kalan alan testin başarısını ifade etmekte kullanılır. ROC eğrisi, duyarlılık oranı eksenine ile belirlilik oranı eksenine arasında gösterilir (Haykin, 1999). Hata histogramı ise, sınıflandırmanın hata oranını ve sınıflandırmada yapılan sapmaları açık bir şekilde göstermektedir.

4. Araştırma Bulguları (Research Findings)

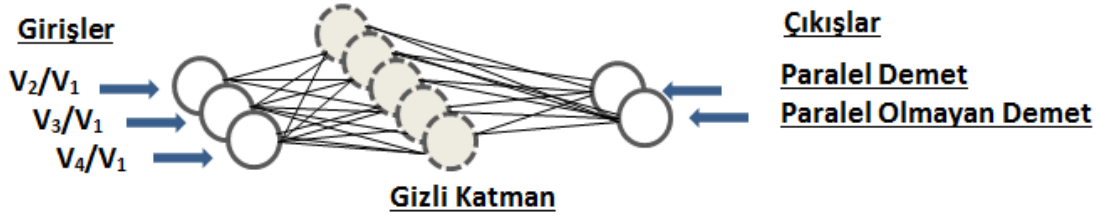
Bu çalışmada, ileri beslemeli geri yayılım yapay sinir ağı algoritması, beş elemanlı silindirik lens sistemlerinin paralel demet modunu sınıflandırmak için kullanılmıştır. Yapay sinir ağı eğitiminde yüksek doğrulukta sonuçlar veren ve sınır eleman metodu ile hesaplamalar yapan CPO programı kullanılmıştır. Sonlu fark ve sonlu eleman metodlarından yaklaşık 100 kat daha doğru sonuçlar veren sınır eleman metodu, deneysel sistemlerde yer alan elektrostatik lens sistemlerinin optiksel parametrelerinin optimizasyonunda daha yakın değerler vermesi açısından tercih edilmektedir. Elektrostatik lens sistem tasarımı D=100 mm olarak alınmıştır. P/D=5 cisim noktasından gönderilen elektron demetinin, Q/D=5 görüntü noktasında oluşturduğu demet çapı hesaplanarak eğitim veri kümesi oluşturulmuştur. Oluşturulan beş-elemanlı elektrostatik lens sistemi ve lensler arasındaki eş potansiyel yüzeylerin şematik görünümü Şekil 2’de verilmektedir.



Şekil 2: Beş-elemanlı elektrostatik lens sisteminin şematik görünümü. L(i), potansiyel uygulanan elektrostatik silindirik lensleri sırasıyla göstermektedir. (Schematic view of the five-element electrostatic lens system. L (i) shows potential applied electrostatic cylinder lenses respectively)

Elektrostatik lenslerin potansiyel değerlerine bakıldığında, $V_5/V_1=1$ olarak alınırken V_4/V_1 , V_3/V_1 ve V_2/V_1 değerleri giriş veri kümesi olarak alınmıştır. Elde edilen sonuçların geniş bir çalışma aralığında kullanılabilmesi amacıyla, her bir lens elemanının voltaj değeri ilk lens elemanı voltaj değerine göre oransal olarak alınmıştır. Sınır eleman metodu kullanılarak hesaplanan büyütme değerleri ise, ağ çıkış veri kümesinin oluşturulmasında kullanılmıştır. Görüntü noktasında, 0,4 mm.- 2 mm. yarıçaplı elektron demetleri, “paralel elektron demeti” olarak

tanımlanmıştır. Bir diğer ifadeyle, cisim noktasından gönderilen elektron demet çapına bağlı olarak, görüntü noktasında büyütmenin "1" olduğu değerler paralel elektron demeti olarak tanımlanmıştır. Farklı voltaj değerleri uygulanan elektrostatik lens bölgesinden geçen elektron demetinin görüntü noktasında oluşturduğu paralel elektron demeti [1 0] olarak kodlanmıştır. $Q/D=5$ görüntü noktasında paralel olmayan elektron demeti ise [0 1] olarak kodlanarak çıkış veri kümesini oluşturmuştur. Ağın genel görünüşü Şekil 3'de verilmektedir. Beş elemanlı lens sisteminin V_4/V_1 , V_3/V_1 ve V_2/V_1 voltajları giriş verilerini oluştururken, çıkışta elektron demetinin yarıçap değerine bağlı olarak paralel ya da paralel olmayan demet modu ağ tarafından sınıflandırılmaktadır.

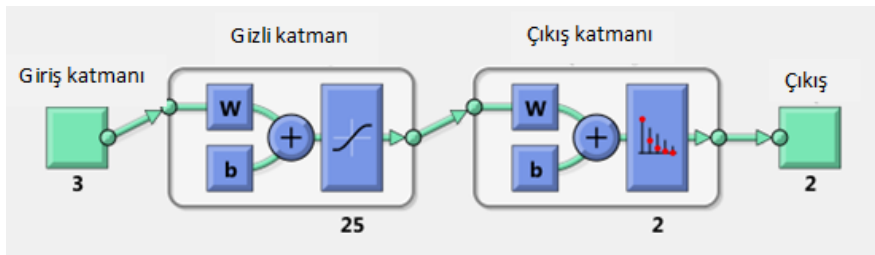


Şekil 3: Beş-elemanlı silindir lens sistemleri için oluşturulan YSA mimarisinin şematik görünümü. (Schematic view of ANN architecture created for five-element cylinder lens systems)

Bu çalışmada YSA algoritmasının uygulanması ve performans analizi, Matlab R2012b programı ile gerçekleştirilmiştir. Performans değerlerini geliştirmek için, giriş verilerine [0 1] aralığına ölçekleme olan (Min-Max) normalizasyonu yapılmıştır. CPO yazılımından elde edilen ve YSA eğitiminde kullanılan 50 adet giriş ve çıkış verilerinin, %50'si eğitim, %15'i doğrulama ve %35'i test veri kümesi olarak kullanılmıştır. Gizli katman ve çıkış katmanının her ikisinde de en iyi sonucu veren, tanjant sigmoid aktivasyon fonksiyonu ($2/(1+e^{-2x}) - 1$) kullanılmıştır. Eğitim aşamasında, en yüksek doğrulukta sonuçlar veren Levenberg-Marquardt geri yayılım algoritması kullanılmıştır (Marquardt, 1963; Levenberg, 1944). Ağın giriş ve çıkış verileri arasındaki ilişkiyi ezberlemeden öğrenmesi ve yüksek doğrulukta sonuçlar vermesi açısından, en iyi sınıflandırma elde edilene kadar gizli katman nöron sayısı değiştirilmiştir. 25 gizli katman nöron sayısı ile en iyi değere ulaşılmıştır. YSA'nın en yüksek performans değerini elde etmek için öğrenme katsayısı ve momentum değerleri deneme-yanılma yöntemiyle bulunmuştur.

Performans analizi, karışıklık matrisi, ROC eğrisi ve hata histogramının çözümlenmesiyle gerçekleştirilmiştir. Alınan sonuçlara göre, paralel elektron demeti modunda oluşturulan lens voltajlarının sınıflandırılmasının, beş-elemanlı silindir lens sistemi için 3-25-2 YSA mimarisi en yüksek performansa sahiptir (Şekil 4). Oluşturulan YSA mimarisinin sınıflandırma başarısını göstermekte kullanılan ölçütlerden belirlilik, duyarlılık ve doğruluk ölçütleri kullanılmıştır. Tablo 2'de farklı nöron sayılarına sahip YSA mimarilerinin test veri kümesi için performans sonuçları verilmektedir.

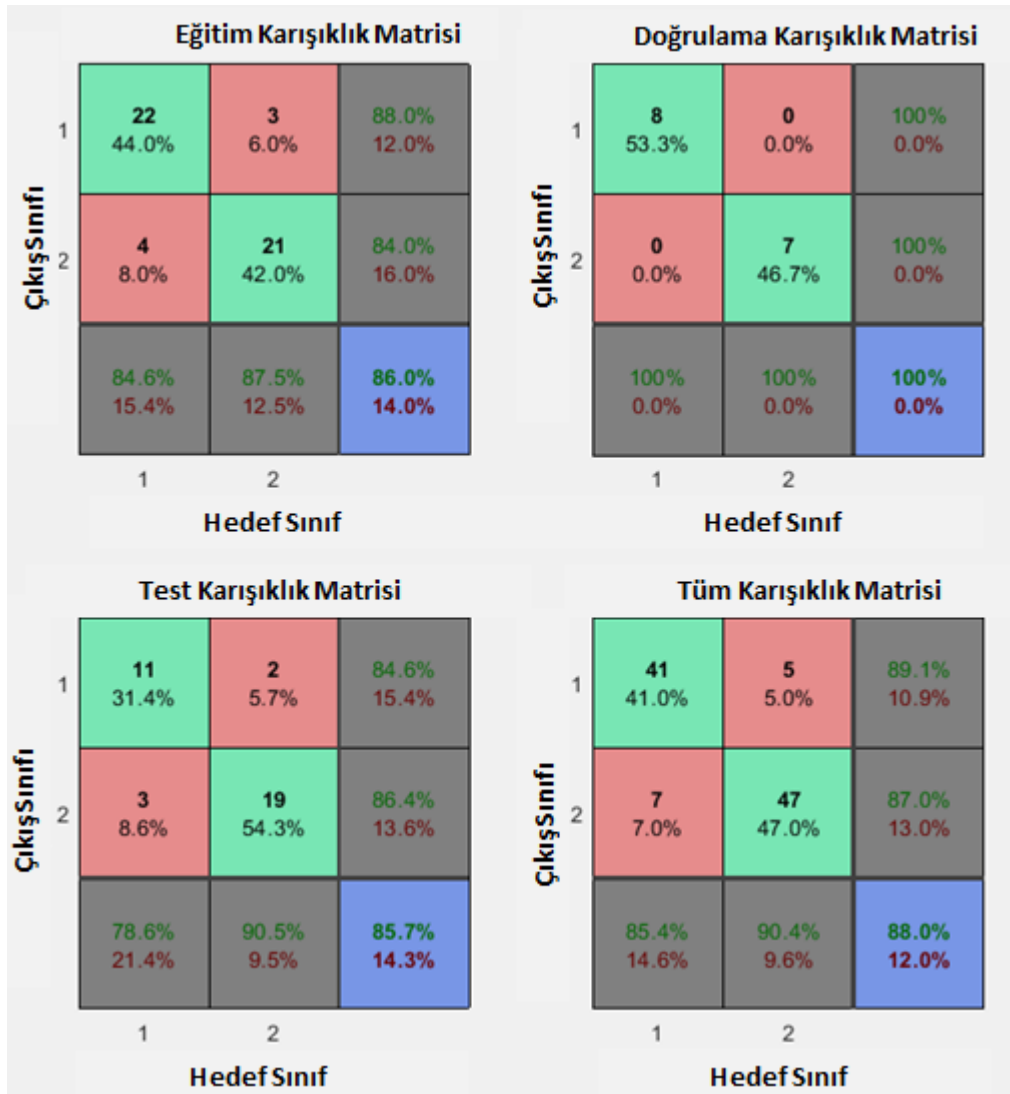
En iyi sonucu veren 3-25-2 YSA mimarisine ait performans sonuçları Şekil 5'de verilmiştir. Sırasıyla ağın eğitim, doğrulama, test ve tüm sonuçlarının sergilendiği karışıklık matrisi Şekil 5'de verilmektedir. Test sonuçlarına bakıldığında, ağın daha önceden görmediği verilerin % 85,7'sini doğrulukla sınıflandırdığı bulunmuştur. Test karışıklık matrisinde, doğru olarak sınıflandırılan ve DP ve DN olarak tanımlanan verilerin sayısı sırasıyla 11 ve 19 olmuştur. Diğer yandan, ağın daha önceden görmediği test verilerinden doğru sonuç bulunamayan, YP ve YN olarak tanımlanan verilerin sayısı sırasıyla 2 ve 3 olarak bulunmuştur. Böylece, ağın test verilerini sınıflandırmasında doğruluk oranı, denklem (5) yardımıyla %85,7 olarak bulunmuştur. Ağın test verilerini sınıflandırmasında duyarlılık oranı, denklem (4) yardımıyla %78,6 olarak bulunmuştur. Test verilerinde belirlilik oranı ise, denklem (3) yardımıyla, %90,5 olarak bulunmuştur.



Şekil 4: En iyi sınıflandırma yeteneğine sahip 3-25-2 YSA mimarisinin şematik gösterimi. Gizli katmanda tanjant sigmoid fonksiyonu kullanılmıştır. w ağırlık vektörünü, b ise eşik değerini gösterir. (Schematic representation of 3-25-2 ANN architecture with the best classification capability. w indicates the weight vector and b indicates the threshold value)

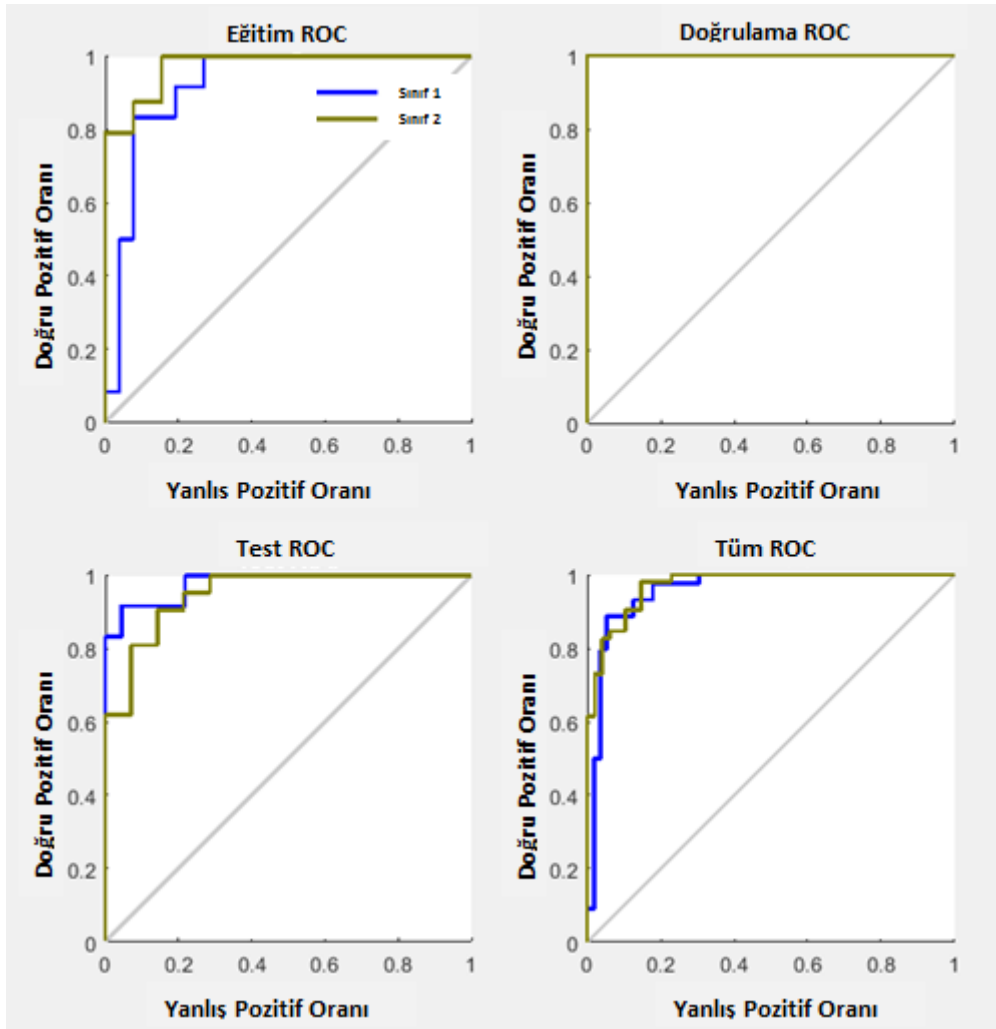
Tablo 2: Beş elemanlı lens sistemi için oluşturulan, farklı nöron sayılarına sahip YSA mimarilerinin test performans sonuçları. (Table 2 Test performance results of ANN architectures with different neuron numbers created for a five-element lens system)

YSA Mimarisi	Test Veri Kümesi		
	Doğruluk	Duyarlılık	Belirlilik
3-5-2	83,4	77,2	76,8
3-10-2	84,7	77,1	84,4
3-15-2	80,2	73,0	79,8
3-20-2	80,7	73,1	82,4
3-25-2	85,7	78,6	90,5
3-30-2	81,8	74,3	85,4



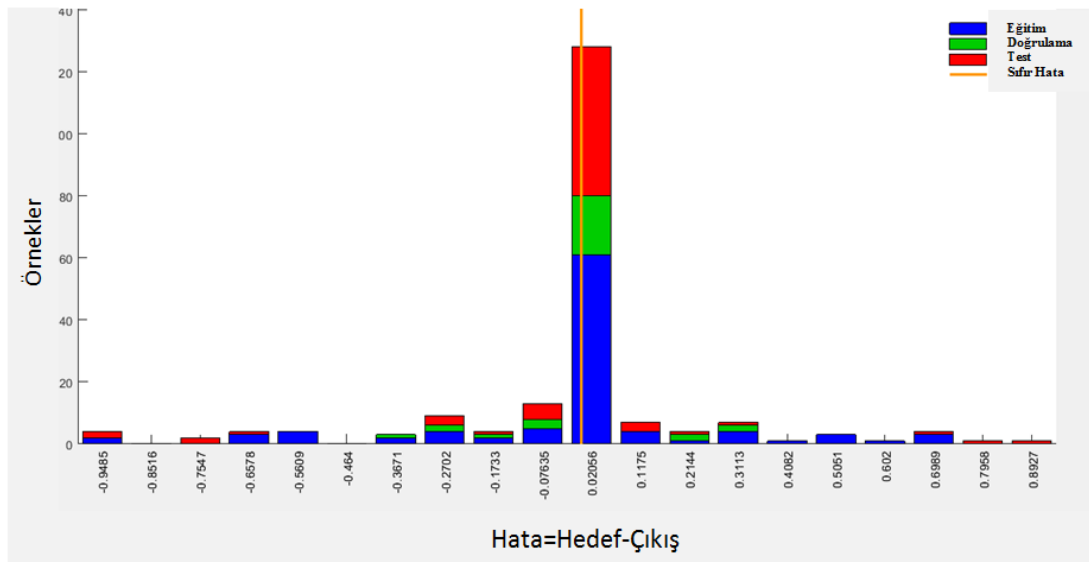
Şekil 5: Beş elemanlı lens sistemi için oluşturulan 3-25-2 YSA mimarisinin performans sonuçları. (Performance results of 3-25-2 ANN architecture created for five element lens system)

Sınıflandırma yeteneğinin belirlenmesinde elde edilen ROC eğrisi, Şekil 6'da verilmektedir. Yanlış pozitif oranının doğru pozitif oranına göre grafiksel gösterimi olan ROC eğrisinde, sınıf 1 (mavi çizgi) (paralel demet modu) ile sınıf 2 (yeşil çizgi) (paralel olmayan demet modu) çizgisi altında kalan alan yüksek hassasiyette sınıflandırma sağlandığını göstermektedir.



Şekil 6: Beş-elemanlı elektrostatik silindir lens sistemlerinde paralel elektron demet modunu sınıflandırma yeteneğinin belirlenmesinde, 3-25-2 YSA mimarisine ait ROC eğrisi. (ROC curve of 3-25-2 ANN architecture in determining the ability to classify parallel electron beam mode in five-element electrostatic cylinder lens systems)

Ağ performansını incelemek için, şekil 7’de verilen 3-25-2 YSA mimarisine ait hata histogramı elde edilmiştir. Histogramda mavi kısımlar eğitim, yeşil alanlar doğrulama ve kırmızı alanlar ise test kısmını göstermektedir. Histograma bakıldığında, hataların çoğunun 0,02056 değerinde yükseldiği ve sıfıra yakın sonuçlar verdiği görülmektedir.



Şekil 7: Elde edilen sonuçlara göre en iyi sınıflandırmayı sağlayan 3-25-2 YSA mimarisine ait hata histogramı. (Figure 7 Error histogram of 3-25-2 ANN architecture that provides the best classification according to the obtained results)

5. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Bu çalışmada, fizik alanındaki yenilikçi bir yaklaşım olan yapay sinir ağı beş-elemanlı elektrostatik silindirik lens sistemlerinde paralel demet modunu belirleyen lens voltaj oranlarını araştırmada kullanılmıştır. Elektrostatik silindirik lens voltajlarının değerlerine bağlı olarak, belirli cisim ($P/D=5$) ve görüntü ($Q/D=5$) noktalarında elektron demet çapı, sınır eleman metodunu kullanan CPO programı kullanılarak elde edilmiştir. Elde edilen CPO program verileri, YSA algoritmasının giriş verisi olarak kullanılmıştır. Farklı gizli katman nöron sayısı kullanılarak, ağ minimum hata ile en iyi performansı elde etmek için değerlendirilmiştir. Oluşturulan 3-25-2 YSA mimarisinin, yüksek doğrulukta performans değerlerine sahip olduğu bulunmuştur. Elde edilen YSA algoritması, istenilen paralel lens durumu için en uygun lens voltajlarını bulmada hızlı bir çözüm (yaklaşık birkaç saniye) üretmektedir. Çalışmada önerilen YSA algoritması, yüksek doğrulukta sonuçlar vermesi açısından deneysel sistem optimizasyonunda kullanılabileceği düşünülmektedir. Sunulan çalışma, ileride farklı metodlarla hesaplanan ya da deneysel olarak elde edilen veriler kullanılarak literatürdeki diğer yapay zeka algoritmaları ile de yapılabilecektir.

Teşekkür (Acknowledgement)

Bu çalışma, Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi 0337-NAP-16 nolu proje tarafından desteklenmektedir.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar (References)

- Al-Hagan O., Kaiser C., Madison D., Murray A. J., 2009. Atomic and Molecular Signatures for Charged Particle Ionization, *Nature Physics*, 5, 59-63.
- Bayram T., Akkoyun S., Kara S. O., 2014 . A Study on Ground-State Energies of Nuclei by using Neural Networks, *Ann. Nucl. En.*, 63, 172-175.
- Cubric D., Lencova B., Read F. H., Zlamal J., 1999. Comparison Of FDM, FEM and BEM for Electrostatic Charged Particle Optics, *Nucl. Inst. Meth. Phys. Res. Sec. A: Acc. Spect. Det. Assoc. Equip.*, 427:1, 357-362.
- Harting E., Read F. H., 1976. *Electrostatic Lenses*, Elsevier Science Yayınevi.
- Haykin S., 1999. *Neural Networks: A Comprehensive Foundation*, Englewood Cliffs, Prentice-Hall,
- Heddl D.W.O., 2000. *Electrostatic Lens Systems*, IOP Press, London.
- Işık A. H., 2015a. The Investigation of Electron-Optical Parameters Using Artificial Neural Networks, *Acta Phy. Pol. A.*, 127:4, 1317-1319.
- Işık A. H., 2015b. Prediction of Two-Element Cylindrical Electrostatic Lens Parameters using Dynamic Artificial Neural Network, *Acta Phy. Pol. A.*, 127:6, 1717-1721.
- Işık A. H., Işık N., 2016b. Time Series Artificial Neural Network Approach for Prediction of Optical Lens Properties, *Acta Phy. Pol. A.*, 129:4, 514-516.
- Işık N., 2016. Determination of Electron Optical Properties for Aperture Zoom Lenses using an Artificial Neural Network Method, *Microscopy and Microanalysis*, Cilt. 22:2, 458-462,
- Işık N., Doğan M., Bahçeli S., 2016. Triple Differential Cross Section Measurements for the Outer Valence Molecular Orbitals (1t₂) of A Methane Molecule at 250 eV Electron Impact, *J. Phys. B. At. Mol. Opt. Phys.*, 49, 065203-1-5.
- Işık N., Işık A. H., 2016a. Classification of Electron Gun Operation Modes using Artificial Neural Networks, *Acta Phy. Pol. A.*, 129:4, 628-630.
- Khan J., Wei J.S., Ringner M., Saal L.H., Ladanyi M., Westermann F., Berthold F., Schwab M., Antonescu C.R., Peterson C., Meltzer P.S., 2001. Classification and Diagnostic Prediction of Cancers using Gene Expression Profiling and Artificial Neural Networks *Nature Medicine* 7, 673-679.
- Lagaris I. E., Likas A., Fotiadis D. I., 1997. Artificial Neural Network Methods in Quantum Mechanics, *Comp. Phys. Com.*, 104, 1-14.
- Lahmam-Bennani A., 1991. Recent Developments and New Trends in (e,2e) And (e,3e) Studies, *J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys.*, 24, 2401-2442.
- Levenberg K., 1944. A method for the solution of certain non-linear problems in least squares, *Quart. Appl. Math.*, 2, 164-168.
- Marquardt D., 1963. An Algorithm for Least-Squares Estimation of Nonlinear Parameters, *SIAM J. Appl. Math.*, 11, 431-441.
- Nouri T., Pierre-Jean E., 1992. Knowledge Based Optical System Design, *Proceedings of EXPER SYS-92*, 147-152.
- Petkovic D., Pavlovic N. T., Shamshirband S., Mat Kiah M.L., Badrul Anuar N., Idna Idris M.Y., 2014. Adaptive Neuro-Fuzzy Estimation of Optimal Lens System Parameters, *Opt. Lasers Eng.* 55. 84-93.
- Read F. H., Adams A., Soto-Montiel J. R., 1971. Electrostatic Cylinder Lenses. I. Two Element Lenses, *J. Phys. E (Sci. Instrum)*, 4, 625-632.
- Read F. H., Bowring N.J., 2011. The CPO Programs and The BEM for Charged Particle Optics, *Nucl. Inst. Meth. Phys.*, 645, 273-277.
- Sigman M. E., Rives S. S., 1994. Prediction of Atomic Ionization Potentials I-iii Using An Artificial Neural Network, *J. Chem. Int. Comput. Sci.*, 34, 617-620.

- Sise O., Okumus N., Ulu M., Dogan M., 2009. Computer Simulation of Electrostatic Aperture Lens Systems for Electron Spectroscopy, *J.Elec. Spectr. Rel. Phen.*, 175, 76-86.
- Sumpter B. G., Getino C., Noid D. W., 1992. A Neural Network Approach to The Study of Internal Energy Flow in Molecular Systems, *J. Chem. Phys.*, 97, 293-306.
- Tam S.M., Kwong C.K., Ip W.H. 2000. A Hybrid Artificial Intelligence System for Optical Lens Design, *Int. J. Comp. Appl. Techn.* 13, 229-236.
- Weng Z.C, Chen Z.Y., Yang Y.H., Ren T., Tong X.J., 1991. An Attempt to Develop a Zoom Lens Design Expert System, *Proceedings of the SPIE the International Society for Optical Engineering*, SPIE, 1527, 349-356.