



---

**Makale / Research Paper**

---

**Paralel Bağlı Vorteks Tüplerinin Performansı için Yapay Sinir Ağları Analizi**

**Hüseyin KAYA**

Bartın Üniversitesi Mühendislik, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Makine Mühendisliği, 74100, Bartın, TÜRKİYE  
hkaya@personel.bartın.edu.tr

**Received/Geliş:** 27.07.2020

**Accepted/Kabul:** 07.09.2020

**Öz:** Bu çalışmada iki adet aynı özelliklere sahip karşıt akışlı Ranque-Hilsch Vorteks Tüpü (RHVT) paralel bağlanarak performansı deneysel olarak incelenmiş ve vorteks tüpünün performans göstergesi olan sıcak akışkan çıkışı ile soğuk akışkan çıkışı arasındaki sıcaklık farkı ( $\Delta T$ ) değerleri elde edilmiştir. Oksijen ve hava ile yapılan deneylerde polyamid ve pirinç malzemeden imal edilmiş 3,4 ve 5 orifisli nozullar kullanılmıştır. Farklı akışkanlar, nozul malzemeleri ve nozul sayıları için elde edilen  $\Delta T$  değerlerinin modellenmesi için bir yapay sinir ağları (YSA) çalışması yapılmış ve paralel bağlı iki vorteks tüpü sistemi için genelleştirilebilir modelleme elde edilmiştir. Nozullar için ısı iletkenlik ve orifis sayısı, çalışma akışkanları için özgül ısı ve yoğunluk parametreleri ile RHVT giriş basıncı (5 girdi) girdi parametreleri olarak kullanılmıştır. YSA için veriler eğitim ve test grubu olarak ayrılmış ve eğitilen model test grubu ile test edilmiştir. Regresyon analizinde eğitim gurubu için  $R^2$  değeri %99,8, test grubu için %99,6 olarak hesaplanmıştır

**Anahtar Kelimeler:** Vorteks tüpü, Modelleme, YSA

---

**Artificial Neural Network Analysis for Performance of Parallel Connected Vortex Tubes**

**Abstract:** In this study, two counter-flow Ranque-Hilsch Vortex Tubes (RHVTs) were connected in parallel, and their performance was investigated experimentally, and the temperature difference ( $\Delta T$ ) values the vortex tube's performance indicator between hot and the cold fluid outlet were obtained. In experiments with oxygen and air, 3,4 and 5 orifice nozzles made of polyamide and brass are used. An artificial neural network (ANN) study was conducted to model the  $\Delta T$  values obtained for different fluids, nozzle materials and nozzle numbers, and generalizable modeling was obtained for two parallel vortex tube systems. Thermal conductivity and orifice number for nozzles, specific heat and density parameters for working fluids and RHVT inlet pressure (5 input) are used as input parameters. Data for ANN was separated as a training and test group and the trained model was tested with the test group. In regression analysis,  $R^2$  value was calculated as 99.8% for the education group and 99.6% for the test group.

**Keywords:** Vortex tube, Modelling, ANN

---

## 1. Giriş

Vorteks tüpleri eş zamanlı olarak ısıtma ve soğutma etkisi elde edilebilen mekanik sistemler olup, çalıştırılabilmeleri için basınçlı akışkan yeterli olmaktadır. Anlık soğutma etkisi elde edilebilmesi ve çevre dostu olması bakımından oldukça efektif bir sistemdir. Yapısında bulunan ve giren basınçlı akışkanı girdap akışı haline getiren bileşene nozul adı verilmektedir. Bu olayı sağlayan nozul üzerinde bulunan ve nozul sayısı diye adlandırılan yarıklardır. Oluşan girdaplı akış sonrasında gerçekleşen enerji transferi sonrasında sıcak ve soğuk akış ayrılarak farklı çıkışlardan çıkmakta olup literatürde bu ayrılma olayına sıcaklık ayrılması veya enerji ayrılması adı verilmektedir [1,2]. Buhar sıkıştırma soğutma sistemleri kadar yüksek etkinliği olmasa da uygulamaya etkili sonuçlar elde

*Bu makaleye atıf yapmak için*

Kaya, H., "Paralel Bağlı Vorteks Tüplerinin Performansı için Yapay Sinir Ağları Analizi" El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi 2020, 7(3); 1509-1517.

*How to cite this article*

Kaya, H., "Paralel Bağlı Vorteks Tüplerinin Performansı için Yapay Sinir Ağları Analizi" El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi 2020, 7(3); 1509-1517

ORCID: 0000-0003-0575-0161

edilebilmektedir [3]. Geleneksel vorteks tüpleri, icat eden ve geliştiren bilim insanlarının isimleriyle anılmakta olup Ranque-Hilsch Vorteks Tüpü olarak bilinmektedir. Geleneksel tip olan bu RHVT'lerde bir giriş ve sıcak ve soğuk olmak üzere iki çıkış mevcuttur. Vorteks tüpünün sıcak çıkış tarafında hareketli bir aksam olan ayarlama vanası bulunmaktadır ki bu vananın pozisyonu vorteks tüpünün performansını etkilemektedir [4,5]. Basıncı olarak vorteks tüpüne giren akışkan nozuldan geçerek nozul şeklinin etkisiyle dönel akışın oluşmasından sonra sıcak akış, vorteks koridoru olarak adlandırılan silindirik kısmın cidarlarına doğru genişlemekte ve soğuk akış ise merkezde kalmaktadır. İki akış arasındaki enerji transferi sırasında akış ayrılması vorteks koridorunda bir durma noktasına gelir ve merkezdeki soğuk akışkan geriye doğru hareket eder ve soğuk çıkıştan çıkar. Cidarda ilerleyen sıcak akışkan ise ayarlanabilir vana tarafından çıkmış olur [6-8].

## 2. Literatür Özeti

Vorteks tüpünün performansının modellenmesi ile ilgili Kırmacı vd. tarafından yapılan çalışmada,  $\Delta T$  için Taguchi L27 dikey dizin kullanılmış ve giriş basıncı, nozul sayısı ve çalışma akışkanı girdilerinin farklı değerleri kullanılarak sıcaklık farkı üzerindeki etkileri araştırılmıştır. %89.89 ile en yüksek etki giriş basıncı için elde edilmiş olup bu çalışma için en düşük katkının %0.54 ile akışkan tipinden kaynaklandığı belirtilmiştir [9]. Diğer bir çalışmada ise çalışma akışkanı hava için giriş basıncı, nozul sayısı ve soğuk akış oranı parametrelerinin farklı seviyeleri kullanılarak sıcaklık farkı ( $\Delta T$ ) Taguchi optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Burada performans parametresi için regresyon analizi yapılmış ve elde edilen korelasyonda  $R^2$  değeri 0.935 olarak hesaplanmıştır. Soğuk akış oranı ( $\mu$ ) adı verilen parametrenin %4.43 değerinde performansa katkı yaptığı belirlenmiştir [10]. Korkmaz vd. tarafından yapılan çalışmada bir RHVT, soğuk akış oranı, giriş basıncı, L/D oranı ve sıcak çıkış valfinin açısının farklı değerleri kullanılarak  $\Delta T$  için YSA analizi yapılmıştır. En iyi performansın, valf açısının 30°, L/D oranının 20 olduğu deneylerde elde edildiğini bildirmişlerdir. Bu değerlerin 5 bar basınç ve 0.87 soğuk akış oranında elde edildiği belirtilmiştir [11]. Vorteks tüpü performansı için, Polat ve Kırmacı tarafından, uyarlanabilir ağ tabanlı bulanık çıkarım sistemi (ANFIS) ve çıktıya bağlı veri ölçeklendirme (ODFS) ile ANFIS birleşimi yenilikçi bir analiz sistemi birbirleriyle karşılaştırmalı olarak kullanılmıştır. Bu modelleme için vorteks tüpü giriş basıncı, nozul sayısı ve çalışma akışkanının yoğunluğu parametreleri girdi olarak kullanılıp  $\Delta T$  çıktı olarak belirlenmiştir. Kullanılan hibrit metot sonucunda uyumlu sonuçlar elde edildiği belirtilmiştir. ODFS + ANFIS hibrit sisteminde hata oranları oldukça düşük değerler olduğundan daha hassas sonuçlar verdiği bildirilmiştir [12]. Lagrandeur vd. karşıt akışlı RHVT'nin giriş şartlarının performansa etkilerini incelemek amacıyla termodinamik ve YSA analizi gerçekleştirmiş ve sonuçlarını karşılaştırmışlardır. İki adet YSA analizi yapılmış olup birinci YSA'da  $\Delta T$  ve COP çıktı olarak kullanılırken, ikinci YSA'da giriş kütledebisi çıktı olarak kullanılmıştır. Termodinamik model için  $\Delta T$  prosesi üç kısma ayrılmış ve fiziksel durumları açıklanmıştır. Sonuç olarak giriş-soğuk çıkış basınç oranı ve sürtünmeden oluşan çıkış basınçları sıcaklık ayrılması üzerinde baskın etkiye sahip olduğu belirtilmiştir [13]. 46 deney sonucu ile oluşturulan veri seti ile YSA ve tepki yüzeyi metodolojisi (TYM) kullanılarak RHVT performansının modellendiği çalışma Kumar vd. tarafından yapılmış olup, geometrik özellikler (vorteks koridoru çapı ve uzunluğu, nozul boyutları) ve giriş basıncı parametreleri girdi olarak kullanılmış ve sıcak ve soğuk akışkan çıkış sıcaklıkları ise çıktı olarak kullanılmıştır. YSA ve TYM karşılaştırıldığında, YSA'nın daha düşük hata oranları ile daha iyi sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir [14]. Borujerdi vd. tarafından karşıt akışlı RHVT'nin performansı tepki yüzeyi metodolojisi ile incelenmiş ve girdi olarak L/D oranı, nozul sayısı, soğuk çıkış uzunluğu/çap ve giriş basıncı kullanılarak toplam sıcaklık farkının ( $\Delta T$ ) davranışı incelenmiştir. Düşük L/D'ye sahip vorteks tüpü için nozul sayısındaki bir artış, akış katmanları arasında yüksek fraksiyon dağılımına neden olur, böylece sıcaklık ayrılması artar; tersine, nozul sayısındaki daha büyük bir L/D artışı olan vorteks tüpü için, akışın daha çalkantılı olmasına neden olur, bu nedenle  $\Delta T$ 'nin azalacağı belirtilmiştir [15]. Bovand vd. tarafından yapılan çalışmada ise TYM yöntemi giriş basıncı, soğuk çıkış çapı ve

nozül sayısı için gerçekleştirilmiş sıcak ve soğuk çıkış için elde edilen sıcaklık farkı değerleri ( $\Delta T_c$  ve  $\Delta T_h$ ) çıktı olarak kullanılmıştır. Soğuk çıkış çapı parametresinin  $\Delta T_c$  üzerinde en yüksek etkiye sahip olduğunu ve hassasiyet değerinin nozül sayısından %65,8, giriş basıncından %51,1 daha yüksek olduğunu ve çalışmada regresyon sonuçlarının %100'e yakın değerler verdiğini bildirmişlerdir [16].

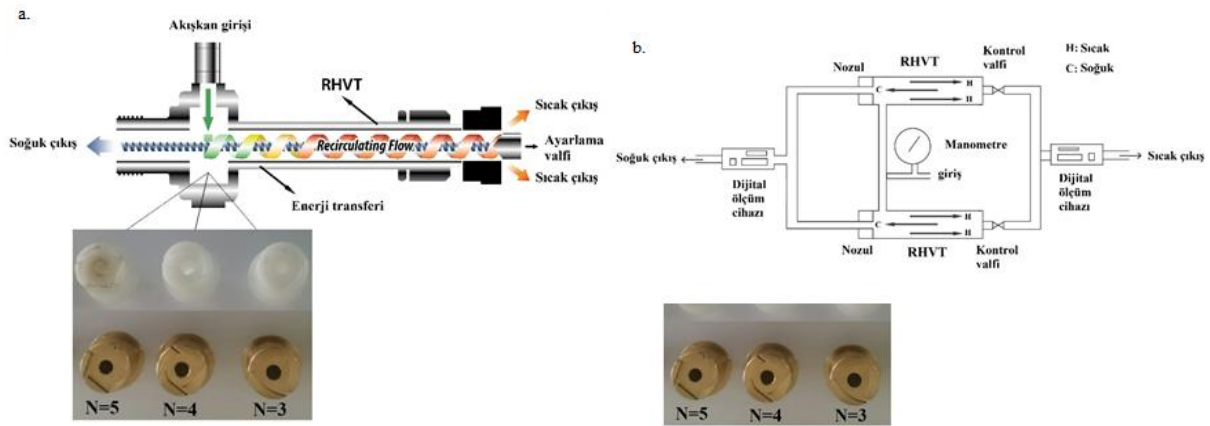
Bu çalışmada paralel bağlı iki vorteks tüpü için farklı çalışma akışkanları ve farklı malzemeden üretilmiş nozulların özellikleri ile giriş basıncı ve nozül sayısı etkisinin modellenerek  $\Delta T$ 'nin davranışı YSA ile incelenmiştir. Mevcut çalışmalardan farklı olarak çalışma akışkanı etkisi, termodinamik özellikler üzerinden (yoğunluk ve özgül ısı) YSA modelinde kullanılmış sonuçlar yorumlanmıştır.

### 3. Materyal ve Metot

#### 3.1. Materyal

Vorteks akışı sırasındaki sıcaklık ayrımı, ana etki olarak teğet akıştaki viskoz kayma nedeniyle enerji transferinin ortaya çıkmasından kaynaklanmaktadır. Bu, eksenel yönde meydana gelen ve kesme gerilmelerinin neden olduğu enerji transferinin sıcak akıştan, soğuk akışa doğru gerçekleştiğinin bir göstergesidir. RHVT'deki kararlı akış sırasında, sürtünmeden kaynaklanan mekanik enerjiden kaynaklanan akışkan katmanları ortaya çıkar. Sıcak akışın düşük sınır tabaka kalınlığı nedeniyle, vorteks akışı için kontrol hacmi limiti, statik sıcaklığın radyal olarak arttığı sınır tabakası içinde kalır.

Aynı geometrik ve yapısal özelliklere sahip iki karşıt akışlı RHVT paralel bağlanmış ve performans deneyleri yapılmıştır. Şekil 1'de karşıt akışlı vorteks tüpünün şematik temsili çalışma sırasındaki enerji değişimleri gösterilerek verilmiş olup ilaveten paralel bağlı iki vorteks tüpünün şematik gösterimi de verilmiştir. Paralel bağlı RHVT sisteminde farklı şartlar için deneyler gerçekleştirilerek sıcaklık ölçümleri yapılabilmesi için soğuk ve sıcak çıkışların her birinden bir cm uzakta delikler açılmış ve bu noktalara sıcaklık sensörleri yerleştirilmiştir. Bununla birlikte dış ortamın etkilerini ortadan kaldırmak için iyi bir yalıtım sağlanmıştır. Deneysel çalışmalar, çalışma akışkanları oksijen ve hava için 3,4 ve 5 nozül sayılı polyamid ve pirinç malzemeden nozullar kullanılarak yapılmıştır. Paralel bağlı RHVT sistemine giriş basıncı değerleri, 150 kPa en düşük olmak üzere 500 kPa basınca kadar 50 kPa artışlarla uygulanmıştır.



Şekil 1. Vorteks tüpünde enerji akışı ve paralel bağlı vorteks tüplerinin şematik gösterimi

Sıcak akışkan çıkış tarafında bulunan ayarlama vanası tam açık konumda deneyler

gerçekleştirilmiştir. Karşıt akışlı RHVT performansı, nozulların ve çalışma akışkanının termofiziksel özellikleri, nozul sayısı ve giriş basıncı ile doğrudan ilişkilidir. Nozul malzemesinin termal iletkenliği, çalışma akışkanının özgül ısı ve yoğunluğu vorteks tüpünün performansını etkilemektedir. Diğer girdi parametresi de giriş basıncı olmak üzere paralel bağlı RHVT'nin  $\Delta T$  değeri için beş farklı deneysel girdi kullanılarak geliştirilebilir yapay sinir ağı analizi yapılmıştır. Deneysel veriler eğitim ve test grubu olarak iki kısma ayrılmış olup 96 verinin 72 tanesi modelin eğitilmesinde geriye kalan veri setleri ise oluşturulan modelin test edilmesinde kullanılmıştır.

Vorteks tüpündeki sıcaklık ayırımı olan  $\Delta T$ 'yi hesaplamak için öncelikle vorteks tüp sisteminin sıcak çıkış ve soğuk çıkışlarının sıcaklıkları ölçülür. Daha sonra bu sıcaklık değerleri ile giriş sıcaklığı arasındaki farklar hesaplanarak  $\Delta T_h$  ve  $\Delta T_c$  elde edilir. Sıcak ve soğuk çıkış için elde edilen  $\Delta T_h$  ve  $\Delta T_c$  arasındaki fark, aynı zamanda vorteks tüpü performansını belirleyen toplam sıcaklık ayırımının ( $\Delta T$ ) değerini verir. Hesaplama prosedürü şu şekildedir:

$$\Delta T_c = T_i - T_c \quad (1)$$

$$\Delta T_h = T_h - T_i \quad (2)$$

$$\Delta T = T_h - T_c \quad (3)$$

### 3.2. Metot

YSA analizi, deneysel verilerin modellenerek, parametre davranışını belirlemek amacıyla yaygın olarak kullanılan ve yapay zekanın bir bileşeni olarak ilgi çekici bir konudur. Girdi ve çıktılar arasındaki belirsiz ve lineer olmayan ilişkileri, matematiksel bağıntılar olmaksızın ortaya çıkarabilen etkili bir yöntemdir. Biyolojik nöron hücrelerinden ilham alınarak geliştirilen YSA, öğrenme, genelleştirilebilme ve adaptasyon yetenekleriyle oldukça hassas sonuçlar vermektedir. YSA analizi bütün olarak ele alındığında kendi içinde aşamalardan oluşmaktadır. İlk aşama, girdi-çıktıların belirlenmesi, verilerin toplanması ve önceden işlenmesinden oluşur. YSA eğitim süreci ve YSA öğrenme testi süreci ana aşamadır. Ağırlık ve sapma değerleri, model eğitim sürecinde gerçek değer ile modelin elde ettiği değer arasında hata oranını azaltmak için yinelemeli olarak ayarlanır ve kabul edilebilir hata oranı seviyeleri yakalanıncaya kadar bu işleme devam edilir. Bu aşamadan sonra eğitilen modelin test edilmesi aşaması gelmektedir ki bir veri seti ile eğitilen YSA modeli, aynı parametrelerin modelde kullanılmayan farklı değerleri için elde edilen veri seti ile test edilir. Daha önce modelin görmediği verilerle test edilen modelde kabul edilebilir hata düzeyleri elde edildikten sonra nozul ısı iletkenliği, çalışma akışkanı özgül ısı ve yoğunluğu ve RHVT giriş basıncının farklı değerleri için  $\Delta T$ 'yi tahmin edebilmektedir. Bu durum, paralel bağlı iki vorteks tüpünün performansının farklı malzemelerden üretilmiş nozulların termal iletkenliği ve farklı termofiziksel özellikteki akışkanların deney yapılmadan RHVT sistemindeki sıcaklık ayrılmasının seviyesini tahmin edilebilmesini sağlayacaktır.

Girdi ve çıktılar arasında, genel bir YSA modelinde bir veya birden fazla gizli katman bulunur ki bu katmanlar girdi katmanından gelen veri sinyalini alarak bu bilginin işlenmesini gerçekleştirir. İşlenen veriyi çıktı katmanına göndererek tüm modelin çalışması ile elde edilen sonuç ürünün ortaya çıkmasını sağlar. Deneysel veri seti ikiye ayrılır ve eğitim seti girdiler ve çıktılar arasındaki ilişkiyi belirlemek için, test veri seti ise oluşan modelin tahmin doğruluğunu belirlemek için kullanılır.

YSA modelinin eğitimi MATLAB Neural Network modülü ile gerçekleştirilmiş olup paralel bağlı vorteks tüpü sistemi için deneysel sonuçlar kullanılmıştır. Deneysel veriler iki farklı çalışma akışkanı ve iki farklı nozul malzemesi ile elde edilmiş ve 96 adettir. Çalışma akışkanlarının özgül ısı ve yoğunluğu, nozul malzemesinin ısı iletkenliği, nozul sayısı ve giriş basıncı verileri kullanılarak  $\Delta T$ 'nin YSA modeli kurulmuş olup, sadece farklı parametreler için değil farklı çalışma akışkanları ve nozul malzemeleri için tahmin yeteneğine sahiptir. Kullanılan deneysel verilerin YSA modeli için yeterli olmasına karşın test yapılan çalışma akışkanları ve nozul malzeme sayıları sınırlıdır. Bu durumun ortaya çıkardığı zorluğun üstesinden gelmek için YSA modeli için girdi ve çıktılar arasında normalizasyon işlemi uygulanmış veriler 0-1 aralığında tanımlanmıştır. Normalizasyon hesaplaması denklem (4) ile yapılmıştır.

$$x_N = \frac{x_0}{x_{maks}} \quad (4)$$

Burada  $x_N$  normalize edilen parametreyi göstermektedir ki bu da bu çalışmada paralel bağlı vorteks tüpündeki sıcaklık ayrılmasının ölçüsü olan  $\Delta T$ 'dir.  $x_0$  ve  $x_{maks}$  ise değişkenin gözlemlenen ve en yüksek değerini belirtmektedir.

İki farklı çalışma akışkanı, iki farklı nozul malzemesi, üç farklı nozul sayısı ve giriş basıncı değerlerinden oluşan toplam deney verisi 96 adettir

Eldeki verilerin rastgele seçilen %75'lik kısmı eğitim seti olarak, geri kalanı test veri seti olarak kullanılmıştır. YSA modelindeki hata seviyesini belirlemek için ortalama karekök hatası değeri hesaplanır ve yorumlanır. Bu hesaplama denklem (5) kullanılarak gerçekleştirilir.

$$MSE = \sum_{i=1}^n \frac{(e_i)^2}{n} \quad (5)$$

Bu denklemde  $n$  değeri kullanılan veri sayısını,  $e_i$  ise elde edilen ve tahmin edilen veriler arasındaki hatayı belirtmektedir. YSA modeli için performans ölçütü, tahmin yeteneğinin seviyesinin bir göstergesidir. Performans ölçütü farklı yöntemlerle elde edilebilmektedir.

Bunlardan üç tanesi bu çalışmanın performans ölçütü için kullanılmıştır ki bunlar; regresyon için determinasyon katsayısı ( $R^2$ ), post hata oranı (C), Ortalama Mutlak Yüzde Hata (MAPE)'dir. Bu performans ölçütleri sırasıyla denklem (6-8) kullanılarak hesaplanır.

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (e_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2} \quad (6)$$

$$(C) = \frac{s_2}{s_1} \quad (7)$$

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{e_i}{Y_i} \right| * 100 \quad (8)$$

Denklemlerdeki  $Y_i$  ve  $\bar{Y}$  ifadeleri sırasıyla  $i$ . periyottaki gözlemlenen ve ortalama tahmin değerini belirtmekte olup  $s_1$  ve  $s_2$  ifadeleri de orijinal verideki ve hatalardaki standart sapmayı göstermektedir.  $R^2$  değeri modelin başarısının bir göstergesi olup ne kadar yüksek değer olursa

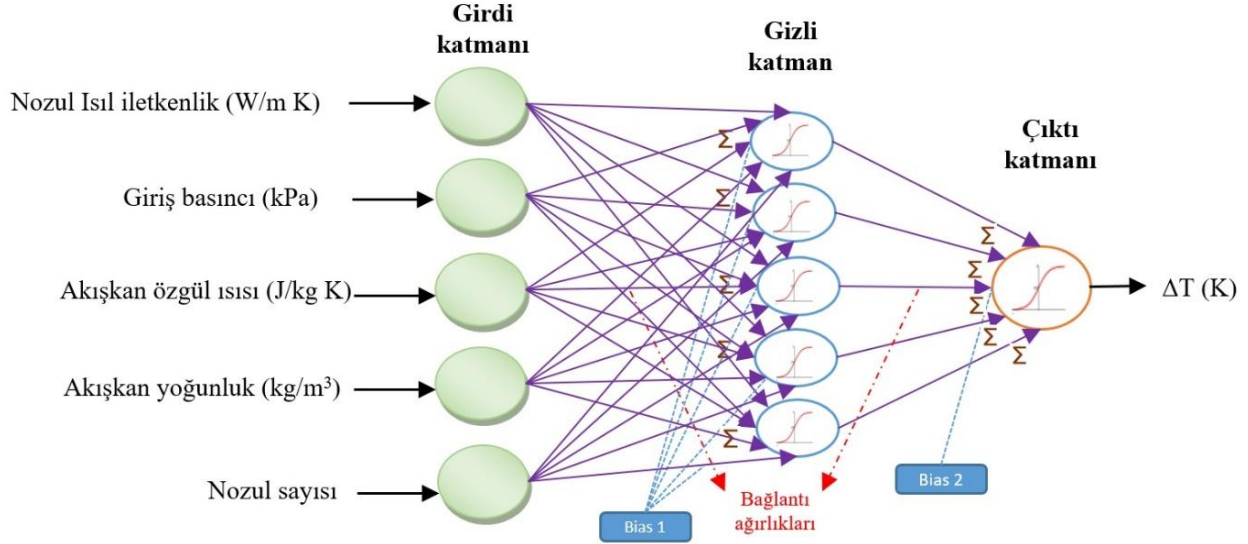
tahmin değerleri ile gerçek değerlerin o kadar uyumlu olduğunu belirtir. MAPE ve C değerleri açısından bakıldığında, modelin başarılı olması için bu değerlerin düşük seviyelerde olması gerekmektedir. Tablo 1’de bu değerlerin başarı seviyelerinin listesi verilmiştir.

Başarılı sonuçlar elde etmek için yeterli olduğundan YSA modelinde tek bir gizli katman kullanılmıştır. Deneme yanılma yöntemiyle en iyi parametreler belirlenmiştir. Gizli katmanda hiperbolik tanjant, çıktı katmanında özdeşlik aktivasyon fonksiyonu kullanılmıştır. Paralel bağlı RHVT sistemi performansı için 8 adet girdi ile eğitim işlemi yapılan YSA sonucunda makul sonuçlar veren model, daha önce görmediği verilerle test yapılmış ve sonuçlar incelenmiştir.

**Tablo 1.** MAPE ve C için

Doğruluk Ölçeği	Eşik değeri	MAPE	C
1. seviye (Mükemmel)		$\leq 1$	$\leq 0.35$
2. seviye (Oldukça İyi)		$\leq 5$	$\leq 0.50$
3. seviye (Kabul edilebilir)		$\leq 10$	$\leq 0.65$
4. seviye (Yetersiz)		$> 10$	$> 0.65$

Elde edilen YSA modelinde beş nöronlu girdi katmanı ve gizli katman ile bir nöronlu çıktı katmanı bulunmaktadır. Girdi katmanındaki nöronlar nozul sayısı, nozul termal iletkenliği, akışkan özgül ısısı, akışkan yoğunluğu ve giriş basıncını temsil etmektedir. Çıktı katmanında bulunan tek nöron ise paralel bağlı vorteks tüpü sistemi için  $\Delta T$  parametresidir. YSA modelinin şematik gösterimi Şekil 2’de verilmiş olup, doğrusal transfer fonksiyonu hem girdi hem çıktı katmanları için aktivasyon fonksiyonu olarak kullanılmıştır. Ayrıca, deneme yanılma yönteminin bir sonucu olarak öğrenme yöntemi olarak Bayesian düzenlenmesi geri yayılım algoritması gerçekleştirilmiştir.



**Şekil 2.** YSA mimarisi

#### 4. Bulgular ve Tartışma

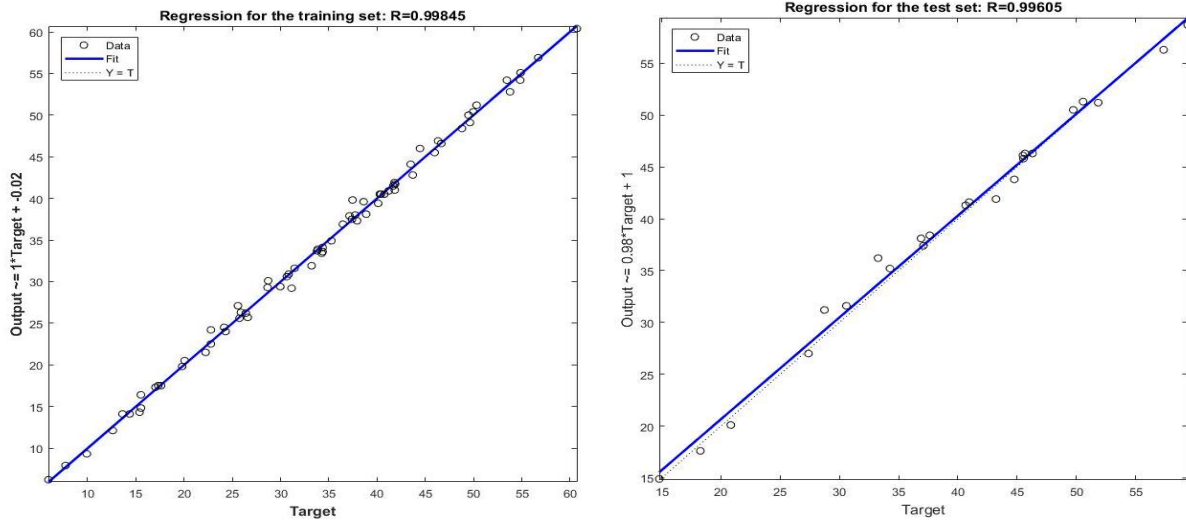
Paralel bağlı RHVT performansını ( $\Delta T$ ) etkileyen beş parametrenin davranışı YSA yöntemiyle incelenmiştir. Bu parametrelerin  $\Delta T$  üzerindeki genel etkisinin dağılımını göstermek için Şekil 3 ve Şekil 4 verilmiş olup bunlar akışkan ve nozul malzemesi etkilerini göstermektedir.

Elde edilen YSA modelinin genelleştirilebilir olması için he parametre için mantıklı üst limitler belirlenmişti ki bu da modelin çalışma aralıklarını göstermektedir. Oluşturulan YSA modeli istatistiksel olarak incelenmiş ve sonuçlar Tablo 2’de verilmiştir.

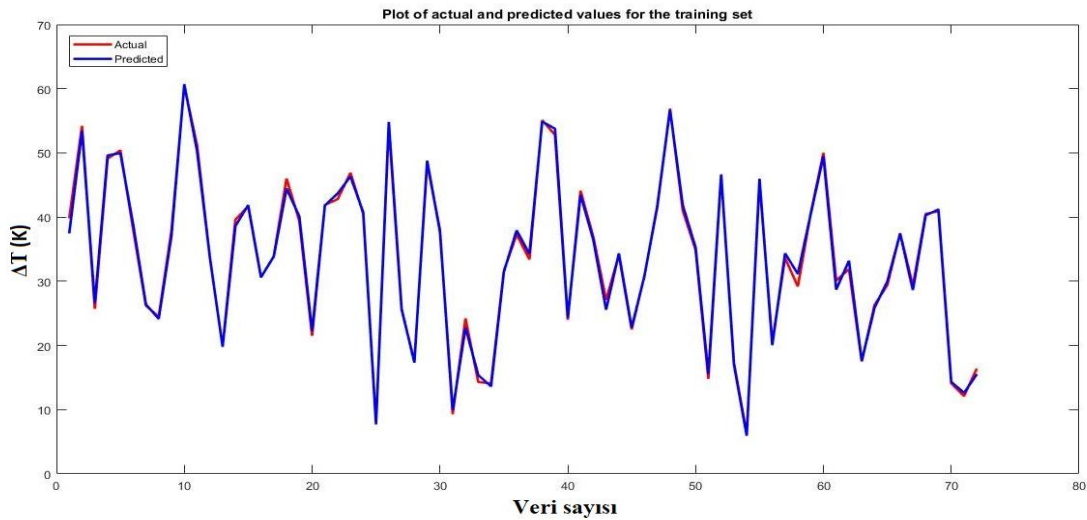
**Tablo 2.** YSA modelinin performansı

	MAPE (%)	C
<b>Eğitim veri seti</b>	1.97	0.06
<b>Test veri seti</b>	2.35	0.09

Paralel bağlı RHVT sistemi için YSA modeli elde edildikten sonra modelin başarısı iki çalışma akışkanı ve iki nozul malzemesi ile analiz edilmiştir. YSA modeli çalıştırıldıktan sonra MAPE değeri 1.97% olarak hesaplanmış ve bu değer Tablo 1’deki verilere göre oldukça iyi seviyededir. Bununla birlikte C değerine bakılacak olursa 0,06 olarak hesaplandığı ve mükemmel seviyede olduğu Tablo 3’te görülmektedir. Bu değerler, paralel bağlı RHVT için oluşturulan YSA’nın eğitim aşamasının oldukça başarılı olarak gerçekleştirildiğinin göstermektedir. Test veri seti performans sonuçlarına bakıldığında başarılı bir şekilde eğitilen YSA modelinin daha önceden görmemiş olduğu veri setlerini kullandığında istikrarlı ve kararlı sonuçlar elde edilebildiği görülmektedir.

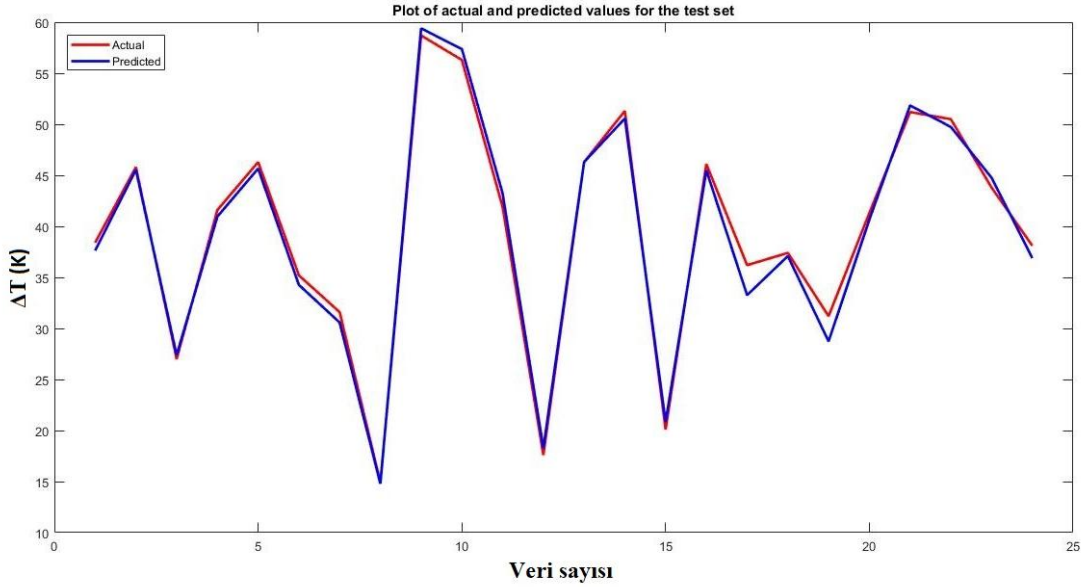


**Şekil 3.** Eğitim ve test veri setleri için gerçek ve tahmin değerlerinin dağılımı



**Şekil 4.** Eğitim veri seti için gerçek ve tahmin değerlerin dağılımı

Şekil 3’te gerçek ve tahmin verilerinin birbiri ile ilişkisi verilmiştir ki bu da modelin başarısının bir göstergesi olan  $R^2$  değeridir. Gerçek ve tahmin değerleri arasında oldukça yüksek bir uyum elde edilmiştir ki bu durum grafiklerde verilen  $R^2$  değerlerinden açıkça görülmektedir. Ayrıca, Şekil 4 ve 5’te eğitim ve test veri setleri için gerçek ve YSA tahmin değerlerinin dağılımı verilmiştir. Bu değerler incelendiğinde değerlerin birbirine çok yakın olduğu ve gerçek değerler ile YSA model tahminlerinin örtüştüğü görülmektedir. Sonuç olarak, elde edilen YSA modelinin istatistiksel ve grafiksel değerlendirmesi birlikte yapıldığında Paralel Bağlı Vorteks Tüplerinin 5 girdi parametresi ile başarılı bir şekilde modellendiği görülmektedir.



Şekil 5. Test veri seti için gerçek ve tahmin değerlerin dağılımı

## 5. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada aynı yapısal özelliklere sahip paralel bağlı iki vorteks tüpünün performansı farklı nozullar ve çalışma akışkanlarının termofiziksel özellikleri kullanılarak YSA ile modellenmiştir. Vorteks tüpündeki sıcaklık ayrılmasının ölçütü olan  $\Delta T$ 'yi etkileyen parametrelerin etkisi incelenmiştir. Hava ve oksijen ile yapılan deneysel çalışmalarda kullanılan polyamid ve pirinç malzemeli nozulaların sonuçları YSA için eğitim ve test grubuna ayrılarak model kurulmuştur. Genelleştirilebilir bir YSA olduğunun kontrolü için performans ölçütü analizi yapılmıştır. Gerçek ve tahmin değerleri arasında oldukça yüksek bir determinasyon katsayısı elde edilmiş olup bu değerler eğitim seti için 0.998, test veri seti için 0.996'dır. Bu değerler oluşturulan YSA'nın yeterli ve güçlü tahminler yapabildiğini göstermektedir. Bu sistem için, farklı çalışma akışkanları ve nozullar ile  $\Delta T$  için doğru tahminler gerçekleştirmek mümkün hale gelmektedir. Bu da kurulan YSA modelinin esnek bir yapıya sahip olduğunu göstermektedir.

## Kaynaklar

- [1]. Kirmaci, V., Kaya, H., "Effects of working fluid, nozzle number, nozzle material and connection type on thermal performance of a Ranque–Hilsch vortex tube: A review", *International Journal of Refrigeration*, 2018, 91: 254–266.
- [2]. Guo, X., Zhang, B., Liu, B., Xu, X. "A critical review on the flow structure studies of Ranque – Hilsch vortex tubes", *International Journal of Refrigeration*, 2019, 104: 51–64.
- [3]. Altinkaynak, M., Olgun, E., Şencan Şahin, A., "Comparative Evaluation of Energy and Exergy Performances of R22 and its Alternative R407C, R410A and R448A Refrigerants in

- Vapor Compression Refrigeration Systems”, *El-Cezerî Journal of Science and Engineering*, 2019, 6(3): 659-667.
- [4]. Li, N., Jiang, G., Fu, L., “Experimental study of the impacts of cold mass fraction on internal parameters of a vortex tube”, *International Journal of Refrigeration*, 2019, 104: 151–160.
- [5]. Uluer, O., Kirmaci, V., Ataş, Ş. “Using the artificial neural network model for modeling the performance of the counter flow vortex tube”, *Expert Systems with Applications*, 2009, 36: 12256–12263.
- [6]. Kaya, H., Günver, F., Kirmaci, V., “Experimental investigation of thermal performance of parallel connected vortex tubes with various nozzle materials”, *Applied Thermal Engineering*, 2018, 136, 287-292.
- [7]. Attalla, M., Ahmed, H., Salem Ahmed, M., Abo El- Wafa, A., “An experimental study of nozzle number on Ranque Hilsch counter-flow vortex tube”, *Experimental Thermal and Fluid Science*, 2017, 82: 381–389.
- [8]. Kaya, H., Uluer, O., Kocaoğlu, E., Kirmaci, V., “Experimental analysis of cooling and heating performance of serial and parallel connected counter-flow Ranque–Hilsch vortex tube systems using carbon dioxide as a working fluid”, *International Journal of Refrigeration*, 2019, 106: 297–307.
- [9]. Pinar, A, M., Uluer, O., Kirmaci, V. “Optimization of counter flow Ranque-Hilsch vortex tube performance using Taguchi method”, *International Journal of Refrigeration*, 2009, 32: 1487–1494.
- [10]. Pinar, A, M., Uluer, O., Kirmaci, V., “Statistical assessment of counter-flow vortex tube performance for different nozzle numbers, cold mass fractions, and inlet pressures via taguchi method”, *Experimental Heat Transfer*, 2009, 22: 271–282.
- [11]. Korkmaz, M. E., Gümüsel, L., Markal, B., “Using artificial neural network for predicting performance of the Ranque-Hilsch vortex tube”, *International Journal of Refrigeration*, 2012, 35: 1690–1696.
- [12]. Polat, K., Kirmaci, V., “Application of the output dependent feature scaling in modeling and prediction of performance of counter flow vortex tube having various nozzles numbers at different inlet pressures of air, oxygen, nitrogen and argon”, *International Journal of Refrigeration*, 2012, 34: 1387–1397.
- [13]. Lagrandeur, J., Poncet, S, Sorin, M., Khennich, M., “Thermodynamic modeling and artificial neural network of air counterflow vortex tubes”, *International Journal of Thermal Sciences*, 2019, 146: 106097.
- [14]. Suresh Kumar, G., Veerabhadra, Reddy B., Sankaraiah, G., Venkateshwar Reddy, P., “Modeling the Performance of Vortex Tube using Response Surface Methodology and Artificial Neural Networks”, *IOP Conference Series Materials Science and Engineering*, 2018, 390: 012010.
- [15]. Nouri-Borujerdi, A., Bovand, M., Rashidi, S., Dincer, K., “Geometric parameters and response surface methodology on cooling performance of vortex tubes”, *International Journal of Sustainable Energy*, 2017, 36 (9): 872–886.
- [16]. Bovand, M., Valipour, M S., Dincer, K., Eiamsa-Ard, S., “Application of response surface methodology to optimization of a standard Ranque-Hilsch vortex tube refrigerator”, 2014, *Applied Thermal Engineering*, 67: 545–553.