

## Yapay sinir ağlarıyla radyal santrifüj pompalarda performans değerlerinin tahmini\*\*

Alper Taner <sup>a,\*</sup>

S.Sinan Gültekin <sup>b</sup>

Kazım Çarman <sup>c</sup>

<sup>a</sup> Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Tarım Mak. Bölümü, Samsun, Türkiye

<sup>b</sup> Selçuk Üniversitesi Müh. Mim. Fakültesi, Elk. Elt. Müh. Bölümü, Konya, Türkiye

<sup>c</sup> Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Tarım Makineleri Bölümü, Konya, Türkiye

### Prediction of the performance values in radial centrifugal pumps with artificial neural networks

#### SUMMARY

In this study, an estimation of a performance values in radial centrifuge pumps was performed with Artificial Neural Networks. For this reason, empirical parameter values were used. Therefore, three Artificial Neural Network models were set up with the pump impeller inlet diameter, impeller outlet diameter, impeller blade number, pump inlet pipe diameter, pump outlet pipe diameter as 5 input data and RPM, flow rate and head parameters as 1 output data.

For Artificial Neural Network Model, Levenberg Marquart education algorithm which belongs to Multi-Stage Perceptron structure was used and the results obtained by Artificial Neural Network Model were compared with the results obtained by measurement and regression equations.

In the single output ANN models, whereas the average error in approaching measurement values, of the performance values, the RPM, flow rate and manometric height were found to be 0.94%, 2.39% and 1.18% respectively; the cohesion degrees were obtained to be 0.0001, 0.0002 and 0.0001 respectively.

It was observed that the results obtained by Artificial Neural Network were very compatible with the results of actual.

KEY WORDS: Artificial neural network, centrifugal pump, levenberg marquart.

#### ÖZET

Bu çalışmada, radyal santrifüj pompalara ait performans değerleri, Yapay Sinir Ağları ile tahmin edilmiştir. Bunun için deneysel parametre verileri kullanılmıştır. Bu amaçla pompanın çark giriş çapı, çark çıkış çapı, çark kanat sayısı, pompa giriş borusu çapı ve pompa çıkış borusu çapı parametreleri giriş verisi, devir sayısı, debi ve manometrik yükseklik parametreleri de çıkış verisi olmak üzere beş girişi ve bir çıkışı olan üç adet Yapay Sinir Ağı modeli oluşturulmuştur.

Yapay Sinir Ağı Modeli için Çok Katlı Perceptron yapısına ait Levenberg Marquart eğitme algoritması kullanılmış ve Yapay Sinir Ağı modeli ile elde edilen sonuçlar, ölçüm sonuçları ve regresyon denklemleri ile elde edilmiş sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

Performans değerlerinden devir sayısı, debi ve manometrik yüksekliğe ait ölçüm değerlerine yaklaşımda ortalama hata, tek çıkışlı YSA modellerinde (devir sayısı, debi ve manometrik yükseklik) sırasıyla %0.94, %2.39 ve %1.18 olarak bulunurken uyuşma derecesi sırasıyla 0.0001, 0.0002 ve 0.0001 elde edilmiştir.

Yapay Sinir Ağı ile elde edilen sonuçların, ölçüm sonuçları ile çok iyi uyumluluk içinde olduğu görülmüştür.

ANAHTAR KELİMELER: Yapay sinir ağları, santrifüj pompa, levenberg marquart.

#### GİRİŞ

Türkiye'deki nüfus artışına paralel olarak tarımsal ürün ve ürün çeşidi talepleri de artmaktadır. Artan nüfusun gıda güvenliğini sağlamak için tarımsal üretimi ve tarımsal üretimde verimliliği sürdürülebilir şekilde artırmak zorundayız. Tarıma ayrılan alanların

sınırına ulaşıldığı, hatta marjinal alanların bile tarımda kullanıldığı ülkemizde, üretimi ve verimliliği artırmanın en etkili yollarından birisi, birim alandan alınan verimin artırılmasıdır. Tarımda, birim alandaki verimliliği artırmak, tarımsal işlemlerin bilinçli bir şekilde yapılmasına bağlıdır. Tarımsal alanda teknolojik gelişmeyi sağlayacak ve verimliliği artıracak, iyi

\*E-posta: [alpertaner\\_2000@yahoo.com](mailto:alpertaner_2000@yahoo.com)

Kabul tarihi: 05.10.2009

\*\*Bu çalışma Alper Taner'in Doktora tezinden özetlenmiştir.

tohumluk, yem, gübre, ilaç gibi giderlerin kullanımını artırmanın yanında tarımsal mekanizasyon ve sulamaya da öncelik verilmelidir. Bitkisel üretimde verim artışında sulamanın payı %40 civarındadır (Uz 1981).

Ekonomik bir sulama, çeşitli sulama metotları yanında bilgili bir pompaj yapmakla mümkündür. Sulama pompaj tesislerinin kurulmasında, tesisin şartlarına uygun ve bu şartlarda en yüksek verimle çalışabilen pompanın seçimi gerekir. Bu seçimi yapabilmek içinde sulama pompalarının çalışma karakteristiklerinin iyi bilinmesi gerekir (Ayıkoğlu 1995).

Günümüzde mühendislik bilim dalının en çok üzerinde durduğu konulardan biri hiç şüphesiz enerjiyi doğru ve etkili kullanmaktır. Turbo makineler, hem enerji üretiminde hem de kullanımında, mühendislikte önemli bir yer tutmaktadır. Bu bilim dalının bir kolu olan pompalarda ise doğru enerji iletimi hayati önem taşımaktadır. Pompa içerisindeki akış yapısı titreşim ve seslere, dolayısıyla da birçok yapı hatalarına yol açmıştır. Bu problemlerin üstesinden gelmek, verimi artırmak ve çevresel etkilerden arınmak için karmaşık, kararlı ve kararsız akış yapılarını daha iyi anlamak gerekmektedir. Bu amaca uygun olarak geçmişte ve halen birçok araştırmacı tarafından santrifüj pompalar üzerinde deneysel ve sayısal çalışmalar yoğun bir şekilde yapılmaktadır (Pınarbaşı ve Johnson 1995, Sinha 1999, Güleren 2003).

Tarım, ülkemizde uzun yıllardır bilişim sektörünün ilgi alanı dışında kalmış olmasına karşın, gelişmiş ülkelerde özellikle bilişim teknolojilerinin gelişimiyle insana, bitkiye, hayvana, çevreye duyarlı, üretimde kalite ve verimlilik artışına olanak sağlayan ciddi bir gelişme süreci geçirmektedir. Bitkisel ve hayvansal üretim, ormancılık, hayvan sağlığı, çevre bilimi ve gıda üretimi, araştırmaları ve uygulamalarından elde edilen bilginin derlenmesi, depolanması, sınıflandırılması, yönetimi ve kullanımını etkinleştirmek, kolaylaştırmak ve ilgili kitlelere aktarmak amacıyla bilgisayar ve iletişim teknolojilerine son derece büyük bir gereksinim duyulmaktadır. Kaldı ki, ülkemiz gibi nüfusunun %40'ından fazlasının tarımla uğraştığı ve ekonomisinin önemli bir kısmının tarım ve tarıma dayalı sanayiye yönelik olduğu ülkelerde bilginin yaygınlaştırılmasının ne denli önemli olduğu ortadadır.

Günümüzde oldukça yoğun ilgi odağı haline gelen yapay zekâ çalışmaları, bilgisayar bilimine ve programcılığa yeni bir boyut getirmiştir. Yapay zekâ çalışmalarının temel amacı, insan gibi düşünüp yorum yapabilen, çıkarımlarda bulunup karar verebilen programları oluşturabilmektir. Yapay zekâ tekniklerinin güç ve potansiyeli, imalat sistemlerinin tasarımı, planlanması, işletilmesi ve kontrolü gibi alanlarda pek çok proje ve uygulama ile kendini kanıtlamıştır.

İnsan beyni bilinen en gizemli ve karmaşık hesaplayıcıdır. Yapay Sinir Ağları (YSA), yapay zekâ biliminin altında araştırmacıların çok yoğun ilgi gösterdikleri bir araştırma alanıdır. YSA, insan beyninin işleyişini taklit ederek yeni sistem oluşturulmaya çalışılan yaklaşımlardır. Beynin işleyiş

kuralları birçok YSA modelinin geliştirilmesinde kullanılmıştır. Pek çok araştırmacı YSA modelleri üzerinde çalışmıştır. YSA mühendislik alanında, imalat sanayinde, endüstriyel ürün tasarımında, bilgi yönetiminde, tıp alanında, tıbbi görüntü işlemede, askeri proje uygulamalarında, tarımsal ve hayvancılık alanlarında kullanılmıştır (Sağiroğlu ve ark. 2003).

YSA, bir sisteme ilişkin tek veya çoklu parametrelere bağlı olarak tanımlanan giriş verileri ile sistemin yine tek veya çoklu parametrelere bağlı olarak tanımlanabilen çıkışları arasında ilişki kurabilme yeteneğine sahiptir. Bu ilişkinin doğrusal formda olması zorunlu değildir. YSA, çıkış değerleri bilinmeyen tanımlanmış sistem girişlerine uygun çıkışlarda üretebilirler (Sağiroğlu ve ark. 2003). YSA, olayların örneklerine bakmadan onlardan ilgili olay hakkında genellemeler yapmakta, bilgiler toplamakta ve daha sonra hiç görmediği örnekler ile karşılaştıkça öğrendiği bilgileri kullanarak o örnekler hakkında karar verebilmektedir (Öztemel 2003).

Alışlagelmiş tahmin modelleri tek yönlü çalışmaktadır. Yani, bağımlı değişkenlere bağlı olarak bağımsız değişkenlerin tahmin edilmesi mümkün olmaktadır. YSA'ları ile bağımlı değişkenlere bağlı olarak bağımsız değişkenlerin tahmin edilmesi ya da bağımsız değişkenlere bağlı olarak bağımlı değişkenlerin tahmin edilmesi mümkün olabilmektedir. Yani modeli iki yönlü çalıştırmak mümkündür. YSA'ların öğrenme, genelleme, hızlı işlem yapma, paralel işlem yapma ve hızlı sonuç verebilme özelliklerinden faydalanılarak yukarıda belirtilen tipteki problemler için iyi sonuç verdiği bilinmektedir (Haykin 1994). YSA'ların bu cezbedici özelliklerinden faydalanarak santrifüj pompaların performans değerlerinin tahmininde yeni bir yaklaşım olan YSA'ların uygulaması gerçekleştirilebilecektir.

Günümüzde yazılım teknolojilerinin gelişmesi ve bilgisayarların kapasitelerinin artmasıyla birlikte, pompa dizaynı ve analizi konusunda önemli gelişmeler kaydedilmiştir. Kompleks diferansiyel denklemler ve birçok iteratif hesap artık elektronik ortamda gerçekleşmekte, bu sayede deney sonuçlarına çok yakın performans değerleri elde edilebilmektedir (Değer 2005).

Çalışır ve ark. (2003), çalışmalarında santrifüj pompaların performans değerlerini, istatistiki tahmin denklemleri ve YSA yardımıyla hesaplamışlardır. YSA'ların eğitilmesinde çok katlı perseptron yapısına sahip genişletilmiş delta-bar-delta öğrenme algoritması, eğitime ve test işleminde 21 farklı pompaya ait deneysel sonuçları ve ölçülen yapısal parametreleri veri olarak kullanmışlardır. Nöral modelden elde edilen sonuçların, istatistikî tahmin denklemlerinden elde edilen sonuçlara göre deneysel verilere daha yakın sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir.

Bu çalışmada YSA teknikleri ile radyal santrifüj pompalara ait performans değerlerinin hızlı ve güvenli bir şekilde belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla çark giriş çapı ( $D_1$ ), çark çıkış çapı ( $D_2$ ), çark kanat sayısı ( $Z$ ), pompa giriş borusu çapı ( $D_e$ ) ve pompa çıkış borusu çapı ( $D_b$ ) parametreleri giriş verisi, devir sayısı ( $n$ ), debi ( $Q$ ) ve manometrik yükseklik ( $H_m$ )

parametreleri de ayrı ayrı olarak tek çıkış verisi olmak üzere 5 girişi ve 1 çıkışı olan üç adet YSA modeli geliştirilmiştir. Her bir parametre için YSA modelleri ve regresyon tahmin denklemlerinden elde edilen sonuçlar ile ölçüm sonuçları karşılaştırılmıştır.

## MATERYAL ve YÖNTEM

Çalışmada yer alan veriler, (Uz 1981, Gürhan ve ark. 1991, Eryılmaz 2004, Anonim 1984, Anonim 1985, Anonim 1990, Anonim 1991, Anonim 1992, Anonim 1993 ve Anonim 1997)'e ait olup makalede materyal olarak kullanılmıştır. Ayrıca bu çalışma kapsamında, denemeleri yapılan 4" ve 5" lik santrifüj pompalara ait sonuçlar da mevcut veri tabanına ilave olarak kullanılmıştır (Taner 2007) (Çizelge 1).

Santrifüj pompaların deneysel performans ( $n, Q, Hm$ ) sonuçları için kullanılan verilerden (Çizelge 1) regresyon analizi yapılarak, regresyon tahmin denklemleri elde edilmiştir.

YSA çalışmalarında, MATLAB Paket Programı, 7.01 Neural Network Toolbox'ı kullanılmıştır. Santrifüj pompa performanslarının tahmini için YSA teknikleri uygulanmıştır.

YSA teknikleri ile pompa performans değerlerinin belirlenmesinde, çark giriş çapı, çark çıkış çapı, çark kanat sayısı, pompa giriş borusu çapı ve pompa çıkış borusu çapı olmak üzere 5 giriş parametresi ve devir sayısı, debi ve manometrik yükseklik tek tek olmak üzere 1 çıkış parametresi kullanılmıştır. Geliştirilen YSA modellerinde 107 eğitim, 12 test verisi olmak üzere 119 veri kullanılmıştır (Çizelge 1).

Sonuçların performanslarının belirlenmesi amacıyla, hesaplama yöntemleri ile elde edilen değerlerin, ölçülen değerlerle arasındaki hata ( $\varepsilon$ ) aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır (Bağırkan 1993).

$$\varepsilon = \frac{100}{m} \sum_{i=1}^m \left| \frac{x - x_1}{x} \right| \quad (1)$$

Burada  $\varepsilon$ , hata (%),  $m$ , pompa sayısı,  $x$ , ölçülen değer ve  $x_1$ , hesaplanan değerdir.

Uyuşma derecesi sıfıra ne kadar yakın ise modeller arasında o kadar fazla uyum olduğunu söylemek mümkündür. Uyuşma derecesi aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır (Bağırkan 1993).

$$U^2 = \frac{\sum_{i=1}^m (x_1 - x)^2}{\sum_{i=1}^m (x_1)^2} \quad (2)$$

Burada  $U^2$ , uyuşma derecesi,  $m$ , pompa sayısı,  $x$ , ölçülen değer ve  $x_1$ , hesaplanan değerdir.

Ortalama hata kavramını temel alan ve yaygın şekilde kullanılan başlıca doğruluk ölçüleri arasında yer alan RMSE ve  $R^2$  aşağıdaki formüller ile hesaplanmıştır (Bechtler ve ark. 2001).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (x_1 - x)^2}{m}} \quad (3)$$

$$R^2 = 1 - \left( \frac{\sqrt{(1/m) \cdot \sum_{i=1}^m (x_1 - x)^2}}{\sum_{i=1}^m (x_1)^2} \right) \quad (4)$$

Burada  $RMSE$ , standart sapma (Root Mean Square Error),  $R^2$ , determinasyon katsayısı,  $m$ , pompa (gözlem) sayısı,  $x$ , ölçülen değer ve  $x_1$ , hesaplanan değerdir.

Çalışmada, YSA test sonuçları "YSA", regresyon denklemleriyle elde edilen sonuçlar "Regresyon" ve ölçüm sonuçları ise "Ölçüm" olarak tanımlanmıştır.

Çizelge 1. Çalışmada yer alan tüm deneysel veriler

Giriş verileri					Çıkış verileri		
D <sub>1</sub> (mm)	D <sub>2</sub> (mm)	Z (adet)	D <sub>e</sub> (mm)	D <sub>b</sub> (mm)	N (min <sup>-1</sup> )	Q (m <sup>3</sup> /s)	H <sub>m</sub> (m)
58	156	6	68	68	2900	0.01450	22.60
79.5	105	8	76.2	76.2	2890	0.00645	8.99
110	185	6	100	100	2500	0.03705	11.95
109.5	204	8	107	100	1700	0.02760	14.80
81	135	6	65	73	3400	0.01011	23.18
103	160	9	102	102	2800	0.02260	21.24
95	135	7	100	100	3000	0.02040	17.50

**BULGULAR ve TARTIŞMA****Regresyon tahmin denklemleri:**

Santrifüj pompaların deneysel performans sonuçları ( $n, Q, H_m$ ) için kullanılan verilerden (Çizelge 1) regresyon analizi yapılarak, tahmin denklemleri elde edilmiştir. Elde edilen regresyon

tahmin denklemleri aşağıda verilmiştir:

Elde edilen bu denklemlerden her parametre için Regresyon değerleri hesaplanmıştır.

**Devir Sayısı;**

$$n = 2835.78 - 52.88.D_1 - 5.62.D_2 + 517.74.z + 68.36.D_e - 28.41.D_b - 0.0752.D_1^2 - 0.0094.D_2^2 - 28.88.z^2 + 1.52.D_e^2 + 0.1996.D_b^2 + 0.1726.D_1.D_2 + 8.79.D_1.z - 0.9406.D_1.D_e + 0.7505.D_1.D_b - 1.44.D_2.z - 0.1293.D_2.D_e + 0.0573.D_2.D_b - 16.18.z.D_e + 8.83.z.D_b - 1.57.D_e.D_b$$

**Debi;**

$$Q = -0.0072 + 0.0004.D_1 - 0.00004.D_2 - 0.0068.z + 0.0021.D_e - 0.0018.D_b + 0.000001.D_1^2 - 0.0000002.D_2^2 + 0.0003.z^2 - 0.000009.D_e^2 - 0.000002.D_b^2 - 0.0000005.D_1.D_2 - 0.00005.D_1.z - 0.000007.D_1.D_e + 0.000005.D_1.D_b + 0.00002.D_2.z + 0.000006.D_2.D_e - 0.000005.D_2.D_b - 0.0002.z.D_e + 0.0002.z.D_b + 0.00001.D_e.D_b$$

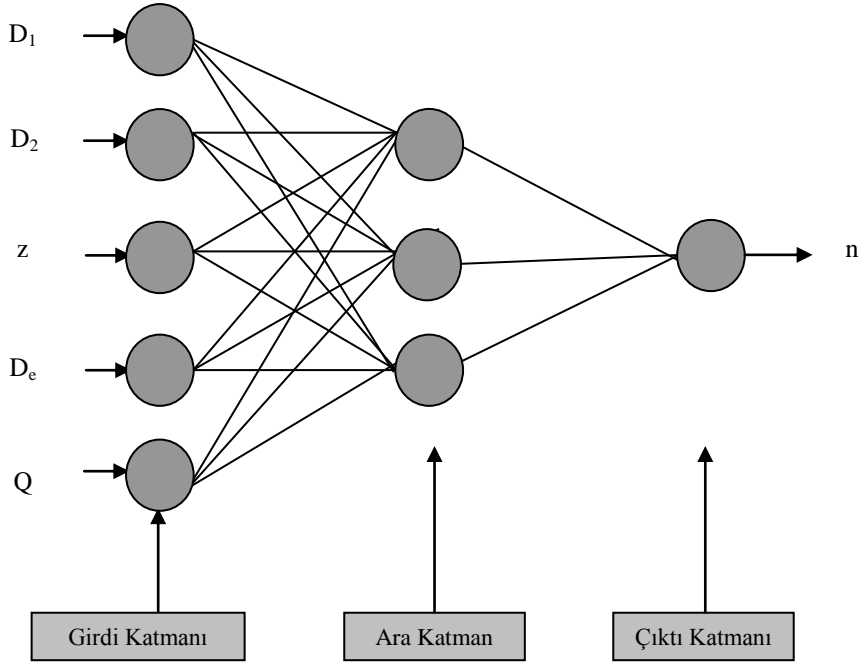
**Manometrik yükseklik;**

$$H_m = 17.58 - 0.2518.D_1 - 0.3810.D_2 + 0.4483.z - 0.4336.D_e + 1.34.D_b + 0.0012.D_1^2 + 0.0019.D_2^2 - 0.3533.z^2 + 0.0222.D_e^2 + 0.0051.D_b^2 - 0.0043.D_1.D_2 + 0.0935.D_1.z + 0.0047.D_1.D_e - 0.0019.D_1.D_b + 0.0480.D_2.z - 0.0088.D_2.D_e + 0.0069.D_2.D_b + 0.0255.z.D_e - 0.1629.z.D_b - 0.0278.D_e.D_b$$

**Yapay sinir ağları ile devir sayısının belirlenmesi:**

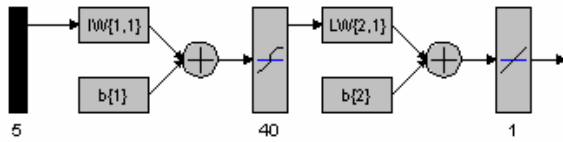
Devir sayısının belirlenmesinde, çark giriş çapı,

çark çıkış çapı, çark kanat sayısı, pompa giriş borusu çapı ve pompa çıkış borusu çapı olmak üzere 5 giriş parametresi ve devir sayısı olmak üzere 1 çıkış parametresi kullanılmıştır (Şekil 1).



Şekil 1 Geliştirilen nöral ağın şematik gösterimi.

Gizli katmandaki nöron sayıları için 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 200, 300 değerleri seçilmiş ve en uygun sonucu veren 40 nöronlu gizli katmana sahip ağ seçilmiştir. YSA için girişte 5 nöron, gizli katmanda 40 nöron ve çıkışta da 1 nöron olmak üzere üç katman oluşturulmuştur (Şekil 2). Buna göre oluşturulan ağ için 60 epok sonucunda en düşük eğitim hatası değeri elde edilmiştir.



Şekil 2 YSA ağ modeli.

YSA modelinde, Levenberg-Marquardt (LM) algoritması ve İleri Besleme (Feed Forward Backprop), Çok Katmanlı Perseptron (ÇKP) ağ yapısı kullanılmıştır (Jacobs 1988, Minai ve Williams 1990). Geliştirilen yapay sinir ağı modeli için giriş katları tansig ve çıkış katları purelin transfer fonksiyonuna sahipken, gizli katlar sigmoid transfer fonksiyonuna sahiptir. Ağ öğrenme fonksiyonu olarak ise Learngdm (Gradient Descent With Momentum Weight And Bias Learning Function) fonksiyonu kullanılmıştır.

Çizelge 2'de ara katman nöron sayısına bağlı olarak elde edilen test ve eğitim RMSE ile  $R^2$  değerleri verilmiştir. Ara katman nöron sayısı 40 olan LM algoritmasına ait YSA test sonuçları, en iyi sonuç olarak bulunmuştur. Eğitimdeki tüm ara katman nöron sayılarında  $R^2$ , 1'e çok yakın çıkarken RMSE değeri 0.0220 elde edilmiştir. Testte ise  $R^2$  değeri 0.9996 ve RMSE değeri de 0.0097 olarak bulunmuştur. Eğitimde ara katman nöron sayısına bağlı olarak RMSE değerinin değiştiği tespit edilmiştir.

Çizelge 2. Devir sayısına ait test ve eğitim RMSE ve  $R^2$  değerleri.

Nöron Sayısı	Test		Eğitim	
	RMSE	$R^2$	RMSE	$R^2$
35	0.0341	0.9953	0.0222	0.9986
36	0.0616	0.9818	0.0253	0.9982
37	0.0120	0.9994	0.0230	0.9985
38	0.0301	0.9959	0.0244	0.9983
39	0.0169	0.9988	0.0209	0.9988
<b>40</b>	<b>0.0097</b>	<b>0.9996</b>	<b>0.0220</b>	<b>0.9987</b>
41	0.0247	0.9974	0.0208	0.9988
42	0.0495	0.9882	0.0213	0.9987
43	0.0612	0.9828	0.0226	0.9986
44	0.0593	0.9832	0.0222	0.9986
45	0.0465	0.9915	0.0332	0.9969

Ölçüm sonuçları ile YSA test sonuçları ve regresyon tahmin denklemlerinden elde edilen sonuçlara ait veriler ve hata değerleri Çizelge 3'de verilmiştir. Ölçüm değerlerine yaklaşımda ortalama hata, YSA modelinde %0.94 ve regresyon tahmin denklemlerinde %17.56 bulunmuştur.

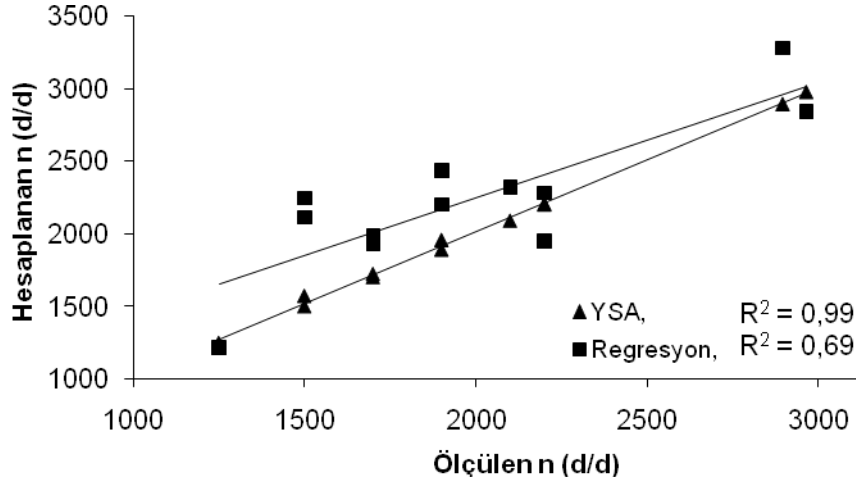
Ölçülen  $n$  ile hesaplanan  $n$  (YSA ve Regresyon)

değerleri arasındaki ilişkinin determinasyon katsayısı ( $R^2$ ), YSA için %99 ve Regresyon için %69 bulunmuştur (Şekil 3).

Ölçülen değerlerle, hesaplanan (YSA ve Regresyon) değerlerin uyuma derecesi ( $U^2$ ), YSA ve regresyon modelleri için sırasıyla 0.0001 ve 0.0275 hesaplanmıştır.

Çizelge 3. Ölçüm sonuçları ile YSA ve regresyon sonuçlarına ait devir sayısı verileri ve hata değerleri.

Ölçüm $n$	YSA		Regresyon	
	$n$	Hata $\epsilon$	$n$	Hata $\epsilon$
2964	2979	0.50	2841	4.16
2895	2895	0.01	3278	13.23
2200	2206	0.27	2282	3.73
1900	1891	0.50	2199	15.76
1500	1500	0.02	2115	40.99
1250	1247	0.24	1215	2.83
2100	2090	0.45	2321	10.53
1500	1572	4.77	2247	49.78
2200	2201	0.06	1947	11.48
1900	1958	3.03	2437	28.24
1700	1723	1.37	1925	13.24
1700	1701	0.06	1985	16.77
<b>Ortalama hata:</b>		<b>0.94</b>		<b>17.56</b>

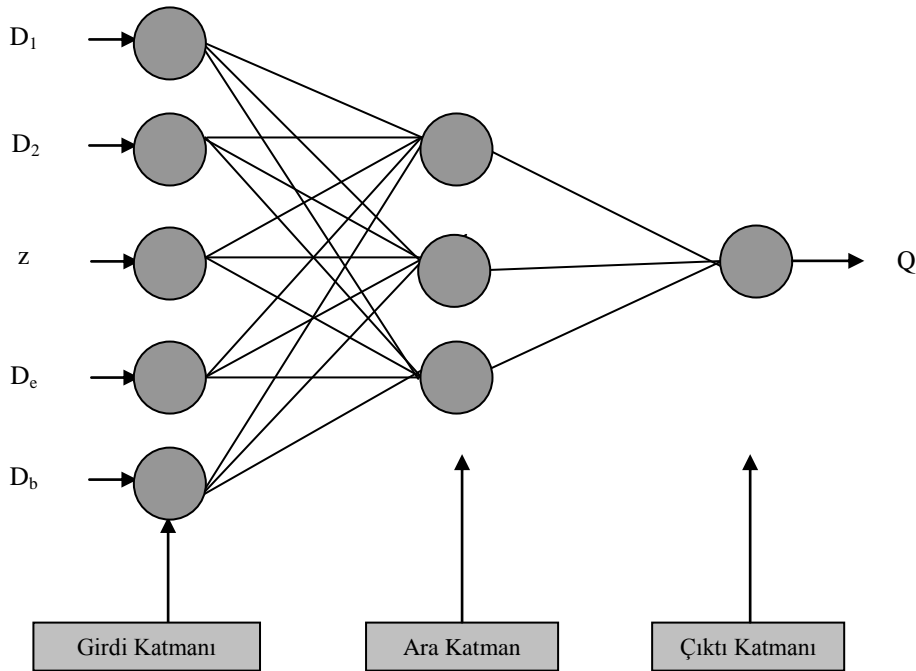


Şekil 3 Ölçülen ve hesaplanan (YSA, Regresyon) n sonuçları arasındaki ilişki.

#### Yapay sinir ağları ile debi parametresinin belirlenmesi:

Debi parametresinin belirlenmesinde, çark giriş

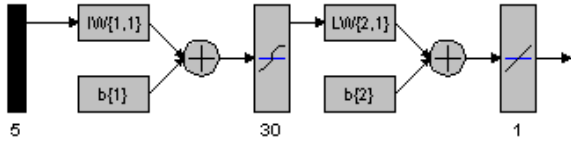
çapı, çark çıkış çapı, çark kanat sayısı, pompa giriş borusu çapı ve pompa çıkış borusu çapı olmak üzere 5 giriş parametresi ve debi olmak üzere 1 çıkış parametresi kullanılmıştır (Şekil 4).



Şekil 4 Geliştirilen nöral ağın şematik gösterimi

Gizli katmandaki nöron sayıları için 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 200, 300 değerleri seçilmiş ve en uygun sonucu veren 30 nöronlu gizli katmana sahip ağ seçilmiştir. YSA için girişte 5 nöron, gizli

katmanda 30 nöron ve çıkışta da 1 nöron olmak üzere üç katman oluşturulmuştur (Şekil 5). Buna göre oluşturulan ağ için 380 epok sonucunda en düşük eğitim hatası değeri elde edilmiştir.



Şekil 5 YSA ağ modeli.

YSA modelinde, Levenberg-Marquardt (LM) algoritması ve İleri Besleme (Feed Forward Backprop), Çok Katmanlı Perseptron (ÇKP) ağ yapısı kullanılmıştır (Jacobs 1988, Minai ve Williams 1990). Geliştirilen yapay sinir ağı modeli için giriş katları tansig ve çıkış katları purelin transfer fonksiyonuna

sahipken, gizli katlar sigmoid transfer fonksiyonuna sahiptir. Ağ öğrenme fonksiyonu olarak ise Learnngdm (Gradient Descent With Momentum Weight And Bias Learning Function) fonksiyonu kullanılmıştır.

Çizelge 4'de ara katman nöron sayısına bağlı olarak elde edilen test ve eğitim RMSE ile  $R^2$  değerleri verilmiştir. Ara katman nöron sayısı 30 olan LM algoritmasına ait YSA test sonuçları, en iyi sonuç olarak bulunmuştur. Eğitimdeki tüm ara katman nöron sayılarında  $R^2$ , 1'e çok yakın çıkarken RMSE değeri 0.0088 elde edilmiştir. Testte ise  $R^2$  değeri 0.9998 ve RMSE değeri de 0.0033 olarak bulunmuştur. Eğitimde ara katman nöron sayısına bağlı olarak RMSE değerinin değiştiği tespit edilmiştir.

Çizelge 4. Debiye ait test ve eğitim RMSE ve  $R^2$  değerleri.

Nöron Sayısı	Test		Eğitim	
	RMSE	$R^2$	RMSE	$R^2$
25	0.0162	0.9940	0.0043	0.9998
26	0.0201	0.9908	0.0080	0.9994
27	0.0281	0.9829	0.0041	0.9998
28	0.0216	0.9894	0.0045	0.9998
29	0.0450	0.9539	0.0040	0.9998
<b>30</b>	<b>0.0033</b>	<b>0.9998</b>	<b>0.0088</b>	<b>0.9993</b>
31	0.0157	0.9945	0.0107	0.9989
32	0.0133	0.9960	0.0042	0.9998
33	0.0076	0.9987	0.0040	0.9998
34	0.0633	0.9113	0.0071	0.9995
35	0.0091	0.9981	0.0040	0.9998

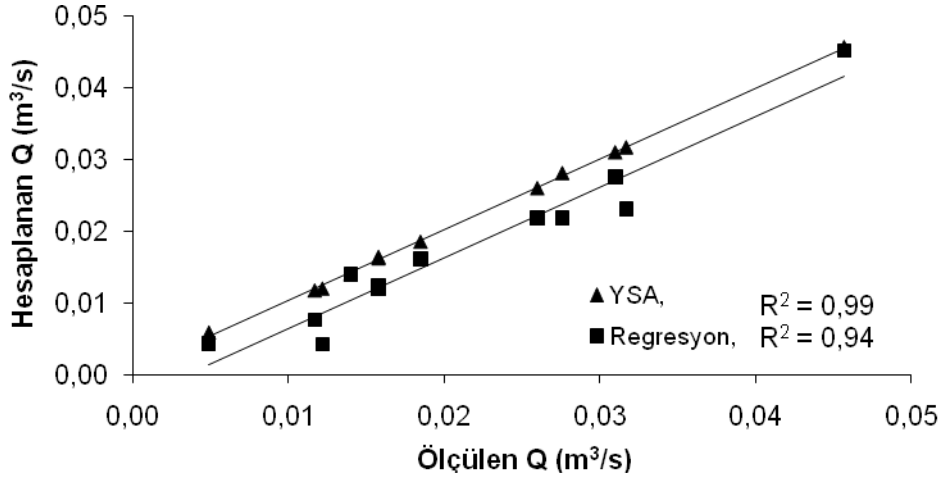
Çizelge 5. Ölçüm sonuçları ile YSA ve regresyon sonuçlarına ait debi verileri ve hata değerleri.

Ölçüm Q	YSA		Regresyon	
	Q	Hata $\epsilon$	Q	Hata $\epsilon$
0.0122	0.0120	1.90	0.0043	64.86
0.0049	0.0058	18.67	0.0043	12.44
0.0317	0.0317	0.00	0.0231	27.09
0.0185	0.0185	0.00	0.0161	12.90
0.0140	0.0140	0.00	0.0140	0.08
0.0457	0.0457	0.01	0.0452	1.07
0.0117	0.0117	0.01	0.0076	35.05
0.0158	0.0162	2.49	0.0124	21.71
0.0260	0.0260	0.01	0.0219	15.91
0.0158	0.0164	3.75	0.0120	24.17
0.0276	0.0281	1.84	0.0218	20.83
0.0310	0.0310	0.00	0.0276	11.03
<b>Ortalama Hata:</b>		<b>2.39</b>		<b>20.60</b>

Ölçüm sonuçları ile YSA test sonuçları ve regresyon tahmin denklemlerinden elde edilen sonuçlara ait veriler ve hata değerleri Çizelge 5'de

verilmiştir. Ölçüm değerlerine yaklaşımda ortalama hata, YSA modelinde %2.39 ve regresyon tahmin denklemlerinde %20.60 bulunmuştur.





Şekil 6 Ölçülen ve hesaplanan (YSA, Regresyon) Q sonuçları arasındaki ilişki.

Ölçülen Q ile hesaplanan Q (YSA ve Regresyon) değerleri arasındaki ilişkinin determinasyon katsayısı ( $R^2$ ), YSA için %99 ve Regresyon için %94 bulunmuştur (Şekil 6).

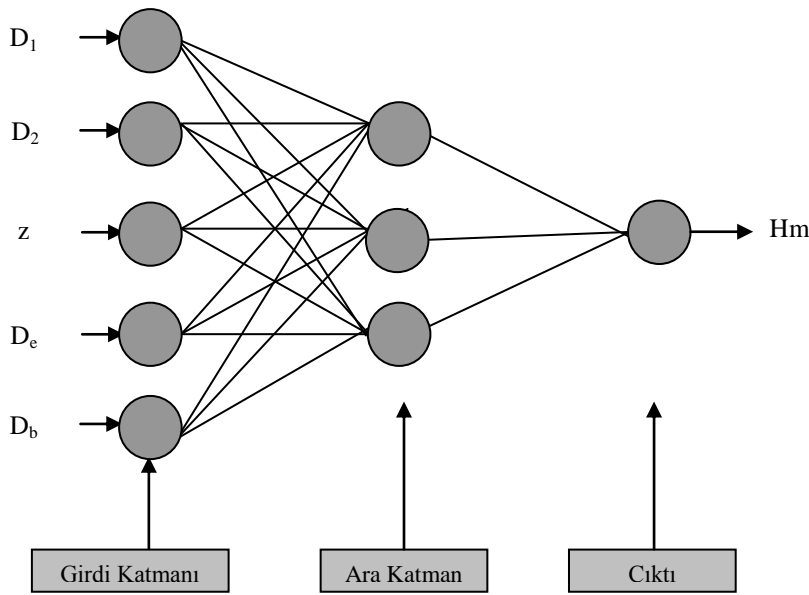
Ölçülen değerlerle, hesaplanan (YSA ve Regresyon) değerlerin uyuma derecesi ( $U^2$ ), YSA ve regresyon modelleri için sırasıyla 0.0002 ve 0.0481 hesaplanmıştır.

#### Yapay sinir ağları ile manometrik yükseklik parametresinin belirlenmesi

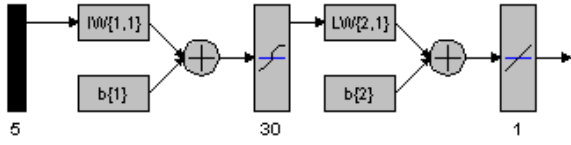
Manometrik yükseklik parametresinin

belirlenmesinde, çark giriş çapı, çark çıkış çapı, çark kanat sayısı, pompa giriş borusu çapı ve pompa çıkış borusu çapı olmak üzere 5 giriş parametresi ve manometrik yükseklik olmak üzere 1 çıkış parametresi kullanılmıştır (Şekil 7).

Gizli katmandaki nöron sayıları için 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 200, 300 değerleri seçilmiş ve en uygun sonucu veren 30 nöronlu gizli katmana sahip ağ seçilmiştir. YSA için girişte 5 nöron, gizli katmanda 30 nöron ve çıkışta da 1 nöron olmak üzere üç katman oluşturulmuştur (Şekil 8). Buna göre oluşturulan ağ için 155 epok sonucunda en düşük eğitim hatası değeri elde edilmiştir.



Şekil 7 Geliştirilen nöral ağın şematik gösterimi.



Şekil 8. YSA ağ modeli.

YSA modelinde, Levenberg-Marquardt (LM) algoritması ve İleri Besleme (Feed Forward Backprop), Çok Katmanlı Perseptron (ÇKP) ağ yapısı kullanılmıştır (Jacobs 1988, Minai ve Williams 1990). Geliştirilen yapay sinir ağı modeli (Model5) için giriş katları tansig ve çıkış katları purelin transfer fonksiyonuna sahipken, gizli katlar sigmoid transfer fonksiyonuna sahiptir. Ağ öğrenme fonksiyonu olarak ise Learning (Gradient Descent With Momentum Weight And Bias Learning Function) fonksiyonu kullanılmıştır.

Çizelge 6'da ara katman nöron sayısına bağlı olarak elde edilen test ve eğitim RMSE ile  $R^2$  değerleri

verilmiştir. Ara katman nöron sayısı 30 olan LM algoritmasına ait YSA test sonuçları, en iyi sonuç olarak bulunmuştur. Eğitimdeki tüm ara katman nöron sayılarında  $R^2$ , 1'e çok yakın çıkarken RMSE değeri 0.0088 elde edilmiştir. Testte ise  $R^2$  değeri 0.9996 ve RMSE değeri de 0.0048 olarak bulunmuştur. Eğitimde ara katman nöron sayısına bağlı olarak RMSE değerinin değiştiği tespit edilmiştir.

Ölçüm sonuçları ile YSA test sonuçları ve regresyon tahmin denklemlerinden elde edilen sonuçlara ait veriler ve hata değerleri Çizelge 7'de verilmiştir. Ölçüm değerlerine yaklaşımda ortalama hata, YSA modelinde %1.18 ve regresyon tahmin denklemlerinde %41.97 bulunmuştur.

Ölçülen Hm ile hesaplanan Hm (YSA ve Regresyon) değerleri arasındaki ilişkinin determinasyon katsayısı ( $R^2$ ), YSA için %99 ve Regresyon için %6 bulunmuştur (Şekil 9).

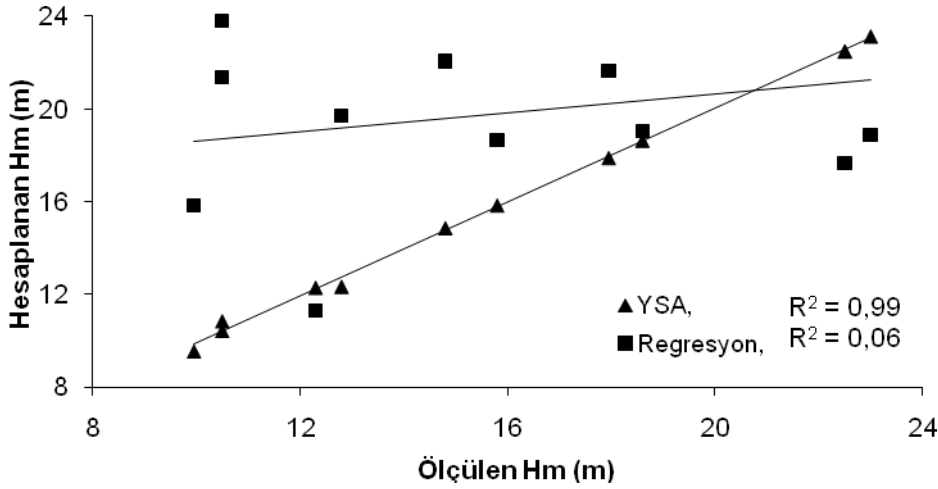
Ölçülen değerlerle, hesaplanan (YSA ve regresyon) değerlerin uyuma derecesi ( $U^2$ ), YSA ve regresyon modelleri için sırasıyla 0.0001 ve 0.1063 hesaplanmıştır.

Çizelge 6. Manometrik yüksekliğe ait test ve eğitim RMSE ve  $R^2$  değerleri.

Nöron Sayısı	Test		Eğitim	
	RMSE	$R^2$	RMSE	$R^2$
25	0.0192	0.9944	0.0063	0.9996
26	0.0225	0.9924	0.0052	0.9997
27	0.0428	0.9662	0.0083	0.9994
28	0.0735	0.9337	0.0065	0.9996
29	0.1345	0.8339	0.0094	0.9992
<b>30</b>	<b>0.0048</b>	<b>0.9996</b>	<b>0.0088</b>	<b>0.9993</b>
31	0.0924	0.8291	0.0040	0.9998
32	0.0228	0.9912	0.0041	0.9998
33	0.0658	0.9452	0.0055	0.9997
34	0.0864	0.8539	0.0058	0.9997
35	0.0489	0.9670	0.0040	0.9998

Çizelge 7. Ölçüm sonuçları ile YSA ve regresyon sonuçlarına ait manometrik yükseklik verileri ve hata değerleri.

Ölçüm Hm	YSA		Regresyon	
	Hm	Hata $\epsilon$	Hm	Hata $\epsilon$
23.00	23.16	0.69	18.87	17.95
9.96	9.53	4.25	15.83	59.02
18.60	18.65	0.26	19.06	2.46
17.95	17.90	0.28	21.66	20.67
10.50	10.42	0.75	23.80	126.64
12.30	12.28	0.15	11.30	8.13
22.50	22.52	0.08	27.56	22.47
10.50	10.84	3.23	21.37	103.51
22.50	22.50	0.01	17.65	21.55
12.80	12.33	3.69	19.72	54.04
14.80	14.86	0.42	22.06	49.09
15.80	15.85	0.30	18.67	18.18
<b>Ortalama Hata:</b>		<b>1.18</b>		<b>41.97</b>



Şekil 9 Ölçülen ve hesaplanan (YSA Regresyon) Hm sonuçları arasındaki ilişki.

## SONUÇ

Bu çalışmada her 3 parametre için model geliştirilmiştir. Geliştirilen modellerde 5 giriş ve tek çıkış parametresi kullanılarak deneysel performans sonuçları tahmin edilmiştir. Çalışmada farklı algoritmalar kullanılmış ancak en iyi sonuçlar, ÇKP ağ yapısının LM algoritması kullanılarak eğitilmesi ile elde edilmiştir. Bu çalışmadaki nöral modeller, pompa imalat sanayisinde ve deney merkezlerinde kullanılabilirlerdir.

Çalışmada, YSA teknikleri, istatistikî tahmin denklemleri kullanılarak elde edilen sonuçlar ile ölçüm sonuçları karşılaştırılmıştır. YSA ile elde edilen tüm sonuçların ölçüm sonuçları ile çok daha iyi uyumluluk içinde olduğu görülmüştür. Bu çalışmada sunulan YSA modellerinin avantajları basitlikleri, doğrulukları ve esneklikleridir.

Devir sayısı için geliştirilen nöral model dikkate alındığında ölçüm değerlerine yaklaşımda ortalama hata, YSA modelinde %0.94 ve regresyon tahmin denklemlerinde %17.56 bulunmuştur. Ölçülen değerlerle, hesaplanan (YSA ve Regresyon) değerlerin uyuma derecesi ( $U^2$ ), YSA ve regresyon modelleri için sırasıyla 0.0001 ve 0.0275 olarak elde edilmiştir.

Debi için geliştirilen nöral model dikkate alındığında ölçüm değerlerine yaklaşımda ortalama hata, YSA modelinde %2.39 ve regresyon tahmin denklemlerinde %20.60 bulunmuştur. Ölçülen değerlerle, hesaplanan (YSA ve Regresyon) değerlerin uyuma derecesi ( $U^2$ ), YSA ve regresyon modelleri için sırasıyla 0.0002 ve 0.0481 olarak elde edilmiştir.

Manometrik yükseklik için geliştirilen nöral model dikkate alındığında ölçüm değerlerine yaklaşımda ortalama hata, YSA modelinde %1.18 ve regresyon tahmin denklemlerinde %41.97 bulunmuştur. Ölçülen değerlerle, hesaplanan (YSA ve Regresyon)

değerlerin uyuma derecesi ( $U^2$ ), YSA ve regresyon modelleri için sırasıyla 0.0001 ve 0.1063 olarak elde edilmiştir.

Kullanılacak veri tabanının modern ölçme sistemlerinden daha hassas olarak elde edilmesi ve veri sayısının artırılmasıyla çok daha düşük ortalama hataya sahip YSA modellerin elde edilmesi mümkündür.

Gelecekte yapılacak bu tip çalışmalarda sadece YSA değil, Yapay Zekâ bileşenlerinin birlikte kullanılması diğer bir deyişle hibrit sistemler başarıyla çok daha fazla artıracaktır.

## KAYNAKLAR

- Anonim (1984) Deney ve Muayene Raporları. İTÜ Makine Fakültesi, Hidromekanik Laboratuvarı, İstanbul.
- Anonim (1985) Deney ve Muayene Raporları. İTÜ Makine Fakültesi, Hidromekanik Laboratuvarı, İstanbul.
- Anonim (1990) Deney ve Muayene Raporları. İTÜ Makine Fakültesi, Hidromekanik Laboratuvarı, İstanbul.
- Anonim (1991) Deney ve Muayene Raporları. İTÜ Makine Fakültesi, Hidromekanik Laboratuvarı, İstanbul.
- Anonim (1992) Deney ve Muayene Raporları. İTÜ Makine Fakültesi, Hidromekanik Laboratuvarı, İstanbul.
- Anonim (1993) Deney ve Muayene Raporları. İTÜ Makine Fakültesi, Hidromekanik Laboratuvarı, İstanbul.
- Anonim (1997) Deney ve Muayene Raporları. İTÜ Makine Fakültesi, Hidromekanik Laboratuvarı, İstanbul.
- Ayıkoğlu A (1995) Türkiye'de İmal Edilen Bazı Derinkuyu Pompaların Karakteristik Değerlerinin

- Belirlenmesi Üzerine Bir Araştırma. G.Ü. Yüksek Lisans Tezi, Tokat, 53 s
- Bağırkan Ş (1993) İstatistiksel Analiz. Bilim Teknik Yayınevi. S. 301. İstanbul.
- Bechtler H, Browne MW, Bansal PK, Kecman V (2001) New approach to dynamic modelling of vapour-compression liquid chillers: artificial neural networks. *Appl Therm Eng*, 21: 941–53.
- Çalışır S, Gültekin SS ve Çarman Ç (2003) Santrifüj Pompaların Performans Değerlerinin Yapay Sinir Ağlarıyla Hesaplanması. Tarımsal Mekanizasyon 21. Ulusal Kongresi, 3-5 Eylül 2003, Konya.
- Değer T (2005) Bilgisayar Destekli Pompa Tasarımı. 5. Pompa Kongresi ve Sergisi Bildiriler Kitabı, İstanbul.
- Eryılmaz T (2004) Sulamada Kullanılan Santrifüj Pompaların Kaviteasyon Karakteristiklerinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Güleren M (2003) Santrifüj Pompadaki Durgunluğun Nümerik Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas.
- Gürhan R ve Ayık M (1991) Sulama Pompaları Deney Sonuçlarının Tasarım Parametreleri Olarak Değerlendirilmesi. A.Ü.Ziraat Fakültesi Baskı Ofset Ünitesi, Ankara, Yayın No: 1203, 34 s.
- Haykin S (1994) *Neural Networks, A Comprehensive Foundation*, Macmillan College Publishing Comp. Inc.
- Jacobs RA (1988) "Increased Rate of Convergence Through Learning Rate Adaptation" *Neural Networks*, 1, s. 295–307.
- Minai AA, Williams RD (1990) "Acceleration of Backpropagation Through Learning Rate and Momentum Adaptation," *International Joint Conference on Neural Networks*, 1, s. 676-679.
- Öztemel E (2003) *Yapay Sinir Ağları*, Papatya Yayıncılık, İstanbul.
- Pınarbaşı A, Johnson MW (1995) A study of Reynolds Stress Dissipation and Loss Generation in a Centrifugal Compressor Vaneless Diffuser", *ASME International Gas Turbine and Aeroengine Congress and Exposition*, 95-GT-150, Houston, Amerika.
- Sağıroğlu Ş, Beşdok E, Erler M (2003) Mühendislikte Yapay Zeka Uygulamaları-1, Yapay Sinir Ağları. Ufuk Kitap Kırtasiye, Kayseri.
- Sinha M (1999) Rotor-Stator Interactions, Turbulence Modelling and Rotating Stall in a Centrifugal Pump with Diffuser Vanes, Doktora Tezi, Johns Hopkins University, Baltimore, Amerika.
- Taner A (2007) "Radyal Santrifüj Pompaların Yapay Sinir Ağları İle Tasarımı". Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Konya.
- Uz E (1981) İzmir ve Çevresinde İmal Edilen Yatay Eksenli Tek Kademeli Santrifüj Ziraat Sulama Pompaları Üzerinde Araştırmalar. E.Ü. Ziraat Fakültesi Yayınları, No: 391, İzmir.