

RADYAL SANTRİFÜJ POMPALARA AİT DEVİR SAYISI, DEBİ VE MANOMETRİK YÜKSEKLİK DEĞERLERİNİN TEK YAPAY SİNİR AĞI MODELİYLE BELİRLENMESİ

Alper TANER^{1*}, S.Sinan GÜLTEKİN², Kazım ÇARMAN³

¹19 Mayıs Üniversitesi, Ziraat Fak., Tarım Mak. Böl., Samsun

²Selçuk Üniversitesi, Müh. Mim. Fak., Elk.-Elt. Müh. Böl., Konya

³Selçuk Üniversitesi, Ziraat Fak., Tarım Mak. Böl., Konya

Özet

Bu çalışmada, radyal santrifüj pompalara ait performans değerleri, Yapay Sinir Ağları ile tespit 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 5 girişi ve 3 çıkışı olan bir Yapay Sinir Ağı modeli oluşturulmuştur. Yapay Sinir Ağı Modeli için Çok Katlı Perseptron 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. Yapay Sinir Ağı ile elde edilen sonuçların, ölçüm sonuçları ile çok iyi uyumluluk içinde olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Yapay Sinir Ağları, Santrifüj Pompa.

DETERMINATION OF THE RPM, FLOW RATE AND HEAD PARAMETERS VALUES OF CENTRIFUGAL PUMPS BY USING THE SINGLE ARTIFICIAL NEURAL NETWORK MODEL

Abstract

In this study, a performance values in radial centrifuge pumps were calculated with Artificial Neural Networks. For this reason, empirical parameter values were used. Therefore, an Artificial Neural Network model was 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 3 output data. For Artificial Neural Network Model, Levenberg Marquart training 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. 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.

* E-posta: alper.taner@omu.edu.tr

1. Giriş

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 tohumluk, yem, gübre, ilaç gibi giderlerin kullanımını artırmanın yanında tarımsal mekanizasyon ve sulamaya da öncelik verilmelidir. Bitkisel üretimde verim artışında sulamanın payı %40 civarındadır [1].

Ekonomik bir sulama, çeşitli sulama metotları yanında bilgili bir pompa yapma ile mümkündür. Sulama pompa tesislerinin kurulmasında, tesisin şartlarına uygun ve bu şartlarda en yüksek verimle çalışabilen pompanın seçimi gerekir. Bu seçimi yapabilmek için sulama pompalarının çalışma karakteristiklerinin iyi bilinmesi gerekir [2]. Pompanın en yüksek verim noktası civarında çalıştırılması, işletme masrafları bakımından tesisin ekonomik sınırlarda iş görebilmesini sağlar. Bu durumun kontrolü ancak kullanılacak pompanın karakteristiklerini bilmekle mümkündür [3]. Hesap ve proje aşamasında yapılan kabullerin isabetli olmaması ya da çalışma şartlarına tam uymaması, imalatın projeye tamamen uygun bir biçimde gerçekleştirilmemesi ve ölçme hataları gibi çeşitli nedenlerle pompadan beklenen performans ile ölçülen performans arasında farklar meydana gelir. Bu farklılıklar pompa konstrüksiyonu ve enerji sarfiyatı için çok önemlidir.

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 [4, 5, 6].

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.

Bilgisayarlar, araştırmacı ve tasarımcıların en büyük temel yardımcılarıdır. Bir tasarım sürecinde en uygun çözüme ulaşılma amacı, birçok seçeneğin denenmesini gerektirir. Önceleri bu seçeneklerin denenmesi genellikle sına yolu ile ve sonuçlar karşılaştırılarak yapılmakta idi. Ancak, istenen amaca daha çabuk ve doğru biçimde ulaşılma için birçok sistematik ve sayısal yöntemler mevcuttur. Tasarımda bilgisayarın kullanılması, mühendisin bilgisayarın yeteneklerinden faydalanarak daha hızlı ve daha iyi tasarım yapabilmesini sağlar. Öte yandan, yapılan tasarımın kontrolü ve yaratacağı sonuçlar kısa sürede öğrenilerek, gerekli değişiklikler hemen yapılabilir. Bu şekilde, anında yapılan düzenlemelerle amaca en yakın tasarım sağlanabilir.

Günümüzde oldukça yoğun ilgi odağı haline gelen yapay zeka çalışmaları, bilgisayar bilimine ve programcılığa yeni bir boyut getirmiştir. Yapay zeka çalışmalarının temel amacı, insan gibi düşünüp yorum yapabilen, çıkarımlarda bulunup karar verebilen programları oluşturabilmektir. 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 [7].

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 [7]. YSA, olayların örneklerine bakmakta onlardan ilgili olay hakkında genellemeler yapmakta, bilgiler toplamakta ve daha sonra hiç görmediği örnekler ile karşılaşınca öğrendiği bilgileri kullanarak o örnekler hakkında karar verebilmektedir [8].

Bu tip çalışmalarda model kavramı oldukça önemlidir. Deneysel modeller, özel durumlara adapte olabilirken (örneğin, bir çiftçi tarlasına uygulanabilirliği), teorik modeller, daha fazla zaman ve insana ihtiyaç duyarlar. Tarım

makinalarının kontrolü ve yönetimi, genel amaçlı deneysel modellerin uygulanması için birçok fırsat sağlamaktadır. YSA, bu özelliklere sahiptir ve tarımsal makinalaşmaya model olmada ve kontrollü kullanımda oldukça cazip gözükmektedir.

Modeller, sistemlerin belirli koşullar altındaki davranışını incelemeye ve tahmin etmeye yarayan araçlardır. Mühendislikte kullanılan modeller ise matematiksel yapıda olup, sayısal nitelik taşırlar. Mühendislikte en basit haliyle belirli sembollerle ifade edilen her eşitlik bir modeldir. Model geliştirme süreci genellikle veri tabanının oluşturulması, analiz ve sonuçların değerlendirilmesi (modelin geçerliliğinin ortaya konulması) aşamalarından oluşmaktadır [9, 10, 11, 12, 13].

Günümüzde yazılım teknolojilerinin gelişmesi ve bilgisayarların kapasitelerinin artmasıyla birlikte, pompa dizaynı ve analizi konusunda önemli gelişmeler kaydedilmiştir. Kompleks diferansiyel denklemler ve bir çok iteratif hesap artık elektronik ortamda gerçekleşmekte, bu sayede deney sonuçlarına çok yakın performans değerleri elde edilebilmektedir [14].

[15], YSA ile derin kuyu pompalarına ait performans parametrelerini modellemiştir. 210 deney sonucunu, eğitim ve test verisi olarak kullanmıştır. 42 adet veriyi tesadüf olarak seçmiş ve test verisi olarak değerlendirmiştir. z , \bar{L} ve Q giriş verisi, Hm ve η çıkış verisi olarak kullanmıştır. En iyi eğitim algoritması ve nöron sayısını belirlemiştir. Elde edilen YSA modellerinin sonuçlarını karşılaştırmıştır. Test için, Model1'de Hm ve η 'e ait standart sapma değerlerini sırasıyla 0.19 ve 0.02 iken Model2'de ise 0.40 ve 0.04 elde etmiştir.

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_c) ve pompa çıkış borusu çapı (D_b) parametreleri giriş verisi, devir sayısı (n), debi (Q) ve manometrik yükseklik (Hm) parametreleri de çıkış verisi olmak üzere 5 girişi ve 3 çıkışı olan bir YSA modeli geliştirilmiştir. Her bir parametre için YSA modeli ve regresyon tahmin denklemlerinden elde edilen sonuçlar ile ölçüm sonuçları karşılaştırılmıştır.

2. Metod

Çalışmada yer alan veriler, [1, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24]'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 [25] (Çizelge 1).

Çizelge 1. Çalışmada yer alan tüm deneysel veriler

Giriş Verileri					Çıkış Verileri		
D_1 (mm)	D_2 (mm)	z (adet)	D_c (mm)	D_b (mm)	n (min^{-1})	Q (m^3/s)	Hm (m)
78,15	140,9	7	63,5	50,8	3000	0,01325	20,92
.....
100,5	76,8	6	76,2	76,2	2508	0,01292	47,40
.....
40	129	4	38,55	38,55	2910	0,00248	11,91
.....
79,5	105	8	76,2	76,2	2890	0,00645	8,99
.....
110	185	6	100	100	2220	0,02810	13,18
.....
88	200	7	93	79	3000	0,01563	36,11
.....
126	250	7	100	98	1400	0,03333	15,38

2.1. Regresyon tahmin denklemleri

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

2.2. Yapay sinir ağları

YSA çalışmalarında, MATLAB Paket Programı, 7.01 Neural Network Toolbox'ı kullanılmıştır. Santrifüj pompa performanslarının belirlenmesi için YSA teknikleri uygulanmıştır. Radyal Santrifüj Pompa parametrelerinin hesaplanması için geliştirilen YSA modelinde, İleri Beslemeli (Feed Forward Backprop), Çok Katmanlı Perseptron ağ yapısı kullanılmıştır [26, 27].

Çok Katmanlı Perseptron ağ yapısı, bir giriş katmanı, bir veya birden fazla ara katman ve bir çıkış katmanından oluşan ileri beslemeli bir YSA tipidir. Giriş katmanındaki işlemci elemanlar, giriş sinyallerini ara katmandaki işlemci elemanlara dağıtır. Ara katmandaki işlemci elemanlar, giriş katmanından gelen girişler bağlantı ağırlıklarıyla çarpıldıktan sonra toplanır ve bir transfer fonksiyonundan geçirilerek çıkış katmanına aktarılır. Çıkış katmanındaki işlemci elemanlar ara katman elemanları gibi davranarak ağ çıkış değerini hesaplar.

Kullanılan eğitime algoritmasına göre, ağın çıkışı ile arzu edilen çıkış arasındaki hata, minimuma düşüncüye kadar ağın ağırlıkları değiştirilir.

Kullanılan öğrenme algoritması, Levenberg-Marquart algoritmasıdır. Oldukça başarılı bir optimizasyon metodu olan Levenberg-Marquart eğitime algoritması, farklı öğrenme tekniklerinden biridir [28,29].

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 olmak üzere 3 çıkış parametresi kullanılmıştır. Geliştirilen YSA modelinde 125 eğitim, 10 test verisi olmak üzere 135 veri kullanılmıştır (Çizelge 1).

Sonuçların performanslarının belirlenmesi amacıyla; hesaplama yöntemleri ile elde edilen değerlerin, ölçülen değerlerle arasındaki hata (ε) aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır [30].

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

Burada ε , 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 [30].

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

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 R^2 aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır [

$$R^2 = 1 - \left(\frac{\sum_{1}^m (x_1 - x)^2}{\sum_{1}^m (x)^2} \right) \quad (3)$$

Burada 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.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Regresyon tahmin denklemleri

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

Devir Sayısı:

$$n = 1872.16 - 30.58.D_1 + 12.32.D_2 + 512.53.z + 166.58.D_e - 158.64.D_b + 0.1847.D_1^2 - 0.0665.D_2^2 - 17.87.z^2 + 1.10.D_e^2 + 0.2032.D_b^2 + 0.2327.D_1.D_2 + 3.48.D_1.z - 1.14.D_1.D_e + 0.4941.D_1.D_b - 2.66.D_2.z - 0.1122.D_2.D_e + 0.0939.D_2.D_b - 24.32.z.D_e + 22.22.z.D_b - 1.007.D_e.D_b$$

Debi:

$$Q = -0.02457 + 0.0002.D_1 + 0.0001.D_2 - 0.0035.z + 0.0026.D_e - 0.0024.D_b + 9.82.D_1^2 - 2.04.D_2^2 + 0.0001.z^2 - 0.00001.D_e^2 - 0.000003.D_b^2 - 0.000001.D_1.D_2 + 0.000006.D_1.z + 5.7.D_1.D_e - 0.000001.D_1.D_b + 0.00001.D_2.z - 8.36.D_2.D_e + 5.36.D_2.D_b - 0.0003.z.D_e + 0.0002.z.D_b + 0.00001.D_e.D_b$$

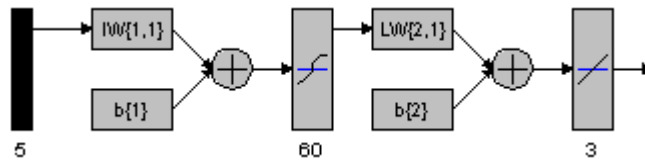
Manometrik Yükseklik:

$$Hm = 20.27 + 0.1325.D_1 - 0.4456.D_2 - 0.6052.z + 6.D_e - 5.36.D_b + 0.0077.D_1^2 + 0.0017.D_2^2 - 0.4143.z^2 + 0.0417.D_e^2 + 0.0064.D_b^2 - 0.0056.D_1.D_2 + 0.0153.D_1.z - 0.031.D_1.D_e + 0.0259.D_1.D_b + 0.0768.D_2.z - 0.0099.D_2.D_e + 0.0088.D_2.D_b - 0.7059.z.D_e + 0.6107.z.D_b - 0.0461.D_e.D_b$$

Bu denklemlerden her parametre için “Regresyon” değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen bu denklemlerin devir sayısı, debi ve manometrik yükseklik değerleri için determinasyon katsayıları (R^2) sırasıyla %83,5, %95 ve %70,5 olarak bulunmuştur.

3.2. Yapay sinir ağları

Geliştirilen 5 giriş 3 çıkışlı ağ modeli Şekil 1’de verilmiştir. Gizli katmandaki nöron sayıları için 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 200, 300 değerleri seçilmiş ve en uygun sonucu veren 60 nöronlu gizli katmana sahip ağ seçilmiştir. YSA için girişte 5 nöron, gizli katmanda 60 nöron ve çıkışta da 3 nöron olmak üzere üç katman oluşturulmuştur. Buna göre oluşturulan ağ için 100 epok sonucunda en düşük eğitim hatası değeri elde edilmiştir.



Şekil 1. YSA ağ modeli

Geliştirilen yapay sinir ağı modeli için giriş katmanına tansig, çıkış katmanına purelin ve gizli katmana sigmoid transfer fonksiyonu uygulanmıştır. Ağ öğrenme fonksiyonu olarak ise Learngd (Gradient Descent Weight And Bias Learning Function) fonksiyonu kullanılmıştır.

Kullanılan giriş ve çıkış verilerini modele uydurmak için 0 ile 1 arasında normalize edilmiştir [32]. Normalize için;

$$y_{nor} = \frac{y - y_{min}}{y_{max} - y_{min}} \quad (4)$$

ifadesi kullanılmıştır. Normalize değerlerden gerçek değerleri elde etmek için, aynı formülden “y” değeri hesaplanmıştır.

YSA modeli için hazırlanan test seti ve test YSA sonuçları Çizelge 2’de verilmiştir.

Çizelge 2. YSA modeli için hazırlanan test seti

GİRİŞLER					ÇIKIŞLAR		
D ₁ (mm)	D ₂ (mm)	z (adet)	D _c (mm)	D _b (mm)	n (min ⁻¹)	Q (m ³ /s)	Hm (m)
145	267	6	154	150	3012	0,0110	21,61
120	204	6	106	98	2893	0,0035	9,53
58	156	6	68	68	2893	0,0035	9,53
62	193	6	63	68	2901	0,0058	9,35
61	195	6	76	77	1700	0,0310	15,80
126	244	6	127	124	2900	0,0145	22,60
67,5	105	7	76,2	76,2	2100	0,0117	22,50
67,5	105	7	76,2	76,2	1500	0,0140	10,50
79,5	105	8	76,2	76,2	1600	0,0438	19,50
78,15	140,9	7	63,5	50,8	1000	0,0497	9,17

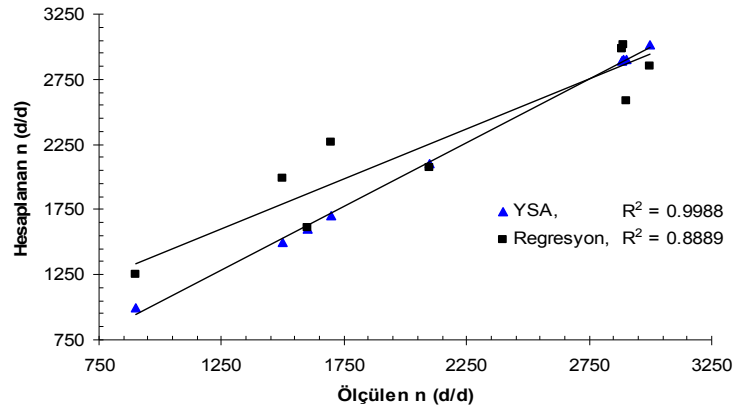
3.3. Devir sayısı

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 %1,24 ve regresyon tahmin denklemlerinde %13,40 bulunmuştur.

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

Ölçüm n	YSA		Regresyon	
	n	Hata ε	n	Hata ε
3000	3012	0,39	2853	4,89
2885	2893	0,27	2985	3,46
2885	2893	0,27	2985	3,46
2890	2901	0,37	3013	4,27
1700	1700	0,00	2266	33,31
2900	2900	0,01	2582	10,96
2100	2100	0,01	2071	1,37
1500	1500	0,01	1986	32,40
1600	1600	0,01	1615	0,95
900	1000	11,11	1251	38,97
Ortalama Hata :		1,24	13,40	

Ölçülen n ile hesaplanan n (YSA ve Regresyon) değerleri arasındaki ilişkinin determinasyon katsayısı (R^2), YSA için %99 ve Regresyon için %88 bulunmuştur (Şekil 2).



Şekil 2. Ölçülen ve hesaplanan (YSA ve Regresyon) n değerleri arasındaki ilişki

Ölçülen değerlerle, hesaplanan (YSA ve Regresyon) değerlerin uyuşma derecesi (U^2), YSA ve regresyon modelleri için sırasıyla 0,0001 ve 0,0141 bulunmuştur.

3.4. Debi

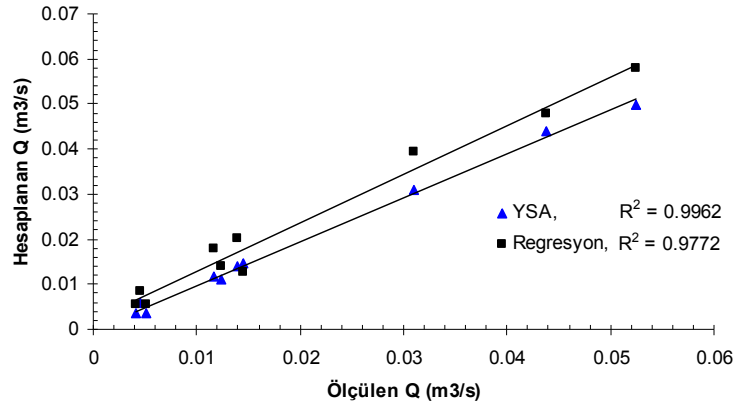
Ölçüm sonuçları ile YSA test sonuçları ve regresyon tahmin denklemlerinden elde edilen sonuçlara ait veriler ve hata değerleri Çizelge 4'de verilmiştir.

Çizelge 4. Ölçüm sonuçları ile YSA ve regresyon sonuçlarına ait debi verileri ve hata değerleri

Ölçüm Q	YSA		Regresyon	
	Q	Hata ϵ	Q	Hata ϵ
0,0124	0,0110	11,34	0,0140	13,05
0,0051	0,0035	30,91	0,0056	10,69
0,0041	0,0035	15,23	0,0056	35,80
0,0046	0,0058	27,22	0,0085	84,67
0,0310	0,0310	0,01	0,0394	27,03
0,0145	0,0145	0,05	0,0127	12,66
0,0117	0,0117	0,05	0,0178	51,76
0,0140	0,0140	0,07	0,0203	44,76
0,0438	0,0438	0,03	0,0477	8,96
0,0525	0,0497	5,21	0,0580	10,63
Ortalama Hata :	9,01		30,00	

Ölçüm değerlerine yaklaşımda ortalama hata, YSA modelinde %9,01 ve regresyon tahmin denklemlerinde %30 bulunmuştur.

Ölçülen Q ile hesaplanan Q (YSA ve Regresyon) değerleri arasındaki ilişkinin determinasyon katsayısı (R^2), YSA için %99 ve Regresyon için %97 bulunmuştur (Şekil 3).



Şekil 3. Ölçülen ve hesaplanan (YSA ve Regresyon) Q değerleri arasındaki ilişki

Ölçülen değerlerle, hesaplanan (YSA ve Regresyon) değerlerin uyuşma derecesi (U^2), YSA ve regresyon modelleri için sırasıyla 0,0022 ve 0,0256 hesaplanmıştır.

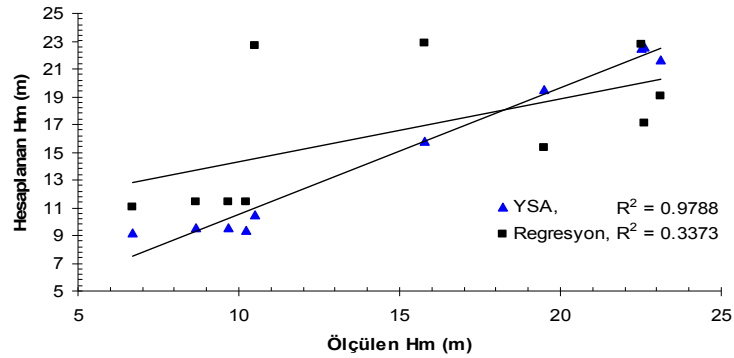
3.5. Manometrik Yükseklik

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 %6,33 ve regresyon tahmin denklemlerinde %35,10 bulunmuştur.

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

Ölçüm Hm	YSA		Regresyon	
	Hm	Hata ϵ	Hm	Hata ϵ
23,10	21,61	6,44	19,03	17,61
8,65	9,53	10,18	11,40	31,84
9,68	9,53	1,53	11,40	17,83
10,23	9,35	8,58	11,40	11,44
15,80	15,80	0,00	22,83	44,52
22,60	22,60	0,02	17,13	24,22
22,50	22,50	0,01	22,81	1,37
10,50	10,50	0,02	22,72	116,43
19,50	19,50	0,01	15,36	21,22
6,72	9,17		11,06	64,52
		36,50		
Ortalama Hata :		6,33		35,10

Ölçülen Hm ile hesaplanan Hm (YSA ve Regresyon) değerleri arasındaki ilişkinin determinasyon katsayısı (R^2), YSA için %97 ve Regresyon için %33 bulunmuştur (Şekil 4).



Şekil 4. Ölçülen ve hesaplanan (YSA ve Regresyon) Hm değerleri arasındaki ilişki

Ölçülen değerlerle, hesaplanan (YSA ve Regresyon) değerlerin uyuma derecesi (U^2), YSA ve regresyon modelleri için sırasıyla 0,0037 ve 0,0990 hesaplanmıştır.

4. Sonuçlar

Geliştirilen YSA modeli ve regresyon denklemleri kullanılarak elde edilen sonuçlar ile ölçüm sonuçları karşılaştırılmıştır. YSA modeli ile elde edilen tüm sonuçların, ölçüm sonuçları ile oldukça uyumlu olduğu tespit edilmiştir.

YSA teknikleri ile elde edilen giriş-çıkış değerlerinin ortalama hatası %1,24 ile %9,01 arasında değişmiştir. Ortalama hatanın %9'lara kadar çıkmasının nedeni kullanılan veri tabanının farklı kaynaklardan alınmasına bağlı olarak, veriler arasında önemli bir varyasyonun bulunmasıdır. Bu değişimin nedeni ise çalışmalarda kullanılan deney standlarına ait ölçme ve sistematik hatalardır. Bu hataları en aza indirebilmek için doğru ve güvenilir veriler alabilmenin yanında bu çalışmada oluşturulan ve doğruluğu test edilen YSA modelinin literatüre önemli ölçüde katkısının olduğu düşünülmektedir. [33] çalışmasında, geleneksel yöntemle yapılan pompa deney sonuçları ile geliştirilen bilgisayar destekli pompa deneylerinden elde edilen sonuçların karşılaştırmasını yapmış ve bilgisayar destekli deney ünitesinden elde edilen verilerin daha güvenilir ve hassas olduğunu tespit etmiştir.

Bu çalışmalarda 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.

Çalışmada geliştirilen nöral model ile bir pompaya ait performans değerlerinin belirlenmesi, hızlı ve güvenli bir şekilde yapılabilecek ve bu model deney merkezlerinde kullanılabilir.

Kaynaklar

- [1] E. Uz, "İzmir ve Çevresinde İmal Edilen Yatay Eksenli Tek Kademeli Santrifüj Zirai Sulama Pompaları Üzerinde Araştırmalar". *E. Ü. Ziraat Fakültesi Yayınları*, No: 391, İzmir, 1981.
- [2] A. Aykoğlu, "Türkiye'de İmal Edilen Bazı Derinkuyu Pompaların Karakteristik Değerlerinin Belirlenmesi Üzerine Bir Araştırma". *G.Ü. Yüksek Lisans Tezi*, Tokat, 53 s. 1995.
- [3] R. Doğuş, "Santrifüj Pompa Deneme Laboratuvarı Projesi ve Projenin Tatbiki". *A.Ü. Basımevi*, Ankara, Yayın No: 220, 35 s., 1963.
- [4] A. Pınarbaşı, and M. W. Johnson, "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., 1995.
- [5] M. Sinha, "Rotor-Stator Interactions, Turbulence Modelling and Rotating Stall in a Centrifugal Pump with Diffuser Vanes". *Doktora Tezi, Johns Hopkins University*, Baltimore, Amerika, 1999.
- [6] M. Güleren, "Santrifüj Pompadaki Durgunluğun Nümerik Analizi" *Yüksek Lisans Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi*, Sivas, 2003.
- [7] Ş. Sağiroğlu, E. Beşdok, ve M. Eler, "Mühendislikte Yapay Zeka Uygulamaları-1" Yapay Sinir Ağları. *Ufuk Kitap Kirtasiye*, Kayseri, 2003.
- [8] E. Öztemel, "Yapay Sinir Ağları". *Papatya Yayıncılık*, İstanbul, 2003.

- [9] C. J. Fraser, and J. S. Milne, "Microcomputer Applications in Measurement Systems". *MacMilan Edu.*, 453 s., London, 1990.
- [10] S.C. Chapra, and R. P. Canale, "Introduction to Computing for Engineers". *McGraw-Hill, Inc.*, 818 s., New York, 1994.
- [11] J.P. Holman, "Experimantal Methods for Engineers". *MacGraw-Hill, Inc.*, 509 s., New York, 1994.
- [12] O. F. Genceli, "Ölçme Tekniği". *Birsen Yayınevi*, 387 s., İstanbul, 1995.
- [13] K. Özdamar, "Paket Programlar ile İstatistiksel Veri Analizi", *Kaan Kitabevi*, 1. Cilt (2. Baskı) s. 335, Eskişehir, 1999.
- [14] T. Değer, "Bilgisayar Destekli Pompa Tasarımı". *5. Pompa Kongresi ve Sergisi Bildiriler Kitabı*, İstanbul, 2005.
- [15] M. Gölcü, "Artificial Neural Network Based Modeling of Performance Characteristics of Deep Well Pumps with Splitter Blade." *Energy Conversion and Management*. 47 3333-3343, 2006.
- [16] R. Gürhan, M. Ayık, "Sulama Pompaları Deney Sonuçlarının Tasarım Parametreleri Olarak Değerlendirilmesi". *A.Ü.Ziraat Fakültesi Baskı Ofset Ünitesi, Ankara*, Yayın No: 1203, 34 s., 1991.
- [17] T. Eryılmaz, "Sulamada Kullanılan Santrifüj Pompaların Kavitasyon Karakteristiklerinin Belirlenmesi". *Yüksek Lisans Tezi. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 2004.
- [18] Anonim, "Deney ve Muayene Raporları". *İTÜ Makine Fakültesi, Hidromekanik Laboratuvarı*, İstanbul, 1984.
- [19] Anonim, "Deney ve Muayene Raporları". *İTÜ Makine Fakültesi, Hidromekanik Laboratuvarı*, İstanbul, 1985.
- [20] Anonim, "Deney ve Muayene Raporları". *İTÜ Makine Fakültesi, Hidromekanik Laboratuvarı*, İstanbul, 1990.
- [21] Anonim, "Deney ve Muayene Raporları". *İTÜ Makine Fakültesi, Hidromekanik Laboratuvarı*, İstanbul, 1991.
- [22] Anonim, "Deney ve Muayene Raporları". *İTÜ Makine Fakültesi, Hidromekanik Laboratuvarı*, İstanbul, 1992.
- [23] Anonim, "Deney ve Muayene Raporları". *İTÜ Makine Fakültesi, Hidromekanik Laboratuvarı*, İstanbul, 1993.
- [25] A. Taner, "Radyal Santrifüj Pompaların Yapay Sinir Ağları İle Tasarımı". *Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi*, Konya, 2007.
- [26] R.A. Jacobs, "Increased Rate of Convergence Through Learning Rate Adaptation" *Neural Networks, Elsevier Science Ltd*. Vol.1, Issue 4, s. 295-307, 1988.
- [27] A.A. Minai and R.D. Williams, "Back-Propagation Heuristics: a Study of The Extended Delta-bar-delta Algorithm" *International Joint Conference on Neural Networks*, vol.1, 595 – 600, San Diego, CA , USA, 1990.
- [28] K. Levenberg, "A Method For the Solution of Certain Nonlinear Problems in Least Squares" *Quart. Appl. Math.*, 2, s. 164-168, 1944.
- [29] D.W. Marquart, "An Algorithm For Least-Squares Estimation Of Nonlinear Parameters" *J. Soc. Indust. Appl. Math.*, 11, s. 431-441, 1963.
- [30] Ş. Bağırkan, "İstatistiksel Analiz". *Bilim Teknik Yayınevi*. s. 301. İstanbul, 1993.
- [31] H. Bechtler, MW. Browne, PK. Bansal, V. Kecman, "New approach to dynamic modelling of vapour-compression liquid chillers: artificial neural Networks". *Applied Thermal Engineering, Elsevier Science Ltd.*, 21:941–953, 2001.
- [32] S. Purushothaman, Y.G. Srinivasa, "A back-propagation algorithm applied to tool wear monitoring". *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, Vol. 34, No:5, pp: 625-631, 1994.
- [33] C. Sungur, "Bilgisayar Kontrollü Yüksek Hassasiyetli Santrifüj Pompa Deney Ünitesinin Gerçekleştirilmesi". *Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi*, Konya, 2003.