

R410A SOĞUTUCU AKIŞKANININ TERMODİNAMİK ÖZELLİKLERİNİN YAPAY SİNİR AĞLARI METODUYLA MODELLENMESİ

Önder KIZILKAN, Arzu ŞENCAN ve Ali Kemal YAKUT

Makine Eğitimi Bölümü, Teknik Eğitim Fakültesi, Süleyman Demirel Üniversitesi, 32260 Isparta
kizilkan@tef.sdu.edu.tr , şencan@tef.sdu.edu.tr , akyakut@tef.sdu.edu.tr

(Geliş/Received: 08.03.2005; Kabul/Accepted: 19.12.2005)

ÖZET

Bu çalışmada, buhar sıkıştırma soğutma çevriminde kullanılan ve ozon tabakasına zararı olmayan çevre dostu R410a soğutucu akışkanının doyma basıncı, sıvı ve buhar entalpileri, entropileri, kızgın buhar entalpisi ve sıcaklığı gibi termodinamik özellikleri Yapay Sinir Ağları (YSA) modeliyle belirlenmiştir. Bu modelde kullanılan veriler, literatürde mevcut olan ampirik ve deneysel veriler yardımıyla elde edilmiştir. Çalışmada; çok iyi eğitilmiş bir YSA modeliyle, istenilen her aralıkta soğutucu akışkanın termodinamik özelliklerinin tespiti için yeni formülasyonlar türetilmiştir. Bu formülasyonlar, ağırlık ve bias değerleri kullanılarak elde edilmiştir. Modelden elde edilen denklemlerle çok daha hızlı ve basit çözümlere ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Yapay sinir ağları, buhar sıkıştırma sistemler, R410a, termodinamik özellikler.

MODELING OF THERMODYNAMIC PROPERTIES OF REFRIGERANT R410A WITH ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS

ABSTRACT

In this study, thermodynamic properties as saturation pressure, saturated liquid enthalpy and entropy, superheated vapor enthalpy and temperature of R410a refrigerant, which are harmful to the ozone layer, used in the vapor compression refrigeration systems were determined with Artificial Neural Network (ANN) model. Data of thermodynamic properties used in the study were obtained from empirical and experimental data that is available in the literature. In order to determine thermodynamic properties of refrigerant for all spans, new formulations were derived by ANN model which was very well trained. These formulations were derived with using weights and bias values of network. With these formulations, faster and simple solutions can be obtained.

Keywords: Artificial neural network, vapor compression systems, R410a, thermodynamic properties.

1. GİRİŞ

Kompresörlü soğutma sistemleri, düşük sıcaklıktaki bir ortamdan ısıyı çekerek yüksek sıcaklıktaki ortama atan ve böylece bulunduğu ortamı soğutan sistemlerdir. Bu işlemler soğutucu akışkanlar yardımıyla ve dışarıdan enerji harcanarak yapılır [1].

Soğutucu akışkan seçimi yapılırken termodinamik özelliklerinin yanında çevresel etkileri de göz önüne alınmalıdır. Yakın zamana kadar geniş ölçüde kullanılan halokarbon türü soğutucu akışkanlardan klor içeren ve Chloro-Fluoro-Carbon (CFC) grubunda bulunan R11, R12, R13, R113, R114, R500, R502, R503 gibi soğutucu akışkanlar ile Hidro-Chloro-

Fluoro-Carbon (HCFC) grubunda bulunan R21, R22, R123, R124 gibi soğutucu akışkanların stratosferdeki ozon tabakasını tahrip ettiği belirlenmiştir. Bu sebepten dolayı birçok ülke arasında Montreal Protokolü ile bu tür soğutucu akışkanların üretim ve kullanımıyla ilgili daha sıkı önlemlerin alınması için bazı kararlar alınmıştır [2].

Üretim ve kullanımı önlenecek olan CFC ve HCFC türü soğutucu akışkanların yerine yeni soğutucu akışkanların bulunması ve yaygınlaştırılması gereksinimi artmaktadır. Bu çalışmada modelleme, ozon tabakasına zarar vermeyen ve çevre dostu yeni bir akışkan olan R410a üzerine yapılmıştır. R410a, R-22 (HCFC) ve R-500 (CFC) yerine uzun vadede

kullanılması öngörülen bir soğutucu akışkandır. Ayrıca R22'den daha yüksek basınç ve soğutma kapasitesine sahiptir [3].

R410a akışkanı, ozon dostu iki HFC türü akışkanın karışımıdır. Bu akışkanlar R32 (% 50) ve R125 (% 50)'tir. Bu nedenle, R410a akışkanının çevreye zararı neredeyse yoktur.

R410a soğutucu akışkanı özellikle, daha önceleri R22 kullanılan iklimlendirme uygulamalarında geniş kullanım alanı bulmuştur. Orta ve düşük sıcaklık soğutma uygulamaları gibi diğer birçok uygulamalarda da kullanımı mümkündür. R22 akışkanı ile karşılaştırıldığında daha yüksek basınçlara sahip olan R410a akışkanı için, bu akışkana özgü kompresörlerin kullanılması gerekmektedir [4].

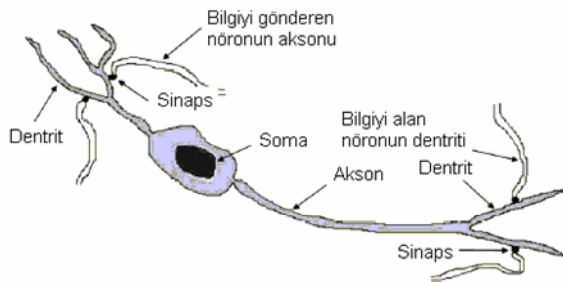
Literatürde R410a soğutucu akışkanının termodinamik özellikleri için ampirik ifadeler verilmiştir [4]. Fakat bu ifadeler oldukça karmaşık olup çözümleri uzun zaman almaktadır. Bu amaçla bu çalışmada, literatürde belli çalışma aralıklarında bulunan veriler kullanılarak R410a soğutucu akışkanının termodinamik özellikleri YSA modeliyle belirlenmiş ve formüle edilmiştir. YSA modeliyle türetilen denklemler yardımıyla, literatürde verilen karmaşık ve kullanılması zor denklemler yerine çok daha hızlı ve basit çözümlere ulaşılmıştır. Ayrıca bu denklemlerin kullanımı için bilgisayar yazılımlarına gerek yoktur.

2. YAPAY SİNİR AĞLARI (YSA)

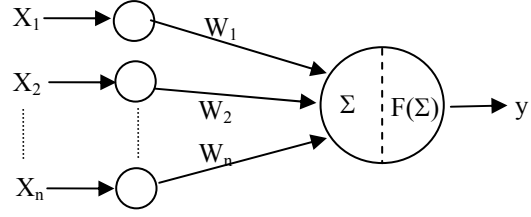
Yapay sinir ağları, insan beyni esas alınarak modellenmiş bir sistemdir. Klasik yöntemlerle çözülemeyen problemleri insan beyninin çalışma sistemine benzer yöntemlerle çözmeye çalışır [5,6].

Bilgisayar ortamında, beynin yaptığı işlemleri yapabilen, karar veren, sonuç çıkaran, yetersiz veri durumunda var olan mevcut bilgiden yola çıkarak sonuca ulaşan, sürekli veri girişini kabul eden, öğrenen, hatırlayan bir algoritma kısaca “Yapay Sinir Ağları” olarak adlandırılır [7–9].

Yapay sinir ağları, insan beynindeki nöronlara benzer olarak meydana getirilen yapay nöronların değişik bağlantı geometrisi ile birbirlerine bağlanmasıyla oluşan karmaşık sistemlerdir. Şekil 1’de biyolojik bir sinir hücresi görülmektedir. Biyolojik nöron, bir



Şekil 1. Biyolojik bir nöron



Şekil 2. Yapay sinir hücresi

çekirdek, gövde ve iki tür uzantıdan oluşmaktadır. Bunlardan kısa ve dallanmış olan dendrit giriş bilgilerini alır. Uzun ve tek olan akson ise çıktı bilgilerini nöronlara taşır. Akson ve dendritin birleşim yerine sinaps adı verilir. Bunlar nöronlardan aldığı sinyalleri değerlendirirler [10,11].

Yapay bir sinir hücresi Şekil 2’de görülmektedir. Her yapay sinir hücresi Şekil 2’den görüldüğü gibi girdiler (X_n), ağırlıklar (W_n), toplam fonksiyonu (Σ), aktivasyon fonksiyonu $F(\Sigma)$ ve çıktı (y) olmak üzere beş ana kısımdan oluşur [12, 13].

Girdiler, girdi seti veya kendinden önceki bir katmandaki başka bir işlem elemanının çıktısıdır. Burada X girdi bilgilerini içeren vektör olmak üzere $X^T = [X_1, X_2, \dots, X_n]$ şeklinde ifade edilebilir. Ağırlıklar, girdi seti veya kendinden önceki bir katmandaki başka bir işlem elemanının, bu işlem elemanı üzerindeki etkisini ifade eden değerlerdir. Ağırlık katsayı değerlerini içeren vektör ise $W^T = [W_1, W_2, \dots, W_n]$ ile gösterilebilir. Toplam fonksiyonu, girdiler ve ağırlıkların tamamının bu işlem elemanına etkisini hesaplayan bir fonksiyondur. Aktivasyon fonksiyonu, toplam fonksiyonun çıktısında hesaplanan değer 0 ile 1 veya -1 ile 1 arasında işlem elemanı çıktı değerine dönüştürüldüğü fonksiyondur. Çıktı, aktivasyon fonksiyonunun sonucudur [14, 15].

Hücreye taşınan her bir bilgi, girdi değerleri ve bağlantı ağırlık değerlerinin çarpılmasıyla elde edilir. Hücrede toplanan net bilgi:

$$NET = \sum_{i=1}^n X_i W_i \quad (1)$$

olarak elde edilir. Hücrede toplanan bilgi bir aktivasyon fonksiyonundan geçirilerek hücrenin gerçek çıktı değeri olan y değeri, $y=f(NET)$ ifadesi ile elde edilir. Bu çalışmada tan-sig aktivasyon fonksiyonu seçildiği için y çıktı değeri:

$$y = \frac{2}{1 + e^{-2 \cdot NET}} - 1 \quad (2)$$

olarak bulunur. Mühendislikte ve pek çok alanda en çok kullanılan öğrenme algoritması, geriye yayılma algoritmasıdır. Bunun en büyük nedeni, öğrenme kapasitesinin yüksek ve algoritmasının basit olmasıdır. Bu yüzden yapılan çalışmada YSA’yı eğitmek için geriye yayılma algoritması kullanılmıştır.

Geriye yayımlı ağıda, öncelikle ilk katmana bir girdi vektörü uygulanır. Daha sonra girdi ve 1. katman arasındaki ağırlıklar yardımıyla, 1. katmandaki her birimin aldığı toplam girdi belirlenir. Her birim, girdisini lineer olmayan bir fonksiyondan geçirerek bir sonraki katmana göndereceği çıktıyı belirler. Bir katmandaki tüm birimlerin durumları paralel olarak belirlenir. Bu işlem, çıktı katmanındaki birimlerin durumları belirleninceye kadar sırayla tekrar edilir [16,17].

Geriye yayılma algoritması, gerçek çıktı y ile istenen çıktı d arasındaki ortalama karesel hatayı minimum yapmak için gradyen azalma algoritmasını (gradient descent algorithm) kullanır ve hata aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$E = \frac{1}{2} \left[\sum_p \sum_k \left| d_{pk} - y_{pk} \right|^2 \right]^{1/2} \quad (3)$$

Burada; E ortalama karesel hatayı, d_{pk} istenen çıktı vektörünü ve y_{pk} gerçek çıktı vektörünü (ağ çıktısı) gösterir. Hatanın sıfır veya sıfıra çok yakın olması, ağıın çok iyi eğitildiğini gösterir.

3. YSA MODELİ İLE R410A'NIN TERMODİNAMİK ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Bu çalışmada, buhar sıkıştırılmalı soğutma sistemlerinde kullanılan R410a soğutucu akışkanının doyma basıncı, sıvı ve buhar entalpileri, entropileri, kızgın buhar entalpisi ve sıcaklığı gibi termodinamik özellikleri, ileri beslemeli YSA modeli yardımıyla tahmin edilmiştir. Modelde kullanılan girdi ve çıktı değerleri Tablo 1'de görülmektedir. Tablodan görüleceği üzere, 5 no'lu modelde kızgın buhar bölgesindeki entalpinin hesaplanabilmesi için kızgın buhar basıncı ve kızgın buhar entropisi kullanılmıştır. Sistemde buharlaştırıcıdan çıkan soğutucu akışkanın kompresörde izentropik olarak sıkıştırıldığı kabul edilmiştir. Dolayısıyla 4 no'lu modelde elde edilen doymuş bölge entropisi, 5 no'lu modelde girdi olarak kullanılmıştır.

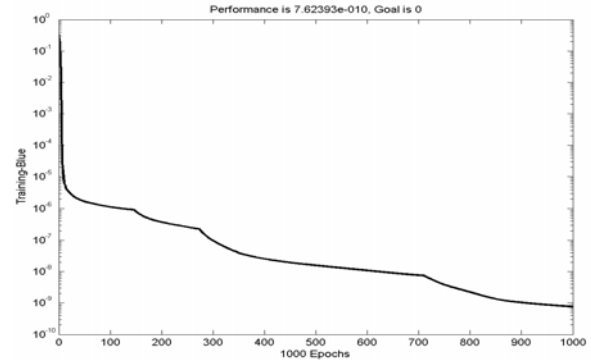
YSA'yı eğitmek için geriye yayılma algoritması kullanılmıştır. Ayrıca, transfer fonksiyonu olarak tan-sig aktivasyon fonksiyonu seçilmiştir. Uygulamada kulla-

nılacak YSA modeli farklı katman ve nöronlar için denenmiştir. Sonuç olarak soğutucu akışkanın termodinamik özelliklerin belirlenmesinde, bütün YSA modellerinde en iyi tahmini, 1000 iterasyon sonucu tek gizli katman ve sekiz nörona sahip olan ağ mimarisi sağlamıştır.

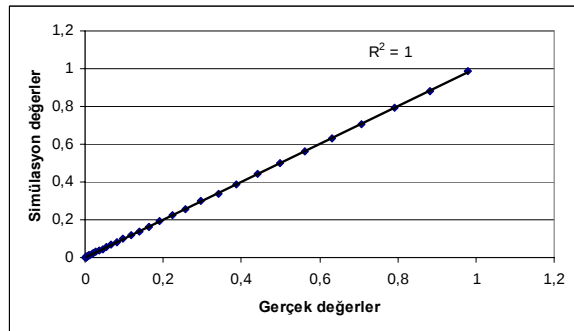
Doyma bölgesinin termodinamik özelliklerini tahmin etmek için kullanılan modelde, 172 veri mevcuttur. Kızgın bölgenin termodinamik özelliklerini tahmin etmek için kullanılan modelde ise 2481 veri mevcuttur. Termodinamik özelliklerin tahmini için bu verilerin %80'i eğitim, geri kalan %20'si test amaçlı kullanılmıştır. Doyma basıncı için, eğitim işlemi sürecince iterasyonla MSE'deki (Mean Square Error) azalma Şekil 3'de görülmektedir. Gerçek değerler ile YSA metodu kullanılarak hesaplanmış değerler (test değerleri) arasındaki ilişki ise Şekil 4'te görülmekte olup $R^2=1$ olarak bulunmuştur.

Doymuş sıvı entalpisi için, eğitim işlemi sürecince MSE'deki (Mean Square Error) azalma Şekil 5'de görülmektedir. Gerçek değerler ile YSA metodu kullanılarak hesaplanmış değerler arasındaki ilişki ise Şekil 6'da görülmekte olup $R^2=1$ olarak bulunmuştur.

Doymuş buhar entalpisi için, eğitim işlemi sürecince iterasyonla MSE'deki (Mean Square Error) azalma Şekil 7'de görülmektedir. Gerçek değerler ile YSA metodu kullanılarak hesaplanmış değerler (test değerleri) arasındaki ilişki ise Şekil 8'de görülmekte olup $R^2=1$ olarak bulunmuştur.



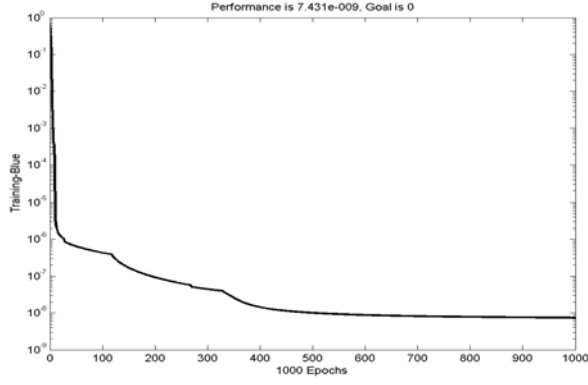
Şekil 3. Doyma basıncı değerlerinin eğitim sonuçları



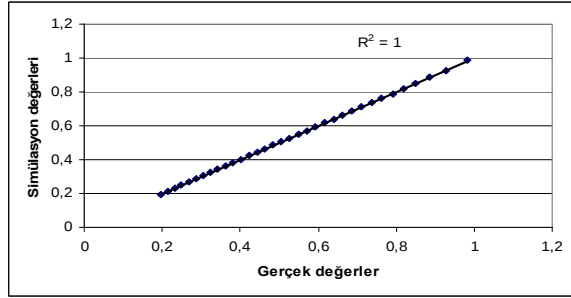
Şekil 4. Doyma basıncı için gerçek değerler ile YSA metodu kullanılarak hesaplanmış test değerleri arasındaki ilişki

Tablo 1. Girdi ve çıktı parametreleri

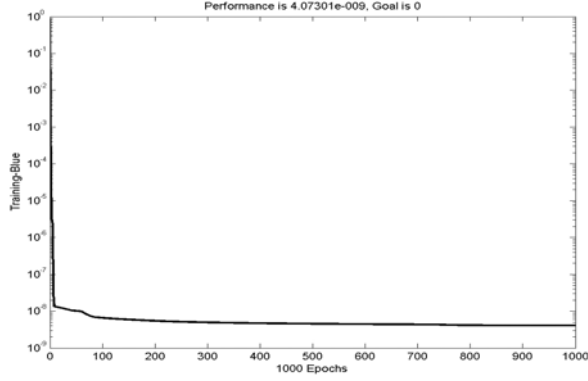
YSA modeli	Girdi parametreleri	Çıktı parametreleri
1	Doyma sıcaklığı	Doyma basıncı
2	Doymuş sıvı sıcaklığı Doymuş sıvı basıncı	Doymuş sıvı entalpisi
3	Doymuş buhar sıcaklığı Doymuş buhar basıncı	Doymuş buhar entalpisi
4	Doymuş buhar sıcaklığı Doymuş buhar basıncı	Doymuş buhar entropisi
5	Kızgın buhar basıncı Kızgın buhar entropisi	Kızgın buhar entalpisi
6	Kızgın buhar basıncı Kızgın buhar entalpisi	Kızgın buhar sıcaklığı



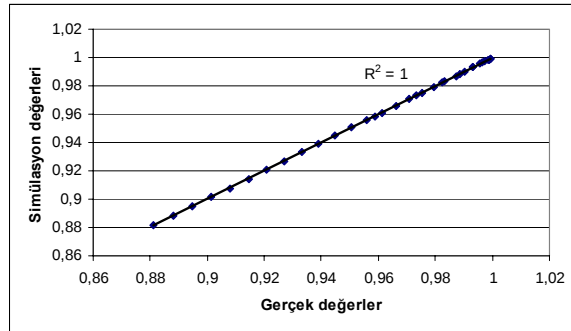
Şekil 5. Doymuş sıvı entalpisi değerlerinin eğitim sonuçları



Şekil 6. Doymuş sıvı entalpisi için gerçek değerler ile YSA metodu kullanılarak hesaplanmış test değerleri arasındaki ilişki

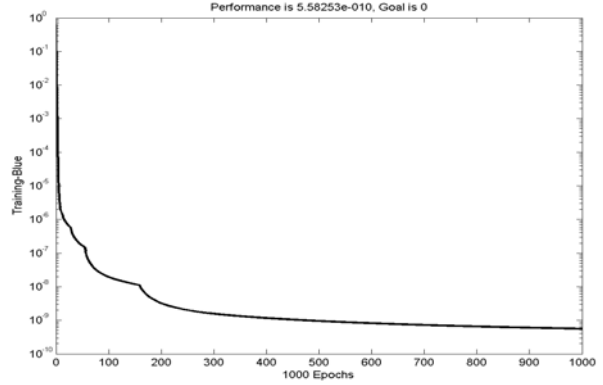


Şekil 7. Doymuş buhar entalpisi değerlerinin eğitim sonuçları

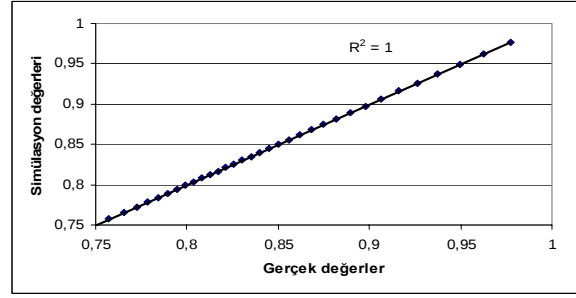


Şekil 8. Doymuş buhar entalpisi için gerçek değerler ile YSA metodu kullanılarak hesaplanmış test değerleri arasındaki ilişki

Doymuş buhar entropisi için, eğitim işlemi sürecince iterasyonla MSE'deki (Mean Square Error) azalma Şekil 9'da görülmektedir. Gerçek değerler ile YSA metodu



Şekil 9. Doymuş buhar entropisi değerlerinin eğitim sonuçları



Şekil 10. Doymuş buhar entropisi için gerçek değerler ile YSA metodu kullanılarak hesaplanmış test değerleri arasındaki ilişki

kullanılarak hesaplanmış değerler (test değerleri) arasındaki ilişki ise Şekil 10'da görülmekte olup $R^2=1$ olarak bulunmuştur.

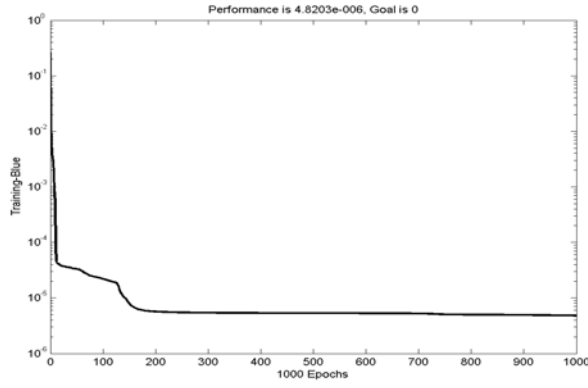
Kızgın buhar entalpisi için, eğitim işlemi sürecince iterasyonla MSE'deki (Mean Square Error) azalma Şekil 11'de görülmektedir. Gerçek değerler ile YSA metodu kullanılarak hesaplanmış değerler arasındaki ilişki ise Şekil 12'de görülmekte olup $R^2=0,9992$ olarak bulunmuştur.

Kızgın buhar sıcaklığı için, eğitim işlemi sürecince iterasyonla MSE'deki (Mean Square Error) azalma Şekil 13'de görülmektedir. Gerçek değerler ile YSA metodu kullanılarak hesaplanmış değerler (test değerleri) arasındaki ilişki ise Şekil 14'de görülmekte olup $R^2=1$ olarak bulunmuştur.

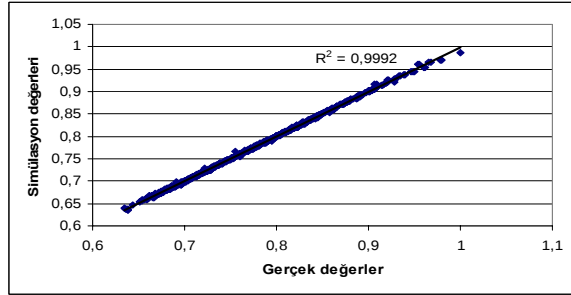
4. YSA MODELİ SONUÇLARI

YSA modelinin yukarıda görüldüğü gibi, oldukça iyi eğitim ve test sonuçları vermesi sebebiyle R410a soğutucu akışkanın termodinamik özellikleri, ağırlıklar ve aktivasyon fonksiyonları yardımıyla formüle edilebilir.

Aşağıda YSA modelinden elde edilen matematiksel formülasyonlar verilmiştir. Bu formüllerde; E_n , ağırlıklar ve girdi değerlerinin toplamını, F_n ise gizli katmana ait her bir nörondaki aktivasyon fonksiyonunu göstermektedir. Aktivasyon fonksiyonu, F_n fonksiyonundan görüldüğü gibi tan-sig olarak seçilmiştir. R410a soğutucu akışkanın termodinamik özelliklerini hesaplamak için aşağıdaki formüller türetilmiştir:



Şekil 11. Kızgın buhar entalpisi değerlerinin eğitim sonuçları

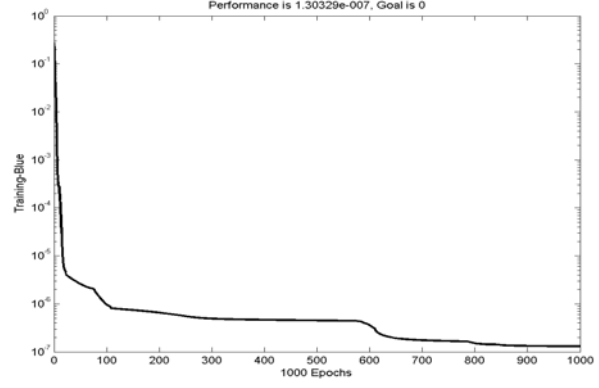


Şekil 12. Kızgın buhar entalpisi için gerçek değerler ile YSA metodu kullanılarak hesaplanmış test değerleri arasındaki ilişki

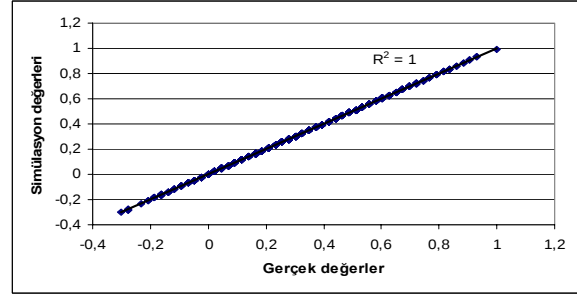
$$E_n = I_n w_n + b_n \quad (4)$$

$$F_n = \frac{2}{1 + e^{-2E_n}} - 1 \quad (5)$$

(4) eşitliğinde E_n değeri, girdi parametreleri ve ağırlıkların çarpımıyla ($I_n w_n$) bias (b_n) teriminin toplamından elde edilir. Bu çalışmada tek gizli tabaka ve sekiz



Şekil 13. Kızgın buhar sıcaklığı değerlerinin eğitim sonuçları



Şekil 14. Kızgın buhar sıcaklığı için gerçek değerler ile YSA metodu kullanılarak hesaplanmış test değerleri arasındaki ilişki.

nöron kullanıldığından soğutucu akışkanın her bir termodinamik özelliğini hesaplamak için yukarıdaki eşitlikler E_1 'den E_8 'e ve F_1 'den F_8 'e yazılacaktır. (4) ve (6) eşitliğindeki katsayılar Tablo 2'de verilmiştir. Bu tabloda, w_n , her bir girdiye ait ağırlık değerlerini, W_n , Denklem (6)'daki katsayıları, b_1 ve b_2 'de bias değerlerini göstermektedir.

Tablo 2. R410a soğutucu akışkanının termodinamik özellik katsayıları

	P_d		h_l		h_v		s_v		h_{kb}		T_{kb}	
	T_d	P_d	T_d	P_d	T_d	P_d	T_d	P_d	P_d	s_v	P_d	h_v
w_n	93.392	10.3112	35.7652	4.8334	9.8811	1.0429	29.5456	3.5187	4.9463	2.5438	15.0418	
	-36.4198	-3.2084	-3.8347	-4.3669	-2.5008	-0.49618	8.5424	-1.9799	0.8577	-1.3164	-32.2171	
	13.6892	2.9279	4.5332	6.8174	9.5477	0.79458	14.2922	0.6289	5.0362	3.6526	11.3173	
	-3.399	0.031168	10.3013	-1.4164	7.1391	-0.67909	-0.69734	-2.0552	5.2024	-0.50539	2.534	
	2.6197	2.9894	5.9437	3.3032	5.8503	4.8123	0.82337	4.888	6.2425	-0.31714	11.365	
	2.8391	1.6385	4.452	2.4458	5.2158	0.69423	6.7601	3.3186	5.8207	0.53636	-2.0451	
	-3.3068	-1.2373	-5.3581	1.1501	-6.9336	-0.69923	-1.4564	-3.0267	-5.6631	-2.915	-11.8515	
	-10.1424	-0.028146	-0.15799	-1.7247	-1.4454	-1.37	-7.6679	-16.7783	-1.6351	-8.3569	-17.7013	
W_n	16.3339		9.9996		-0.10673		-0.027226		6.7372		0.076707	
	-0.18602		-2.4066		0.41992		0.60676		-14.054		-9.5068	
	0.2554		-1.115		0.86397		-0.12969		9.7048		0.012755	
	-2.3384		-0.33556		-3.0875		-0.020455		0.96682		6.8082	
	0.23356		-0.0098137		0.82969		0.71436		1.6406		0.71771	
	0.057451		-1.0404		-2.2482		1.0155		20.3349		6.8459	
	-0.01266		-1.1884		-4.6914		3.0743		-0.3778		-0.079008	
	-0.00029997		-7.6348		-1.9588		5.0717		-23.2254		-0.18312	
b_1	-66.5566		-44.1664		-12.6287		-7.3318		-21.1358		-16.6452	
	24.7132		5.6543		4.3774		1.4005		0.9781		35.0128	
	-9.3066		-5.713		-5.2285		0.46456		-22.1759		-12.6502	
	3.0346		-9.2382		-2.2621		-2.6616		-8.8253		-2.0225	
	-0.87014		-0.30221		-0.80254		4.2864		-14.0473		-11.4897	
	0.16083		0.20365		-0.87045		2.571		6.0019		1.6081	
	-1.3067		-0.12609		1.3495		-2.8062		7.6653		7.9256	
	-6.8686		-0.5498		-1.6056		-18.4868		-4.8069		10.5662	
b_2	19.417		7.4984		-0.7075		7.0981		-10.8111		10.5353	

Tablo 3. Girdi ve çıktı parametrelerinin normalizasyon katsayıları

Soğutucu Akışkan	Parametre	Katsayı
R410a	Doyma sıcaklığı, T_d	100.1
	Doyma basıncı, P_d	4714
	Doymuş sıvı entalpisi, h_l	347.5
	Doymuş buhar entalpisi, h_v	427.8
	Doymuş buhar entropisi, s_v	2.2
	Kızgın buhar basıncı, P_{kb}	4000.1
	Kızgın buhar entropisi, s_{kb}	2.6
	Kızgın buhar entalpisi, h_{kb}	625.5
	Kızgın buhar sıcaklığı, T_{kb}	215.1

Girdi ve çıktı parametreleri -1 ile 1 aralığında normalize edilmiştir. Bu amaçla her bir parametre Tablo 3’de verilen katsayılarla bölünmüştür. Sonuç olarak Tablo 1’de verilen girdi değerlerine bağlı olarak soğutucu akışkanın çıktı değerleri aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$E_9 = F_1 \quad W_1 + F_2 \quad W_2 + F_3 \quad W_3 + F_4 \quad W_4 + F_5 \quad W_5 + F_6 \quad W_6 + F_7 \quad W_7 + F_8 \quad W_8 + b_2 \quad (6)$$

$$F_9 = 2 / (1 + \exp(-2E_9)) - 1 \quad (7)$$

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada, buhar sıkıştırımlı soğutma çevriminde kullanılan ve ozon tabakasına zararı olmayan çevre dostu R410a soğutucu akışkanının doyma basıncı, sıvı ve buhar entalpileri, entropileri, kızgın buhar entalpisi ve sıcaklığı gibi termodinamik özellikleri Yapay Sinir Ağları (YSA) modeliyle belirlenmiş ve matematiksel olarak formüle edilmiştir. Modelden elde edilen basit formüllerle, R410a soğutucu akışkanının termodinamik özellikleri hızlı bir şekilde başarıyla hesaplanabilmektedir. Bu yeni yaklaşım, farklı ve alternatif soğutucu akışkanların termodinamik özelliklerinin belirlenmesinde de oldukça yararlı olacaktır.

KAYNAKLAR

- Çengel, A.Y., Boles, A.M, **Thermodynamics: An Engineering Approach**, McGraw-Hill, New York, U.S., 1994.
- Özkoç, N., **Uygulamalı Soğutma Tekniği**, TMMOB Makine Mühendisleri Odası Yayın No: 115, Ankara, 1999.
- Dossat, R.J., **Principles of Refrigeration**, Prentice Hall, New Jersey, U.S., 1997.
- Dupont. 2004. **DuPont de Nemours and Company Inc.** <http://www.dupont.com/suva>
- Kalogirou, S.A., “Artificial Neural Networks in Renewable Energy Systems Applications: A Review”, **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 5, 373–401, 2000.
- Dorvlo, S.S., Jervase, J.A., Al-Lawati, A., “Solar Radiation Estimation Using Artificial Neural Network”, **Applied Energy**, 71, 307–319, 2002.
- Civalek, Ö., “Dairesel Plakların Nöro-Fuzzy Tekniği İle Analizi”, **Dokuz Eylül Üniversitesi Fen ve Mühendislik Dergisi**, 1(2), 13-31, 1999.
- Sözen, A., Arcaklıoğlu, E., Özalp, M., Formulation based on Artificial Neural Network of Thermodynamic Properties of Ozone Friendly Refrigerant/Absorbent Couples”, **Applied Thermal Engineering**, 25(11-12): 1808-1820, 2005.
- Sözen, A., Akçayol, M.A., “Modelling (Using Artificial Neural-Networks) the Performance Parameters of a Solar-Driven Ejector-Absorption Cycle”, **Applied Energy**, 79(3): 309-325, 2004.
- Kalogirou, S. A., “Long-Term Performance Prediction of Forced Circulation Solar Domestic Water Heating Systems Using Artificial Neural Networks”, **Applied Energy**, 66, 63–74, 2000.
- Kalogirou, S.A, “Applications of Artificial Neural Networks in Energy Systems: A Review”, **Energy Conversion&Management**, 40: 1073-1087, 1999.
- Fu, L.M., **Neural Networks in Computer Intelligence**, Mc Graw-Hill International Editions, 460p., 1994.
- Tsoukalas, L.H., Uhrig, R.E., **Fuzzy and Neural Approaches In Engineering**, John Wiley&Sons Inc., 587p., 1997.
- Efe, Ö., Kaynak, O., **Yapay Sinir Ağları ve Uygulamaları**, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul, 2000.
- Şencan, A., Yakut, A.K., Dikmen, E., “A New Model for Determining the Thermodynamic Properties of LiBr-H₂O Solution”, **G.U. Journal of Science**, 17(1):101-110, 2004.
- Sözen, A., Arcaklıoğlu, E., Özalp, M., “Formulation based on Artificial Neural Network of Thermodynamic Properties of Ozone Friendly Refrigerant/Absorbent Couples”, **Applied Thermal Engineering**, 25(11-12): 1808-1820, 2005.
- Sözen, A., Akçayol, M.A., “Modelling (Using Artificial Neural-Networks) the Performance Parameters of a Solar-Driven Ejector-Absorption Cycle”, **Applied Energy**, 79(3): 309-325, 2004.