

**METHANOL/LIBR İLE ÇALIŞAN EJEKTÖRLÜ ABSORPSİYON SOĞUTMA SİSTEMİNİN
TERMODİNAMİK ANALİZİNDE YAPAY SINIR AĞLARININ KULLANILMASI**

Adnan SÖZEN*, **Erol ARCAKLIOĞLU****, **Mehmet ÖZALP***
* **Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Ankara, Türkiye**
** **Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kırıkkale, Türkiye**

ÖZET

Absorpsiyonlu ısı sistemlerinin termodinamik analizi, akışkan çiftlerinin termodinamik özelliklerini hesaplayan analitik fonksiyonlardan dolayı çok karmaşıktır. Bu çalışma ejektörlü absorpsiyon soğutma sistemlerinin (EASS) termodinamik analizine yeni bir yaklaşım önermektedir. Ozon tabakasına zarar vermeyen metanol/LiBr akışkan çiftinin termodinamik özelliklerini belirlemek için yapay sinir ağları (YSA) kullanılmıştır. Ayrıca, akışkan özellikleri analitik fonksiyonlarla ve YSA'dan tahmin edilerek EASS için karşılaştırmalı performans çalışması gerçekleştirilmiştir. YSA'da, üç değişik geriye yayılım öğrenme algoritması ve logistik sigmoid transfer fonksiyonu, eğitmek için de sınırlı sayıda deneysel ölçüm sonuçları kullanılmıştır. Girdi katmanında akışkan çiftinin sıcaklığı, basıncı ve konsantrasyonu, çıktı katmanında ise özgül hacim dikkate alınmıştır. Eğitim sonunda maksimum hatanın %3'den küçük ve R^2 değerlerinin 0.9999 mertebesinde olduğu görülmüştür. Ayrıca, analiz sonuçlarının karşılaştırılmasında bütün çalışma sıcaklıkları için soğutma tesir katsayısında %1.8, ekserji veriminde %4 ve dolaşım oranında %0.2'den daha az hata elde edilmiştir. Bu mertebeler, EASS'nin dizaynında ve YSA ile elde edilen termodinamik özellikler de kabul edilebilir sınırlar içindedir.

Anahtar kelimeler: Yapay sinir ağları, absorpsiyon, termodinamik özellikler, metanol/LiBr, COP

**USE OF ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS IN THERMODYNAMIC ANALYSIS OF AN
EJECTOR-ABSORPTION REFRIGERATION SYSTEM
USED METHANOL/LIBR FLUID COUPLE**

ABSTRACT

Thermodynamic analysis of the absorption thermal systems is too complex because of analytic functions calculating the properties of fluid couples. This paper presents a new approach to thermodynamic analysis of ejector-absorption refrigeration systems (ARSs). Use of artificial neural networks (ANNs) has been proposed to determine the properties of an alternative working fluid couple (methanol/LiBr), which do not cause ozone depletion for ejector-absorption refrigeration system (EARS). In addition, this paper presents a comparative performance study of the EARS using both analytic functions and prediction of ANN for properties of the couple. The back-propagation learning algorithm with three different variants and logistic sigmoid transfer function were used in the network. In order to train the neural network, limited experimental measurements were used as training and test data. In input layer, there is temperature, pressure and concentration of the couples; specific volume is in output layer. After training, it is found that maximum error is less than 3% and R^2 values are about 0.9999. Additionally, in comparison of analysis results between analytic equations obtained by using experimental data and by means of ANN, differences coefficient of performance (COP), exergetic coefficient of performance (ECOP) and circulation ratio (f) for all working temperatures are less than 1.8%, 4%, 0.2%, respectively. These accuracy degrees are acceptable in design of EARS. As seen from the results obtained the thermodynamic properties are obviously calculated within acceptable uncertainties.

Key words: Artificial neural network, Absorption, Thermodynamic properties, methanol/LiBr, COP

1. GİRİŞ

Güneş enerjisi, jeotermal enerji ve sanayideki atık ısıları kullanabilen ejektörlü absorpsiyon soğutma sistemleri (EASS), termodinamikte önemli bir uygulama alanına sahiptir. Çalışma akışkanlarının (soğutucu akışkan/absorbent) doğal maddelerden olması dolayısıyla ozon tabakasına zarar vermemesi, performans katsayıları buhar sıkıştırma soğutma sistemlerinden düşük olmasına rağmen bu sistemleri daha cazip hale getirmektedir.

Akışkan çiftlerinin termodinamik özelliklerini veren denklemler, kompleks diferansiyel denklemlerin çözümüyle elde edilmekte, bu durum da EASS'lerin termodinamik analizini zorlaştırmaktadır. Hassas sonuçlar elde etmek için fazla zamana ve bilgisayar gücüne ihtiyaç duyulmaktadır. Bu güçlükten kurtulmak için yapay sinir ağları (YSA) kullanılabilir. YSA'nın modelleme ve tahminlerde kullanımı son yıllarda önemli miktarda artış göstermiştir ve ısıl mühendislikte olduğu gibi kompleks fiziksel olayların modellenmesinde kullanılmaktadır.

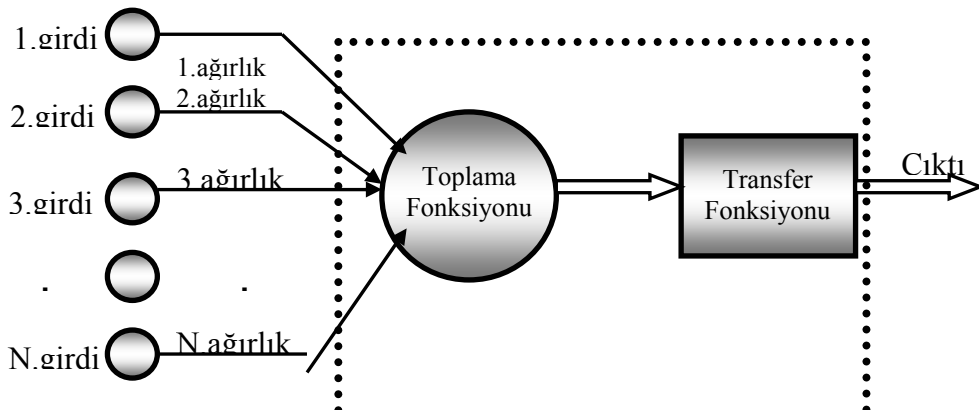
YSA, çok iyi bir yaklaşım kabiliyetine sahiptir ve hızlı işlemle kısa zamanda çözüm üretebilme gibi büyük bir avantajı vardır[1]. Son on yılda ise ısıl sistemlerde YSA'nın kullanımı ile ilgili çok sayıda çalışma yapılmıştır [2-12].

Bu çalışmada, ozon tüketim potansiyeli olmayan metanol/LiBr akışkan çiftinin termodinamik özelliklerinin belirlenmesinde YSA kullanılmıştır. Ayrıca, akışkan özellikleri analitik fonksiyonlarla ve YSA'dan tahmin edilerek EASS için karşılaştırmalı performans çalışması gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma göstermiştir ki, absorpsiyonlu sistemlerde matematik modellerin simülasyonu yerine YSA kullanılabilir.

2. YAPAY SİNİR AĞLARI

Son 15 yıllık sürede özellikle bazı alanlarda YSA'ya olan ilgi ciddi bir artış göstermiştir. Eksik veya bulanık bilgi içeren konularda, iyi tanımlanmamış ve çok kompleks problemlerde oldukça iyi durumdadır. YSA, örneklerden öğrenir ve non-lineer problemlere cevap verebilir.

YSA'nın başarılı bir şekilde çözüm üretmediği konular, mantık ve aritmetikte olduğu gibi yüksek hassasiyet gerektirmektedir. Klasik metotlarla karşılaştırıldığında YSA'nın avantajları, hız, basitlik ve örneklerden öğrenbilmesidir. Dolayısıyla mühendislik emeği azaltılabilir. Bir sinir ağının temel işlem elemanı 'sinir'dir. Temel olarak biyolojik bir sinir, farklı kaynaklardan bilgileri alır; bunları çeşitli yollarla birleştirir ve nihai çözümü bulur. YSA'lar ise küçük bireysel bağlantılar halindeki işlem birimlerinin toplamıdır. YSA genellikle bir girdi katmanı, gizli katmanlar ve bir çıktı katmanından oluşur[3]. Her bir 'girdi', Şekil 1.'de bağlantı ağırlığı ile çarpılır, sonra bu çarpımlar ve 'bias' değeri toplanır. Toplam sonuç ise bir transfer fonksiyonundan geçirilerek 'çıkıtı' elde edilir.



Şekil 1. Yapay sinir'in şematik gösterimi

Bias kullanılması durumunda girdi ve çıktı arasındaki ilişki daha kolay yakalanmaktadır. Genelde cebirsel denklemlerden oluşan transfer fonksiyonu lineer veya nonlineer olabilir [8]. Fonksiyonun seçimi çözülecek probleme bağlıdır.

Sinir ağında önemli bir aşama, eğitime adımdır. Girdi istenen çıktı ile birlikte ağ'a verilir ve arzu edilen çıktı'yı elde etmek için ağırlıklar düzeltilir. Eğitime öncesinde ağırlıklar rasgele seçilmiştir ve bir manaya

sahip değildir, fakat eğitime sonunda çok anlamlı bir bilgi içerir. Arzu edilen çıktı için yeterli bir seviye elde edilmişse eğitime işi durdurulur. Ağ, gerekli kararı vermek için ağırlıkları kullanır.

Farklı öğrenme algoritmaları vardır. En popülerleri farklı versiyonları olan geriye yayılım algoritmasıdır. Standart geriye yayılım, azalan gradyent algoritmasıdır. İlgili problem için hangi algoritmanın daha hızlı çözüm vereceğini bilmek zordur. Geriye yayılma algoritmaları YSA, ağırlıkları değiştirmek suretiyle öğrenir, bu değişiklik bilgi olarak depolanır.

Öğrenme sırasındaki hata root-mean-squared (RMS) olarak isimlendirilir ve aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$RMS = \left(\frac{1}{o} \sum_j |h_j - c_j|^2 \right)^{1/2} \quad (1)$$

Ayrıca, mutlak değişim yüzdesi (R^2) ve değişim katsayısı (cov) da aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$R^2 = 1 - \left(\frac{\sum_j (h_j - c_j)^2}{\sum_j (c_j)^2} \right) \quad (2)$$

$$cov = \frac{RMS}{c_{mean}} * 100 \quad (3)$$

Burada h hedef değer, c çıktı değeri, o örnek eğitime sayısı, c_{mean} bütün çıktı değerlerinin ortalamasını vermektedir. Girdi ve çıktı katmanı (-1,1) veya (0,1) aralığına normalize edilir.

3. YSA'NIN UYGULANMASI

3.1. YSA kullanılarak termodinamik özelliklerin tahmini

Absorpsiyonlu soğutma ve ısı pompasında akışkan çiftlerinin ısı özelliklerinin hesabı önemli problemlerden birisidir. Methanol/LiBr çifti için bu özelliklerin belirlenmesi amacıyla Bulgan ve arkadaşları tarafından [15] bir deney düzeneği kullanılmıştır. Bu düzenek sabit hacimli piezometre prensibiyle çalışmaktadır. Deneyler 298-498 K sıcaklık, 0.1-40 Mpa basınç ve %2-12 konsantrasyon aralıklarında gerçekleştirilmiştir. YSA'yı eğitmek için bu deneysel sonuçlar kullanılmıştır.

Geriye yayılım algoritmasının scaled conjugate gradient (SCG), Pola-Ribiere conjugate gradient (CGP), and Levenberg-Marquardt (LM) versiyonları ve tek gizli katman kullanılmıştır. Girdi ve çıktılar (0,1) aralığına normalize edilmiştir. Logistic sigmoid (logsig) transfer fonksiyonu kullanılmıştır. Fakat girdi katmanında transfer fonksiyonu yoktur. Logsig fonksiyonu aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$f(z) = \frac{1}{1 + e^{-z}} \quad (4)$$

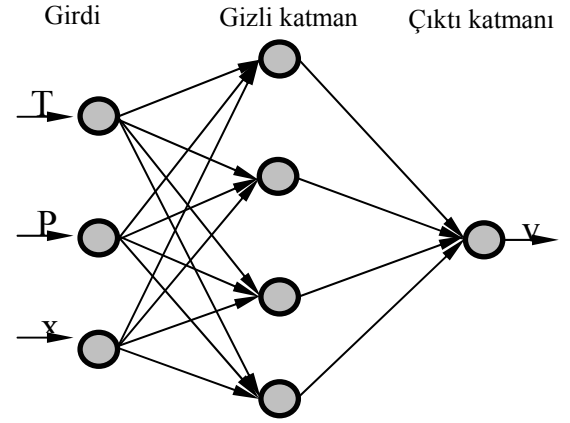
Burada z girdinin ağırlıkla toplanmış halidir.

Bilgisayar programı MATLAB'da hazırlanmıştır. Eğitime esnasında hassas sonuçlara ulaşmak için gizli katmandaki eleman sayısı 3'den 8'e kadar artırılmıştır. Akışkan çifti için deneylerden 174 tane örnek alınmıştır. Eğitime işlemi başarıyla tamamlandığında ağ, test datası ile test edilmiştir. Test sonuçları da tablolarda görüldüğü gibi çok düşük hatalarla bulunduktan sonra, 293-498 K sıcaklık aralığında (5 K aralıklı), 0.1-50 MPa basınç aralığında (2 MPa aralıklı) ve %1-13 aralığında (0.3 aralıklı) özgül hacim değerleri YSA ile bulunmuştur. YSA ile EASS'nin performans hesaplamasında bu değerler kullanılmıştır.

Sonuçları değerlendirmek için istatistik metotlardan RMS, cov, maksimum % hata, ortalama % hata değerleri kullanılmıştır. Eğitime ve test amaçlı kullanılan örneklerden bazıları Tablo 1'de verilmiştir. Sinir ağının mimari yapısı, 4'lü gizli katman için Şekil 2'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Girdi ve çıktılar için bazı örnekler

T (K)	P (MPa)	x (%)	V (cm ³ /g)
298.15	1	2	1.2361
323.15	5	7	1.1916
348.15	10	12	1.1147
373.15	20	2	1.3281
398.15	30	7	1.25
423.15	40	12	1.1951
448.15	2.4	2	1.5934
473.15	4	7	1.4873
498.15	6.3	12	1.4176



Şekil 2. Isıl özellikler için 3-4-1 mimari yapısı

3.2. Ejektörlü Absorpsiyon Soğutma Sisteminin Performans Analizi

EASS, yoğuşturucu, buharlaştırıcı, absorber, ayırıcı, ejektör, genişleme valfi, soğutucu akışkan ısı değiştirgeci, karışım ısı değiştirgecinin ve ejektörün kullanılması toplam performansta artış sağlamaktadır [13,14,16]. Analizi yapılan EASS ile ilgili detaylı bilgi Ref. 14'de verilmiştir. Tablo 2'de simülasyonda kullanılan parametreler verilmiştir.

Tablo 2. EASS'nin analizinde kullanılan değerler

Ayırıcı sıcaklığı, T_g	50'den 130 °C'ye
Buharlaştırıcı sıcaklığı, T_e	-20, -10, 0, 10 °C
Yoğuşturucu sıcaklığı, T_c	25, 30, 35, 40 °C
Absorber sıcaklığı, T_a	30, 35, 40, 45 °C
Soğutma yükü, q_e	1 KW

EASS'nin bazı parçalarının enerji dengesi denklemleri aşağıda verilmiştir:

$$\text{Yoğuşturucu} \quad \dot{q}_c = \dot{m}_7(h_7 - h_8) \quad (5)$$

$$\text{Buharlaştırıcı} \quad \dot{q}_e = \dot{m}_7(h_{11} - h_{10}) \quad (6)$$

$$\text{Absorber} \quad \dot{q}_a = \dot{m}_1 h_1 - \dot{m}_1 h_1 \quad (7)$$

$$\text{Ayırıcı} \quad \dot{q}_g = \dot{m}_7 h_7 + \dot{m}_4 h_4 - \dot{m}_3 h_3 \quad (8)$$

EASS'nin değerlendirilmesinde kullanılan temel parametreler:

- EASS'nin soğutma tesir katsayısı (COP):

$$COP = \frac{\dot{q}_e}{\dot{q}_g + \dot{W}_p} \quad (9)$$

- EASS'nin ekserji performans katsayısı:

$$ECOP = - \frac{\dot{q}_e (1 - T_0 / T_e)}{\dot{q}_g (1 - T_0 / T_g) + \dot{W}_{pe}} \quad (10)$$

- EASS'nin dolaşım oranı:

$$F = \frac{m_1}{m_7} \quad (11)$$

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

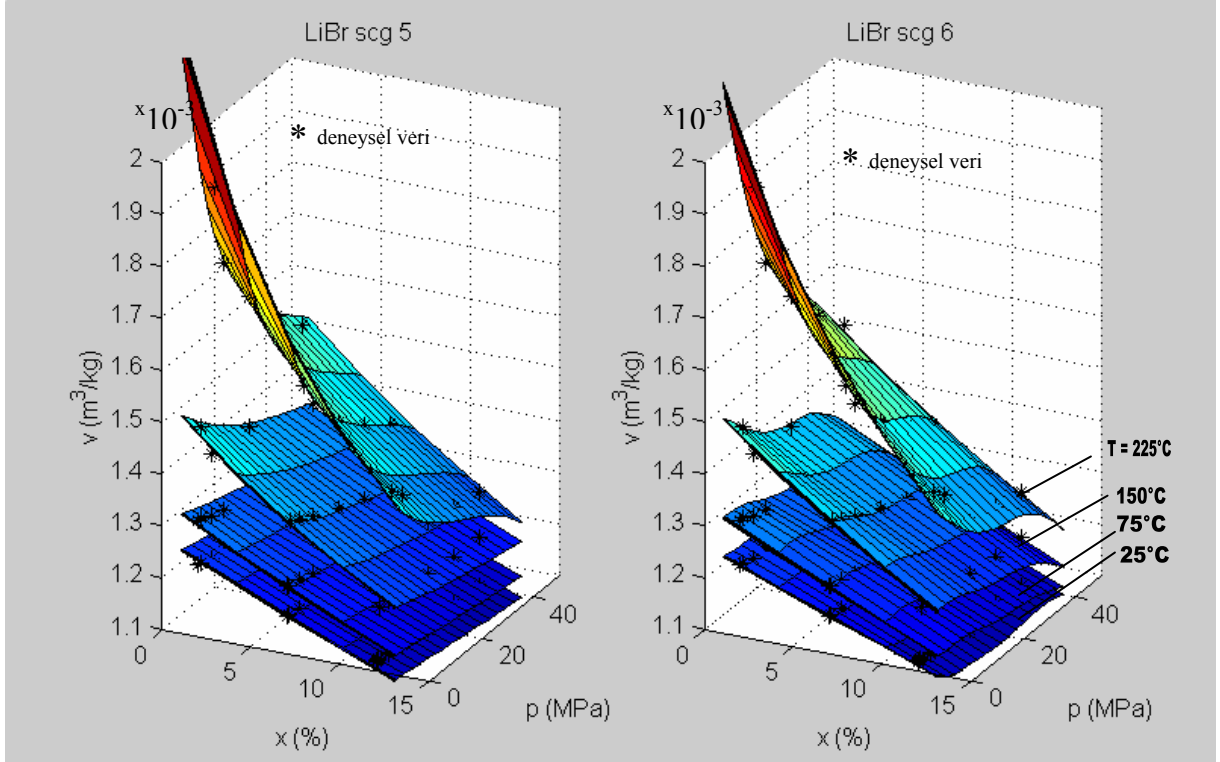
4.1. Termodinamik özellikler

CFC'lerin kullanımıyla ilgili uluslar arası düzenlemeler nedeniyle, çevresel açıdan kabul görmüş ve verimli alternatif akışkanlar bulmak gerekliliği doğmuştur [1].

Bu çalışmada EASS'ler için ozon tüketim potansiyeli olmayan metanol/LiBr alternatif akışkan çiftinin PVT özelliklerinin (273-400 K, 0.1-50 MPa aralığında) belirlenmesinde yapay sinir ağları kullanılmıştır. Sonuçlar Şekil 3-8.'de gösterilmiştir. İstatiksel sonuçlar ise kullanılan bütün algoritmalar ve gizli katman elemanları için Tablo 3'de verilmiştir. Tablodan görüldüğü gibi R^2 değerleri 1'e çok yakın, ortalama % hatalar 1 civarında ve RMS değerleri oldukça düşüktür. Dolayısıyla elde edilen sonuçlar kabul edilebilir sınırlar içindedir.

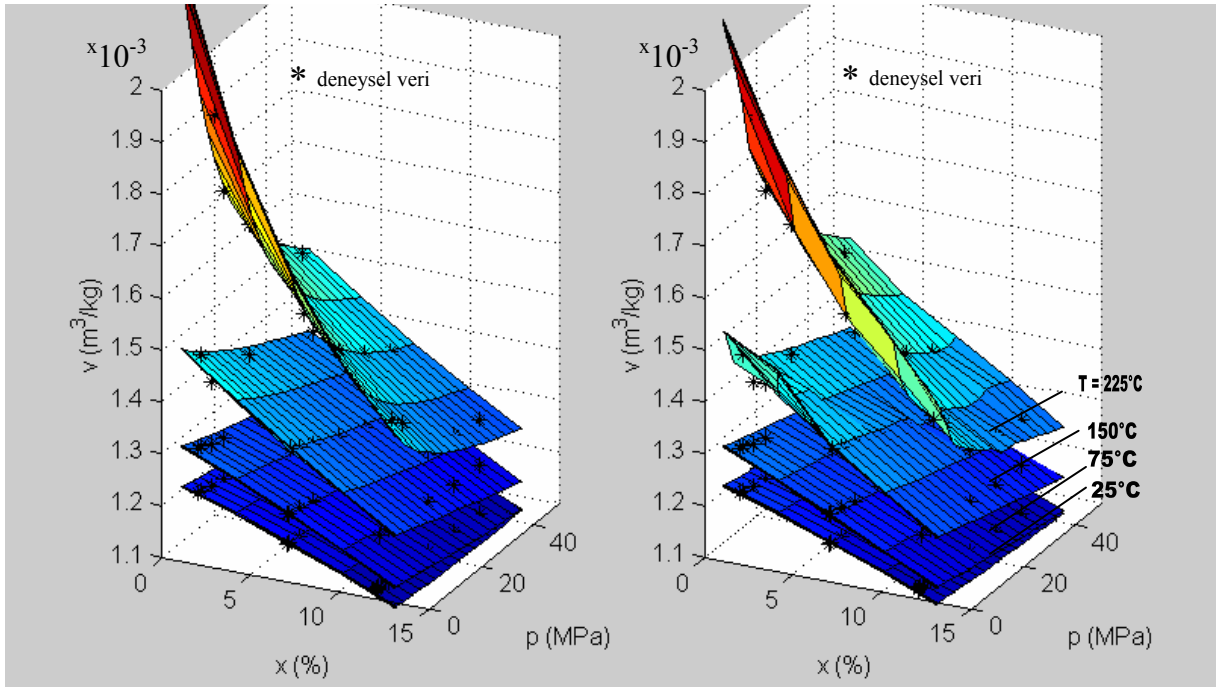
Tablo 3. Termodinamik özelliklere ait istatistiksel sonuçlar

	RMS	RMS test datası	R^2	R^2 test datası	cov	cov test datası	Max error (%)	Max. Hata test datası (%)	Ortalama hata (%)	Ortalama hata test datası (%)
LM-3	0.00161	0.0004	0.99985	0.99999	0.01251	0.00329	3.48	0.59	0.94	0.27
LM-4	0.00159	0.00043	0.99985	0.99999	0.01238	0.0036	3.29	0.63	0.93	0.29
LM-5	0.00164	0.00047	0.99984	0.99999	0.01274	0.0039	2.91	0.54	0.97	0.36
LM-6	0.00145	0.00100	0.99987	0.99993	0.01129	0.0083	3.03	1.36	0.86	0.69
LM-7	0.00149	0.00114	0.99987	0.99991	0.01161	0.0094	2.71	1.62	0.88	0.78
SCG-3	0.00176	0.00074	0.99981	0.99996	0.01369	0.00615	3.58	1.13	1.09	0.57
SCG-4	0.00164	0.00062	0.99984	0.99997	0.01276	0.0051	3.19	0.93	0.99	0.45
SCG-5	0.00180	0.00054	0.99981	0.99998	0.01402	0.0045	3.53	0.79	1.08	0.38
SCG-6	0.00169	0.00076	0.99983	0.99999	0.01310	0.0063	3.12	0.99	1.03	0.55
SCG-7	0.00161	0.00062	0.99984	0.99997	0.01254	0.0052	3.10	0.80	0.99	0.45
CGP-3	0.00245	0.00188	0.99964	0.99976	0.01905	0.01562	7.30	2.60	1.43	1.32
CGP-4	0.00213	0.00085	0.99973	0.99995	0.01656	0.007	7.47	0.92	1.17	0.59
CGP-5	0.00210	0.00130	0.99974	0.99988	0.01630	0.0108	6.96	1.47	1.19	0.88
CGP-6	0.00236	0.00149	0.99967	0.99985	0.01835	0.0124	7.64	1.73	1.34	1.18
CGP-7	0.00210	0.00059	0.99974	0.99998	0.01628	0.0049	6.42	0.67	1.24	0.47



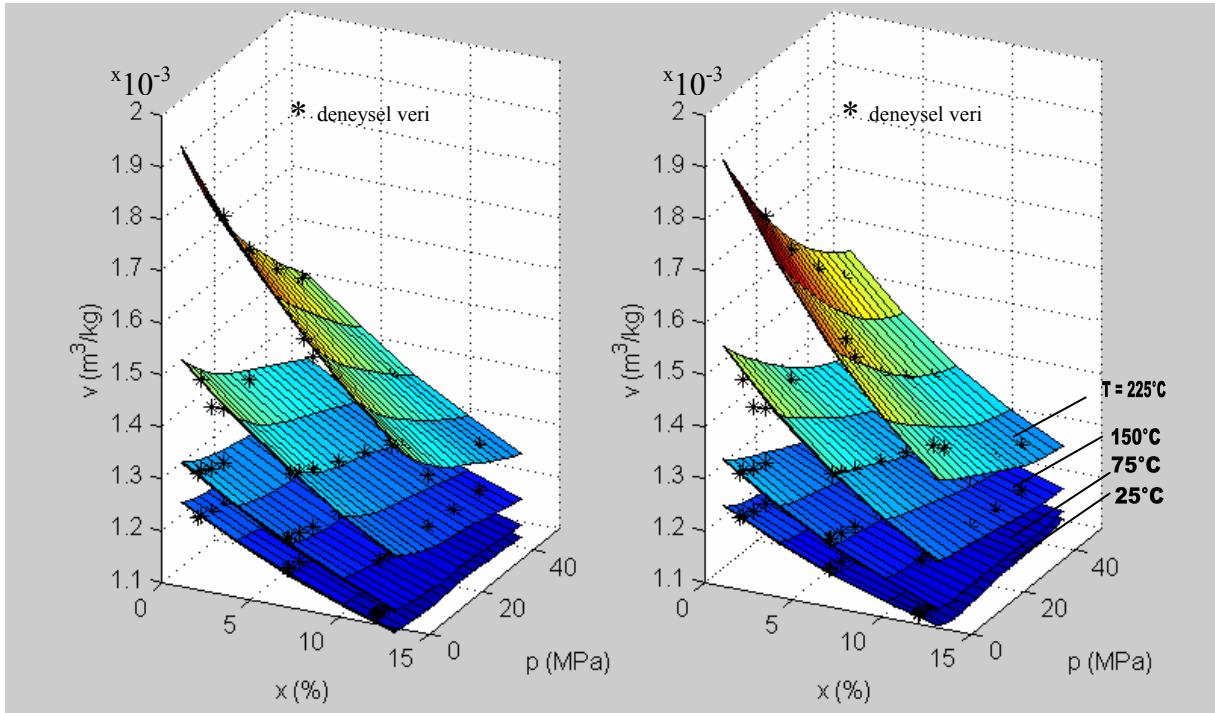
Şekil 3. Metanol-LiBr akışkan çiftinin farklı sıcaklıklarında, gizli katmanda 5 elemanı olan SCG algoritması için özgül hacmin, basınç ve konsantrasyon ile değişimi.

Şekil 4. Metanol-LiBr akışkan çiftinin farklı sıcaklıklarında, gizli katmanda 6 elemanı olan SCG algoritması için özgül hacmin, basınç ve konsantrasyon ile değişimi.



Şekil 5. Metanol-LiBr akışkan çiftinin farklı sıcaklıklarında, gizli katmanda 5 elemanı olan LM algoritması için özgül hacmin, basınç ve konsantrasyon ile değişimi.

Şekil 6. Metanol-LiBr akışkan çiftinin farklı sıcaklıklarında, gizli katmanda 6 elemanı olan LM algoritması için özgül hacmin, basınç ve konsantrasyon ile değişimi.



Şekil 7. Metanol-LiBr akışkan çiftinin farklı sıcaklıklarında, gizli katmanda 5 elemanı olan CGP algoritması için özgül hacmin, basınç ve konsantrasyon ile değişimi.

Şekil 8. Metanol-LiBr akışkan çiftinin farklı sıcaklıklarında, gizli katmanda 6 elemanı olan CGP algoritması için özgül hacmin, basınç ve konsantrasyon ile değişimi.

4.2. Performans Analizi

Referans 15'de verilen termodinamik özellikler kullanılarak EASS'ye ait COP, COP ve F değerleri farklı çalışma şartları için hesaplanmış ve Şekil 9'da gösterilmiştir. Aynı değerler gizli katman elemanın 5 alındığı SCG algoritmasından elde edilen sonuçlar kullanılarak da hesaplanmıştır. Bu hesaplamada eğitim ve test datasında çok düşük hata miktarları elde edildiği için SCG-5 seçilmiştir.

Verilen her bir buharlaştırıcı, absorber ve yoğuşurucu sıcaklığı için ayırıcının girişinde ve çıkışında methanol konsantrasyonunu dengede tutan bir ayırıcı sıcaklığı vardır. Bu sıcaklık kesişme (cut off) sıcaklığı olarak adlandırılır. Bu sıcaklığın üzerindeki ayırıcı sıcaklıkları için COP maksimum değere kadar yükselir. Diğer taraftan, kesişme sıcaklığının altındaki ayırıcı sıcaklıklarında dolaşım oranı istenmeyen bir şekilde yükselir. Şekil 9 ve 10'ten görüldüğü gibi en yüksek COP değeri bütün buharlaştırıcı sıcaklıkları için düşük ayırıcı sıcaklığında elde edilmiştir. Aynı şartlar için ECOP da maksimumdur.

Analitik fonksiyonlarla elde edilen performans sonuçları, YSA değerleri ile bulunan performans sonuçlarına çok yakın olduğu için grafik olarak birlikte gösterilme imkanı olmamıştır. Bunun yerine sonuçlardaki sapmalar aşağıdaki bağıntılarla hesaplanmış ve bunlar grafik olarak verilmiştir.

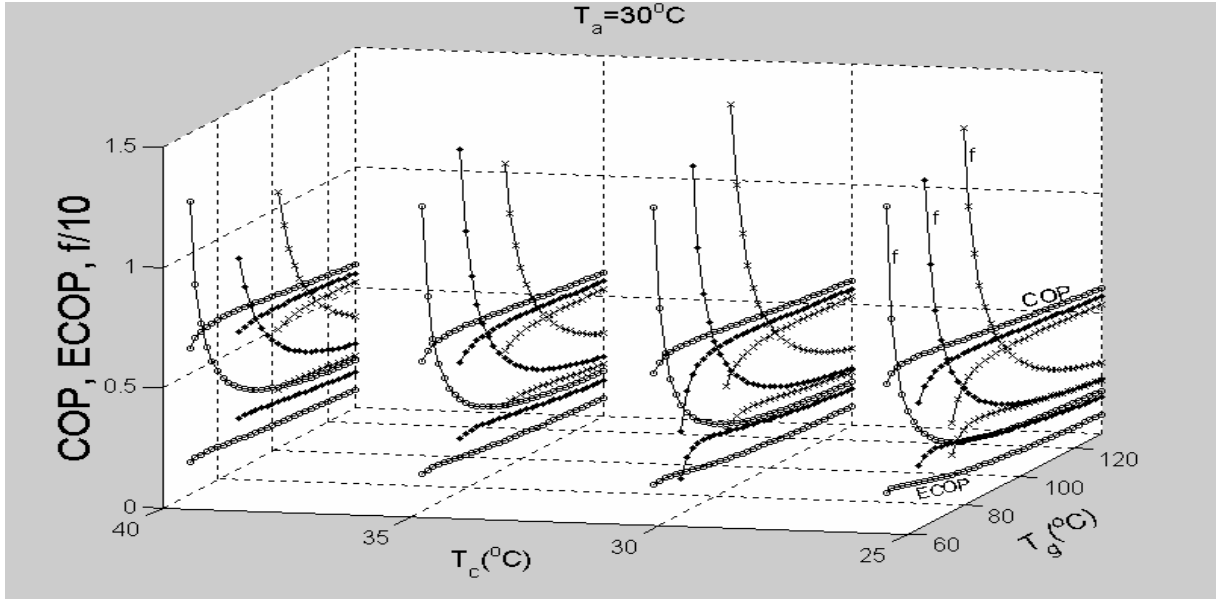
$$dCOP = \frac{COP_{YSA} - COP_{analitik}}{COP_{analitik}} \quad (12)$$

$$dECOP = \frac{ECOP_{YSA} - ECOP_{analitik}}{ECOP_{analitik}} \quad (13)$$

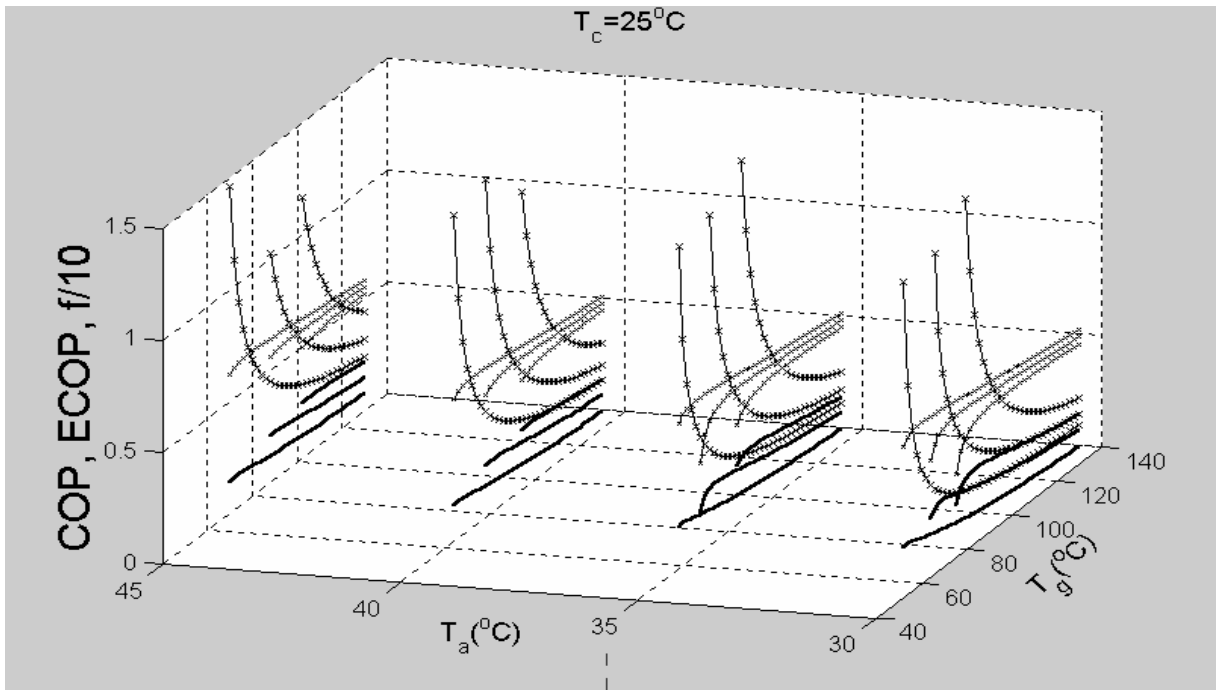
$$dF = \frac{F_{YSA} - F_{analitik}}{F_{analitik}} \quad (14)$$

Soğutma tesir katsayısındaki sapma (dCOP), farklı çalışma sıcaklıkları için Şekil 11'de verilmiştir. Sonuçlardan görülmektedir ki sapmalar %0.5-1.5 aralığındadır. Bütün ayırıcı sıcaklıkları için minimum

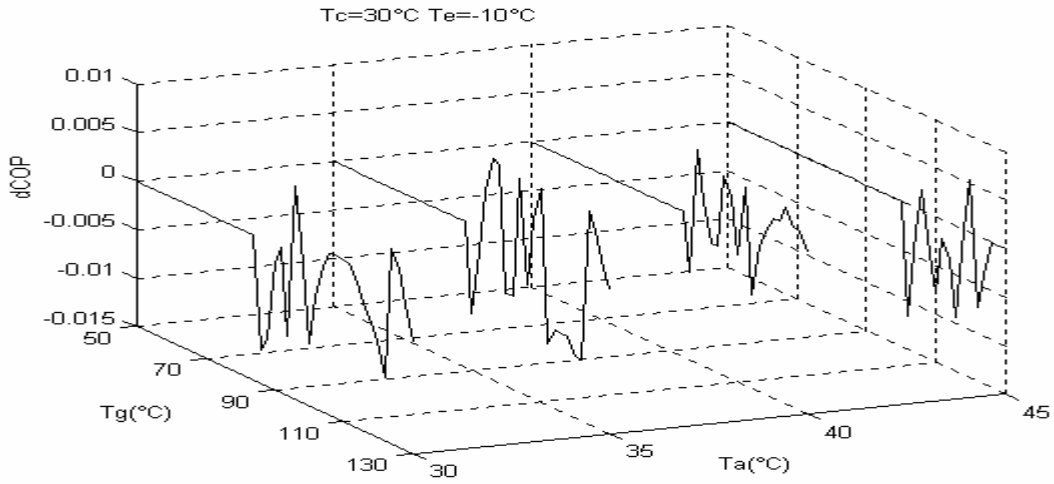
sapma ise 10°C 'lik buharlaştırıcı sıcaklığında, maksimum sapma ise -20°C 'lik buharlaştırıcı sıcaklığında gerçekleşmiştir.



Şekil 9. Farklı yoğuşturucu ve buharlaştırıcı sıcaklarında COP, ECOP ve F'nin ayrırcı sıcaklığı ile değişimi

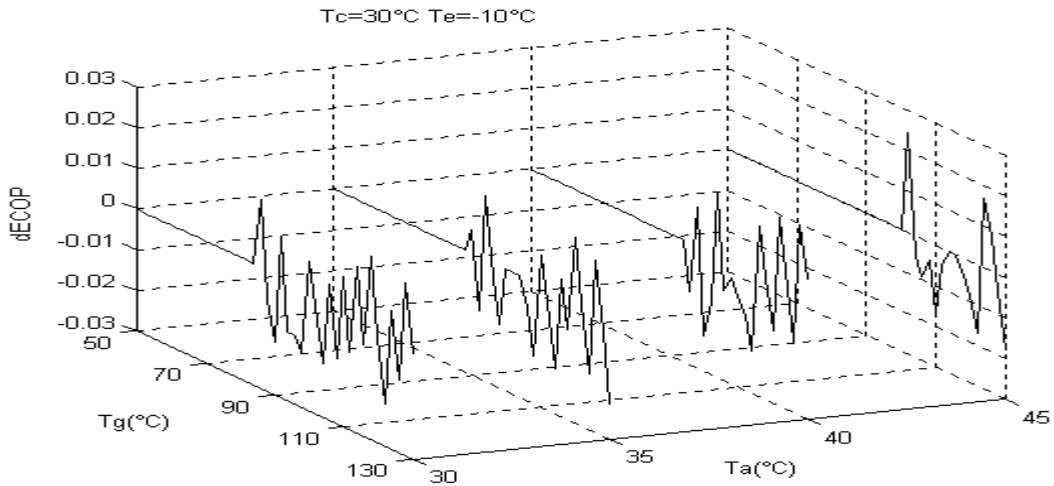


Şekil 10. Farklı absorber ve buharlaştırıcı sıcaklarında COP, ECOP ve F'nin ayrırcı sıcaklığı ile değişimi



Şekil 11. Farklı absorber sıcaklıklarında dCOP'un ayırıcı sıcaklığı ile değişimi

Ekserjetik performans katsayısındaki sapma (dECOP), farklı çalışma sıcaklıkları için Şekil 12'de verilmiştir. Bütün ayırıcı sıcaklıkları için maksimum sapma %5 ile 10°C'lik buharlaştırıcı sıcaklığında, minimum sapma ise -20°C'lik buharlaştırıcı sıcaklığında gerçekleşmiştir.

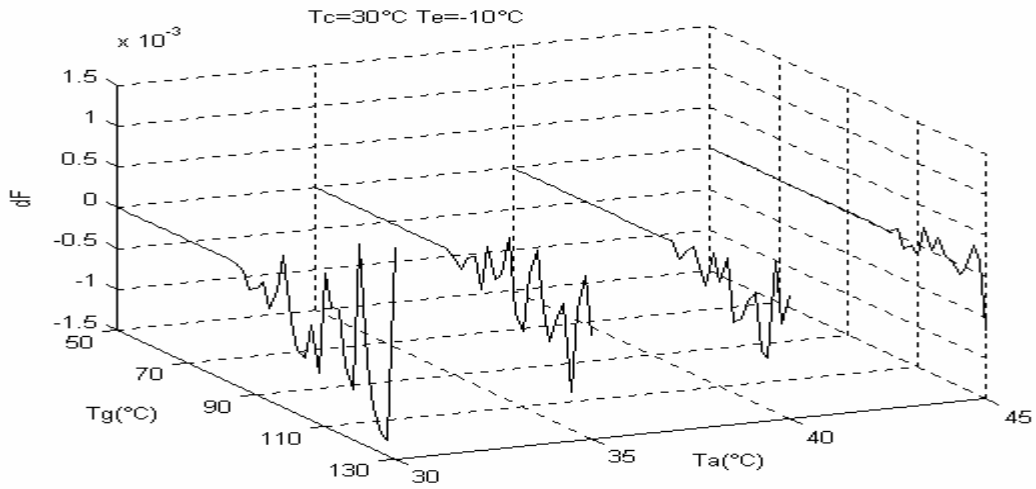


Şekil 12. Farklı absorber sıcaklıklarında dECOP'un ayırıcı sıcaklığı ile değişimi

Dolaşım oranındaki sapma (dF), farklı çalışma sıcaklıkları için Şekil 13'de verilmiştir. Bütün ayırıcı sıcaklıkları için maksimum sapma %0.2 ile 10°C'lik buharlaştırıcı sıcaklığında, minimum sapma ise -20°C'lik buharlaştırıcı sıcaklığında gerçekleşmiştir.

Klasik metotlarla karşılaştırıldığında YSA'nın hız, basitlik ve örneklerden öğrenme kabiliyeti gibi avantajları olduğu görülür.

Bu çalışmada metanol/LiBr alternatif akışkan çiftinin termodinamik özelliklerinin belirlenmesi için YSA kullanılmıştır. Ayrıca, hem analitik fonksiyonlar hem de YSA aracılığıyla elde edilen değerler kullanılarak EASS'nin performans analizi karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Absorpsiyonlu sistemlerde matematik modellerin simülasyonu yerine YSA'nın kullanılabileceği gösterilmiştir.



Şekil 13. Farklı absorber sıcaklıklarında dF'nin ayırıcı sıcaklığı ile değişimi

Elde edilen sapmalardan görüldüğü gibi optimal hatalar yüksek ayırıcı sıcaklıklarında ortaya çıkmaktadır (Tablo 4). Sistemin performans katsayısının maksimum olduğu 90°C'lik ayırıcı sıcaklığında (cut off sıcaklığı) diğer çalışma sıcaklıkları için COP, ECOP ve F'deki sapmalar sırasıyla %1, %2 ve %0.1 mertebesindedir. EASS'de YSA'nın kullanımıyla performans değerlerinin, karmaşık simülasyon programları ve akışkan çiftinin termodinamik özelliklerinden etkilenmeksizin basit bir yaklaşımla elde edilebileceği gösterilmiştir.

Tablo 4. Optimal Sapmalar

	Optimal	Sapma %	T _a (°C)	T _g (°C)	T _c (°C)	T _e (°C)
dCOP	Minimum	-1.88	30	104	35	-20
	Maksimum	1.78	45	108	25	-20
dECOP	Minimum	-5.88	30	128	30	10
	Maksimum	4.76	30	130	25	10
dF	Minimum	-0.21	35	126	25	10
	Maksimum	0.18	30	116	25	10

KAYNAKLAR

1. Bechtler, H., Browne, M.W., Bansal, P.K., Kecman, V., "New approach to dynamic modeling of vapour-compression liquid chillers: artificial neural networks", **Applied Thermal Engineering**, Vol 21, pp.941-953, 2001.
2. Kologirou, S., "Applications of artificial neural networks in energy systems: a review", **Energy Conversion and Management**, Vol 40, No 3, pp.1073-1087, 1999.
3. Kologirou, S.A., "Applications of artificial neural-networks for energy systems", **Applied Energy**, Vol 67, pp.17-35, 2000.
4. Kologirou, S.A., Panteliou, S., Dentsoras, A., "Modeling of solar domestic water heating systems using artificial neural networks", **Solar Energy**, Vol 65, pp.335-342, 1999.
5. Kologirou, S.A., Neocleous, C.S., Schizas, C.N., "Artificial neural networks for modeling the starting-up of a solar steam-generator", **Applied Energy**, Vol 60, pp.89-100, 1988.
6. Kologirou, S.A., Bojic, M., "Artificial neural networks for the prediction of the energy consumption of a passive solar building", **Energy**, Vol 25, pp.479-491, 2000.
7. Pacheco-Vega, A., Sen, M., Yang, K.T., McClain, R.L., "Neural network analysis of fin-tube refrigerating heat exchanger with limited experimental data", **Int J Heat Mass Transfer**, Vol 44, pp.763-770, 2001.
8. Palau, A., Velo, E., Puigjaner, L., "Use of neural networks and expert systems to control a gas/solid sorption chilling machine", **Int J Refrigeration**, Vol 22, pp.59-66, 1999.
9. Chouai, A., Laugier, S., Richon, D., "Modeling of thermodynamic properties using neural networks, Application to refrigerants", **Fluid Phase Equilibria**, Vol 4967, pp.1-10, 2002.

- 10 Sharma, R., Singhal, D., Ghosh, R., Dwivedi, A.. “Potential applications of artificial neural networks to thermodynamics: vapor-liquid equilibrium predictions”, **Computers and Chemical Engineering**, Vol 23, pp.385-390, 1999.
- 11 Kalogirou, S.A., Panteliou, S., Dentsoras, A., “Artificial neural networks used for the performance prediction of a thermosiphon solar water heater”, **Renewable energy**, Vol 18, pp.87-99, 1999.
- 12 Chow, T.T., Zhang, G.Q., Lin, Z., Song, C.L., “Global optimization of absorption chiller system by genetic algorithm and neural network”, **Energy and Buildings**, Vol 34, pp.103-109, 2002.
13. Sözen, A., “Effect of heat exchangers of performance on absorption refrigeration system”, **Energy Conversion and Management**, Vol 42, No 14, pp.1699-1716, 2001.
14. Sözen, A., Altıparmak, D., Usta, H., “Development and testing a prototype absorption heat pump operated by solar energy”, **Applied Thermal Engineering**, Vol 22, No 16, pp.1847-1859, 2002.
15. Bulgan, A.T., Koç, A., Öztürk, N.A., “Investigation of thermodynamic properties of alternative fluid couples for absorption thermal systems”, **Energy Conversion and Management**, Vol 41, pp.1029-1042, 2000.
16. Sözen, A., Özalp, M., “Performance improvement of absorption refrigeration system by using triple-pressure-level”, **Applied Thermal Engineering** (incelemede).
17. Ishida, M., Ji, J., “Graphical exergy study on single stage absorption heat transformer”, **Applied Thermal Engineering**, Vol 19, pp.1191-1206, 1999.