

Düşey Tip Toprak Kaynaklı Isı Pompasının Yapay Sinir Ağları İle Ankara Şertlerinde Yaz Mevsimi İçin Performans Tahmini

Mustafa Bahadır ÖZDEMİR^{*,a}, Musa Galip ÖZKAYA^a

^{a,*} Teknoloji Fakültesi, Enerji sistemleri Mühendisliği Bölümü, Gazi Üniversitesi, 06500, ANKARA

MAKALE BİLGİSİ

Alınma: 15.02.2019
Kabul: 08.04.2019

Anahtar Kelimeler:
Isı pompası,
soğutma, YSA

*** Sorumlu Yazar:**
e-posta:
mbozdemir@gazi.edu.
tr

ÖZET

Bu çalışmada, 40 m sondaj derinliğine sahip düşey tip toprak kaynaklı bir ısı pompası bir mahalin soğutulması için kurulmuştur. Kurulan sisteminin enerji analizi sondaj derinliğinin fonksiyonu olarak soğutma sezonu için belirlenmiştir. Soğutma mevsimi için ısı pompasının performans katsayısı COP_p ve sistemin COP_{sis} değerleri ise sırasıyla 3,12 ve 2,81 olarak hesaplanmıştır. Ayrıca deneylerden elde edilen sistemin performans değerleri Levenberg-Marquardt (LM) geri yayılım öğrenme algoritması ve Fermi transfer fonksiyonu kullanılarak yapay sinir ağları (YSA) ile modellenmiştir. Soğutma mevsimi dataları için R^2 , RMSE ve MAPE değerleri 0.997, 0.000242, 0.008643 olarak bulunmuştur. Böylece, farklı soğutma şartları için bu modelleme ile sistemin performansı başarılı bir şekilde analiz edilebilir.

<https://dx.doi.org/10.30855/gmbd.2019.01.05>

Performance Prediction Of Vertical Type Ground-Source Heat Pump Via Artificial Neural Network For Summer Season In Ankara

ARTICLE INFO

Received: 15.02.2019
Accepted: 08.04.2019

Keywords:
Heat pump,
refrigeration, YSA

*** Corresponding
Authors**
e-mail:
mbozdemir@gazi.edu.
tr

ABSTRACT

A vertical type ground-source heat pump having depth of 40 m has been set up to be cooled a space in the present study. Energy analysis of the set up system was determined for cooling season as a function of depth. Coefficient of performances of heat pump (COPHP) and the whole system (COPsystem) were calculated as 3,12 and 2,81 for cooling season, respectively. Coefficient of performances obtained from the experiments have been modelled via artificial neural network by using Levenberg-Marquardt (LM) back propagation learning algorithm and Fermi transfer function. R^2 , RMSE and MAPE values were predicted for cooling season data. It can be concluded that coefficient of performances of the system will be accurately predicted by this modelling for different cooling conditions.

<https://dx.doi.org/10.30855/gmbd.2019.01.05>

1. INTRODUCTION (GİRİŞ)

Enerji gereksinimizin daha çok fosil yakıt ve tükenebilir kaynaklardan karşıladığımız günümüz şartlarında enerji kaynaklarının tükenmesi gibi bir problem ile karşı karşıyayız. Bu problemin farkında olan gelişmiş ülkeler alternatif enerji kaynaklarına yönelmişlerdir. Dünyada bir çok alternatif enerji kaynağı mevcuttur. Bunlardan bazılarının enerji miktarları yüksek bazı kaynakların ise düşüktür. Son yıllarda yaygın bir şekilde kullanılan ısı pompaları

doğada mevcut olan ancak sıcaklığı düşük olduğu için kullanamadığımız enerjinin sıcaklığını yükselterek kullanmamızı sağlayan cihazlardır. Isı pompaları bu işlemi klimalardaki gibi soğutma çevrimi sayesinde gerçekleştirmektedir. Yani sistemde kompresör ve soğutucu akışkan devresi mevcuttur. Isı pompaları aynı zamanda mevsimine göre ısıtma ve soğutma yapabilen cihazlardır. Bu sistemler hava, su ve toprak gibi doğada bulunan ve bedava olan yenilenebilir enerji kaynaklarını

kullanırlar. Isı pompası sistemlerinde dış hava, toprak, nehir, göl suyu vb. düşük sıcaklık kaynaklarından alınan ısı, ısıtma sezonunda istenilen mahale aktarılmakta; soğutma sezonunda ise mahalden alınan ısı yüksek sıcaklık kaynağı olarak görev yapan dış hava, toprak, nehir ve göl suyuna transfer edilmektedir. Sıcaklık kaynağının seçiminde iklim şartları, coğrafik yerleşim, ilk yatırım maliyeti gibi pek çok faktör etkilidir. Ülkemizde hava kaynaklı ısı pompaları çok tanınmalarına rağmen toprak kaynaklı ısı pompaları yeni tanınmaya başlamıştır. Isı pompaları ile ilgili bir çok ülkede çalışmalar yapılmıştır ve yapılmaktadır.

İngiltere’de ilk ısı pompası ünitesi Norwich şirketinin elektrik bölümünde yapılmıştır. Soğutucu akışkan olarak SO₂ kullanılmış ve ortalama ısıtma tesir katsayısı 3’e ulaşmıştır. Aynı şirket bünyesinde farklı bir soğutucu akışkan olan Freon-12 kullanılarak yapılan deneylerde ısıtma tesir katsayısını 5 olarak bulmuşlardır [1,2]. Ataman, İstanbul Teknik Üniversitesinde “Toprak Kaynaklı Isı Pompalarının Tasarımı” başlıklı Yüksek lisans çalışmasında, İstanbul Göztepe’de inşa edilen bir konutun TKIP ile ısıtılmasını ele almıştır [3]. Ersöz, Ege Üniversitesinde “Toprak Kaynaklı Isı Pompası ile Bir Hacmin Soğutulması” başlıklı Yüksek lisans çalışmasında, Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü binası içerisinde bulunan bir dersliği, TKIP sistemi ile soğutmayı hedeflemiştir. Sistemin soğutma etkinlik katsayısını kızgın buhar soğutuculu ve kızgın buhar soğutucusuz olarak incelemiş; kızgın buhar soğutuculu ile yaklaşık 3,1 kızgın buhar soğutucusuz ile yaklaşık 2,1 olarak tespit etmiştir[4]. Becthler vd., bir buhar sıkıştırma ısı pompası sisteminin kararlı durumu için bir YSA modeli geliştirmişlerdir[5]. Kıncay ve Temir, İstanbul Hadımköy’deki bir villanın ısı kaybı ve ısı kazancı değerleri bulunarak ısıtma ve soğutma mevsimi için Düşey tip toprak kaynaklı ısı pompası (TKIP) tasarımı yapmışlardır. Yaz sezonunda bir metre sondaj borusu ile toprağa verilen ısı 0,067 kW olduğunu tespit etmişlerdir [6]. Swider, buhar-sıkıştırma sıvı çiller için kararlı modelleri temel alan ve ampirik olarak hesaplanan yapay sinir ağlarını karşılaştırmıştır [7]. Arcaklıoğlu yapay sinir ağlarını kullanarak buhar sıkıştırma bir ısı pompasının performansını belirlemiştir [8]. Ceylan vd., tarafından yapılan çalışmada, hava kaynaklı ısı pompalı bir kurutma fırınının elma kurutulmasında kullanımını incelenmiştir [9]. Ertunc ve Hosoz evaporatif bir kondenser kullanan R134a lı bir soğutma sisteminin çeşitli performans parametrelerini tahmin etmek için yapay sinir ağları

yaklaşımını kullanmıştır [10]. Özgener ve Hepbaşı çalışmasında, sera ısıtması için, güneş destekli düşey toprak kaynaklı ısı pompası sistemini kullanmıştır. Performans katsayısının (COP) en iyi değerinin, 7 Ocak 2004 günü, toprak kaynaklı ısı pompası için 3,14 ve sistem için 2,79 olarak bulunduğu ifade edilmiştir. 2003 yılı Aralık ayı ile 2004 yılı Mart ayları arasında alınan deneysel sonuçlara göre, ortalama COP değerlerinin, ısı pompası için 2,84 ve sistem için 2,27 olduğu belirtilmiştir [11]. Ünlü vd., Bursa Uludağ Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu iklimlendirme Soğutma laboratuvarında kurulan bir TKIP sistemi 18,22 m³ hacmindeki test odasını ısıtmışlardır. İncelenen sistem, TID ünitesi ve mekanik buhar sıkıştırma üniteden oluşmaktadır. TID ünitesi, 7,5 m² boyutlarında açılan 2 m derinlikteki bir çukur içerisine, 20 m uzunluğunda, 0,016 m çapında, 30 cm aralıklarla yatay olarak döşenmiş polietilen borulardan oluşmuştur [12]. Yılmaz ve Atik değişken soğutma kapasiteli mekanik bir soğutma sistemi için YSA ile bir modelleme yapmıştır [13]. Ertunc ve Hosoz evaporatif bir kondenserin performans tahmini için yapay sinir ağları ve uyarlanabilir sinir-bulanık çıkarım sisteminin her ikisini de kullanmışlardır. Örneğin, ısı kayıp oranı, ayrılan havanın kuru ve yaş termometre sıcaklıkları ile birlikte ayrılan soğutucu akışkanın sıcaklığı gibi [14]. Benli ve Durmuş, yaptıkları çalışmada, Elazığ’da toprak kaynaklı ısı pompasının kullanıldığı serada, performans katsayısının, ısı pompası için 2,3-3,8 ve sistem için 2-3,5 değerleri arasında değiştiğini belirtmişlerdir [15]. Acar yaptığı çalışmada, Denizli havzasında en uygun ısı pompası uygulama değerlerinin hangi jeolojik birimde ve derinlikte olduğu ve bunların zamanla nasıl değiştiğine ilişkin verilerin elde edilmesi üzerinde durmuştur. Toprak kaynaklı ısı pompasının farklı uygulamaları da deneysel olarak gerçekleştirmiştir. Böylece gelişmiş ülkelerde kullanımı hızla yaygınlaşan TKIP’lerinin Türkiye’de kullanımını da bu alandaki bilgi ve veri eksikliğinin giderilmesiyle artacağını belirtmiştir [16]. Esen vd güneşi kullanan bir hava ısıtıcısının modellenmesinde yapay sinir ağları ve dalgacık sinir ağları yaklaşımlarını kullanmıştır. Üç farklı yapay sinir ağı algoritmasını uygulamışlardır ve yapay sinir ağı için en uygun algoritmanın Levenberh–Marguardt (LM) algoritması olduğunu belirlemişlerdir [17]. Elbir A., Süleyman Demirel Üniversitesinde yaptığı yüksek lisans çalışmasında, Göller Bölgesi (Antalya, Burdur ve Isparta) için toprak kaynaklı ısı pompasının ekserji analizi yapmıştır. Isı pompasının elemanları olan kompresör, kondenser, kısma vanası, evaporatör, tank ve

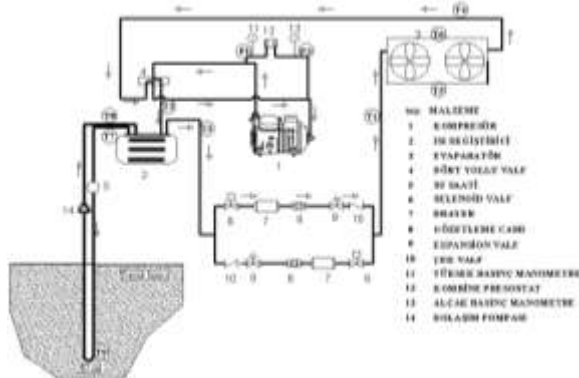
pompanın ekserji yıkım oranları ısıtma yapılan kış ayları için hesaplamıştır [18]. Sun vd., yapay sinir ağları ve uyarlanabilir sinir-bulanık çıkarım sistemini temel alan toprak kaynaklı ısı pompasının performans değerlendirmesi ile ilgili bir çalışma yürüttüler [19].

Bu çalışmada yaz mevsimi şartlarında toprak kaynaklı ısı pompasının performansının deneysel olarak elde edilen sonuçları kullanılarak YSA ile bir model oluşturulmuştur. Yapılan çalışma ile soğutucu akışkan R-407c'nin Ankara şartlarında, farklı parametrelerde ısı pompasındaki performansını belirlemek için matematiksel bir model oluşturulmuştur.

2.MATERYEL ve YÖNTEM (MATERIALS AND METHOD)

2.1 Deneysel çalışma (Experimental Study)

Çalışmada bir mahalın toprak kaynaklı ısı pompası yardımıyla soğutulması amaçlanmıştır. Sistem su-antifriz karışımının toprakta dolaştığı 40 m sondaj derinliğinden oluşan U-borulu Toprak ısı değiştiricisi (TID) çevrimi, soğutucu akışkan çevrimi, fan (hava) çevrimi olarak üç ana kısımdan oluşmaktadır. Tasarlanan sistemin şematik görünümü şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Soğutma mevsimi için şematik görünüm (Schematic view for the cooling season)

Soğutma çevriminde, buharlaştırıcıda dolaştırılan soğutucu akışkan oda havasından çektiği ısı ile buharlaşır. Buharlaşan akışkan kompresör tarafından emilerek su antifriz karışımı ile soğutucu akışkan arasındaki ısı geçişini sağlayan ısı değiştiricisine (yoğusturucu) basılır, burada su-antifriz karışımı soğutucu akışkanın ısınımsını çeker, yoğusan soğutucu akışkan genişleme valfiden buharlaştırıcıya geçerek çevrimini tamamlanmış olur. Sistem ana bileşenleri

ve karakteristik bilgileri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Sistemin ana bileşenleri (The main components of the system)

Yer: Ankara, Türkiye (Enlem 39.56 °K; Boylam 32.14 °D)	
<i>Yıllık ortalama hava bilgisi:</i>	
Ortalama dış hava sıcaklığı	287.5K
Ortalama toprak sıcaklığı (1 m)	288.6K
<i>Isıtılacak ortam bilgisi:</i>	
Hacim	20.7 m ³
Konfor sıcaklığı	293 K
<i>Isı pompası bilgisi:</i>	
Kapasite	1.85 kW
Kompresör tipi/gücü	Hermetik/ 1 HP, 0.736 kW
Buharlaştırıcı tipi	HS 10; Kontherm
Yoğusturucu tipi	Alfa-laval AC30-30EQ Plakalı ısı değiştirici
Yoğusturucu fanı	1046 m ³ /h
Soğutucu akışkan	R407c
<i>Toprak ısı değiştiricisi bilgisi:</i>	
Isı değiştirici tipi	Düşey
U-borusu malzemesi	Poliyeten, SDR-11
U-boru uzunluğu	80 m
U- boru çapı	32 mm
<i>Dolaşım pompası bilgisi:</i>	
Tip	Rio-C25-70
Güçler	40,62, 83 W

2.2 Sistemin analizi (System Analysis)

Düşük sıcaklıkta bir ortamdan yüksek sıcaklıkta bir ortama ısı enerjisi aktaran makinelere ısı pompası denir. Isı pompası ünitesinin soğutma performans katsayısı COP_{IP} ve sistemin soğutma performans katsayısı COP_{SIS} aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$COP_{IP} = \frac{\dot{Q}_e}{\dot{W}_k} \quad (1)$$

$$COP_{SIS} = \frac{\dot{Q}_e}{\dot{W}_k + \dot{W}_{bf} + \dot{W}_{sp}} \quad (2)$$

Buharlaştırıcıdan odaya transfer olan ısı miktarı \dot{Q}_e , Eş. 3 ile hesaplanır.

$$\dot{Q}_e = \dot{m}_{hava} c_{p,hava} (T_{g,hava} - T_{ç,hava}) \quad (3)$$

Toprak ısı değiştiricisi içerisinde dolaştırılan su+antifriz karışımı tarafından toprağa atılan ısı

miktarı \mathcal{E}_{td} Eş. 4 ile hesaplanır.

$$\mathcal{E}_{td} = n_{sa} c_{p,sa} (T_{ç,sa} - T_{g,sa}) \quad (4)$$

2.3 Belirsizlik analizi (Uncertainty Analysis)

Deneysel çalışmalarda, ölçüm verilerinin doğruluğu deneysel sonuçlar kadar önemlidir. Deneysel kullanılan ölçüm cihazlarının ölçüm hassasiyetlerine sahiptir. Ölçüm sırasında, cihazların ölçüm hassasiyetlerinden kaynaklanan belirsizlikler hesaplanmalıdır. Bu çalışmada, ölçüm cihazlarının hassasiyeti ve belirsizliği Tablo 2' de verilmiştir. Belirsizlik, aşağıdaki eşitlik kullanılarak yapılmıştır [20].

$$W = \left[(x_1)^2 + (x_2)^2 + \dots + (x_n)^2 \right]^{1/2} \quad (5)$$

Tablo 2. Ölçü aletlerinin hassasiyeti ve belirsizliği (Sensitivity and uncertainty of measurement devices)

Cihaz	Marka	Hassasiyet	Belirsizlik
Sıcaklık sensörü	Elimko	$\pm 1^\circ\text{C}$	$\pm 0.93^\circ\text{C}$
Basınç sensörü	Elimko	$\pm 0.5 \text{ bar}$	$\pm 0.51 \text{ bar}$
Hava hızı sensörü	Testo	$\pm 0.01 \text{ m/s}$	$\pm 0.02 \text{ m/s}$

2.4. Yapay Sinir Ağları (Artificial Neural Networks)

Yapay sinir ağı (YSA); giriş katmanı, bir veya daha çok ara (gizli) katman, çıktı katmanı ve bu katmanlar arasındaki yapay sinir hücrelerinin bir araya gelmesiyle oluşur. Yapay sinir ağları meteoroloji, mühendislik, tıp, ekonomi, enerji ve tarım gibi pek çok alanlarda karmaşık sorunları çözmek için araştırmacılara alternatif bir yol sunmaktadır. Günümüzde mühendislik uygulamalarında YSA başarıyla kullanılmaktadır [21].

2.5. YSA'nın Uygulanması (Application of ANN)

Soğutma mevsimi için 6 adet giriş (su antifriz karışımı sıcaklıkları $T_{g,sa}$ ve $T_{ç,sa}$, buharlaştırıcıya giren ve buharlaştırıcıdan çıkan hava sıcaklıkları $T_{g,hava}$ ve $T_{ç,hava}$, dış hava sıcaklığı $T_{dış}$, toprak sıcaklığı T_{toprak}) ve 1 adet çıkış (sistem performansı, COP_{sis}) verisi kullanılmıştır. Toplam 110 adet veri kullanılmıştır. Bu verilerden 100 adet eğitim için 10 adet ise test için kullanılmıştır. Girdi verileri ve çıktı verileri (0, 1) aralığında normalize edilmiştir.

Model değerlendirme kısmında değişik istatistikî metotlar kullanılmıştır. Bunlar, ortalama karekök (root-mean squared, RMSE), çoklu saptama katsayısı (coefficient of multiple determinations, R^2) ve mutlak hata yüzdesi (mean absolute percentage error, MAPE) 'dır. Bu istatistikî metotlar kullanılarak model değerlendirmede, gerçek değerlerle tahmin edilen değerler kıyaslanabilir. YSA modelleri için R^2 'nin 1'e yaklaştığı ve daha küçük RMSE ve MAPE değerleri en iyi modeli verir. R^2 , RMSE ve MAPE parametrelerini hesaplamak için aşağıdaki eşitlikler kullanılır [20].

$$R^2 = 1 - \left[\frac{\sum (COP_{sis,i} - COP_{YSA,i})^2}{\sum (COP_{YSA,i})^2} \right] \quad (6)$$

$$RMSE = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (COP_{YSA,i} - COP_{sis,i})^2 \right]^{1/2} \quad (7)$$

$$MAPE = \frac{COP_{YSA} - COP_{sis}}{COP_{YSA}} \cdot 100 \quad (8)$$

Burada COP_{sis} deneysel olarak hesaplanmış değeri, COP_{YSA} program tarafından bulunmuş tahmini değeri ifade eder.

Giriş çıkış verilerinin (0-1) aralığında normalize etmek için aşağıdaki eşitlik kullanılır.

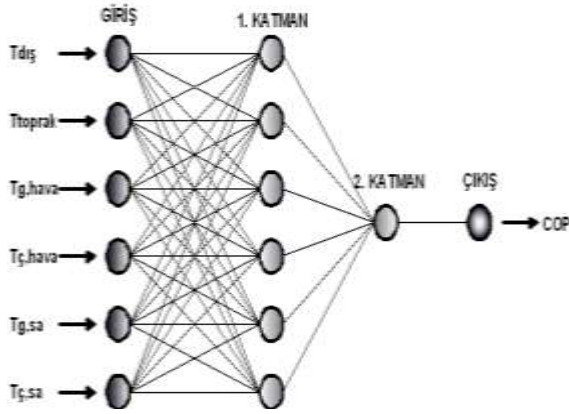
$$V_N = \frac{V_R - V_{min}}{V_{max} - V_{min}} \quad (9)$$

Burada, V_N gerçek değer V_{min} ve V_{max} ise minimum ve maksimum değerleri ifade eder.

YSA yapısı 2 gizli katman 7 nöron dan oluşur. Şekil 2'de bu yapı gösterilmiştir. YSA modellenmesinde FERMI transfer fonksiyonu kullanılmıştır. FERMI transfer fonksiyonun eşitliği aşağıda verilmiştir.

$$F(z) = \frac{1}{1 + e^{-4(z-0.5)}} \quad (10)$$

Burada, z girdi ağırlıklı toplamıdır.



Şekil 2. İki gizli katman ve yedi nöronlu oluşan YSA'nın yapısı (Structure of ANN consisting of two hidden layers and seven neurons)

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRMELER (RESULTS AND DISCUSSIONS)

3.1. Soğutma Mevsimi Enerji Analiz Sonuç ve Değerlendirmeler (Results and Discussions of Energy Analysis for Cooling Session)

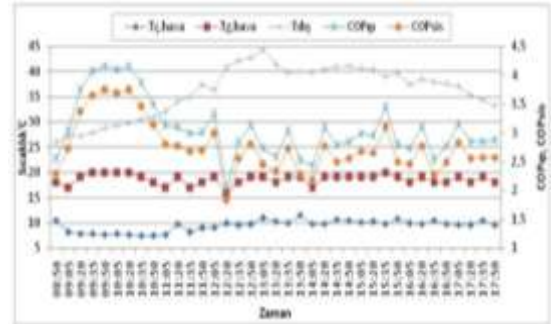
Özdemir ve Özkaya'nın yapmış oldukları önceki çalışmalardan elde edilen çevre ($T_{dış}$), iç ortam (T_{oda}), toprak (T_{toprak}), su-antifriz karışım sıcaklığının toprağa gidiş ($T_{g,sa}$) ve topraktan çıkış sıcaklıklarının ($T_{ç,sa}$) zamana bağlı değişimi Şekil 3'de verilmiştir [21].



Şekil 3. $T_{dış}$, T_{oda} , $T_{g,sa}$, $T_{ç,sa}$ zamana bağlı değişimi (Variation of $T_{dış}$, T_{oda} , $T_{g,sa}$, $T_{ç,sa}$ with time)

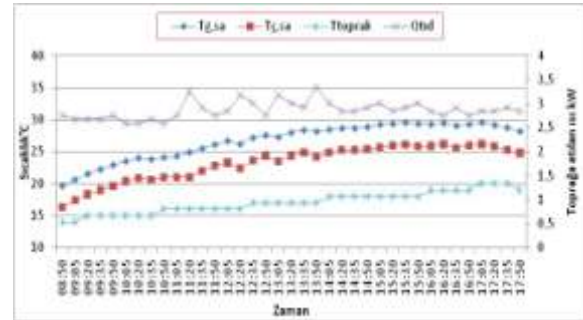
Bir günlük deney boyunca toprakta dolan su antifriz karışımı sıcaklıklarından toprağa gidiş sıcaklığı ($T_{g,sa}$), ile topraktan çıkış sıcaklığı ($T_{ç,sa}$) arasında ortalama 3,42 °C fark ortaya çıkmıştır. Sistem için önemli bir parametre olan $T_{g,sa}$ ve $T_{ç,sa}$ sıcaklıkları ortalaması sırasıyla 26,79 °C ve 23,37 °C, $T_{ç,hava}$ ve $T_{g,hava}$ sıcaklıklarının ortalaması ise 9,35 °C ve 18,8 °C olmuştur. Bu sıcaklıklarda COP_{ip} ve COP_{sis} değerleri ise sırasıyla 3,12 ve 2,81 olarak hesaplanmıştır. Şekil 4'da 40 m'lik sondaj kuyusu için soğutma mevsiminde $T_{ç,sa}$, $T_{g,sa}$, $T_{ç,hava}$ ve $T_{g,hava}$

sıcaklıkları ile COP_{ip} ve COP_{sis} değerlerinin değişimleri gösterilmiştir.



Şekil 4. $T_{ç,hava}$, $T_{g,hava}$ sıcaklıkları ile COP_{ip} ve COP_{sis} değerlerinin zamana göre değişimleri (Variation of $T_{ç,hava}$, $T_{g,hava}$, COP_{ip} and COP_{sis} with time)

Sistemde dolan su-antifriz karışımının toprağa giren, çıkan sıcaklıkları ile çevre sıcaklığının ve toprağa atılan ısı miktarının zamanla değişimi Şekil 5'de verilmiştir. Deney süresince toprağa atılan maksimum ısı miktarı 3,67 kW değerinde iken, ortalama olarak bu değer 2,87 kW'dır.



Şekil 5. $T_{ç,sa}$, $T_{g,sa}$, T_{toprak} ve Q_{tid} değerlerinin zamana göre değişimleri (Variation of $T_{ç,sa}$, $T_{g,sa}$, T_{toprak} and Q_{tid} with time)

3.2. YSA Analiz Sonuç ve Değerlendirmeler (Results and Discussions of ANN)

YSA, PYTHON bilgisayar yazılımı ile modellenmiştir. Öğrenme işleminde, çıktılarının doğru bir şekilde belirlenebilmesi için iki gizli katmanlı yedi nöron kullanıldı. Ağ öğrenme işlemi başarılı bir şekilde tamamlandığında, elde edilen ağ, öğrenme işlemine dahil edilmeyen test datalarıyla karşılaştırıldı.

İki gizli katmanlı 7 nöronlu LM algoritması olan COP'ye ait çıktıları elde etmek için oluşturulan eşitlik aşağıda verilmiştir.

$$F_{COP} = \frac{1}{1 + e^{-4(-0,824504 F_1 - 0,287995 F_2 - 1,505131 F_3 + 0,534013 F_4 + 0,615929 F_5 + 1,581032 F_6 - 0,5)}}$$

Eşitlikte, F_1, F_2, F_3, F_4, F_5 ve F_6 değişkenleri aşağıdaki eşitlikle hesaplanır.

$$F_i = \frac{1}{1 + e^{-4(Z_i - 0.5)}} \quad (12)$$

Eşitlikte, Z_i değişkenleri aşağıdaki eşitlikle hesaplanır.

$$Z_i = C_{1i}T_{dış} + C_{2i}T_{toprak} + C_{3i}T_{g,hava} + C_{4i}T_{ç,hava} + C_{5i}T_{g,sa} + C_{6i}T_{ç,sa} \quad (13)$$

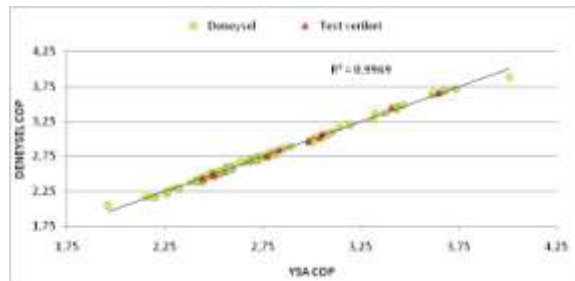
Eş. 13 de kullanılan $C_{1i}, C_{2i}, C_{3i}, C_{4i}, C_{5i}, C_{6i}$ değerleri Tablo 3.'den alınmıştır.

Giriş ve çıkış verileri (0, 1) aralığında eşitlik 9 kullanılarak normalize edilmiştir. Normalizasyon için kullanılan V_{min} ve V_{max} değerleri Tablo 4 'de verilmiştir.

Tablo 4. Normalizasyon için kullanılan V_{min} ve V_{max} değerleri (V_{min} and V_{max} values used for normalization)

Parametreler	V_{min}	V_{max}
$T_{dış}$	25,9	45,6
T_{toprak}	14	22
$T_{g,hava}$	17	21
$T_{ç,hava}$	7,4	11,5
$T_{g,sa}$	19,6	29,6
$T_{ç,sa}$	16,3	26,2
COP_{sis}	1,9589	4,0083

Soğutma mevsimi için YSA ile sistemin performansı için oluşturulan model Eş 11'de verilmiştir. YSA modelinin oluşturulmasında 100 adet veri öğrenme için 10 adet veri test için kullanılmıştır. Eş 11'de test için ayrılan veriler kullanılarak sistemin performansı için tahmini değerler bulunmuştur. Bu değerler ile deney sonuçları ve programın hesapladığı tahmini sonuçlar, YSA modelinin performansını belirlemede kullanılmıştır. COP_{sis} tahmini için oluşturulan YSA modelinin performansı Şekil 6.'de gösterilmiştir.



Şekil 6. YSA modelinin performansı (Performance of the ANN model)

Soğutma dataları için YSA modelinde ortalama karekök (RMSE), çoklu saptama katsayısı (R^2) ve mutlak hata yüzdesi (MAPE) istatistik değerleri sırasıyla 0,0003, 0,9969, 0,0110 olarak bulunmuştur.

YSA'nın tahmini COP_{sis} değerleri ile deneyden alınan gerçek COP_{sis} değerlerinin değişimi ve test verilerinin karşılaştırılması Şekil 7' de verilmiştir.



Şekil 7. YSA'nın tahmini COP_{sis} değerleri ile deneyden alınan gerçek COP_{sis} değerlerinin değişimi (Change of the estimated COP_{sis} values of the ANN with the actual COP_{sis} values obtained from the experiment)

YSA modeli ile soğutma ve ısıtma mevsimleri için TKIP sisteminin performans tahmini yapılmıştır. YSA modellemesinde geri yayılım öğrenme algoritması Levenberg-Marquardt (LM) kullanılmıştır. Ara katman sayısı değiştirilerek deneme yanılma yoluyla en iyi çözümler elde edilmeye çalışılmıştır. Soğutma mevsimi dataları için R^2 , RMSE ve MAPE değerleri 0,997, 0,000242, 0,008643 olarak, ısıtma mevsimi dataları için R^2 , RMSE ve MAPE değerleri ise 0,997, 0,000178, 0,005153 olarak bulunmuştur. Sonuçlardan görüldüğü gibi oluşturulan modelde %99,7 oranında doğruluk vardır.

Sonuç olarak Ankara ili şartlarında farklı parametrelerde sistemin performansı oluşturulan matematiksel model ile deney yapmadan %99,7 doğruluk oranı ile tahmin edilebilmektedir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışma 07/2009-01 kodlu Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Projesi tarafından desteklenmiştir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Hary, J. and Ronald, H. , *Heat Pups Systems*, John Wiley & Sons, New York,1983.

- [2] Calm, J.M., "Heat Pump", *Ashrae Journal*, vol. 90, pp. 40-44, 1984.
- [3] Ataman, H., "Toprak Kaynaklı Bir Isı Pompası Testinin Tasarımı ve Optimizasyonu", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü, İstanbul, 1991.
- [4] Ersöz, İ., " Toprak Kaynaklı Isı Pompası ile Bir Hacmin Soğutulması", Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 2000.
- [5] Becthler H, Browne MW, Bansal PK, Kecman V., " New approach to dynamic modelling of vapour-compression liquid chillers: artificial neural networks", *Applied Thermal Engineering*, vol. 21, no.9, pp. 941–953, 2001. Doi: 10.1016/S1359-4311(00)00093-4
- [6] Kıncay, O., Temir, G., "Toprak Kaynaklı Isı Pompalı Sistemlerin Ekonomik İncelenmesi", *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, no.18, s.31-37, 2002.
- [7] Swider DJ "A comparison of empirically based steady-state models for vapour-compression liquid chillers." *Applied Thermal Engineering*, Vol.23, No.5, pp. 539–556, 2003. Doi: 10.1016/S1359-4311(02)00242-9
- [8] Arcaklıoğlu E., "Performance comparison of CFCs with their substitutes using artificial neural network", *International Journal of Energy Research*, vol. 28, no. 12, pp. 1113–1125, 2004. Doi: 10.1002/er.1020
- [9] Ceylan, İ., Aktaş, M., Doğan, H. " Isı Pompalı Kurutma Odasında Elma Kurutulması", *Isı Bilimi Ve Tekniği Dergisi*, no. 25, s. 9-14, 2005.
- [10] Ertunc H. M., Hosoz M., " Artificial neural network analysis of a refrigeration system with an evaporative condenser" *Applied Thermal Engineering*, vol. 26, pp. 627–635, 2006. Doi: 10.1016/j.applthermaleng.2005.06.002
- [11] Özgener, Ö. and Hepbaşlı, A. " A Parametrical Study On The Energetic and Exergetic Assessment of A Solar-Assisted Vertical Ground-Source Heat Pump System Used For Heating A Greenhouse", *Building And Environment*, vol. 42, pp. 11-24, 2007. Doi: 10.1016/j.buildenv.2005.07.003
- [12] Ünlü, K., Çoksun, S. ve Yamankaradeniz, N., "Bursa İli Şartlarında Toprak Kaynaklı Isı Pompası İle Isıtma Uygulaması.: *Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi, ULIBTK 2007*, Kayseri, 30 Mayıs-2 Haziran, 2007, s. 460-68.
- [13] Yılmaz S, Atik K "Modeling of a mechanical cooling system with variable cooling capacity by using artificial neural network", *Applied Thermal Engineering*, vol. 27, pp. 2308–2313, 2007. Doi: 10.1016/j.applthermaleng.2007.01.030
- [14] Ertunc HM, Hosoz M "Comparative analysis of an evaporative condenser using artificial neural network and adaptive neuro-fuzzy inference system", *International Journal of Refrigeration*, vol. 31, pp. 1426–1436, 2008. Doi: 10.1016/j.ijrefrig.2008.03.007
- [15] Benli, H., and Durmuş, A., "Evaluation Of Ground-Source Heat Pump Combined Latent Heat Storage System Performance İn Greenhouse Heating", *Energy and Buildings*, vol. 41, pp. 220-228, 2009. Doi: 10.1016/j.enbuild.2008.09.004
- [16] Acar, Ş.G., "Denizli Havzasındaki Jeolojik Formasyonlarda Sıcaklık Ve Isı Depolama Kapasitesi Değişiminin İncelenmesi ve Isı Pompası Uygulamalarının Araştırılması", Doktora Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli, 2009.
- [17] Esen H, Ozgen F, Esen M, Sengur A.," Artificial neural network and wavelet neural network approaches for modelling of a solar air heater", *Expert System Applications*, vol. 36, pp. 11240–11248, 2009. Doi: 10.1016/j.eswa.2009.02.073
- [18] Elbir A., "Toprak Kaynaklı Isı Pompasının Termodinamik Analizi", Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 2010.
- [19] Sun W, Hu P, Lei F, Zhu N, Jiang Z., " Case study of performance evaluation of ground source heat pump system based on ANN and ANFIS models ", *Applied Thermal Engineering*, vol. 87, pp. 586–594, 2015. Doi: 10.1016/j.applthermaleng.2015.04.082
- [20] Şefik, S., Aktaş, M., ÖZDEMİR, M. B., Doğan, H.," Modeling of drying behaviors of mushroom in a solar assisted heat pump dryer by using artificial

neural network ”, *Journal of Agricultural Sciences*, vol. 20, pp. 187-202, 2014. Doi: 10.15832/tbd.63118

[21] Özdemir M. B., Özkaya M. G., “ Energy and Exergy Analyses of the Vertical Type Ground-Sourced Heat Pump for Ankara Conditions ”, *Gazi University Journal of Polytechnic*, vol. 18, no. 4, pp. 269-280, 2015. Doi: 10.2339/politeknik.473411

ÖZGEÇMİŞ

Mustafa Bahadır ÖZDEMİR

Mustafa Bahadır Özdemir 21 Ağustos 1980 de Erzurumda doğdu. 2002 yılında Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü Tesisat Anabilim Dalından mezun oldu.2005 yılında Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans, 2011 yılında ise doktora eğitimi tamamladı. 2003-2011 yılları arası Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü Tesisat Anabilim Dalında Araştırma görevlisi olarak çalıştı. 2011 yılından itibaren Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümünde Dr. Öğr. Üyesi olarak çalışmaktadır.

Musa Galip ÖZKAYA

Musa Galip ÖZKAYA 09 Haziran 1953 de Ilgaz da doğdu. 1976 Erkek Teknik Öğretmen Okulundan mezun oldu.1991 yılında Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans, 1999 yılında ise doktora eğitimi tamamladı. 1976-1986 yılları arasında Türkiye’de çeşitli illerde öğretmen olarak çalıştı. 1986-1994 yılları arasında Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü Tesisat Anabilim Dalında Öğretim görevlisi, 1994-2012 yılları arasında Dr. Öğr. Üyesi olarak çalıştı. 2012 yılından itibaren Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümünde Dr. Öğr. Üyesi olarak çalışmaktadır.