



Tarım Bilimleri Dergisi  
Tar. Bil. Der.

Dergi web sayfası:  
www.agri.ankara.edu.tr/dergi

Journal of Agricultural Sciences

Journal homepage:  
www.agri.ankara.edu.tr/journal

## Güneş Destekli Isı Pompalı Bir Kurutucuda Mantarın Kuruma Davranışlarının Yapay Sinir Ağı Kullanılarak Modellenmesi

Seyfi ŞEVİK<sup>a</sup>, Mustafa AKTAŞ<sup>b</sup>, M. Bahadır ÖZDEMİR<sup>b</sup>, Hikmet DOĞAN<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Inönü Mahallesi, Batıkent, 06370, Ankara, TÜRKİYE

<sup>b</sup>Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Teknikokullar, Beşevler, 06500, Ankara, TÜRKİYE

### ESER BİLGİSİ

Araştırma Makalesi

DOI: 10.1501/Tarimbil\_0000001278

Sorumlu Yazar: Seyfi Şevik, E-posta: seyfisvk@hotmail.com, Tel: +90 (312) 202 87 07

Geliş Tarihi: 16 Eylül 2013, Düzeltmelerin Gelişi: 22 Kasım 2013, Kabul: 24 Kasım 2013

### ÖZET

Kurutucu, güneş enerjili ve güneş enerjisi destekli ısı pompalı olmak üzere ayrı ayrı 45 °C ve 55 °C kurutma havası sıcaklığı 0.9 m s<sup>-1</sup> ve 1.2 m s<sup>-1</sup> hava hızlarında mantar kurutularak test edilmiştir. Deneylerden elde edilen nem içeriği (MC), ayrılabilir nem oranı (MR) ve kurutma hızı (DR) değerleri Levenberg-Marquardt (LM) geri yayılım öğrenme algoritması ve Fermi transfer fonksiyonu kullanılarak yapay sinir ağları (YSA) ile modellenmiştir. Geliştirilen modelin istatistiksel geçerliliğinin belirlenmesinde kullanılan çoklu belirleme katsayısı (R<sup>2</sup>), ortalama hata kareleri karekökü (RMSE), ve ortalama mutlak hata yüzdesi (MAPE) istatistik değerleri kullanılmıştır. R<sup>2</sup>, RMSE ve MAPE sırasıyla MC için 0.998, 0.0015608, 0.1940471, MR için 0.998, 0.0000971, 0.2214687 ve DR için 0.993, 0.0000075, 0.8627478 olarak elde edilmiştir. Böylece, farklı kurutma şartları için bu modelleme ile mantarın kuruma davranışları başarılı bir şekilde analiz edilebilir.

Anahtar Kelimeler: Güneş destekli ısı pompası; Kurutma; Yapay sinir ağları; Mantar

## Modeling of Drying Behaviors of Mushroom in a Solar Assisted Heat Pump Dryer by Using Artificial Neural Network

### ARTICLE INFO

Research Article

Corresponding Author: Seyfi Şevik, E-mail: seyfisvk@hotmail.com, Tel: +90 (312) 202 87 07

Received: 16 September 2013, Received in Revised Form: 22 November 2013, Accepted: 24 November 2013

### ABSTRACT

Dryer was tested by drying mushroom with solar energy and solar assisted heat pump separately at 45 °C and 55 °C drying air temperature and 0.9 m s<sup>-1</sup> and 1.2 m s<sup>-1</sup> drying air velocities. Moisture content (MC), moisture ratio (MR) and drying rate (DR) which were obtained from experiments were modeled by using Levenberg-Marquardt (LM) the back-propagation learning algorithm and fermi transfer function with artificial neural networks (ANNs). The coefficient of multiple determination (R<sup>2</sup>), the root means square error (RMSE) and the mean absolute percentage error (MAPE) were used for the determination of statistical validity of the developed model. R<sup>2</sup>, RMSE and MAPE were determined for MC

0.998, 0.0015608, 0.1940471, MR 0.998, 0.0000971, 0.2214687 and DR 0.993, 0.0000075, 0.8627478 respectively. In this way, drying behaviors of mushroom can be analyzed successfully for different drying conditions with this modeling.

Keywords: Solar assisted heat pump; Drying; Artificial neural networks; Mushroom

© Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi

## 1. Giriş

Mantar, daha çok taze olarak tüketilen bir sebze türü olmasına karşın son yıllarda kuru olarak tüketimi artan bir üründür. Dünyada en çok üretimi yapılan halk arasında kültür mantarı olarak bilinen “Agaricus bisporus” türüdür. Genel olarak mantarların % 90’a yakını sudur, sadece % 10 kadarı kuru kütledir. Bu kuru kütlenin içeriğini ise karbonhidratlar, proteinler, yağlar, vitaminler ve madensel tuzlar oluşturmaktadır. Dünyada üretilen yemeklik mantarların % 40-50’si taze olarak tüketilirken geri kalanı konserve, dondurulmuş veya kurutulmuş olarak pazarlanmaktadır. Endüstriyel olarak işlenmiş mantarların en büyük grubu konserve, ikinci grubu geçici olarak muhafaza edilen mantarlar, üçüncü grubu toptan ve perakende satış için dondurulan mantarlar, ticaretin küçük bir parçasını ise sirke veya diğer asitlerle korunmuş mantarlar ve kuru mantarlar oluşturmaktadır. Mantar kurutulduğunda tadını ve diğer özelliklerini hemen hemen aynen korur. Kurutulmuş mantar kuru haliyle kullanılabilirliği gibi,

öğütülerek mantar unu olarak da kullanılabilir (Şevik 2011). Kurutulmuş mantarın besin ve vitamin içeriği değerleri Çizelge 1’de verilmiştir.

Türkiye’de mantarlar, Kasım 2005 TS 2410 sayılı “Kültür mantarları-taze” Türk Standardı ile denetlenmektedir. Türkiye’de katma değeri yüksek olan işlenmiş mantar ihracatı 2008 yılına kadar yok denecek kadar az iken (% 1’in altında) 2008 yılında % 7’ye yükselmiştir. 2008-2009 yıllarında mantar, Türkiye’nin yaş sebze ihracatında ilk 5 ürün içerisinde yer alan ve ihracatından elde edilen gelirin yüksek olduğu bir üründür (EYMSİB 2010). Aynı şekilde kurutulmuş halinin de geliri yüksektir. Çizelge 2’de yıllara göre kurutulmuş mantar ihracat miktarları ve gelirleri verilmektedir.

Tarımsal ürünler hasat edildikten sonra da solunum faaliyetlerine devam ettikleri için bozulma olayı da hızlı bir şekilde gerçekleşir (Alibaş 2012). Mantar da çok çabuk bozulan bir ürün olduğundan tüketim süresi gibi kurutma süresinin de kısa olması gerekir. Teknik metotlar ile yapılan kurutma esnasında

### Çizelge 1- Kurutulmuş mantarın besin ve vitamin içeriği (mg 100 g<sup>-1</sup> kuru madde<sup>-1</sup>) değerleri (Boztok ve Erkip 2002)

Table 1- Nutrient and vitamin content of dried mushroom (mg 100 g<sup>-1</sup> dry matter<sup>-1</sup>)

Mantar Türü	Besin değerleri					Vitamin içeriği mg (100 g kuru madde) <sup>-1</sup>			
	Protein (%)	Karbonhidrat (%)	Yağ (%)	Lif (%)	Enerji (kcal)	Thiamine	Niacine	Riboflavin	Askorbik asit
<i>Agaricus bisporus</i>	23.9-34.8	51.3-62.5	1.7-8.3	8-10.4	328-381	1.1	55.7	5	81.9

### Çizelge 2- Yıllara göre kurutulmuş mantar ihracat değerleri (DPT 2001; Kahyaoğlu 2008)

Table 2- Dried mushroom export values according to years (DPT 2001; Kahyaoğlu 2008)

Yıllar	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2004	2005	2006	2007
İhracat Ton	38.6	64.4	233.9	36.7	68	21	35	19	27	34	21
x1 000 \$	2 810	5 289	3 252	1 713	1 972	2 490	999	1071	1243	2389	1710

yüksek miktarda enerjiye ihtiyaç duyulmaktadır. Kurutulacak üründen buharlaştırılan birim miktardaki nem için harcanan enerji miktarı kurutma sistemlerinde enerji ekonomisi için önemlidir (Ceylan & Aktaş 2008a). Bununla birlikte kurutma işlemi; ürün, ürün tipi, ürünün kalınlığı, ürünün nem içeriği, hava sıcaklığı, hava hızı ve hareketi, nem difüzyon, kurutma yöntemi ve fırın yapısı gibi pek çok iç ve dış faktörlerden etkilenmektedir (Şevik et al 2013). Dünyada ticareti yapılan kurutulmuş sebzelerin % 97-98'i kontrollü şartlarda sıcak hava ile kurutulmaktadır. Türkiye, kurutulmuş sebze konusunda ihracatçı ülke konumundadır. Toplam kurutulmuş ürün ihracatının % 92'sini kurutulmuş domates oluşturmaktadır. Domatesten sonra ise patlıcan ve mantar sayılabilir (Şevik 2011).

Güneş enerjisi ve ısı pompası sistemlerinin tekil kullanılmak yerine her iki sistemin avantajlarından yararlanabilmek için birlikte kullanılmasıyla sistem performans değeri artırılmaktadır. Bu tür sistemler, güneş kolektöründe ısıtılan suyun veya havanın ısı pompasının ısı kaynağı olarak kullanıldığı güneş destekli ısı pompası (GDIP) ve güneş kolektörünün ısı pompasının buharlaştırıcısı olarak kullanıldığı direkt genişlemeli güneş destekli ısı pompası (DGGDIP) olmak üzere iki şekilde kullanılmaktadır. Bu konuda ilk çalışma 1955 yılında Batı Virginia'da Sporn & Ambrose (1955) tarafından ortaya konmuştur. İlk başlarda su ısıtma amaçlı yapılan bu sistemler, sonraları kurutma amaçlı olarak da kullanılmaya gelmiştir. Best et al (1996), pirinç kurutma için GDIP kurutucusu performansını araştırmış ve performans katsayısı (COP) değerini 5.3 olarak bulmuşlardır. Hawlader & Jahangeer (2006), GDIP kurutucusunun ve su ısıtıcısının performansını araştırmışlardır. Bu amaçla bir benzetim programı geliştirilmiştir. Ceylan & Aktaş (2008b), ısı pompalı endüstriyel fındık kurutma fırınında kurutma şartları göz önünde bulundurularak 40, 45 ve 50 °C sıcaklıklarda fındık kurutulmuşlar ve enerji analizi yapmışlardır. Çalışmalarında enerjinin kullanılma oranı % 43-65 olarak bulunmuştur. Li et al (2010) tarafından bir tahıl ambarı için güneş destekli ısı pompası kurutma sistemi tasarlanmıştır. Ünitinin güneş enerjisinden yararlanma oranı % 20'den daha yüksek, COP değeri

5.19 ve SMER değeri 3.05 kg/kWh olarak elde edilmiştir. Şevik (2011), sulu güneş kolektörü ve ısı pompasının ayrı ayrı veya birlikte kullanılabildiği, ısıtma ve kurutma için sıcak hava üreten bir sistem tasarımı yaparak bir mekanın ısıtılmasını ve mantar kurutulmasını deneysel olarak incelemiştir. Şevik (2013), 50 °C sıcaklıkta ve kurutma esnasında 0.4-0.9 m s<sup>-1</sup> aralığında değişen hava hızlarında havuçu kurutarak çift geçişli havalı kolektörlü ısı pompalı bir kurutucunun kolektör performansını analiz etmiştir.

Mantar kurutma ile ilgili son zamanlarda bir çok çalışma yapılmıştır. Nehru et al (1995), günlük 2.5 kg kurutma kapasiteli bir güneşli kurutucuda "Pleurotus Florida" tipi mantar kurutulmuşlardır. Mantarların nem içeriğini % 92.6'dan, % 10'a indirmek için gerekli kurutma zamanı ortalama 5.5-6.5 saat olarak bulunmuştur. Gothandapani et al (1997), yaptıkları çalışmada ortalama nem değeri % 91.4 olan taze mantarları kurutarak % 11 nem değerine kadar düşürmüşlerdir. Pal & Chakraverty (1997), 45, 50 ve 60 °C kurutma havası sıcaklığı ve 0.9 ve 1.6 m s<sup>-1</sup> hava hızı koşullarında ön işlemin mantarın kuruma karakteristiklerine ve bunların kaliteye etkilerini belirledikleri bir çalışma yapmışlardır. Kuruma süresi ve kalite dikkate alındığında 50 °C kurutma havası sıcaklığı ve 0.9 m s<sup>-1</sup> hava hızında hem ön işlem görmüş hem de görmemiş mantarlar için iyi kalitede kuru ürünler sağlanabileceğini belirtmişlerdir. Helvacı et al (1999) mantar kurutulması için bazı pratik önerilerde bulunmuşlardır. Mantar dilimlerinin kuruma sonuna doğru, nem içeriklerindeki azalma nedeniyle yüzey sıcaklığının hızla arttığını belirtmişlerdir. Ayrıca yüzey sıcaklığındaki artma, karamelizasyon ve Maillard reaksiyonlarının hızını da arttıracığından, mantar dilimlerinin kurutucu içinde uzun süre kalmaları halinde renklerinin hızla koyulaşacağını belirtmişlerdir. Mantarları, Midilli et al (1999) laboratuvar tipi bir kurutucuda, Toğrul et al (2005) infrared kurutucuda, Xanthopoulos et al (2007) ince katmanlı kurutucuda, Lidhoo et al (2008) mantar dilimlerini haşlayarak ve Kulshreshtha et al (2009) akışkan yataklı bir kurutucuda sıcak hava kullanarak kurutulmuşlardır. Jambrak et al (2007) tarafından yapılan çalışmada 9.7 g nem (g kuru

madde)<sup>-1</sup> değerlerine sahip *Agaricus biosporus* türü mantarlar 0.4 g nem (g kuru madde)<sup>-1</sup> değerlerine düşürülmüştür. Bala et al (2009) güneş enerjili tünel kurutucusunda yaptıkları deneylerde, mantarlar 37 °C'den 66.5 °C'ye kadar kurutma odası sıcaklığında kurutulmuş ve nem içeriği yaklaşık % 89.41'den % 6.14'e kadar düşürülmüştür. Aynı kuruma döneminde geleneksel güneşte kurutma metoduyla, mantarların nem içeriği % 15'e kadar azalmıştır.

Genellikle bir sürecin ya da sistemin davranışını tanımlayan denklemlerden oluşan matematiksel modelleme bir takım kolaylık sağlar. Bu nedenle pek çok alanda kullanıldığı gibi tarım alanında da kullanılmaktadır. Örneğin, Alibaş (2012) mikrodalga kurutucuda kuruttuğu asma yapraklarının bazı kalite parametrelerini belirlemede, Doymaz (2013) ise infrared kurutucuda havuç posası kurutma karakteristiklerini belirlemede kullanmıştır. Biyolojik sinir sisteminden esinlenen YSA modelleri bütün enerji sistemlerinde çok kullanılmaktadır. Son yıllarda da kurutma sistemlerinin YSA ile modellenmesi araştırmacılar tarafından kullanılmaktadır. Palancar et al (2001) ve Satish & Pydi Setty (2005) akışkan yataklı bir kurutucunun, Hussain et al (2002) sıcak hava kurutucusunun, Erenturk et al (2004) ince tabaka kurutucunun, Poonnoy et al (2007) mikrodalga kurutucusunun, Menlik et al (2009) ve Menlik et al (2010) dondurarak kurutmanın, Karimi et al

(2012) laboratuvar kurutucusunun Aghbashlo et al (2012) sprey kurutucusunun YSA ile modellenmesini yapmışlardır. Benzer olarak, kuruma davranışlarını tanımlamak için YSA ile yaban mersini (Chen et al 2001), pirinç (Zhang et al 2002), cassava ve mango (Hernandez-Perez et al 2004), kereste (Wu & Avramidis 2006), domates (Movagharejad & Nikzad 2007), fıstık (Omid et al 2009; Balbay et al 2011), elma (Khoshhal et al 2010), üzüm (Cakmak & Yıldız 2011) ve havuç (Erenturk & Erenturk 2007; Nazghelichi et al 2011) gibi farklı ürünlerin de modelleme çalışmaları yapılmıştır. YSA modellemesi yapılan bazı ısı pompalı sistemler Çizelge 3'te detaylandırılmıştır.

Görüldüğü üzere birçok araştırmacı farklı sistem ve farklı ürünler için YSA ile modellemeyi kullanmışlardır. Bununla birlikte, literatürde GDIP sisteminin veya bu tarz bir kurutucuda mantar kurutmanın modellenmesi ile ilgili bir çalışma bulunmamaktadır. Bu noktadan hareketle, enerji verimliliğini göz önünde bulundurarak uygun psikrometrik şartlarda mantarları kurutmak, programlanabilir lojik kontrollü GDIP bir kurutma sisteminin performansını test etmek ve araştırmacılar için kaynak oluşturacak geniş bir literatür ile birlikte kurutucuda mantar kurutma deney sonuçları analiz edilerek MC, MR ve DR'nin YSA ile modellenmesi amaçlanmıştır.

### Çizelge 3- YSA ile ilgili ısı pompalı bazı çalışmaların detayları

Table 3- Details of some studies related to ANN

Yazarlar	YSA modelleri						
	Sistem	Ürün	Hibrid	LM	Fermi	Giriş değerleri	Çıkış değerleri
Ceylan & Aktaş 2008c	IP	Fındık	--	√	√	<i>T, BN, t</i>	<i>MC, v</i>
Esen et al 2008; Esen ve Inallı 2009	TKIP	--	--	√	--	Farklı noktalardaki sıcaklıklar	<i>COP</i>
Mohanraj et al 2009	DGGDIP	--	--	√	--	Güneş ışınımı, çevre sıcaklığı	Güç tüketimi, ısıtma kapasitesi, enerji performans oranı, komp. deşarj sıcaklığı
Bu çalışma	GE ve GDIP	Mantar	--	√	√	<i>T, BN, v, t, güneş ışınımı</i>	<i>MC, MR, DR</i>

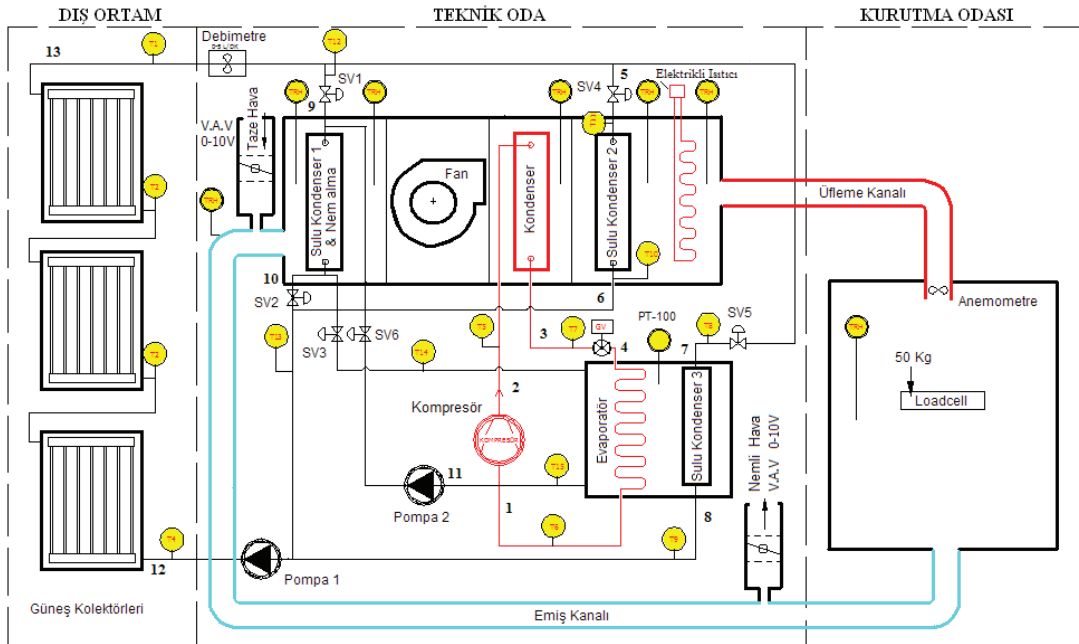
## 2. Materyal ve Yöntem

### 2.1. Deneysel çalışma

Deney düzeneği, iki sistemin ayrı ayrı veya birlikte kullanılabilmesine olanak sağlamaktadır. Sistem, gaz (soğutucu akışkan), su ve hava devresi olmak üzere üç akışkan devresinden oluşmaktadır (Şekil 1). Sistem, üç senaryoya hizmet etmekle birlikte bu çalışmada iki senaryo ele alınmıştır. Birinci senaryoda; sadece güneş enerjisi sistemi devrededir. Güneş enerjisinden elde edilen ısı enerjisinin kurutma için yeterli olması durumudur. Bu durumda sistemde sadece ısıtma yapılır, nem alma işlemi yapılmaz. Kolektörlerde fazladan ısı üretilmesi halinde üretilen ısı, ısı depolama tankına yönlendirilmektedir. İkinci senaryoda ise; hem güneş enerjisi hem de kondenzasyonlu (nem alma) ısı pompası sistemi devrededir. Güneş enerjisinden elde edilen ısının yetersiz olması durumunda ısı pompası devreye girmekte, yeterli olması halinde

devreden çıkmaktadır. Güneş enerjisinden ve/veya ısı pompası kondenserinden elde edilen ısı enerjisi frekans konvektörlü olan ve sıcaklığa göre hız kontrolü yapılabilen bir fan yardımıyla kurutma odasına verilmektedir.

GDIP kurutma sistemi: güneş kolektörü (düzlemsel, tek camlı, 2 m<sup>2</sup>), sirkülasyon pompası 1 (0.37 kW, 5-40 L min<sup>-1</sup>), sirkülasyon pompası 2 (0.04-0.09 kW), fan 1 (0.37 kW), fan 2 (0.06 kW), solenoid valf (1" ve 3/4", 0.5-16 bar, -20+80 °C, 220V), genişleme tankı (24 L), kompresör (hermetik 1.1 kW-1.5 HP), soğutucu akışkan (R404A), kondenser 1 (hava soğutmalı 1260 kcal h<sup>-1</sup>), kondenser 2 (hava soğutmalı 500 kcal h<sup>-1</sup>), evaporatör (su soğutmalı), kurutucu filtre (dryer), kılcak boru, VAV kutusu (5 VA, 3W, AC/DC 24 V, 50/60 Hz), dijital sıcaklık kontrolör (PC440, 100-240 V) ve transformatör (EI-7635, 24 V-220V, 50 VA, 50/60 Hz) gibi ana ekipmanlardan oluşmaktadır. Sistemin otomasyon ünitesi ise invertör (VFD-ED, 0.1-



Şekil 1- Güneş destekli ısı pompalı kurutucu

Figure 1- Solar-assisted heat pump dryer

600Hz, 230V 1faz, 460V 3 faz), kontaktör, okuyucu kart, sersör bordu, PLC, şalter vb. ekipmanlar ile kontrol ekipmanları, sıcaklık-nem sensörleri ve verilerin izlenerek kontrolünün yapıldığı bir dizüstü bilgisayardan oluşmaktadır.

Sistemin çeşitli noktalarına farklı amaçlar için ölçüm cihazları yerleştirilmiştir. Sıcaklık ve nem ölçümleri için; nem-sıcaklık sensörleri (HTTD, 0-10 VDC, 15-35 VA/DC, -50-125 °C, 5-95 % RH), Pt-100 sıcaklık sensörü (R/T Tip, Skala 0-70 °C, besleme 24 V-DC, çıkış 4-20 mA) ve LM35 sıcaklık sensörleri (-55-150 °C, 10 mV °C<sup>-1</sup>) kullanılmıştır. Diğer ölçüm ve kontrol elemanları ise, hava hızı ölçüm cihazı (0-20 m s<sup>-1</sup>, hassasiyet ±0.01 m s<sup>-1</sup>, 0.1 °C, teleskobik kanal probu), ağırlık ölçer (kapasite 50 kg, hassasiyet 2.0 mV V<sup>-1</sup>), basınç transmitteri (0-10 bar, çıkış 4-20 mA) ve kontrol kartları (30 adet sıcaklık ve nem sensörü bağlanabilir, 8 analog giriş, 8 dijital giriş, 4 analog çıkış 0-10 V, 6 role ve 2 adet SSR) gibi ekipmanlardan oluşmaktadır. Güneş ışınımı değerleri dijital solarimetre (DS-05A, 0-1200 W m<sup>-2</sup>, hassasiyet ± % 3 W m<sup>-2</sup>) ile ölçülmüştür.

Sistemde, güneş kolektöründen elde edilen uygun sıcaklıktaki su, ısı pompasının ısı kaynağı olarak kullanılmaktadır. Su kaynaklı bir ısı pompası sistemi ile ısı değiştiricili bir güneş enerjisi sisteminin birlikte kullanılmasıyla kurutma işlemleri gerçekleştirilebilmektedir. Kurutma sisteminde gerekli toplam ısı miktarı, ısı pompasının kondenseri ve güneş enerjisi ile sağlanmaktadır. Tasarlanan sistem ile ısı enerjisi üretilerek ürün kurutulması gerçekleştirilebilmekte ve aynı zamanda da elde edilen ısı enerjisinin depolanması gerçekleştirilebilmektedir. Sistemde ısı depolaması, kullanılan kolektör miktarına yani toplam kolektör alanına göre tayin edilmiş ve kolektörlerden elde edilen sıcak suyun toplandığı ısı depolama tankında yapılmaktadır. Nem yönünden fakir (kuru) havanın daha çabuk ısınacağı ve nemli havanın nemini alarak nem alma kapasitesinin artırılacağı düşünülerek dönüş havasının nemini çekebilmek için sisteme nem alma ünitesi eklenmiştir. Isı pompası devredeyken nem alma işlemi, soğuk suyun nem alma bataryasında dolaştırılması ile

gerçekleştirilmektedir. Nemi alınan ve sıcaklığı düşen havan, güneş enerjisi ve IP'nın kondenseri ile tekrar ısıtılmaktadır.

Sistem, temel olarak üç kısımdan oluşmaktadır; ısı üreticisi (güneş enerjisi devresi), ısı taşıyıcı (ısı pompası sistemi) ve ısı aktarıcı (fan veya devirdaim pompası). Sistemde gaz-hava, gaz-su-hava, su-hava şeklinde birleşimler oluşturulabilmektedir. Güneş kolektörlerinde ısı taşıyıcı akışkan olarak % 40 glikollü su kullanılmıştır. Karışım bu haliyle yaklaşık -25 °C sıcaklığa kadar koruma sağlamaktadır. Buhar sıkıştırılmalı çevrime göre çalışan gaz devresi iş gören akışkan olarak R 404A kullanılmaktadır.

Sistemde kontrol işlevi; kontrol elemanları, sistemin yönlendirilmesinde kullanılan ölçü aletleri ile senkronize çalışan kontrol kartları, sistem yazılımı ve benzeri ekipmanların birbiriyle uyumlu kullanıldığı bir dizi elektro-mekanik kontrol elemanları tarafından sağlanmaktadır. Sistem, havanın sıcaklık ve nem kontrolünün anlık olarak bilgisayar ekranından takibine ve kontrolüne imkân vermektedir. Deneyler sırasında da bütün kontroller bilgisayar ekranından yapılmıştır. Böylece, sistemde kurutma havası şartları, PLC ekranından set edilen değerlerde sağlanabilmektedir.

## 2.2. Sistemin analizi

Sistemin enerji ve kurutma analizlerinde kullanılan bazı genel eşitlikler aşağıda verilmiştir. Isı pompası çevriminin logP-h diyagramı ise Şekil 2'de verilmiştir. Kullanılan soğutucu akışkanın logP-h diyagramında; h<sub>2</sub>-h<sub>1</sub> kompresör çıkış girişini, h<sub>2</sub>-h<sub>3</sub> kondenser giriş çıkışını, h<sub>3</sub>=h<sub>4</sub> genişleme valfi giriş çıkışını ve h<sub>4</sub>-h<sub>1</sub> evaporatör giriş çıkışını ifade etmektedir.

Şekil 2'den görüldüğü üzere ısı pompası sisteminde kondenser kapasitesi;

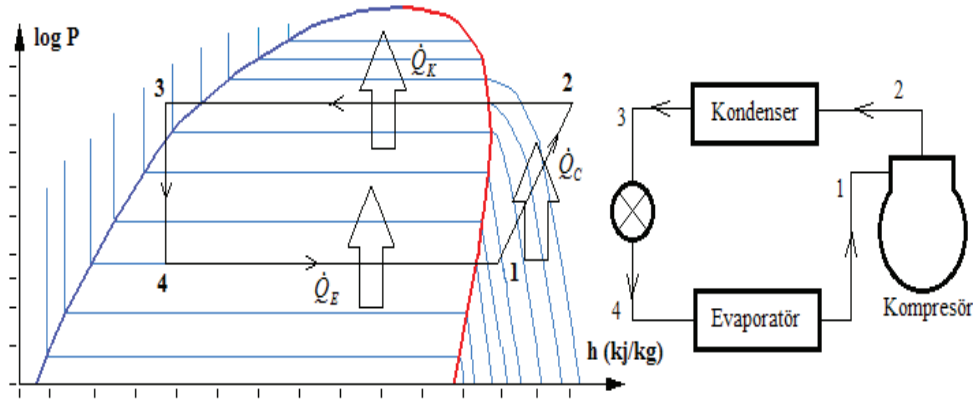
$$\dot{Q}_K = \dot{m}(h_2 - h_3) \quad (1)$$

Kompresör gücü;

$$\dot{Q}_C = \dot{m}(h_2 - h_1) \quad (2)$$

Evaporatör kapasitesi ise;

$$\dot{Q}_E = \dot{m}(h_1 - h_4) \quad (3)$$



Şekil 2- Isı pompası çevriminin logP-h diyagramı

Figure 2- LogP-h diagram of heat pump cycle

ile hesaplanmıştır. Nemin çekilmesi için kurutma odasında kullanılan ısı miktarı;

$$\dot{Q}_{KO} = \dot{m}_{ia} (h_{ia} - h_{oa}) \quad (4)$$

eşitliği ile hesaplanmıştır. Güneş kolektöründen birim zamanda elde edilen enerji;

$$\dot{Q} = \dot{m} \cdot c \cdot \Delta T \quad (5)$$

ile ve güneş kolektörünün verimi ise;

$$\eta_{kol} = \frac{\dot{Q}}{F_K I_{TOP}} \quad (6)$$

eşitliği ile hesaplanmıştır (Aktaş et al 2012). Isı pompasının performans katsayısı;

$$COP_{ip} = \frac{\dot{Q}_K}{\dot{Q}_C} \quad (7)$$

yardımla elde edilmiştir. Güneş enerjisi destekli ısı pompası sisteminin performans katsayısı ise;

$$COP_{sist} = \frac{\dot{Q}_{sist}}{\dot{W}_{sist}} = \frac{\dot{Q}_{sist}}{\dot{Q}_C + \sum \dot{W}_{Fan} + \sum \dot{W}_{pomp}} \quad (8)$$

eşitliğinden yararlanılarak elde edilmiştir. Mantarlardaki kuru esasa göre nem içeriği ( $MC_{KA}$ ) değerleri için;

$$MC_{KA} = \frac{YA - KA}{KA} \quad (9)$$

eşitliği, yaş esasa göre nem içeriği ( $MC_{YA}$ ) değerleri için ise;

$$MC_{YA} = \frac{YA - KA}{YA} \quad (10)$$

eşitliği kullanılmıştır. Ayrılabilir nem oranı ( $MR$ ) değerleri;

$$MR = \frac{M - M_e}{M_0 - M_e} \quad (11)$$

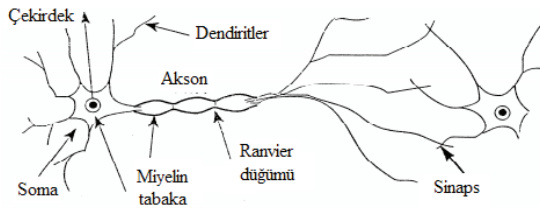
ile hesaplanmıştır. Kurutma hızı ( $DR$ ) değerleri aşağıdaki formülden hesaplanmıştır.

$$DR = \frac{M_{t+dt} - M_t}{dt} \quad (12)$$

### 2.3. Yapay sinir ağları

Yapay sinir ağları, biyolojik sinir sisteminin çalışma şeklinin yapay olarak benzetimidir. Yapay olarak oluşturulan bu ağlar insanın yaşayarak ve deneyerek sahip olduğu öğrenme yeteneğinde olduğu gibi bilgiyi öğrenir, saklar ve veriler arasındaki ilişkiyi ortaya çıkarır. Şekil 3'te basit bir nöron yapısı görülmektedir. Bu basit yapı yapay nöron için bir model oluşturur. Nöronlar arasındaki sinaptik bağlantıların ayarlanması ile insanın öğrenme olur. Nöronlar giriş uyarısını çok sayıda dentritleri vasıtasıyla alır. Dentritlerce

alınan bir giriş, harekete geçirici (tetikleyici) veya yasaklayıcı olabilir. Girişler toplanır ve nöron gövdesine yerleştirilir. Bu girişler, belirli bir eşik değerini aştığı zaman, hücre diğer hücelere aksonu vasıtasıyla bir etki iletir. Yapay sinir ağları da aynı mantıkla hareket edilerek meydana getirilmiş matematiksel sistemlerdir. Oluşturulan yapay sinir ağları eğitilmelidir ancak kendi kendilerine öğrenme yapısına sahip olduklarından bazı ağların eğitilmesine gerek yoktur (Jang et al 1997; Sözen et al 2003).



Şekil 3- Basit bir nöron yapısı

Figure 3- A simple structure of the neuron

Yapay sinir ağı; 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 tarımda, özellikle arazi, gıda, otomasyon, ekim, güneş radyasyonu, sulama ve yeraltı suları gibi uygulama alanlarında yüksek hızda tahminler gerçekleştirilmesinde YSA başarıyla kullanılmaktadır.

Geliştirilen YSA modeli, sinir ağları geliştirme ve tasarım için tasarlanmış bir program olan Pythia programı kullanılarak modellenmiştir. Pythia programı, parçacık hızlandırıcılarında çok yüksek enerjilerde parçacık çarpışmaları için kullanılan bir bilgisayar simülasyon programıdır. Başlangıçta Fortran ile yazılan Pythia programının 8.1 sürümü C++ ile yazılmıştır. Pythia Microsoft Excel gibi elektronik tablo programlarından veya farklı dosya formatlarından veri almak için izin verir. İstatistiksel analizler için ideal bir program olan

Pythia günümüzde farklı alanlarda yapay zeka elektronik simülasyonları için kullanılmaktadır. Bu çalışmada, deneylerden elde edilen nem içeriği (MC), ayrılabilir nem oranı (MR) ve kurutma hızı (DR) değerleri için Levenberg-Marquardt (LM) geri yayılım öğrenme algoritması ve Fermi transfer fonksiyonu kullanılmıştır.

Model değerlendirmede gerçek değerlerle tahmin edilen değerleri kıyaslayabilmek için çoklu belirleme katsayısı ( $R^2$ ), ortalama hata kareleri karekökü (RMSE) ve ortalama mutlak hata yüzdesi (MAPE) gibi istatistiksel metotlar kullanılır. YSA modelleri için  $R^2$ 'nin 1'e yaklaştığı ve daha küçük RMSE ve MAPE değerleri en iyi modeli verir (Menlik et al 2010).  $R^2$ , RMSE ve MAPE parametreleri aşağıdaki eşitlikler kullanılarak hesaplanmıştır.

$$R^2 = 1 - \left[ \frac{\sum (MC_{exp,i} - MC_{ANN,i})^2}{\sum (MC_{ANN,i})^2} \right] \quad (13)$$

$$RMSE = \left[ \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (MC_{ANN,i} - MC_{exp,i})^2 \right]^{1/2} \quad (14)$$

$$MAPE = \frac{MC_{ANN} - MC_{exp}}{MC_{ANN}} 100 \quad (15)$$

Pythia programında veriler (0-1) aralığında normalize edilerek kullanılır. Girdi ve çıktı verilerini (0-1) aralığında normalize etmek için aşağıdaki eşitlik kullanılmıştır.

$$V_N = \frac{V_R - V_{min}}{V_{max} - V_{min}} \quad (16)$$

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

#### 2.4. YSA'nın uygulanması

Deneyler, 45 °C ve 55 °C kurutma havası sıcaklığında 0.9 m s<sup>-1</sup> ve 1.2 m s<sup>-1</sup> hava hızında gerçekleştirilmiştir. Pal ve Chakraverty (1997) kuruma süresi ve kalite dikkate alındığında 50 °C kurutma havası sıcaklığı ve 0.9 m s<sup>-1</sup> hava hızında hem ön işlem görmüş hem de görmemiş mantarlar için iyi kalitede kuru ürünler sağlanabileceğini belirttiğinden yola çıkılarak

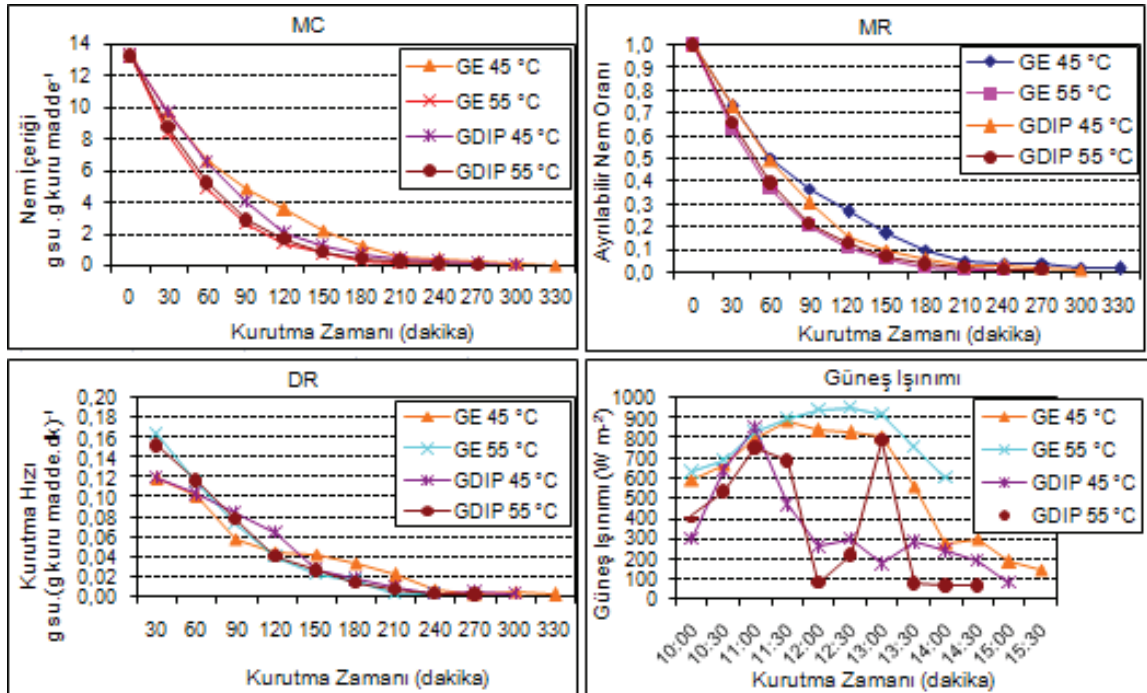


sistemde deneyler için bu değerler seçilmiştir. Mantarlar; sadece güneş enerjisi ve güneş destekli ısı pompası kullanılarak yaş baza göre % 93 nem içeriğinden % 7 nem içeriğine kadar kurutulmuştur.

Deneyler sırasında güneş enerjisi kullanılarak yapılan veya güneş enerjisiyle başlanılan deneylerde kurutma odasında istenilen sıcaklığa çok çabuk (10-15 dakikada) ulaşılmasına rağmen ısı pompası ile başlanılan deneylerde kurutma odasında istenilen sıcaklığa yaklaşık 1 saat gibi uzun bir sürede ulaşılmıştır. Fakat güneş enerjisi kullanılarak başlanılan deneylerde sistem çok hızlı denge konumuna gelmesi bir avantaj olmakla birlikte nem alma ünitesinin çalışmıyor olması da (ısı pompası çalıştığı sürece nem alma ünitesi de çalışmaktadır) bir dezavantaj oluşturmuştur. Yani, GDIP sisteminin GE sistemine göre avantajı ısı pompasının çalışmasına göre nem alma işleminin de yapılıyor olmasıdır. Sistemde 45 °C ve 55 °C kurutma odası sıcaklığı için yapılan deneylere ait

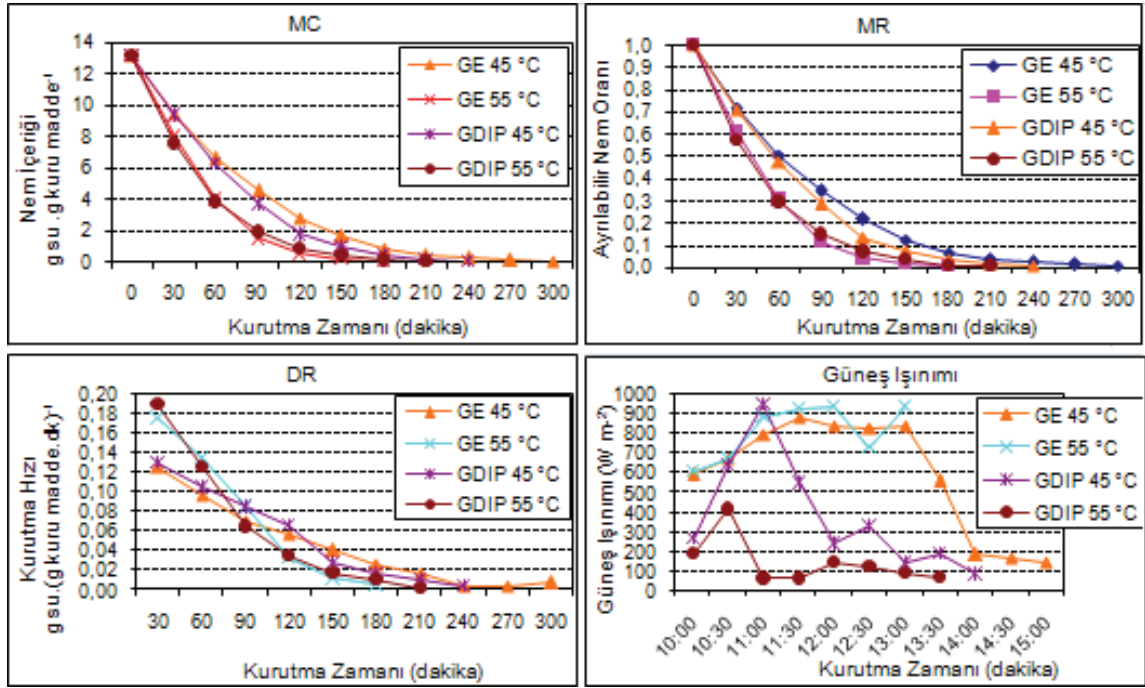
zamana bağlı MC, MR ve DR değerleri Eşitlikler 9, 11 ve 12'den hesaplanmış ve GI değerleri dijital solarimetre ile ölçülmüştür. Yapılan hesaplama ve ölçümlere göre oluşturulan grafikler Şekil 4 ve Şekil 5'te verilmiştir. Ayrıca, sistemin kolektör verimi Eşitlik 6'dan % 45-55 ve tüm sistemin COP<sub>sist</sub> değeri Eşitlik 8'den 2.2-3.1 hesaplanmıştır. Eşitliklerden hesaplanan değerler ile grafiklerde verilen değerler literatürdeki çalışmalarla karşılaştırıldığında benzer sonuçlar elde edildiği görülmektedir.

Elde edilen deneysel sonuçlar sayesinde Pythia programı kullanılarak 5 adet giriş, 3 adet çıkış değerlerine sahip çok katmanlı bir sinir ağı algılayıcısı modeli oluşturulmuştur. Ağ için giriş verileri olarak; zaman (t), kurutma havası hızı (v), kurutma havası sıcaklığı (T), kurutma havası bağıl nemi (BN) ve güneş ışınımı (GI) değerleri kullanılmıştır. Çıkış verileri olarak; nem içeriği (MC), ayrılabilir nem oranı (MR) ve kurutma hızı



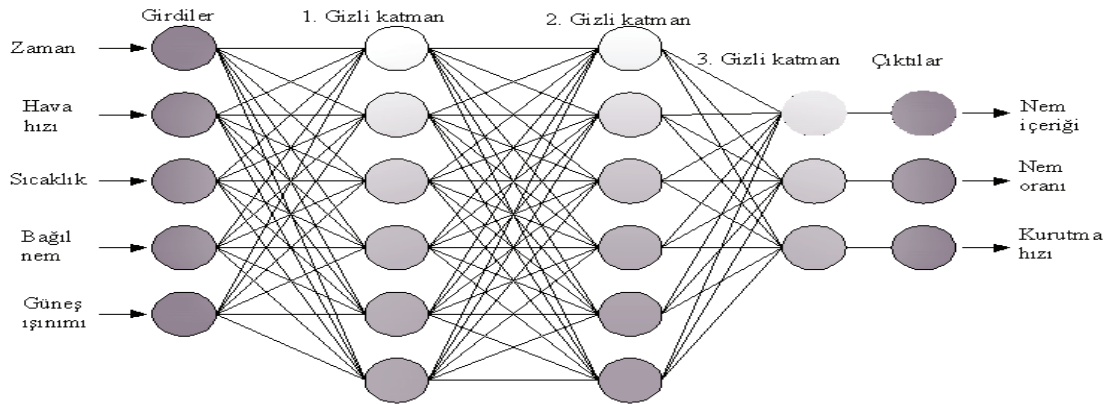
Şekil 4- 0.9 m s<sup>-1</sup> kurutma havası için MC, MR, DR ve GI değerleri

Figure 4- MC, MR, DR and SR values for 0.9 m s<sup>-1</sup> drying air velocity



Şekil 5-  $1.2 \text{ m s}^{-1}$  kurutma havası için MC, MR, DR ve GI değerleri

Figure 5- MC, MR, DR and SR values for  $1.2 \text{ m s}^{-1}$  drying air velocity



Şekil 6- Modellemede kullanılan YSA yapısı

Figure 6- YSA structure used in modeling

(DR) değerleri kullanılmıştır. Ara katman olarak ise; üç gizli katman oluşturulmuş ve ara katman sayısı değiştirilerek en iyi çözümler elde edilmeye çalışılmıştır. YSA modellemesinde geri yayılım

öğrenme algoritması olarak Levenberg–Marquardt (LM) kullanılmıştır. Oluşturulan YSA modelinin yapısı Şekil 6’da verilmiştir.

### 3. Bulgular ve Tartışma

YSA modellemesinde toplam 77 adet veri kullanılmıştır. Bu verilerden 69 tanesi eğitim için 8 tanesi ise test için kullanılmıştır. YSA modellenmesinde aşağıda eşitliği verilen FERMI transfer fonksiyonu kullanılmıştır. Burada, z girdi ağırlıklarının toplamıdır.

$$F(z) = \frac{1}{1 + e^{-4(z-0.5)}} \quad (17)$$

Üç gizli katmana sahip 15 nöronlu LM algoritması olan MC, MR ve DR'ye ait çıktıları elde etmek için Eşitlik 17 kullanılarak aşağıdaki eşitlikler oluşturulmuştur.

$$f_{MC} = \frac{1}{1 + e^{-4 \cdot (0,655660 \cdot F_1 - 0,221305 \cdot F_2 + 3,229919 \cdot F_3 - 1,854275 \cdot F_4 + 1,153900 \cdot F_5 + 0,003321 \cdot F_6 - 0,5)}} \quad (18)$$

$$f_{MR} = \frac{1}{1 + e^{-4 \cdot (0,656238 \cdot F_1 - 0,222690 \cdot F_2 + 3,249601 \cdot F_3 - 1,833049 \cdot F_4 + 1,134295 \cdot F_5 + 0,020944 \cdot F_6 - 0,5)}} \quad (19)$$

$$f_{DR} = \frac{1}{1 + e^{-4 \cdot (0,490989 \cdot F_1 + 1,021071 \cdot F_2 - 5,221842 \cdot F_3 - 1,02127 \cdot F_4 + 2,624680 \cdot F_5 - 0,888774 \cdot F_6 - 0,5)}} \quad (20)$$

Eşitlikler 18-20'deki  $F_1$ ,  $F_2$ ,  $F_3$ ,  $F_4$  ve  $F_5$  ve  $F_6$  değişkenleri aşağıdaki eşitlik ile hesaplanmıştır.

$$F_i = \frac{1}{1 + e^{-4(E_i - 0,5)}} \quad (21)$$

Formüldeki  $E_i$  değişkenleri aşağıdaki eşitlik ile hesaplanmıştır.

$$E_i = L_{1i} \cdot N_1 + L_{2i} \cdot N_2 + L_{3i} \cdot N_3 + L_{4i} \cdot N_4 + L_{5i} \cdot N_5 + L_{6i} \cdot N_6 \quad (22)$$

Formüldeki  $N_1$ ,  $N_2$ ,  $N_3$ ,  $N_4$ ,  $N_5$  ve  $N_6$  değişkenleri aşağıdaki eşitlik ile hesaplanmıştır.

$$N_i = \frac{1}{1 + e^{-4(C_i - 0,5)}} \quad (23)$$

Formüldeki  $C_i$  değişkenleri aşağıdaki eşitlik ile hesaplanmıştır.

$$C_i = Z_{1i} \cdot t + Z_{2i} \cdot u + Z_{3i} \cdot T + Z_{4i} \cdot N + Z_{5i} \cdot GI \quad (24)$$

Eşitlik 22 ve 24'te kullanılan sabit değerler Çizelge 4 ve Çizelge 5'ten alınmıştır.

Giriş ve çıkış verileri (0, 1) aralığında Eş. 16 kullanılarak normalize edilmiştir. Normalizasyon için kullanılan ilgili değişkenin minimum ve maksimum değerleri olan  $V_{\min}$  ve  $V_{\max}$  değerleri Çizelge 6'da verilmiştir. Böylece, kurutmada önemli parametreler olan MC, MR ve DR'yi belirleyebilmek için t, T, v, BN ve GI girdi değerlerine ve MC, MR

#### Çizelge 4- Eşitlik 22'de kullanılan sabitler

Table 4- Constants used in Equation 22

i	Sabit değerler					
	$L_{1i}$	$L_{2i}$	$L_{3i}$	$L_{4i}$	$L_{5i}$	$L_{6i}$
1	-2.321527	0.590711	0.069522	1.759852	0.520794	0.538123
2	-0.930626	0.096047	0.151918	0.831941	0.291443	-0.117653
3	-1.361434	-0.651064	-1.564431	1.362998	-0.688603	-0.55633
4	0.008133	-4.60572	0.687421	-1.400169	-0.185445	0.292951
5	0.53251	-1.347945	-0.154563	-0.574236	-0.943862	0.635645
6	0.066703	-1.412604	0.156158	-0.422767	-0.883376	-0.965652

**Çizelge 5- Eşitlik 24'te kullanılan sabitler**

Table 5- Constants used in Equation 24

$i$	Sabit Değerler				
	$Z_{1i}$	$Z_{2i}$	$Z_{3i}$	$Z_{4i}$	$Z_{5i}$
1	3.791242	0.243342	0.202915	-3.022506	-1.738583
2	-0.214663	-0.163685	-2.037086	4.289017	1.059204
3	1.782738	1.797376	-1.220573	-2.835265	-0.58984
4	-2.801917	-0.434716	2.11357	2.975089	-2.012087
5	0.273277	-0.857089	2.998076	0.122141	-2.015587
6	-3.435122	0.254516	0.691853	-0.06891	0.53769

**Çizelge 6- Normalizasyon için kullanılan  $V_{min}$  ve  $V_{max}$  değerleri**Table 6-  $V_{min}$  and  $V_{max}$  values used for normalization

Parametreler	$V_{min}$	$V_{max}$
Zaman	0	330
Sıcaklık	17	55.95
Bağıl nem	8.2	74.5
Hız	0	1.2
Güneş ışınımı	58	953
MC	0.068376	13.24501
MR	0.0067541	1
DR	0	0.188034

ve DR çıktı değerlerine sahip üç gizli katman ve 15 nörondan oluşan bir YSA modeli geliştirilmiş oldu. Bu sayede, süreç tahmin modellemesi ve optimizasyonunda kullanılan bu modelin kuruma süreçlerinin kontrolü için uygulanması kolay ve etkili bir hale getirilmiştir.

Ağ öğrenme işlemi başarılı bir şekilde tamamlandığından, elde edilen ağ, öğrenme işlemine dahil edilmeyen test datalarıyla karşılaştırılmıştır. MC, MR ve DR için geliştirilen YSA modelin performansı Şekil 7-9'da gösterilmiştir. Tahmini değerler ile deneysel değerlerin arasındaki fark çok küçük ve ihmal edilebilir olduğundan değerler arasında bir uyum olduğu görülebilir.

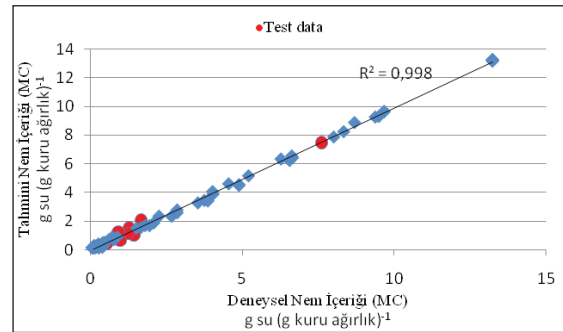
**Şekil 7- Deneysel-tahmini nem içeriği değerleri**

Figure 7- Experimental-predicted moisture content values

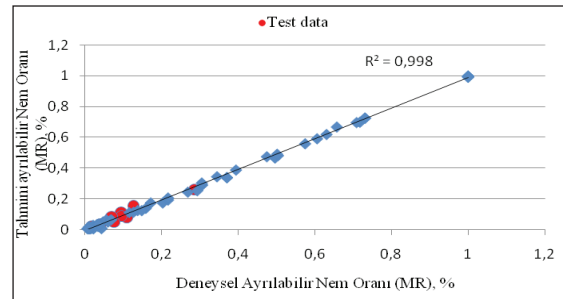
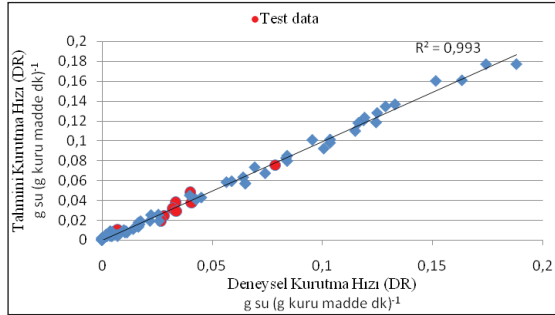
**Şekil 8 - Deneysel-tahmini ayrılabilir nem oranı değerleri**

Figure 8- Experimental-predicted moisture ratio values



**Şekil 9- Deneysel-tahmini kurutma hızı değerleri**

Figure 9- Experimental-predicted moisture rate values

Şekil 7-9'dan görüldüğü gibi deneysel veriler ile tahmin edilen veriler uyum içindedir. Bu sonuçlara göre yapılan modellemenin uygun olduğu görülmektedir. *MC*, *MR* ve *DR* için geliştirilen modelin istatistiksel geçerliliğinin belirlenmesinde kullanılan parametrelerin  $R^2$ ,  $RMSE$  ve  $MAPE$  gibi istatistiksel değerleri Eşitlikler 13-15'ten hesaplanarak Çizelge 7'de verilmiştir.

**Çizelge 7- MC, MR ve DR istatistiksel değerleri**

Table 7- Statistical values of *MC*, *MR* and *DR*

	$R^2$	$RMSE$	$MAPE$
MC	0.998	0.0015608	0.1940471
MR	0.998	0.0000971	0.2214687
DR	0.993	0.0000075	0.8627478

#### 4. Sonuçlar

Kullanıcıların tercih edebileceği etkin ve verimli bir sistem deneysel olarak incelenmiş, modellenmiş ve analiz edilmiştir. İklima bağlı kalmadan, bütün yıl boyunca ekonomik olarak ürün kurutulmasına imkân sağlayan bilgisayar kontrollü güneş destekli bir kurutucuda sıcaklık, bağıl nem, ürün ağırlığı ve kurutma şartları kontrol edilerek mantar kurutulmuştur. Pek çok değişken kontrol edilebildiğinden geniş yelpazede farklı ürünlerin kurutulmasında, ısı gereksinimi duyulan mekan ve sera ısıtması gibi uygulamalarda da kullanılabilme yeteneğine sahip bu sistemde dilimlenmiş

mantarlar ortalama 250 dakikada kurutulmuş MC, MR ve DR değerleri hesaplanmıştır. Güneş kolektörü verimi % 45-55 aralığında hesaplanırken  $COP_{sist}$  değeri ise 2.2-3.1 arasında değişmiştir. Sistemdeki cihazların (kompresör, fan, pompa vb.) verimlerinin artırılması ile ve kurutma verimine etki eden parametrelerin iyileştirilmesi ile sistem performans katsayısı ( $COP_{sist}$ ) artırılabilir. Bu sistem, konvansiyonel kurutuculara iyi bir alternatif olarak görülebilir. Enerji verimliliği, enerjinin etkin kullanımı, çevresel ve otomatik kontrol gibi faktörler açısından etkin olan bu sistem kurutma ihtiyacı duyulan proseslerde başarılı bir şekilde kullanılabilir.

Bu çalışmada, mantar kurutulmasında MC, MR ve DR parametrelerinin tahmini için bir YSA modeli geliştirilmiştir. GDIP kurutucusunda farklı kurutma şartlarında kuruma eğrilerinin deney yapmadan oluşturulabileceği bir model başarılı olarak gerçekleştirilmiştir. Buna göre, yapılan deneylerin farklı sıcaklık ve hava hızı değerlerinde MC, MR ve DR parametreleri başarılı olarak tahmin edilebilir. Bu sayede hem zamandan hem de enerjiden tasarruf yapılarak sistemin hangi sıcaklıklarda nasıl davranacağı kolayca tahmin edilebilecektir. Bu yöntem, diğer ürünler veya diğer kurutma sıcaklıkları için de tahmin modeli oluşturularak uygulanabilir. Bu YSA modelinin dilimlenmiş mantarın kuruma süreçlerinin tasarım ve kontrolü için uygulamada yararlı olacağı söylenebilir. Bunun yanında bu çalışmada, mantar kurutma, kurutucular ve kurutma konusunda yapılan modeller ile ilgili olarak araştırmacılara geniş bir literatür sunulmuştur. Bu modelin veritabanı artırılarak geliştirilebilir. Yeni bilgilerin ortaya çıkması ve sistemde bazı değişikliklerin olması durumunda hazırlanan bu model yeniden eğitilebilir.

Kısaltmalar ve Semboller			
$c$	özgül ısı, kJ (kg K) <sup>-1</sup>	$T$	sıcaklık, °C
$COP_{IP}$	ısı pompasının performans katsayısı	$t$	zaman, s
$COP_{sist}$	sistemin performans katsayısı	$V$	hız, m s <sup>-1</sup>
$DR$	kurutma hızı, g su (g kuru madde dk) <sup>-1</sup>	$V_{min}$	ilgili değişkenin minimum değeri
$F_k$	kolektör yüzey alanı, m <sup>2</sup>	$V_{max}$	ilgili değişkenin maksimum değeri
$h$	entalpi, kJ kg <sup>-1</sup>	$V_n$	ilgili değişkenin gerçek değeri
$I_{TOP}$	kolektör yüzeyine gelen toplam güneş ışınımı şiddeti, W m <sup>-2</sup>	$\dot{W}_{pomp}$	pompanın güç girişi, kW
$\dot{m}$	kütleli debi, kg s <sup>-1</sup>	$\dot{W}_{Fan}$	fanın güç girişi, kW
$MAPE$	ortalama mutlak hata yüzdesi	$\eta_{kol}$	anlık kolektör verimi
$MC$	nem içeriği, g su (g kuru madde) <sup>-1</sup>	$BN$	bağıl nem, %
$MC_{KA}$	üründeki kuru ağırlığa göre nem içeriği, g su (g kuru ağırlık) <sup>-1</sup>	DGGDIP	direkt genleşmeli güneş destekli ısı pompası
$MC_{YA}$	üründeki yaş ağırlığa göre nem içeriği, g su (g yaş ağırlık) <sup>-1</sup>	$Exp$	deneysel
$M_e$	denge nemi içeriği, g su (g kuru madde) <sup>-1</sup>	GDIP	güneş destekli ısı pompası
$M_0$	ilk nem içeriği, g su (g kuru madde) <sup>-1</sup>	IP	ısı pompası
$M_t$	“t” zamanda nem içeriği, g su (g kuru madde) <sup>-1</sup>	$KA$	kuru ağırlık
$M_{t+dt}$	“t+dt” zamanda nem içeriği, g su (g kuru madde) <sup>-1</sup>	$KO$	kurutma odası
$MR$	ayrılabilir nem oranı	$LM$	levenberg-marquardt
$RMSE$	ortalama hata kareleri karekökü	PLC	programlanabilir logic kontrol
$R^2$	çoklu belirleme katsayısı	TKIP	toprak kaynaklı ısı pompası
$\dot{Q}_C$	kompresör gücü, kW	$YSA$	yapay sinir ağı
$\dot{Q}_E$	evaporatör kapasitesi, kW	$YA$	yaş ağırlık
$\dot{Q}_K$	kondenser kapasitesi, kW		

## Kaynaklar

- Aghbashlo M, Mobli H, Rafiee S & Madadlou A (2012). The use of artificial neural network to predict exergetic performance of spray drying process: A preliminary study. *Computers and Electronics in Agriculture* **88**: 32-43
- Aktaş M, Şevik S, Doğan H & Öztürk M (2012). Fotovoltaik ve termal güneş enerjili sürekli bir kurutucuda domates kurutulması. *Tarım Bilimleri Dergisi* **18**: 287-298

- Alibaş İ (2012). Asma yaprağının (*Vitis vinifera* L.) mikrodalga enerjisiyle kurutulması ve bazı kalite parametrelerinin belirlenmesi. *Tarım Bilimleri Dergisi* **18**: 43-53
- Bala B K, Morshed M A & Rahman M F (2009). Solar drying of mushroom using solar tunnel dryer. *International Solar Food Processing Conference*, pp. 1-11
- Balbay A, Sahin O, Karabatak M (2011). An investigation of drying process of shelled pistachios in a newly

- designed fixed bed dryer system by using artificial neural network. *Drying Technology* **29**(14): 1685–96
- Best R, Cruz J M, Gutierrez J & Soto W (1996). Experimental results of a solar assisted heat pump rice drying system. *Renewable Energy* **9**: 690-694
- Boztek K & Erkip N (2002). Meşe mantarının (*Lentinula edodes*) ağaç kütükleri üzerinde yetiştiriciliği. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi* **39**(1): 149-155
- Cakmak G & Yıldız C (2011). The prediction of seedy grape drying rate using a neural network method. *Computers and Electronics in Agriculture* **75**(1): 132-138
- Ceylan İ & Aktaş M (2008a). Isı pompası destekli bir kurutucuda fındık kurutulması. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi* **23**(1): 215-222
- Ceylan İ & Aktaş M. (2008b). Energy analysis of hazelnut drying system-assisted heat pump. *International Journal of Energy Research* **32**: 971-979
- Ceylan İ & Aktas M (2008c). Modeling of a hazelnut dryer assisted heat pump by using artificial neural networks. *Applied Energy* **85**: 841-854
- Chen C R, Ramaswamy H S & Alli I, (2001). Prediction of quality changes during osmo-convective drying of blueberries using neural network models for process optimization. *Drying Technology* **19**(3-4): 507-523
- Doymaz İ (2013). Determination of infrared drying characteristics and modelling of drying behaviour of carrot pomace. *Tarım Bilimleri Dergisi* **19**: 44-53
- DPT (Devlet Planlama Teşkilatı) 2001. Bitkisel üretim özel ihtisas komisyonu sebzeçilik alt komisyon raporu, DPT Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, 2647-ÖİK: 655, Ankara
- Erenturk K, Erenturk S, & Tabil L G (2004). A comparative study for the estimation of dynamical drying behavior of *echinacea angustifolia*: regression analysis and neural network. *Computers and Electronics in Agriculture* **45**: 71–90
- Erenturk S & Erenturk K (2007). Comparison of genetic algorithm and neural network approaches for the drying process of carrot. *Journal of Food Engineering* **78**(3): 905-912
- Esen H, Inallı M, Sengur A & Esen M (2008). Performance prediction of a ground coupled heat pump system using artificial neural networks. *Expert Systems with Applications* **35**(4): 1940–1948
- Esen H & Inallı M (2009). Modeling of a vertical ground coupled heat pump system by using artificial neural networks. *Expert Systems with Applications* **36**(10): 29-38
- EYMSİB (Ege Yaş Meyve Sebze İhracatçıları Birliği) (2010). 2009-2010 dönemi çalışma raporu, EYMSİB, İzmir, s. 13
- Gothandapani L, Parvathi K & Kennedy Z J (1997). Evaluation of different methods of drying on the quality of oyster mushroom (*Pleurotus* sp). *Drying Technology* **15**: 1995-2004
- Hawladar M N A & Jahangeer K A (2006). Solar heat pump drying and water heating in the tropics. *Solar Energy* **80**(5): 492-499
- Helvacı Ş, Yapar S & Peker S (1999). Mantar kurutulması için bazı pratik öneriler. *Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Güncel Konular Serisi*, No:1, Kurutma Temel İlkeleri ve Endüstriyel Uygulamaları, (Eds. S. Peker, S. Yapar), 47-52, İzmir
- Hernandez-Perez J A, Garcia-Alvarado M A, Trystram G & Heyd B (2004). Neural networks for heat and mass transfer prediction during drying of cassava and mango. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* **5**: 57-64
- Hussain M A, Rahman M S, Ng C W (2002). Prediction of pores formation (porosity) in foods during drying: generic modes by the use of hybrid neural network. *Journal of Food Engineering* **51**: 239-248
- Jambrak A R, Mason T J, Paniwnyk L & Lelas V (2007). Accelerated drying of button mushrooms, brussels sprouts and cauliflower by applying power ultrasound and its rehydration properties. *Journal of Food Engineering* **81**: 88-97
- Jang J-S R, Sun C T & Mizutani E (1997). Neuro-fuzzy and soft computing: A computational approach to learning and machine intelligence. *Prentice-Hall International* **42**(10): 1482-1484
- Kahyaoğlu A G (2008). Kurutulmuş sebzeler. TC. Başbakanlık Dış Ticaret Müsteşarlığı İhracatı Geliştirme Etüd Merkezi, SITC No 056.1, Armonize No: 0712
- Karimi F, Rafiee S, Taheri-Garavand A & Karimi M (2012). Optimization of an air drying process for *Artemisia absinthium* leaves using response surface and artificial neural network models. *Journal of Taiwan Institute of Chemical Engineering* **43**: 29-39
- Khoshhal A, Alizadeh Dakhel A, Etemad A & Zereshki S (2010). Artificial neural network of apple drying

- process. *Journal Food Process Engineering* 33 (1): 298-313
- Kulshreshtha M, Singh A, Deepti & Vipul (2009). Effect of drying conditions on mushroom quality. School of Engineering, Taylor's University College, *Journal of Engineering Science and Technology* 4(1): 90-98
- Li H, Dai Y, Dai J, Wang X & Wei L (2010). A solar assisted heat pump drying system for grain in-store drying. *Frontiers of Energy and Power Engineering in China* 4(3): 386-391
- Lidhoo C K & Agrawal Y C (2008). Optimizing temperature in mushroom drying. *Journal of Food Processing & Preservation* 32(6): 881-897
- Menlik T, Kırmacı V & Usta H (2009). Modeling of freeze drying behaviors of strawberries by using artificial neural network. *Journal of Thermal Science and Technology* 29(2): 11-21
- Menlik T, Özdemir M B & Kırmacı V (2010). Determination of freeze-drying behaviors of apples by artificial neural network. *Expert Systems with Applications* 37(12): 7669-77
- Midilli A, Olgun H & Ayhan T (1999). Experimental studies of mushroom and pelen drying. *International Journal of Energy Research* 23: 1143-1152
- Mohanraj M, Jayaraj S & Muraleedharan C (2009). Performance prediction of a direct expansion solar assisted heat pump using artificial neural networks. *Applied Energy* 86: 1442-9
- Movagharnjad K & Nikzad M (2007). Modeling of tomato drying using artificial neural network. *Computers and Electronics in Agriculture* 59: 78-85
- Nazghelichi T, Kianmehr M H & Aghbashlo M (2011). Prediction of carrot cubes drying kinetics during fluidized bed drying by artificial neural network. *Journal of Food Science and Technology* 48(5): 542-50
- Nehru C, Kumar V, Maheswari C & Gothandapani L (1995). Solar drying characteristics of oyster mushroom. *Mushroom Research* 4(1): 27-30
- Omid M, Baharlooei A & Ahmadi H (2009). Modeling drying kinetics of pistachio nuts with multilayer feed-forward neural network. *Drying Technology* 27(10): 1069-77
- Pal U S & Chakraverty A (1997). Thin-layer convection-drying of mushrooms. *Energy Conversion and Management* 38(2): 107-113
- Palancar M C, Aragon J M & Castellanos J A (2001). Neural network model for fluidized bed dryers. *Drying Technology* 19(6): 1023-44
- Poonnoy P, Tansakul A & Chinnan M (2007). Artificial neural network modeling for temperature and moisture content prediction in tomato slices undergoing microwave-vacuum drying. *Journal of Food Science* 72(1): 42-7
- Satish S & Pydi Setty Y (2005). Modeling of a continuous fluidized bed dryer using artificial neural networks. *International Communications in Heat and Mass Transfer* 32: 539-47
- Sözen A, Arcaklıoğlu E, Menlik T & Özalp M (2009). Determination of thermodynamic properties of an alternative refrigerant (R407c) using artificial neural network. *Expert Systems with Applications* 36: 4346-56
- Sporn P & Ambrose E R (1955). The heat pump and solar energy. In: *Proceedings of the World Symposium on Applied Solar Energy*, November 1-5, Phoenix, Arizona, USA
- Şevik S (2011). Isı Pompası ve Güneş Kolektörünün Birlikte Kullanıldığı, Isıtma ve Kurutma Amaçlı Sıcak Hava Üretim Sisteminin Tasarımı, İmalatı ve Deneysel İncelenmesi. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü (Yayımlanmamış), Ankara
- Şevik S, Aktaş M, Doğan H & Koçak S (2013). Mushroom drying with solar assisted heat pump system. *Energy Conversion and Management* 72: 171-178
- Şevik S (2013). Design, experimental investigation and analysis of a solar drying system. *Energy Conversion and Management* 68: 227-234
- Toğrul H, Toğrul İ & İspir A (2005). Mantarların ince tabaka kuruma karakteristiklerinin incelenmesi. III. *Tarımsal Ürünleri Kurutma Çalıştayı*, Antalya
- Wu H & Avramidis S (2006). Prediction of timber kiln drying rates by neural networks. *Drying Technology* 24(12): 1541-5
- Xanthopoulos G, Lambrinos G & Manolopoulou H (2007). Evaluation of thin-layer models for mushroom (*agaricus bisporus*) drying. *Drying Technology* 25: 1471-81
- Zhang Q H, Yang S X, Mittal G S & Shujuan Y J (2002). Prediction of performance indices and optimal parameters of rough rice drying using neural networks. *Biosystems Engineering* 83(3): 281-290.