

## Güneş Enerjisi Destekli Kurutma Sistemi İle Elma Ürününün Kurutulması ve Kurutma Değerlerinin Yapay Sinir Ağı İle Modellenmesi

Ahmet Doğukan YAZICI<sup>1\*</sup>, Mehmet DAŞ<sup>2</sup>

*Erzincan Üniversitesi, İliç Dursun Yıldırım Meslek Yüksekokulu, Tapu ve Kadastro Programı, 24700, Erzincan, TURKEY*  
*Erzincan Üniversitesi, İliç Dursun Yıldırım Meslek Yüksekokulu, İklimlendirme ve Soğutma Teknolojisi Programı, 24700, Erzincan, TURKEY*

*\*(ahmet.yazici@erzincan.edu.tr)*

### ÖZET

Bu çalışmada güneş enerjisi destekli bir kurutma sistemi tasarlanarak elma kurutulmuştur. Kurutma deney verilerinden kuru baz nem içeriği (MCd), ayrılabilir nem oranı (MR), kurutma hızı (DR) ve konvektif ısı transfer katsayısı (hc) değerleri hesaplanmıştır. Açık havada güneş altında kurutma ile güneş enerjisi destekli kurutma sisteminde yapılan elma kurutma işleminin kurutma performansları karşılaştırılmıştır. Sistem ile kurutulan elmanın normal şartlarda güneş altında kurutmaya göre daha avantajlı olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Kurutma deneylerinde güneş enerjisi destekli kurutma sisteminde elmanın hc değerleri 15.5 – 13.5 (W/m<sup>2</sup> °C) arasında hesaplanmıştır. Güneş enerjisi destekli kurutma sisteminde yapılan deney çalışmalarından elde edilen hc değerleri için yapay sinir ağı (YSA) kullanılarak tahminsel bir model oluşturulmuştur. Uygulanan YSA ile tahminsel hc değerleri gösterilmiştir. Elde edilen tahminsel modelin geçerliliğini belirlemek için, ortalama kareli hata (MSE), kök ortalama karesel hata (RMSE) ve bağıl mutlak hata (RAE) analizleri yapılmıştır. Sonuç olarak hc değerleri için tahminsel bir model elde edilmiştir ve güneş enerjisi destekli kurutma sistemi daha verimli bir kurutma gerçekleştirmiştir.

**Anahtar Sözcükler:** Güneş Enerjisi, Kurutma, Yapay Sinir Ağı, Kolektif Isı Transfer Katsayısı, Güneş Kolektörü.

### 1.GİRİŞ

Ülkemizin, yenilenebilir enerji kaynakları arasından özellikle güneş enerjisi ve jeotermal enerji açısından oldukça avantajlı olduğu düşünüldüğünde bu kaynakların kullanımını yaygınlaştırmanın ekonomik ve stratejik katkıları çok daha büyük önem kazanmaktadır.

Artan enerji talebi ve fosil kaynakların kısıtlı rezervleri, insanlığı farklı enerji kaynakları arayışına yıllar önce yöneltmiştir. Yapılan çalışmalar, araştırmalar neticesinde yenilenebilir enerji kaynakları kullanılarak enerji üretilmeye başlatılmıştır. Bu durum, kısıtlı kaynaklar ve enerjide dışa bağımlılık göz önünde bulundurulduğunda Türkiye için önem arz etmektedir. Ülkemizin potansiyeli yenilenebilir enerji kaynakları açısından yüksektir. Yenilenebilir enerji kaynak potansiyeli olarak 2014 yılı verilerine göre 23640,9 MW hidrolik enerji, 3629,7 MW rüzgâr enerjisi, 40,2 MW güneş enerjisi, 288,2 MW biokütle enerjisi, 404,9 MW jeotermal enerji kurulu gücü bulunmaktadır [1].

Gıda kurutmada güneş enerjisinden önemli ölçüde faydalanılmaktadır. Tarım ürünlerinin güneş ışığı altında kurutulması çok eski zamanlara kadar uzanmaktadır. Fakat bu yöntemle kurutma kontrolsüz olup hijyenik bir ortam sağlanamadığı gibi homojen bir kurutma da sağlanamayarak sürekli takip edilmesi gereken, uzun zahmetli bir süreçten oluşmaktadır. Geleneksel kurutma sistemlerinde ise enerji maliyetleri yüksek, verim düşüktür.

Ayrıca bahsedilen kurutma yöntemlerinde ısı ürünün dışından içine doğru nüfuz etmesi sebebi ile kuruma süreleri oldukça uzundur [2].

Yoğunlaştırılmış güneş enerjisinin gıda alanında en geniş kullanım alanı bulabileceği proses kurutmadır. Burada güneşte kurutma işleminin klasik yöntemde (sergilerde) karşılaşılan dezavantajlarını ortadan kaldırırken enerji sarfiyatını minimuma indirmek hedeflenmektedir. Güneş enerjisinin kullanıldığı kapalı kurutucu sistemlerin geleneksel (doğal) kurutma sistemlerine kıyasla sağladığı avantajlar; ürünün kirletenlere ve zararlılara karşı korunması, yağmur ve benzeri olumsuz dış faktörlerin önüne geçilmesi, homojen sıcaklık ve nem dağılımı sağlanması, sıcaklıkta istenilen en uygun maksimum seviyeye çıkılabilmesi, hava giriş ve çıkışının kontrolü şeklinde sıralanabilmektedir. [3].

Güneş enerjisi destekli kurutma sistemlerinden en yaygın olan havalı güneş kolektörlü kurutucular ise bir güneş enerjili hava kolektörü, bir fan ve kurutma hücrelerinden oluşur. Klasik bir güneş enerjili hava kolektörü, bir yutucu plaka, hava akımının geçişi için paralel plaka veya plakalardan meydana gelmiş bir kısım, en üstte bir cam veya plastik örtü, alt ve yan kısımlarında ise yalıtılmış bir kasadan ibarettir. Güneş enerjili hava kolektörleri oldukça farklı tasarımlarda üretilmelerine rağmen, temel olarak çalışma prensipleri aynıdır. Yutucu yüzey olarak kullanılan çeşitli yüzey profillerine sahip levhalar, aralarında boşluk kalacak şekilde üst üste yerleştirilir ve bu boşluktan

geçirilen havanın yutucu yüzeye temas etmesi sağlanır. Bu temas ile yutucu yüzey tarafından absorbe edilen ısı sayesinde sıcaklığı artan hava, kollektörden sıcak hava olarak dışarı çıkar [4-5].

Güneş enerjisi destekli gıda kurutma sistemleri ile alakalı literatürde bir çok değerli çalışma mevcuttur. Bu çalışmada farklı yöntemlerle sıcak hava üretilerek gıda kurutma sistemleri, konvektif ısı transferi ve yapay sinir ağı ile gıda kurutma konuları ile ilgili literatürler verilmiştir. Akpınar ve Biçer, tarımsal ürünlerin kurutulmasında siklon tipi bir kurutucunun kullanılabilirliğini deneysel olarak araştırmışlardır. Kullandıkları patates örneklerinin sıcak hava ile temasını sağlayarak kurutma işlemini gerçekleştirmişlerdir [6]. Erdem ve diğerleri, oluşturdukları tepsili bir kurutucuda, kurutulan alabalığın üzerinde, hava girişi sıcaklığı etkisini deneysel olarak incelemiştir. Dikdörtgen kesitli imal edilen bu kurutucuda, sabit hava hızı için, alabalığın kuruma davranışını araştırmışlardır [7]. Sacılık ve Elicin, organik elma parçalarının kurutma karakteristiklerini analiz etmişlerdir [8]. Wang ve diğerleri, ince doğranmış elmaların sıcak hava ile kurutulması üzerine gerçekleştirdikleri bir çalışmada matematiksel bir model geliştirmişlerdir [9]. Özgen, kurutma havası hızının kızılıcığın kuruma karakteristikleri üzerine etkisini deneysel olarak incelemiş ve konvektif kurutucuda, farklı hızlarda çalışmanın kurutma zamanını etkilediğini göstermiştir [10]. Altıntaş ve ark, düz yutucu plaka ile konik yayların yerleştirildiği yutucu plakaya sahip hava ısıtmalı güneş kollektörlerinin verimi ve kollektör çıkış sıcaklığını incelemiştir. Elde ettikleri değerleri YSA ile tahmin etmiş ve %97 tahmin başarısı elde etmişlerdir [11]. Şevik ve ark., güneş destekli bir ısı pompalı kurutucuda mantar kurutmuşlardır. Deneylerden elde edilen nem içeriği (MC), (MR) ve (DR) değerleri Levenberg-Marquardt (LM) geri yayılım öğrenme algoritması ve Fermi transfer fonksiyonu kullanılarak YSA ile modellenmişlerdir. Geliştirilen modelin istatistiksel geçerliliğinin belirlenmesinde çoklu belirleme katsayısı ( $R^2$ ), (RMSE), ve ortalama mutlak hata yüzdesi (MAPE) istatistik değerlerini kullanmışlardır [12]. Erentürk ve ark., farklı kuruma şartları ve farklı örnek kalınlıkları için havucun tek tabaka kuruma kinetiğini incelemiştir. Kuruma verileri kullanılarak kurutma eğrileri elde etmişlerdir. Kuruma kinetiğini ifade etmek amacıyla literatürde bulunan dört farklı kurutma modeli sisteme uygulamışlardır. Modellerin kıyaslanması,  $r$ ,  $r^2$ ,  $\chi^2$ , ve SSR değerleri bulunarak yapmışlardır. Bunlara ek olarak nem içeriği tahmininde YSA modelleri uygulanmış ve seçilen modellerle kıyaslamışlardır [13].

Kurutma işleminde bir diğer göz önünde bulundurulması gereken faktör de konvektif ısı transfer katsayısıdır. Konvektif ısı transfer katsayısı hava ve ürünün arasındaki sıcaklık farkından dolayı kurutucu havası için önemli bir parametredir [14]. Kurutma üzerine bazı teoriksel ve deneysel çalışmalar yapılmasına karşın ısı transfer katsayısını incelemek için sınırlı çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Ratti ve Crapiste [15] yiyeceklerin kurutulması esnasındaki ısı transfer katsayılarını, kurutma verileri ile ısı ve kütle transferi dengelemelerinden hesaplamışlardır. Goyal ve Tiwari [16] kurutmada ısı ve kütle transferi analizi üzerinde çalışmalar yapmışlardır. Nohudun ve buğdayın ısı transfer katsayılarını 12.68 ve 9.62 W/m<sup>2</sup>C olarak hesaplamışlardır. Anwar ve Tiwari [17] doğal taşınımında direkt güneş altında

kurutmada ısı transfer katsayısının bulunması için çalışma yapmışlardır. Altı farklı tarımsal ürün için elde edilen deneysel verilerden yararlanılmış ve lineer regresyon analizini kullanarak ısı transfer katsayısını hesaplamışlardır.

Bu çalışmada güneş kollektörlü kurutma sisteminde ve açık güneş altında kurutulan elmanın konvektif ısı transfer katsayıları hesaplanmıştır. Her iki kurutma yönteminin performansı incelenmiştir. Hesaplanan konvektif ısı transfer katsayıları değerleri ile yapay sinir ağı kullanılarak tahminsel bir model oluşturulmuştur.

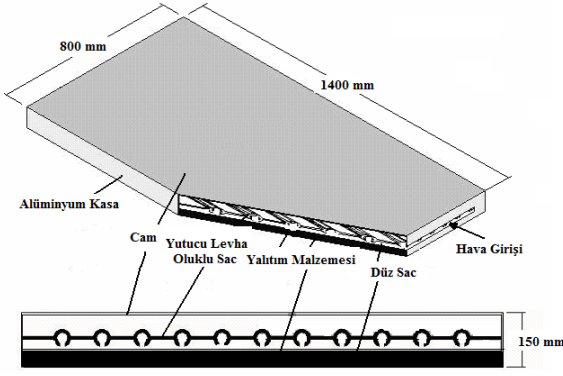
## 2. MATERYAL ve METOT

### 2.1. Deneysel Kurulum

Deney seti 1 adet sabit HIGK, 1 adet kurutma kabini ve 1 adet kollektörlere bağlı radyal sirkülasyon fanından oluşmaktadır (Şekil-1). Deneylerde kullanılan HIGK'leri 1400mm x 800mm ebatlarında olup, saydam örtü, yutucu plaka, düz plaka, yalıtım malzemesi ve dış kasadan meydana gelmektedir. Saydam örtü olarak cam, yutucu plaka olarak siyah mat boyanmış oluklu paslanmaz çelik sac (kalınlık 0.5 mm), düz plaka olarak siyah mat boyanmış paslanmaz çelik sac (kalınlık 0.5 mm), yalıtım malzemesi olarak taş yünü (kalınlık 4 cm) ve kasa malzemesi olarak alüminyum (kalınlık 4mm) kullanılmıştır (Şekil-2). Sabit HIGK'ü ise 23.7 ° (yerel enlem 38.4 °) kollektör açısı altında güneşe yöneltilip, bu açıda paslanmaz çelik ayak ile sabitlenmiştir. HIGK nin hava girişi kısımlarına bağlı bir santrifüj fan, (0.0833 m<sup>3</sup>/s, 0.25 kW, 220 V, 50 Hz, 1380 dev/dak) şartlanmış hava sağlar (hız, 0.4 m/s).



Şekil 1. Hava ısıtmalı güneş kollektörlü kurutma sistemi ve açık güneşte kurutma



Şekil 2. Hava ısıtmalı güneş kolektörü detayı

Kurutma deneylerinde kullanılan elmalar Golden Delicious cinsi elmadır. Kurutma deneyleri Temmuz 2017 döneminde Elazığ'da gerçekleştirilmiştir. Testler sabah 9:30'da başlayıp akşam 16:30'a kadar devam etmiştir. Deneylerde hava sıcaklığı ve bağıl nem, güneş kolektöründeki havanın giriş ve çıkış sıcaklıkları, kurutma kabiniindeki çeşitli noktadaki sıcaklıklar, kabin içindeki havanın nemi, giriş ve çıkış sıcaklıkları, rüzgar hızları, güneş enerjisi miktarı, güneş ışınım değerleri ve kurutma kabini içerisindeki elmaların kütle kaybı değerleri 30 dakika arayla ölçülmüştür.

Kurutma kabinleri, alüminyum malzemeden (kalınlık 2 mm) yapılmış olup dikdörtgen boyutlarında tasarlanmışlardır. (100 cm x 50 cm x 100 cm). Kolektör ile kurutma kabini arasında ısıtılan havayı aktarmak için bükülebilir sarmal alüminyum tip boru kullanılmıştır. Kabinlerin alt tarafı, kolektörden gelen sıcak havayı kabine iletmek için davlumbazlı olarak imal edilmişlerdir. Kabindeki kurutma havası, kabin üstünde açılır kapanır menfezden atmosfere çıkmaktadır. Kurutma kabini içine 3 adet kurutma tepsisi (90 cm x 40 cm) yerleştirilmiştir.

Sıcaklık ölçümlerinde, elle kontrol edilen 20 kanallı otomatik dijital termometre (ELIMKO, 6400, Türkiye) ile J tipi demir kondansatör termokuplları kullanılmıştır. Rüzgâr hızı, 0-15 m/s aralıklı anemometre (LUTRON, AM-4201, Tayvan) ile ölçülmüştür. Elmaların kütle kaybı, kurutma esnasında 0-3100 g ölçüm aralığında dijital tartı (BEL, Mark 3100, İtalya) ile ölçülmüştür. Kurutma sisteminin işletme süresi boyunca güneş radyasyonu, bir Kipp ve Zonen pirometre ve CC12 modeli dijital güneş bütünleştiricisi ile ölçülmüştür. Elmaların başlangıç ve nihai nem içeriği, Shimadzu Moc63 nem analiz cihazı ile 80 °C'de  $\pm 0.001$  g hassasiyetle belirlenmiştir.

## 2.2. Sistem Analizi

Sistemin kurutma analizlerinde kullanılan bazı genel eşitlikler aşağıda verilmiştir. Elmalardaki kuru esasa göre nem içeriği ( $MC_k$ ) ve yaş esasa göre nem içeriği ( $MC_y$ ) değerleri için sırasıyla denklem 1 ve denklem 2 kullanılmıştır.

$$MC_y = \frac{W_w - D_w}{D_w} \quad (1)$$

$$MC_k = \frac{W_w - D_w}{W_w} \times 100 \quad (2)$$

Eşitlik (1) ve (2) 'de;  $W_w$  ıslak ağırlık ve  $D_w$  kuru ağırlıktır. ( $MR$ ) ve ( $DR$ ) değerleri Eşitlik (3) ve (4) kullanılarak hesaplanmıştır.

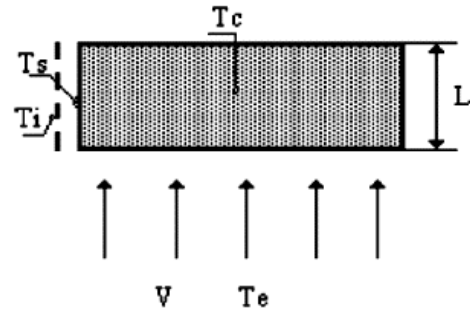
$$MR = \frac{M - M_e}{M_o - M_e} \quad (3)$$

$$DR = \frac{M_{t+dt} - M_t}{dt} \quad (4)$$

Eşitlik (3) ve (4) 'te;  $M$  nem,  $M_e$  denge nemi,  $M_o$  ilk nem, " $M_{t+dt}$ ", " $t + dt$ " de ki nem içeriğidir ve  $M_t$  ise " $t$ " de ki nem içeriğidir.

Konvektif ısı transferi hareketli bir akışkan ile katı yüzey arasında gerçekleşir. Bu çalışmada düz plaka üzerinde zorlanmış konveksiyon akışı için konvektif ısı transferi araştırılmıştır. Akışkanın viskozitesi, akışkanın plakanın yüzeyinde sıfır hızına sahip olmasını gerektirir. Bir sınır tabakası mevcut olduğu için akış ilk olarak laminardır ancak akışın Reynolds sayısı yeterince yüksek olduğunda türbülansla ilerleyebilir [18].

Plakanın (elma örneği) iç sıcaklıkta ( $T_i$ ) tutulduğu ve plaka uzunluğunun ( $L$ ), türbülanslı akışın hiçbir zaman tetiklenmeyecek şekilde yeterince kısa olduğu kabul edilmiştir. (Şekil 3).



Şekil 3. Düz bir plaka üzerinde zorlanmış akış için konvektif ısı transferi.

Ortalama ısı transfer katsayısı, laminar akış için Pohlhausen Eşitliği (Eşitlik 5) ve aşağıda verilen [19] diğer Eşitlikler (Eşitlik 6-8) kullanarak hesaplanmıştır:

$$Nu_{lam} = 0.664 \cdot Re^{1/2} \cdot Pr^{1/3} \quad (Re < 2 \times 10^5) \quad (5)$$

$$Nu = \frac{h_c \cdot L}{K_v} \quad (6)$$

$$Re = \frac{L \cdot V \cdot \rho_v}{\mu_v} \quad (7)$$

$$Pr = \frac{\mu_v \cdot C_v}{K_v} \quad (8)$$

Reynolds sayısı ( $Re$ ) ve Prandtl sayısı ( $Pr$ ) hesaplamasında kullanılan nemli havanın farklı fiziksel özellikleri olan yoğunluk ( $\rho_v$ ), ısı iletkenlik ( $K_v$ ), özgül ısı

(Cv) ve viskozite ( $\mu_v$ ) aşağıdaki polinom ifadelerini kullanarak belirlenmiştir [20-22]. Nemli havanın fiziksel özelliklerini elde etmek için Eşitlik (9-13) kullanılmıştır.

$$\rho_v = \frac{353.44}{(T_i + 273.15)} \quad (9)$$

$$K_v = 0.0244 + 0.6773 \times 10^{-4} T_i \quad (10)$$

$$C_v = 999.2 + 0.1434 T_i + 1.101 \times 10^{-4} T_i^2 - 6.7581 \times 10^{-8} T_i^3 \quad (11)$$

$$\mu_v = 1.718 \times 10^{-5} + 4.620 \times 10^{-8} T_i \quad (12)$$

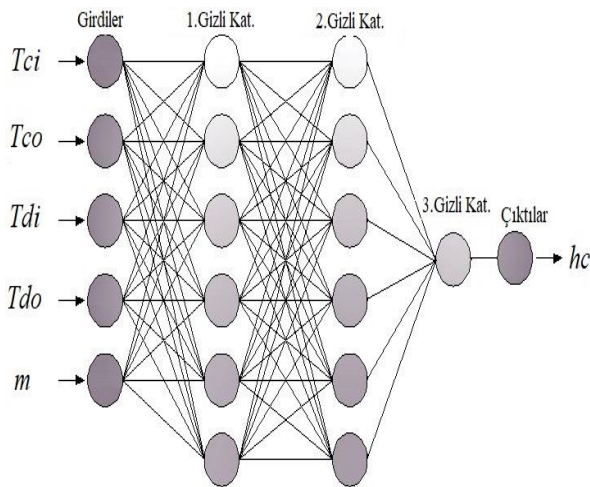
$$T_i = \frac{(T_c + T_e)}{2} \quad (13)$$

Burada nemli havanın elde edilen fiziksel özellikleri için  $T_i$ , ortam sıcaklığı ( $T_e$ ) ve ürünün yüzey sıcaklığının ( $T_c$ ) ortalaması olarak alınmaktadır.

### 2.3. Yapay Sinir Ağları

Yapay sinir ağları ya da kısaca YSA; insan beyninin çalışma sisteminin yapay olarak benzetimi çabalarının bir sonucu olarak ortaya çıkmıştır. YSA, belirli değerlere dayanarak, girdi alanında olan noktaları çıktı alanında olan eş noktalara belli bir fonksiyonla bağlamaktadır [23]. Yapay sinir ağları, örüntü tanıma, tahmin etme, sınıflandırma vb. geniş uygulama alanına sahiptir. Yapay sinir ağları, insanlara benzer olarak örnekler ile öğrenirler. Bu nedenle veri seti, eğitim ve test kümesi olarak iki kısma ayrılır [24].

Sisteminde 30 dakikalık ölçümlerle belirlenen kurutma odası sıcaklıklarına için yapılan deneylere ait hc değerleri Eşitlik (5-13)' ten hesaplanmıştır. Toplam olarak 5 katmandan oluşan modelin girdi katmanı 5 girdi için 5 nöron, birinci gizli katman 6 nöron, ikinci gizli katman 6 nöron, üçüncü gizli katman için 1 nöron ve çıktı katmanı ise sadece tek bir nöron içermektedir. Oluşturulan YSA modelinin yapısı Şekil 4.'te verilmiştir.



Şekil.4 YSA yapısı

Bu çalışmada hc değerleri yapay sinir ağı kullanılarak tahminsel modeller oluşturulmuştur. Tahminsel model oluşturmada MATLAB2016a yazılımı kullanılmıştır. YSA

için toplam 80 adet veri kullanılmıştır. Bu verilerin 53 adedi eğitim için 27 adedi test için kullanılmıştır. YSA'ya ait kullanılan ağ için kollektör giriş sıcaklığı ( $T_{ci}$ ), kollektör çıkış sıcaklığı ( $T_{co}$ ), kurutma odası giriş sıcaklığı ( $T_{di}$ ), kurutma odası çıkış sıcaklığı ( $T_{do}$ ) ve ürün ağırlığı ( $m$ ) değerleri giriş verisi olarak seçilmiştir. Çıkış verisi olarak konvektif ısı transfer katsayısı  $hc$  seçilmiştir.

YSA kullanılarak elde edilen tahminsel modelin doğruluğunu belirlemek için ortalama mutlak hata (MSE), (RMSE), (RAE) analizleri yapılmıştır. Hata analizleri sonuçları Tablo 1.'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Hata Analizleri, Formülleri ve Parametreleri

Hata Analizi	Formülü	Parametreler
<b>MSE</b>	$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_{exp,i} - A_{ANN,i})^2$	P: Tahmin Değeri A: Gerçek Değer n: Toplam Hata Değeri
<b>RMSE</b>	$\sqrt{\frac{(P_1 - A_1)^2 + \dots + (P_n - A_n)^2}{n}}$	P: Tahmin Değeri A: Gerçek Değer n: Toplam Hata Değeri
<b>RAE</b>	$\frac{ P_1 - A_1  + \dots +  P_n - A_n }{ A_1 - A_1'  + \dots +  A_n - A_n' }$	P: Tahmin Değeri A: Gerçek Değer A': Gerçek Değer Ortalaması

### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

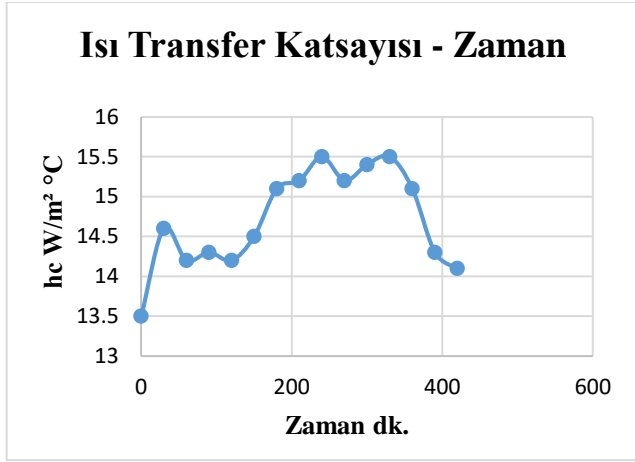
Hava ısıtımali güneş kollektörlü kurutma sisteminde kurutma öncesi ve sonrası elma dilimleri Şekil 5.'te gösterilmiştir.



**Şekil.5** Güneş Kolektörlü Kurutma Sistemi ile Elma ürünlerinin kurutma öncesi ve sonrası görüntüleri

Kurutma kabinindeki kurutma tepleri metal olduğu için kuruma sırasında ürün kenarlarında Şekil 5.'te görüldüğü gibi kararma meydana gelmiştir. Bu kararma, metal tepsinin kurutma esnasında pişirme etkisi oluşturduğu için ortaya çıkmıştır.

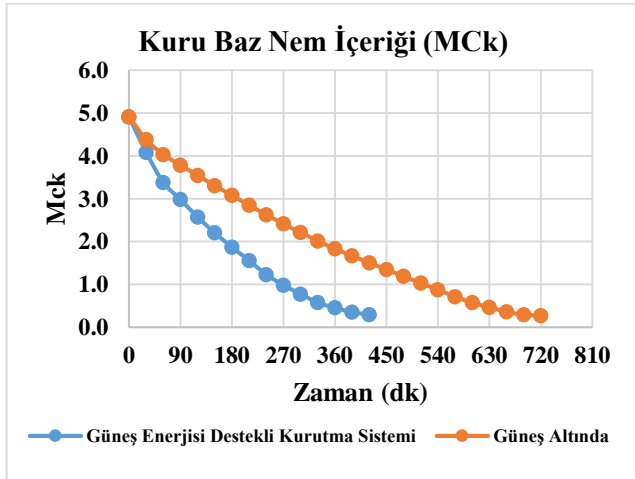
Elma kurutma deneyleri sonucu hesaplanan (hc) Şekil 6.'da gösterilmiştir.



**Şekil 6.** Elma ürününe ait hc değerleri

Şekil 6.'ya göre elmanın hc değerleri 15.5 – 13.5 (W/m² °C) arasında değişmektedir. Ürün tartımı sırasında her hangi bir kütle değişimi olmadığı için kurutma 420. dakikada sonlandırılmıştır.

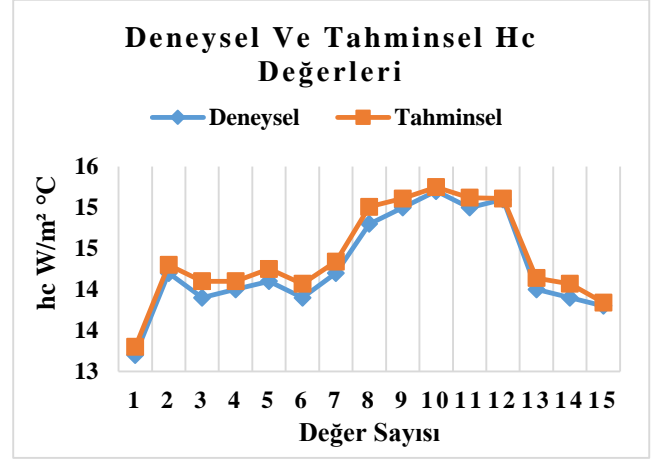
Elma ürününe ait kuru baz nem içeriği (Mck) değerleri hem açık havada güneş altında hemde güneş enerjisi destekli kurutma sisteminde ayrı ayrı hesaplanmış ve elde edilen değerler Şekil 7.'de gösterilmiştir.



**Şekil 7.** Güneş enerjisi destekli kurutma sistemi ve güneş altında kurutmada elma ürününün Mck değerleri

Şekil 7.'ye göre güneş enerjisi destekli kurutma sisteminde gerçekleşen kuruma, güneş altında gerçekleşen kurumadan daha kısa sürede gerçekleşmiştir. Güneş enerjisi destekli kurutma sistemi elma ürününü güneş altında kurutmaya göre 5 saat daha erken kurutmuştur.

Kurutulan elma ürününün her otuz dakikalık ölçümler sonrası hesaplanan konvektif ısı transfer katsayıları için YSA modeli kullanılarak tahminsel hc değerleri elde edilmiştir. Elde edilen tahminsel hc değerleri Şekil 7.'de gösterilmiştir.



**Şekil 8.** Elma ürününe ait hc değerleri

Şekil 8'e göre deneysel ve tahminsel hc değerleri birbirlerine yakındır. En iyi tahmin 1.,12. Ve 15. değerlerde gerçekleşmiştir.

YSA'da kullanılan hc değerleri tahminsel model için ortaya çıkan hata oranları Tablo 2.'de verilmiştir.

**Tablo 2.** YSA tahminsel modeli hata değerleri

Hata Analizi	Hata Oranı
MSE	0,091
RMSE	0,101
RAE	22.0822 %

Tablo 2.'ye göre MSE hata analizi en az hata oranına sahip olan analizdir.

#### 4. SONUÇLAR

Bu çalışmada elma ürününün kurutma davranışları incelenmiştir. Elma kurutmak için hava ısıtmalı güneş kolektörlü kurutma sistemi tasarlanmıştır. Elma hem açık havada hem güneş enerjisi destekli kurutma sisteminde kurutulmuştur. Şekil 7.'ye göre güneş enerjisi destekli kurutma sisteminin kurutma performansı, açık havada güneş altında yapılan kurutmaya göre daha iyidir. Kurutma deneylerinde güneş enerjisi destekli kurutma sisteminde elmanın hc değerleri 15.5 – 13.5 (W/m² °C) arasında hesaplanmıştır. Hesaplamalar sonucu elde edilen hc değerleri için YSA kullanılarak tahminsel bir model oluşturulmuştur. Şekil 8.'de görüldüğü gibi YSA ile tahmin edilen hc değerleri deneysel değerlere daha yakındır. Tablo 2.'de verilen hata oranları düşürülerek daha iyi sonuçlar ortaya çıkarılabilir. Tahminsel model oluşumunda için 80 adet veri kullanılmıştır. Daha uzun kuruma süresine sahip ürünler kullanılarak daha fazla veri elde edilebilir ve farklı hesapsal zeka yöntemleri kullanarak daha başarılı tahminsel modeller elde edilebilir.

#### 4. SONUÇLAR

Bu çalışmada Bu çalışma 11-13 Nisan 2018 tarihinde Türkiye-Antalya'da düzenlenen "1st International Symposium on Innovative Approaches in Scientific Studies (ISAS 2018)" sempozyumunda sözlü bildiri olarak sunulmuştur.

#### KAYNAKLAR

- [1] Özdemir, M. B., Yatarkalkmaz, M. M., & Dağlı, G. (2017). Farklı Soğurucu Yüzey Tiplerine Sahip Düzlemsel Kolektörlerin Deneysel Analizi. *Politeknik Dergisi*, 20(2), 441-449.
- [2] Kuş S. (2016). Mikrodalga Enerjisiyle Ayva ve Armut Meyvesinin Kuruma Davranışı ve Modellemesi. Yüksek Lisans Tezi, Namik Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [3] Yılmaz, T . (2017). Üzüm Kurutma İşlemi İçin Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Kullanımı. *Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 13 (2), 537-544. DOI: 10.18466/cbayarfb.320007.
- [4] Bulut H. and Durmaz A.F., Bir Havalı Güneş Kolektörünün Tasarımı, İmalatı Ve Deneysel Analizi, UGHEK'2006: I. Ulusal Güneş Ve Hidrojen Enerjisi Kongresi, 168-175, Eskişehir.
- [5] Bulut H., Durmaz A.F. and Aktacir M. A., Bir Havalı Güneş Kolektörünün Isıl Performans Analizi, 3. Güneş Enerjisi Sistemleri Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 2007, 53-61, Mersin.
- [6] Kavak, A. E., Biçer, Y. 2002. "Tarımsal Ürünlerin Kurutulmasında Siklon Tipi Bir Kurutucunun Kullanılabilirliği," *Mühendis ve Makina Dergisi*, cilt 43, sayı 515, s. 21-26.
- [7] Erdem, M., Öztıp, H. F., Varol, Y., Kamışlı, F. 2013. "Tepsili Bir Kurutucuda Kurutulan Alabalığın Üzerinde Hava Giriş Sıcaklığı Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi," *Dicle Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü 2. Anadolu Enerji Sempozyumu*, 2-4 Mayıs, Diyarbakır, s. 741-745.
- [8] Sacilik, K., Elicin, A. K. 2006. "The Thin Layer Drying Characteristics of Organic Apple Slices," *Journal of Food Engineering*, vol. 73, p. 281-289.
- [9] Wang, Z., Sun, J., Liao, X., Chen, F., Zhao, G., Wu, J., Hu, X. 2007. "Mathematical Modeling on Hot Air Drying of Thin Layer Apple Pomace," *Food Research International*, vol. 40, p. 39-46.
- [10] Özgen, F. 2013. "Kurutma Havası Hızının Kızılıcığın Kuruma Karakteristikleri Üzerine Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi," *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, sayı 25 (2), s. 99-105.
- [11] Altınbaş V., Akgül B.M., Abuşka M. "Yutucu Plaka Üzerine Konik Yayların Yerleştirildiği Güneş Enerjili Hava Kolektörünün Isıl Verim Analizi Ve Yapay Sinir Ağları İle Modellenmesi", *Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, İzmir, 2015.
- [12] Şevik S., Aktaş M., Özdemir B. M., Doğan H., "Modeling of Drying Behaviors of Mushroom in a Solar Assisted Heat", *Journal of Agricultural Sciences*, 20 ,187-202, 2014.
- [13] Erentürk S., Erentürk K., "Havuç Kuruma Kinetiğinin Tahmininde Regresyon Analizi ve Yapay Sinir Ağlarının Kıyaslanması", *Türkiye 9. Gıda Kongresi*, Bolu, 2006.
- [14] AKPINAR, E.K., 2004. "Experinemtal determination of convective heat transfer coefficient of some agricultural product in forced convection drying", *Int. Comm. Heat and Mass Transfer*. 31(4): 585- 595.
- [15] RATTI, C., and CRAPISTE, G.H., "Determination of heat transfer coefficients during of food stuffs", *Journal of Food Process Engineering*. 18: 41-53, 1995.
- [16] GOYAL, R.K., TIWARI, G.N., "Heat and mass transfer relations for crop drying", *Drying Technol.*, 16(8): 1741-1754, 1998.
- [17] ANWAR, S.I., TIWARI, G.N., "Evaluation of convective heat transfer coefficient in crop drying under open sun drying conditions", *Energy Convers. Mgmt.* 42(5): 627-637, 2001.
- [18] Pitts, D.R.; Sissom, L.E. *Schaums's Outline of Theory and Problems of Heat Transfer*; McGraw-Hill Inc, New York, NY, USA, 1977.
- [19] Velic, D.; Planinic, M.; Tomas, S.; Bilic, M. Influence of airflow velocity on kinetics of convection apple drying. *J. Food Eng.* 64, 97–102, 2004.
- [20] Anwar, SI.; Tiwari, GN. Evaluation of convective heat transfer coefficient in crop drying under open sun drying conditions, *Energy Convers Mgmt*, 42(5):627-637, 2001.
- [21] Anwar, SI.; Tiwari, GN. Convective heat transfer coefficient of crop in forced convection drying-an experimental study, *Energy Convers Mgmt.*, 42:1687-98, 2001.
- [22] Tiwari, GN. *Solar Energy, Fundamentals, Design, Modelling and Applications*. Alpha Science Int'l Ltd. 2002.
- [23] Özdemir, M. B., Aktaş, M., Şevik, S., & Khanlari, A. (2017). Modeling of a convective-infrared kiwifruit drying process. *International Journal of Hydrogen Energy*, 28, 18005-18013.
- [24] Teti, R., Jemielniak, K., O'Donnell, G., Dornfeld, D. (2010). Advanced monitoring of machining operations. *Cirp Annals-Manufacturing Technology*, 59 ,717-739.