



# Güneş enerjili bir kurutucudaki ekserjetik faktörlerin hesaplanması ve yapay sinir ağı ile modellenmesi

**Mehmet DAŞ \***

Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 60250, Tokat  
[mehmet.das@gop.edu.tr](mailto:mehmet.das@gop.edu.tr) ORCID: 0000-0002-4143-9226, Tel: (446) 711 21 00 (38014)

**Ebru KAVAK AKPINAR**

Fırat Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 23100, Elazığ  
[ebruakpinar@firat.edu.tr](mailto:ebruakpinar@firat.edu.tr) ORCID: 0000-0003-0666-9189

Geliş: 01.07.2019, Revizyon: 31.07.2019, Kabul Tarihi: 05.09.2019

## Öz

Termodinamik analiz, özellikle ekserji analizi, termal sistemlerin analizi için önemli bir araçtır. Kurutma sistemlerinde ekserji hesaplamaları için birçok formülasyon ve veri kullanılmaktadır. Bugün, büyük miktarda veriyi elle işlemek ve analiz etmek zordur. Bu nedenle, verilen bir problemi çözmek için problem ortamından elde edilen verileri yapay zeka yöntemleri ile eğiterek çözüme ulaşmak hedeflenmektedir. Bu çalışmada, elma ürünü bir güneş enerjili kurutma sisteminde kurutulmuştur ve ürünün kurutma işleminin ekserji analizi yapılmıştır. Bazı ekserjetik faktörlerin elma ürünü kurutmasında kullanılan kurutma sisteminin performansı üzerine etkileri incelenmiştir. Bu amaçla, ekserji etkisi, atık ekserji oranı (AEO), çevresel etki faktörü (ÇEF), ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi (ESI) ve iyileştirme potansiyeli (IP) gibi ekserjetik faktörler dikkate alınmıştır. Ekserjetik bir faktör olan AEO değerlerini tahmin etmek için yapay sinir ağı kullanılarak öngörücü bir model oluşturulmuştur. Modelin geçerliliğini hesaplamak için ortalama mutlak hata (MAE), kök ortalama kare hatası (RMSE), göreceli mutlak hata (RAE) ve kök göreceli mutlak hata (RRAE) hata analizleri kullanılmıştır. Sonuç olarak, kuruma süresi arttıkça AEO artmıştır. Güneş enerjisi kurutma sisteminin ekserji verimliliği ve gelişme potansiyeli, kuruma süresi arttıkça azalmıştır. YSA kullanılarak oluşturulan öngörücü model, AEO değerlerini başarıyla öngörmüştür. Elde edilen öngörü modelinin farklı kurutma sistemleri ve farklı ürünler için kullanılabileceği gösterilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Güneş kurutma, Ekserjetik faktörler, Atık ekserji oranı, Yapay sinir ağı

\* Yazışmaların yapılacağı yazar:

DOI: 10.24012/dumf.585021

## Giriş

Enerji, ülkelerin gelişmişlik düzeylerini ve sanayinin yanı sıra insanların günlük ihtiyacını belirleyen en önemli faktörlerden biridir. Enerji; kömür, petrol, doğal gaz gibi fosil kaynaklardan veya güneş, rüzgâr ve su gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilir. Ancak gittikçe daha fazla tükenmekte olan fosil yakıtlar gün geçtikçe daha pahalı hale gelmekte ve yakın gelecekte tükenme durumu ile karşı karşıya kalmaktadır. Bu yüzden ihtiyaç duyulan enerji gün geçtikçe artacak, ucuz, temiz ve yenilenebilir enerjiye olan ilgi giderek artacaktır (Bilgili vd., 2007)

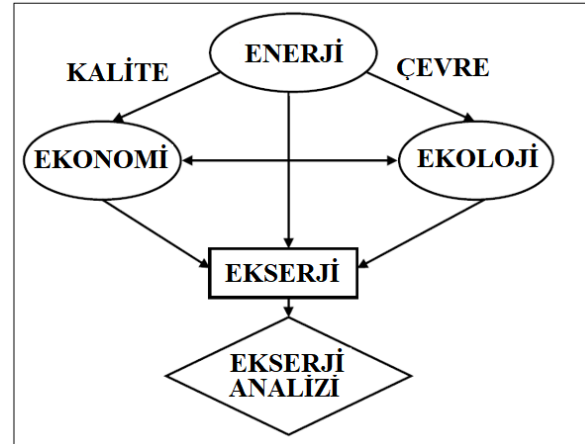
Güneş, insanlık tarihi boyunca mevcut en büyük karbon içermeyen enerji kaynağıdır. Güneş enerjisinin birincil enerji kaynağı olarak nasıl kullanılacağını ve uygulanacağını öğrenmek için birçok araştırma yapılmıştır (Bulut vd., 2017). Genellikle, güneş enerjisi uygulaması iki temel gruba ayrılır. Birincisi, doğrudan güneş enerjisini elektrige dönüştüren fotovoltaik hücreleri kullanarak elektrik üretimi ve diğer ana grup ise güneşle kurutma işleminin dahil olduğu termal uygulama kategorisidir (Mekhilef vd., 2012).

Enerji ve ekserji kriterleri, enerji dönüşüm sistemlerinin değerlendirilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Enerji ve ekserji, sistemlerin incelenmesinde en temel yöntemlerdir ve termodinamiğin birinci yasasına dayanır (Bilgili ve Yıldız, 2017). Bununla birlikte, enerji analizinde önemli bir yere sahip olan çevresel koşulların ekserji analizlerinde göz önünde bulundurulması ve termodinamiğin ikinci kanununa göre incelenmesi önem teşkil etmektedir. Kütle ve enerji akışının doğasının bir ölçüsü olan ekserji, referans çevresel koşullar altında sistemde elde edilebilecek azami çalışma olarak tanımlanmaktadır (Orhan vd., 2009)

Bir enerji dönüşüm sistemi tasarımında, mühendisler verimliliği artırmak ve çevresel etkileri en aza indirmek için enerji bazlı yöntemler kullanır. Bu yöntemlere ek olarak, termodinamik verimsizlik ve enerjinin çevreye aktarılması gibi faktörler de önemlidir. Termodinamik verimsizlik, ekserjetik analizle belirlenebilir (Morosuk vd., 2013).

Ekserji analizi, çalışılacak enerjinin potansiyelini ve kalitesini ortaya çıkararak, enerjinin erişilemeyen kısmından dolayı enerjinin miktarını, türlerini ve yerini belirlemeyi sağlar. Böylece sistemdeki kayıplar ve sistemin verimliliği ayrıntılı bir şekilde belirlenebilir, düşük verimli çalışma parçaları tespit edilebilir ve geliştirilebilir ve farklı sistemler birbirleriyle karşılaştırılabilir (Song vd., 2002).

Diğer yandan; enerji, ekonomi ve çevre ile ilgili disiplinler arası bir kavram olan ekserji analizi; enerji kullanımı sırasında ekonomi ve çevre üzerindeki etkilerin değerlendirilmesinde etkili bir yöntem haline getirmektedir (Gong, 2001). Bu durum şematik olarak Şekil 1'de gösterilmiştir (Rivero vd., 2002).



Şekil 1. Enerji-ekonomi-ekoloji ilişkisinin ekserji analizi açısından değerlendirilmesi

Son zamanlarda, yapay zeka kullanarak enerji ve ekserji analizi üzerine çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar, ekserji kullanımı ve ekserji analizine farklı bir boyut kazandırmaktadır. Herhangi bir sistemin ekserji analizi için tahminli modellemesi, başka bir sisteme örnek olması açısından önemlidir.

Ghritlahre ve Prasad, kaba bir güneş enerjili hava ısıtıcısının performansını ortaya çıkarmak için yapay bir sinir ağı (YSA) modeli kullanılarak sistemin ekserjetik performansını tahmin etmişlerdir. YSA modelinde giriş katmanında deney zamanı, güneş radyasyonu yoğunluğu, pürüzlülük boyutu, atmosferik sıcaklık, ortalama hava sıcaklığı, emici plaka sıcaklığı, giriş

katmanındaki havanın kütle akış hızı ve ekserji girişi, ekserji gibi yedi parametre kullanmışlardır. Çıkış katmanında, ekserji verimliliği, ekserji imhası ve iyileştirme potansiyeli parametrelerini kullanmışlardır. YSA modelinde ortalama kare hata (MSE) değerleri, varyans katsayısı (COV) ve ortalama nispi hata (MRE) hata analizlerini kullanmışlardır. İstatistiksel sonuçlar, kullandıkları YSA modelinin, güneş enerjili hava ısıtıcısının dışsal performansını başarıyla öngördüğünü göstermiştir. (Ghritlahre vd., 2018). Valencia ve diğ. YSA kullanarak kojenerasyon sisteminin mikroturbinli ekserjetik performansını incelemiştir. Geliştirilen bir termodinamik model kullanarak bir geri yayılım sinir ağını eğitmişlerdir. Termodinamiğin ikinci yasasının etkinliğini tahmin etmek ve Matlab kullanarak performans göstergelerini, bir Capstone 30-kW gaz mikroturbini kullanarak bir kojenerasyon sistemini değerlendirmişlerdir (Valencia vd., 2018). Gill ve Singh, bir buhar sıkıştırımlı soğutma sisteminde R134a'ya alternatif olarak R134a ve LPG soğutucu karışımından oluşan bir soğutucunun ekserjetik analizini gerçekleştirmişlerdir. Sonuçlar, R134a ve LPG soğutucu akışkan karışımının, R134a'dan daha yüksek performans katsayısı ve ekserji verimlilik değerlerine sahip olduğunu göstermişlerdir. Adaptif nöro-bulanık çıkarım sistemi kullanarak R134a / LPG sisteminin Ekserji verimliliğini tahmin etmişlerdir (Gill ve Singh, 2017). Aghbashlo ve diğ. YSA kullanarak sprey kurutma işleminin ekserjetik performansı tahmin etmişlerdir. Optimal YSA modelini bulmak için çeşitli hata minimizasyon algoritmaları, transfer fonksiyonları ve gizli nöronların sayısının etkinliğini araştırmışlardır. Çıkış parametrelerini (giriş ekserji, çıkış ekserji, kayıp ekserji, tahrip olmuş ekserji, entropi üretimi, ekserji verimliliği ve iyileştirme potansiyeli oranı) ile dört girdi parametresi arasında bir ilişki kurmak için çok katmanlı bir algılayıcı (MLP) YSA kullanmışlardır. Sonuç olarak, elde ettikleri YSA modelinin yüksek ekserji verimliliğine sahip kurutma koşullarını belirlemek için kullanılabileceğini göstermişlerdir (Aghbashlo

vd., 2012). Osuolale ve diğ. atmosferik ve vakumlu damıtma sistemlerinin ekserjetik faktörlerini incelemişlerdir. Çalışmalarında, termodinamiğin ikinci yasasına göre inceledikleri ham damıtma ünitesinin ekserjetik faktörlerinin modellenmesi ve optimizasyonu için bir ön sinir ağı tabanlı YSA modeli sunmuşlardır (Osuolale vd., 2018).

Bu çalışmada, güneş enerjisi kurutma sisteminde enerji kullanım oranının ve bazı ekserjetik faktörlerin elma kurutma performansına etkisi incelenmiştir. Güneş enerjisi kurutma sisteminin ekserji değerlendirmesi için literatürde dış verimlilik, atık ekserji hızı, çevresel etki faktörü, dış sürdürülebilirlik endeksi ve iyileştirme potansiyeli olarak çeşitli ekserjetik faktörler kullanılmıştır (Midilli ve Küçük, 2015). Ekserjetik bir gösterge olan atık ekserji oranını tahmin etmek için YSA kullanılarak öngörücü bir model oluşturulmuştur. Modelin geçerliliğini hesaplamak için ortalama mutlak hata (MAE), kök ortalama kare hatası (RMSE), göreceli mutlak hata (RAE) ve kök göreceli mutlak hata (RRAE) hata analizleri kullanılmıştır.

## Analizler

### Enerji Analizi

Enerji kullanım oranı (EKO), güneşli havalı kolektörlerinden elde edilen faydalı enerjinin enerji kullanım değerine oranı olarak belirtilmiştir. Güneş enerjili kurutma sisteminin kurutma kabinin enerji kullanım oranı Eşitlik 1 ile ifade edilmiştir (Akpınar, 2010).

$$EKO = \frac{\dot{m}_{da} (h_{dci} - h_{dco})}{\dot{m}_{da} c_{pda} (T_{co} - T_{ci})} \quad (1)$$

### Ekserji Analizi

Güneş enerjili kurutma sisteminin ekserji dengesi Eşitlik 2 yardımı ile Eşitlik 3-4-5 ile ifade edilmiştir (Midilli ve Küçük, 2015).

$$\sum \dot{E}x_{in} = \sum \dot{E}x_L + \sum \dot{E}x_d + \sum \dot{E}x_{eus} \quad (2)$$

$$\sum \dot{E}x_d = \sum \dot{E}x_{input,f} + \sum \dot{E}x_{input,sol} - \sum \dot{E}x_{dci} \quad (3)$$

$$\sum \dot{E}x_{in} = \sum \dot{E}x_{input,f} + \sum \dot{E}x_{input,sol} \quad (4)$$

$$\sum \dot{E}x_L = \sum \dot{E}x_{dco} \quad (5)$$

Eşitlik 3 ve 4 de bulunan  $\sum \dot{E}x_{input,f}$  fan tarafından elde edilen ekserjiyi,  $\sum \dot{E}x_{input,sol}$  ise güneş kolektörü tarafından elde edilen ekserjiyi göstermektedir (Midilli ve Küçük, 2015).

Eğer Eşitlik 3-5, Eşitlik 2 de yerine konursa Eşitlik 6 elde edilir.

$$\sum \dot{E}x_{eus} = \sum \dot{E}x_{dci} - \sum \dot{E}x_{dco} \quad (6)$$

Eşitlik 6 da  $\sum \dot{E}x_{dci}$  kurutma kabinine giren ekserjiyi,  $\sum \dot{E}x_{dco}$  ise kurutma kabininde çıkan ekserjiyi ifade etmektedir.

Güneşte kurutma işlemlerinin ekserjetik değerlendirilmesi için çeşitli ekserjetik faktörler kullanılmıştır ve bu ekserjetik faktörlerin tanımları ile özetlenmiş bir listesi Tablo 1'de gösterilmiştir (Midilli ve Küçük, 2015), (Zisopoulos vd., 2017), (Van Gool, 1997).

**Tablo1.** Literatürde bulunan bazı ekserjetik faktörlerin listesi

<i>Adı</i>	<i>Formülü</i>	<i>Eşitlik Numarası</i>
Ekserji verimi	$\eta_{ex} = \sum \dot{E}x_{eus} / \sum \dot{E}x_{in}$	7
AEO	$AEO = (\sum \dot{E}x_d + \sum \dot{E}x_L) / \sum \dot{E}x_{in}$	8
ÇEF	$\text{ÇEF} = AEO \frac{1}{\eta_{ex}}$	9
ESI	$ESI = \frac{1}{\text{ÇEF}}$	10
IP	$IP = (1 - \eta_{ex})(\dot{E}x_{dci} - \dot{E}x_{dco})$	11

## Materyal ve Metot

### Deneyel Kurulum

Kurutma deney seti, esasen, hava ile ısıtılan bir güneş kolektör paneline (1400 mm x 800 mm), bir sirkülasyon fanına ve bir kurutma kabinine sahip olan dolaylı bir zorlamalı konveksiyonlu güneş enerjili kurutucudan oluşmuştur. Havalı güneş kolektör paneli, dış kısmı siyah boya ile boyanmış paslanmaz çelik plakalardan (kalınlığı 0.5 mm) yapılmıştır. Güneş enerjili hava ısıtıcı kolektörü, siyah boya ile boyanmış olan bakır levhayla (kalınlık, 0.4 mm) kaplanmıştır. Cam, ısı kaybını önlemek için hava ısıtıcı üzerinde

şeffaf bir kapak olarak kullanılmıştır. Hava ısıtmalı güneş kolektörü, 23.7° (yerel enlem 38.4°) kolektör açısı altında güneşe doğru yönlendirilmiştir. Hava ısıtmalı güneş kolektörü ayakları bu açıya sabitlenmiştir. Kolektör çerçevesi paslanmaz çelik sacdan yapılmıştır. Kurutucuda elma kurutma işlemi için delikli kurutma tepsisi (90 cm x 40 cm) kullanılmıştır. Deneyel kurulum Şekil 2'de gösterilmektedir.



Şekil 2. Deneysel Kurulum

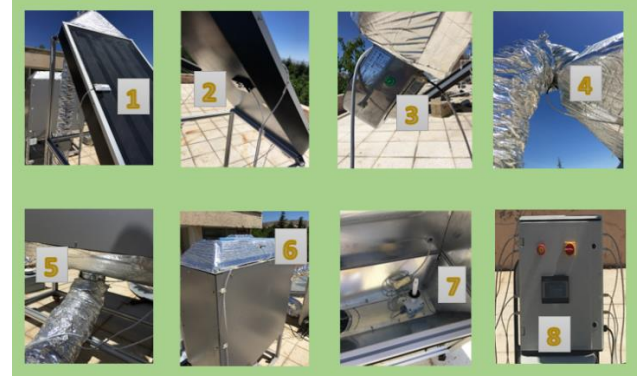
Kurutma kabini alüminyum malzemeden (kalınlık 2 mm) yapılmış ve dikdörtgen boyutlarda (100 cm x 50 cm x 100 cm) tasarlanmıştır. Isıtılmış havayı kolektör paneli ile kurutma dolabı arasına aktarmak için spiral alüminyum tip boru kullanılmıştır. Kolektör paneli ve kabin arasında sıcak hava transferi için kullanılan alüminyum spiral boru bağlantıları sızdırmaz şekilde monte edilmiştir. Kabinlerin alt kısmı, sıcak havayı kolektörden kabine iletmek için davlumbaz olarak üretilmiştir. Kabindeki kuruma havası, kabindeki menfezden dışarıya atılmıştır. Kurutma dolabına üç kurutma tepsisi (90 cm x 40 cm) yerleştirilmiştir. Kurutma kabine bağlı bir sirkülasyon fanı (0,9 m<sup>3</sup> / s, 0,4 kW, 220 V, 50 Hz) ile hava sağlamıştır.

### Deney Prosedürü

Deneylerde kullanılacak elma ürünü kalınlığı 5 mm olacak şekilde oval olarak dilimlenmiştir. Deneyler, 2017 yılı Haziran ayında Elazığ'da gerçekleştirilmiştir. Elazığ, Anadolu'nun doğusundaki 38° 60'N ve 39° 28'in ve 950m deniz seviyesinin üzerinde yer almaktadır. Kurutma deneyi sabah 08.00'de başlamış ve akşam 18.00'a kadar devam etmiştir.

Deneylerde, kolektör giriş sıcaklığı, kolektör çıkış sıcaklığı, kolektör cam sıcaklığı, kolektör taban sıcaklığı, kurutma kabini giriş sıcaklığı, kurutma kabini çıkış sıcaklığı, kurutma kabini sıcaklığı, kurutma kabini nemi, güneş radyasyonu, kurutma kabini hava hızı ve elma ürününün kütle kaybı 30 dakikada periyotlarla ölçülmüştür. Hava ısıtılmalı güneş kolektörlü deney setinin kolektör giriş sıcaklığı, kolektör çıkış sıcaklığı, kolektör cam sıcaklığı, kolektör tabanı, sıcaklık, kurutma dolabı giriş sıcaklığı,

kurutma dolabı çıkış sıcaklığı, kurutma dolabı sıcaklığı ve kurutma dolabı nem ölçüm noktaları Şekil 3'te verilmiştir. Bu ölçüm noktaları için su geçirmez DS18B20 dijital sıcaklık sensörleri kullanılmıştır.



Şekil 3. Ölçüm Noktaları

Şekil 3.'te 1-Panel cam sıcaklığı, 2- panel zemin sıcaklığı, 3- panel giriş sıcaklığı, 4- panel çıkış sıcaklığı, 5- kurutma kabini giriş sıcaklığı, 6- kurutma kabini çıkış sıcaklığı, 7- kurutma kabini sıcaklığı, 7- kurutma kabini nemi ve 8- ölçüm izleme ekranı ile gösterilmiştir.

Elma ürünü sıcaklıklarının ölçülmesinde J tipi demir konstant ısı çiftler, manuel olarak kontrol edilen 20 kanallı otomatik dijital termometre (ELIMKO, 6400) ile  $\pm 0,1$  °C okuma hassasiyeti ile kullanılmıştır. Kurutma kabininin hava hızı 0-15 m/s aralığında çalışan anemometre (LUTRON, AM-4201) ile ve  $\pm 0,1$  m/s okuma hassasiyeti ile ölçülmüştür. Elma ürününde kütle kaybı, 0-3100 g ölçüm aralığında ve 0.001 g hassasiyetinde dijital ağırlık ölçer (BEL, Mark 3100, İtalya) ile ölçülmüştür. Kurutma sisteminin çalışması sırasındaki güneş ışınımı, 0.1 W/m<sup>2</sup> hassasiyetinde Kipp ve Zonen pirometre ve CC12 model dijital güneş entegratörü ile ölçülmüştür. Elmaların ilk ve son nem içeriği, 80 ° C'de Unibloc nem analiz cihazı (Shimadzu MOC63u) ile 0.001 g hassasiyetle belirlenmiştir.

### Yapay Sinir Ağları

Yapay sinir ağı (YSA), karmaşık problemleri modellemek için birçok disiplinde yaygın olarak kabul edilen bir bilgisayarlı modelleme aracıdır (Biswas vd., 2017). YSA başlangıçta biyolojik

bir sinir sisteminin performansını modellemek için tasarlanmıştır. Bir YSA'nın iç mimarisi, biyolojik bir beynin bir dizi katmanı ile tamamen aynıdır. Birbirine bağlı düğümlerden veya nöronlardan oluşan bir ağ yapısına sahiptir. En yaygın kullanılan YSA mimarisi giriş katmanından, gizli katmanlardan ve çıkış katmanından oluşur. Bu YSA türüne çok katmanlı bir algılayıcı (MLP) denir (Eslamian vd., 2012).

Bu çalışmada, deneylerde elde edilen atık ekserji değerleri için Levenberg-Marquardt (LM)

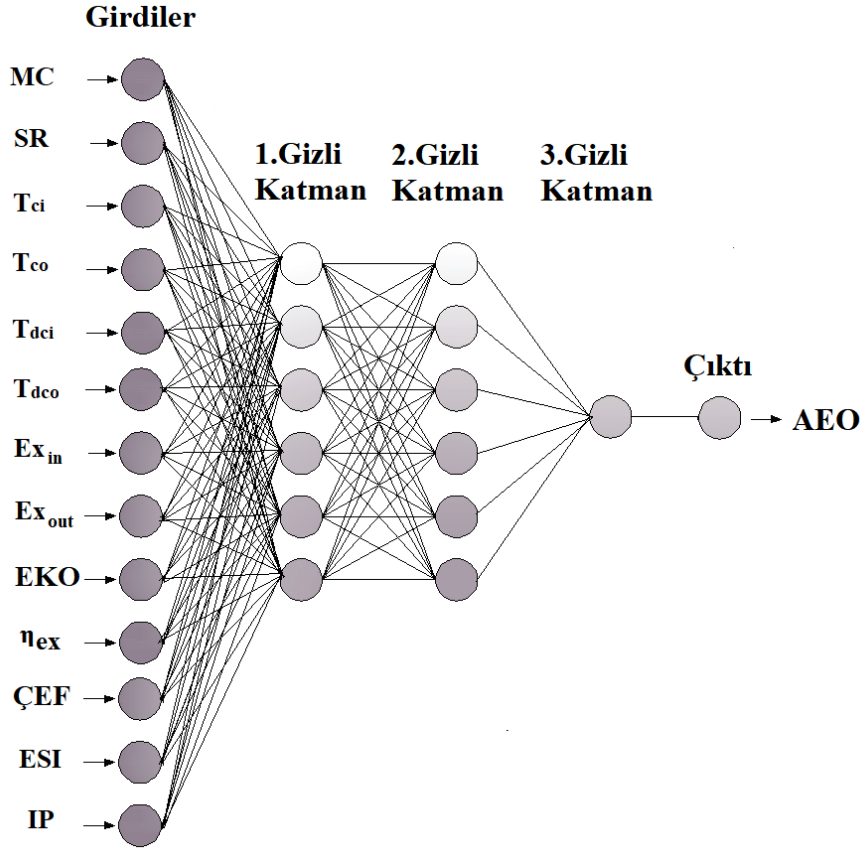
backpropagation öğrenme algoritması, Logsig aktivasyon fonksiyonu ve Backpropagation öğrenme fonksiyonu YSA'da kullanılmıştır. Ortalama mutlak hata (MAE), kök ortalama kare hatası (RMSE), göreceli mutlak hata (RAE) ve kök göreceli mutlak hata (RRAE) hata analizleri, tahmin edilen değerleri model değerlendirmedeki gerçek değerlerle karşılaştırmak için kullanılmıştır. Hata analizinin formülleri ve parametreleri aşağıdaki Tablo 2'de verilmiştir.

**Tablo 2.** Hata analizleri ve formülleri

Hata Analizi	Formüller	Parametreler
MAE	$\frac{ P_1 - A_1  + \dots +  P_n - A_n }{n}$	P: Tahmin Değeri A: Gerçek Değer n: Toplam Hata Değeri
RMSE	$\sqrt{\frac{(P_1 - A_1)^2 + \dots + (P_n - A_n)^2}{n}}$	P: Tahmin Değeri A: Gerçek Değer n: Toplam Hata Değeri
RAE	$\frac{ P_1 - A_1  + \dots +  P_n - A_n }{ A_1 - A'  + \dots +  A_n - A' }$	P: Tahmin Değeri A: Gerçek Değer A': Gerçek Değer Ortalaması
RRAE	$\sqrt{\frac{(P_1 - A_1)^2 + \dots + (P_n - A_n)^2}{( A_1 - A' )^2 + \dots + ( A_n - A' )^2}}$	P: Tahmin Değeri A: Gerçek Değer A': Gerçek Değer Ortalaması

AEO değerini tahmin etmek için kullanılan ağ 13 girdi verileri ve 1 çıktı verisi olarak modellenmiştir. Ağ için giriş verileri olarak; MC nem içeriği (su/gkuru madde), SR güneş radyasyonu (W/m<sup>2</sup>), T<sub>ci</sub> kollektör giriş sıcaklığı (°C), T<sub>co</sub> kollektör çıkış sıcaklığı (°C), T<sub>dci</sub> kurutma kabininin giriş sıcaklığı (°C), T<sub>dco</sub> kurutma kabin çıkış sıcaklığı (°C), kurutma kabininin EX<sub>g</sub> girişi (kj / kg), Kurutma kabininin EX<sub>c</sub> çıkışı (kj / kg), EKO enerji kullanım oranı, η<sub>ex</sub> ekserji verimi, ÇEF çevresel etki faktörü, ESI

enerji sürdürülebilirlik endeksi ve IP iyileştirme potansiyeli değerleri kullanılmıştır. Çıktı verileri olarak; AEO değerleri kullanılmıştır. YSA da orta katman olarak; altı gizli katman oluşturulmuş ve ara katların sayısı değiştirilerek en iyi çözümler elde edilmeye çalışılmıştır. Üretilen ANN ağ modelinin yapısı Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4. YSA Ağ Yapısı

Yapay sinir ağları ile AEO değerlerinin tahmini MATLAB 2018b yazılımı kullanılarak yapılmıştır. YSA modelinde toplam 294 veri kullanılmıştır. Eğitim için 200 veri, test için 94 veri kullanılmıştır. Veriler, Ten-Cross doğrulama yöntemine göre YSA da kullanılmıştır. Ten-Cross, bir makine öğrenim modelindeki bir test hatasını tahmin etmek için model seçiminde kullanılan bir tekniktir. YSA yapısı Tablo 4'te gösterilmiştir.

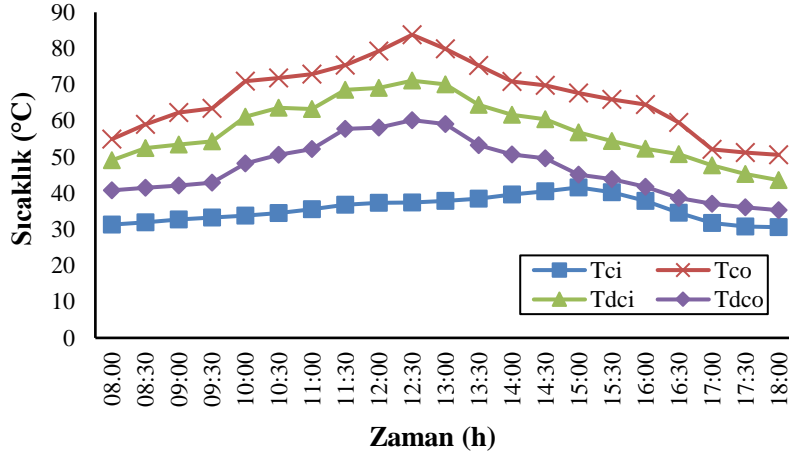
**Tablo 4.** YSA Yapısı ve Parametreleri

Gizli Katman Sayısı	3
Gizli Katmanlardaki Nöron Sayısı	6-6-1
Ağırlık Değerleri	Random
Aktivasyon Fonksiyonu	Logsig
Transfer Fonksiyonu	Tangent Sigmoid Transfer

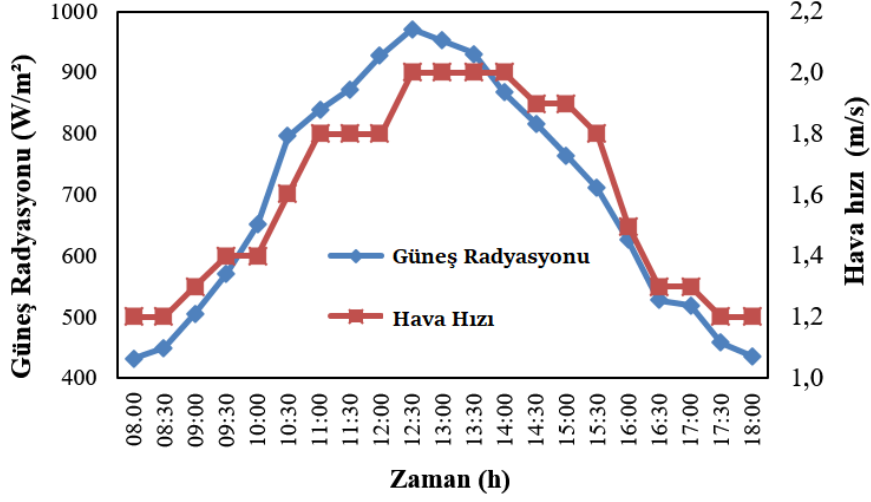
Gizli Katman Sayısı	3
Öğrenme Fonksiyonu	Feed-Forward Backpropagation

## Bulgular ve Tartışma

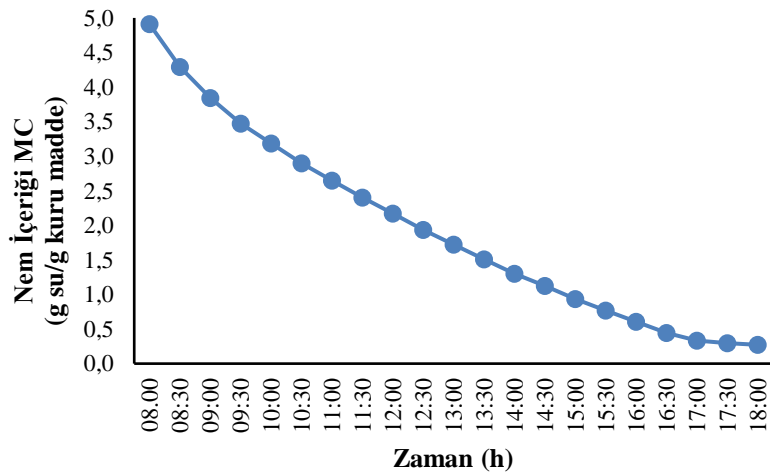
Güneşte kurutma deneyleri sırasında, girişteki hava sıcaklığı ve güneş kolektörünün çıkışı sırasıyla 30.1 - 83.4 °C arasında değişmiştir. Giriş havasındaki kurutma havasının sıcaklığı ve kurutma dolabının çıkışı sırasıyla 71.1 - 35.3 °C arasında değişmiştir (Şekil 5). Güneşli kurutucudaki ve ortam sıcaklığındaki kuruma sıcaklığı kuruma süresi ile sürekli değişmiştir. Doğrudan anlık güneş ışınımı en yüksek değeri 970.3 W/m<sup>2</sup> olarak ölçülmüştür (Şekil 6). Güneş radyasyonu enerjisi akşam ve sabah saatlerinde minimum değerlerde, öğle saatlerinde maksimum seviyede ölçülmüştür. Kurutma kabinindeki hava hızları, deneysel çalışma günü boyunca 1.2 ms<sup>-1</sup> ile 2.0 ms<sup>-1</sup> arasında değişmiştir (Şekil 6).



Şekil 5. Güneş enerjili kurutma sisteminde sıcaklık değerlerinin zamanla değişimi



Şekil 6 Güneş radyasyonu ve hava hızı değerlerinin zamanla değişimi



Şekil 7. MC değerlerinin zamanla değişimi



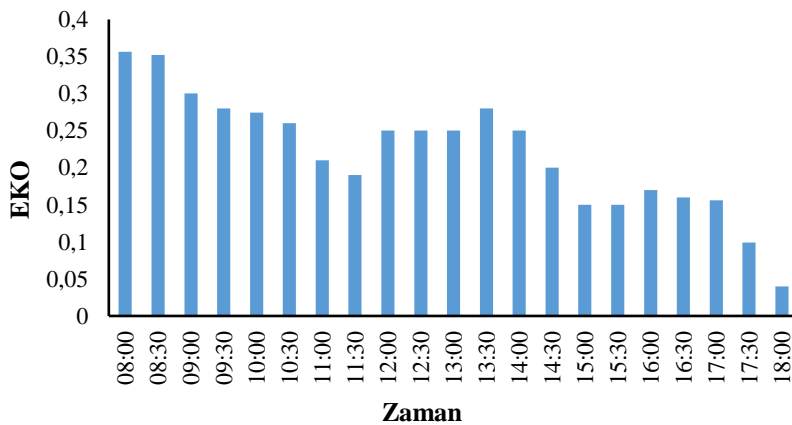
Şekil 7.'ye göre elma ürününün başlangıç nem içeriği değeri  $4.9 \text{ g}_{\text{su}}/\text{g}_{\text{kuru madde}}$  dir. Elma ürünü MC değeri  $0.3 \text{ g}_{\text{su}}/\text{g}_{\text{kuru madde}}$  olana kadar kurutma işlemi devam etmiştir. Bu değerden sonra nem içeriği değişmemiştir. Elma ürünü güneş enerjili kurutucuda 10 saat içerisinde kurutulmuştur.

EKO değeri kurutma işlemlerinde enerji kullanımını analiz etmek için önemli bir parametredir. Aynı zamanda EKO, kurutulmuş ürünlerin yapısına ve nem içeriğine göre değişmektedir. Şekil 8, zamanın bir fonksiyonu olarak EKO'nun değişimini göstermektedir. Güneş enerjili kurutma kabiniinde EKO'nun % 10,25 ile % 46,57 arasında değiştiği görülmüştür. Kurutma deneylerinde EKO değeri sabah saatlerinde (deneyin başında) en yüksek seviyeye ulaşmış ve akşam saatlerinde (deneyin sonunda) minimum değerde kalmıştır. EKO gün boyunca birbirine yakın değerler almıştır, ancak genel olarak düşüş eğilimi göstermiştir.

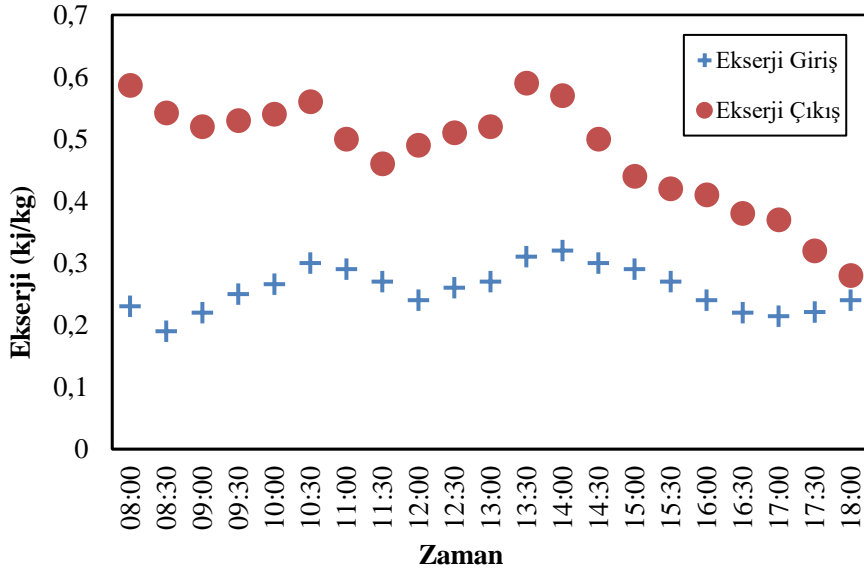
Şekil 9 da kurutma odası ekserji girişinin ve çıkışının kuruma süresindeki değişimini gösterilmiştir. Kurutma odasına giren ve çıkan enerji sırasıyla 0,19 - 0,59 (kJ/kg) arasında değişmiştir. Şekil 9'a göre Ekserji akışı zamanla azalmıştır. Değerler gün içinde azalan bir eğilim göstermiştir.

Ekserji verimliliği ( $\eta_{\text{ex}}$ ), bir güneş kurutma sisteminin sürdürülebilirlik değerlendirmesinde

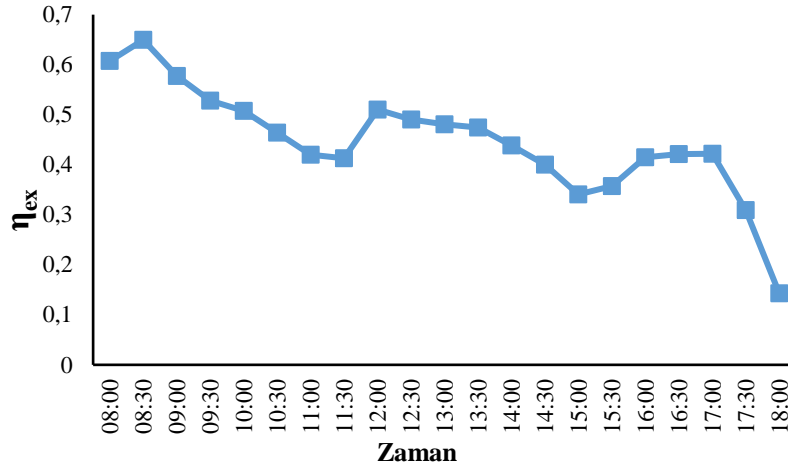
en sık kullanılan göstergelerden biridir. Dışsal girdilerin belirli bir süreç içinde ne kadar iyi kullanıldığını gösterir. Ekserji verimi, temel olarak toplam ekserji girdisine ve kurutma kabiniinde güneş enerjili bir kurutma sistemi için kullanılan toplam enerjiye dayanmaktadır. AEO değeri, güneş kurutma sisteminin atık enerji yönetimi gerekliliğini ifade etmek için önemli bir parametredir [12]. Ekserji performansı ve ekserji sürdürülebilirlik, bir güneş kurutma sisteminin AEO değerinin azalması ile artar. Bir sistemde AEO değeri ne kadar düşükse o kadar iyi verim gösterir. Güneş kurutma sistemi için dış enerji verimliliği ve atık enerji oranı sırasıyla Eşitlik 7 ve Eşitlik 8 kullanılarak hesaplanmıştır. Ekserji verimliliği ve AEO değerlerinin kuruma süresi değişimleri, Şekil 10-12'de gösterilmiştir. Ekserji verimi kurutma süresine göre zamanla azalmıştır. Ekserji verimi, kurutma kabini için %14,09 ile %62,13 arasında değişmiştir. AEO değerleri % 37,86'dan % 85,9'a yükselmiştir. AEO değerleri zamanla artmıştır. Şekil 12'de görüldüğü gibi, değerler azalırken, AEO değerleri artış göstermiştir. Çünkü güneş kurutma sisteminin atık ekserji oranı, havalı güneş kollektörü, kurutma kabini ve fanadaki ekserji kayıplarının bir sonucudur.



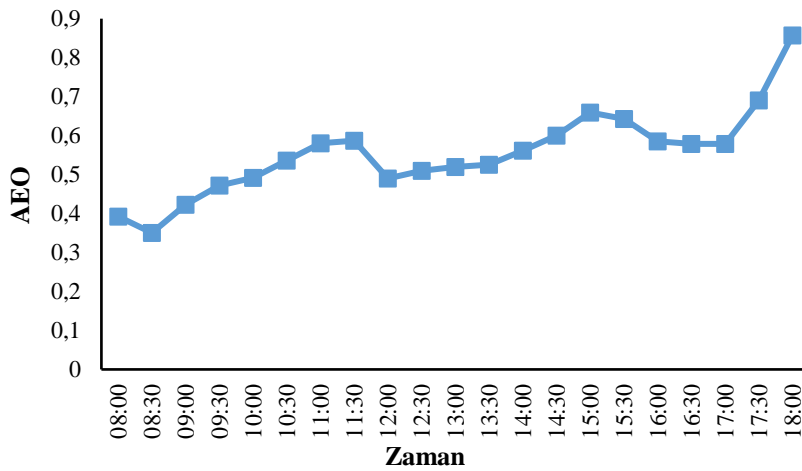
Şekil 8. EKO değerlerinin zamanla değişimi



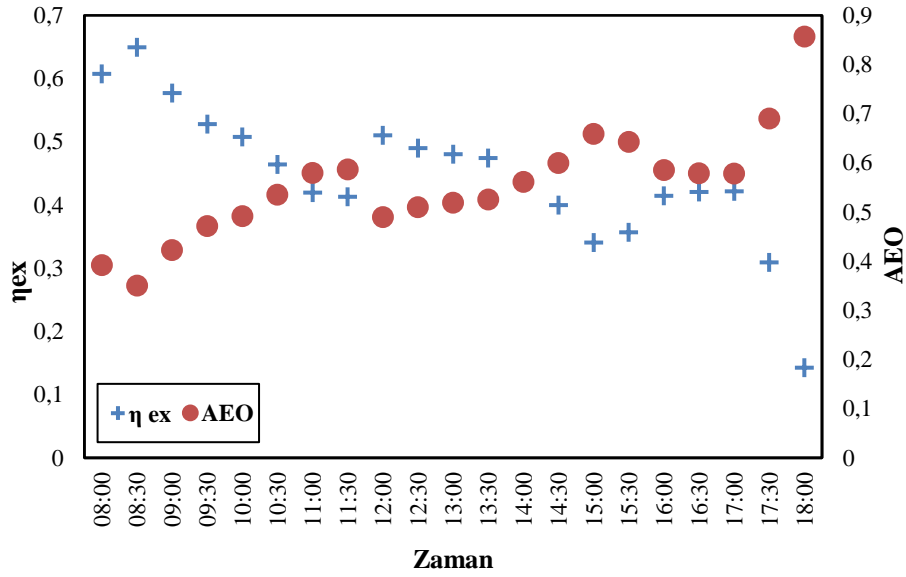
Şekil 9. Ekserji değerlerinin zamanla değişimi



Şekil 10. Ekserji verim değerlerinin zamanla değişimi



Şekil 11. AEO değerlerinin zamanla değişimi



Şekil 12- Ekserji veriminin ve AEO değerlerinin zamanla değişimi

ÇEF değerleri bir güneş kurutma sistemi ve dış enerji sürdürülebilirlik endeksi (ESI) için atık ekserji oranının ve dış enerji verimliliğinin bir fonksiyonu olarak Eşitlik 9-10 ile ifade edilmiştir. Çevresel etki faktörü, atık enerji çıktısı nedeniyle çevrenin zarar görüp görmediğini gösteren önemli bir parametredir (Gong vd., 2001). Ekserjetik sürdürülebilirlik endeksinin ve güneş kuruma sistemi için zamanla çevresel etki faktörünün değişimi sırasıyla Şekil 13 ve 14'te verilmiştir. Şekil 13 ve 14'te gösterildiği gibi, ESI ve ÇEF değerleri kuruma süresi ile önemli ölçüde değişmiştir. Kuruma süresi arttıkça, ESI değerleri azalmış ve ÇEF değerleri artmıştır. Güneş kurutma sistemi için ESI değerlerinin 0,16 ile 1,84 arasında değiştiği tespit edilmiştir. Ayrıca, güneş kurutma sistemi için ÇEF değerleri 0,64'den 3,32'ye kadar değişim göstermiştir. ESI ve ÇEF değerlerinin zamanın fonksiyonu olarak değişimi, güneş kurutma sistemi için Şekil 15'te gösterilmiştir. Şekiller 12-15'te gösterildiği gibi, ESI değerleri arttıkça ÇEF değerleri yükselmiştir. Bu durum ESI ve ÇEF değerlerinin ters orantılı olduğunu göstermektedir. Güneş kurutma sisteminde toplam AEO değerleri arttığında, ESI azalmıştır ve bu nedenle ÇEF değerleri artmıştır [12]. Şekil 16, IP değerlerinin zaman içindeki değişimini göstermektedir. IP değerleri 0'dan 0,141 kJ / kg

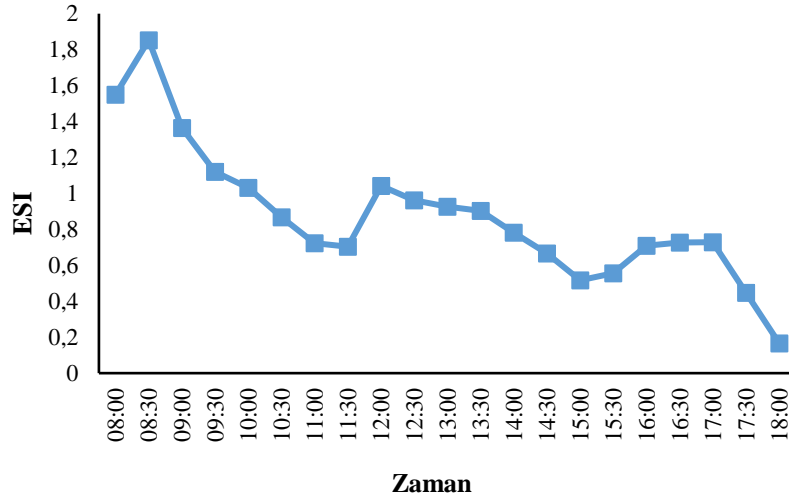
değerleri arasında değişim göstermiştir. IP değerleri kuruma süresinin artmasıyla azalmıştır. Literatürde yapılmış olan kurutma süreçlerindeki IP değerleri incelemelerinde Fudholi vd. (2013), güneş kollektörü ortalama IP değerini 0.085 kJ olarak hesaplamışlardır. Fudholi vd. (2015), çalışmalarında hurma yaprağı kurutmuşlar ve kurutma sisteminin ortalama IP değerini 0.017 kJ/kg olarak bulmuşlardır. İbrahim vd. (2013), güneş kollektörünün ortalama IP değerini 0.02 kJ olarak bulmuşlardır. AEO değerlerini tahmin etmek için MATLAB programında YSA yöntemi kullanılmıştır. Yapay sinir ağı kullanılarak MATLAB' tan elde edilen modelin ortalama karesel hata (MSE) hata analizi ve eğitimler, validasyon ve test setleriyle ilgili hata performansları Şekil 17'de gösterilmiştir. Şekil 17. Eğitimin sonucu, her bir yinelemedeki eğitim, doğrulama ve test setleri için hata değerlerindeki değişimi göstermektedir. Grafikte görüldüğü gibi, ağı eğitimi 1000 yineleme ile optimum sonuca ulaşmıştır. MATLAB'daki eğitimler, validasyon ve test setleri için regresyon grafiği Şekil 18'de gösterilmektedir. Şekil 18'deki grafiğe göre en düşük değer doğrulama setine ait 0,92192'dir. Tahmini model, deneysel verilerden elde edilen AEO değerleri için YSA kullanılarak elde edilmiştir. Tahmini model tarafından elde edilen AEO

değerleri, Şekil 19'da gösterilmiştir. Şekil 19'a göre, öngörücü ve deneysel AEO değerleri birbirine çok yakındır. En iyi tahmin 7, 13 ve 17 değerlerinde gerçekleşmiştir. En kötü tahmin 2 ve 21 değerlerinde gerçekleşmiştir. YSA ile elde

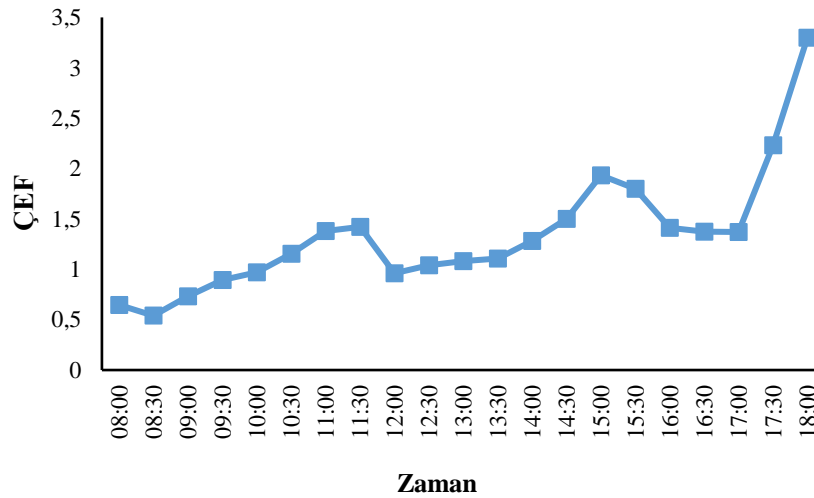
edilen modelin hata analizi sonuçları Tablo 5'de verilmiştir. Tablo 5'teki hata oranları 1'den düşüktür ve YSA başarılı bir şekilde tahminsel modeli oluşturmuştur.

**Tablo 5.** YSA Hata Analiz Sonuçları

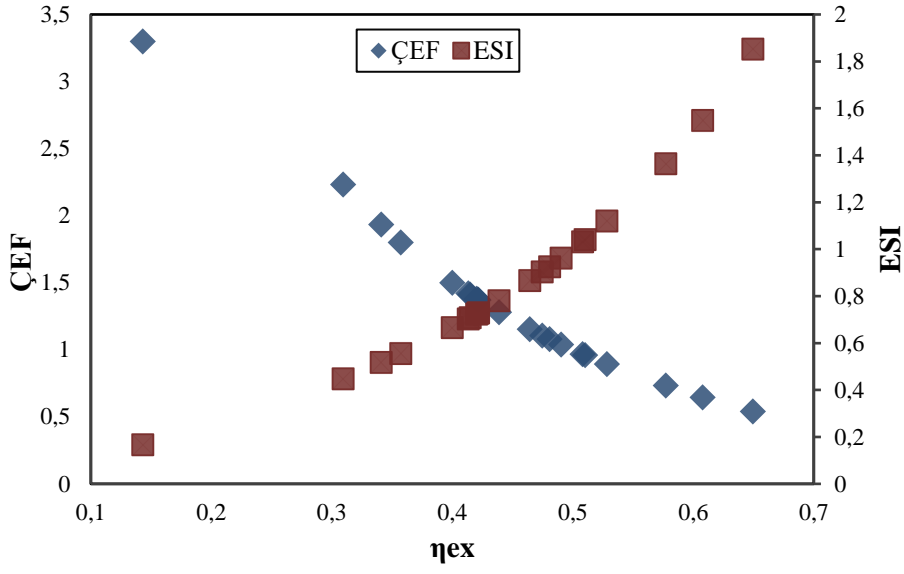
Hata Analizi	Analiz Sonucu
MAE	0.068
RMSE	0,016
RAE	12.3 %
RRAE	14.1 %



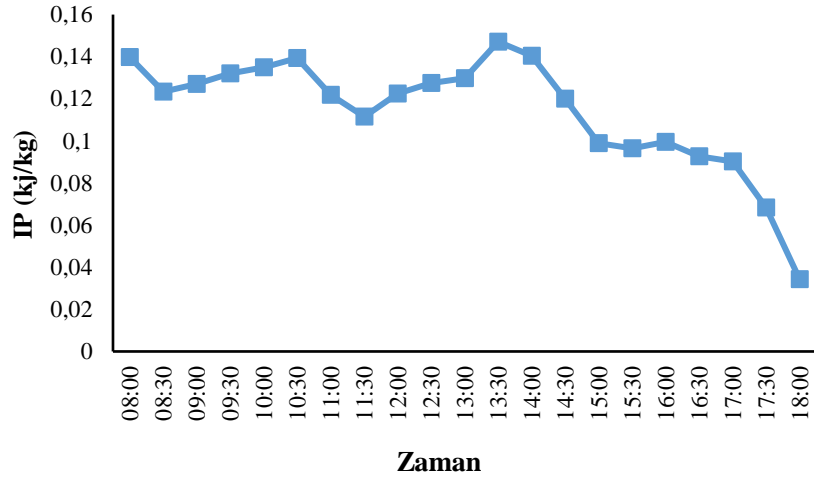
*Şekil 13- ESI değerlerinin zamanla değişimi*



Şekil 14- ÇEF değerlerinin zamanla değişimi

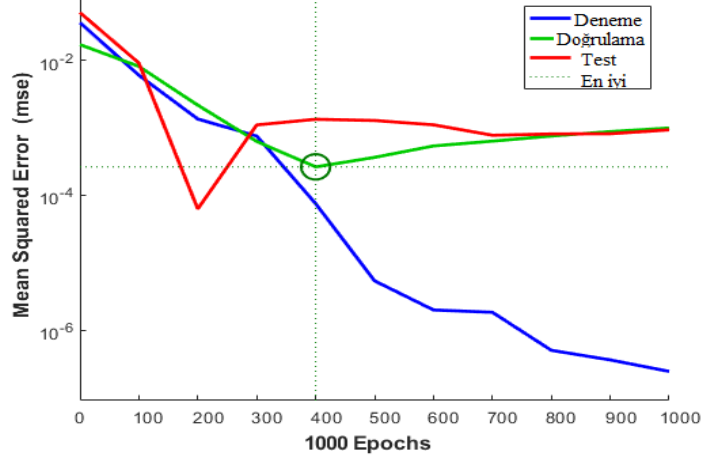


Şekil 15- ÇEF ve ESI değerlerinin ekserji verim değerlerine göre değişimi

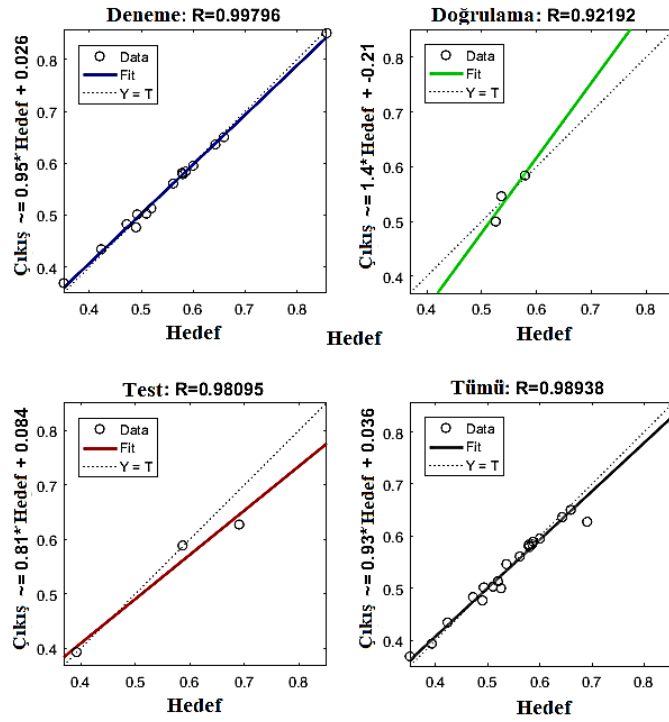


Şekil 16- IP değerlerinin zamanla değişimi

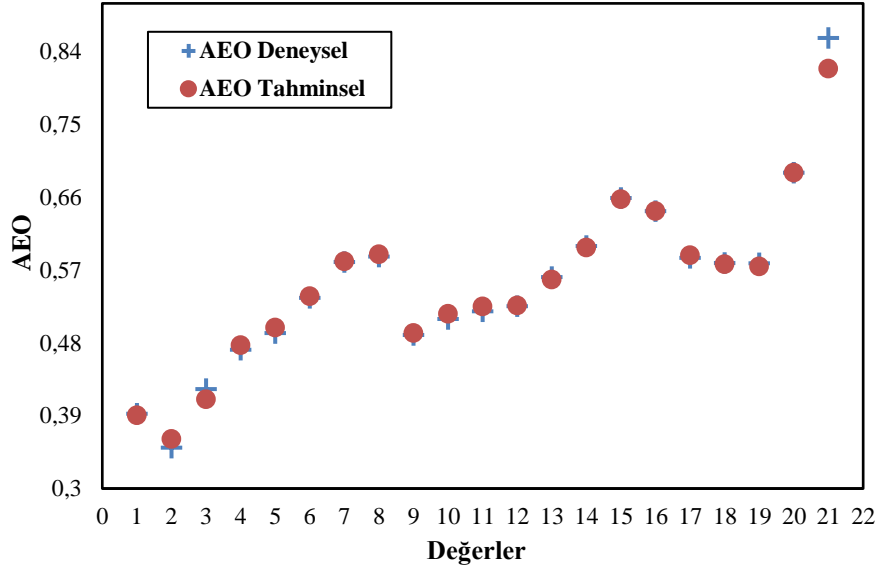
**400. Epoch'ta En iyi Tahmin Performans Değeri 0.0002628**



Şekil 17- Eğitim, doğrulama ve test setleri ile ilgili hata performansları



Şekil 18- MATLAB'da eğitim, doğrulama ve test setleri için regresyon grafiği



Şekil 19- AEO'nun Deneysel ve Öngörülen Değerleri

## Sonuçlar

Güneş enerjili gıda kurutucuda elma ürünü 10 saat içinde 51.2 ve 83.8 °C kurutma havası sıcaklıklarında başarıyla kurutulmuştur. Güneş kurutma işleminin ekserji analizleri yapılmıştır. Enerji kullanım oranının ve bazı ekserjetik göstergelerin, güneş kurutma sistemindeki elma ürününün kurutma performansına etkisi incelenmiştir. Sonuçlar, EKO ve ekserji verimliliğinin güneş kurutma sistemi için sırasıyla% 10.2 - 46.7 ve% 14.09 -% 62.13 arasında değiştiğini göstermiştir. Atık ekserji oranı değerleri% 37,86'dan% 85,9'a değişmiştir. Güneş enerjili kurutma sistemi için ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi 0.164 ile 1.641 arasında değişmiştir. Güneş enerjisi kurutma sistemi için çevresel etki faktörü değerleri 0.830'dan 6.096'ya değişim göstermiştir. İyileştirme potansiyeli 0 ile 0,141 kJ / kg arasında değişmiştir.

Sonuç olarak, güneş kurutucusundaki ekserjetik faktörler belirlenmiş ve hesaplanmıştır. Atık ekserji oranı için YSA kullanılarak öngörücü bir model elde edilmiştir. Modelin geçerliliğini belirlemek için hata analizleri yapılmıştır. Tablo 5'teki hata analizleri sonucunda, YSA'nın başarılı bir tahmin yaptığı söylenebilir. Şekil 19'daki deneysel ve öngörücü değerlerin farklı olması, YSA'da kullanılan öngörücü modelin hata oranlarına bağlıdır. Bundan başka; daha uzun

kuruma süresine sahip ürünler kullanılarak daha fazla veri elde edilebilir ve farklı hesaplamalı zekâ yöntemleri kullanılarak daha başarılı bir tahmine dayalı model elde edilebilir.

## Teşekkür

Bu çalışma 2017 MF-16.34 proje numarası altında, Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Proje birimi (FUBAP) tarafından desteklenmiştir.

## 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.
- Akpınar E.K., (2010). Drying of mint leaves in a solar dryer and under open sun: modelling, performance analyses. *Energy Convers Manag* 51:2407-2418.
- Bilgiç, Y., Yıldız, C., (2017). Güneş enerjili bir damıtıcıda emici yüzey alanının ekserji verimi üzerindeki etkisinin deneysel olarak incelenmesi. *DÜMF Mühendislik Dergisi*, 8(1), 191-202.
- Bilgili, M., Sahin, B. ve Yasar, A., (2007). Application of Artificial Neural Networks for the Wind Speed Prediction of Target Station Using Reference Stations Data, *Renewable Energy* 32, 2350-2360.

- Biswas, S., Chandra, S., Ghosh, I., (2017). Estimation of Vehicular Speed and Passenger Car Equivalent Under Mixed Traffic Condition Using Artificial Neural Network. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 42(9), 4099-4110.
- Bulut, H., Boloğur, H., Beyazıt, N. İ., Demirtaş, Y. and İşiker, Y., (2017). Design and Experimental Analysis of A Solar Hybrid Type Drying System, *International Advanced Researches & Engineering Congress, Osmaniye*, 16-18 Kasım, s.1-9.
- Eslamian, S. S., Gohari, S. A., Zareian, M. J., Firoozfar, A., (2012). Estimating Penman–Monteith reference evapotranspiration using artificial neural networks and genetic algorithm: a case study. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 37(4), 935-944.
- Fudholi, A., Sopian, K., Alghoul, M. A., Ruslan, M. H., Othman, M.Y., (2015). Performances and improvement potential of solar drying system for palm oil fronds. *Renewable Energy*, 78, 561-565.
- Fudholi, A., Sopian, K., Othman, M. Y., Ruslan, M. H., Bakhtyar, B., (2013). Energy analysis and improvement potential of finned double-pass solar collector. *Energy Conversion and Management*, 75, 234-240.
- Ghritlahre, H. K., Prasad, R. K., (2018). Exergetic Performance Prediction of a Roughened Solar Air Heater Using Artificial Neural Network. *Strojniski Vestnik/Journal of Mechanical Engineering*, 64(3).
- Gill, J., Singh, J., (2017). Energetic and exergetic performance analysis of the vapor compression refrigeration system using adaptive neuro-fuzzy inference system approach. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 88, 246-260.
- Gong, M. ve Wall, G., (2001). On Exergy and Sustainable Development-Part 2: Indicators and Methods, *International Journal of Exergy*, 1, 4, 217-231.
- Ibrahim, A., Fudholi, A., Sopian, K., Othman, M.Y., Ruslan, M. H., (2014). Efficiencies and improvement potential of building integrated photovoltaic thermal (BIPVT) system. *Energy Conversion and Management*, 77, 527-534.
- Mekhilef, S., Safari, A., Mustaffa, WES., Saidur, R., Omar R. and Younis MAA., (2012). Solar energy in Malaysia: current state and prospects, *Renew Sustain Energy Rev.*, 16(1):386–96.
- Midilli A, Kucuk H., (2015). Assessment of exergetic sustainability indicators for a single layer solar drying system. *Int J Exergy* 16(3):278–292.
- Morosuk, T., Tsatsaronis, G., Schult, M., (2013). Conventional and advanced exergetic analyses: theory and application. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 38(2), 395-404.
- Orhan, M. F., Dincer, I., Rosen, M. A., (2009). Energy and exergy analyses of the drying step of a copper-chlorine thermochemical cycle for hydrogen production. *International Journal of Exergy*, 6(6), 793-808.
- Osuolale, F. N., Zhang, J., (2018). Exergetic Optimisation of Atmospheric and Vacuum Distillation System Based on Bootstrap Aggregated Neural Network Models. In *Exergy for A Better Environment and Improved Sustainability 1* (pp. 1033-1046). Springer, Cham.
- Rivero, R., (2002). Application of the Exergy Concept in the Petroleum Refining and Petrochemical Industry, *Energy Conversion and Management*, 43, 1199-1220.
- Song, T. W., Sohn, J. L., Kim, J. H., Kim, T. S. ve Ro, S. T., (2002). Exergy-Based Performance Analysis of the Heavy-Duty Gas Turbine in Part-Load Operating Conditions, *International Journal of Exergy*, 2, 105-112.
- Valencia, G. E., Restrepo, J. B., Osorio, M., (2018). Exergetic Modelling of a 30-kW Gas Microturbine and Cogeneration System by Artificial Neural Networks. *Chemical Engineering Transactions*, 70, 1873-1878.
- Van Gool, W., (1997). Energy Policy: Fairly Tales and Facts. In *Innovation and Technology*.
- Zisopoulos, F.K., Rossier-Miranda F.J., Goot A.J.V.D, Boom R.M., (2017). The use of exergetic indicators in the food industry – A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 57(1):197-211.



## Calculation of some exergetic indicators in a solar dryer and modeling with artificial neural network

### Extended abstract

Thermodynamic analysis, especially exergy analysis, is an important tool for analysis of thermal systems. Many formulations and data are used for exergy calculations in drying systems. Today, it is difficult to process and analyze a large amount of data manually. Therefore, in order to solve a given problem, it is aimed to reach the solution by educating the data obtained from the problem environment with artificial intelligence methods. In this study, apple product was dried in a solar drying system and exergy analysis of the drying process of the product was carried out. The effects of some exergetic indicators on the performance of drying system used in apple product drying were investigated. For this purpose, exergetic indicators such as exergy effect, waste exergy ratio, environmental impact factor, external sustainability index and improvement potential have been taken into consideration. A predictive model was constructed using the artificial neural network to estimate the waste exergy rate, which is an exergetic indicator. Mean absolute error (MAE), root mean square error (RMSE), relative absolute error (RAE) and root relative absolute error (RRAE) error analyzes were used to calculate the validity of the model. As a result, the waste exergy ratio increased as the drying time increased. Exergy efficiency and improvement potential of solar drying system decreased with increasing drying time. The predictive model created using ANN has successfully predicted the rate of waste exergy ratio. It has been shown that the resulting predictive model can be used for different drying systems and different products. The aim of this study is to state the importance of using exergetic indicators with food drying systems. It also shows that artificial intelligence methods can be used with exergy and exergetic indicators. The aim of this study is to state the importance of using exergetic indicators with food drying systems. It also shows that artificial intelligence methods can be used with exergy and exergetic indicators (Table 1).

Table 1. ANN Error rates

Error Analyze	Error Rate
MAE	0.088
RMSE	0,016
RAE	12.3 %
RRAE	14.1 %

Figure 1 shows the experimental WER values and the WER values estimated by the model generated by ANN. According to Figure 1, the experimental and predictive WER values are very similar to each other.

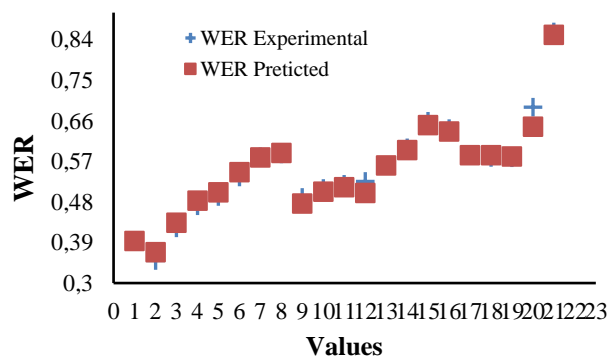


Figure 1. Experimental and Predicted WER values

**Keywords:** Solar drying, Exergetic indicators, Waste exergy ratio, Artificial neural network