

AKÜ FEMÜBİD 21 (2021) 045901 (945-957)

AKU J. Sci. Eng. 21 (2021) 045901 (945-957)

DOI: 10.35414/akufemubid.889551

Araştırma Makalesi / Research Article

## Güneş Enerjili Yeni Tip Bir Kurutucuda Granny Smith Elmanın Kuruma Davranışının İncelenmesi

Doğan Burak SAYDAM<sup>1,3</sup>, \* Kamil Neyfel ÇERÇİ<sup>2</sup>, Ertaç HÜRDOĞAN<sup>1,3</sup><sup>1</sup>Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Osmaniye, Türkiye<sup>2</sup>Tarsus Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Tarsus, Türkiye<sup>3</sup>Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Enerji Eğitim-Etüt Uygulama ve Araştırma Merkezi, Osmaniye, Türkiye

\*Sorumlu yazar e-posta: doganburaksaydam@osmaniye.edu.tr. ORCID ID: http://orcid.org/0000-0001-8453-2917

e-posta: kneyfcelcerci@tarsus.edu.tr.

ORCID ID: http://orcid.org/0000-0002-3126-707X

e-posta: ehurdogan@osmaniye.edu.tr.

ORCID ID: http://orcid.org/0000-0003-1054-9964

Geliş Tarihi: 02.03.2021

Kabul Tarihi: 18.08.2021

### Öz

Tarımsal ürünlerin kurutulması dayanıklılığının artırılması ve kalitenin yükseltilmesi yöntemi, ilk çağlardan beri uygulanmakta olan en eski ve en yaygın gıda saklama yöntemidir. Kurutma işlemi, direkt güneş altında açık sergi yöntemi ile yapılabileceği gibi teknik ekipmanlar ve metotlar kullanılarak da yapılabilir. Bu çalışmada, yeni tip bir kabin tasarımına sahip güneş enerji destekli kurutucuda kurutulan Granny Smith elmanın kuruma performansı deneysel olarak incelenmiştir. Çalışmada ayrıca deneylerden elde edilen verilerle belirlenen nem oranı (MR) için matematiksel ve Gauss Proses Regresyonu (GPR) kullanılarak tahminsel modeller oluşturulmuştur. İki gün kesintisiz devam eden kurutma işlemi sırasında sıcaklık, nem ışınım ve ağırlık gibi farklı parametreler ölçülmüştür. Deneyler sonucunda; ürünlerin kuruma davranışının iklim şartlarına bağlı olarak değiştiği görülmüştür. İlk ürün ağırlığı 1400 gr olan Granny Smith elmalardan iki günlük deney sonucunda yaklaşık 1100 gr nem çekilmiştir. Yapılan hesaplamalar sonucunda, kurutulan elma dilimlerinin ortalama kuruma hızı  $0,0017 (gr_{su}/gr_{km})/dk$ , en yüksek kuruma hızı ise  $0,0094 (gr_{su}/gr_{km})/dk$  olarak tespit edilmiştir. MR için matematiksel olarak oluşturulan ince tabaka kuruma modelleri arasında en iyi tahmin Sigmoid matematiksel modeli ile elde edilmiştir. MR'nin dört farklı GPR yöntemi ile tahmin edilmesinin sonucunda ise en iyi yakınsamanın Experimental GPR'de olduğu görülmüştür.

### Anahtar kelimeler

Kurutma; Granny Smith  
Elma; Güneş Enerjisi;  
Osmaniye

## Investigation of Drying Behavior of Granny Smith Apple in a Novel Solar Drier

### Abstract

The method of increasing the durability and increasing the quality by drying agricultural products is the oldest and most common food storage method that has been applied since ancient times. Drying can be done under direct sunlight by open exhibition method or by using technical equipment and methods. In this study, the drying performance of Granny Smith apple dried in a solar energy assisted dryer with a novel type of cabinet design was experimentally investigated. In the study, mathematical and predictive models were created using Gaussian Process Regression (GPR) for moisture ratio (MR) determined by the data obtained from experiments. During the uninterrupted drying process for two days, different parameters such as temperature, humidity, radiation and weight were measured. As a result of the experiments; It has been observed that the drying behavior of the products changes depending on the climatic conditions. Approximately 1100 g of moisture was removed from Granny Smith apples with a product weight of 1400 g after two days of experiment. As a result of the calculations, the average drying rate of apple slices was determined as  $0,0017 (gr_w/gr_{dm})/min$ , and the highest drying rate was determined as  $0,0094 (gr_w/gr_{dm})/min$ . Among the mathematically generated thin layer drying models for MR, the best estimate was obtained with the Sigmoid mathematical model. As a result of the estimation of MR by four different GPR methods, it was seen that the best convergence was in Experimental GPR.

### Keywords

Drying; Granny Smith  
Apple; Solar Energy;  
Osmaniye

## 1. Giriş

Kurutma herhangi bir maddenin içerisinde bulunan nemin uzaklaştırılması olarak tanımlanabilir. Kurutma işleminde nemin ürün içerinden uzaklaştırılabilmesi için gereken ısı, kurutulacak ürünü sıcak gazlar ile doğrudan temas ettirerek taşınım veya ışınım ile sağlanabildiği gibi kurutulacak malzemeye direk temasta olan katı yüzeyden iletim vasıtası ile de transfer edilebilir. Kurutma işleminin pek çok kullanım alanı (gıda, kimya, kâğıt, tekstil, deri sanayi vs.) vardır (Tırıs vd. 1997). Gıda sektöründe kurutma, tarımsal ürünlerin raf ömrünü uzatmasının yanında hacimsel yönden nakliye ve depolama konusunda da avantaj sağlamaktadır (Çelen vd. 2018). Kurutma temelde bir ısı ve kütle transferi işlemidir ve kurutma işlemini iki farklı şekilde sınıflandırmak mümkündür. Bunlardan ilki ürünlerin direk güneş enerjisi altında açık sergi yöntemi ile kurtulması, ikincisi ise farklı ekipmanlar kullanarak teknik metotlarla ürünlerin kurutulmasıdır (Aktaş vd. 2012). Direk güneş ışınımı altında açık sergi yöntemi ile kurutma işleminde kuruma süresi uzun olabilmekte ve kuruma prosesi kontrol edilememektedir. Ayrıca açık sergi yöntemi ile kurutulan gıda maddeleri, dış ortam şartları altında kurdukları için zararlı böcekler ve kuşların yanı sıra toz, toprak gibi dış etkilere maruz kalmaktadır (Tokdemir vd. 2018). Teknik metotlar ile kurutma işleminde ise kurutulan ürünün güneş etkisinde kalış biçimine göre güneş enerjili kurutucular; doğrudan, dolaylı ve birleşik tip güneş enerjili kurutucular olarak adlandırılmaktadırlar (Akman vd. 2018). Uygun şekilde tasarlanmış bir güneş enerjili kurutucuda, açık sergi yöntemiyle güneşte kurutmanın getirdiği dezavantajlardan kaçınılabilmekte ve kurutulmuş ürünün kalitesi yükseltilebilmektedir (Sreekumar *et al.* 2018).

Dünya’da elma türlerinin sayısı 6500’ün üzerindedir. Bu sayı Türkiye’de ise 460’leri bulmaktadır. Elma, sahip olduğu mineraller ve vitaminler açısından gıda ürünü olarak kullanılmada önemli bir yere sahiptir. Elmanın içeriğinin %84’ü su, %16’sı ise kuru maddeden oluşmaktadır. Kuru madde içerisinde ise karbonhidratlar, proteinler,

vitaminler, pektinler ve mineral maddeler yer almaktadır (Erdoğan ve Adanacioğlu 2016). Elma, içerisinde barındırdığı yüksek su oranından dolayı hasat sonrası çok uzun süre saklanamayacağından soğuk hava depolarında depolanmaktadır. Bu da enerji girdilerinin yüksek olmasından dolayı hem çiftçiye hem de tüketiciye maliyet bakımından olumsuz olarak yansımaktadır. Elma taze olarak tüketilebileceği gibi reçel, marmelat, meyve suyu ve konserve yapılarak ya da kurutularak tüketilebilmektedir (Tarhan vd. 2009).

Güneş enerji destekli kurutma sistemleri ile elma kurutulması üzerine literatürde deneysel ve teorik olarak pek çok çalışma yer almaktadır (Aktaş vd. 2009, Menges vd. 2005, Ullah and Kang 2017, Cano vd. 2016, Atalay 2017). (Özgen 2014), yaptığı çalışmada elmanın kuruma özelliğini tespit etmek üzere konvektif tip bir kurutucu tasarlayıp imal etmiştir. Deneysel, 20x20x4 mm ebatlarında elma örnekleri kullanılmış ve farklı hava hızları kullanarak (V= 0,5, 1 ve 1,5 m/s) kuruma hızını etkileyen parametreler incelenmiştir. Deneysel sonucunda hava hızının kuruma işleminde önemli bir rol oynadığı tespit edilmiştir. Lingayat *et al.* (2020), dolaylı tip bir güneş kurutucuda elma ve karpuzun kurutulmasını incelemişlerdir. Çalışmada, karpuz ve elma dilimlerinin kuruma performansı ve kurutma kinetiği analiz edilmiş ayrıca, deneysel analizden elma ve karpuzun difüzyon katsayısı, ısı transfer katsayıları ve aktivasyon enerjisi tahmin edilmiştir. Deneysel sonuçlar, kurutma kabini içindeki sıcaklığın, güneş yoğunluğundaki sık değişim nedeniyle zamanla değiştiğini göstermiştir. Çalışmada elmanın nem içeriği 6,16’dan 0,799 kg / kg kuru bazda (db), karpuzun nem içeriği ise 10,76’dan 0,496 kg/kg db’a kadar düşürülebilmektedir. Moussaoui vd. (2021), gıda takviyesi ve endüstriyel uygulamalarda kullanılmak üzere kurutulan elma kabuklarının zorlanmış taşınımına sahip güneş enerji destekli bir kurutucuda, farklı kurutma hızlarında ve farklı kurutma sıcaklıklarında kurutma kinetiğini incelemişlerdir. Araştırmacılar, kurutma deneyleri sırasında tüketilen toplam enerjinin yüksek sıcaklıkta ve düşük hava akışında minimum, yüksek sıcaklık ve yüksek hava akışında ise maksimum değerlere ulaştığını tespit etmişlerdir. Heybeli ve

Ertekin (2007), sanayi tipi bir prototip raflı kurutucuda, Starking Delicious elma için kurutma havası sıcaklığı değişiminin ürünün kuruma süresi, kuruma hızı, hacimsel ağırlığı, hacimsel büzülme, yeniden su alma, renk ve duyu özelliklerine etkisini incelemiştir. Deneyler, elma dilim kalınlığı 5mm, kuruma hava sıcaklığı 40, 50, 60, 70 ve 80 °C ve kuruma hava hızı 4,1m/s sabit hızda gerçekleştirilmiştir. Deneyler sonucunda kuruma havası sıcaklığının renk parametresini değiştirmediği görülmüş ayrıca kuruma hava sıcaklığının artışı ile ürünün kuruma süresinin azaldığını, kuruma hızının ise arttığı görülmüştür. Wang *et al.* (2007), konvektif bir kurutucuda elma posasının sıcak kurutma havası ile laboratuvar ölçekli bir kurutucuda kurutulmasını incelemiştir. Yazarlar kurutma deneylerini 75, 85, 95 ve 105°C'de ve 1,20 ± 0,03 m / s hava hızında gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada ayrıca elma posasının kuruma davranışı ile farklı matematiksel modeller test edilmiştir. Çalışma sonucunda, Logaritmik modelin deneysel sonuçları diğer matematiksel modellere göre daha iyi tahmin edebileceği görülmüştür.

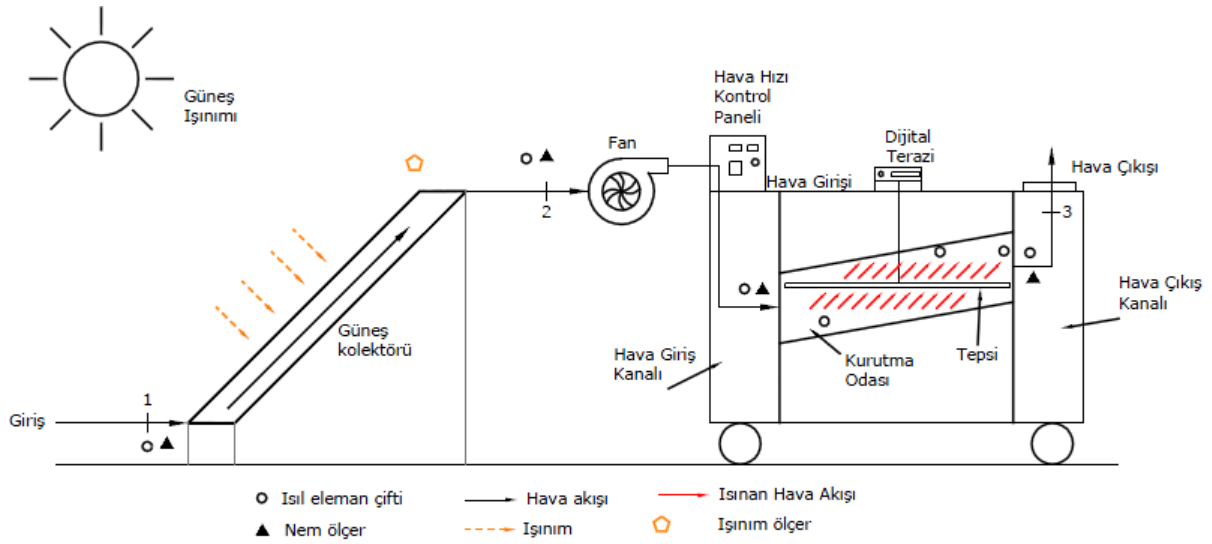
Bu çalışmada, güneş enerji destekli yeni tip bir kurutma kabine sahip bir kurutma sisteminin performansı, Osmaniye ili iklim şartlarında Granny Smith elmanın kurutulması ile deneysel olarak incelenmiştir. Deneysel çalışma sonucunda elde edilen veriler kullanılarak kurutma performansı için önemli bir parametre olan nem oranının (MR) matematiksel ve GPR ile modellenmesi yapılmıştır. Çalışma bu yönüyle yapılacak olan çalışmalara özgün bir örnek olmayı hedeflemektedir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Deney Düzenegi

Bu çalışmada, güneş enerji destekli bir kurutma sistemi tasarlanmış ve Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Laboratuvarlarında imal edilmiştir

(Akman 2017, Akman vd. 2018,). Deney düzeneginin şematik ve gerçek görselleri Şekil 1'de yer almaktadır. Kurutma sistemi havalı güneş kolektörü ve kurutma kabini olmak üzere iki ana bölümden oluşmaktadır. Dış ortamdan (1) kolektöre giren hava, ısınarak bir fan yardımıyla kolektörden çıkmakta (2) ve kurutma kabine aktarılmaktadır. Kurutma kabinde (oda) dolaşan hava ürün üzerindeki nemi alarak sistemden (3) atılmaktadır. Sistemde kullanılan 190x90x10 cm ölçülerindeki havalı güneş kolektörünün dış çerçevesi pleksiglas malzemedan imal edilmiştir. Ayrıca kolektörde ısı kayıplarının azaltılabilmesi için kolektörün alt ve yan yüzeyleri camyünü yalıtım malzemesiyle kaplanmıştır. Sistemde havanın sirkülasyonunu sağlamak için kullanılan fan 70W gücünde olup, fana bağlı olan bir kontrol ünitesi ile sistem farklı hava debilerinde çalıştırılabilmektedir. Sistemde sızdırmazlığının sağlanabilmesi amacı ile tüm bağlantı noktaları yalıtılmış ayrıca kurutma kabinde ısı kayıplarının azaltılabilmesi için kabin çevresi 50 mm kalınlığında alüminyum kaplı cam yünü şilte ile kaplanmıştır. Kurutulacak ürünler, bir tepsi yardımı ile kurutma odasına yerleştirilmektedir. Kabinde kurutulacak ürünlerin gözlemlenebilmesi için şeffaf plastik malzemedan yapılmış bir gözetleme camı da yer almaktadır. Ürünlerin kuruması için kabin içerisine yerleştirilen tepsi yaklaşık 0,5 m<sup>2</sup>'lik bir alana sahip olup hava geçişinin sağlanabilmesi için alüminyum telden yapılmıştır. Sistemde ürünlerdeki ağırlık değişiminin anlık izlenebilmesi için tepsi ve hassas terazi arasında bir askı sistemi kurulmuştur. Çalışmada tasarlanan kurutma kabini geleneksel kurutma kabinlerinin aksine eğimli olarak tasarlanmıştır. Bu sayede kabine giren havanın, ürünler üzerindeki dolaşımının kurutma performansına pozitif etki yaratması hedeflenmiştir.



(a)



(b)

Şekil 1. Kurutma sisteminin şematik (a) ve gerçek (b) resimleri (Akman 2017, Akman vd. 2018)

## 2.2. Ölçüm sistemi ve Hata Analizi

Kurutma sisteminde farklı noktalardan sıcaklık, nem, hava hızı, ağırlık ve ışınlım gibi ölçümler gerçekleştirilmiştir. Verilerin anlık olarak izlenebilmesi ve kayıt altına alınabilmesi için bilgisayar destekli bir veri toplama sistemi tasarlanmıştır. Deneysel çalışmalarda, sonuçlar kadar önemli bir başka nokta ise ölçülen değerlerin doğruluğudur. Doğruluğu etkileyen en önemli

parametre ise, deneyler sırasında farklı sebeplerden dolayı ortaya çıkabilecek hatalardır. Bu hataların tespiti için hata analizi yapılmaktadır. Bu çalışmada hata analizi Holman (2001), tarafından önerilen metot kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çizelge 1’de ölçümlerde kullanılan cihazlara ve yapılan hata analizine ait bilgiler yer almaktadır.

**Çizelge 1.** Cihaz ve hata analiz bilgileri

Ölçüm Parametresi	Cihaz	Hassasiyet
Sıcaklık	COLE PARMER K tipi Isıl Eleman Çifti	0,1 °C
Rölatif nem	EPLUSE nem ölçer	2-3 %
Ağırlık	DIKOMSAN elektronik terazi	0,1 g
Hava hızı	TESTO 435 hava hızı ölçüm probu	0,1 m/s
Işınım	TRITEC ışınım sensörü	±5 %
Veri kayıt	IOTECH PD3001	16 bit
<b>Hesaplanan Parametreler</b>		<b>Hata (%)</b>
MR		2,3
DR		2,6

### 2.3. Kuruma Kinetiklerinin Modellenmesi

Bu makale kapsamında yapılan bir diğer çalışma ise deneysel olarak elde edilen ürünlerin nem oranı (MR) değerlerinin, 21 farklı ince tabaka kurutma modeli ile tahmin etmektir. MR (Boyutsuz), Eşitlik 1 yardımıyla hesaplanmaktadır (Kavak Akpınar ve Biçer, 2003).

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_0 - M_e} \quad (1)$$

Burada,  $M_t$ , herhangi bir zamandaki nem miktarı,  $M_0$ , kuruma başlangıcındaki nem miktarı,  $M_e$  ise, ürünün denge nem miktarı olarak tanımlanmaktadır.  $M_e$  değeri,  $M_t$  ve  $M_0$  değerlerinin yanında çok küçük kalmaktadır. Bu sebeple MR'nin hesaplanma işlemini basitleştirmek için  $M_t/M_0$  Eşitlik 1 yerine kullanılmaktadır (Çerçi et al. 2018)

Gıda ürünlerinin içerisinde barındırdığı nem miktarı, ürünün bünyesinde bulunan su ağırlığı olarak ifade edilmekte ve kurutma işlemlerinde en önemli parametre olarak değerlendirilmektedir. Hesaplamalarda kuruma davranışlarının belirlenmesinde zamana bağlı olarak değişen nem içeriği ve kuruma hızı (DR,  $gr_w/gr_{dm}$ ) kullanılmaktadır. DR, Eşitlik 2'de verilmiştir (Kavak Akpınar ve Biçer, 2003).

$$DR = \left( \frac{M_{t+dt} - M_t}{dt} \right) \quad (2)$$

Eşitlikte  $M_{t+dt}$  ürünün belirli zaman ( $t+dt$ ) anındaki kuru baza (d.b.) göre nem içeriğini ifade etmektedir. En iyi modelin seçilmesi için gerekli regresyon analizleri OriginPro 2017 yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

### 2.4. MR'nin Matematiksel Modellenmesi

Literatürde, kurutma sistemlerinde sisteme giren ve çıkan parametreler arasındaki ilişkiyi tanımlamak için kullanılan matematiksel, istatistiksel, sayısal ve analitik tekniklerden çoğunlukla yararlanılmaktadır. Çizelge 2'de farklı araştırmacılar tarafından üretilmiş ve bu çalışmada MR'nin tahmini için ele alınmış 21 modele ait bilgiler yer almaktadır.

**Çizelge 2.** MR' nin modellenmesinde kullanılan yöntemler

Model No	Model Adı	Formül	Referans
1	Lewis	$y = \exp(-k*x)$	(Bruce, 1985)
2	Page	$y = \exp(-k*x^n)$	(Page, 1949)
3	Modifiye Page	$y = \exp(-k*x)^n$	(White et al. 1981)
4	Henderson and Pabis	$y = a*\exp(-k*x)$	(Henderson and Pabis, 1961)
5	Hii et al.	$y = a*\exp(-k_0*x^n) + b*\exp(-k_1*x^n)$	(Hii et al. 2009)
6	Logaritmik	$y = a*\exp(-k*x) + c$	(Togrul and Pehlivan, 2002)
7	Two-term	$y = a*\exp(-k_0*x) + b*\exp(-k_1*x)$	(Henderson, 1974)
8	Midilli et al.	$y = a*\exp(-k*x^n) + b*x$	(Sharma and Prasad, 2004)
9	Weibull	$y = \exp(-(x/b)^a)$	(Corzo, 2008)
10	Parabolic	$y = a + b*x + c*x^2$	(Sharma and Prasad, 2004)
11	Cubic	$y = a + b*x + c*x^2 + d*x^3$	(Dalvand, 2012)
12	Sigmoid	$y = a + (b/(1 + \exp(k*(x-c))))$	(Figiel, 2009)
13	Vega-Galvez II	$y = \exp(n+k*x)$	(Lemus-Mondaca and Miranda, 2009)
14	Mod Midilli II	$y = \exp(-k*x) + b*x$	(Erbay and Icier, 2010)
15	Noomhorn and Verma	$y = a*\exp(-k_0*x) + b*\exp(-k_1*x) + c$	(Noomhorn and Verma, 1986)
16	Approximation of diffusion	$y = (a*\exp(-k*x)) + ((1-a)*\exp(-k*b*x))$	(Yaldiz and Ertekin, 2001)
17	Verma et al.	$y = a*\exp(-k*x) + (1-a)*\exp(-g*x)$	(Verma et al. 1985)
18	Two-term exponential	$y = a*\exp(-k*x) + (1-a)*\exp(-k*a*x)$	(Sharaf-Eldeen et al. 1980)
19	Simplified Fick's diccusion (SFFD) equation	$y = a*\exp(-c*(x/L^2))$	(Diamante and Munro, 1991)
20	Modified page equation II	$y = \exp(-k*(x/L^2)^n)$	(Diamante and Munro, 1991)
21	Wang and Singh	$y = 1 + a*x + b*x^2$	(Wang and Singh, 1978)

Çizelge 2'deki modellerin en uygun olanlarının tespit edilebilmesi için istatistiksel analiz parametreleri korelasyon katsayısı ( $R^2$ ), kare ortalamalarının kökü (RMSE) ve indirgenmiş ki-kare ( $\chi^2$ ) kullanılmıştır. Elma ürünü için nem oranı MR'yi en iyi tahmin eden modelin seçilmesi, tahmin sonuçları ile deneysel veriler arasında elde edilen en yüksek  $R^2$  değeri, en düşük RMSE ve  $\chi^2$  değerlerine sahip olan modellerin kullanılması ile mümkün olmaktadır. İstatistiksel parametreleri hesaplamak için aşağıdaki denklemler kullanılmıştır (Kavak Akpınar ve Biçer, 2003, Çerçi *et al.* 2018).

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (MR_i - MR_{pre,i}) \cdot \sum_{i=1}^n (MR_i - MR_{exp,i})}{\sqrt{[\sum_{i=1}^n (MR_i - MR_{pre,i})^2] \cdot [\sum_{i=1}^n (MR_i - MR_{exp,i})^2]}} \quad (3)$$

$$RMSE = \left[ \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (MR_{pre,i} - MR_{exp,i})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (MR_{exp,i} - MR_{pre,i})^2}{N - n} \quad (5)$$

Bura da  $MR_{exp,i}$ , deneysel gözlemden elde edilen MR değerini,  $MR_{pre,i}$ , öngörülen MR değerini, N ise gözlemden elde edilen veri sayısını ve n sabitlerini ifade etmektedir (Akpınar ve Toraman 2016, Çerçi *et al.* 2018).

## 2.5. MR'nin GPR ile Modellenmesi

Gauss süreci (GP), tahminsel bir modeldir. Tahminsel süreç herhangi bir sınırlı sayıda koleksiyonu ve ortak bir Gaussian dağılımını takip eder. Gauss proses modeli, fonksiyonlar üzerinde önceki dağılımları belirtmenin doğal bir yolunu sağlaması bakımından özeldir (Liu *et al.* 2018). Gauss Proses Regresyonu (GPR) parametrik olmayan bir olasılık modelidir. Bu makine öğrenme yöntemi, literatürde son birkaç yılda giderek daha fazla kullanılmaya başlanmıştır. Bu yöntem yalnızca tahmin için uygulanabilir değil, aynı zamanda tahminde belirsizliği ölçen ve tahmindeki her bir nokta için tutarlılık aralığını da sağlayabilmektedir. Temel olarak, bir Gauss süreci, ilgili olasılık dağılımının genel tanımıdır. Gauss dağılımı bir girdi vektörü almakta ve özellikleri bir ortalama ve

varyans olan olasılığını hesaplamaktadır. Bir giriş zaman serisi vektörünün, her bir zaman aşaması için olasılığı hesaplamaktadır. Bu nedenle yönsüz olan ortalama ve varyansa sahip olmak yerine, GPR modeli ortalama ve kovaryans vektörünü hesaplamaktadır (Karasu vd. 2017, Sharifzadeh *et al.* 2019). Çizelge 3'te GPR modelinde kullanılan giriş ve çıkış parametreleri yer almaktadır. Çalışmada, Experimental GPR, Matern5/2 GPR, Rational Quadratic GPR ve Squared Exp. GPR modelleri olmak üzere dört farklı GPR modeli incelenmiştir.

**Çizelge 3.** GPR modelinde kullanılan giriş ve çıkış parametreleri

Giriş			
Parametreler	Birim	Min	Max
Zaman	Saniye	0	116100
Çıkış			
MR	-	0	1

Denetimli öğrenmede, benzer öngörü değerlerinin ( $x_i$ ) ve yanıt değerlerinin ( $y_i$ ) yakın olması beklenmektedir. Gauss süreçlerinde bu benzerlik ilgili bir kovaryans fonksiyonu tarafından verilmektedir.  $i \neq j$  için iki gizli değişken  $f(x_i)$  ve  $f(x_j)$  arasındaki kovaryans belirlenmektedir. Tahmincinin sinyal uzunluğu  $N$  olarak ifade edilmektedir (Liu *et al.* 2018).

Gauss, gerçek değerli değişkenler üzerine bir Bayesian çıkarımdır. Önceki veya gizli fonksiyonun  $f$  olduğu varsayılarak  $f$  fonksiyonu;

$$f = N(m_f, k_{ff}) \quad (6)$$

Burada  $m_f$ , gizli veya önceki işlevin ortalamasıdır.  $k_{ff}$  ise önceki işlevin kovaryans matrisidir

$$y = f + n \quad (7)$$

Burada "f" ve "n" nin her ikisi de Gauss fonksiyonudur, dolayısıyla yukarıdaki iki fonksiyonun toplamı Gauss fonksiyonu olmaktadır. Bu özellik, Gauss fonksiyonunun toplamsal özelliği veya basitçe Gauss fonksiyonunun toplamsal özelliği olarak adlandırılmaktadır.

Olasılık işlevi,  $y$  ve  $f$  bazı  $t$  giriş değerleriyle indekslenmişse,

$$p(f|y) = \frac{p(y|f)p(f)}{p(y)} \quad (17)$$

$$P(y(t)f(t)) = p(y|f)p(f) =$$

$$N\left(\begin{matrix} f \\ y \end{matrix} \begin{matrix} m_f \\ m_y \end{matrix}, \begin{bmatrix} k_{ff} & k_{fy} \\ k_{y^*y^*}^T & k_{y^*y^*} \end{bmatrix}\right) \quad (8)$$

$$k_{fy} = E\left[(f - m_f)(y - m_y)^T\right] = k_{ff} \quad (9)$$

$$k_{fy} = k_{ff} + \sigma_n^2 l \quad (10)$$

Burada  $\sigma_n^2$  gürültünün varyansı ve  $l$  uzunluk ölçeğini ifade etmektedir.

Ortalama  $m_f$  ve kovaryans işlevi  $k_{ff}$ , giriş değerleri  $t$  tarafından indekslendiğinden,  $m_f$  ve  $k_{ff}$  aşağıdaki gibi olur:

$$m_f = \begin{bmatrix} m_f(t_1) \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ m_f(t_n) \end{bmatrix} \quad (11)$$

Ve;

$$k_{ff} = \{k(t_i, t_j)\} \quad (12)$$

$$i, j = 1 \dots \dots \dots n. \quad (13)$$

Eğer  $f$  ve  $y$  ayrı ayrı Gauss işlemine tabi tutulmuşsa, o zaman  $f$  ve  $y$  birlikte Gauss fonksiyonu olur ve bu da Eşitlik 14'deki gibi ifade edilir.

$$\begin{bmatrix} f \\ y \end{bmatrix} = N\left(\begin{matrix} m_f \\ m_y \end{matrix}, \begin{bmatrix} k_{ff} & k_{fy} \\ k_{y^*y^*}^T & k_{y^*y^*} \end{bmatrix}\right) \quad (14)$$

Burada;

$$k_{ff} = \sigma_f^2 \exp\left\{-\frac{1}{2l^2}(t_i - t_j)^2\right\} \quad (15)$$

$f$  'deki  $y$  fonksiyonu ise Eşitlik 16'daki gibi tanımlanmaktadır.

$$f|y = N\left(\begin{matrix} k_{ff} k^{-1}_{jj}(y - m_y) + \\ +m_f, k_{ff} - k_{ff} k^{-1}_{yy} k^T_{ff} \end{matrix}\right) \quad (16)$$

Daha sonra, önceki veya gizli verilen veriler üzerindeki çıkarım, daha basit doğrusal cebirdir.

Veri gözlemlerini tahmin etmek için  $y^*$ :

$$\begin{bmatrix} f \\ y \end{bmatrix} = N\left(\begin{matrix} m_f \\ m_{y^*} \end{matrix}, \begin{bmatrix} k_{yy} & k_{y^*y} \\ k_{y^*y}^T & k_{y^*y^*} \end{bmatrix}\right) \quad (18)$$

Aşağıdaki denklem ile önceki veya gizli olanı yalnız bırakılabilmektedir,

$$p(y) = \int p(y|f)p(f) df \quad (19)$$

$$y = N(m_f, k_{ff}) \quad (20)$$

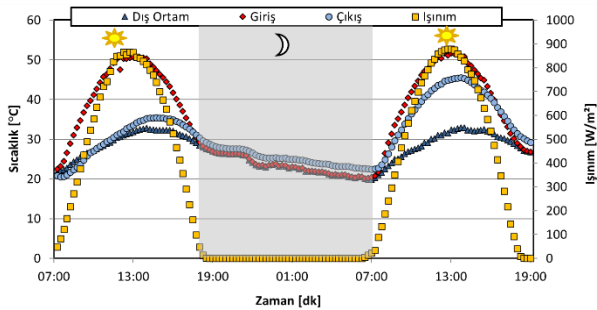
#### 4. Tartışma

Bu çalışmada, Osmaniye ili iklim koşullarında birbirini takip eden sıralı iki günde yapılan deneyler kapsamında, havalı güneş kolektörü destekli yeni bir kurutucuda elmanın kuruma karakteristikleri incelenmiştir.

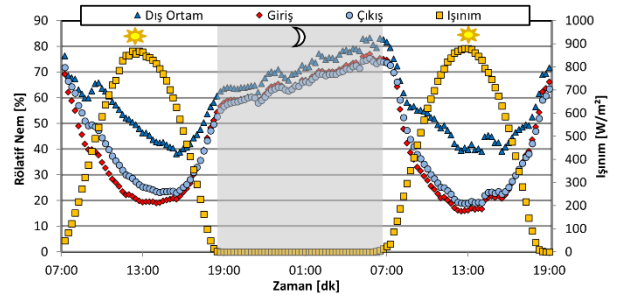
Deneylerde Elbistan/Kahramanmaraş'ta yetiştirilmiş (üretilmiş) olan Granny Smith elmalar kullanılmıştır. Deneyden önce elmalar temizlenerek kabukları soyulmuş ve eşit parçalara dilimlenmiştir. Dilimlenen bu parçalar kurutma kabini içerisindeki tepsiye tek sıra olacak şekilde dizilmiştir. Kurutma işlemi kurutma kabini içerisinde yer alan ürünler denge nemine ulaşana kadar devam etmiştir. Kurutma prosesi boyunca, güneş ışınımı, ürünün ağırlık kaybı, farklı noktalarda sıcaklık ve rölatif nem ölçümü yapılmıştır.

Şekil 2'de, kesintisiz iki gün devam eden deneyde farklı noktalarda ölçülen sıcaklık ve ışınım değerinin zamanla değişimi yer almaktadır. Şekilden sıcaklıkların gün içerisinde ışınımına bağlı olarak değiştiği, dış ortamdan sisteme giren havanın kolektörde ısınarak kabine girdiği ve ürün üzerindeki nemi alıp soğuyarak çıktığı görülmektedir. Her iki gün için de kurutma havası sıcaklıkları öğle saatlerine kadar ışınım ile doğru orantılı bir şekilde artış göstermekte, akşam saatlerinde ise ışınımın sıfır olmasıyla düşmektedir. Şekil 3'de iki günlük deney sonucunda sistem üzerindeki farklı noktalarda ölçülen rölatif nemin zaman ile değişimi yer almaktadır. Havalı güneş kolektör destekli kurutma sisteminde kolektör girişi, kabin girişi ve kabin çıkışı olmak üzere üç farklı noktada kurutma havası rölatif nemi ölçülmektedir. Şekilden rölatif nemin en yüksek değere kabin çıkış noktasında ulaştığı görülmektedir. Bunun nedeni ise ürünlerin

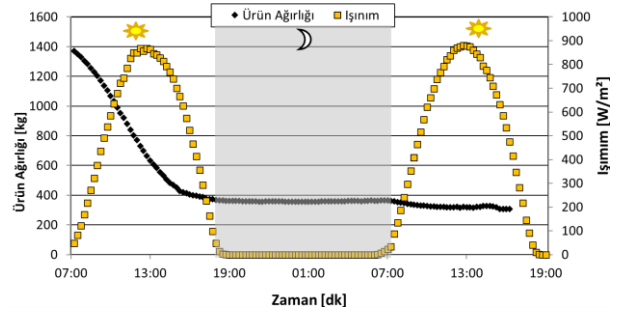
içerisinde bulunan nemin, sıcak hava ile ürün üzerinden uzaklaşarak havanın nemini arttırmasıdır. Şekilden ayrıca ışıma bağı olarak ısınan havadan dolayı rölatif nemin öğle saatlerinde düştüğü görülmektedir. Şekil 4’de iki günlük kurutma deneyinin ürün ağırlığı ve ışımanın zamana göre değişimi verilmiştir. Kurumaya başlamadan önceki ağırlığı yaklaşık 1400 gr olan elma dilimlerinden kurutma işlemi sonucunda yaklaşık 1100 gr nem uzaklaştırıldığı tespit edilmiştir. Ürünün deney sonucunda denge nemine ulaştığı ağırlık değişimi olmamasından görülmektedir. Üründeki ağırlık kaybı, ışıma bağı olarak gün içerisinde, akşam saatlerine göre daha fazla olmuştur. Ayrıca üründeki ağırlık kaybı ilk gün, ikinci güne oranla da daha fazla olmuştur. Aynı etki nem oranı (MR) için de görülmektedir (Şekil 5). Şekil 6’de elma dilimlerinin kuruma hızının (DR) zaman ile değişimi verilmiştir. Şekilden ışımanın yüksek olduğu zamanlarda kuruma hangi aşamada olursa olsun kuruma hızında bir artış olduğu ayrıca üründeki nem kaybından dolayı azalan hızda kurumanın gerçekleştiği görülmektedir. Şekil 7’de DR’nin MR ile değişimi yer almaktadır. Yapılan hesaplamalar sonucunda ürünlerin ortalama kuruma hızının  $0,0017 (gr_{su}/gr_{km})/dk$  olduğu belirlenmiştir. En yüksek kuruma hızı ise  $0,0094 (gr_{su}/gr_{km})/dk$  olduğu grafikte görülmektedir. Şekil 8’de Granny Smith elmalara ait numunelerin güneş enerji destekli kurutma sisteminde kurumadan önceki ve kurumadan sonraki görselleri görülmektedir. Elmalarda temel sorun ilk kesilme anından itibaren renk kaybının başlamasıdır. Elmalarda kuruma sonucunda renk kaybı meydana gelmiş fakat tat ve kokusunda bir değişiklik olmamıştır.



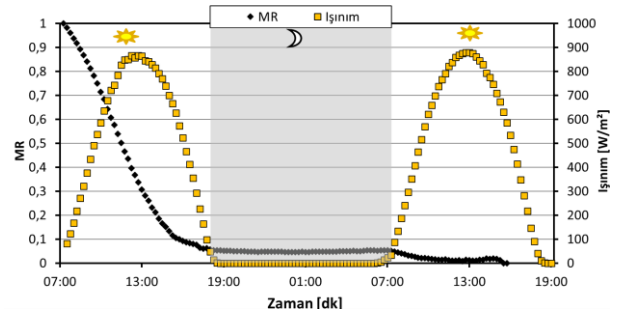
Şekil 2. Sıcaklık ve ışımanın zaman ile değişimi



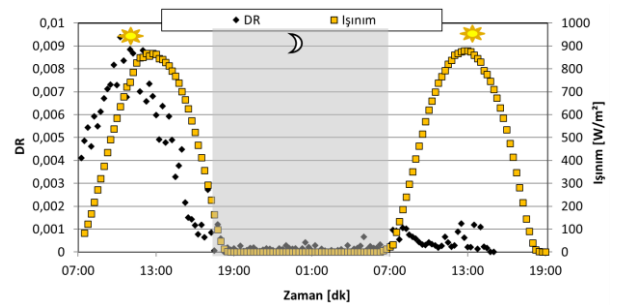
Şekil 3. Rölatif nemin zaman ile değişimi



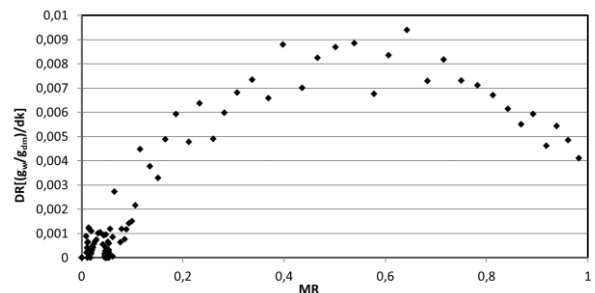
Şekil 4. Ürün ağırlığının ve ışımanın zaman ile değişimi



Şekil 5. Deneyde ANO ve ışımanın zaman ile değişimi

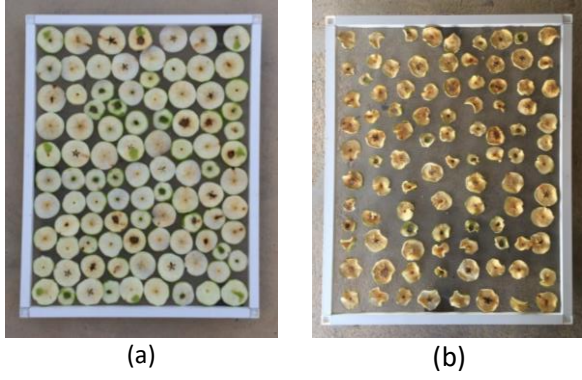


Şekil 6. Kurutma deneyinde Granny Smith elmanın kuruma hızının ve ışımanın zaman göre değişimi



Şekil 7. DR'nin MR ile değişimi





Şekil 8. Granny Smith elmanın kuruma öncesi (a) ve sonrasına (b) ait resimleri

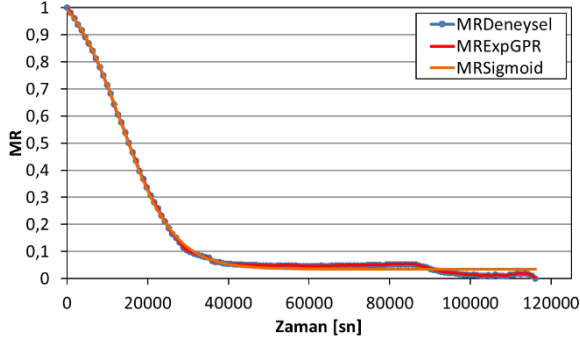
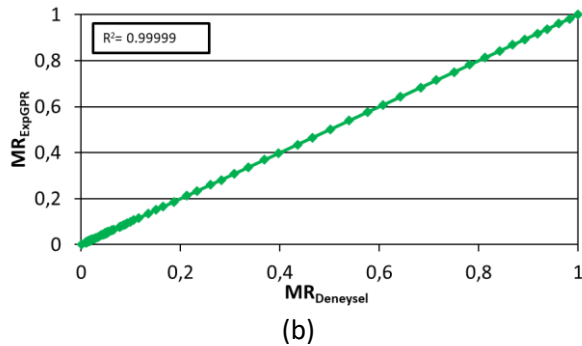
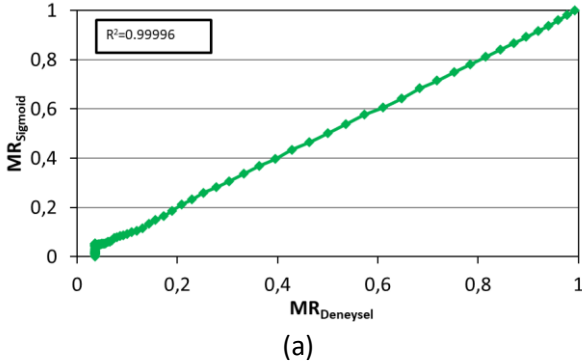
Bu çalışmada, güneş enerji destekli kurutma sisteminde kurutulan elmalar için deneysel olarak elde edilen MR değeri 21 farklı ince tabaka kurutma modeli ile tahmin edilmiştir. Çizelge 4’de MR için 21 modelin model sabitleri ve istatistik değerlendirme parametrelerinin değerleri verilmiştir. Çizelgeden, matematiksel olarak oluşturulan ince tabaka kuruma modelleri arasında en iyi tahmine sahip modelin, en yüksek  $R^2$  ( $R^2 = 0,99765$ ) değeri ile Sigmoid matematiksel modeli (Model No:12) olduğu anlaşılmaktadır. Elmanın kurutulması sonucunda elde edilen deneysel verilerin GPR yöntemi ile tahmin edilmesinin sonuçları ise Çizelge 5’de yer almaktadır. Dört farklı GPR modeli incelendiğinde en iyi yakınsamanın Experimental GPR (Model No: GPR-1) modelinde ( $R^2=0,99999$ ,  $RMSE=0,00012$ ,  $\chi^2=1,38E-08$ ) olduğu görülmektedir. Experimental GPR modelini sırasıyla Matern5/2 GPR (Model No: GPR-3), Rational Quadratic GPR (Model No: GPR-4) ve Squared Exp GPR (Model No: GPR-2) modelleri takip etmektedir. Şekil 9’da deneysel ( $MR_{Deneysel}$ ) ve en iyi sonuç veren matematiksel ( $MR_{Sigmoid}$ ) ve GPR ( $MR_{ExpGPR}$ ) modeller ile elde edilen MR değerlerinin zamana ile değişimi, Şekil 10’da ise deneysel ve MR için en iyi sonuç veren modellerin sonuçlarının değişimi verilmiştir. Her iki şekilden de anlaşılacağı gibi Experimental GPR modelinin MR değerlerinin tahmininde diğer modellere oranla daha yüksek doğruluktadır.

Çizelge 4. Matematiksel model sonuçları

Model No	Model Sabitleri	$R^2$	RMSE	$\chi^2$
1	$k=5,41274E-5$	0,95898	0,05340	0,00287
2	$k=1,85067E-7$ , $n=1,57355$	0,98591	0,03129	9,94698E-4
3	$K=1,8513E-5$ , $n=2,92371$	0,95898	0,05340	0,0029
4	$A=1,14981$ , $k=6,17139E-5$	0,97257	0,04366	0,00194
5	$A=-0,79874$ , $k_0=7,44268E-5$ , $n=1,09688$ , $b=1,76934$ , $k_1=3,11578E-5$	0,98726	0,02976	9,21218E-4
6	$A=1,14541$ , $k=6,44543E-5$ , $c=0,01438$	0,97405	0,04247	0,00185
7	$A=2,26694$ , $k_0=5,46991E-5$ , $b=-$ $1,12093$ , $k_1=4,86655E-5$	0,97286	0,04343	0,00195
8	$A=0,9841$ , $b=3,84137E-7$ , $k=5,1325E-8$ , $n=1,70518$	0,99473	0,01913	3,77965E-4
9	$A=1,57374$ , $b=19006,1084$	0,98591	0,03129	9,94689E-4
10	$A=0,82845$ , $b=-$ $2,26376E-5$ , $c=1,45505E-10$	0,85841	0,09921	0,01008
11	$A=1,06$ , $b=-$ $4,70427E-5$ , $c=6,73058E-10$ , $d=-$ $3,02931E-15$	0,97924	0,03798	0,00149
12	$A=0,03552$ , $b=1,08036$ , $c=13440,74997$ , $k=1,52617E-4$	0,99765	0,01277	1,68516E-4
13	$N=0,13972$ , $k=-$ $6,17294E-5$	0,97257	0,04366	0,00194
14	$K=5,49889E-5$ , $b=1,24393E-7$	0,95983	0,05284	0,00284
15	$A=1,21849$ , $b=57,66967$ , $k_0=5,71747E-5$ , $k_1=-1,71304E-8$ , $c=-57,74307$	0,97634	0,04056	0,00171
16	$A=2,45602$ , $b=1,75503$ , $k=9,21271E-5$	0,98683	0,03026	9,3749E-4
17	$A=-1,46423$ , $k=1,61424E-4$ , $g=9,2213E-5$	0,98683	0,03026	9,37493E-4
18	$A=2,06375$ , $k=8,72925E-5$	0,98679	0,03030	9,32871E-4
19	$A=1,14991$ , $c=5,71165$ , $L=304,19458$	0,97257	0,04366	0,00195
20	$K=239,49841$ , $L=786,14068$ , $n=1,57346$	0,98591	0,03129	0,001
21	$A=-2,8525E-5$ , $b=1,876E-10$	0,80991	0,11495	0,01342

**Çizelge 5.** GPR model sonuçları

Model No	Model Adı	R <sup>2</sup>	RMSE	χ <sup>2</sup>
GPR-1	MR <sub>ExpGPR</sub>	0,99999	0,00012	1,38E-08
GPR-2	MR <sub>SquaredExpGPR</sub>	0,99992	0,00242	5,86E-06
GPR-3	MR <sub>Matern5/2GPR</sub>	0,99997	0,00149	2,25E-06
GPR-4	MR <sub>RationalQuadraticGPR</sub>	0,99996	0,00170	2,92E-06

**Şekil 9.** MR için en iyi sonuç veren modellerin ve deneysel verilerin zamana göre değişimi**Şekil 10.** MR için en iyi sonuç veren modellerin deneysel veriler ile kıyaslanması (a- Sigmoid b-Experimental GPR)

## 5. Sonuç

Havalı güneş kolektörlü bir kurutucuda Granny Smith elmanın kuruma davranışı bu çalışma kapsamında incelenmiştir. Ürünlerdeki değişimler kurutma sistemi üzerinden alınan farklı ölçümler ile

gözlenmiştir. Çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

- Yapılan deneyde ürünlerin kuruma davranışının iklim şartlarına bağlı olarak değiştiği görülmüştür.
- İlk ürün ağırlığı 1400 gr olan Granny Smith elmalardan iki günlük deney sonucunda yaklaşık 1100 gr nem çekilmiştir.
- Yapılan hesaplamalar sonucunda ürünlerin ortalama kuruma hızının 0,0017 ( $(gr_{su}/gr_{km})/dk$ ) olduğu belirlenmiştir.
- Deneylerden, bünyesindeki nem içeriğinin de azalmasıyla birlikte ürüne ait kuruma hızının azalan hızda gerçekleştiği belirlenmiştir.
- Matematiksel olarak oluşturulan ince tabaka kuruma modelleri arasında MR'yi en iyi tahmin eden matematiksel model, Sigmoid matematiksel modeli, en iyi GPR modeli ise Experimental GPR modelidir.

Bu çalışmada alınan sonuçlar, GPR yönteminin farklı ürünlerin kurutulması sonucu elde edilecek deneysel verilerin modellenmesinde kullanılabilir olduğunu göstermekte ve dolayısıyla kurutma kinetiklerinin alternatif makine öğrenmesi algoritmaları ile modellenmesi konusunda literatüre örnek bir çalışma niteliği taşımaktadır.

## Yazar Katkısı

Yazarların makaleye olan katkıları eşittir.

## Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

## Etik Kurallar

Yapılan çalışmada, araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

## Teşekkür

Bu çalışma Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi (OKÜBAP) tarafından OKÜBAP-2014-PT3-032 numaralı proje kapsamında desteklenmiştir. Desteklerinden dolayı OKÜBAP'a teşekkür ederiz.

## Semboller ve Kısaltmalar

a, b, c, n, e	Deneysel katsayılar	-
A	Kuruma yüzey alanı	(m <sup>2</sup> )
A <sub>k</sub>	Kolektör yüzey alanını	(m <sup>2</sup> )
DR	Kuruma hızı	g <sub>rw</sub> /g <sub>rdm</sub>
C <sub>p</sub>	Akışkanın özgül ısısı	(J.kg <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> )
I	Kolektör yüzeyine gelen toplam güneş ışınımı	(W/m <sup>2</sup> )
f, n	Gauss fonksiyonu	-
i, j	Gizli değişkenler	-
k, k <sub>0</sub> , k <sub>1</sub>	Deneysel katsayılar	(s <sup>-1</sup> )
k <sub>ff</sub>	Kovaryans işlevi	-
K <sub>b</sub>	Kuru baz	(%)
M <sub>kb</sub>	Kuru baza göre nem oranı	(%)
M <sub>t</sub>	Herhangi bir zamandaki nem miktarı	(%)
M <sub>0</sub>	Kuruma başlangıcındaki nem miktarı	(%)
M <sub>e</sub>	Ürünün denge nem miktarı	(%)
M <sub>yb</sub>	Yaş baza göre nem oranı	(%)
MR	Nem oranı	-
n	Sabitlerin sayısı	-
N	Gözlemeden elde edilen veri sayısı	-
R <sup>2</sup>	Korelasyon katsayısı	-
RMSE	Kare ortalamalarının kökü	-
t	Zaman	(s)
T <sub>ç</sub>	Havanın kolektörden çıkış sıcaklığı	(°C)
T <sub>g</sub>	Havanın kolektöre giriş sıcaklığı	(°C)
W <sub>k</sub>	Kuru ağırlığı	(gr)
x <sub>i</sub>	Benzer öngörü değerlerinin	-
y <sub>i</sub>	Yanıt değerleri	-
<b>Greek Sembol</b>		
μ	Viskozite	(kg/m·s)
ρ	Yoğunluk	(kg/m <sup>3</sup> )
χ <sup>2</sup>	İndirgenmiş ki-kare	-
σ	Gürültünün varyansı	dB

## 6. Kaynaklar

- Akman, H., Çerçi, K., Hürdoğan, E., ve Büyükcalaca, O. 2018. Güneş Enerjisi Destekli Bir Kurutma Sisteminin Tasarımı, İmalatı ve İlk Ölçüm Sonuçlarının Değerlendirilmesi. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, **1** (1), 1-9.
- Akman, H. 2017. Güneş Enerjisi Destekli Bir Kurutma Sisteminin Termodinamik Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Osmaniye, 66.
- Akpınar, E. K., Toraman, S., 2016. Determination of drying kinetics and convective heat transfer coefficients of ginger slices, *Heat and Mass Transfer/Waerme- und Stoffuebertragung*, **52** (10), 2271–2281.
- Aktaş, M., Ceylan, İ., ve Yılmaz, S. 2009. Determination of drying characteristics of apples in a heat pump and solar dryer. *Desalination*, 266–275.
- Aktaş, M., Şevik, S., Doğan, H., ve Öztürk, M. 2012. Fotovoltaik ve Termal Güneş Enerjili Sürekli Bir Kurutucuda Domates Kurutulması. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 287-298.
- Atalay, H., Çoban, M. T., ve Kıncay, O. 2017. Modeling of the drying process of apple slices: Application with a solar dryer and the thermal energy storage system. *Energy*, 382-391.
- Bruce, D. M. 1985. Exposed-layer barley drying: Three models fitted to new data up to 150°C, *Journal of Agricultural Engineering Research*, **32** (4), 337–348,
- Cano, L. B., Verdugo, A. S., Gutierrez, L. G., ve Rivas, U. R. 2016. Modeling the thin-layer drying process of Granny Smith apples: Application in an indirect solar dryer. *Applied Thermal Engineering*, 1086–1094.
- Çelen, S., Arda, O. S., ve Karataşer, M. A. 2018. Güneş Enerji Destekli Mikrodalga Konveyör Kurutucu Kullanılarak Kuruma Davranışının Modellenmesi. *El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi*, 267-271.
- Çerçi, K., Süfer, Ö., Söyler, M., Hürdoğan, E., ve Özalp, C. 2018. Thin Layer Drying Of Zucchini In Solar Dryer Located In Osmaniye Region. *Tehnički Glasnik*, 79-85

- Corzo, O., Bracho, N., Pereira, A., Vásquez, A., 2008. Weibull distribution for modeling air drying of coroba slices, *LWT - Food Science and Technology*, **41** (10), 2023–2028.
- Dalvand, M., ve Mohtasebi, S., Rafiee, S., 2012. Determining the influence of drying conditions on EHD drying process, *Journal of Agricultural and Biological Science*, **7**, 396–401.
- Diamante, L., ve Munro, P., 1991. Mathematical modelling of hot air drying of sweet potato slices, *International Journal of Food Science and Technology*, **26**, 99–109.
- Erbay, Z., ve Icier, F., 2010. A review of thin layer drying of foods: Theory, modeling, and experimental results, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, **50** (5), 441–464,
- Erdoğan, E., Adanacioğlu, H., ve Örmeci Kart, M. Ç. 2016. Elma Üretiminde Pazarlama Etkinliğinin Belirlenmesi Üzerine Bir Araştırma: Isparta Senirkent İlçesi Örneği. *KSÜ Doğa Bilimleri Dergisi*, 152-159
- Figiel, A., 2009. Drying kinetics and quality of vacuum-microwave dehydrated garlic cloves and slices, *Journal of Food Engineering*, **94** (1), 98–104,
- Henderson, S., ve Pabis, S., 1961. Grain drying theory I: temperature effect on drying coefficient, *Journal of Agricultural Engineering Research*, **6**, 169–174,
- Henderson, S. M., 1974. Progress in Developing the Thin Layer Drying Equation., *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, **17** (6), 1–3.
- Heybeli, N., ve Ertekin, C. 2007. Elma dilimlerinin ince tabaka halinde kuruma karakteristiği. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, **3**, 179-187.
- Hii, C. L., Law, C. L., ve Cloke, M., 2009. Modeling using a new thin layer drying model and product quality of cocoa, *Journal of Food Engineering*, **90** (2), 191–198.
- Holman JP. 2001. Experimental methods for engineers. 8th ed, Marty Lange (Editor-in-Chief), McGraw Hill, 63-65.
- Karasu, S., Altan, A., Sarac, Z., ve Hacıoglu, R. 2017. Prediction of solar radiation based on machine learning methods. *The journal of cognitive systems*, **2** (1), 16-20.
- Kavak Akpınar, E., ve Biçer, Y. 2003. Siklon Tipi Bir Kurutucuda Kabağın Kuruma Davranışının İncelenmesi. *G.Ü. Fen Bilimleri Dergisi*, 159-169.
- Lemus-Mondaca, R., Miranda, M., Andres Grau, A., Briones, V., Villalobos, R., Vega-Gálvez, A., 2009. Effect of osmotic pretreatment on hot air-drying kinetics and quality of Chilean papaya (*Carica pubescens*), *Drying Technology*, **27** (10), 1105–1115,
- Lingayat, A., (2020). Chandramohan, V. P., Raju, V. R. K., ve Kumar, A. Development of indirect type solar dryer and experiments for estimation of drying parameters of apple and watermelon. *Thermal Science and Engineering Progress*, **16**, 100477.
- Liu, T., Wei, H., ve Zhang, K. 2018. Wind power prediction with missing data using Gaussian process regression and multiple imputation. *Applied Soft Computing*, **71**, 905-916.
- Mengeş, H. O., Ertekin, C., ve Aydın, C. 2005. Elma Dilimlerinin Konveksiyonla Kurmasına Uygun Kuruma Modelinin Belirlenmesi. *Tarım Makinaları Bilimi*, 229-236.
- Moussaoui, H., Bahammou, Y., Tagnamas, Z., Kouhila, M., Lamharrar, A., ve Idlimam, A. 2021. Application of solar drying on the apple peels using an indirect hybrid solar-electrical forced convection dryer. *Renewable Energy*, **168**, 131-140.
- Noomhorn, A., Verma, L., 1986. Generalized single-layer rice drying models, *Transactions of the ASAE*, **29**, 587–591.
- Özgen, F. 2014. Elma Kurutulmasında Kullanılan Konvektif Tip Bir Kurutma Sisteminin Tasarımı. *Mühendis ve Makina*, 42-49.
- Page, G., 1949. Factors influencing the maximum rates of air drying shelled corn in thin layers, Purdue Üniversitesi, Amerika.
- Sharaf-Eldeen, Y., Blaisdell, J., ve Hamdy, M., 1980. A model for ear corn drying, *Transaction of the ASAE*, **23** (5), 1261–1271.

- Sharifzadeh, M., Sikinioti-Lock, A., ve Shah, N. 2019. Machine-learning methods for integrated renewable power generation: A comparative study of artificial neural networks, support vector regression, and Gaussian Process Regression. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **108**, 513-538.
- Sharma, G. P., ve Prasad, S., 2004. Effective moisture diffusivity of garlic cloves undergoing microwave-convective drying, *Journal of Food Engineering*, **65** (4), 609–617,
- Sreekumar, A., Manikantan, P. E., ve Vijayakumar, K. P. 2008. Performance of indirect solar cabinet dryer. *Energy Conversion and Management*, **49**(6), 1388-1395.
- Tarhan, S., Ergüneş, G., Güneş, M., ve Mutlu, A. 2009. Farklı Kurutma Koşullarının Amasya Elmasının Kuruma Süresi ve Kalitesi Üzerine Etkisi. *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi*, 1-6.
- Tırıs, M., Tırıs , Ç., ve Erdalli, Y. 1997. Güneş Enerjili Su Isıtma Sistemleri. TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi Enerji Sistemleri ve Araştırma Enstitüsü, Gebze, 128-131.
- Togrul, I. T., Pehlivan, D., 2002. Mathematical modelling of solar drying of apricots in thin layers, *Journal of Food Engineering*, **55** (3), 209–216,
- Tokdemir M., Boran K., Aktaş M., ve Alkaç S. P., 2018. Isı pompalı kurutma tekniği ile toz elma ve elma cipsi üretimi: performans analizi, *Politeknik Dergisi*, **21**(4): 887-894,
- Ullah, F., ve Kang, M. 2017. Impact of air flow rate on drying of apples and performance assessment of parabolic trough solar collector. *Applied Thermal Engineering*, 275–280.
- Verma, L., Bucklin, R., Endan, J., Wratten F.T, 1985. Effects of drying air parameters on rice drying models, *Transaction of the ASAE*, **28**, 296–301,
- Wang, C. Y., & Singh, R. P. 1978. Use of variable equilibrium moisture content in modelling rice drying. *Transactions of the ASAE*, **11**, 668–672.
- Wang, Z., Sun, J., Liao, X., Chen, F., Zhao, G., Wu, J., ve Hu, X. 2007. Mathematical modeling on hot air drying of thin layer apple pomace. *Food Research International*, **40**(1), 39-46.
- White, G. M., Ross, I. J., ve Poneleit, C. G., 1981. Fully-Exposed Drying of Popcorn., *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, **24** (2), 466–468.
- Yaldiz, O., ve Ertekin, C., 2001. Thin layer solar drying of some vegetables, *Drying Technology*, **19** (3–4), 583–597.