

Farklı Nemde Kurutma Havası Kullanılarak Kurutulan Yerfıstığı'nın Kuruma Kinetiklerinin Deneysel Olarak Belirlenmesi

Kamil Neyfel ÇERÇİ^{*1}, Ertaç HÜRDOĞAN¹

¹Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Osmaniye

Geliş tarihi: 30.06.2020

Kabul tarihi: 30.07.2020

Öz

Ürünlerin kurutulması eski çağlardan beri yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Gıda kurutma işleminde temel amaç ürünün içerisinde bulunan suyun üründen uzaklaştırılmasıdır. Bu sayede ürün içerisindeki mikroorganizmaların gelişmesini durdurulacak ve ürünlerin raf ömrü uzatılacaktır. Bu çalışmada Osmaniye'de üretimi ve hasadı yapılan yerfıstığı ürününün kurutulması, kurutma havasının farklı mutlak nem değerleri için incelenmiştir. Yerfıstığı'nın kuruma davranışı, tasarlanarak imal edilen deney düzeneği kullanılarak deneysel olarak belirlenmiştir. Çalışmada ayrıca deneysel olarak elde edilen alınabilir nem oranı değeri 22 farklı ince tabaka kurutma modeline fit edilmiştir. Çalışma sonucunda aynı sıcaklıkta kurutma havası için, kurutma havası nem değerinin düşmesi ile difüzyon katsayısının ve kuruma hızının arttığı gözlemlenmiştir. Hii ve arkadaşları tarafından geliştirilen ince tabaka kuruma modeli, deneysel olarak elde edilen alınabilir nem oranı değerine en iyi yakınsayan model olarak belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yer fıstığı, Kurutma, Kuruma kinetikleri, Alınabilir nem oranı, Matematiksel model

Experimental Determination of Drying Kinetics of Peanut Dried by using Drying Air at Different Humidity

Abstract

Drying and storing of products is a widely used method since ancient times. The main purpose of the food drying process is to remove the water contained in the product from the product. In this way, the development of microorganisms in the product will be stopped and the shelf life of the products will be extended. In this study, the drying of the peanut product produced and harvested in Osmaniye was investigated for different absolute humidity values of the drying air. The drying behavior of peanuts was determined experimentally using the experimental setup designed and manufactured. In the study, the experimentally obtained moisture ratio value was fit to 22 different thin layer drying models. As a result of the study, it was observed that for the drying air at the same temperature, the diffusion coefficient and the drying rate increase with the decrease of the drying air humidity. The thin layer drying model developed by Hii et al. was determined as the model best converging to the experimentally obtained moisture ratio value.

Keywords: Peanut, Drying, Drying kinetics, Moisture ratio, Mathematical model

*Sorumlu Yazar: (Corresponding author): Kamil Neyfel ÇERÇİ, kcerci@osmaniye.edu.tr

1. GİRİŞ

Gıda endüstrisinde gıdalar, doğal formlarında iken (sebzeler, meyveler, tahıllar, baharatlar, süt) veya işlendikten sonra (hazır kahve, çorba karışımları, peynir altı suyu) kurutulmaktadır. Gıdalar için kurutma, içerisindeki nemin değişik metotlarla alınarak, bozulmasına neden olan etkenlerin ortadan kaldırılması olarak başka bir ifade ile gıdadaki nemin uzaklaştırılması olarak tanımlanabilmektedir. Böylece ürün, bozulmalara karşı korunmakta ve raf ömrü uzamaktadır. Ayrıca kurutma sayesinde ürünlerin nakliyede kolaylık sağlaması için hacmi ve ağırlığı da azalmaktadır [1-4]. Birçok kurutma yöntemi arasında en sık kullanılanı, tabii kurutma olarak da adlandırılan güneşli kurutmadır. Bu yöntemle kurutulan ürünlerin orijinal şeklini ve dokusunu (tekstür), taze iken sahip olduğu rengini ve vitamin içeriğini kaybetme eğilimi vardır. Ayrıca kurutma hızının hava şartlarına çok bağlı olması ve hava şartlarının değişiminin kontrol edilmesinin mümkün olmaması, ürün kalitesinde bozulmalara sebep olmaktadır [5]. Kurutmanın gıda kalitesi üzerine etkisi sadece besin değerleri üzerine değişimleri değil, aynı zamanda fiziksel, dokusal ve işlevsel değişimleri de kapsamaktadır. Tüketicilerin talepleri, ürünleri orijinal karakteristiklerinde tutma yönündedir. Bu talepler doğrultusunda çalışma maliyetlerini sınırlandırırken, bir yandan da hem işlemlerin olumsuz etkilerini minimize edecek çalışmaların geliştirilmesi hem de son ürünün kalitesinin korunması gerekmektedir. Gıda kalitesi üzerine artan talepler kurutmada yenilikçi fikirlerin gelişmesine sebep olmuştur [6]. Bu yenilikçi fikirlerin temelinde kurutma hava şartlarının, kurutma kinetiğinde önemli rol oynadığı gerçeği bulunmaktadır. Kısa kurutma zamanlarında kurutulmuş kaliteli ürün eldesi ancak en iyi kurutma havası şartlarının elde edilmesi ile mümkün olmaktadır. Kurutma zamanı, kurutma havası sıcaklığının artması ile kısılmasına rağmen, özellikle sıcaklığa hassas kurutulan gıda maddelerindeki renk ve tat değişimi, vitamin içeriğindeki değişim ve kurutulan ürünlerdeki yapısal bozukluklar (ısı gerilmelerden kaynaklanan vb.) sıcaklık arttıkça daha fazla gerçekleşmektedir. Bu

değişimler düşük sıcaklıkta kurutma yapılarak önlenmektedir. Düşük sıcaklıkta kurutma ise kurutma süresinin uzamasına neden olmaktadır. Düşük sıcaklıkta gıda kurutması uygulamalarında uzun kurutma zamanlarını kısaltmak için kurutulacak ürün üzerine mümkün olduğunca düşük nemde (kuru) hava göndermek gerekmektedir [6-8].

Yüksek sıcaklıkta kurutma işleminde zarar gören dolayısıyla düşük sıcaklıkta kurutulması gereken önemli gıda ürünlerinden biri yerfıstığı ürünüdür [9]. Fıstıkta küflenme, hasattan itibaren başlamakta ve uzun süre devam eden soldurma ve kurutma aşamalarından dolayı ürün kalitesindeki düşüş ve ürün kayıplarıyla sonuçlanabilmek ayrıca ürettikleri mikotoksinler ile sağlık sorunlarına (mutajen, kanserojen, teratojen, tremorgen vb) neden olabilmektedir [10,11]. Mikotoksinlerin en fazla üzerinde durulan grubu, toksik ve kanserojenik potansiyeli nedeniyle aflatoksinlerdir [12]. Yerfıstığı ürünüde hasat, hasat sonrası, kurutma ve depo öncesi dönemlerinde ortaya çıkan aflatoksin oluşumu ve seviyeleri yerfıstığı ve ürünlerinin bütün dünyada mikotoksin; özellikle de aflatoksin kontaminasyonu açısından çok riskli bir gıda olduğu bilinmektedir. Arzu edilenin üzerinde nem içeren yerfıstıklarında, kısa sürede küflenme, aflatoksin oluşumu ve böceklenme başlayacağı ve bunun sonucunda, ürünün kalitesinde düşüş görülmektedir. Ayrıca farklı dönemlerde belirlenen aflatoksin bulaşıklığının, kurutma ve depo öncesi dönemde, hasat ve hasat sonrasına göre daha yüksek meydana gelmektedir. Bu sıkıntıların giderilmesi için, yerfıstığı alımı yapan büyük kuruluşların, merkezi alım yerlerinde, birer kurutma tesisini vakit geçirmeden kurmaları gerekmektedir [13]. Yerfıstığı kurutma sıcaklığına çok duyarlıdır. Yapılan çalışmalarda, kurutma sıcaklığı 35 °C üzerine çıktığı zaman iç fıstıkta çatlama ve tat değişimi meydana geldiği dolayısıyla dış hava sıcaklığı ne olursa olsun kurutma sıcaklığının üst limiti olarak 35 °C olması gerektiği belirlenmiştir [9]. Dış hava sıcaklığının birkaç derece üzerine çıkılarak yapılan düşük sıcaklık kurutma işlemi yavaş gerçekleşen bir kurutma şeklidir. Amerika'da güneş altında

kurutmanın neticesi olarak %25'e varan ürün kaybı olduğu rapor edilmiştir [14]. Bununla beraber güneş enerjisi ile kurutulan fıstıklarda kurutma tepsilerinin üzerinde kalan fıstıklarda iç fıstıkta gözlenen çatlak oluşumunun tepsinin altında kalan fıstıklardan %25 daha az olduğu ve kurutulan fıstık kalitesinin düzgün bir dağılıma sahip olmadığı belirtilmiştir [15].

Gıda kurutmanın temel kimyası ve fiziği oldukça karmaşıktır. Bu nedenle uygulamada kurutucu, sadece nemi uzaklaştıran bir cihazdan çok daha karmaşıktır. Dolayısıyla kurutma sistemlerinde proses tasarımı, optimizasyon, enerji entegrasyonu ve kontrol için etkili modeller gereklidir [16]. İnce tabaka kurutma denklemleri kurutmanın matematiksel modellemesinde önemli araçlardır. Bu denklemler pratiktirler ve yeterince iyi sonuçlar verirler. İnce tabaka kurutma denklemlerini kullanmak için, kurutma hızı eğrilerinin bilinmesi gerekir. Bununla birlikte, katılardaki nem taşınımının daha iyi anlaşılmasını açıklığa kavuşturmaya yönelik kayda değer iş hacmi derinlemesine ele alınmamaktadır. Uygulamada, kurutma hızı eğrileri temel ilkelerden hesaplanmak yerine deneysel olarak ölçülmelidir [17]. İnce tabaka kurutma genellikle bir örnek parçacık veya dilim tabakası olarak kurutmak anlamına gelir [18]. İnce tabaka kurutma denklemlerinin karmaşık dağıtılmış modellerden farklı olarak daha az veri gerektirdiği için kullanımlarının kolay olduğu ve bu sebeple geniş uygulamalara sahip olduğu literatürde görülmektedir [19,20]. Literatürde ince tabaka kuruma davranışlarının incelendiği farklı birçok çalışma bulunmaktadır [21–32]. John ve arkadaşları [21], yaptıkları deneysel çalışmada ince tabaka kurutma modeli ile kabuklu ve iç fıstığın kuruma davranışını mikrodalga yöntemi ile incelemişlerdir. Yazarlar mikrodalga gücünün kurutma hızına etkisini belirlemek için farklı hava debisi, sıcaklık ve bağıl nemde deneyler gerçekleştirmişlerdir. Çalışma sonunda mikrodalga yöntemi ile kuruma oranları geleneksel vagon tipi kurutucuya göre kabuklu fıstık için 10 ile 94 kat, iç fıstıkta ise 8 ile 32 kat artmıştır. Ayrıca çalışmada kullanılan ince tabaka kuruma modeli olan iki terimli üstel eşitliğin iyi uyum gösterdiği

görülmüştür. Çerçi ve arkadaşları [24], güneş enerjisi destekli bir kurutucuda kabak dilimlerini kurutmuş ve kabak ürününün deneysel olarak elde edilen ANO değerlerini yirmi iki farklı ince tabaka kurutma modeline fit ederek en uygun modeli belirlemişlerdir. Çalışmada en iyi sonuç veren modellerin Kübik ve Modifiye Midilli-1 modelleri olduğu görülmüştür. Çalışma sonunda kabak ürünlerinin konvektif ısı transfer, kütle transfer ve difüzyon katsayıları sırasıyla $5,18124 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$, $1,57129 \times 10^{-7} \text{ m/s}$ ve $2,335718 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ olarak bulunmuştur. Doymaz [27], sıcak havalı bir kurutucuda üç farklı kurutma havası sıcaklığında (50, 60 ve 70 $^\circ\text{C}$) haşlanmış ve haşlanmamış Trabzon hurmasını kurutmuş, ürünlerin kurutma kinetiklerini hesaplamış ve altı farklı ince tabaka kuruma modeline göre incelemiştir. Çalışma sonunda, en kısa kurutma süresi haşlanmış Trabzon hurması ürünlerinde elde edilmiş ayrıca Midilli ve arkadaşları, Page ve Weibull modellerinin iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Dash ve ark [28], konvektif tepsili kurutucuda yıldız meyvesi dilimlerini kurutmuşlardır. Çalışmada yıldız meyvesinin kurutma kinetikleri hesaplanmış ve deneysel olarak ANO değerlerine en uygun olan ince tabaka kuruma modeli seçilmiştir. Deneylerde kurutma havası sıcaklıkları olarak 50, 60, 70 ve 80 $^\circ\text{C}$ seçilmiş ve en hızlı kuruma 80 $^\circ\text{C}$ sıcaklıkta gerçekleşmiştir. Ayrıca on bir farklı ince tabaka kuruma modeli arasından en uygun modelin iki terimli üstel model ($R^2=0,998248$ ve $\chi^2=0,000193$) olduğu saptanmıştır. Sahdev ve arkadaşları [32], güneş altında ve kapalı ortamda zorlanmış taşınımında yerfıstığı ürünlerinin ince tabaka kurutma davranışlarını incelemişlerdir. Yerfıstığı ürünleri yaş baza göre %38'den %8–10 değerleri aralığına kadar kurutulmuştur. Yerfıstığının kurutma davranışını belirlemek için dört farklı matematiksel model kullanılmıştır. Çalışma sonunda her iki kurutma yönteminde de en iyi modelin Henderson ve Pabis modeli olduğu, ikinci en iyi modelin ise Lewis modeli olduğu belirlenmiş ve bu iki modelin verilen koşullar altında yerfıstığının kuruma davranışını en iyi tanımlayan modeller olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

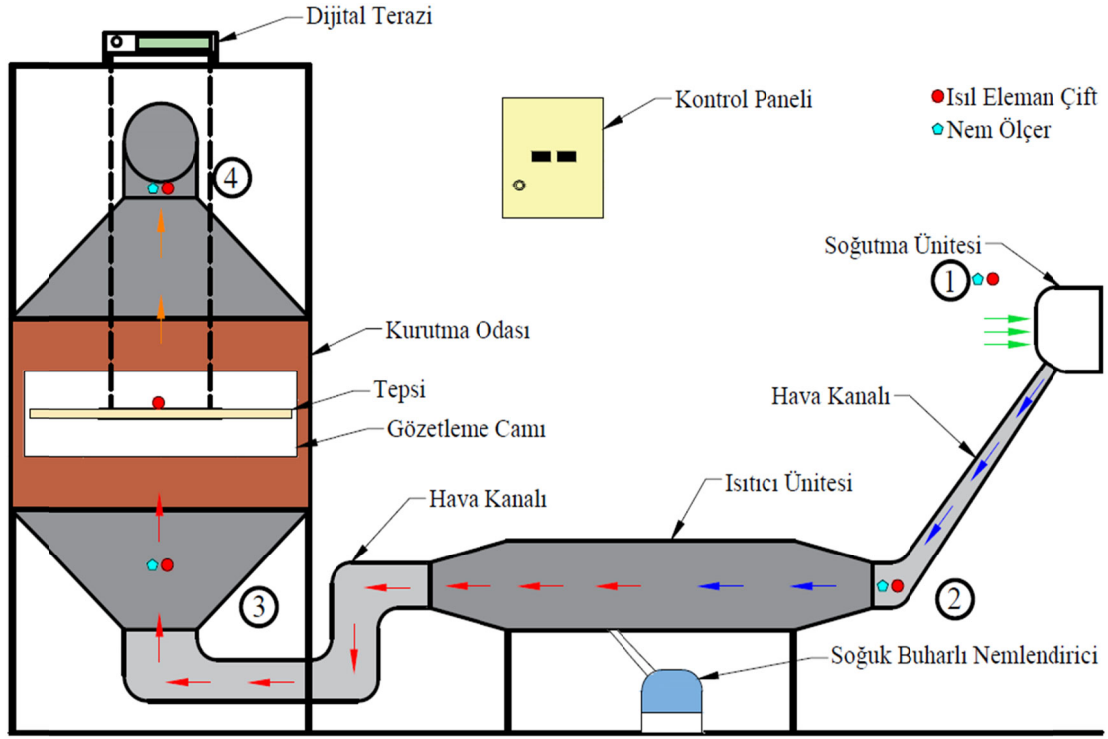
Yerfıstığı ürününü olabilecek en kısa süre içerisinde hem düşük sıcaklıkta hem de homojen bir şekilde kurutabilmek için kurutulacak ürün üzerine mümkün olduğunca düşük neme sahip kuru hava göndermek gerekmektedir. Böylece düşük sıcaklıkta düşük neme sahip kurutma havası ile üründen daha çok nem uzaklaştırılabilecektir. Aynı zamanda düşük nem de kurutma ile yukarıda belirtilen daha homojen ürün kurutma imkânı sağlanacaktır. Bu çalışmada yerfıstığı ürününün düşük sıcaklık (35 °C) ve farklı nemde kurutulması için bir kurutma sistemi tasarlanmış, imalatı yapılmış, deneyler gerçekleştirilmiş ve farklı nemde kurutulan yerfıstığı ürününün kurutma kinetikleri belirlenmiştir. Çalışmada yerfıstığı ürünü için deneysel olarak elde edilen alınabilir nem oranı 22 farklı ince tabaka kuruma modeline fit edilmiş ve en uygun model belirlenmiştir.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Deney Düzenegi ve Hesaplama Prosedürü

Bu çalışma kapsamında, yerfıstığı ürününün düşük sıcaklıkta kurutulması için öncelikle bir deney düzenegi tasarlanarak kurulmuştur. Şekil 1’de kurutma deneyleri için tasarlanan deney düzeneginin şematik görünümü verilmiştir. Deney düzenegi, soğutma ünitesi, ısıtıcı ünitesi, soğuk buharlı nemlendirici, kurutma odası ve kontrollerin yapıldığı panelden oluşmaktadır. Deney düzeneginin bulunduğu ortamdan (1 noktası) soğutma ünitesi buharlaştırıcısının fanı vasıtasıyla alınan proses havası, buharlaştırıcı üzerinden geçerek soğuk ve kuru halde çıkmaktadır (2 noktası). Soğutulmuş ve nemi alınmış olan proses havası, daha sonra ısıtıcı ünitesine girmekte (2→3) ve istenilen (set edilen) kurutma havası sıcaklığı elde edilmektedir. Sistemde istenilen kurutma havası nemi soğuk buharlı nemlendirici kullanılarak ayarlanmaktadır. Kurutma odasına belirli nem ve sıcaklık şartlarında giren hava, kurutulacak üründeki nemi üzerine almakta ve nemi artmış olarak kurutma odasını terk etmektedir

(4 noktası). Deney düzeneginde, literatürde yer alan benzer çalışmalar [30, 33] dikkate alınarak, homojen ve hızlı bir kuruma işlemi sağlanabilmesi için kurutma odası (test bölgesi) düşey olarak seçilmiştir. Sistemdeki tüm kontroller, kontrol paneli kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Şekil 2’de Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Osmaniye Meslek Yüksekokulu Laboratuvarlarında imal edilen kurutma sisteminin resmi verilmiştir. Modelleme için gerekli kurutma eğrilerinin belirlenebilmesi ve analizlerin gerçekleştirilebilmesi için deney düzenegi üzerinde sıcaklık, rölatif nem, hava hızı ve ağırlık ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Deneyler boyunca ölçülen tüm parametreler bilgisayar destekli bir veri toplama sistemi kullanılarak 15 dk. aralıklarla kaydedilmiştir. Deneysel çalışmalarda ölçülen değerlerin doğruluğu ve deneyler sırasında farklı sebeplerden dolayı ortaya çıkabilecek hatalar, göz ardı edilmemesi gereken önemli faktörlerdir. Bu faktörlerin değerlendirilmesi için çalışmada belirsizlik analizi yapılmıştır. Deneysel çalışma içerisindeki belirsizlik analizi için Holman [34] tarafından önerilen yöntem kullanılmıştır. Çizelge 1’de, farklı parametrelerin ölçülmesi için kullanılan cihazlara ait bilgiler ve belirsizlik analiz sonuçları verilmiştir. Kurutma deneylerinde kullanılan yerfıstığı ürünü Osmaniye İli’nin Toprakkale İlçe’si Sarıhüyük Köyü’ndeki bir tarladan toplanmıştır. Tazelikliğini yitirmemesi ve daha doğru kurutma eğrilerinin elde edilmesinin sağlanması için yerfıstıkları kurutulmadan bir gün önce tarladan kurutulacak ürün miktarınca yaprakları ile birlikte toplanmış ve bu şekilde hava ile temasını kesmek (nem içeriğinin değişmemesi) için paketlenerek yaklaşık 4 °C sıcaklıktaki buzdolabında bekletilmiştir. Kurutma işlemi öncesinde yapraklarından ve kabuklarından ayrıştırılan yerfıstığı ürünleri, kurutma tepsisine tek sıra halinde dizilerek kurutma kabineye yerleştirilmiştir (Şekil 3). Deneyler, farklı mutlak nem ve düşük sıcaklık (35 °C) şartlarına sahip kurutma havası kullanılarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 1. Tasarlanan düzeneğin şematik görünümü



Farklı Nemde Kurutma Havası Kullanılarak Kurutulan Yerfıstığı'nın Kuruma Kinetiklerinin Deneysel Olarak Belirlenmesi



Şekil 2. Tasarlanıp kurulan kurutma sisteminin resmi ve imalat aşamalarının resimleri

Çizelge 1. Deneyselerde kullanılan ölçüm cihazları

Cihaz	Ölçüm Parametreleri	Hassasiyet
TESTO 435	Hava Hızı	0,1 m/s
COLE PARMER Isıl Eleman Çifti	Sıcaklık	0,1 °C
EPLUSE Nem Ölçer	Rölatif nem	2-3 %
IOTECH PD3001 Veri Kaydedici	Veri kayıt	16 bit
DİKOMSAN Dijital Terazi	Ağırlık	0,1 g
Hesaplanan Parametre		Belirsizlik (%)
Alınabilir Nem Oranı (ANO)		2,3
Kuruma Hızı (R)		2,6



Şekil 3. Yerfıstığı ürünlerinin kurutma işlemi için hazırlanması ve kurutma işlemi

Çalışmada, yerfıstığının kuruma davranışı, kuruma zamanına bağlı olarak değişen nem içeriği ve kuruma hızı parametreleri ile karakterize edilmiştir. Kuru baza göre nem içeriği (N_{kb} , kg_s/kg_{km}) ürün içerisindeki nem miktarının (W_s , kg_s) ürünün kuru madde miktarına (W_k , kg_{km}) oranı olarak Eşitlik 1 ile ifade edilmiştir [35]. Eşitlik 2’de ise yaş baza göre nem içeriği (N_{yb} , kg_s/kg) ifadesi ile kuru baza göre nem içeriği arasındaki bağıntı verilmiştir [36].

$$N_{kb} = \frac{W_s}{W_k} \quad (1)$$

$$N_{kb} = \frac{W_s}{W_k} \quad (2)$$

Kurutma hızı (R , $(kg_s/kg_{km})/dk$) parametresi Eşitlik 3 kullanılarak hesaplanmaktadır [35]:

$$R = \frac{N_{kb,t} - N_{kb,t+\Delta t}}{\Delta t} \quad (3)$$

Burada, Δt zaman farkıdır (dk). Yerfıstığı ürünlerinin alınabilir nem oranı (ANO) değerleri aşağıdaki Eşitlik 4 kullanılarak belirlenmiştir [30].

$$ANO = \frac{N_t - N_e}{N_0 - N_e} \quad (4)$$

Burada, N_t herhangi bir t anındaki nem oranı, N_0 kurutmanın başlangıcındaki nem oranı, N_e ise denge nem oranıdır. N_e değeri gıda ürünlerinde N_t ve N_0 değerlerine kıyasla çok küçük kalmaktadır. Bu sebeple, ANO’nun hesaplanmasını kolaylaştırmak için Eşitlik 4 yerine N_t/N_0 ifadesi kullanılmaktadır [23, 24].

2.2. İnce Tabaka Kuruma Modelleri

Çizelge 2’de, bu çalışma kapsamından deneysel olarak elde edilen ANO değerinin matematiksel olarak modellenebilmesinde ele alınan ve literatürde yer alan 22 farklı ince tabaka kurutma

modelleri verilmiştir. Çizelgedeki eşitliklerde a, b, c, d, L, g, n, k, k₀ ve k₁ sabitleri, t zamanı (saniye) ifade etmektedir. En uygun modelin belirlenmesi için yapılan analizler, OriginPro programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

ANO ve difüzyon katsayısı (D_{eff}, m²/s) değeri arasındaki ilişki aşağıdaki Eşitlik 5'te verilmiştir [24, 37].

$$ANO = \frac{8}{\pi^2} \exp \left\{ -\pi^2 \frac{D_{eff} t}{r^2} \right\} \quad (5)$$

Burada r ürünün yarıçapı (m) ve t zamandır (s). ANO değerleri için kullanılan ince tabaka kurutma

modellerinin en iyisinin seçilmesi için performans kriterleri olarak korelasyon sayısı (R²) ve ki-kare (χ²) değerlerine bakılmıştır. χ² değerinin belirlenmesi için aşağıdaki Eşitlik 6'dan faydalanılmıştır.

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (ANO_{den,i} - ANO_{tah,i})^2}{N-n} \quad (6)$$

Burada, ANO_{den,i} deneysel gözlemler sonucu elde edilen alınabilir nem oranı değeri, ANO_{pre,i} tahmin edilen alınabilir nem oranı değeri, N veri sayısı ve n sabit sayısıdır [24,30].

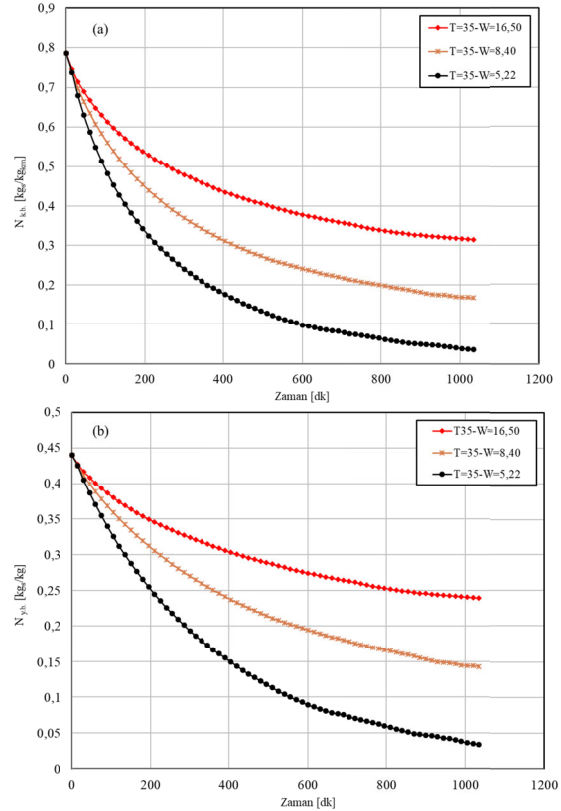
Çizelge 2. ANO'nun modellenmesinde kullanılan ince tabaka kurutma modelleri

Model No.	Model	Eşitlik	Kaynakça
1	Lewis	ANO=exp(k·t)	[38]
2	Page	ANO=exp(k·t ⁿ)	[39]
3	Modifiye Page	ANO=exp(-k·t) ⁿ	[40]
4	Henderson ve Pabis	ANO=a·exp(-k·t)	[41]
5	Hii ve arkadaşları	ANO=a·exp(-k ₀ ·t ⁿ) +b·exp(-k ₁ ·t ⁿ)	[42]
6	Logaritmik	ANO=a·exp(-k·t) +c	[43]
7	İki-terimli	ANO=a·exp(-k ₀ ·t) +b·exp(k ₁ ·t)	[44]
8	Parabolik	ANO=a+b·t+c·t ²	[45]
9	Weibull	ANO=exp(-(t/b) ^a)	[46]
10	Kübik	ANO=a+b·t+c·t ² +d·t ³	[47]
11	Sigmoid	ANO=a+b/(1+exp(k·(t-c)))	[48]
12	Vega-Lemus	ANO=(a+b·t) ²	[49]
13	Rasyonel	ANO=(a+b·t)/(1+c·t+d·t ²)	[50]
14	Vega-Galvez I	ANO=n+k·√t	[51]
15	Vega-Galvez II	ANO=exp(n+k·t)	[51]
16	Modifiye Midilli II	ANO=exp(-k·t) +b·t	[4]
17	Noomhorn ve Verma	ANO=a·exp(-k ₀ ·t) +b·exp(-k ₁ ·t) +c	[52]
18	Difüzyon Yaklaşımı	ANO=a·exp(-k·t) +(1-a)·exp(-k·b·t)	[53]
19	Verma ve arkadaşları	ANO=a·exp(-k·t) +(1-a)·exp(-g·t)	[54]
20	İki-terimli üstel	ANO=a·exp(-k·(·t))+(1-a)·exp(-k·a·t)	[55]
21	Basitleştirilmiş Fick'in difüzyon denklemi	ANO=a·exp(-c·(t/L ²))	[56]
22	Modified page equation II	ANO=exp(-k·(t/L ²) ⁿ)	[56]

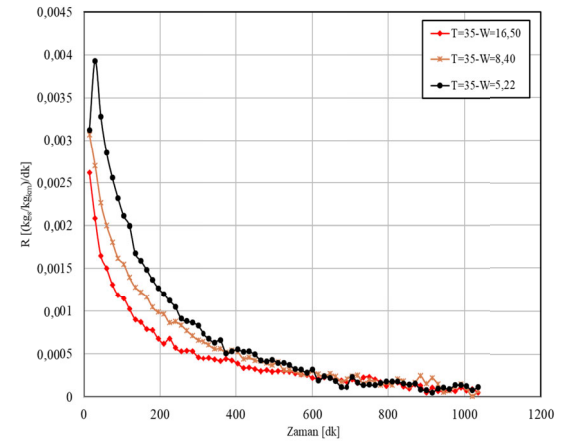
3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışma kapsamında, yarfıstığıının düşük sıcaklık ve farklı nem değerlerine sahip kurutma havası şartlarına göre kuruma davranışları deneysel olarak incelenmiş ayrıca düşük nem değerleri için en uygun ince tabaka kurutma modeli seçilmiştir. Bu işlemler için yukarıda ayrıntıları verilen kurutma sistemi tasarlanmış ve kurulumu gerçekleştirilmiştir. Kurutulacak olan yarfıstığı ürünleri her deney için yaklaşık olarak 325 g olarak ayarlanmıştır. Kurutma deneyleri kurutma havasının farklı mutlak nem şartlarında ve fıstığın yüksek kurutma havası sıcaklıklarından zarar gördüğü göz önünde bulundurularak 35 °C sıcaklıkta gerçekleştirilmiştir. Deneyler yaklaşık olarak 17 saat sürmüş ve kurutma süresi boyunca yarfıstığı ürününün kuruma davranışları gözlemlenmiştir. Şekil 4'te 35 °C sıcaklık ve farklı mutlak nem değerlerinde kurutulan ürünlerin kuru baza ve yaş baza göre nem içeriklerinin deney süresince değişimleri verilmiştir. Şekillerdeki nem içeriklerinin değişimlerine bakıldığında, aynı süre içerisinde en büyük düşüş 35 °C-5,22 g_s/kg_{kh} kurutma havası şartlarında gerçekleşmiştir. 35 °C-5,22 g_s/kg_{kh} kurutma havası şartlarında kurutma işlemi boyunca, üründe yaklaşık 0,78 kg_s/kg_{km} (0,44 kg_s/kg) nem içeriğinden 0,035 kg_s/kg_{km} (0,033 kg_s/kg) nem içeriğine kadar nem düşüşü gözlemlenmiştir. 35 °C-8,40 g_s/kg_{kh} kurutma havası şartlarında ise kurutma işlemi boyunca, üründe yaklaşık olarak 0,78 kg_s/kg_{km} (0,44 kg_s/kg) nem içeriğinden 0,17 kg_s/kg_{km} (0,14 kg_s/kg) nem içeriğine kadar nem düşüşü gözlemlenmiştir.

Şekil 5'te farklı kurutma havası şartları için ürünün kuruma hızı değerlerinin zamanla değişimi verilmiştir. Şekilden kuruma hızında en yüksek değerlere 35 °C - 5,22 g_s/kg_{kh} kurutma havası şartlarında ulaşıldığı gözlemlenmiştir. Kurutma işleminin 585. dakikasında üründeki nem içeriğinin iyice azalmasıyla birlikte 35 °C-5,22 g_s/kg_{kh} kurutma havası şartlarındaki kuruma hızı diğer şartlardaki kuruma hızı değerleri ile benzer aralıklarda değişim göstermiştir. Çizelge 3'de farklı kurutma havası şartları için difüzyon katsayısı ve kurutma süresince kuruma hızı değişim aralığı değerleri verilmiştir.



Şekil 4. Farklı kurutma havası şartlarına göre yarfıstığı ürününün sırasıyla kuru baza (a) ve yaş baza (b) göre nem içeriklerinin zamanla değişimi



Şekil 5. Farklı kurutma havası şartlarına göre yarfıstığı ürününün kuruma hızının zamanla değişimi

Çizelge 3. Farklı kurutma havası şartlarında yerfıstığı ürününün difüzyon katsayısı [m^2/s] ve kuruma hızı [$(kg_s/kg_{km})/dk$] değişim aralığı

Kurutma Havası Şartları	D_{eff} [m^2/s]	R [$(kg_s/kg_{km})/dk$]
T=35 °C, W=5,22 g_s/kg_{kh}	1,3256E-10	0,0039- 5,398E-05
T=35 °C, W=8,40 g_s/kg_{kh}	6,9897E-11	0,0031- 8,569E-06
T=35 °C, W=16,50 g_s/kg_{kh}	3,8564E-11	0,0026- 5,274E-05

Çalışma kapsamında, 35 °C sıcaklık ve düşük nem (5,22 ve 8,40 g_s/kg_{kh}) değerlerine sahip kurutma havası şartlarında gerçekleştirilen deneylerde elde edilen alınabilir nem oranı (ANO) değerleri 22 farklı ince tabaka kurutma modeline uyarlanmış ve en uygun model seçilmiştir. Çizelge 4 ve 5'de

sırasıyla 35 °C-5,22 g_s/kg_{kh} ve 35 °C-8,40 g_s/kg_{kh} kurutma havası için elde edilen sonuçlar verilmiştir. Her iki kurutma havası giriş şartlarında da en iyi yakınsama (yüksek R^2 -düşük χ^2) Model 5 (Hii ve arkadaşları) [42] tarafından elde edilmiştir.

Çizelge 4. 35 °C-5,22 g_s/kg_{kh} kurutma havası için elde edilen sonuçlar

Model No	Model Sabitleri	R^2	χ^2
1	k=6,39859E-5	0,98411	9,03367E-4
2	k=3,38006E-4, n=0,83127	0,99894	6,10174E-5
3	k=6,32401E-4, n=0,10118	0,98411	9,16460E-4
4	a=0,92635, k=5,88344E-5	0,99055	5,45302E-4
5	a=1,07874, k₀=7,46501E-4, n=0,75821, b=-0,07874, k₁=2,05637	0,99988	6,94036E-6
6	a=0,91661, k=7,16378E-5, c=0,04971	0,99781	1,27880E-4
7	a=0,44298, k ₀ =1,38005E-4, b=0,55931, k ₁ =4,12075E-5	0,99986	8,29731E-6
8	a=0,82901, b=-3,24059E-5, c=3,34811E-10	0,96184	0,00223
9	a=0,82705, b=14961,14857	0,99895	6,03988E-5
10	a=0,9321, b=-5,27674E-5, c=1,14857E-9, d=-8,61116E-15	0,99392	3,61071E-4
11	a=0,04971, b=44066,28892, c=-131615,06987, k=7,16418E-5	0,99781	1,29819E-4
12	a=0,91703, b=-1,80557E-5	0,94327	0,00327
13	a=1, b=-59140,42269, c=-49279,5997, d=-8,89552	0,97112	0,00172
14	n=0,87606, k=-0,00373	0,92497	0,00433
15	n=-0,07677, k=-5,88012E-5	0,99055	5,45303E-4
16	k=7,00514E-5, b=8,849E-7	0,99504	2,85857E-4
17	a=0,90665, b=0,04608, k ₀ =7,01226E-5, k ₁ =0,05, c=0,04727	0,99821	1,08143E-4
18	a=0,44751, b=0,3021, k=1,35574E-4	0,99986	8,32531E-6
19	a=45557,15108, k=7,75089E-5, g=7,75092E-5	0,98049	0,00114
20	a=0,2772, k=1,76692E-4	0,99901	5,69146E-5
21	a=0,92622, c=12,24624, L=458,82019	0,99043	5,60047E-4
22	k=0,63396, L=-92,85872, n=0,8271	0,99895	6,12872E-5

Çizelge 5. 35 °C-8,40 g_s/kg_{kh} kurutma havası için elde edilen sonuçlar

Model No	Model Sabitleri	R ²	χ ²
1	k=3,438E-5	0,89945	0,00403
2	k=9,73928E-4, n=0,67512	0,99507	2,00135E-4
3	k=7,78999E-6, n=4,41433	0,89945	0,00408
4	a=0,85752, k=2,81386E-5	0,95660	0,00176
5	a=0,65945, k₀=2,5825E-4, n=0,86616, b=0,34217, k₁=4,04436E-5	0,99997	1,27832E-6
6	a=0,75449, k=5,78599E-5, c=0,204	0,99761	9,86765E-5
7	a=0,50701, k ₀ =9,40668E-5, b=0,47744, k ₁ =1,36904E-5	0,99969	1,31308E-5
8	a=0,87954, b=-2,54925E-5, c=2,49361E-10	0,97694	9,50613E-4
9	a=0,67257, b=28882,89397	0,99508	1,99846E-4
10	a=0,947, b=-3,90153E-5, c=7,97691E-10, d=-5,88653E-15	0,99649	1,46708E-4
11	a=0,20401, b=3914,51841, c=-147818,15658, k=5,78684E-5	0,99761	1,00219E-4
12	a=0,88715, b=-8,63933E-6	0,90511	0,00385
13	a=1, b=4,03066E45, c=4,0739E45, d=2,50036E41	0,99988	4,97418E-6
14	n=0,94226, k=-0,00321	0,96079	0,00159
15	n=-0,15396, k=-2,8122E-5	0,95660	0,00176
16	k=4,88547E-5, b=3,14248E-6	0,98873	4,57648E-4
17	a=-78,58638, b=0,29552, k ₀ =-1,21746E-7, k ₁ =0,2113, c=79,29085	0,86834	0,00560
18	a=0,491, b=0,14219, k=1,04181E-4	0,99947	2,16855E-5
19	a=0,83815, k=2,72887E-5, g=0,668	0,96496	0,00144
20	a=0,99836, k=3,41975E-5	0,89939	0,00409
21	a=0,85738, c=5,43767, L=439,70319	0,95660	0,00179
22	k=0,97624, L=166,93921, n=0,67261	0,99508	2,02828E-4

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, düşük sıcaklık (35 °C) ve farklı mutlak nem kurutma havası giriş şartlarında, yerfıstığı ürünü için kurutma deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deneyler yaklaşık olarak 17 saat sürmüştür. 35 °C-5,22 g_s/kg_{kh} kurutma havası şartlarında kurutma işlemi boyunca, üründe yaklaşık 0,78 kg_s/kg_{km} (0,44 kg_s/kg) nem içeriğinden 0,035 kg_s/kg_{km} (0,033 kg_s/kg) nem içeriğine kadar nem düşüşü gözlemlenmiştir. 35 °C-8,40 g_s/kg_{kh} kurutma havası şartlarında ise kurutma işlemi boyunca, üründe yaklaşık olarak 0,78 kg_s/kg_{km} (0,44 kg_s/kg) nem içeriğinden 0,17 kg_s/kg_{km} (0,14 kg_s/kg) nem içeriğine kadar nem düşüşü gözlemlenmiştir. Aynı sıcaklığa sahip kurutma havasının nem değeri düşürüldükçe, difüzyon katsayısı ve kuruma hızının arttığı tespit edilmiştir. Bu sebeple yüksek sıcaklıktan zarar gören yerfıstığı ürününde kuruma süresini azaltmak için, kurutma havasının mutlak nemini

düşürmek gerektiği görülmüştür. Ayrıca çalışma kapsamında, 35 °C sıcaklık ve düşük nem (5,22 ve 8,40 g_s/kg_{kh}) değerlerine sahip kurutma havası şartlarında gerçekleştirilen deneylerden elde edilen alınabilir nem oranı (ANO) değerleri 22 farklı ince tabaka kurutma modeline uyarlanmış ve en uygun model seçilmiştir. Her iki kurutma havası giriş şartları için en iyi yakınsamanın, Hii ve arkadaşları [42] tarafından önerilen matematiksel model ile sağlandığı görülmüştür.

5. TEŞEKKÜR

Bu çalışma Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi (OKÜBAP) tarafından OKÜBAP-2018-PT3-015 numaralı proje kapsamında desteklenmiştir. Desteklerinden dolayı OKÜBAP'a teşekkür ederiz. Ayrıca deney düzeneğinin kurulumu ve deneylerin gerçekleştirilmesi aşamalarında katkıda bulunan Doğan Burak SAYDAM'a teşekkür ederiz.

6. KAYNAKLAR

1. Ceylan, I., Aktas, M., 2008. Hazelnut Drying in a Dryer Assisted Heat Pump, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 23(1), 215-222.
2. Keey, R., 1972. Introduction. In: *Drying Principles and Practice*, pp. 1-18, Keey, R.B. Eds., Pergamon Press, Oxford.
3. Mujumdar, A., 1997. Drying Fundamentals. In: *Industrial Drying of Foods*, pp. 7-30, Baker, C.G.J. Eds., Chapman & Hall, London.
4. Erbay, Z., 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.
5. Nagaya, K., Li, Y., Jin, Z., Fukumuro, M., Ando, Y., Akaishi, A., 2006. Low-temperature Desiccant-based Food Drying System with Airflow and Temperature Control, *Journal of Food Engineering*, 75(1), 71-77.
6. Karam, M.C., Petit, J., Zimmer, D., Baudelaire Djantou, E., Scher, J., 2016. Effects of Drying and Grinding in Production of Fruit and Vegetable Powders: A Review, *Journal of Food Engineering*, 188, 32-49.
7. Misha, S., Mat, S., Ruslan, M.H., Sopian, K., 2012. Review of Solid/liquid Desiccant in the Drying Applications and its Regeneration Methods, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(7), 4686-4707.
8. Kaya, A., Aydin, O., Dincer, I., 2008. Experimental and Numerical Investigation of Heat and Mass Transfer During Drying of Hayward Kiwi Fruits (*Actinidia Deliciosa* Planch), *Journal of Food Engineering*, 88(3), 323-330.
9. Butts, C.L., Williams, E.J., Sanders, T.H., 2002. Algorithms for Automated Temperature Controls to Cure Peanuts, *Postharvest Biology and Technology*, 24(3), 309-316.
10. Gürses, M., Eroğan, A., Sert, S., 2003. Erzurum Piyasasında Satılan Yerfıstığı, Antepfıstığı ve Bademlerin Aflatoksin Yönünden İncelenmesi, *Gıda*, 28(6), 607-610.
11. Gürsoy, N., Biçici, M., 2006. Çukurova Bölgesinde Yetiştirilen Yerfıstıklarında Hasat, Kurutma ve Depolama Kademelerinde Aflatoksin Oluşumu, *Gıda*, 31(4), 209-215.
12. Kabak, B., 2007. Bazı Mikotoksinlerin Detoksifikasyonunda *Lactobacillus* ve *Bifidobacterium* Suşlarının Kullanımı, *Doktora Tezi*, 164 s., Fen Bilimleri Enstitüsü, Çukurova Üniversitesi.
13. Lavkor, I., Biçici, M., 2015. Aflatoxin Occurrence in Peanuts Grown in Osmaniye at Harvest, Post-harvest, Drying and Pre-storage Periods, *Tarım Bilimleri Dergisi*, 21(3), 394-405.
14. Hoque A.K.M., 1993. Application of Liquid Desiccant Drying System in Agricultural Products, Graduate Faculty of Texas Tech University, Mechanical Engineering, Master of Science in Mechanical Engineering, Texas Tech University, 167p, Austin.
15. Troeger, J., Butler, J., 1977. Solar Drying of Peanuts in Georgia, in *Solar Drying of Peanuts. Solar Crop Drying Conference Proceedings*, 32-43.
16. Marinos-Kouris, D., Maroulis, Z., 1995. Transport Properties in the Drying of Solids. In: *Handbook of Industrial Drying*, pp.113-160 (Mujumdar, A.S. Eds., 2nd Edition), Marcel Dekker Inc., New York.
17. Baker, C.G., 1997. Preface. In: *Industrial Drying of Foods*, Baker, C.G., Chapman & Hall, London.
18. Kavak, Akpınar, E., Bicer, Y., Cetinkaya, F., 2006. Modelling of Thin Layer Drying of Parsley Leaves in a Convective Dryer and Under Open Sun, *Journal of Food Engineering*, 75(3), 308-315.
19. Madamba, P.S., Driscoll, R.H., Buckle, K.A., 1996. The Thin-layer Drying Characteristics of Garlic Slices, *Journal of Food Engineering*, 29(1), 75-97.
20. Ozdemir, M., Devres, Y.O., 2000. The Thin Layer Drying Characteristics of Hazelnuts During Roasting, *Food Science and Technology Research*, 42, 225-233.
21. St. John, C., Otten, L., 1989. Thin-layer Microwave Drying of Peanuts, *Canadian Agricultural Engineering*, 31(2), 265-270.
22. Sacilik, K., Keskin, R., Elicin, A.K., 2006. Mathematical Modelling of Solar Tunnel Drying of Thin Layer Organic Tomato, *Journal*

- of Food Engineering, 73 (3), 231–238.
23. Süfer, Ö., Sezer, S., Demir, H., 2017. Thin Layer Mathematical Modeling of Convective, Vacuum and Microwave Drying of Intact and Brined Onion Slices, *Journal of Food Processing and Preservation*, 41(6).
 24. Çerçi, K.N., Süfer, Ö., Söyler, M., Hürdoğan, E., Özalp, C., 2018. Thin Layer Drying of Zucchini in Solar Dryer Located in Osmaniye Region, *Tehnički Glasnik*, 12(2), 79–85.
 25. Akhondi, E., Kazemi, A., Maghsoodi, V., 2011. Determination of a Suitable Thin Layer Drying Curve Model for Saffron (*Crocus Sativus L*) Stigmas in an Infrared Dryer, *Scientia Iranica*, 18(6), 1397–1401.
 26. Ponkham, K., Meeso, N., Soponronnarit, S., Siriamornpun, S., 2012. Modeling of Combined Far-infrared Radiation and Air Drying of a Ring Shaped-pineapple with/without Shrinkage, *Food and Bioproducts Processing*, 90(2), 155–164.
 27. Doymaz, I., 2012. Evaluation of Some Thin-layer Drying Models of Persimmon Slices (*Diospyros Kaki L.*), *Energy Conversion and Management*, 56, 199–205.
 28. Dash, K.K., Gope, S., Sethi, A., Doloi, M., 2013. Star Fruit Slices, *International Journal of Agriculture and Food Science Technology*, 4(7), 679–686.
 29. Darvishi, H., Asl, A.R., Asghari, A., Azadbakht, M., Najafi, G., Khodaei, J., 2014. Study of the Drying Kinetics of Pepper, *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 13(2), 130–138.
 30. 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.
 31. Darıcı, S., Şen, S., 2015. Experimental Investigation of Convective Drying Kinetics of Kiwi Under Different Conditions, *Heat and Mass Transfer/Waerme- und Stoffuebertragung*, 51 (8), 1167–1176.
 32. Sahdev, R.K., Kumar, M., Dhingra, A.K., 2017. Development of Empirical Expression for Thin Layer Groundnut Drying Under Open Sun and Forced Convection Modes, *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 19(4), 152–158.
 33. Kaya, A., 2008. Kurutmada Isı ve Kütle Transferinin Teorik ve Deneysel Olarak İncelenmesi, Karadeniz Teknik Üniversitesi.
 34. Holman, J., 2001. *Experimental methods for engineers* (8th ed.), McGraw-Hill, ABD.
 35. Akpınar, E., Biçer, Y., 2003. Investigation of Drying Behaviour of Pumpkin in a Cyclone, *G.Ü. Fen Bilimleri Dergisi*, 16(1), 159–169.
 36. Hanif, S., Sultan, M., Miyazaki, T., Koyama, S., 2019. Investigation of Energy-efficient Solid Desiccant System for the Drying of Wheat Grains, *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 12(1), 221–228.
 37. Mota, C.L., Luciano, C., Dias, A., Barroca, M. J., Guiné, R.P.F., 2010. Convective Drying of Onion: Kinetics and Nutritional Evaluation, *Food and Bioproducts Processing*, 88(2–3), 115–123.
 38. 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.
 39. Page, G., 1949. Factors Influencing the Maximum Rates of Air Drying Shelled Corn in Thin Layers, Purdue Üniversitesi, Amerika.
 40. White, G.M., Ross, I.J., Poneleit, C.G., 1981. Fully-Exposed Drying of Popcorn, *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, 24(2), 466–468.
 41. Henderson, S., Pabis, S., 1961. Grain Drying Theory I: Temperature Effect on Drying Coefficient, *Journal of Agricultural Engineering Research*, 6, 169–174.
 42. Hii, C.L., Law, C.L., Cloke, M., 2009. Modeling Using a New Thin Layer Drying Model and Product Quality of Cocoa, *Journal of Food Engineering*, 90(2), 191–198.
 43. Togrul, I.T., Pehlivan, D., 2002. Mathematical Modelling of Solar Drying of Apricots in Thin Layers, *Journal of Food Engineering*, 55(3), 209–216.
 44. Henderson, S.M., 1974. Progress in Developing the Thin Layer Drying Equation., *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, 17(6), 1–3.
 45. Sharma, G.P., Prasad, S., 2004. Effective

- Moisture Diffusivity of Garlic Cloves Undergoing Microwave-convective Drying, *Journal of Food Engineering*, 65(4), 609–617.
46. 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.
47. Dalvand, M., Mohtasebi, S., Rafiee, S., 2012. Determining the Influence of Drying Conditions on EHD Drying Process, *Journal of Agricultural and Biological Science*, 7, 396-401.
48. Figiel, A., 2009. Drying Kinetics and Quality of Vacuum-microwave Dehydrated Garlic Cloves and Slices, *Journal of Food Engineering*, 94(1), 98–104.
49. Vega-Gálvez, A., Scala, K.D., Rodriguez, K., Lemus-Mondaca, R., Miranda, M., Lopez, J., Perez-Won, M., 2009. Effect of Air-drying Temperature on Physico-chemical Properties, Antioxidant Capacity, Colour and Total Phenolic Content of Red Pepper (*Capsicum Anuum*, L. var. Hungarian), *Food Chemistry*, 117(4), 647–653.
50. Haghi, A., Angiz, F., 2007. Heat and Mass Transfer in Thermal Drying of Wool: A Theoretical Approach, in *Proceedings of the 5th Asia-Pacific Drying Conference*, 443–448.
51. 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.
52. Noomhorn, A., Verma, L., 1986. Generalized Single-layer Rice Drying Models, *Transactions of the ASAE*, 29, 587–591.
53. Yaldiz, O., Ertekin, C., 2001. Thin Layer Solar Drying of Some Vegetables, *Drying Technology*, 19(3–4), 583–597.
54. 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.
55. Sharaf-Eldeen, Y., Blaisdell, J., Hamdy, M., 1980. A Model for Ear Corn Drying, *Transaction of the ASAE*, 23(5), 1261–1271.
56. Diamante, L., Munro, P., 1991. Mathematical Modelling of Hot Air Drying of Sweet Potato Slices, *International Journal of Food Science and Technology*, 26, 99–109.