



Sıcak Havayla Kurutulan Enginar (*Cynara cardunculus* L. var. *scolymus*) Dilimlerinin Kuruma Eğrilerinin Tanımlanmasında Yeni Bir Modelin Geliştirilmesi ve Mevcut Modellerle Kıyaslanması

İlknur Alibaş^{1*}

¹Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, 16059 Bursa
*e-posta: ialibas@uludag.edu.tr; Tel: +90(224)2941 608

Geliş Tarihi: 23.11.2011, Kabul Tarihi: 27.03.2012

Özet: İlk nem seviyesi yaş baza göre % 85.9 (± 0.03) olan 100 (± 0.03) g ağırlığındaki ve 4 (± 0.1) mm kalınlığındaki enginar (*Cynara cardunculus* L. var. *scolymus*) dilimleri yaş baza göre nem seviyesi % 9.52 (± 0.005) oluncaya dek 50, 75 ve 100 °C sıcaklıktaki ve 1 m s⁻¹ hıza sahip hava akımıyla kurutulmuşlardır. Kurutma işlemleri 50° C’de 300 dakika, 75°C’de 210 dakika ve 100°C’de ise 130 dakika sürmüştür. Bu çalışmada kurutma literatüründe daha önce çeşitli araştırmacılar tarafından tanımlanmış ve deneysel, yarı deneysel ve teorik olarak sınıflandırılmış 21 farklı ince tabaka kurutma modelinin yanı sıra Midilli ve ark. (2002) eşitliğinden türetilmiş olan ve Alibaş Yaklaşımı olarak adlandırılmış yeni bir kurutma yaklaşımı ile deneysel olarak elde edilen veriler modellenmiştir. Deneysel olarak elde edilen veriler ile tahmin verileri arasındaki ilişkileri gösteren tanımlama katsayısı (R^2), standart hata değeri (SH), ortalama karesel hata (E_{RMS}) ve ki kare (χ^2) değerleri hesaplanmıştır. Tanımlama katsayısının (R^2) en büyük olduğu, standart hata (SH), ki kare (χ^2) ve ortalama karesel hata (E_{RMS}) değerlerinin ise en küçük olduğu model en iyi model olarak seçilmiştir. Buna göre çalışmada kullanılan üç farklı sıcaklık seviyesinde de elde edilen deneysel verilere en yakın sonuçları veren model Alibaş Modeli olarak belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: enginar, sıcak havayla kurutma, nem oranı, ince tabaka kurutma modelleri.

Development of the Nem Drying Model of Explanation of Drying Curves in Hor-Air Drying of Artichoke Slices and Comparison between the Other Drying Models and the New Model

Abstract: Artichoke (*Cynara cardunculus* L. var. *scolymus*) slices with 100 (± 0.03) g weight and 85.9 % (± 0.03) humidity on wet basis were dried in convective oven at 50, 75 and 100°C temperatures, until the moisture content fell down to 9.52 % (± 0.005) on wet basis. Drying processes were completed between 300 and 130 min depending on temperature levels. In this study, measured values were compared with predicted values obtained from twenty one thin layer drying theoretical,

semi-empirical and empirical equations including a new thin layer drying equation and a new model is called Alibas (equation is derived from Midilli ve ark., 2002). In this study, coefficient of determination (R^2), standard error of estimated (SEE), root mean square error (E_{RMS}) and chi-square (χ^2) was calculated. For applied temperature levels; model whose (R^2) are highest and standard error of estimated (SEE), root mean square error (E_{RMS}) and chi-square (χ^2) are lowest was chosen to be the best model. According to this, the best model for the all temperature levels was found to be Alibas Model.

Key Words: air drying, artichoke, moisture ratio, thin-layer drying models.

Giriş

Kökene çok yıllık devedikeni olan *Cynara* familyasına ait enginar (*Cynara cardunculus* L. var. *scolymus*) Güney Avrupa ve Akdeniz ikliminde yetişen bir sebzedir (Rottenberg ve Zohary, 1996). İdrar söktürücü özelliğe sahip olan, besleyiciliği ve lif içeriği bakımından zengin olan enginar şeker hastalığına, karaciğer fonksiyonlarının düzenlenmesine, kandaki HDL ve LDL kolesterolün normal seviyeye düşmesine ve böylece kalp hastalığının engellenmesine fayda sağlamaktadır (Englisich ve ark., 2005).

Tarımsal ürünler hasat edildikten sonra da solunum faaliyetlerine devam ettikleri için hızlı bir şekilde bozulmaya başlarlar. Ürünlerin hasat işleminden sonra kullanım sürelerinin artırılması için pek çok yöntem bulunmaktadır. Bu yöntemlerden biri de kurutma yöntemidir. Kurutma ürünlerdeki nemin hızlı bir şekilde üründen uzaklaştırılması olarak tanımlanmaktadır. (Alibaş, 2006; Ertekin ve Yıldız, 2004). Tarımsal ürünlerin kurutulması için pek çok kurutma yöntemi bulunmaktadır. Pek çok sıcak iklim ülkesinde kurutma işlemi güneş gören bir yere ürünlerin serilmesi suretiyle gerçekleştirilmektedir. Bizim ülkemizde de çok yaygın olarak kullanılan güneşte kurutma yöntemi ürünlerin tozlanması, toprak ve istenmeyen başka parçacıkların ürüne bulaşması ve ürünün böceklenmesi gibi risklere açık olduğundan ve hava şartlarına bağlı bir yöntem olması nedeniyle dezavantajları çok olan bir kurutma yöntemidir (Toğrul, 2006). Bu nedenle tarımsal ürünlerin kurutulmasında sıcak hava akımıyla kurutma yöntemi yaygın olarak kullanılan bir yöntem haline almıştır (Demir ve ark., 2004; Doymaz ve Pala, 2002; Gupta ve ark., 2002; Alibas, 2006; Doymaz, 2004a; Doymaz, 2004b).

Sıcak havayla kurutma yöntemi ile defneyaprağı (Demir ve ark., 2004), kırmızıbiber ve kırmızı şili biberi (Doymaz ve Pala, 2002; Gupta ve ark., 2002), elma dilimleri (Akpınar ve ark., 2003), mantar (Cao ve ark., 2003), pazı yaprakları (Alibas, 2006), havuç (Doymaz, 2004a), bamyası (Doymaz, 2004b), ve patlıcan (Ertekin ve Yıldız, 2004) gibi pek çok tarımsal ürün kurutulmuştur.

İnce tabaka kurutma işlemlerinde kurutulacak örnekler kurutma alanına tek tabaka olacak şekilde yerleştirilir. İnce tabaka kurutma kuramını tanımlayan pek çok deneysel, yarı deneysel ve teorik model bulunmaktadır (Ozdemir ve Devres, 1999; Midilli ve Kucuk, 2003). İnce tabaka kurutma sürecinin matematiksel olarak modellenmesi kurutma sistemlerinin performansının artırılması açısından son derece önemlidir (Cihan ve ark., 2007).

Bu çalışmanın amacı; i) enginar dilimlerinin ince tabaka kurutma kinetiğinin belirlenmesi, ii) deneysel olarak elde edilen kurutma verilerinin, literatürde daha önce tanımlanmış olan ince tabaka kurutma modellerine ait tahmin verileri ile karşılaştırılması, iii) Midilli ve ark. (2002) yaklaşımından türetilmiş olan Alibaş modelinin diğer kurutma

modelleri ile karşılaştırılması, iv) deneysel verilere en yakın sonuçları veren en iyi matematiksel modelin seçilmesidir.

Materyal ve Yöntem

Materyal

Kurutulmak üzere hasat edilen taze enginar (*Cynara cardunculus* L. var. *scolymus*) Bursa'nın Gürsu İlçesindeki bir üreticiden alınmıştır. Enginar kalbi 4 mm kalınlığında ve 80±09 mm çapında dairesel şeritler halinde kesilmiş ve kurutma işlemlerinden önce nemini kaybetmemesi açısından hava almayan bir kap içerisinde $4 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ sıcaklığında bekletilmiştir (Alibas, 2006). Bu sıcaklıkta bekletilmiş enginar dilimleri kurutma işlemlerinden hemen önce renk içeriklerini kaybetmemeleri (kararmanın engellenmesi) için 100°C sıcaklıkta buhar veren bir buhar makinasında (Raksi, Buharlum, Manisa, Türkiye) yaklaşık 30 saniye kadar bekletilmiş ve bu işlemin ardından kurutma fırınına alınmışlardır. Belirtilen sürecin ardından nem tayin yöntemlerinden biri olan ve sıcaklığı 105°C olan kurutma fırınında materyallerin 24 saat süreyle bekletilmesi sürecinden oluşan kurutma dolabı yöntemi kullanılarak materyallerin sahip oldukları ilk nem içeriği kurutma fırını öncesi ve sonrası ağırlık ölçümlerinden yola çıkılarak belirlenmiştir (Işık ve Alibaş, 2000).

Kurutma Ekipmanları ve Kurutma Yöntemi

Kurutma denemeleri teknik özellikleri 230 V ~, 50 Hz ve 2900 W olan programlanabilir bir fırında (Arcelik MD 592, Türkiye) yapılmıştır. Kurutma kurutma bölmesi hacmi 327 x 370 x 207 mm'dir. Kurutma süresi fırının üzerindeki dijital bir saat aracılığıyla ölçülmüştür. Fırın, 50, 75, 100, 125, 150, 175, 200, 225 ve 250°C 9 farklı sıcaklık seviyesinde çalışabilmektedir. Fırın içerisinde havayı ürünün üzerine 1 m s^{-1} hızda yönlendiren bir adet fan bulunmaktadır. Fanın hızı bir anemometre yardımıyla ölçülmüştür.

Yaş baza göre % 85.9 (± 0.03) nem seviyesine sahip olan ve 100 (± 0.03) g ağırlığında tartılan enginar dilimlerinin kurutulması 50, 75 ve 100°C sıcaklıklarda, nem seviyesi yaş baza göre % 9.52 (± 0.005) olana dek gerçekleştirilmiştir. Denemeler her sıcaklık seviyesi için üç tekrarlı olarak gerçekleştirilmiştir ve veriler bu üç tekrarın ortalamaları alınarak elde edilmiştir. Kurutma işlemleri boyunca hassasiyeti 0.01 g olan bir tartım aleti (Sartorius EX 2000A, Almanya) aracılığıyla her 5 dakikada bir ağırlık ölçümü yapılmış (Alibas, 2006). Tartım işlemleri 10 s içinde tamamlanmıştır (Alibas, 2006).

Kurutmanın herhangi bir anında enginarın kuru baza göre nem içeriği (kg su/kg kuru madde) aşağıdaki eşitlikle belirlenmiştir:

$$M_1 = \frac{(W_o - W_k)}{W_k} = \frac{[W_o - (W_t - W_s)]}{W_t - W_s} \quad (1)$$

Burada; M_1 materyalin ölçülen andaki nem içeriği (kg su/kg kuru madde), W_o örneklerin ölçülen andaki ağırlığı (kg), W_t örneklerin ilk ağırlığı (kg), W_s örneklerin bünyesindeki toplam su miktarı, W_k örneklerin toplam kuru ağırlığı (kg). Nem oranı (MR) aşağıdaki eşitlikle hesaplanmıştır:

$$MR = \frac{M - M_e}{M_o - M_e} \quad (2)$$

Burada; M ilk nem içeriği (kg su/kg kuru madde), M_e is denge nem içeriği (kg su/kg kuru madde), M_o herhangi bir andaki nem içeriği (kg su/kg kuru madde) (Karaaslan ve Tunçer, 2008; Doymaz ve ark., 2006). Bu çalışmada eşitlik sadeleştirilerek $MR=M/M_o$ olarak kullanılmıştır (Diamente ve Munro, 1993; Ertekin ve Yaldız, 2004).

Veri Analizi

Literatürde daha önce tanımlanmış olan 21 farklı deneysel, yarı deneysel ve teorik ince tabaka kurutma modelinin yanı sıra Midilli ve ark. (2002) yaklaşımından türetilmiş olan Alibas modeline ait eşitlikler Çizelge 1’de verilmiştir. Doğrusal olmayan (non-linear) tanımlama analizleri Tablo 1’deki eşitlikler kullanılarak SPSS 17.0 istatistik programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çizelge 1’de tanımlanan eşitliklere ait kurutma parametreleri ve katsayıları ($k, k_o, k_1, k_2, a, a_o, b, c, g, h, L$ ve n) doğrusal olmayan tanımlama analizleri ile hesaplanmıştır.

Çizelge 1. İnce tabaka kurutma modelleri ve eşitlikleri

Model no	Model ismi	Model eşitliği	Referanslar
1	Lewis	$M_R = \exp(-kt)$	Lewis (1921)
2	Page	$M_R = \exp(-kt^n)$	Page (1949)
3	Modified Page	$M_R = \exp[-(kt)^n]$	Overhults ve ark. (1973)
4	Henderson ve Pabis	$M_R = a \exp(-kt)$	Henderson ve Pabis (1961)
5	Logarithmic	$M_R = a \exp(-kt) + c$	Yagcioglu ve ark. (1999)
6	Two-term	$M_R = a \exp(-k_o t) + b \exp(-k_1 t)$	Henderson (1974)
7	Two-term exponential (Approximation of diffusion)	$M_R = a \exp(-kt) + (1 - a) \exp(-kat)$	Sharaf-Elden ve ark. (1980)
8	Wang ve Singh	$M_R = 1 + at + bt^2$	Wang ve Singh (1978)
9	Thomson	$t = a. \ln(M_R) + b[\ln(M_R)]^2$	Thomson ve ark. (1968)
10	Diffusion approach	$M_R = a \exp(-kt) + (1 - a) \exp(-kbt)$	Kassem (1998)
11	Verma ve ark.	$M_R = a \exp(-kt) + (1 - a) \exp(-gt)$	Verma ve ark. (1985)
12	Modified Henderson & Pabis	$M_R = a \exp(-kt) + b \exp(-gt) + c \exp(-ht)$	Karathanos (1999)
13	Simplified Fick’s diffusion (SFFD) equation	$M_R = a \exp[-c(t/L^2)]$	Diamente ve Munro (1991)
14	Modified Page equation-II	$M_R = \exp[-k(t/L^2)^n]$	Diamente ve Munro (1993)
15	Midilli ve ark.	$M_R = a \exp(-kt^n) + bt$	Midilli ve ark. (2002)
16	Weibull distribution	$M_R = a - b \exp[-(kt^n)]$	Babalıs ve ark. (2006)
17	Aghbashlo ve ark.	$M_R = \exp(-k_1 t / 1 + k_2 t)$	Aghbashlo ve ark. (2009)
18	Logistic	$M_R = a_o / (1 + a \exp(kt))$	Chandra ve Singh (1995)
19	Jena ve Das	$M_R = a \exp(-kt + b\sqrt{t}) + c$	Jena ve Das (2007)
20	Demir ve ark.	$M_R = a \exp(-kt)^n + c$	Demir ve ark. (2007)
21	Alibas Model	$M_R = a \exp((-kt^n) + (bt)) + g$	Yeni Model

M_R , nem oranı; a, a_o, b, c, g, h , katsayılar; n , kurutma parametresi; k, k_o, k_1, k_2 , kurutma sabitleri (min^{-1}); t , kurutma süresi (d); L , kalınlık (mm).

Matematisel Hesaplamalar

Tanımlama katsayısı (R^2) enginar dilimlerinin sıcak havayla kurutulmasında en uygun matematisel modelin seçiminde başlıca kriterdir. Tanımlama katsayısı deneysel verilerle tahmin verileri arasındaki yakınlığı test etmede kullanılmaktadır ve aşağıdaki eşitlikle hesaplanmaktadır:

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (M_{R_{exp,i}} - M_{R_{exp,mean,i}})^2 - (M_{R_{pre,i}} - M_{R_{exp,i}})^2}{\sum_{i=1}^N (M_{R_{exp,i}} - M_{R_{exp,mean,i}})^2} \quad (4)$$

Burada; R^2 tanımlama katsayısı, $M_{R_{exp,i}}$ herhangi bir ölçüm anındaki deneysel nem oranı, $M_{R_{pre,i}}$ herhangi bir ölçüm anındaki tahmin edilen nem oranı ve N is toplam gözlem sayısıdır.

Standart hata (SH) kurutma işlemleri boyunca tüm ölçüm aralıklarında ölçülen ve tahmin edilen veriler arasındaki farkı vermektedir ve ideal değeri "0" olmalıdır. Standart hata aşağıdaki eşitlikle hesaplanmaktadır:

$$SH = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (M_{R_{exp,i}} - M_{R_{pre,i}})^2}{N - n}} \quad (5)$$

Burada; n sabit ve katsayıların sayısıdır.

Ortalama karesel hata (E_{RMS}) modelin kısa vadeli performansını tanımlamada kullanılmaktadır ve aşağıdaki eşitlikle hesaplanmaktadır:

$$E_{RMS} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (M_{R_{pre,i}} - M_{R_{exp,i}})^2}{N}} \quad (6)$$

Ki kare (χ^2) is deneysel ve tahmin verileri ortalamalarının karesidir ve modelin etkinliği için bu değer mümkün olduğunca küçük olması gerekmektedir. Ki kare değeri aşağıdaki eşitlikte olduğu gibi hesaplanmaktadır:

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (M_{R_{exp,i}} - M_{R_{pre,i}})^2}{N - n} \quad (7)$$

Araştırma Bulguları ve Tartışma

Kurutma Eğrileri

Enginar dilimlerinin nem içeriğinin kuruma süresine göre değişimi Şekil 1'de verilmiştir. İlk nem seviyesi yaş baza göre % 85.9 (± 0.03) olan enginar dilimleri nem seviyesi yaş baza göre % 9.52 (± 0.005) oluncaya dek 50, 75 ve 100°C sıcaklıktaki 1 m s⁻¹ hızdaki hava akımıyla kurutulmuştur. Kurutma işlemleri 50°C sıcaklıkta 300 dakika, 75°C sıcaklıkta 210 dakika ve 100°C sıcaklıkta ise 130 dakika sürmüştür. Kurutma sıcaklığın artmasıyla kurutma süresinde önemli ölçüde bir azalma meydana gelmiştir (Demir ve ark., 2004; Doymaz ve Pala, 2002; Gupta ve ark., 2002; Alibas, 2006; Doymaz, 2004a;

Doymaz, 2004b). Sıcaklık seviyesinin 50°C'den, 75°C'ye artırılmasıyla kurutma süresinde yaklaşık 1.62 kat bir azalma, 100°C'ye artırılmasıyla ise kurutma süresinde yaklaşık 2.31 kat bir azalma kaydedilmiştir.

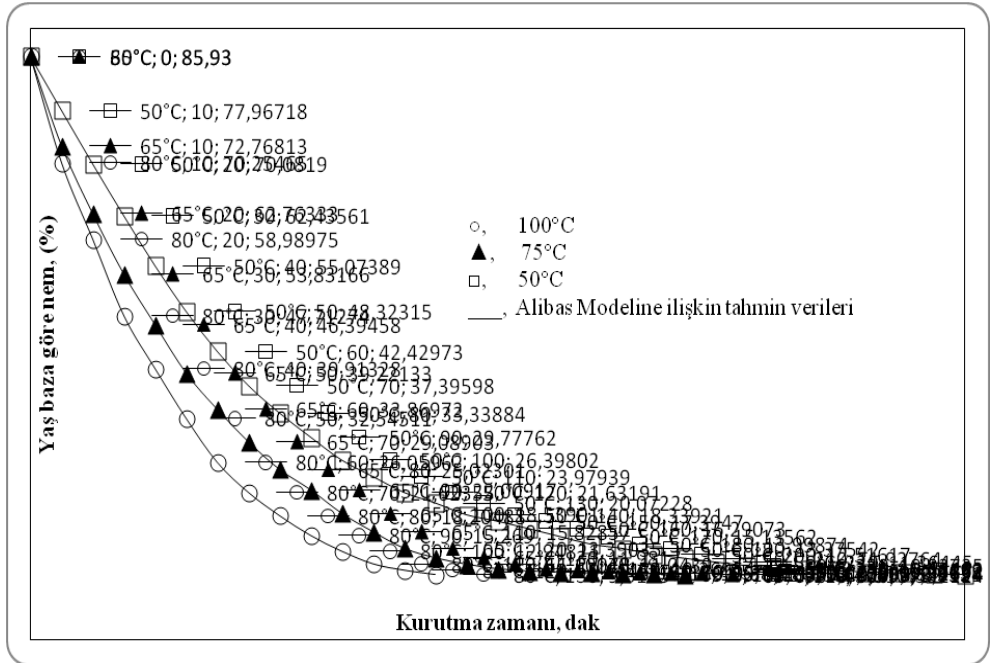
Çizelge 1'de tanımlanmış 21 farklı kurutma modeline ilişkin tanımlama katsayısı (R^2), standart hata (SH), ortalama karesel hata (E_{RMS}) ve ki kare (χ^2) istatistik verileri Çizelge 2'de verilmiştir. Çalışmada, (R^2) değerinin "1" değerine en yakın olduğu ve E_{RMS} , χ^2 ve SH değerlerinin ise en küçük olduğu ince tabaka kurutma modeli Alibas Modelidir. Söz konusu sıcaklık seviyeleri için tahmin verilerinin deneysel verilere en yakın olduğu model olan Alibas Modeli, en iyi tahmin eden model olarak tanımlanmıştır. Alibas Modelinin tanımlama katsayıları (R^2) sırasıyla 50°C sıcaklıkta 0.9998, 75°C sıcaklık seviyesinde 0.9999 ve 100°C sıcaklık seviyesinde ise 0.9998 olarak hesaplanmıştır. Sıcaklığın 50°C olduğu kurutma seviyesinde 0.9998 olan tanımlama katsayısı ile Alibas modelinin tanımlama katsayısına en yakın sonuçları veren diğer modeller 0.9997 tanımlama katsayısı değeri ile Modified Henderson ve Pabis, Midilli ve ark., Weibull distribution ve Jena ve Das modelleridir. Bu sıcaklık seviyesinde tanımlama katsayısının en küçük olduğu model ise Wang ve Singh modelidir. Sıcaklık değerinin 75°C olduğu kurutma seviyesinde ise 0.9999 değerinde tanımlama katsayısına sahip olan Alibas modeline en yakın sonucu veren model ise 0.9994 tanımlama katsayısı değeri ile Modified Henderson ve Pabis modeli ve tanımlama katsayısının en düşük olduğu model ise 0.9765 değeri ile Thomson modelidir. Kurutma sıcaklığının 100°C olduğu kurutma seviyesinde ise tanımlama katsayısının 0.9998 olduğu en iyi model olan Alibaş modeline en yakın kurutma modeli 0.9997 tanımlama katsayısı ile Aghbashlo ve ark. modelidir. Bu sıcaklık seviyesinde tanımlama katsayısının en küçük olduğu model ise 0.9039 tanımlama değeri ile Midilli ve ark. modelidir. Alibaş modeline ilişkin ki kare değerleri ise 50, 75 ve 100°C sıcaklıklar için sırasıyla, $6.0311 \cdot 10^{-24}$, $1.04881 \cdot 10^{-20}$ ve $2.2495 \cdot 10^{-23}$ olarak belirlenmiştir. Sıcaklığın 50°C olduğu kurutma seviyesinde Modified Henderson ve Pabis, Midilli ve ark., Weibull distribution ve Jena ve Das modellerindeki ki kare değerleri sırasıyla $1.2037 \cdot 10^{-06}$, $3.2843 \cdot 10^{-07}$, $1.5025 \cdot 10^{-21}$ ve $6.1768 \cdot 10^{-20}$; 75°C sıcaklıkta Modified Henderson ve Pabis modelinin ki kare değeri $6.2537 \cdot 10^{-06}$ ve 100°C sıcaklıkta Aghbashlo ve ark. modelinin ki kare değeri ise $6.0984 \cdot 10^{-06}$ olarak saptanmıştır. En iyi tahmin modeli olarak seçilen Alibas Modelinin ve diğer 20 kurutma modelinin hesaplanan kurutma sabit ve katsayıları (a , a_0 , b , c , g , h , m , L , n , k , k_1 ve k_2) Tablo 3'de verilmiştir. Buna göre, Alibas Modelinin a ve b katsayılarının sıcaklık değerinin artması ile azaldığı, n ve g katsayılarının sıcaklık değerinin artması ile arttığı ve k katsayısının ise sıcaklık değişimiyle bir ilişkisi olmadığı belirlenmiştir.

Sıcak havayla kurutulmuş enginar dilimlerinin nem oranının (MR) kuruma süresi (t) ile değişimi Şekil 2'de en iyi tahmin modeli olan Alibas modeline ait tahmin verileri ile karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir.

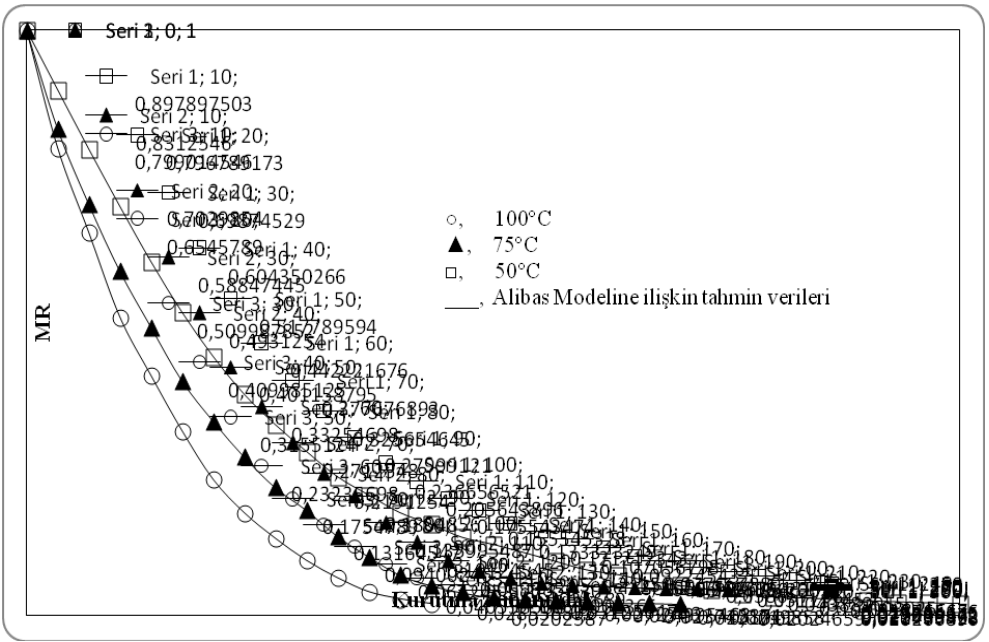
Deneysel veriler ile Alibas Modeli ile tahmin verileri lineer olarak Şekil 3'de verilmiştir. Şekil 3'e göre deneysel veriler ile tahmin verileri arasındaki tanımlama katsayısı (R^2) 0.9999 olarak bulunmuştur.

Seiiedlou ve ark. (2010) elmayı 50, 60 ve 70°C sıcaklıkta kurutmuşlar ve kurutma verilerini Lewis, Page, Modified Page, Henderson, Logarithmic, Midilli ve ark., Approximation of diffusion, Wang & Singh, Weibull ve Aghbashlo ve ark. modelleri ile modellemişler ve tanımlama katsayısının (R^2) en yüksek olduğu modelin Aghbashlo modeli olduğunu saptamışlardır. Shiby ve Mishra (2007) hint yoğurdunu 45, 50 ve 55°C sıcaklıkta

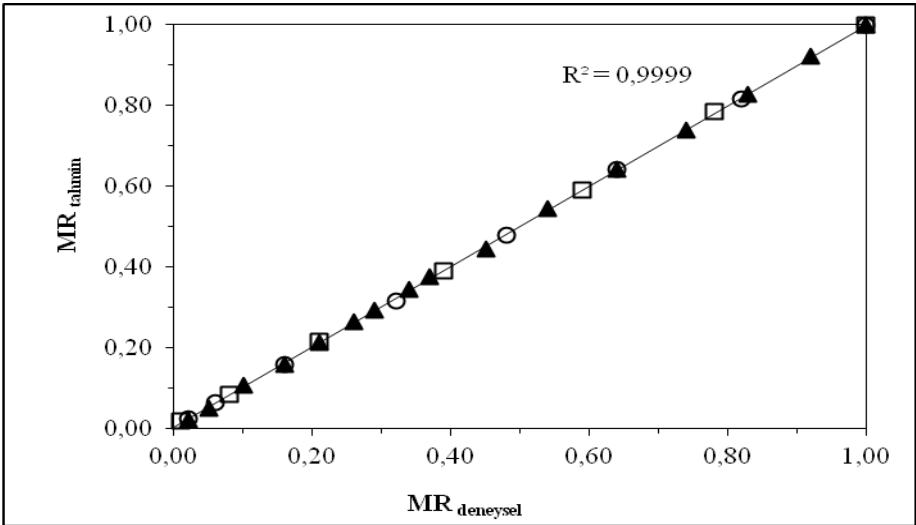
kurutmuş ve elde ettikleri kurutma verilerini Lewis, Page, Modified Page, Henderson ve Pabis, Logarithmic ve Midilli modelleri ile modellemişler ve Midilli modelini en iyi model olarak tespit etmişlerdir. Günhan ve ark. (2005) defne yapraklarını 40, 50 ve 60°C sıcaklıkta kurutmuş ve 15 farklı kurutma modeli ile modellemişlerdir. En iyi modelin Page modeli olduğunu saptamışlardır. Taheri-Garavand ve ark. (2010) 40, 60 ve 80°C sıcaklıkta kuruttukları domatesi 9 farklı kurutma modeli ile modellemişler ve en iyi modelin Midilli ve ark. modeli olduğunu bulmuşlardır. Saeed ve ark. (2008) Afrika bamyasını (hibiskus sabdariffa L.) 35, 45, 55 ve 65°C de kurutarak 12 farklı kurutma modeli ile modellemişler ve en iyi modelin two-term exponential modeli olduğunu saptamışlardır. Goyalde ve ark. (2009) şeker kamışı dilimlerini 50ve 60 °C sıcaklıkta kurutup Henderson and Pabis, Logarithmic, Midilli ve Page Modelleri ile modellemişler ve en iyi modelin Midilli model olduğunu bulmuşlardır. Cihan ve ark. (2007) kavuzlu pirinci 40°C sıcaklıkta kurutarak 10 farklı kurutma modeli ile modellemişlerdir. Deneysel verilere en yakın sonuçları veren modelin Midilli modeli olduğunu saptamışlardır. Ertekin ve Yaldiz (2004) patlıcanı 30, 40, 50, 60 ve 70°C sıcaklıklarda kurutmuş ve 12 farklı kurutma modeli ile modellemişlerdir. En iyi modelin Midilli modeli olduğunu saptamışlardır. Doymaz ve ark. (2006) maydanoz ve dereotu yapraklarını 50, 60 ve 70°C sıcaklıkta kurutmuşlar ve Lewis, Henderson ve Pabis, Page ve Midilli ve Kucuk modelleri ile modellemişlerdir. Tanımlama katsayısının en yüksek olduğu modelin Midilli ve Küçük modeli olduğunu tespit etmişlerdir.



Şekil 1. Nem içeriğinin kuruma süresine göre değişimi



Şekil 2. Nem oranının kuruma süresi ile değişimi



Şekil 3. Deneysel ve tahmini nem oranları arasındaki ilişki; □, 50°C; ▲, 75°C; ○, 100°C.

Çizelge 2. Farklı kurutma sıcaklık seviyeleriyle kurutulmuş enginar dilimlerinin modellenmesine ilişkin istatistikî veriler; SH , standart hata; R^2 , tanımlama katsayısı; E_{RMS} , ortalama kareleşme hatası; χ^2 , ki kare.

Model No	50°C					75°C					100°C					
	SH	R^2	E_{RMS}	χ^2	SH	R^2	E_{RMS}	χ^2	SH	R^2	E_{RMS}	χ^2	SH	R^2	E_{RMS}	χ^2
1	0.0141	0.9975	4.0621 10 ⁰³	1.7051 10 ⁻⁰⁵	0.0184	0.9961	1.6877 10 ⁰²	2.9839 10 ⁻⁰⁴	0.0227	0.9948	1.4880 10 ⁰²	2.3844 10 ⁻⁰⁴	0.0236	0.9948	1.4880 10 ⁰²	2.5831 10 ⁻⁰⁴
2	0.0081	0.9992	1.5492 10 ⁰²	2.5654 10 ⁻⁰⁴	0.0113	0.9986	8.1299 10 ⁰³	7.2705 10 ⁻⁰⁵	0.0112	0.9988	1.0939 10 ⁰²	1.3960 10 ⁻⁰⁴	0.0218	0.9955	2.2693 10 ⁰²	6.0078 10 ⁻⁰⁴
3	0.0143	0.9975	4.0622 10 ⁰³	1.7639 10 ⁻⁰⁵	0.0188	0.9961	1.6877 10 ⁰²	3.1331 10 ⁻⁰⁴	0.0236	0.9948	1.4880 10 ⁰²	2.5831 10 ⁻⁰⁴	0.0086	0.9994	1.3493 10 ¹⁴	2.3173 10 ⁻²⁸
4	0.0107	0.9986	2.3621 10 ⁰³	5.9642 10 ⁻⁰⁶	0.0176	0.9966	2.2026 10 ⁰²	5.3366 10 ⁻⁰⁴	0.0218	0.9955	2.2693 10 ⁰²	6.0078 10 ⁻⁰⁴	0.0239	0.9955	2.2693 10 ⁰²	7.2094 10 ⁻⁰⁴
5	0.0108	0.9985	8.2205 10 ¹¹	7.4817 10 ⁻²¹	0.0139	0.9980	4.1601 10 ¹¹	2.0039 10 ⁻²¹	0.0086	0.9994	1.3493 10 ¹⁴	2.3173 10 ⁻²⁸	0.0104	0.9990	1.0588 10 ⁰²	1.3079 10 ⁻⁰⁴
6	0.0110	0.9986	2.3621 10 ⁰³	6.4060 10 ⁻⁰⁶	0.0185	0.9966	2.2026 10 ⁰²	5.9295 10 ⁻⁰⁴	0.0239	0.9955	2.2693 10 ⁰²	7.2094 10 ⁻⁰⁴	0.0250	0.9941	2.0217 10 ⁰²	4.7684 10 ⁻⁰⁴
7	0.0091	0.9990	1.8352 10 ⁰²	3.6003 10 ⁻⁰⁴	0.0104	0.9988	7.1828 10 ⁰³	5.6752 10 ⁻⁰⁵	0.0104	0.9990	1.0588 10 ⁰²	1.3079 10 ⁻⁰⁴	0.0250	0.9941	2.0217 10 ⁰²	4.7684 10 ⁻⁰⁴
8	0.0535	0.9656	5.9699 10 ⁰²	3.8098 10 ⁻⁰³	0.0419	0.9808	4.6323 10 ⁰²	2.3604 10 ⁻⁰⁵	0.0250	0.9941	2.0217 10 ⁰²	4.7684 10 ⁻⁰⁴	1.2545	0.9992	5.3667 10 ⁰¹	3.3602 10 ⁻⁰¹
9	5.1313	0.9969	4.6334 10 ¹⁰	2.2948 10 ⁻⁰¹	10.2017	0.9765	4.5010 10 ⁻⁰⁰	2.2285 10 ⁻⁰¹	1.2545	0.9992	5.3667 10 ⁰¹	3.3602 10 ⁻⁰¹	0.0103	0.9990	1.0463 10 ⁰²	1.3934 10 ⁻⁰⁴
10	0.0080	0.9992	3.7799 10 ⁰³	1.5819 10 ⁻⁰⁵	0.0157	0.9973	1.6527 10 ⁰²	3.1626 10 ⁻⁰⁴	0.0103	0.9990	1.0463 10 ⁰²	1.3934 10 ⁻⁰⁴	0.0098	0.9992	9.3409 10 ⁰³	1.1105 10 ⁻⁰⁴
11	0.0068	0.9995	3.9199 10 ⁰³	1.7012 10 ⁻⁰⁵	0.0101	0.9989	5.3778 10 ⁰³	3.3488 10 ⁻⁰⁵	0.0098	0.9992	9.3409 10 ⁰³	1.1105 10 ⁻⁰⁴	0.0107	0.9992	6.8513 10 ⁰³	8.2146 10 ⁻⁰⁵
12	0.0045	0.9997	9.8525 10 ⁰⁴	1.2037 10 ⁻⁰⁶	0.0080	0.9994	2.1326 10 ⁰³	6.2537 10 ⁻⁰⁶	0.0107	0.9992	6.8513 10 ⁰³	8.2146 10 ⁻⁰⁵	0.0218	0.9955	2.2693 10 ⁰²	6.5540 10 ⁻⁰⁴
13	0.0107	0.9986	2.3621 10 ⁰³	6.1772 10 ⁻⁰⁶	0.0176	0.9966	2.2026 10 ⁰²	5.6174 10 ⁻⁰⁴	0.0218	0.9955	2.2693 10 ⁰²	6.5540 10 ⁻⁰⁴	0.0112	0.9988	1.0939 10 ⁰²	1.5229 10 ⁻⁰⁴
14	0.0081	0.9992	1.5492 10 ⁰²	2.6570 10 ⁻⁰⁴	0.0113	0.9986	8.1299 10 ⁰³	7.6532 10 ⁻⁰⁵	0.0112	0.9988	1.0939 10 ⁰²	1.5229 10 ⁻⁰⁴	0.1058	0.9039	1.1132 10 ⁰²	1.7350 10 ⁻⁰⁴
15	0.0052	0.9997	5.3484 10 ⁰⁴	3.2843 10 ⁻⁰⁷	0.0113	0.9987	1.3155 10 ⁰³	2.1151 10 ⁻⁰⁶	0.1058	0.9039	1.1132 10 ⁰²	1.7350 10 ⁻⁰⁴	0.0071	0.9996	1.2126 10 ¹⁰	2.0586 10 ⁻²⁰
16	0.0047	0.9997	3.6175 10 ¹¹	1.5025 10 ⁻²¹	0.0122	0.9985	1.9263 10 ¹¹	4.5350 10 ⁻²²	0.0071	0.9996	1.2126 10 ¹⁰	2.0586 10 ⁻²⁰	0.0050	0.9997	2.2863 10 ⁰³	6.0984 10 ⁻⁰⁶
17	0.0117	0.9984	1.8047 10 ⁰²	3.4814 10 ⁻⁰⁴	0.0086	0.9992	4.0430 10 ⁰³	1.7980 10 ⁰⁵	0.0050	0.9997	2.2863 10 ⁰³	6.0984 10 ⁻⁰⁶	0.0090	0.9993	5.4235 10 ⁰³	3.7436 10 ⁻⁰⁵
18	0.0085	0.9992	1.0671 10 ⁰²	1.2608 10 ⁻⁰⁴	0.0096	0.9990	1.4164 10 ⁰³	2.3231 10 ⁻⁰⁶	0.0090	0.9993	5.4235 10 ⁰³	3.7436 10 ⁻⁰⁵	0.0080	0.9995	5.7293 10 ¹¹	4.5955 10 ⁻²¹
19	0.0046	0.9997	2.3194 10 ¹⁰	6.1768 10 ⁻²⁰	0.0128	0.9984	2.3842 10 ¹⁰	6.9475 10 ⁻²⁰	0.0080	0.9995	5.7293 10 ¹¹	4.5955 10 ⁻²¹	0.0091	0.9994	3.4455 10 ⁰⁸	1.6620 10 ⁻¹⁵
20	0.0110	0.9986	5.8136 10 ¹⁰	3.8806 10 ⁻¹⁹	0.0143	0.9980	3.0426 10 ⁰³	1.1315 10 ⁻⁰⁵	0.0091	0.9994	3.4455 10 ⁰⁸	1.6620 10 ⁻¹⁵	0.0049	0.9998	3.8027 10¹²	2.2495 10⁻²³
21	0.0045	0.9998	2.2491 10¹²	6.0311 10⁻²⁴	0.0034	0.9999	8.9996 10¹¹	1.0481 10⁻²⁰	0.0034	0.9999	8.9996 10¹¹	1.0481 10⁻²⁰	0.0049	0.9998	3.8027 10¹²	2.2495 10⁻²³

Çizelge 3. Farklı kurutma sıcaklık seviyeleriyle kurutulmuş enginar dilimlerinin modellemesine ilişkin kurutma katsayıları ve sabitleri.

M. no	50°C			75°C			100°C		
	<i>Kurutma katsayıları ve sabitleri</i>			<i>Kurutma katsayıları ve sabitleri</i>			<i>Kurutma katsayıları ve sabitleri</i>		
1	k=0.0138			k=0.0191			k=0.0240		
2	k=0.0096 n=1.0813			k=0.0124 n=1.1031			k=0.0144 n=1.1304		
3	k=0.1172 n=0.1176			k=0.2151 n=0.0887			k=0.1665 n=0.1438		
4	k=0.0138 a=1.0141			k=0.0195 a=1.0220			k=0.0245 a=1.0248		
5	k=0.0141 a=1.0344 c=-0.0021			k=0.0181 a=1.0358 c=-0.0254			k=0.0208 a=1.0698 c=-0.0647		
6	k=0.0142 m=0.0142 a=0.5290 b=0.5045			k=0.0195 m=0.0195 a=0.5088 b=0.5133			k=0.0245 m=0.0245 a=0.5079 b=0.5169		
7	k=0.0167 a=1.5472			k=0.0236 a=1.5826			k=0.0304 a=1.6293		
8	a=-0.0092 b=2.0694 10 ⁻⁰⁵			a=-0.0128 b=4.0523 10 ⁻⁰⁵			a=-0.0174 b=7.8083 10 ⁻⁰⁵		
9	a=-28.9989 b=0.7426			a=-21.4138 b=0.1598			a=-20.1452 b=-1.5246		
10	k=0.3517 a=-0.0384 b=0.0406			k=0.1256 a=-0.0380 b=0.1571			k=0.0483 a=-0.6888 b=0.6344		
11	k=0.0146 a=1.0596 g=80.8029			k=0.0279 a=114.5784 g=0.0280			k=0.0365 a=151.9160 g=0.0366		
12	k=0.0149 a=2.0667 b=-0.0894 c=-0.9786 g=0.0977 h=0.0149			k=0.0255 a=1.7999 b=-80.4059 c=79.6067 g=0.0602 h=0.0604			k=0.0338 a=3.1106 b=-1.0550 c=-1.0636 g=0.0412 h=0.0412		
13	a=1.0335 c=0.2276 L=4.0000			a=1.0220 c=0.3117 L=4.0000			a=1.0248 c=0.3923 L=4.0000		
14	k=0.1919 n=1.0813 L=4.0000			k=0.2640 n=1.1031 L=4.0000			k=0.3297 n=1.1304 L=4.0000		
15	k=0.0092 n=1.0980 a=1.0081 b=4.7915 10 ⁻⁰⁵			k=0.0155 n=1.1150 a=0.9872 b=1.5576 10 ⁻⁰⁵			k=0.7757 n=0.2240 a=1.0267 b=-0.0069		
16	k=0.0085 n=1.1202 a=0.0161 b=-0.9887			k=0.0150 n=1.0487 a=-0.0176 b=-1.0258			k=0.0155 n=1.0899 a=-0.0290 b=-1.0193		
17	k=0.0130 k ₂ =-0.0006			k ₁ =0.0168 k ₂ =-0.0016			k ₁ =0.0204 k ₂ =-0.0025		
18	k=0.0157 a ₀ =5.2865 a=4.2001			k=0.0241 a ₀ =2.6675 a=1.6997			k=0.0316 a ₀ =2.3631 a=1.3861		
19	k=0.0169 a=0.9870 b=0.0243 c=0.0100			k=0.0201 a=1.0102 b=0.0151 c=-0.0165			k=0.0226 a=1.0499 b=0.0098 c=-0.0522		
20	k=0.2120 a=1.0344 n=0.0667 c=-0.0021			k=0.1351 a=1.0358 n=0.1337 c=-0.0254			k=0.1468 a=1.0698 n=0.1419 c=-0.0647		
21	k=3.1551 n=1.0006 a=0.9857 b=3.1485 g=0.0157			k=8.9520 10 ⁻¹⁰ n=4.0835 a=0.9774 b=-0.0183 g=0.0220			k=1.4945 10 ⁻⁰⁶ n=4.3428 a=0.9668 b=-0.0214 g=0.0306		

Sonuç

Enginar dilimlerinin yaş baza göre % 85.9 (± 0.03) nem değerinden % 9.52 (0.005) nem değerine kadar 50, 75 ve 100°C sıcaklıklarda kurutulması işlemleri sırasıyla 300, 210 ve 130 dakikada tamamlanmıştır.

Kurutma işlemlerinin her biri 21 farklı kurutma modeli ile modellenmiş ve tanımlama katsayısının en yüksek çıktığı Alibaş modeli en iyi model olarak tespit edilmiştir. Alibaş Modelinin tanımlama katsayısı 50, 75 ve 100 °C sıcaklık seviyeleri için sırasıyla, 0.9998, 0.9999 ve 0.9998 olarak tespit edilmiştir.

Kaynaklar

- Aghlasho, M., Kianmehr, M.H., Khani, S. and M., Ghasemi, 2009. Mathematical Modeling of Carrot Thin-layer Drying Using New Model. *Int. Agrophysic.*, 23;313-317.
- Akpinar E., Bicer, Y. and A., Midilli, 2003. Modelling and Experimental Study on Drying of Apple Slices in A Convective Cyclone Dryer. *Journal of Food Process Engineering*, 26;515-543.
- Alibas, I., 2006. Characteristics of Chard Leaves during Microwave, Convective, and Combined Microwave-Convective Drying. *Drying Technology*, 24(1);1425-1435.
- Babalıs, S.J., Papanicolaou, E., Kyriakis, N. And V.G., Belessiotis, 2006. Evaluation of Thin-Layer Drying Models for Describing Drying Kinetics of Figs (*Ficus carica*). *Journal of Food Engineering*, 75;205-214.
- Cao, W., Nishiyama, Y. and S., Koide, 2003. Thin-Layer Drying of Maitake Mushroom Analysed with A Simplified Model. *Biosystems Engineering*, 85;331-337.
- Chandra, P.K. and R.P., Singh, 1995. *Applied Numerical Methods for Food and Agricultural Engineers*. pp. 163-167. CRC Press. Boca Raton, FL.
- Cihan, A., Kahveci, K. and O., Hacıhafizoğlu, 2007. Modelling of Intermittent Drying of Thin Layer Rough Rice. *Journal of Food Engineering*, 79;293-298.
- Demir, V., Gunhan, T., Yagcioglu, A.K. and A., Degirmencioglu, 2004. Mathematical Modelling and the Determination of Some Quality Parameters of Air-Dried Bay Leaves. *Biosystems Engineering*, 88;325-335.
- Demir, V., Gunhan, T. and A.K., Yagcioglu, 2007. Mathematical Modelling of Convection Drying of Green Table Olives. *Biosystems Engineering*, 98(1);47-53.
- Diamante, L.M. and P.A., Munro, 1991. Mathematical Modeling of Hot Air Drying of Sweet Potato Slices. *International Journal of Food Science and Technology*, 26;99.
- Diamante, L.M. and P.A., Munro, 1993. Mathematical Modeling of the Thin Layer Solar Drying of Sweet Potato Slices. *Solar Energy*, 51;271-276.
- Doymaz, I., 2004a. Convective Air Drying Characteristics of Thin Layer Carrots. *Journal of Food Engineering*, 61;359-364.
- Doymaz, I., 2004b. Drying Characteristics and Kinetics of Okra. *Journal of Food Engineering*, 69;275-279.

- Doymaz, I. and M., Pala, 2002. Hot-Air Drying Characteristics of Red Pepper. *Journal of Food Engineering*, 55;331-335.
- Doymaz, İ., Tugrul, N. and M., Pala, 2006. Drying Characteristics of Dill and Parsley Leaves. *Journal of Food Engineering*, 77;559-565.
- Englisch, W., Beckers, C., Unkauf, M., Ruepp, M. and V., Zinserling, 2005. Efficacy of Artichoke Dry Extract in Patients with Hyperlipoproteinemia, 50(3);260-265.
- Ertekin, C. and O., Yaldiz, 2004. Drying of Eggplant and Selection of a Suitable Thin Layer Drying Model. *Journal of Food Engineering*, 63;349-359.
- Goyalde, N.A., Melo, E. deC., Goneli, R.P.A.L.D. and F.L., Araújo, 2009. Mathematical Modeling of The Drying Kinetics of Sugar Cane Slices. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, Campina Grande, 11(2);117-121.
- Gunhan, T., Demir, V., Hancioglu, E. and A., Hepbasli, 2005. Mathematical Modeling of Drying of Bay Leaves. *Energy Conversion and Management*, 46; 1667-1679.
- Gupta, P., Ahmed, J., Shivhare, U.S. and G.S.V., Raghavan, 2002. Drying Characteristics of Red Chilli. *Drying Technology*, 20;1975-1987.
- Henderson, S.M., 1974. Progress in Developing the Thin Layer Drying Equation. *Transection of ASAC*, 17;1167-1172.
- Henderson, S.M. and S., Pabis, 1961. Grain Drying Theory. II. Temperature Effects on Drying Coefficients. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 6;169-174.
- Işık, E., ve İ., Alibaş, 2000. Tarımsal Ürünlerin Kurutulmasında Kullanılan Yöntemler ve Kurutma Sistemleri, Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yardımcı Ders Notu No:3, s.17, Bursa, Türkiye.
- Jena, S. and H., Das, 2007. Modelling for Vacuum Drying Characteristics of Coconut Presscake. *Journal of Food Engineering*, 79;92-99.
- Karaaslan, S.N. and İ.K., Tunçer, 2008. Development of a Drying Model for Combined Microwave-Fan Assisted Convection Drying of Spinach. *Biosystems Engineering*, 100;44-52.
- Karathanos, V.T., 1999. Determination of Water Content of Dried Fruits by Drying Kinetics. *Journal of Food Engineering*, 39;337-344.
- Kassem, A.S., 1998. Comparative Studies on Thin Layer Drying Models for Wheat. 13 th International Congress on Agricultural Engineering, vol. 6, Morocco. 2-6 February.
- Lewis, W.K., 1921. The Rate of Drying of Solid Materials. *Industrial Engineering Chemistry*, 13;427-432.
- Midilli, A. and H., Kucuk, 2003. Mathematical Modeling of Thin Layer Drying of Pistachio by using Solar Energy. *Energy Conversion and Management*, 44(7);1111-1122.
- Midilli, A., Kucuk, H. and Z., Yapar, 2002. A New Model for Single Layer Drying. *Drying Technology*, 20(7);1503-1513.
- Overhults, D.D., White G.M., Hamilton M.E. and I.J., Ross, 1973. Drying Soybeans with Heated Air. *Transactions of the ASEA*, 16;195-200.
- Özdemir, M. and Y.O., Devres, 1999. The Thin Layer Drying Characteristics of Hazelnuts during Roasting. *Journal of Food Engineering*, 42; 225-233.

- Page, G., 1949. Factors Influencing the Maximum Rates of Air-Drying Shelled Corn in Thin Layer. M.S. Thesis. Department of Mechanical Engineering, Purdue University, West Lafayette, IN, USA.
- Rottenberg, A., and D., Zohary, 1996. The Wild Ancestry of The Cultivated Artichoke. *Genet. Res. Crop Evol.*, 43;53-58.
- Saeed, I.E., Sopian, K. and Z.Z., Abidin, 2008. Drying Characteristics of Roselle (1): Mathematical Modeling and Drying Experiments. *Agricultural Engineering International: The CIGR Ejournal*. Manuscript FP 08 015.
- Seiiedlou, S., Ghasemzadeh, H.R., Hamdami, N., Talati, F. and M., Moghaddam, 2010. Convective Drying of Apple: Mathematical Modeling and Determination of some Quality Parameters. *International Journal of Agriculture & Biology*, 12(2);171-178.
- Sharaf-Eldeen, Y.I., Blaisdell, J.L. and M.Y., Hamdy, 1980. A Model for Ear Corn Drying. *Transactions of the ASAE*, 23;1261-1271.
- Shiby, V.K. and H.N., Mishra, 2007. Thin Layer Modelling of Recirculatory Convective Air Drying of Curd (Indian Yoghurt). *Trans IChemE, Part C, Food and Bioproducts Processing*, 85(3);193-201.
- Taheri-Garavand, A., Rafiee, S. and A., Keyhani, 2010. Mathematical Modeling of Thin Layer Drying Kinetics of Tomato Influence of Air Dryer Conditions. *International Transaction Journal of Engineering, Management, & Applied Sciences & Technologies*, 2(2);147-160.
- Thomson, T.L., Peart P.M. and G.H., Foster, 1968. Mathematical Simulation of Corn Drying: A New Model. *Transaction of the ASAE*, 11;582-586.
- Toğrul, H., 2006. Suitable drying model for infrared drying of carrot. *Journal of Food Engineering*, 77(3);610-619.
- Verma, L.R., Bucklin, R.A., Endan, J.B. and F.T., Wratten, 1985. Effects of Drying Air Parameters on Rice Drying Models. *Transactions of the ASEA*, 28;296-301.
- Wang, C.Y. and R.P., Singh, 1978. A Single Layer Drying Equation for Rough Rice. *ASAE Paper No. 78-3001*, ASAE, St. Joseph, MI.
- Yagcioglu, A., Degirmencioglu, A. and F., Cagatay, 1999. Drying Characteristic of Laurel Leaves under Different Conditions of Conditions. In: Bascetincelik A., editor. *Proceeding of the 7 th International Congress of Agricultural Mechanization and Energy*, p.565-569. Cukurova University, Adana, Turkey. 26-27 May.

