



Araştırma/Research

Anadolu Tarım Bilim. Derg./Anadolu J Agr Sci, 30 (2015) 99-109

ISSN: 1308-8750 (Print) 1308-8769 (Online)

doi: 10.7161/anajas.2015.30.2.99-109



İnce tabaka mango dilimlerinin mikrodalga tekniği ile kurutulması

İlknur Alibaş

Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, Bursa

Sorumlu yazar/corresponding author: ialibas@uludag.edu.tr

Geliş/Received 12/02/2015

Kabul/Accepted 13/07/2015

ÖZET

Bu çalışma kapsamında yaş baza göre nem içeriği %89.23±0.45 olan mango dilimleri 100±2 g ağırlığında tartılarak 1000, 750, 500 ve 90 W mikrodalga gücünde ve 50°C sıcaklığında sıcak havayla kurutma yöntemi ile yaş baza göre nem içeriği %12.75±0.17 oluncaya dek kurutulmuştur. Kurutma işlemleri 1000, 750, 500 ve 90 W mikrodalga kurutma seviyeleri için sırasıyla 7.5, 12, 18.5 ve 111 dakika; 50°C sıcaklık seviyesinde ise 255 dakika sürmüştür. Kurutma verileri 13 farklı ince tabaka kurutma modeli ile modellenmiştir. Regresyon katsayısının (R^2) en büyük olduğu, standart hata (SEE), ki kare (χ^2) ve ortalama karesel hatanın ($RMSE$) en küçük olduğu model en iyi model olarak seçilmiştir. Buna göre 1000, 500 ve 90 W mikrodalga kurutma deneylerinden elde edilen verilere en yakın sonuçları veren kurutma modelinin Jena & Das modeli olduğu belirlenmiştir. Buna karşın 750 W mikrodalga gücünde ve 50°C sıcaklıktaki kurutma işlemlerinde deneysel verilere en yakın tahmin sonuçlarını veren modelin Alibas modeli olduğu saptanmıştır. Çalışmada ayrıca mikrodalga kurutma tekniği ve sıcak hava ile kurutulan mango dilimlerinin renk değerleri (L , a , b , C ve α) de saptanmış olup taze ürünün renk değerleri ile karşılaştırılmalı olarak verilmiştir. Buna göre taze ürüne en yakın renk değerinin 750 ve 500 W mikrodalga seviyelerinde elde edildiği, mikrodalga enerjisinin artırılması ya da azaltılmasının renk özellikleri üzerinde olumsuz etkilere neden olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Sözcükler:

Mango
Mikrodalga kurutma
Modelleme
Renk
Sıcak havayla kurutma

Drying of thin layer mango slices with microwave technique

ABSTRACT

In this study, mango slices with 100 (±2) g weight and 89.23% (±0.45) moisture content on wet basis were microwave dried at 1000, 750, 500 and 90 W microwave powers and hot-air dried at 50°C temperature, until the moisture content fell down to 12.75% (±0.17) on wet basis. Microwave drying processes at 1000, 750, 500 and 90 W power levels were completed within 7.5, 12, 18.5 and 111 min, whereas hot-air drying process at 50°C temperature was completed within 255 min. Drying data were modeled with 13 different drying models. Models whose coefficient of regression (R^2) are highest and standard error of estimated (SEE), root mean square error ($RMSE$) and chi-square (χ^2) are lowest were chosen to be the most appropriate models. According to this, the best model at 1000, 500 and 90 W microwave powers in terms of the closest values between experimental data and predicted data was determined to be Jena & Das model. On the other hand, the color parameters (L , a , b , C ve α) of dried mango slices were also determined and compared with color parameters of fresh mango slices in this study. According to this, the best color parameters were obtained in the microwave drying at 750 and 500 W microwave power levels. The decreasing or increasing of microwave power levels caused negative effects under the dried mango slices in terms of the color parameters.

Keywords:

Mango
Microwave drying
Modeling
Color
Hot-air drying

© OMU ANAJAS 2015

1. Giriş

İçeriğinde antioksidanlar, A, C, B6 ve diğer B vitaminleri, potasyum, bakır gibi temel besin elementleri, mineral, amino asit ve enzimler barındırdığı için pek çok

hastalığa karşı koruyucu özelliği olduğu düşünülen mango (*Mangifera indica* L.), taze veya kurutulmuş olarak tüketilen tropikal bir meyvedir (Chattopadhyay, 2001; Rathore ve ark., 2013; Fasoli ve Righetti, 2013; Korbel ve ark., 2013). Neredeyse her meyve ve sebze gibi mango da

hasattan sonra her hangi bir muhafaza işlemine tabi tutulmazsa kısa süre içinde bozulmaya başlar (Alibas, 2012; Sogi ve ark., 2014). Ürünün nem içeriğinin belli bir sınır değere kadar buharlaştırarak üründen uzaklaştırılması olarak tanımlanan kurutma, bilinen en eski muhafaza yöntemidir (Ozkan ve ark., 2007). Kurutma yapılarak materyal içerisindeki mikroorganizma faaliyetleri durdurulduğundan dolayı ürünün bozulmadan uzun süre muhafaza edilebilmesi sağlanır (Ertekin ve Yaldız, 2004; Alibas, 2012).

Sıcak havayla kurutma, taze meyve ve sebzelerin kurutulmasında yaygın olarak kullanılan bir kurutma yöntemidir (Soysal, 2004). Kuruma süresinin uzun olması, yüksek sıcaklık nedeniyle kuru ürünün bünyesinde çeşitli kalite kayıplarının meydana gelmesi, yeniden su çekme kapasitesinin azalması (Drouzas ve ark., 1999; Maskan, 2001), enerji tüketiminin yüksek olması ve eriyiklerin kurutma materyalinin iç kısmından materyallerin dış yüzeylerine doğru kayması (Feng ve Tang, 1998; Maskan, 2000) gibi ciddi hasarlanmalar sıcak havayla kurutma sürecinde karşılaşılan sorunların en başında gelmektedir.

Kurutma süresini önemli ölçüde kısaltması, enerji tasarrufu sağlaması, kalite kayıplarını en aza indirmesi ve materyalde tekdüze bir sıcaklık dağılımı sağlaması gibi avantajlarından dolayı mikrodalga ışınların kullanımı giderek daha yaygın bir hale gelmiştir (Torrington ve ark., 2001; Diaz ve ark., 2002; Feng, 2002; Soysal, 2004; Alibas, 2014a; Alibas ve Koksall, 2014).

Çalışmada, kurutulacak örnekler kurutma alanına tek tabaka olacak şekilde yerleştirilmiştir. İnce tabaka kurutma kuramını tanımlayan pek çok deneysel, yarı deneysel ve teorik model bulunmaktadır (Midilli ve Kucuk 2003; Alibas, 2014b). İnce tabaka kurutma sürecinin matematiksel olarak modellenmesinin kurutma sistemlerinin performansının artırılması açısından son derece önemli olduğu bilinmektedir (Alibas, 2012; Cihan ve ark., 2007).

Bu çalışmanın amacı; i) mango dilimlerinin ince tabaka kurutma kinetiğinin belirlenmesi, ii) deneysel olarak elde edilen kurutma verilerinin, literatürde daha önce tanımlanmış olan 13 farklı ince tabaka kurutma modeli ile tahmin edilmesi ve iii) kurutulan örneklerin renk parametrelerinin taze ürünlerle karşılaştırılmasıdır.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Kurutma materyali

Kurutma materyali olarak kullanılan mango (*Magnifera indica* L.) Bursa'daki yerel bir marketten olgunlaşmış olanları seçilerek alınmıştır. Mango bitkisi kurutma işlemlerinden önce nem içeriğini kaybetmemesi için ıslak yastıklarla çevrelenerek $4\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ sıcaklığında bekletilmiştir (Alibas, 2012). Sıcaklığı 105°C olan kurutma fırınında 24 saat süreyle bekletilen mango dilimlerinin ilk ve son nem içerikleri, söz konusu işlemler sırasında alınan ağırlık ölçümleri kullanılarak hesaplanmıştır.

2.2. Ön muamele işlemleri

Kurutma işlemlerinden önce mango bitkisi bir

dilimleme makinası yardımıyla (Graef ECO146, Almanya) 5 ± 0.5 mm kalınlığında dilimlenmiştir. Kurutma öncesinde uygulanan kısa süreli sıcak uygulamaları ürünün hem kalite parametrelerinin korunmasına hem de kurutma işlemlerinin daha hızlı bir şekilde gerçekleşmesine sebep olduğundan mango dilimleri renklerinin ve diğer kalite parametrelerinin korunması amacıyla 1 dakika süre bir buharlı pişirici makinasında (Raks, Buharlım, Manisa, Türkiye) 100°C sıcaklığındaki buhara tabi tutulmuşlardır. Mangonun dilimlerinin dış yüzeylerinde havayla temas sırasında oluşan oksitlenme reaksiyonundan kaynaklanan kahverengimsi lekeleri ortadan kaldırmak için ürünler buhar uygulama işleminden önce %2'lik sitrik asit çözeltisine batırılmışlardır (Alibas, 2007).

2.3. Kurutma ekipmanları ve kurutma yöntemi

Hem mikrodalga hem de sıcak havayla kurutma denemeleri teknik özellikleri 230 V ~, 50 Hz ve 2900 W olan programlanabilir bir fırında (Arçelik MD 592, Türkiye) yapılmıştır. Kurutma fırınının alanı $327\times 370\times 207$ mm boyutlarındadır ve kurutma alanının tabanının ortasında çapı 280 mm olan döner cam bir kurutma tablası bulunmaktadır. Kurutma zamanı fırının üzerindeki dijital bir saat aracılığıyla ölçülmektedir. Fırın, 1000 – 90 W mikrodalga güç aralığında 8 ayrı seviyede ve 250 – 50°C sıcaklık aralığında 9 farklı seviyede 1 m s^{-1} fan hızında çalışabilmektedir. Kurutma denemeleri, 1000, 750, 500 ve 90 W mikrodalga güç ve 1 m s^{-1} hava hızında 50°C sıcaklıkta gerçekleştirilmiştir. Kurutulan örnekler ağırlıkları $100 (\pm 2)$ g olacak şekilde tartılmıştır. Denemeler üç tekrarlı olarak yapılmıştır. Mikrodalga kurutma işlemleri sırasında fırın içindeki fan devre dışı bırakılmıştır. Dolayısıyla mikrodalga kurutma işlemlerinin tümü içeride her hangi bir zoraki hava sirkülasyonu olmaksızın gerçekleştirilmiştir. Mikrodalga kurutma kinetiğinin belirlenmesi açısından her 30 saniyede, sıcak hava denemesinde ise her 5 dakikada bir fırın açılarak örneklerden 0.01 g hassasiyete sahip dijital bir tartım aleti (Aİsep EX 2000A, Almanya) yardımıyla ağırlık ölçümü alınmıştır. Tüm ağırlık ölçüm işlemleri 10 saniye içinde tamamlanmıştır (Alibas, 2012).

Ağırlık ölçümlerinden yola çıkılarak çeşitli hesaplamalar yapılmıştır. Kuru baza göre ilk nem içeriği aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır:

$$M_0 = \frac{(W_0 - W_k)}{W_k} \quad (1)$$

Burada; M_0 , materyalin ilk nem içeriği [(kg su) (kg kuru madde⁻¹)]; W_0 , örneklerin ilk andaki ağırlığı (kg) ve W_k , örneklerin toplam kuru ağırlığıdır (kg). Ayrılabilir nem içeriği (MR) aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır (Yağcıoğlu ve ark., 1999):

$$MR = \frac{M - M_e}{M_0 - M_e} \quad (2)$$

Burada; M , herhangi bir andaki nem içeriği [(kg su) (kg kuru madde⁻¹)] ve M_e , denge nem içeriği [(kg su) (kg kuru madde⁻¹)]. M_e , değeri "0" olarak kabul edilmiştir (Maskan, 2000; Soysal, 2004). Çalışmada ayrılabilir nem içeriği değeri sadeleştirilerek $MR=M/M_0$ olarak kullanılmıştır.

Kuruma hızı (DR), aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmaktadır:

$$DR = \frac{M_{t+dt} - M_t}{d_t} \quad (3)$$

Burada; M_t , t anındaki ve M_{t+dt} , t+dt aralığındaki nem içeriği [(kg su) (kg kuru madde⁻¹)] olup DR ise kuruma hızıdır [(kg su) (kg kuru madde s⁻¹)] (Karaaslan ve Tunçer, 2008; Doymaz ve ark., 2006).

2.4. Veri analizi

Çalışma, 3 tekerrürlü olarak kurulmuş olup elde edilen verilerin ortalamaları ve diğer istatistik hesaplamalar JMP 9.0.2 istatistik programıyla yapılmıştır. Deneysel veriler daha önceki araştırmalarda çeşitli araştırmacılar tarafından tanımlanmış olan 13 farklı ince tabaka kurutma modeli ile modellenmiştir. Bu modellere ilişkin eşitlikler Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1. İnce tabaka kurutma tahminleri için kullanılan matematiksel modeller

Model numarası	Model ismi	Model eşitliği	Eşitlik Numarası	İlgili Kaynak
1	Page	$M_R = \exp(-kt^n)$	(4)	Page, 1949
2	Düzenlenmiş Page	$M_R = a \exp[-(kt^n)]$	(5)	Wang ve Singh, 1978
3	Logaritmik	$M_R = a \exp(-kt) + c$	(6)	Yagcioglu ve ark., 1999
4	Two-term	$M_R = a \exp(-k_0 t) + b \exp(-k_1 t)$	(7)	Henderson, 1974
5	Thomson	$t = a \ln(M_R) + b [\ln(M_R)]^2$	(8)	Thomson ve ark., 1968
6	Verma et al.	$M_R = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-gt)$	(9)	Verma ve ark., 1985
7	Midilli et al.	$M_R = a \exp(-kt^n) + bt$	(10)	Midilli ve ark., 2002
8	Weibull dağılımı	$M_R = a - b \exp[-(kt^n)]$	(11)	Babalis ve ark., 2006
9	Aghbashlo et al.	$M_R = \exp(-k_1 t / 1 + k_2 t)$	(12)	Aghbashlo ve ark., 2009
10	Logistic	$M_R = a_0 / (1 + a \exp(kt))$	(13)	Chandra ve Singh, 1995
11	Jena & Das	$M_R = a \exp(-kt + b\sqrt{t}) + c$	(14)	Jena ve Das, 2007
12	Demir et al.	$M_R = a \exp(-kt^n) + c$	(15)	Demir ve ark., 2007
13	Alibas	$M_R = a \exp(-kt^n) + bt + c$	(16)	Alibas, 2012

M_R , ayrılabilir nem içeriği; a, a_0, b, c, g, h , katsayılar; n , kurutma sabiti; k, k_0, k_1, k_2 , kurutma sabiti (min^{-1}); t , zaman (s); L , numune kalınlığı.

Doğrusal olmayan regresyon analizleri NLREG Advanced istatistik programı kullanılarak yapılmıştır. Çizelge 1’de tanımlanan eşitliklere ait kurutma sabit ve katsayıları (k, a, a_0, b, c, g ve n) doğrusal olmayan regresyon analizleri ile hesaplanmıştır.

Kurutma sabit ve katsayılarının varyasyonlarının (Y) oluşturulması için mikrodalga kurutmada mikrodalga güç yoğunluğu, sıcak havayla kurutmada sıcaklık içeren 5 farklı eşitlik tanımlanmıştır (Guarte, 1996; Ertekin ve Yıldız, 2004). Bu eşitlikler, lineer tip ($Y=a+bX$), logaritmik tip ($Y=a+b \ln(X)$), güç tipi ($Y=aX^b$), exponential tip ($Y=a \exp(bX)$) ve arrhenius tip ($Y=a \exp(b/X)$) şekilde tanımlanmıştır. Bu çalışmada regresyon katsayısının en yüksek olduğu model, optimum model olarak tanımlanmış ve optimum model eşitliği mikrodalga kurutmada güç yoğunluğu ve sıcak havayla kurutmada ise sıcaklık değerlerini içeren formülasyonlar oluşturulması amacıyla Arrhenius tip matematiksel eşitlikle, NLREG Advanced istatistik programı kullanılarak sabit ve katsayılarına ($k_1, k_2, a_1, a_2, b_1, b_2, g_1, g_2, n_1$ ve n_2) ayrılmıştır.

2.5. Matematiksel hesaplamalar

Regresyon katsayısı (R^2) mango dilimlerinin mikrodalga ve sıcak havayla kurutulmasında en uygun matematiksel modelin seçiminde başlıca kriter olmuştur. Tahminin standart hatası (SEE) kurutma işlemleri boyunca tüm ölçüm aralıklarında ölçülen ve tahmin edilen veriler arasındaki farkı vermektedir ve ideal değeri “0” olmalıdır. Tahminin regresyon katsayısı (R^2) ve standart hatası (SEE) aşağıdaki eşitlikler kullanılarak hesaplanmaktadır:

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (M_{R_{exp,i}} - M_{R_{exp,mean,i}})^2 - (M_{R_{pre,i}} - M_{R_{exp,i}})^2}{\sum_{i=1}^N (M_{R_{exp,i}} - M_{R_{exp,mean,i}})^2} \quad (17)$$

$$SEE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (M_{R_{exp,i}} - M_{R_{pre,i}})^2}{N - n_i}} \quad (18)$$

Burada; $M_{R_{exp,i}}$, deneyler sırasında ölçülen ayrılabilir nem içeriği (%), $M_{R_{pre,i}}$, modelin tahmin ettiği ayrılabilir

nem içeriği (%), N , gözlem sayısı, n_i sabit ve katsayıların sayısıdır. Modelin kısa vadeli performansını belirlemede kullanılan ortalama karesel hata ($RMSE$) ve aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (M_{R_{pre,i}} - M_{R_{exp,i}})^2}{N}} \quad (19)$$

Ki kare (χ^2) is deneysel ve tahmin verileri ortalamalarının karesidir ve modelin etkinliği için bu değerin mümkün olduğunca küçük olması gerekmektedir. Ki kare değeri aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır:

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (M_{R_{exp,i}} - M_{R_{pre,i}})^2}{N - n_i} \quad (20)$$

2.6. Renk ölçüm yöntemi

Renk okumaları Macintosh tabanlı bir bilgisayar programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir (MAC, Renk sayısallaştırıcısı, versiyon 2014). Taze ve kuru numunelere ilişkin fotoğraflar 18 Mp bir kameranın makro çekim objektifi ile her bir dozaj için 20 şer adet olacak şekilde çekilerek bilgisayara aktarılmış ve numunelerin L (parlaklık), a (yeşillik-kırmızılık), b (sarılık-mavilik) renk değerlerinin tespit edilmesi sağlanmıştır. Her bir dozaj için 20'şer adet fotoğraf kullanılmış ve renk değerlerinin ortalaması alınmıştır. Fotoğraflar yüksek ışık şiddeti ile aydınlatılmış kapalı bir ortamda, ışığın çekilecek olan materyallere ön cepheden temas etmesini sağlayacak şekilde ve flaş kullanılmaksızın çekilmiştir. Böylece gölgeleme faktörü ortadan kaldırılmıştır. Bu değerlerden yararlanılarak diğer renk kriterleri olan rengin kroması (C) ve renk açısı (α) ise aşağıdaki eşitlikler kullanılarak hesaplama yöntemi ile bulunmuştur (Alibas, 2007):

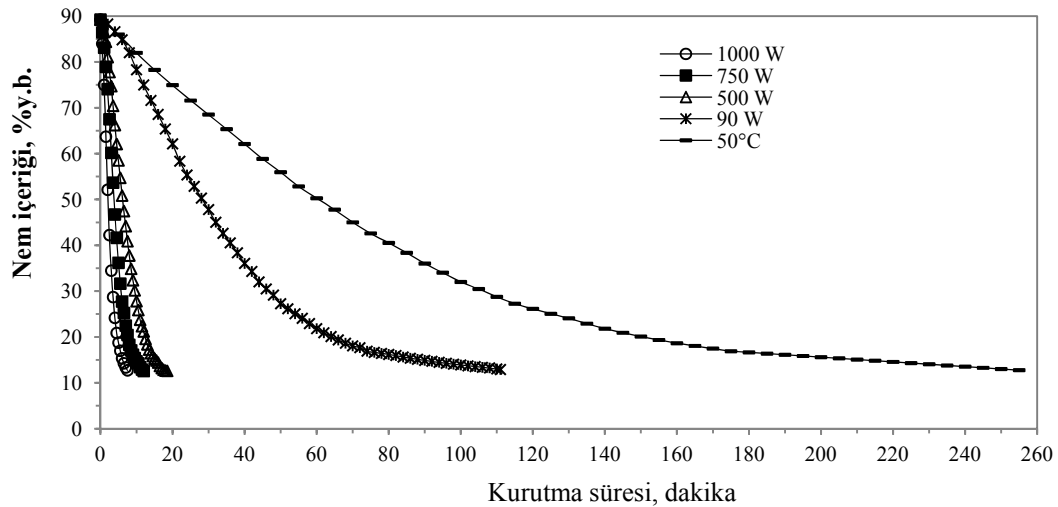
$$C = \sqrt{a^2 + b^2} \quad (21)$$

$$\alpha = \tan^{-1}(b/a) \quad (22)$$

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Kurutma eğrileri ve matematiksel modelleme

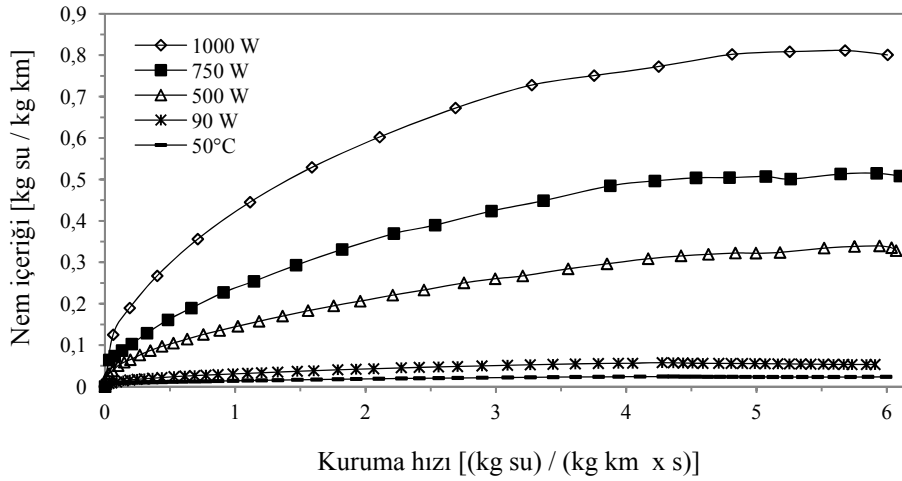
Mango dilimlerinin mikrodalga ve sıcak hava ile kurutulmasındaki nem içeriği-zaman diyagramı Şekil 1'de verilmiştir. İlk nem içeriği yaş baza göre % 89.23 (± 0.45) olan mango dilimleri nem içeriği yaş baza göre % 12.75 (± 0.17) oluncaya dek 1000, 750, 500 ve 90 W mikrodalga güç seviyelerinde ve 50°C sıcak havada kurutulmuştur. Mikrodalga güç seviyesinin 90, 500, 750 ve 1000 W olduğu kurutma işlemlerinin toplam süresinin sırasıyla 111, 18.5, 12 ve 7.5 dakika; 50°C sıcaklıkta gerçekleştirilen sıcak havayla kurutma işleminin süresinin ise 255 dakika olduğu saptanmıştır. Mikrodalga enerjisinin artmasıyla kurutma zamanında azalma meydana gelmiştir (Sarimeseli, 2011; Evin, 2012; Demirhan ve Ozbek, 2011; Al-Harashsheh, 2009). Meyve ve sebzelerin kurutulmasında gerek sanayi koşullarında gerekse literatürde çok sık rastlanılan 50°C sıcaklıkta sıcak havayla kurutmaya göre mikrodalga enerjisinin kullanımı ile kurutma süresinde önemli ölçüde azalma meydana geldiği belirlenmiştir (Soysal, 2004; Alibaş, 2014a). Mikrodalga gücünün 90 W'dan 1000 W'a çıkarılması ile kurutma süresinin 14.8 kat azaldığı tespit edilmiştir. Benzer şekilde 50°C sıcaklıkta sıcak havayla kurutma yerine 1000 W ve 90 W mikrodalga güç seviyelerinin kullanılması ile kurutma süresinin sırasıyla 34 ve 2.3 kat kısaldığı belirlenmiştir.



Şekil 1. Mango dilimlerinin mikrodalga ve sıcak havayla kurutulmasındaki yaş baza göre nem içeriği

Farklı mikrodalga güç seviyelerindeki ve 50°C sıcaklıktaki havayla kurutma işlemlerine ilişkin kuruma hızları ($\text{kg (H}_2\text{O) kg}^{-1}(\text{DM) s}^{-1}$) kuru baza göre nem içeriğine bağlı olarak Şekil 3’de verilmiştir. Mango dilimlerinin 1000, 750, 500 ve 90 W mikrodalga güç seviyesindeki ortalama kuruma hızları sırasıyla 0.541247, 0.323090, 0.196459 ve 0.0400777 $\text{kg (H}_2\text{O) kg}^{-1}(\text{DM) s}^{-1}$ olarak saptanmıştır. Buna karşın 50°C sıcaklıktaki kuruma hızının ise 0.01832 $\text{kg (H}_2\text{O) kg}^{-1}(\text{DM) s}^{-1}$ olduğu

belirlenmiştir. Mikrodalga gücünün artması ile kuruma hızının da arttığı tespit edilmiştir. Ayrıca en düşük mikrodalga gücü olan 90 W ve en yüksek güç olan 1000 W seviyelerinde belirlenen kuruma hızlarının, 50°C sıcaklıktaki kuruma hızına göre sırasıyla 2.30 ve 34 kat daha yüksek olduğu da belirlenmiştir. Bu bulgular literatürdeki çeşitli araştırmacıların bulgularıyla paralellik göstermektedir (Sharma ve Prasad, 2001; Maskan, 2000; Soysal, 2004; Ozkan ve ark., 2007).



Şekil 2. Mikrodalga kurutma ve sıcak havayla kurutmada mango dilimlerinin kuruma hızı

Çizelge 1’de tanımlanmış olan 13 farklı kurutma modeline ilişkin regresyon katsayısı (R^2), standart hata (SEE), ortalama karesel hata ($RMSE$) ve ki kare (χ^2) değerleri Çizelge 2a ve 2b’de verilmiştir. Çalışmada, (R^2) değerinin “1” değerine en yakın olduğu ve $RMSE$, χ^2 ve SEE değerlerinin ise en küçük olduğu ince tabaka kurutma modelinin 1000 W, 500 W ve 90 W mikrodalga güç seviyeleri için Jena ve Das modeli; 750 W ve 50°C için ise Alibas Modeli olduğu belirlenmiştir. Jena ve Das

Modelinin en uygun model olarak belirlendiği 1000 W, 500 W ve 90 W mikrodalga güç seviyeleri için regresyon katsayısının (R^2) sırasıyla 0.9997, 0.9993 ve 0.9997 olduğu tespit edilmiştir. Buna karşın Alibas Modelinin en iyi model olduğu 750 W ve 50 °C kurutma seviyeleri için regresyon katsayısının (R^2) sırasıyla 0.9998 ve 0.9994 olduğu belirlenmiştir. Çalışmada, en küçük regresyon katsayısına sahip olan bu bakımdan da deneysel verilere en uzak

Çizelge 2a. Mikrodalga kurutma için farklı ince tabaka kurutma modelleri ile elde edilen istatistiksel sonuçlar

Model Numarası	1000 W				750 W			
	R^2	SEE	RMSE	χ^2	R^2	SEE	RMSE	χ^2
1	0.9964	0.0173	3.6079 10^{-02}	1.4877 10^{-03}	0.9979	0.0123	3.1578 10^{-02}	1.0839 10^{-03}
2	0.9964	0.0178	3.4292 10^{-02}	1.4473 10^{-03}	0.9979	0.0125	2.9807 10^{-02}	1.0096 10^{-03}
3	0.9990	0.0095	5.5629 10^{-04}	3.8087 10^{-07}	0.9993	0.0074	7.8388 10^{-12}	6.9826 10^{-23}
4	0.9990	0.0099	1.4848 10^{-05}	2.9394 10^{-10}	0.9994	0.0069	4.3091 10^{-04}	2.2105 10^{-07}
5	0.9750	0.3899	1.8070 10^{-01}	3.7316 10^{-02}	0.9741	0.6051	3.7153 10^{-01}	1.5004 10^{-01}
6	0.9989	0.0099	2.6481 10^{-03}	8.6307 10^{-06}	0.9993	0.0072	2.2346 10^{-03}	5.6746 10^{-06}
7	0.9991	0.0092	3.2218 10^{-03}	1.3840 10^{-05}	0.9937	0.0047	1.0171 10^{-03}	1.2316 10^{-06}
8	0.9996	0.0063	5.2862 10^{-09}	3.7259 10^{-17}	0.9998	0.0039	5.3716 10^{-13}	3.4351 10^{-25}
9	0.9972	0.0152	2.0010 10^{-02}	4.5761 10^{-04}	0.9981	0.0118	2.2079 10^{-02}	5.2987 10^{-04}
10	0.9963	0.0180	3.8487 10^{-02}	1.8231 10^{-03}	0.9979	0.0126	3.0862 10^{-02}	1.0824 10^{-03}
11	0.9997	0.0051	6.2231 10^{-11}	5.1636 10^{-21}	0.9997	0.0048	1.3956 10^{-14}	2.3185 10^{-28}
12	0.9990	0.0099	2.6200 10^{-09}	9.1527 10^{-18}	0.9993	0.0076	3.8496 10^{-12}	1.7642 10^{-23}
13	0.9996	0.0064	4.0653 10^{-12}	2.4039 10^{-23}	0.9998	0.0028	1.0486 10^{-09}	1.3745 10^{-18}

Çizelge 2a.(devam)

Model Numarası	500 W				90 W			
	R ²	SEE	RMSE	χ^2	R ²	SEE	RMSE	χ^2
1	0.9946	0.0194	2.1875 10 ⁻⁰²	5.0511 10 ⁻⁰⁴	0.9892	0.0202	7.3842 10 ⁻⁰²	5.6847 10 ⁻⁰³
2	0.9952	0.0185	4.8868 10 ⁻⁰²	2.5928 10 ⁻⁰³	0.9896	0.0200	6.7528 10 ⁻⁰²	4.8574 10 ⁻⁰³
3	0.9968	0.0152	1.5146 10 ⁻¹⁴	2.4906 10 ⁻²⁸	0.9971	0.0105	2.8328 10 ⁻¹⁰	8.5480 10 ⁻²⁰
4	0.9968	0.0153	2.5868 10 ⁻⁰⁴	7.4786 10 ⁻⁰⁸	0.9975	0.0099	1.0368 10 ⁻⁰⁴	1.1705 10 ⁻⁰⁸
5	0.9852	0.6855	6.0806 10 ⁻⁰¹	3.9028 10 ⁻⁰¹	0.9563	6.5453	9.9713 10 ⁻⁰²	1.0366 10 ⁻⁰²
6	0.9965	0.0158	5.2423 10 ⁻⁰²	2.9837 10 ⁻⁰³	0.9875	0.0220	9.9713 10 ⁻⁰²	1.0591 10 ⁻⁰²
7	0.9980	0.0121	5.0314 10 ⁻⁰³	2.8293 10 ⁻⁰⁵	0.9958	0.0127	7.2323 10 ⁻⁰³	5.6955 10 ⁻⁰⁵
8	0.9986	0.0101	2.3246 10 ⁻⁰⁹	6.0394 10 ⁻¹⁸	0.9973	0.0104	5.6540 10 ⁻¹⁰	3.4810 10 ⁻¹⁹
9	0.9826	0.0349	7.7995 10 ⁻⁰²	6.4212 10 ⁻⁰³	0.9940	0.0151	2.7596 10 ⁻⁰²	7.9395 10 ⁻⁰⁴
10	0.9951	0.0187	4.4271 10 ⁻⁰²	2.1279 10 ⁻⁰³	0.9869	0.0220	1.0042 10 ⁻⁰¹	1.0742 10 ⁻⁰²
11	0.9993	0.0073	8.6040 10⁻¹¹	8.2738 10⁻²¹	0.9977	0.0096	1.0573 10⁻⁰⁸	1.2172 10⁻¹⁶
12	0.9968	0.0154	5.9182 10 ⁻⁰⁸	3.9145 10 ⁻¹⁵	0.9971	0.0106	2.3171 10 ⁻¹⁰	5.8462 10 ⁻²⁰
13	0.9988	0.0095	8.2523 10 ⁻¹²	7.8419 10 ⁻²³	0.9973	0.0105	1.7594 10 ⁻¹¹	3.4471 10 ⁻²²

tahminleri yapan modelin Thomson modeli olduğu saptanmıştır. Optimum model olarak belirlenen Jena & Das ve Alibas Modelleri ile diğer 11 kurutma modelinin hesaplanan kurutma sabit ve katsayıları (a , a_0 , b , c , g , n ve k) Çizelge 3a ve 3b'de verilmiştir. Ayrıca Şekil 2a'da 1000 W, 500 W ve 90 W için Jena & Das; 750 W ve 50°C için Alibas modellerine ilişkin zamana (t) bağlı ayrılabilir nem içeriği (MR) tahmin değerleri deneysel veriler ile karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir. Wang ve ark., (2007) elma püresini 150 - 600 W gücünde 4 ayrı mikrodalga güç seviyesini kullanarak kurutmuşlar ve 10 farklı kurutma modeli içinde regresyon katsayısının (R^2) en yüksek olduğu

modeli Page modeli olarak tayin etmişlerdir. Kouchakzadeh ve Shafeei (2010) antepfıstığına 500 W mikrodalga gücünde kurutup 6 farklı matematiksel model ile modellemiş ve deneysel verilere en yakın sonuçları veren modelin Page modeli olduğunu saptamışlardır. Alibas (2014b) kereviz yapraklarını 1000 - 90 W mikrodalga güç aralığında 8 farklı seviyede kurutmuş ve deneysel verilerin tahmin verileri ile yakınlık gösterdiği modeli Weibull dağılım modeli olarak belirlemiştir. Alibas (2012) asma yapraklarını 850, 750 ve 650 W mikrodalga gücünde kurutmuş ve 8 farklı model kullanarak en iyi modeli Alibaş modeli olarak tespit etmiştir.

Çizelge 2b. Sıcak havayla kurutma için farklı ince tabaka kurutma modelleri ile elde edilen istatistiksel sonuçlar

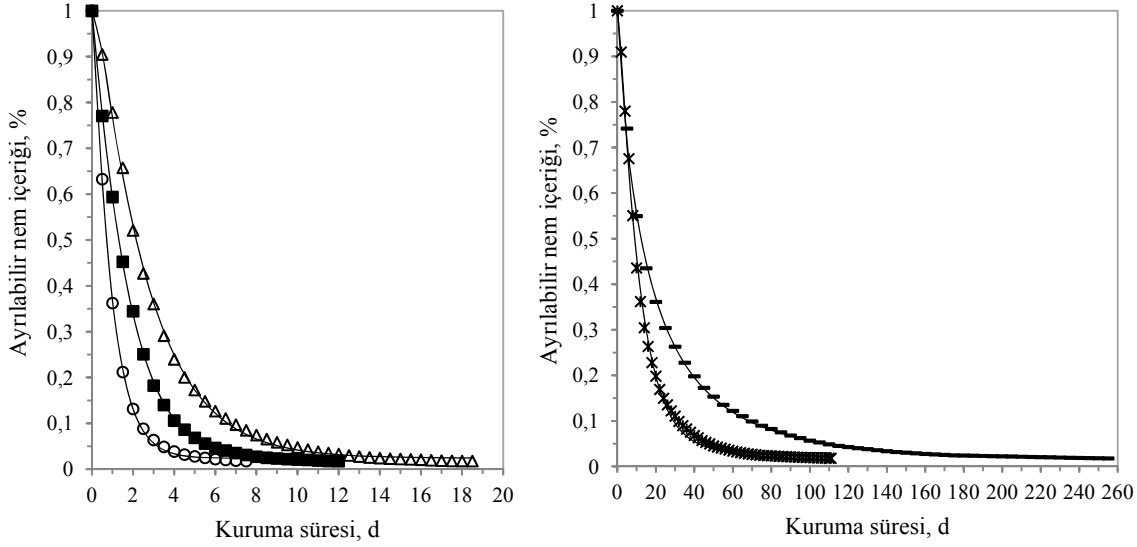
Model Numarası	50°C			
	R ²	SEE	RMSE	χ^2
1	0.9956	0.0131	3.6486 10 ⁻⁰²	1.3879 10 ⁻⁰³
2	0.9958	0.0129	3.2391 10 ⁻⁰²	1.1176 10 ⁻⁰³
3	0.9878	0.0220	1.6494 10 ⁻⁰⁹	2.8979 10 ⁻¹⁸
4	0.9986	0.0076	1.1643 10 ⁻⁰²	1.4761 10 ⁻⁰⁴
5	0.9740	11.8142	6.6344 10 ⁺⁰⁰	4.5888 10 ⁺⁰¹
6	0.9594	0.0401	1.4605 10 ⁻⁰¹	2.2723 10 ⁻⁰²
7	0.9958	0.0129	7.3827 10 ⁻⁰³	5.9350 10 ⁻⁰⁵
8	0.9987	0.0072	4.1679 10 ⁻¹⁰	1.8916 10 ⁻¹⁹
9	0.9987	0.0070	8.0726 10 ⁻⁰³	6.7940 10 ⁻⁰⁵
10	0.9682	0.0356	1.3865 10 ⁻⁰¹	2.0478 10 ⁻⁰²
11	0.9975	0.0101	5.9257 10 ⁻¹¹	3.8236 10 ⁻²¹
12	0.9878	0.0222	1.9721 10 ⁻¹²	4.2350 10 ⁻²⁴
13	0.9994	0.0051	6.5700 10⁻⁰⁵	4.8070 10⁻⁰⁹

Çizelge 3a. Mikrodalga kurutma için farklı ince tabaka kurutma modelleri ile elde edilen kurutma sabit ve katsayıları

Model No.	1000 W				750 W			
	Katsayı ve sabitler				Katsayı ve sabitler			
1	k=0.9824	n=0.9803			k=0.5370	n=1.0011		
2	k=0.9750	n=0.9750	a=1.0058		k=0.5428	n=0.9947	a=1.0056	
3	k=1.0474	a=0.9907	c=0.0194		k=0.5678	a=0.9979	c=0.0145	
4	k=-0.0386	m=1.0401	a=0.0156	b=0.9941	k=0.5555	m=-0.1357	a=1.006	b=0.0040
5	a=-0.0337	b=0.1717			a=-0.2816	b=0.2136		
6	k=-0.0571	a=0.0137	g=1.0268		k=-0.1597	a=0.0030	g=0.5483	
7	k=1.0008	n=1.0437	a=1.0031	b=0.0036	k=0.0880	n=0.9621	a=1.0211	b=0.0003
8	k=1.0392	n=1.0879	a=0.0244	b=0.9776	k=0.5356	n=1.0750	a=0.0195	b=1.0750
9	k ₁ =1.0592	k ₂ =0.0565			k ₁ =0.5559	k ₂ =0.0128		
10	k=0.9809	a ₀ =0.2439 10 ⁶	a=0.4322 10 ⁶		k=0.5398	a ₀ =0.1570 10 ⁶	a=0.1563 10 ⁶	
11	k=1.2453	a=0.9767	b=0.2017	c=0.0238	k=0.6295	a=0.9804	b=0.0905	c=0.0177
12	k=0.9689	a=0.9907	n=1.0810	c=0.0194	k=1.7169	a=0.9979	n=0.3307	c=0.014
13	k=0.2157 10 ³	n=1.0004	a=0.9772		k=0.0720	n=1.4499	a=0.9781	b=-0.4652
	b=0.2147 10 ³	g=0.0244			g=0.0206			
Model No.	500 W				90 W			
	Katsayı ve sabitler				Katsayı ve sabitler			
1	k=0.3013	n=1.0703			k=0.0969	n=0.9080		
2	k=0.3281	n=1.0292	a=1.0330		k=0.1051	n=0.8878	a=1.0257	
3	k=0.3633	a=1.0366	c=0.0163		k=0.0833	a=0.9966	c=0.0237	
4	k=0.3572	m=-0.0549	a=1.0436	b=0.0073	k=0.0875	m=0.0093	a=0.9760	b=0.0497
5	a=-0.6161	b=0.2931			a=1.9594	b=3.1185		
6	k=0.3587	a=1.0888	g=6.3709		k=0.0742	a=0.9954	g=0.8368 10 ¹	
7	k=0.3181	n=1.0795	a=1.0307	b=0.0015	k=0.0880	n=0.9621	a=1.0211	b=0.0003
8	k=0.3024	n=1.1462	a=0.0259	b=0.9919	k=0.0757	n=1.0346	a=0.0251	b=0.9888
9	k ₁ =0.3937	k ₂ =0.0529			k ₁ =0.0888	k ₂ =0.0088		
10	k=0.3497	a ₀ =0.2791 10 ²	a=0.2586 10 ²		k=0.0744	a ₀ =0.1353 10 ⁶	a=0.1355 10 ⁶	
11	k=0.4591	a=0.9779	b=0.1844	c=0.0239	k=0.0940	a=0.9796	b=0.0419	c=0.0259
12	k=0.5664	a=1.0366	n=0.6414	c=0.0163	k=0.2705	a=0.9966	n=0.3078	c=0.0237
13	k=0.1074 10 ³	n=1.0005	a=0.9860		k=0.9856 10 ¹	n=1.0003	a=0.9876	
	b=0.1071 10 ³	g=0.0261			b=0.9782 10 ¹	g=0.0253		

Çizelge 3b. Sıcak havayla kurutma için farklı ince tabaka kurutma modelleri ile elde edilen kurutma sabit ve katsayıları

Model Numarası	50°C			
	Katsayı ve sabitler			
1	k=0.1281	n=0.6791		
2	k=0.1346	n=0.6692	a=1.0181	
3	k=0.0462	a=0.9013	c=0.0357	
4	k=0.0816	m=0.0155	a=0.6914	b=0.3033
5	a=0.2941 10 ¹	b=0.6684 10 ¹		
6	k=0.0437	a=1.4876	g=0.0437	
7	k=0.0817	n=0.8074	a=0.9703	b=0.0001
8	k=0.1114	n=0.7419	a=0.0207	b=0.9885
9	k ₁ =0.0624	k ₂ =0.0120		
10	k=0.0384	a ₀ =0.1933 10 ⁶	a=0.2152 10 ⁶	
11	k=0.0242	a=0.9872	b=-0.1205	c=0.0245
12	k=0.2326	a=0.9013	n=0.1988	c=0.0357
13	k=0.1958 10²	n=0.9993	a=1.0025	
	b=0.1949 10²	g=0.0050		



Şekil 3. Zamana bağlı ayrılabilir nem içeriği, deneysel veriler ile 1000W, 500W ve 90 W için Jena & Das; 750W ve 50°C için Alibas eşitliklerine ilişkin tahmin verilerinin karşılaştırılması: ○, 1000 W; ■, 750 W; △, 500 W; *, 160 W; —, 50°C ve —, model.#

Çalışmada 1000, 500 ve 90 W mikrodalga güç yoğunluklarında regresyon katsayısının (R^2) en yüksek çıkması ile optimum model olarak tayin edilen Jena ve Das Modeline ilişkin saniye biriminden zamana (t) bağlı ayrılabilir nem içeriği (M_R) eşitliği lineer tip ($Y=a+bX$) matematiksel formülle mikrodalga güç yoğunluklarını ($P_D=P/m$) da içerecek şekilde sabit ve katsayılarına ayrıştırılmıştır. Benzer uygulama 750 W mikrodalga gücü için en uygun model olarak belirlenen Alibas modeli için de

yapılmıştır. Ayrıca 50°C sıcaklıktaki kurutma için de en uygun model olan Alibas modelinin ayrılabilir nem içeriği (MR) eşitliği lineer tip matematiksel formülle sıcak havayla kurutma için en önemli etkenler olan sıcaklık (T) ve hava hızı (V) değerlerini de içeren sabit ve katsayılarına ayrılmıştır. Çizelge 4a ve 4b’de Jena & Das ve Alibas Modelleri ile lineer tip matematiksel eşitliğin varyasyonuna ilişkin sabit ve katsayılar ($k_1, k_2, k_3, n_1, n_2, n_3, c_1, c_2, a_1, a_2, a_3, b_1, b_2, b_3, g_1, g_2$ ve g_3) yer almaktadır.

Çizelge 4a. Farklı mikrodalga güç yoğunluklarına ilişkin en uygun modellerin lineer tip matematiksel eşitlikle kombinasyonundan elde edilen sabit ve katsayıları

Mikrodalga Kurutma	
Jena & Das (Eşitlik 11) $M_R = a \exp(-kt + b\sqrt{t}) + c$	Alibas (Eşitlik 13) $M_R = a \exp((-kt^n) + bt) + c$
$P=1000 \text{ W}, m=100 \text{ g}, P_D=10 \text{ W g}^{-1}$	$P=750 \text{ W}, m=100 \text{ g}, P_D=7.5 \text{ W g}^{-1}$
$a = a_1 + a_2 * P_D = 9.2985 - 0.8322 * P_D$ $k = k_1 + k_2 * P_D = 0.9767 - 6.3815 * P_D$ $b = b_1 + b_2 * P_D = -2.4709 + 0.2673 * P_D$ $c = c_1 + c_2 * P_D = -14.1549 + 1.4179 * P_D$	$a = a_1 + a_2 * P_D = 3.4118 - 0.3245 * P_D$ $k = k_1 + k_2 * P_D = -0.1786 + 0.0334 * P_D$ $b = b_1 + b_2 * P_D = -1.6336 + 0.1558 * P_D$ $n = n_1 + n_2 * P_D = -4.2349 + 0.7580 * P_D$ $g = g_1 + g_2 * P_D = -1.4200 + 0.1921 * P_D$
$R^2=0.9997$	$R^2=0.9998$
Jena & Das (Eşitlik 11) $M_R = a \exp(-kt + b\sqrt{t}) + c$	Jena & Das (Eşitlik 11) $M_R = a \exp(-kt + b\sqrt{t}) + c$
$P=500 \text{ W}, m=100 \text{ g}, P_D=5 \text{ W g}^{-1}$	$P=90 \text{ W}, m=100 \text{ g}, P_D=0.9 \text{ W g}^{-1}$
$a = a_1 + a_2 * P_D = 2.3061 - 0.2656 * P_D$ $k = k_1 + k_2 * P_D = -0.9661 - 0.2850 * P_D$ $b = b_1 + b_2 * P_D = -1.6681 + 0.3705 * P_D$ $c = c_1 + c_2 * P_D = -1.1042 + 0.2256 * P_D$	$a = a_1 + a_2 * P_D = 7.3646 - 7.0945 * P_D$ $k = k_1 + k_2 * P_D = 2.6318 - 2.8198 * P_D$ $b = b_1 + b_2 * P_D = 0.2325 - 0.2118 * P_D$ $c = c_1 + c_2 * P_D = 0.2678 - 0.2688 * P_D$
$R^2=0.9993$	$R^2=0.9997$

Çizelge 4b. Sıcak havayla kurutmaya ilişkin en uygun model olan Alibas modelinin ineer tip matematiksel eşitlikle kombinasyonundan elde edilen sabit ve katsayıları

Sıcak Havayla Kurutma
Alibas (Eşitlik 13)
$M_R = a \exp((-kt^n) + bt) + c$
$T=50^\circ\text{C}, V=1 \text{ m s}^{-1}$
$a = a_1 + a_2 * P_D + a_3 * V^2 = -1.8200 + 0.0493 * P_D + 0.3575 * V^2$
$k = k_1 + k_2 * P_D + k_3 * V^2 = 1.3917 + 0.3258 * P_D + 1.8983 * V^2$
$b = b_1 + b_2 * P_D + b_3 * V^2 = 1.2071 + 0.3301 * P_D + 1.7779 * V^2$
$n = n_1 + n_2 * P_D + n_3 * V^2 = -1.0842 + 0.0796 * P_D - 1.8965 * V^2$
$g = g_1 + g_2 * P_D + g_3 * V^2 = -1.2983 + 0.0663 * P_D - 2.0117 * V^2$
$R^2=0.9994$

3.2. Renk parametreleri

Dört farklı mikrodalga güç yoğunluğu (1000, 750, 500 ve 90 W) ve 50°C sıcak havayla kurutulan mango dilimlerinin parlaklık (L), yeşillik-kırmızılık (a), sarılık-mavilik (b), yoğunluk (C) ve keskinlik (α) renk parametreleri taze ürün ile karşılaştırmalı olarak Çizelge

5’de verilmiştir. Buna göre parlak turuncu bir renge sahip olan taze mango dilimlerine parlaklık açısından en yakın sonuçların 750 ve 500 W mikrodalga güç seviyelerinde olduğu bunu sırasıyla 1000 W, 90 W ve 50°C kurutma seviyelerinin izlediği tespit edilmiştir. Bir başka deyişle 90 W mikrodalga ve 50°C sıcak hava kurutmalarında kuru ürünün renginde kararmaların olduğu söylenebilmektedir.

Çizelge 5. Taze ve kurutulmuş mango dilimlerinin renk parametreleri

Uygulamalar	$L^{**} \pm \text{StdS}$	a^{**}	b^{**}	C^{**}	α^{**}
Taze ürün	99.31(± 0.62) ^a	80.64(± 5.76) ^a	-117.63(± 5.15) ^a	142.73(± 3.14) ^a	-55.56(± 2.85) ^a
1000 W	93.84(± 0.53) ^b	52.37(± 5.83) ^c	-50.17(± 8.48) ^d	72.96(± 3.21) ^c	-43.63(± 7.61) ^b
750 W	97.97(± 0.14) ^{ab}	72.25(± 4.10) ^b	-76.63(± 4.50) ^b	105.39(± 3.96) ^b	-46.68(± 2.49) ^b
500 W	97.59(± 0.50) ^{ab}	69.55(± 4.68) ^b	-65.66(± 7.23) ^c	95.79(± 5.87) ^c	-43.28(± 3.73) ^b
90 W	73.46(± 0.58) ^c	-31.21(± 3.99) ^c	-107.25(± 1.54) ^a	111.74(± 2.01) ^b	73.79(± 1.95) ^c
50°C	61.33(± 5.86) ^d	-15.62(± 1.93) ^d	-83.91(± 5.96) ^b	85.36(± 6.15) ^d	79.47(± 0.79) ^c

Aynı sütündeki farklı harfler önemlidir. ** P<0.01 olasılık düzeyinde istatistiki olarak önemlidir. StdS: standart sapma

Kırmızılık değerini “a” bakımından taze ürüne en yakın rengin 750 ve 500 W değerinde olduğu, bunu sırasıyla 1000 W, 90 W ve 50°C’nin izlediği tespit edilmiştir. Mikrodalga kurutmanın 90 W seviyesinde ve 50°C sıcaklıktaki havayla kurutmada mango dilimlerinin renk değerlerinin bozulduğu, kuru üründe kararma olduğu saptanmıştır. Mikrodalga kurutma süresinin uzaması ile kurutulan materyallerin renk içeriğinde önemli ölçüde azalma olduğu literatürdeki bazı araştırmacılar tarafından saptanmıştır (Soysal, 2004; Alibas, 2007; Alibas ve Koksall, 2014). Ayrıca sıcak havayla kurutmanın mikrodalga kurutmaya göre renk değerleri üzerinde olumsuz etkiye sahip olduğu da daha önceki çalışmalarla ortaya konulmuştur (Alibas ve Koksall, 2014; Alibas, 2014a).

4. Sonuç

Yaş baza göre nem içeriği %89.23 \pm 0.45 olan, 100 (± 2) ağırlığındaki mango dilimleri nem içeriği %12.75 \pm 0.17 yaş baz, (yb) oluncaya dek 1000, 750, 500 ve 90 W mikrodalga gücünde ve 50°C sıcaklıkta kurutulmuşlardır. Kurutma

işlemleri mikrodalga kurutma seviyelerinde 7.5-111 dakikada, sıcak havayla kurutmada 255 dakikada tamamlanmıştır. Çalışmada deneysel veriler 13 farklı model kullanılarak modellenmiştir. Mikrodalga kurutmanın 1000, 500 ve 90 W seviyeleri için Jena & Das modeli en uygun model olarak tespit edilmiştir. Mikrodalga’nın 750 W seviyesi ve 50°C sıcak havayla kurutma için Alibas modeli deneysel verilere en yakın tahmin değerlerini veren uygun model olarak tanımlanmıştır.

Dört farklı mikrodalga güç yoğunluğu (1000, 750, 500 ve 90 W) ve 50°C sıcaklıktaki havayla kurutma ile kurutulmuş mango dilimlerinin renk parametreleri açısından taze ürüne en yakın değerlerin 750 ve 500 W mikrodalga güç yoğunluğunda elde edildiği saptanmıştır. Ayrıca 50°C sıcak havayla ve 90 W mikrodalga seviyesinde kurutulmuş mango dilimlerinde taze ürüne göre renk kalitesinin bozulduğu belirlenmiştir.

Kaynaklar

Aghlasho, M., Kianmehr, M.H., Khani, S., Ghasemi, M. 2009.

- Mathematical modeling of carrot thin-layer drying using new model. *International Agrophysics*, 23: 313-317.
- Al-Harahsheh, M., Al-Muhtaseb, A.H., Magee, T.R.A. 2009. Microwave drying kinetics of tomato pomace: Effect of osmotic dehydration. *Chemical Engineering and Processing*, 48: 524-531.
- Alibas, I. 2007. Energy consumption and colour characteristics of nettle leaves during microwave, vacuum and convective drying. *Biosystems Engineering*, 96(4): 495-502.
- Alibas, I. 2012. Microwave drying of grapevine (*Vitis vinifera* L.) leaves and determination of some quality parameters. *Journal of Agricultural Sciences*, 18: 43-53.
- Alibas, I. 2014a. Microwave, Air and Combined Microwave-Air Drying of Grape Leaves (*Vitis vinifera* L.) and the Determination of Some Quality Parameters. *International Journal of Food Engineering*, 10(1): 69-88.
- Alibas, I. 2014b. Mathematical modeling of microwave dried celery leaves and determination of the effective moisture diffusivities and activation energy. *Food Science and Technology, Campinas*, 34(2): 394-401.
- Alibas, I., Koksall, N. 2014. Convective, vacuum and microwave drying kinetics of mallow leaves and comparison of color and ascorbic acid values of three drying methods. *Food Science and Technology, Campinas*, 34(2): 358-364.
- Babalıs, S.J., Papanicolaou, E., Kyriakis, N., Belesiotis, V.G. 2006. Evaluation of thin-layer drying models for describing drying kinetics of figs (*Ficus carica*). *Journal of Food Engineering*, 75: 205-214.
- Chandra, P.K., Singh, R.P. 1995. *Applied numerical methods for food and agricultural engineers*. CRC Press, Boca Raton, FL. pp. 163-167.
- Chattopadhyay, T.K. 2001. *A text book on pomology (fundamental of fruit growing)*. Kalyani publishers, Ludhiana. pp 3-4.
- Cihan, A., Kahveci, K., Hacıhafızoğlu, O. 2007. Modelling of intermittent drying of thin layer rough rice. *Journal of Food Engineering*, 79:2 93-298.
- Demir, V., Gunhan, T., Yagcioglu, A.K. 2007. Mathematical modelling of convection drying of green table olives. *Biosystems Engineering*, 98: 47-53.
- Demirhan, E., Ozbek, B. 2011. Thin-layer drying characteristics and modeling of celery leaves undergoing microwave treatment. *Chemical Engineering Communications*, 7(198): 957-975.
- Díaz, G.R., Martínez-Monzó, J., Fito, P., Chiralt, A. 2002. Modelling of dehydration-rehydration of orange slices in combined microwave/air drying. *Innovative Food Science and Emerging Technology*, 4: 203-209.
- Doymaz, İ., Tugrul, N., Pala, M. 2006. Drying characteristics of dill and parsley leaves. *Journal of Food Engineering*, 77: 559-565.
- Drouzas, A.E., Tsami, E., Saravacos, G. D. 1999. Microwave/vacuum drying of model fruit gels. *Journal of Food Engineering*, 39: 117-122.
- Ertekin, C., Yaldiz, O. 2004. Drying of eggplant and selection of a suitable thin layer Drying model. *Journal of Food Engineering*, 63: 349-359.
- Evin, D. 2012. Thin layer drying kinetics of *Gundelia tournefortii* L. *Food and Bioproducts Processing*, 90: 323-332.
- Fasoli, E., Righetti, P.G. 2013. The peel and pulp of mango fruit: A proteomic samba. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Proteins and Proteomics*, 1834(12): 2539-2545.
- Feng, H. 2002. Analysis of microwave assisted fluidized-bed drying of particulate product with a simplified heat and mass transfer model. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 29: 1021-1033 .
- Feng, H., Tang, J. 1998. Microwave finish drying of diced apple slices in a spouted bed. *Journal of Food Science*, 63(4): 679-683.
- Guarte, R.C. 1996. Modeling the drying behavior of copra and development of a natural convection dryer for production of high quality copra in the Philippines. PhD Thesis (Unpublished), Dissertation, Hohenheim, Stuttgart, Germany
- Henderson, S.M. 1974. Progress in developing the thin layer drying equation. *Transaction of ASAC*, 17: 1167-1172.
- Jena, S., Das, H. 2007. Modelling for vacuum drying characteristics of coconut presscake. *Journal of Food Engineering*, 79: 92-99.
- Karaaslan, S.N., Tuncer, İ.K. 2008. Development of a drying model for combined microwave-fan assisted convection drying of spinach. *Biosystems Engineering*, 100: 44-52.
- Kouchakzadeh, A., Shafeei, S. 2010. Modeling of microwave-convective drying of pistachios, *Energy Conversion and Management*, 51(10): 2012-2015.
- Korbel, E., Servent, A., Catherine, B., Brat, P. 2013. Heat Inactivation of Polyphenol Oxidase and Peroxidase as a Function of Water Activity: A Case Study of Mango Drying, *Drying Technology*, 31(13-14): 1675-1680.
- Maskan, M. 2000. Microwave/air and microwave finish drying of banana. *Journal of Food Engineering*, 44: 71-78.
- Maskan, M. 2001. Drying, shrinkage and rehydration characteristics of kiwifruits during hot air and microwave drying. *Journal of Food Engineering*, 48(2): 177-182.
- Midilli, A., Kucuk, H., Yapar, Z. 2002. A new model for single layer drying. *Drying Technology*, 20(7): 1503-1513.
- Midilli, A., Kucuk, H. 2003. Mathematical modeling of thin layer drying of pistachio by using solar energy. *Energy Conversion and Management*, 44(7): 1111-1122.
- Ozkan, İ.A., Akbudak, B., Akbudak, N. 2007. Microwave drying characteristics of spinach. *Journal of Food Engineering*, 78(2): 577-583.
- Page, G. 1949. Factors influencing the maximum rates of air-drying shelled corn in thin layer. MS Thesis, Department of Mechanical Engineering, Purdue University (Unpublished), West Lafayette, IN, USA
- Rathore, A.C., Saroj, P.L., Lal, H., Sharma, K.N., Jayaprakash, J., Chaturvedi, O.P., Raizada, A., Tomar, J.M.S., Dogra, P. 2013. Performance of mango based agri-horticultural models under rainfed situation of Western Himalaya, India. *Agroforest Systems*. DOI 10.1007/s10457-013-9646-5, in press.
- Sarimeseli, A. 2011. Microwave drying characteristics of coriander (*Coriandrum sativum* L.) leaves. *Energy Conversion and Management*, 52: 1449-1453.
- Sharma, G.P., Prasad, S.(2001. Drying of garlic (*Allium sativum*) cloves by microwave-hot air combination. *Journal of Food Engineering*, 50: 99-105.
- Sogi, D.S., Siddiq, M., Dolan, K.D. 2014. Total phenolics, carotenoids antioxidant properties of Tommy Atkin mango cubes as affected by drying techniques. *LWT - Food Science and Technology*, in press.
- Soysal, Y. 2004. Microwave drying characteristics of parsley. *Biosystems Engineering*, 89(2): 167-173.
- Thomson, T.L., Peart, P.M., Foster, G.H. 1968. Mathematical simulation of corn drying: a new model. *Transaction of ASAE*, 11: 582-586.
- Torringa, E., Esveld, E., Scheewe, I., van den Berg, R., Bartels, P. 2001. Osmotic dehydration as a pretreatment before combined microwave-hot-air drying of mushrooms. *Journal of Food Engineering*, 49: 185-191.
- Verma, L.R., Bucklin, R.A., Endan, J.B., Wratten, F.T. 1985. Effects of drying air parameters on rice drying models. *Transaction of ASAE*, 28: 296-301.
- Wang, C.Y., Singh, R.P. 1978. A single layer drying equation for rough rice. ASAE Paper No: 78-3001, ASAE, St. Joseph, MI.

- Wang, Z., Sun, J., Chen, F., Liao, X., Hu, X. 2007. Mathematical modeling on thin layer microwave drying of apple pomace with and without hot air pre-drying. *Journal Food Engineering*, 80: 536-544.
- Yagcioglu, A., Degirmencioglu, A., Cagatay, F. 1999. Drying characteristics of laurel leaves under different drying conditions. In: *Proceedings of the 7th International Congress on Agricultural Mechanization and Energy*, 565-569, Adana, Turkey