



Tarım Bilimleri Dergisi

Tar. Bil. Der.

Dergi web sayfası:
www.agri.ankara.edu.tr/dergi

Journal of Agricultural Sciences

Journal homepage:
www.agri.ankara.edu.tr/journal

Asma Yaprağının (*Vitis vinifera* L.) Mikrodalga Enerjisiyle Kurutulması ve Bazı Kalite Parametrelerinin Belirlenmesi

İlknur ALİBAŞ^a

^a Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, 16059, Bursa, TÜRKİYE

ESER BİLGİSİ

Araştırma Makalesi — Tarım Teknolojileri DOI: 10.1501/Tarimbil_0000001191

Sorumlu Yazar: İlknur ALİBAŞ, e-posta: ialibas@uludag.edu.tr, Tel: +90(224) 294 16 08

Geliş tarihi: 11 Ağustos 2011, Düzeltmelerin gelişi: 26 Mart 2012, Kabul: 24 Nisan 2012

ÖZET

İlk nem seviyesi yaş baza göre % 75.35 (± 0.02) olan 50 (± 0.05) g ağırlığındaki asma (*Vitis vinifera* L.) yaprakları yaş baza göre nem seviyesi % 9.13 (± 0.12) oluncaya dek 17, 15 ve 13 W g⁻¹ mikrodalga güç yoğunluk seviyelerinde kurutulmuşlardır. Kurutma işlemleri 3 farklı güç yoğunluğunda gerçekleştirilmiş ve kurutma süresi güç yoğunluğuna bağlı olarak 210 – 270 s sürmüştür. Bu çalışmada, 7 farklı ince tabaka kurutma modelinin yanı sıra Midilli et al eşitliğinden türetilmiş olan ve Alibas yaklaşımı olarak adlandırılmış yeni bir kurutma yaklaşımı ile deneysel olarak elde edilen veriler modellenmiştir. Regresyon katsayısının (R^2) en büyük olduğu, standart hata (SH), ki kare (χ^2) ve ortalama karesel hata (OKH) değerlerinin ise en küçük olduğu model en iyi model olarak seçilmiştir. Buna göre çalışmada kullanılan üç farklı mikrodalga güç yoğunluğunda da elde edilen deneysel verilere en yakın sonuçları veren model Alibas modeli olarak belirlenmiştir. Çalışmada ayrıca mikrodalga ışınlarla kurutulan asma yapraklarının renk ve askorbik asit değerleri taze asma yapraklarının renk ve askorbik asit değerleri ile karşılaştırılmıştır. Buna göre taze ürüne en yakın renk ve askorbik asit değerinin 15 W g⁻¹ güç yoğunluğundaki mikrodalga kurutma sırasında elde edildiği anlaşılmıştır.

Anahtar sözcükler: Askorbik asit; Asma yaprağı; Mikrodalga kurutma; İnce tabaka kurutma modelleri; Renk

Microwave Drying of Grapevine (*Vitis vinifera* L.) Leaves and Determination of Some Quality Parameters

ARTICLE INFO

Research Article — Agricultural Technologies

Corresponding author: İlknur ALİBAŞ, e-mail: ialibas@uludag.edu.tr, Tel: +90(224) 294 16 08

Received: 11 August 2011, Received in revised form: 26 March 2012, Accepted: 24 April 2012

ABSTRACT

Grapevine (*Vitis vinifera* L.) leaves with 50 (± 0.05) g weight and 75.35% (± 0.02) humidity on wet basis were dried in microwave oven at 17, 15 ve 13 W g⁻¹ microwave power densities, until the humidity fell down to 9.13% (± 0.12) on wet basis. Drying processes were completed between 210 and 270 s depending on microwave power density levels. In this study, measured values were compared with predicted values obtained from 7 thin layer drying

equations with a new thin layer drying equation and a new model is called Alibas (equation is derived from Midilli et al). In this study, within applied microwave power densities; models whose coefficient of regression (R^2) are highest and standard error of estimated (SEE), root mean square error (OKH) and chi-square (χ^2) are lowest were chosen to be the best models. According to this, the best model at the all temperature levels was found to be Alibas model. The best quality in terms of colour and ascorbic acid values were obtained in the drying period with 15 W g^{-1} microwave power density.

Keywords: Ascorbic acid; Grapevine leaves; Microwave drying; Thin layer drying models; Colour

© Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi

1. Giriş

Asma yaprağı, Türk yemek kültüründe önemli bir yere sahip olan besleyici bir tarımsal üründür. İçeriğinde bol miktarda askorbik asit (C vitamini), A vitamini, D vitamini, B1 ve B2 vitamini, kalsiyum ve demir bulundurmaktadır (Eriş & Şeniz 1997). Ayrıca bol lif içermesi bakımından diyet ürünü olarak da kullanılabilir. Besin içeriğinin oldukça fazla olmasından dolayı (Eriş & Şeniz 1997) asma yaprağı kurutulmuş baharat haline getirilebilir. Böylece besin içeriği bakımından asma yaprağından maksimum oranda fayda sağlanabilir.

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 üründeki nemin hızlı bir şekilde üründen uzaklaştırılması olarak tanımlanmaktadır. (Alibas 2006; Ertekin & Yıldız 2004). Tarımsal ürünlerin kurutulması için pek çok kurutma yöntemi bulunmaktadır. Kurutulan materyalin toz, böcek ve mikroorganizmalara maruz kalması gibi pek çok dezavantajı barındıran güneşte kurutma yöntemi dünyada ve ülkemizde yaygın olarak kullanılan geleneksel bir kurutma yöntemidir (Toğrul 2006). Sıcak havayla kurutma yöntemi ise materyalin besin içeriğinde kayıplara neden olması, enerji tüketiminin fazla ve kurutma zamanının uzun olması gibi dezavantajlara sahiptir (Alibas Ozkan et al 2007). Bu nedenle son yıllarda hızlı kurutma sağlama, enerji tüketiminin az olması ve besin içeriğinin korunması gibi önemli sebeplerden dolayı mikrodalga ışınlarla kurutma yöntemi yaygın

olarak kullanılan bir yöntem haline gelmiştir (Maskan 2001; Torringa et al 2001; Soysal 2004; Alibas 2006).

Mikrodalga kurutma yöntemi ile ısırgan (Alibas 2007; Alibas 2010), pazı yaprakları (Alibas 2006), maydanoz (Soysal 2004; Soysal et al 2006), ıspanak (Alibas Ozkan et al 2006), nane (Özbek & Dadalı 2007), yeşil çay (Kadlec et al 2001), kereviz yaprağı (Demirhan & Ozbek 2011), semizotu (Demirhan & Ozbek 2010a), fesleğen (Demirhan & Ozbek 2010b, 2010c) gibi pek çok yeşil yapraklı 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 & Devres 1999; Midilli & Kucuk 2003). İnce tabaka kurutma sürecinin matematiksel olarak modellenmesi kurutma sistemlerinin performansının artırılması açısından son derece önemlidir (Cihan et al 2007).

Bu çalışmanın amacı; i) asma yapraklarının ince tabaka kurutma kinetiğinin belirlenmesi, ii) deneysel olarak elde edilen kurutma verilerinin, literatürde daha önce tanımlanmış olan 7 farklı ince tabaka kurutma modeline göre ve Midilli et al (2002) modelinden türetilmiş olan Alibas modeline göre tahmin edilen verilerle karşılaştırılması, iii) deneysel verilere en yakın sonuçları veren en iyi matematiksel modelin seçilmesi, iv) kurutulan örneklerin renk ve askorbik asit içeriğinin taze ürünlerle karşılaştırılması ve kalite parametreleri açısından en uygun mikrodalga kurutma seviyesinin tespit edilmesidir.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Materyal

Kurutulmak üzere hasat edilen asma (*Vitis vinifera* L.) yaprakları Manisa'nın Sarıgöl İlçesindeki bir asma bahçesinden hasarsız olanları seçilerek hasat edilmiştir. Asma yaprakları kurutma işlemlerinden önce nem kaybetmemesi için ıslak yastıklarla çevrelenerek $4\pm 0.5^\circ\text{C}$ sıcaklığında bekletilmiştir (Alibas 2006). Sıcaklığı 105°C olan kurutma fırınında 24 saat süreyle bekletilen asma yapraklarının ilk ve son nem oranları, kurutma fırını öncesi ve sonrası ağırlık ölçümlerinden yola çıkılarak belirlenmiştir.

2.2. 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 fırınının alanı $327\times 370\times 207$ mm boyutlarındadır ve kurutma alanının tabanının ortasında çapı 280 mm olan cam bir kurutma tablası bulunmaktadır. Kurutma tablası 360° dönmekte ve her 5 dakikada bir ya da kapak her açılıp kapatıldığında dönüş yönünü değiştirmektedir. Kurutma zamanı fırının üzerindeki dijital bir saat aracılığıyla ölçülmektedir. Fırın, 1000, 850, 750, 650, 500, 350, 160 ve 90 W olan 8 farklı mikrodalga güç seviyesinde çalışabilmektedir. Fırın programlanabilme özelliğine sahip olan dijital mikrodalga fırının kontrol panosunda dijital bir zaman göstergesi bulunmaktadır.

Kurutma denemeleri, yapraklı ürünlerin kurutulmasında yaygın olarak kullanılan ve besin içeriğinin en besin içeriğinin iyi korunduğu güç yoğunlukları olarak daha önce literatürde tanımlanmış olan 850, 750 ve 650 W mikrodalga güç seviyelerinde gerçekleştirilmiştir (Soysal 2004; Alibas 2007; Alibas Ozkan 2007; Alibas 2010). Kurutulan örnekler ağırlıkları $50 (\pm 0.06)$ g olacak şekilde tartılmıştır. Mikrodalga güç yoğunluğu değeri ise, kurutma işleminin gerçekleştirildiği mikrodalga gücünün örnek ağırlığına bölünmesiyle bulunmaktadır. Kurutulan asma yaprakları sağlıklı ve zarar görmemiş kısımlardan özenle seçilmiştir. Denemeler üç

tekrarlı olarak yapılmıştır. Mikrodalga kurutma kinetiğinin belirlenmesi açısından her 30 saniyede bir fırın açılarak örneklerden 0.01 g hassasiyete sahip dijital bir tartım aleti (Alsep EX 2000A, Almanya) yardımıyla ağırlık ölçümü alınmıştır. Tüm ağırlık ölçüm işlemleri kurutma rejiminin bozulmaması açısından 10 saniye içinde tamamlanmıştır (Alibas 2010).

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

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

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

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

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 mikrodalga kurutma işlemleri için yokumsanmıştır (Maskan 2000; Soysal 2004). Çalışmada ayrılabilir nem oranı 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 & Tunçer 2008, Doymaz et al 2006).

2.3. Askorbik asit ve renk ölçüm yöntemleri

Asma yapraklarının askorbik asit içeriği, 520 nm çözünürlük değerinde sahip Shimadzu UV-120-01 spektrofotometresiyle okunmuştur. Örnekler okuma işlemlerinden önce %4'lük oksalik asit çözeltisine batırılmışlardır.

Renk okumaları, yaprakların her iki yanından da ölçüm alınarak gerçekleştirilmiştir. Ortalamayı temsil eden 10 adet yapraktan alınan ölçümlerin ortalamaları ile renk kriterleri belirlenmiştir. Renge ilişkin L (parlaklık), a (yeşillik), b (sarılık) değerlerinin ölçülmesinde Minolta CR 400 renk ölçüm cihazı kullanılmıştır. Bu değerlerden yararlanılarak diğer renk kriterleri olan rengin kroması (C) ve renk açısı (α) ise aşağıdaki eşitlikler kullanılarak hesaplama yöntemi ile bulunmuştur (Alibas 2006):

$$C = \sqrt{a^2 + b^2} \quad (4)$$

$$\alpha = \tan^{-1}(b/a) \quad (5)$$

2.4. Veri analizi

Çalışma, 3 tekerrürlü olarak kurulmuştur. Elde edilen verilerin ortalamaları ve diğer istatistik hesaplamaları SPSS 17.0 istatistik programıyla yapılmıştır.

Literatürde daha önce tanımlanmış olan 8 farklı deneysel, yarı deneysel ve teorik ince tabaka kurutma modelinin yanı sıra Midilli et al yaklaşımından türetilmiş olan Alibas modeline ait eşitlikler Çizelge 1'de verilmiştir. Doğrusal olmayan regresyon analizleri, Çizelge 1'deki eşitlikler kullanılarak SPSS 17.0 istatistik programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. 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 güç yoğunluğunu içeren 5 farklı eşitlik tanımlanmıştır (Guarte 1996; Ertekin & 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 ($Y=a\exp(b/X)$) şeklinde tanımlanmıştır. Bu çalışmada regresyon katsayısının en yüksek olduğu model, optimum model olarak tanımlanmış ve optimum model eşitliği mikrodalga güç yoğunluk değerlerini içeren formülasyonlar oluşturulması amacıyla Arrhenius tip matematiksel eşitlikle, SPSS 17.0 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) asma yapraklarının sıcak havayla kurutulmasında en uygun matematiksel modelin seçiminde başlıca kriter olmuştur. Tahminin standart hatası (SH) kurutma işlemleri boyunca tüm ölçüm aralıklarında ölçülen ve tahmin edilen veriler arasındaki farkı vermektedir ve ideal değeri "0" olmalıdır. Tahminin standart hatası aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmaktadır:

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

Burada; n_i sabit ve katsayıların sayısıdır.

Modelin kısa vadeli performansını belirlemede kullanılan ortalama karesel hata (OKH) ve aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır:

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

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 eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır:

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (M_{R_{exp,i}} - M_{R_{pre,i}})^2}{N - n_i} \quad (8)$$

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Kurutma eğrileri ve matematiksel modelleme

Asma yapraklarının kurutulmasındaki nem-zaman diyagramı Şekil 1'de verilmiştir. İlk nem seviyesi kuru baza göre 4.08 (% 75.35 yb) ve ilk ağırlıkları 50 (± 0.06) g olan asma yaprakları nem seviyesi kuru baza göre 0.144 (± 0.005), yaş baza göre ise % 9.13 (± 0.12) oluncaya dek 17, 15 ve 13 W g⁻¹ mikrodalga güç yoğunluk seviyelerinde kurutulmuştur. Kurutma işlemleri 17 W g⁻¹ mikrodalga güç yoğunluğunda 210 saniye, 15 W g⁻¹ mikrodalga güç yoğunluğunda 240 saniye ve 13 W g⁻¹ mikrodalga güç yoğunluğunda ise 270 saniye sürmüştür. Mikrodalga enerjisinin

Çizelge 1-İnce tabaka kurutma tahminler için kullanılan matematiksel modeller*Table 1-Mathematical thin-layer drying models used for the approximation*

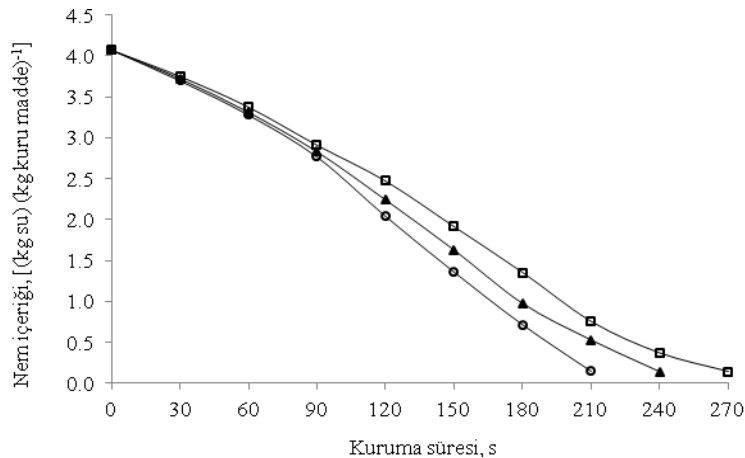
Model no	Model ismi	Model eşitliği	Referanslar
1	Page	$M_R = \exp(-kt^n)$	Page (1949)
2	Modified Page	$M_R = a \exp[-(kt^n)]$	Wang & Singh (1978)
3	Logarithmic	$M_R = a \exp(-kt) + c$	Yagcioglu et al (1999)
4	Wang ve Singh	$M_R = 1 + at + bt^2$	Wang & Singh (1978)
5	Midilli et al	$M_R = a \exp(-kt^n) + bt$	Midilli et al (2002)
6	Logistic	$M_R = a_0 / (1 + a \exp(kt))$	Chandra & Singh (1995)
7	Jena ve Das	$M_R = a \exp(-kt + b\sqrt{t}) + c$	Jena & Das (2007)
8	Alibas Model	$M_R = a \exp((-kt^n) + (bt)) + g$	Yeni model

M_R , ayrılabilir nem oranı; a , a_0 , b , c , g katsayılar; n , kurutma sabiti; k kurutma sabiti (min^{-1}); t , zaman (s)

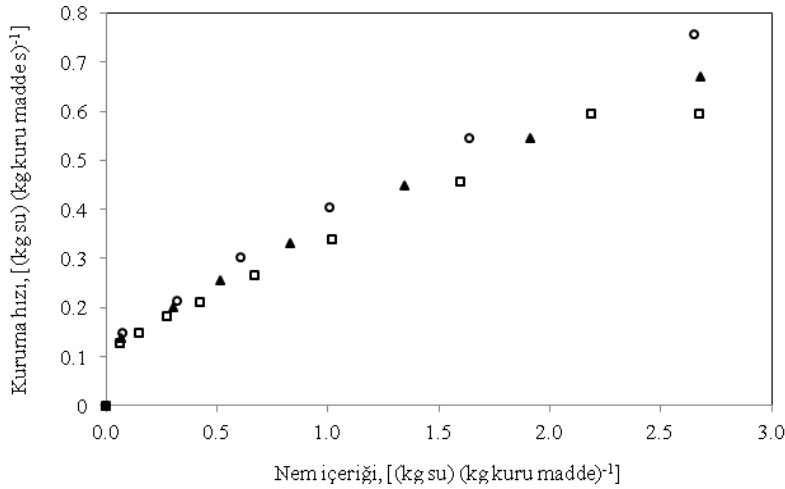
artmasıyla kurutma zamanında azalma meydana gelmiştir (Prabhanjan et al 1995; Drouzas & Schubert 1996; Funebo & Ohlsson 1998; Soysal 2004). Mikrodalga güç yoğunluğunun 17 W g^{-1} seviyesinden 15 W g^{-1} seviyesine düşürülmesiyle kurutma zamanında yaklaşık 1.14 kat bir artış, 13 W g^{-1} seviyesine düşürülmesiyle ise kurutma zamanında yaklaşık 1.29 kat bir artış kaydedilmiştir.

Farklı mikrodalga güç seviyesindeki kuruma hızları, nem oranına bağlı olarak Şekil 2'de verilmiştir. Asma yapraklarının 17 , 15 ve 13 W g^{-1} güç yoğunluklarıyla kurutulmasındaki ortalama

kuruma hızları sırasıyla 0.338 , 0.323 ve 0.291 $[(\text{kg su}) / (\text{kg kuru madde s})^{-1}]$ olarak bulunmuştur. Mikrodalga güç yoğunluğu arttıkça ortalama kuruma hızında da bir artış meydana gelmektedir. Mikrodalga güç yoğunluğunun 13 W g^{-1} olduğu güç seviyesinde ondalık birim olarak kuru baza göre nem içeriği 2.2 oluncaya dek sabit hızla kuruma evresi gözlemlenmiş; ancak, bu noktadan sonra kuruma rejimi azalan hız dönemine girmiştir. Mikrodalga güç yoğunluğunun 13 W g^{-1} güç yoğunluğuna göre nispeten daha yüksek olduğu 15 ve 17 W g^{-1} güç yoğunluklarında daha kısa sürelerde kuruma sağlandığı için kuruma



Şekil 1-Asma yapraklarının kuru baza göre kurutma eğrileri; □, 13 W g^{-1} ; ▲, 15 W g^{-1} ; ○, 17 W g^{-1}
Figure 1-The drying curve of grapevine leaves on dry basis; □, 13 W g^{-1} ; ▲, 15 W g^{-1} ; ○, 17 W g^{-1}



Şekil 2-Farklı mikrodalga güç yoğunluklarında asma yapraklarının kuruma hızı;
 □, 13 W g⁻¹; ▲, 15 W g⁻¹; ○, 17 W g⁻¹

Figure 2-Drying rates of the grapevine leaves at different microwave power densities;
 □, 13 W g⁻¹; ▲, 15 W g⁻¹; ○, 17 W g⁻¹

işlemi azalan hız evresine girmeden sabit hızlı kuruma evresinde gerçekleşmiştir. Bu bulgular literatürdeki çeşitli araştırmacıların bulgularıyla paralellik göstermektedir (Funebo & Ohlsson 1998; Sharma & Prasad 2001; Maskan 2000; Soysal 2004; Alibas Ozkan et al 2007).

Çizelge 1’de tanımlanmış 8 farklı kurutma modeline ilişkin R^2 , SH , OKH ve χ^2 istatistik verileriyle birlikte modellere ilişkin sabit ve katsayılar (a , a_0 , b , c , g , n ve k) Çizelge 2’de verilmiştir. Çalışmada, R^2 değerinin “1” değerine en yakın olduğu ve OKH , χ^2 ve SH değerlerinin ise en küçük olduğu ince tabaka kurutma modeli, Alibas modelidir. Söz konusu mikrodalga güç yoğunlukları için tahmin verilerinin deneysel verilere en yakın olduğu model olan Alibas modeli, optimum model olarak tanımlanmıştır. Alibas modelinin R^2 değerleri sırasıyla 17 W g⁻¹ mikrodalga güç yoğunluğunda 0.9998, 15 W g⁻¹ mikrodalga güç yoğunluğunda 0.9999 ve 13 W g⁻¹ mikrodalga güç yoğunluğunda ise 0.9997 olarak hesaplanmıştır. Mikrodalga güç yoğunluğunun 13 W g⁻¹ olduğu kurutma seviyesinde ise regresyon katsayısının 0.9997 olduğu en iyi model olan Alibas modeline en yakın kurutma modeli 0.9980 regresyon katsayısı ile Midilli et al modelidir. Bu

mikrodalga güç yoğunluğunda regresyon katsayısının en küçük olduğu model ise 0.9915 regresyon değeri ile Page modelidir. Alibas modeline ilişkin ki kare değerleri ise 17, 15 ve 13 W g⁻¹ mikrodalga güçleri için sırasıyla, 5.9516×10^{-22} , 1.5763×10^{-26} ve 4.7339×10^{-23} olarak belirlenmiştir. Midilli et al modeline ait ki kare değerleri ise 17, 15 ve 13 W g⁻¹ güç yoğunlukları için sırasıyla, 1.6534×10^{-08} , 2.3456×10^{-08} ve 3.1031×10^{-08} olarak hesaplanmıştır.

Mikrodalga güç yoğunluğunun azalması ile k , b ve a katsayılarında sayıca bir azalma; g ve n katsayılarında ise sayıca bir artış meydana gelmiştir. Şekil 3’de, ayrılabilir nem oranının zamana bağlı olarak değişimi ile deneysel verilerle, en iyi model olan Alibas modeline ait tahmin verileri karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir. Ozbek & Dadali (2007) farklı ağırlıklardaki nane yapraklarını çeşitli mikrodalga güç aralığında kurutmuşlardır. Kurutulan nane yapraklarının çeşitli ince tabaka kurutma modelleri ile modellemişler ve deneysel verilere en yakın sonuçların Midilli et al modeli ile elde edildiğini saptamışlardır. Demirhan & Ozbek (2011) kereviz yapraklarını 180 ile 900 W mikrodalga güç aralığında kurutmuşlar ve

Çizelge 2-Farklı mikrodalga kurutma yoğunlukları için çeşitli ince tabaka kurutma modellerinin katsayı, sabit ve istatistik verileri

Table 2-Coefficients and statistical results obtained from different thin-layer drying models for the different microwave power densities

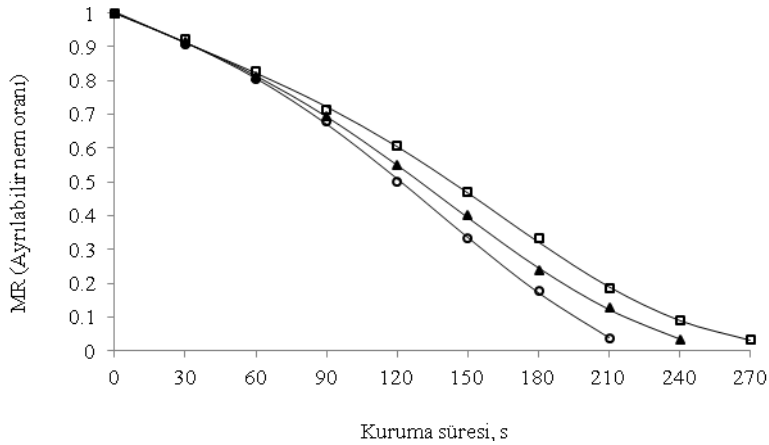
No	17 W g ⁻¹				15 W g ⁻¹				13 W g ⁻¹			
	SH	R ²	OKH	χ ²	SH	R ²	OKH	χ ²	SH	R ²	OKH	χ ²
1	0.0377	0.9902	3.0360×10 ⁻⁰²	1.229×10 ⁻⁰³	0.0321	0.9927	2.823×10 ⁻⁰²	1.025×10 ⁻⁰³	0.0342	0.9915	3.162×10 ⁻⁰²	1.249×10 ⁻⁰³
2	0.0351	0.9929	8.012×10 ⁻⁰³	1.027×10 ⁻⁰⁴	0.0292	0.9948	7.784×10 ⁻⁰³	9.090×10 ⁻⁰⁵	0.0309	0.9939	8.803×10 ⁻⁰³	1.107×10 ⁻⁰⁴
3	0.0406	0.9905	7.546×10 ⁻⁰⁸	9.110×10 ⁻¹⁵	0.0316	0.9939	1.447×10 ⁻⁰⁸	3.143×10 ⁻¹⁶	0.0326	0.9932	1.113×10 ⁻⁰⁴	1.771×10 ⁻⁰⁸
4	0.0217	0.9967	6.969×10 ⁻⁰³	6.476×10 ⁻⁰⁵	0.0285	0.9942	1.177×10 ⁻⁰²	1.783×10 ⁻⁰⁴	0.0320	0.9926	1.343×10 ⁻⁰²	2.257×10 ⁻⁰⁴
5	0.0116	0.9994	9.092×10 ⁻⁰⁵	1.653×10 ⁻⁰⁸	0.0136	0.9991	1.141×10 ⁻⁰⁴	2.345×10 ⁻⁰⁸	0.0191	0.9980	1.364×10 ⁻⁰⁴	3.103×10 ⁻⁰⁸
6	0.0311	0.9944	9.912×10 ⁻⁰³	1.572×10 ⁻⁰⁴	0.0247	0.9963	9.418×10 ⁻⁰³	1.330×10 ⁻⁰⁴	0.0268	0.9954	1.100×10 ⁻⁰²	1.729×10 ⁻⁰⁴
7	0.0206	0.9980	5.501×10 ⁻⁰⁵	6.052×10 ⁻⁰⁹	0.0229	0.9973	1.866×10 ⁻¹⁰	6.270×10 ⁻²⁰	0.0272	0.9960	3.933×10 ⁻¹¹	2.579×10 ⁻²¹
8	0.0075	0.9998	1.493×10⁻¹¹	5.951×10⁻²²	0.0055	0.9999	8.370×10⁻¹⁴	1.576×10⁻²⁶	0.0078	0.9997	4.865×10⁻¹²	4.733×10⁻²³
<i>No Kurutma katsayıları ve sabitleri</i>				<i>Kurutma katsayıları ve sabitleri</i>				<i>Kurutma katsayıları ve sabitleri</i>				
1	k=0.1744	n=2.0825			k=0.1635	n=1.9751			k=0.1397	n=1.9534		
2	k=0.1387	n=2.2878	a=0.9604		k=0.1325	n=2.1471	a=0.9631		k=0.1086	n=2.1436	a=0.9590	
3	k=5.6878 10 ⁻⁰⁵	a=5.0213×10 ⁰³			k=8.5556 10 ⁻⁰⁵	a=2.9850×10 ⁰³			k=0.0001	a=2.2507 10 ⁰³		
	c=-5.0202×10 ⁰³				c=-2.9840×10 ⁰³				c=-2.2496×10 ⁰³			
4	a=-0.1894	b=-0.0265			a=-0.2029	b=-0.0119			a=-0.1932	b=-0.0072		
5	k=0.1047	n=1.8725	a=0.9919		k=0.1273	n=1.7714	a=0.9887		k=0.1134	n=1.7677	a=0.9853	
	b=-0.0859				b=-0.0496				b=-0.0400			
6	k=1.5131	a ₀ =1.0261	a=0.0527		k=1.3112	a ₀ =1.0432	a=0.0673		k=1.1896	a ₀ =1.0404	a=0.0682	
7	k=0.0003	a=1.4574 10 ³	b=0.0001		k=0.0836	a=4.3532	b=0.0394		k=0.0980	a=3.4547	b=0.0482	
	c=-1.4564×10 ³				c=-3.3573				c=-2.4599			
8	k=0.0362	n=2.8457	a=1.1519	b=-0.1470	g=-0.1534				k=0.0101	n=3.6607	a=1.0086	b=-0.1878
						0.1648	g=-0.0554					0.0038

SH, standart hata; R², regresyon katsayısı; OKH, ortalama karesel hata; χ², ki kare

kurutma süresini mikrodalga gücüne bağlı olarak 25 g kurutma örnekleri için 8-34 dakika olarak tespit etmişlerdir. Çalışmada kurutma eğrileri çeşitli ince tabaka kurutma modellerine göre modellenmiş ve laboratuvar verilerine en yakın sonuçları veren modelin Midilli et al modeli olduğunu saptamışlardır. Demirhan & Ozbek (2010a) semizotunu mikrodalga enerjisiyle kurutmuşlar ve çeşitli modellerle modellemişlerdir. Deneysel verilere en yakın sonuçları veren modelin Midilli et al eşitliği olduğunu saptamışlardır. Demirhan & Ozbek (2010c) fesleğeni 180 ile 900 W mikrodalga güç aralığında kurutmuşlar ve çeşitli modellerle modellemişlerdir. Buna göre deneysel verilere en yakın sonuçları veren ince tabaka kurutma modelinin Logarithmic model olduğu sonucuna varmışlardır. Soysal et al (2006) 900 W mikrodalga gücünde kuruttıkları maydanozu 11

farklı kurutma modeli ile modellemişler ve en optimum modelin Midilli et al Modeli olduğunu belirlemişlerdir.

Tüm mikrodalga güç yoğunlukları içinde R²'nin en yüksek çıkması ile optimum model olarak tayin edilen Alibas modeline ilişkin saniye biriminden zamana (t) bağlı M_R eşitliği Arrhenius tip matematiksel formülle mikrodalga güç yoğunluklarını da içerecek şekilde sabit ve katsayılarına ayrıştırılmıştır. Mikrodalga ışınlarla kurutulan çeşitli yapraklı tarımsal ürünlerin modellemelerini Arrhenius tip matematiksel formülle bileşenlerine ayıran çok sayıda literatür çalışması bulunmaktadır (Ozbek & Dadali 2007; Demirhan & Ozbek 2011; Demirhan & Ozbek 2010a & 2010c). Çizelge 3'de Alibas Modeli ile Arrhenius tip matematiksel eşitliğin varyasyonuna ilişkin sabit ve katsayılar (k₁, k₂, n₁, n₂, a₁, a₂, b₁, b₂, g₁ ve g₂) yer almaktadır. Aşağıdaki eşitlikte



Şekil 3-Zamana bağlı ayrılabilir nem oranı, asma yapraklarının çeşitli mikrodalga güç yoğunlukları ile kurutulması sırasında elde edilen deneysel verilerle Alibas eşitliğine ilişkin tahmin verilerinin karşılaştırılması; □, 13 W g⁻¹; ▲, 15 W g⁻¹; ○, 17 W g⁻¹; —, model tahmini

Figure 3-Moisture ratio versus time, comparing experimental curve with the predicted one through Alibas's equation for grapevine leaves under various microwave power densities; □, 13 W g⁻¹; ▲, 15 W g⁻¹; ○, 17 W g⁻¹; —, predicted

mikrodalga güç yoğunluğunu içeren zamana bağlı M_R eşitliği görülmektedir:

$$M_R = (a_1 \exp(\frac{a_2}{T_D})) \exp[-(k_1 \exp(\frac{k_2}{T_D}) t^{(n_1 \exp(\frac{a_2}{T_D}))}) + ((b_1 \exp(\frac{b_2}{T_D})) t)] + (g_1 \exp(\frac{g_2}{T_D})) \quad (9)$$

3.2. Askorbik asit (C vitamini) içeriği ve renk parametreleri

Farklı mikrodalga güç yoğunluklarında kurutulan asma yapraklarının askorbik asit içeriği, L , a , b , C ve a renk parametreleri ile taze ürünün askorbik asit içeriği ve renk parametreleri ile karşılaştırmalı olarak Çizelge 4'de verilmiştir. Taze ürünün askorbik asit içeriği ile kurutulan asma yapraklarının askorbik asit içeriği arasında $P < 0.01$ önem seviyesinde bir farklılık bulunmuştur. Hem kurutma süresi hem de mikrodalga enerjisi bakımından birbirine yakın olan 17, 15 ve 13 W g⁻¹ mikrodalga güç yoğunluklarıyla kurutulan asma yapraklarının askorbik asit içeriği arasında önemli bir fark bulunamamıştır. Mikrodalga kurutma süresinin uzaması ile kurutulan materyallerin askorbik asit içeriğinde önemli ölçüde azalma olduğu literatürdeki bazı araştırmacılar tarafından saptanmıştır (Zhang & Hamauzu 2004; Nindo et al 2003).

Taze asma yaprakları ile 17, 15 ve 13 W g⁻¹ mikrodalga güç yoğunluklarında kurutulan asma yapraklarının yeşillik oranını veren a değeri arasında $P < 0.01$ önem seviyesinde bir fark bulunmuştur. Taze yaprakların yeşillik değeri -9.45 olarak belirlenmiştir. Asma yapraklarının yeşilliği bakımından taze ürüne en yakın renk değerinin -8.99 değeri ile 15 W g⁻¹ mikrodalga güç yoğunluğunda (750 W) olduğu saptanmıştır. Askorbik asit içeriği bakımından bu güç düzeyini sırasıyla 13 W g⁻¹ (650 W) ve 17 W g⁻¹ (850 W) mikrodalga güç yoğunlukları izlemiştir. Taze ürün ile 17, 15 ve 13 W g⁻¹ mikrodalga güç yoğunluklarında kurutulan asma yapraklarının sarılık oranını veren b değeri arasında $P < 0.10$ önem seviyesinde bir fark bulunmuştur. Asma yapraklarının sarılık değeri bakımından taze ürüne en yakın renk değerinin 15 W g⁻¹ mikrodalga güç yoğunluğunda (750 W) olduğu belirlenmiştir. Askorbik asit içeriği bakımından bu güç düzeyini sırasıyla 13 W g⁻¹ (650 W) ve 17 W g⁻¹ (850 W) mikrodalga güç yoğunlukları takip etmiştir. Alibas-Ozkan et al 2007 ispanak yapraklarını 1000-90 W arasında 8 farklı mikrodalga gücüyle

Çizelge 3-Alibas Model eşitliği ile Arrhenius tip matematiksel eşitliğin kombinasyonu ile elde edilen sabit ve katsayılar

Table 3-Constants and coefficients formed with the combination of Alibas Model and Arrhenius type formula

Katsayı ve sabitler	Mikrodalga güç yoğunluğu (P_D)		
	17 W g^{-1}	15 W g^{-1}	13 W g^{-1}
a_1	0.8750	0.8913	0.5294
a_2	4.6690	2.5415	8.3697
b_1	-0.2101	-0.3482	-0.2361
b_2	-6.0655	-11.2133	-2.9762
g_1	-0.2124	-0.0881	-0.0018
g_2	-5.5633	-6.8549	6.6317
k_1	0.0742	0.0773	0.0300
k_2	-12.2115	-15.0461	-14.2128
n_1	2.8760	2.0507	5.2131
n_2	-0.1836	5.6598	-4.6060

Çizelge 4-Çeşitli mikrodalga güç yoğunlukları ile kurutulmuş asma yapraklarının bazı kalite parametrelerinin karşılaştırılması

Table 4-Comparison between microwave power densities for some quality parameters during grapevine drying

Kurutma yöntemleri	Askorbik asit** ($\text{mg } 100^{-1} \text{ g}^{-1}$)	Renk Parametreleri				
		L^{**}	a^{**}	b^{***}	C^{**}	$a^{\circ d}$
Taze ürün	$118.13^a \pm 2.23$	$37.44^a \pm 0.91$	$-9.45^a \pm 0.34$	$14.67^a \pm 0.55$	$17.45^a \pm 0.46$	122.83 ± 2.07
17 W g^{-1}	$99.09^b \pm 2.22$	$33.16^b \pm 1.02$	$-8.28^c \pm 0.17$	$13.92^{bc} \pm 0.13$	$16.20^{ab} \pm 0.16$	120.76 ± 0.15
15 W g^{-1}	$103.86^b \pm 2.87$	$34.68^b \pm 0.42$	$-8.99^{ab} \pm 0.08$	$14.46^{ab} \pm 0.44$	$17.03^{bc} \pm 0.36$	121.86 ± 0.79
13 W g^{-1}	$101.95^b \pm 2.28$	$34.16^b \pm 0.71$	$-8.85^b \pm 0.15$	$13.99^c \pm 0.15$	$16.56^c \pm 0.21$	122.39 ± 0.22

L , rengin parlaklığı; a , rengin yeşilligi; b , rengin sarılık değeri; C , rengin kroması; a° , renk açısı

** sütunlar arasında $P < 0.01$ önem seviyesinde farklılık bulunmuştur.

*** sütunlar arasında $P < 0.10$ önem seviyesinde farklılık bulunmuştur

^{od} sütunlar arasında farklılık önemli değildir

kurutulmuş, taze ürüne en yakın renk değerinin 750 W mikrodalga gücünde meydana geldiğini belirlemiştir.

4. Sonuçlar

İlk nem içeriği kuru baza göre 4.08 olan asma yaprakları 0.144 yb'ye oluncaya dek 17, 15 ve 13 W g^{-1} mikrodalga güç yoğunluklarında kurutulmuştur. Kurutma işlemleri 210-270 saniyede tamamlanmıştır. Çalışmada deneysel

veriler farklı modeller kullanılarak modellenmiş ve Alibas modelinin tahmin verileri deneysel verilere en yakın sonuçları vermiştir. Üç farklı mikrodalga güç yoğunluğunda kurutulmuş asma yapraklarının renk ve askorbik asit içerikleri ölçülmüş ve taze ürünün renk ve askorbik asit içeriğine en yakın değerlerin 15 W g^{-1} mikrodalga güç yoğunluğunda (750 W) elde edildiği saptanmıştır.

Simgeler Dizini	
a	renk açısı
χ^2	ki kare
a	rengin kırmızılık / yeşillik oranı
b	rengin sarılık / mavilik oranı

b_1, b_2, g_1, g_2	Alibaş eşitliğine ilişkin sabit ve katsayılar
C	renğin kroması
DR	kuruma hızı, [(kg su) (kg kuru madde s) ⁻¹]
$k, a, a_0, b, c, g, ve n$	kuruma sabiti ve katsayıları
$k_1, k_2, n_1, n_2, a_1, a_2$	Alibaş eşitliğine ilişkin sabit ve katsayılar
L	renğin parlaklığı
M	herhangi bir andaki nem içeriği, [(kg su) (kg kuru madde ⁻¹)]
M_e	denge nem içeriği, [(kg su) (kg kuru madde ⁻¹)]
M_0	ilk nem içeriği, [(kg su) (kg kuru madde ⁻¹)]
MR	ayrılabilir nem oranı
M_t	her hangi bir t anındaki nem içeriği, [(kg su) (kg kuru madde ⁻¹)]
M_{t+dt}	$t+dt$ aralığındaki nem içeriği, [(kg su) (kg kuru madde ⁻¹)]
n_i	sabit ve katsayıların sayısı
N	toplam gözlem sayısı
OKH	ortalama karesel hata
P_D	mikrodalga güç yoğunluğu, W g ⁻¹
R^2	regresyon katsayısı
SH	standart hata
W_0	örneklerin ilk baştaki ağırlığı, kg
W_k	örneklerin toplam kuru ağırlığı, kg
t	zaman, s

Kaynaklar

- Alibas I (2006). Characteristics of chard leaves during microwave, convective, and combined microwave-convective drying. *Drying Technology* **24**(1):1425-1435
- 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 (2010). Correlation of drying parameters, ascorbic acid and color characteristics of nettle leaves during microwave-, air- and combined microwave-air-drying. *Journal of Food Process Engineering* **33**(2): 213-233
- Alibas Ozkan I, Akbudak B & Akbudak N (2007). Microwave drying characteristics of spinach. *Journal of Food Engineering* **78**:577-583
- Chandra P K & Singh R P (1995). Applied numerical methods for food and agricultural engineers. CRC Press, Boca Raton, FL, pp. 163-167
- Cihan A, Kahveci K & Hacıhafizoğlu O (2007). Modelling of intermittent drying of thin layer rough rice. *Journal of Food Engineering* **79**:293-298
- Demirhan E & Ozbek B (2011). Colour change kinetics of celery leaves undergoing microwave drying. *Chemical Engineering Communications* **198**(10):1189-1205
- Demirhan E & Özbek B (2010a). Drying kinetics and effective moisture diffusivity of purslane undergoing microwave heat treatment. *Korean Journal of Chemical Engineering* **27**(5):1377-1383
- Demirhan E & Özbek B (2010b). Rehydration kinetics of microwave dried basil. *Journal of Food Processing and Preservation* **34**(4):664-680
- Demirhan E & Özbek B (2010c). Microwave drying characteristics of basil. *Journal of Food Processing and Preservation* **34**(3):476-494
- Doymaz İ, Tugrul N & Pala M (2006). Drying characteristics of dill and parsley leaves. *Journal of Food Engineering* **77**:559-565

- Drouzas A E & Schubert H (1996). Microwave application in vacuum drying of fruits. *Journal of Food Engineering* **28**: 203-209
- Eriş A & Şeniz V (1997). Bahçe Bitkileri. Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Ders Notları No:28, Ders Kitabı: 192, Bursa
- Ertekin C & Yaldiz O (2004). Drying of eggplant and selection of a suitable thin layer Drying model. *Journal of Food Engineering* **63**:349-359
- Funebo T & Ohlsson T (1998). Microwave-assisted air dehydration of apple and mushroom. *Journal of Food Engineering* **38**(3): 353-367
- 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
- Jena S & Das H (2007). Modeling for vacuum drying characteristics of coconut presscake. *Journal of Food Engineering* **79**:92-99
- Kadlec P, Rubecova A, Hinkova A, Kaasova J, Bubnik Z & Pour V (2001). Processing of yellow pea by germination, microwave treatment and drying. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* **2**: 133-137
- Karaaslan S N & Tunçer İ K (2008). Development of a drying model for combined microwave-fan assisted convection drying of spinach. *Biosystems Engineering* **100**:44-52
- 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 (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 & Yapar Z (2002). A new model for single layer drying. *Drying Technology* **20**(7):1503-1513
- Nindo C I, Sun T, Wang S W, Tang J & Powers J R (2003). Evaluation of drying technologies for retention of physical quality and antioxidants in asparagus (*Asparagus officinalis*, L.). *Lebensm.-Wiss.u.-Technology* **36**: 507-516
- Özbek B & Dadali G (2007). Thin-layer drying characteristics and modelling of mint leaves undergoing microwave treatment. *Journal of Food Engineering* **83**: 541-549
- Özdemir M & Devres Y O (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. MS Thesis, Department of Mechanical Engineering, Purdue University (Unpublished), West Lafayette, IN, USA
- Prabhanjan D G, Ramaswamy H S & Raghavan G S V (1995). Microwave assisted convective air drying of thin layer carrots. *Journal of Food Engineering* **25**: 283-293
- Sharma G P & Prasad S (2001). Drying of garlic (*Allium sativum*) cloves by microwave-hot air combination. *Journal of Food Engineering* **50**: 99-105
- Soysal Y (2004). Microwave drying characteristics of parsley. *Biosystems Engineering* **89**(2): 167-173
- Soysal Y, Oztekin S & Eren O (2006). Microwave drying of parsley: modelling, kinetics, and energy aspects. *Biosystems Engineering* **93**(4): 403-413
- Toğrul H (2006). Suitable drying model for infrared drying of carrot. *Journal of Food Engineering* **77**: 610-619
- Torrington E, Esveld E, Scheewe I, van den Berg R & Bartels P (2001). Osmotic dehydration as a pre-treatment before combined microwave-hot-air drying of mushrooms. *Journal of Food Engineering* **49**: 185-191
- Wang C Y & Singh R P (1978). A single layer drying equation for rough rice. ASAE Paper No: 78-3001, ASAE, St. Joseph, MI
- Yağcıoğlu A (1999). Tarım Ürünleri Kurutma Tekniği. EÜ Ziraat Fakültesi, İzmir
- 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, 26-27 May, Adana, Turkey
- Zhang D & Hamauzu Y (2004). Phenolics, ascorbic acid, carotenoids and antioxidant activity of broccoli and their changes during conventional and microwave cooking. *Food Chemistry* **88**: 503-509