

BÖĞÜRTLİNİN MİKRODALGA VE SICAK HAVA İLE KURUTULMASI VE KURUTMANIN RENK VE ASKORBİK ASİT İÇERİĞİ ÜZERİNE ETKİSİNİN BELİRLENMESİ

İlknur ALİBAŞ¹

Nezihe KÖKSAL²

ÖZET

Bu çalışma kapsamında yaş baza göre nemi 83.9 ± 0.36 olan böğürtlen (*Rubus plicatus* L.) meyveleri 100 ± 0.8 g ağırlığında tartılarak 850, 500 ve 160 W güç seviyelerinde mikrodalga yöntemiyle ve 50°C sıcaklıkta konveksiyonel kurutma yöntemi ile yaş baza göre nemi 12.45 ± 0.28 oluncaya dek kurutulmuştur. Kurutma işlemleri 850, 500 ve 160 W mikrodalga kurutma seviyeleri için sırasıyla 12.67, 27.17 ve 90.25 dakika; 50°C sıcaklıkta yapılan kurutma işleminde ise 272.5 dakika sürmüştür. Yapılan kurutma işlemleri enerji tüketimi açısından incelenmiştir. Kurutma verileri altı farklı ince tabaka kurutma modeli ile modellenmiştir. Karar 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. Çalışmada ayrıca mikrodalga ve sıcak hava kurutma tekniği ile kurutulan böğürtlen meyvesinin renk değerleri (L, a, b, C ve a) ve askorbik asit içeriği saptanmış olup taze ürünün renk ve askorbik asit değerleri ile karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Buna göre taze ürüne en yakın renk değerinin 850 W mikrodalga güç seviyesinde, taze ürüne en yakın askorbik asit içeriğinin ise 500 W mikrodalga güç seviyesinde elde edildiği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Askorbik asit, böğürtlen, kurutma, mikrodalga, renk

ABSTRACT

MICROWAVE AND CONVECTIVE DRYING OF BLACKBERRY AND DETERMINATION OF THE EFFECT OF DRYING ON COLOR AND ASCORBIC ACID CONTENTS

The scope of this study, blackberry fruits (*Rubus plicatus* L.) which weighs 100 ± 0.8 g with a moisture content of $83.9 \pm 0.36\%$ on wet basis, were dried microwave with 850, 500 and 160 W output power and convective with 50°C until fruits moisture fell down to $12.45 \pm 0.28\%$ on wet basis. Whereas, drying periods for 850, 500 and 160 W microwave output powers were lasted 12.67, 27.17 and 90.25 minutes, respectively, convective drying with 50°C were lasted 272.5 minutes. Drying processes were evaluated in terms of energy consumption. Drying data were modeled with six different thin layer drying models. Model whose coefficient of determination (R^2) is the highest and standard error of estimated (SEE), root mean square error (RMSE) and chi-square (χ^2) are the lowest was chosen to be the best models. In this study, color and ascorbic acid values of blackberry fruits dried with microwave and convective drying technique also determined. These

¹ Dr., Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, BURSA

² Yrd. Doç. Dr., Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, ADANA

values are shown in comparison with fresh product's color and ascorbic acid parameters. Accordingly, the closest color parameters to fresh product were obtained at 850 W microwave output powers, while the closest ascorbic acid to fresh product were obtained at 500 W microwave output powers.

Keywords: Ascorbic acid, blackberry, drying, microwave, color

GİRİŞ

İlman iklim bölgelerinde genellikle yüksek yerlerde kendiliğinden yetişebilen böğürtlenin kültüre alınmış pek çok çeşidi bulunmaktadır [4]. İçeriğinde bulunan askorbik asit, antosiyanin, elajik asit ve fenolik bileşenlerden dolayı böğürtlen oldukça besleyici özelliğe sahiptir [4, 19]. Böğürtlen mide rahatsızlıkları başta olmak üzere sinir sistemi hastalıklarının, hipertansiyonun, damar tıkanıklıklarının ve radyasyonun olumsuz etkilerini tedavi edici bir özelliğe sahiptir [22, 32]. Böğürtlenin sadece meyvesi değil aynı zamanda kök ve yaprakları da alternatif tıpta yaygın olarak kullanılmaktadır [24, 27, 30]. Taze, dondurulmuş ve kurutulmuş olarak böğürtlen gıda sektöründe çay olarak tüketiminin dışında dondurma ve diğer tatlı mamullerde kullanılmakta iken kurutulmuş halde çerez olarak da tüketilebilmektedir [26]. Hasattan hemen sonra çok hızlı bir şekilde bozulmaya uğradığından kullanım süresini artırmak için ya dondurularak ya da kurutularak muhafaza edilebilmektedir [4, 5].

Kurutma, bilinen en eski muhafaza yöntemlerinden biridir [3]. Kurutma ile materyalin bünyesindeki su aktivitesi azaltılmakta olup bu sayede mikrobiyel aktivite yavaşlatılmakta, enzimlerin parçalanması engellenmekte ve etilen gazı oluşumu azaltılmakta; böylece ürünün bozulmasının önüne geçilmektedir [2, 28]. Kurutma ile materyaldeki su buharlaştırıldığından, kurutulan meyve ve sebzelerde hacimsel olarak küçülme ve önemli ölçüde ağırlık kaybı meydana gelmektedir. Bu hacim azalması ve ağırlık kaybı, taşımacılık ve depolamada bir avantaj oluşturmaktadır [7, 9].

Sıcak havayla kurutma, tarımsal ürünlerin kurutulmasında yaygın olarak kullanılan bir muhafaza yöntemidir [28]. Ancak bu yöntemin kuruma süresinin ve enerji tüketiminin yüksek olması, ürün içerisinde eriyiklerin homojen dağılmaması [13, 20], kuru ürünün bünyesinde yüksek sıcaklığa bağlı olarak çeşitli kalite

kayıplarının oluşması, rehidrasyon kabiliyetinin azalması [11, 21] gibi olumsuz yönleri bulunmaktadır. Mikrodalga ışınlarla yapılan kurutma, kurutma süresinin kısa olması, enerji tasarrufu sağlaması, materyalde tekdüze bir kuruma oluşturmaya ve kalite kayıplarını minimum düzeye indirmesi gibi sebeplerden dolayı tercih edilmektedir [8, 12].

Gerek mikrodalga ışınlarla gerekse konveksiyonel yöntemle gerçekleştirilen kurutma işlemlerinde materyaller, optimum bir kurutma sağlamak ve kızılmaya yol açmamak için tek tabaka halinde kurutulmaktadırlar. İnce tabaka kurutma olarak da isimlendirilen bu tek tabaka kurutma kuramını tanımlayan pek çok deneysel, yarı deneysel ve teorik model bulunmaktadır [23]. Kurutma sistemlerinin performansının artırılması açısından ince tabaka kurutma sürecinin matematiksel olarak modellenmesi gerekmektedir [6].

Bu çalışmanın amacı;

i-böğürtlen meyvelerinin ince tabaka kurutma kinetiğinin belirlenmesini,

ii-deneysel olarak elde edilen kurutma verilerinin, literatürde daha önce tanımlanmış olan altı farklı ince tabaka kurutma modeli ile tahmin edilmesini ve

iii-kurutulan böğürtlenin askorbik asit ve renk parametrelerinin taze ürün ile karşılaştırılmasını sağlamaktır.

MATERYAL VE METOT

Kurutma Materyali

Kurutma materyali olarak kullanılan böğürtlen (*Rubus plicatus* L.) Bursa Uludağ Kirazlıyayla Bölgesi'nden yabani olan türlerden toplanmış ve kurutma işlemlerine kadar olan süreçte nem içeriğinin korunması için ıslak yastıklarla çevrelenerek 4±0.5°C sıcaklıkta %60-65 nispi nem koşullarında bekletilmiştir. Kurutulacak böğürtlenler kurutma işlemlerinden önce

kuruma sürecini hızlandırmak ve renk parametrelerinin korunmasını sağlamak amacıyla 1 dakika süreyle buhara tabi tutulmuşlardır. Böğürtlenin 24 saat boyunca 105°C sıcaklıkta bekletilmesiyle yaş baza göre nem içeriği aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

$$M_0 = \frac{(W_0 - W_k)}{W_0} \cdot 100 \quad (\text{Eş.1})$$

Burada; M_0 , materyalin ilk nem içeriği (%); W_0 , örneklerin ilk andaki ağırlığı (g) ve W_k , örneklerin toplam kuru ağırlığıdır (g).

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 327×370×207 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, 850, 500 ve 160 W mikrodalga güç ve 1 m s⁻¹ hava hızında 50°C sıcaklıkta gerçekleştirilmiştir. Kurutulan örnekler ağırlıkları 100 (±0.8) g olacak şekilde tartılmıştır. Denemeler üç tekerrürlü olarak yapılmıştır. Mikrodalga kurutma kinetiğinin belirlenmesi açısından her 30 saniyede, sıcak hava denemesinde ise her 3 dakikada 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 10 saniye içinde tamamlanmıştır [1].

Ayrılabilir nem oranı (MR) aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır [33]:

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

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 [20, 28]. Çalışmada ayrılabilir nem oranı değeri sadeleştirilerek $MR=M/M_0$ olarak kullanılmıştır.

Kurutma hızı (DR), aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır:

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

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)] [10, 16].

Veri Analizi

Çalışma, 3 tekerrürlü olarak kurulmuş olup elde edilen verilerin ortalamaları ve diğer istatistiki hesaplamalar JMP 9.0.2 istatistik programıyla yapılmıştır. DeneySEL veriler daha önceki araştırmalarda çeşitli araştırmacılar tarafından tanımlanmış olan altı farklı ince tabaka kurutma modeli ile modellenmiştir. Bu modellere ilişkin eşitlikler Çizelge 1’de verilmiştir. Doğrusal olmayan regresyon analizleri NLREG Advanced istatistik programı kullanılarak yapılmıştır. Çizelge 1’de tanımlanan eşitliklere ait kurutma sabit ve katsayıları (k , a , b , c , g , h , m ve n) doğrusal olmayan regresyon analizleri ile hesaplanmıştır.

Matematiksel Hesaplamalar

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

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (M_{R_{exp,i}} - M_{R_{exp,mean,i}})^2 - (M_{R_{pre,i}} - M_{R_{pre,i}})^2}{\sum_{i=1}^N (M_{R_{exp,i}} - M_{R_{exp,mean,i}})^2} \quad (\text{Eş.10})$$

$$SEE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (M_{R_{exp,i}} - M_{R_{pre,i}})^2}{N - n_i}} \quad (\text{Eş.11})$$

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

n_i , sabit ve katsayıların sayısıdır. Modelin kısa vadeli performansını belirlemede kullanılan ortalama karesel hata (RMSE) aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (M_{R_{pre,i}} - M_{R_{exp,i}})^2}{N}} \quad (\text{Eş.12})$$

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

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (M_{R_{exp,i}} - M_{R_{pre,i}})^2}{N - n_i} \quad (\text{Eş.13})$$

Renk ve Askorbik Asit Tayin Yöntemi

Renk parametreleri olan L (parlaklık), a (yeşillik), b (sarılık), C (kroma) ve α (renk açısı) değerleri, renk ölçüm cihazının (Konica Minolta, CR 400) haznesine kuru böğürtlenlerin birbirine temas edecek ve hiçbir karanlık yüzey bırakılmayacak şekilde yerleştirilmesiyle cihaz üzerinden okunmuştur. Denemeler beş tekerrürlü olarak gerçekleştirilmiştir.

Böğürtlenin askorbik asit içeriğini belirlemek için örnekler %0.4'lük oksalik asit çözeltisinde ekstrakte edilerek, 520 nm dalga boyunda bir spektrofotometre (Shimadzu UV-120-01) ile okunmuştur [2].

Çizelge 1. İnce tabaka kurutma tahminleri için kullanılan matematiksel modeller

Table 1. The mathematical models used to predict the thin layer drying

Model no	Model ismi / Model name	Model eşitliği / Model equation	Eş.No / Eq.No	Kaynak / References
1	Two-term	$M_R = a \exp(-k_0 t) + b \exp(-k_1 t)$	(Eş.4)	Henderson, [14]
2	Diffusion approach	$M_R = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-kbt)$	(Eş.5)	Kassem, [18]
3	Verma ve ark.	$M_R = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-gt)$	(Eş.6)	Verma ve ark., [31]
4	Modified Henderson & Pabis	$M_R = a \exp(-kt) + b \exp(-gt) + c \exp(-ht)$	(Eş.7)	Karathanos, [17]
5	Jena ve Das	$M_R = a \exp(-kt + b\sqrt{t}) + c$	(Eş.8)	Jena ve Das, [15]
6	Alibaş	$M_R = a \exp((-kt^n) + bt) + c$	(Eş.9)	Alibaş, [1]

M_R , ayrılabilir nem oranı (moisture ratio); a , b , c , g , h , m , katsayılar (coefficients); t , zaman, dak. (drying time, min); n , kurutma sabiti (drying constant); k , kurutma sabiti, min^{-1} (drying constant, min^{-1})

BULGULAR VE TARTIŞMA

Böğürtlenin mikrodalga ve sıcak havayla kurutulmasına ilişkin yaş baza göre nem ve kuruma süresi eğrileri Şekil 1'de modellenmeleri ile birlikte verilmiştir. Şekil 1'e göre, ilk nem içerikleri 83.9 ± 0.36 olan böğürtlen meyveleri son nem seviyesi 12.45 ± 0.28 oluncaya dek 850, 500 ve 160 W mikrodalga çıkış güçlerinde sırasıyla 12.67, 27.27 ve 90.25 dakika içerisinde ve 50°C sıcaklıkta ise 272.5 dakikada kurutulmuştur. Mikrodalga ile kurutmada güç seviyesinin artırılması kurutma zamanını önemli ölçüde kısaltmış olup [1, 2, 7, 28, 29] en yüksek güç seviyesi olan 850 W gücün 160 W güce kıyasla kurutma süresini 7 kat azalttığı saptanmıştır. Sıcak havayla kurutma yöntemi ise 160 W ve 850 W mikrodalga güç seviyelerine göre sırasıyla 3 ve 21.5 kat daha uzun sürede kurutma sağlamıştır. Benzer şekilde Soysal [28]

900 W mikrodalga gücünde maydanozun kurutulmasındaki sürecin 50°C sıcaklıkta gerçekleştirilen kurutma sürecine göre 37 kat daha kısa olduğu sonucuna varmıştır. Torki-Harchegani ve ark. [29] nane yapraklarını mikrodalga ve sıcak hava ile kurutmuş ve 800 W mikrodalga gücünde yapılan kurutmaya göre 50°C 'de gerçekleştirilen konveksiyonel kurutmanın 67.5 kat daha uzun sürdüğünü belirlemişlerdir.

Mikrodalga ve sıcak hava kurutma denemelerine ilişkin kuruma hızları $[(\text{kg}_{\text{su}}) (\text{kg}_{\text{kuru madde}})^{-1} (\text{s})^{-1}]$ kuru baza göre nem içeriğine bağlı olarak Şekil 2 ve Çizelge 2'de verilmiştir. Buna göre, böğürtlenin 850, 500 ve 160 W mikrodalga güç seviyelerindeki ortalama kuruma hızlarının sırasıyla 0.2070, 0.1225 ve 0.0348 $[(\text{kg}_{\text{su}}) (\text{kg}_{\text{kuru madde}})^{-1} (\text{s})^{-1}]$, buna karşın 50°C sıcaklıkta ortalama kuruma hızının ise 0.0158 $[(\text{kg}_{\text{su}}) (\text{kg}_{\text{kuru madde}})^{-1} (\text{s})^{-1}]$ olduğu belirlenmiştir.

Mikrodalga kurutmanın konveksiyonel kurutmaya oranla kuruma hızını artırdığı saptanmıştır. Sonuçlar literatürdeki diğer çalışmalarla paralellik arz etmektedir [2, 28, 29]. Mikrodalga güç seviyesinin artması ile kuruma hızlarının da arttığı tespit edilmiş olup [7, 20] en yüksek güç seviyesi olan 850 W'da gerçekleşen kuruma hızının en düşük güç seviyesi olan 160 W'a göre yaklaşık 6 kat daha fazla olduğu tespit edilmiştir.

Mikrodalga ve sıcak hava ile kurutma denemelerine ilişkin enerji tüketimi, kurutma süresi ve ortalama kuruma hızı değerleri istatistiksel farkları ile birlikte Çizelge 2'de verilmiştir. Buna göre toplam enerji tüketimi açısından en ekonomik yöntemin 850 W mikrodalga gücünde elde edildiği ve bunu sırasıyla 500 W ve 160 W mikrodalga gücü ile 50°C sıcak havayla kurutmanın izlediği tespit edilmiştir. Buna göre en yüksek enerji tüketiminin olduğu 50°C'deki enerji tüketiminin, en düşük enerji tüketiminin olduğu 850 W mikrodalga gücünden 5.11 kat daha fazla olduğu belirlenmiştir. Mikrodalga kurutmanın en kısa sürede tamamlandığı 850 W mikrodalga gücünde kaydedilen enerji tüketiminin 160 W mikrodalga gücünde kaydedilen enerji tüketiminden 1.34 kat daha az olduğu saptanmıştır.

Literatürde tanımlanmış olan kurutma modelleri içinde deneysel verilere en yakın sonuçları veren altı model bu çalışma kapsamında Çizelge 1'de tanımlanmıştır. Çizelge 1'de verilmiş olan ince tabaka kurutma modellerine ilişkin kararlılık katsayısı (R^2), standart hata (SEE), ortalama karesel hata ($RMSE$) ve ki kare (χ^2) değerleri ile modellere ilişkin sabit ve katsayılar Çizelge 3'de verilmiştir. Çalışmada her bir kurutma seviyesi için kararlılık katsayısının (R^2) en yüksek, standart hata (SEE), ortalama karesel hata ($RMSE$) ve ki kare (χ^2) değerlerinin ise en düşük olduğu model en iyi model olarak seçilmiştir. Buna göre 50°C konveksiyonel kurutmada 0.9985 R^2 değeri ile Alibaş, 500 W mikrodalga kurutmada 0.9995 R^2 değeri ile Jena & Das, 850 ve 160 W mikrodalga kurutmada sırasıyla 0.9996 ve 0.9993 R^2 değerleri ile Modified Henderson & Pabis modellerinin en iyi modeller olduğu belirlenmiştir. Deneysel olarak elde edilen veriler ve bu verilere en yakın değerleri veren ilgili modellerin kuruma süresine bağlı ayrılabilir

kuruma oranı değerleri ise Şekil 3a ve Şekil 3b'de verilmiştir.

Kurutma işlemlerinden elde edilen böğürtlenlerin askorbik asit içerikleri de Çizelge 4'de taze ürünle karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Çizelgede kurutulmuş örneklerle ilişkin askorbik asit değeri, 100 g taze ürüne denk gelen kurutulmuş ürün miktarı baz alınarak hesaplanmıştır. Buna göre taze ürüne en yakın askorbik asit değerinin 500 W mikrodalga güç seviyesinde 26.31 mg/100 g değeri ile kaydedildiği saptanmıştır. Taze üründe 27.17 olarak belirlenen askorbik asit düzeyinin 850 W, 500 W, 160 W mikrodalga güçlerinde sırasıyla 1.19, 1.03 ve 1.26 kat kayba uğradığı tespit edilmiştir. Buna karşın kurutmanın en uzun sürdüğü ve en yüksek enerjinin harcandığı 50°C sıcak hava ile kurutmada ise askorbik asit düzeyinin 2.46 kat azaldığı belirlenmiştir. Buna göre, mikrodalga güç seviyesinin artırılması veya azaltılmasının askorbik asit düzeyinde azalmaya neden olduğu sonucuna varılırken; 50°C sıcak havayla kurutmanın askorbik asit düzeyini taze ürüne göre önemli ölçüde azalttığı tespit edilmiştir. Askorbik asit değerine ilişkin elde edilen bulgular literatürdeki veriler ile paralellik arz etmektedir [2, 25].

Mikrodalga güç seviyeleri olan 850, 500 ve 160 W güçlerde gerçekleşen kurutmalar ile 50°C sıcaklıkta konveksiyonel kurutma sonucunda elde edilen kuru böğürtlenlerin renge ilişkin parlaklık (L), yeşillik-kırmızılık (a), sarılık-mavilik (b), yoğunluk (C) ve açı (α) parametreleri taze böğürtlen ile karşılaştırmalı olarak Çizelge 4'de verilmiştir. Çizelge 4'de göre taze böğürtlene en yakın renk sonuçlarının mikrodalga kurutmanın en yüksek güç seviyesi olan 850 W gücünde olduğu saptanmıştır. Mikrodalga kurutma gücü 850 W'dan 160 W'a doğru düştükçe rengin koyuluk-beyazlık değeri olan L değerinde açılmalar saptanmıştır. Benzer şekilde rengin kırmızılığını gösteren a değerinin mikrodalga gücünün artırılmasıyla arttığı rengin koyu mordan kırmızılığa doğru dönmeye başladığı belirlenmiştir. Taze ürünün mavilik değerinin mikrodalga gücünün artmasına paralel olarak açıldığı ve sarılığa doğru kayma eğilimi gösterdiği tespit edilmiştir. Kurutulmuş ürünler içinde en çok renk açılmasının (solma) ve pembeleşmenin (kroma kaybı) olduğu yöntemin ise sıcak hava ile kurutma olduğu belirlenmiştir.

Alibaş ve Köksal [2] ebegümeçi yapraklarını mikrodalga, sıcak hava ve kombine mikrodalga sıcak hava ile kurutlar; buna göre renk solmasının maksimum düzeyde olduğu kurutma yönteminin

50°C sıcaklıkta konveksiyonel kurutma olduğunu belirlemişlerdir. Renk parametrelerine ilişkin elde edilen bulgular literatürdeki diğer çalışmalar ile paralellik arz etmektedir [1, 2, 25, 28].

Çizelge 2. Mikrodalga ve sıcak hava ile kurutulmuş böğürtlenlerin bazı kurutma parametreleri
Table 2. Some drying parameters of dried blackberries with microwave and convective drying methods

Kurutma yöntemi Drying method	Kurutma süresi** (dakika) Drying time (min)	Enerji tüketimi** (kWh) Energy consumption (kWh)	Ortalama kuruma hızı ** $[(kg_{su})(kg_{kurumadde})^{-1}(s)^{-1}]$ Average drying rate $[(kg_{water})(kg_{drymatter})^{-1}(s)^{-1}]$
850 W–mikrodalga	12.67±0.40 ^d	0.1794±0.0057 ^c	0.2070±0.0012 ^a
500 W–mikrodalga	27.17±0.67 ^c	0.2264±0.0056 ^b	0.1225±0.0004 ^b
160 W–mikrodalga	90.25±0.97 ^b	0.2407±0.0026 ^b	0.0348±0.0004 ^c
50°C–sıcak hava	272.25±3.27 ^a	0.9164±0.0204 ^a	0.0158±0.0003 ^d

** Sütunlar arasında P<0.01 önem seviyesinde farklılık bulunmuştur.

** $p<0.01$ Column mean values with different superscripts are significantly different

Çizelge 3. Mikrodalga ve sıcak hava kurutma yöntemleri için çeşitli ince tabaka kurutma modellerinin katsayı, sabit ve istatistiki verileri

Table 3. Coefficients, constant and statistical data of thin layer drying models for microwave and convective drying methods

850 W–mikrodalga / 850 W–microwave					500 W–mikrodalga / 500 W–microwave			
No	R ²	SEE	RMSE	χ^2	R ²	SEE	RMSE	χ^2
1	0.9878	0.0415	2.7732×10^{-02}	1.0767×10^{-03}	0.9955	0.0199	1.4650×10^{-02}	2.4764×10^{-04}
2	0.9991	0.0104	3.3804×10^{-04}	1.4543×10^{-07}	0.9979	0.0129	2.9262×10^{-02}	9.5139×10^{-04}
3	0.9992	0.0101	5.1727×10^{-03}	3.4054×10^{-05}	0.9979	0.0132	2.9713×10^{-02}	9.8095×10^{-04}
4	0.9996	0.0084	7.7661×10^{-05}	1.0555×10^{-08}	0.9958	0.0195	7.5373×10^{-04}	7.1013×10^{-07}
5	0.9984	0.0149	2.7394×10^{-11}	1.0506×10^{-21}	0.9995	0.0064	2.0463×10^{-11}	4.8316×10^{-22}
6	0.9995	0.0085	4.7581×10^{-11}	3.5217×10^{-21}	0.9994	0.0075	2.2142×10^{-12}	5.8833×10^{-24}
No	Kurutma katsayıları ve sabitleri <i>Drying constant and coefficients</i>				Kurutma katsayıları ve sabitleri <i>Drying constant and coefficients</i>			
1	k=0.2848, a=0.5263, b=0.5380, m=0.2848				k=0.1752, a=0.5354, b=0.5153, m=0.1752			
2	k=1.0650, a=−0.4518, b=0.3356				k=1.8387, a=−0.1207, b=0.1012			
3	k=0.3830, a=1.7254, g=0.8111				k=0.1864, a=1.1236, g=1.7122			
4	k=0.5625, a=−4.6991, b=5.6967, c=0.0005, g=0.4790, h=−0.2847				k=0.0076, a=0.0113, b=0.5447, c=0.5005, g=0.1810, h=0.1810			
5	k=0.3970, a=0.9971, b=0.2586, c=−0.0111				k=0.2408, a=0.9731, b=0.1551, c=0.2473			
6	k=0.1129, n=1.4905, a=0.9757, b=−0.0536, g=0.0233				k=0.6724 × 10 ^{−02} , n=1.0006, a=0.9753, b=0.6713 × 10 ^{−02} , g=0.0299			
	160 W–mikrodalga 160 W–microwave				50°C–sıcak hava 50°C–convective			
No	R ²	SEE	RMSE	χ^2	R ²	SEE	RMSE	χ^2
1	0.9933	0.0233	1.1238×10^{-03}	1.3752×10^{-06}	0.9903	0.0282	9.4734×10^{-02}	9.6925×10^{-03}
2	0.9954	0.0191	5.8929×10^{-02}	3.6991×10^{-03}	0.9912	0.0266	1.0921×10^{-01}	1.2628×10^{-02}
3	0.9954	0.0192	5.7395×10^{-02}	3.5090×10^{-03}	0.9902	0.0279	9.4707×10^{-02}	9.4971×10^{-03}
4	0.9993	0.0077	4.8963×10^{-04}	2.7319×10^{-07}	0.9959	0.0187	1.5090×10^{-04}	2.5616×10^{-08}
5	0.9982	0.0120	4.4928×10^{-13}	2.1979×10^{-25}	0.9983	0.0121	5.6770×10^{-11}	3.4807×10^{-21}
6	0.9972	0.0153	6.1225×10^{-11}	4.1745×10^{-21}	0.9985	0.0113	4.1233×10^{-11}	1.8736×10^{-21}
No	Kurutma katsayıları ve sabitleri <i>Drying constant and coefficients</i>				Kurutma katsayıları ve sabitleri <i>Drying constant and coefficients</i>			
1	k=−0.0218, a=0.0034, b=1.0917, m=0.0578				k=1.1015, a=−0.2053, b=1.2052, m=0.0275			
2	k=0.6412, a=−0.1650, b=0.0937				k=0.1706, a=−0.3003, b=0.1719			
3	k=0.0598, a=1.1594, g=0.7233				k=1.2175, a=−0.2051, g=0.0275			
4	k=0.0759, a=1.1908, b=−0.2970, c=0.1006, g=0.4276, h=0.0155				k=1.1200, a=−0.2422, b=1.2223, c=0.0198, g=0.0301, h=−0.0020			
5	k=0.0835, a=0.9678, b=0.1162, c=0.0335				k=0.0429, a=0.9524, b=0.1144, c=0.0361			
6	k=0.2456 × 10 ^{−02} , n=1.0006, a=0.9883, b=0.2454 × 10 ^{−02} , g=0.0378				k=0.1348 × 10 ^{−02} , n=1.0008, a=0.9623, b=0.1349 × 10 ^{−02} , g=0.0407			

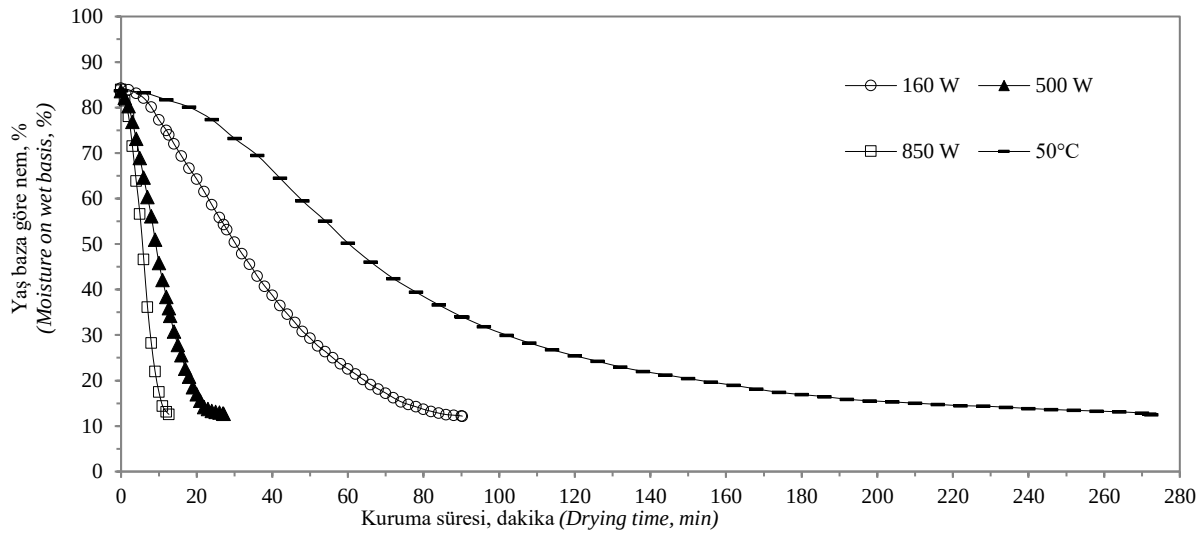
Çizelge 4. Mikrodalga ve sıcak hava ile kurutulmuş böğürtlenlerin bazı kalite parametrelerinin karşılaştırılması

Table 4. Comparison of some quality parameters of dried blackberries with microwave and convective drying methods

Kurutma yöntemi Drying method	AA** (mg/100 g)	Renk parametreleri / Color parameters				
		L**	a**	b**	C**	α^*
Taze	27.17±0.31 ^a	7.88±0.32 ^a	30.77±0.50 ^b	-28.79±0.37 ^d	42.14±0.60 ^a	316.89±0.17 ^e
850 W–Mikrodalga	22.84±0.49 ^b	8.79±0.45 ^a	31.79±0.89 ^b	-27.27±1.35 ^d	41.94±1.44 ^a	319.58±1.02 ^d
500 W–Mikrodalga	26.31±0.36 ^a	10.62±0.27 ^b	32.19±0.61 ^b	-19.35±0.66 ^c	37.57±0.86 ^b	329.08±0.43 ^c
160 W–Mikrodalga	21.54±0.66 ^b	13.06±0.47 ^c	34.79±0.87 ^a	-12.61±0.94 ^b	37.07±1.07 ^b	340.29±1.13 ^b
50°C–Sıcak hava	11.04±0.56 ^c	13.67±0.58 ^c	35.56±0.76 ^a	-1.09±0.13 ^a	35.58±0.75 ^b	358.20±0.24 ^a

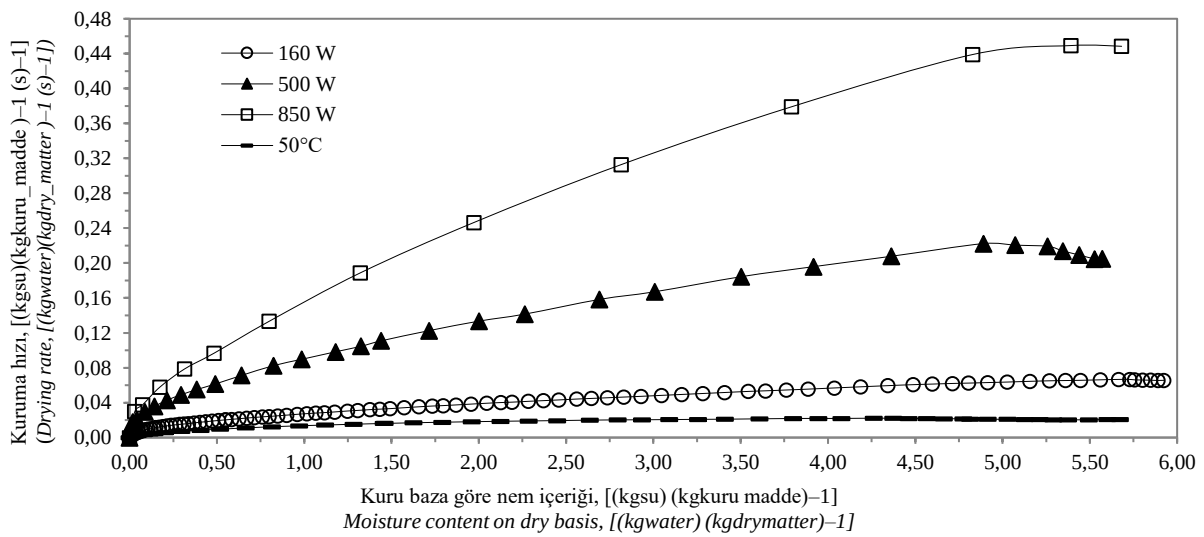
AA, askorbik asit (ascorbic acid); L, parlaklık/koyuluk (brightness/darkness); a, yeşillik/kırmızık (greenness/redness); b, sarılık/mavilik (yellowness/blueness); C, kroma (Chroma); α^* , renk açısı (hue angle)

**Sütunlar arasında P<0.01 önem seviyesinde farklılık bulunmuştur. ** p<0.01 Column mean values with different superscripts are significantly different).



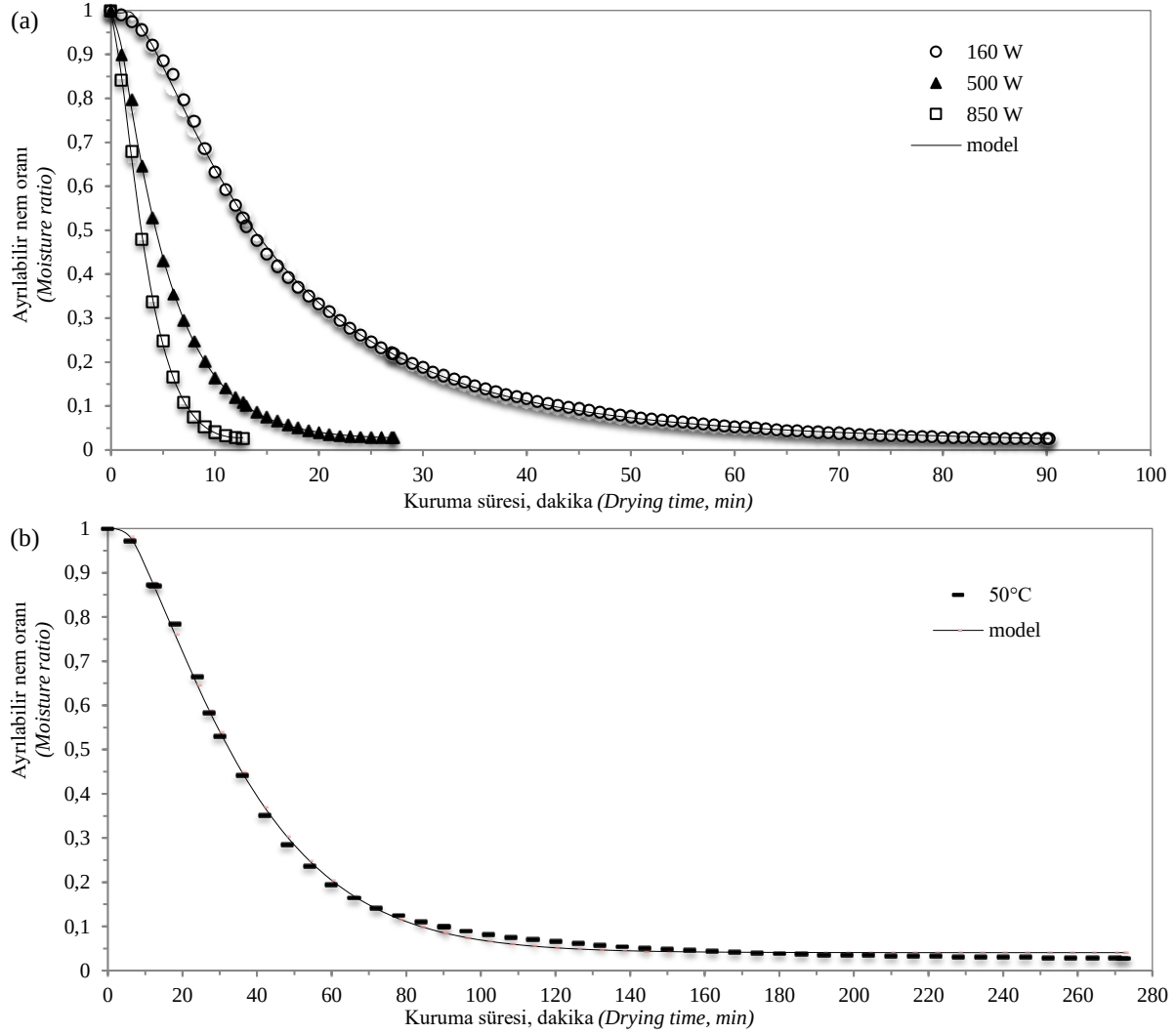
Şekil 1. Böğürtlenin yaş baza göre zamana bağlı nem değişimi eğrileri

Figure 1. Moisture content on dry basis depend on drying time curves of blackberry



Şekil 2. Böğürtlenin kuru baza göre nem içeriğine bağlı kuruma hızı eğrileri

Figure 2. Drying rate curves of blackberry depend on moisture content on dry basis



Şekil 3. Kuruma süresine bağlı olarak ayrılabilir nem oranı; a: mikrodalga kurutma; b: sıcak havayla kurutma (50°C, Alibas Eşitliği; 500 W, Jena ve Das Eşitliği, 160 W ve 850 W, Modified Henderson ve Pabis Eşitliğine göre modellenmiştir)

Figure 3. Moisture ratio depend on drying time; a: microwave drying; b: convective drying (Diagram was modeled according to 50°C, Alibas Equation; 500 W, Jena and Das Equation; 160 W and 850 W, Modified Henderson and Pabis Equation)

SONUÇLAR

İlk nem içeriği 83.9 ± 0.36 olan böğürtlen meyvesi 850, 500 ve 160 W mikrodalga gücünde ve 50°C sıcaklıkta son nem içeriği 12.45 ± 0.28 oluncaya dek kurutulmuştur. Kurutma işlemleri 850, 500, 160 W mikrodalga güçlerinde sırasıyla 12.67, 27.17 ve 90.25 dakika sürerken; 50°C sıcaklıkta 272.5 dakikada tamamlanmıştır. Kurutma işlemleri sırasındaki enerji tüketimi değerlerinin 850, 500, 160 W mikrodalga güçlerinde sırasıyla 0.1794, 0.2264 ve 0.2407

kWh; buna karşın 50°C sıcaklıkta 0.9164 kWh olduğu tespit edilmiştir. Mikrodalga kurutma seviyeleri olan 850, 500 ve 160 W güçlerinde ortalama kuruma hızının sırasıyla 0.2070, 0.1225 ve 0.0348 ($\text{kg}_{\text{su}}/(\text{kg}_{\text{kuru_madde}} \cdot \text{s})$) olduğu 50°C sıcaklıkta ise 0.0158 ($\text{kg}_{\text{su}}/(\text{kg}_{\text{kuru_madde}} \cdot \text{s})$) olarak kaydedildiği saptanmıştır. Kurutma süreçleri Two-term, Diffusion approach, Verma ve ark., Modified Henderson ve Pabis, Jena ve Das ve Alibas ince tabaka kurutma modelleri ile modellenmiştir. Buna göre deneysel verilere en yakın sonuçların alındığı matematiksel modelin

850 ve 160 W mikrodalga güçlerinde sırasıyla 0.9996 ve 0.9993 kararlılık katsayısı (R^2) değerleri ile Modified Henderson ve Pabis; 500 W mikrodalga gücünde 0.9995 R^2 değeri ile Jena ve Das ve 50°C sıcaklık değerinde ise 0.9985 R^2 değeri ile Alibas modeli olduğu tespit edilmiştir. Mikrodalga ve sıcak hava ile kurutulmuş böğürtlenlerin renk parametreleri ve askorbik asit değeri taze ürüne ilişkin renk ve askorbik asit değerleri ile karşılaştırmalı olarak belirlenmiş olup, buna göre taze ürüne en yakın rengin ve askorbik asit değerinin sırasıyla 850 ve 500 W mikrodalga gücünde olduğu belirlenmiştir. Sıcak hava ile kurutmanın ise hem renk hem de askorbik asit düzeyinde önemli ölçüde kayba neden olduğu saptanmıştır.

KAYNAKLAR

1. Alibas, I., 2012. Microwave Drying of Grapevine (*Vitis vinifera* L.) Leaves and Determination of Some Quality Parameters. *Journal of Agricultural Sciences* 18:43–53.
2. Alibaş, I. and N. Köksal, 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* 34(2):358–364.
3. Aral, S. and A. V. Beşe, 2016. Convective Drying of Hawthorn Fruit (*Crataegus* spp.): Effect of Experimental Parameters on Drying Kinetics, Color, Shrinkage, and Rehydration Capacity. *Food Chemistry* 210:577–584.
4. Brackmann, A., R. D. O. Anese, F. R. Thewes, D. Fronza and J. J. Hamann, 2016. Storability of ‘Tupy’ and ‘Guarani’ Blackberries in Controlled Atmosphere. *Post-Harvest Technology* 75(2):240–246.
5. Cia, P., I. U. Bron, S. R. T. Valentini, R. Pio and E. A. Chagas, 2007. Atmosfera Modificada e Refrigeração para Conservação Pos-Colheita da Amora-Preta. *Bioscience Journal* 23:11–16.
6. Cihan, A., K. Kahveci and O. Hacıhafizoğlu, 2007. Modelling of Intermittent Drying of Thin Layer Rough Rice. *Journal of Food Engineering* 79:293–298.
7. Dadali, G., E. Demirhan and B. Özbek, 2007. Color Change Kinetics of Spinach Undergoing Microwave Drying. *Drying Technology* 25:1713–1723.
8. Diaz, G. R., J. Martinez-Monzo, P. Fito and A. Chiralt, 2002. Modelling of Dehydration-Rehydration of Orange Slices in Combined Microwave/Air Drying. *Innovative Food Science and Emerging Technology* 4:203–209.
9. Doymaz, I. and O. Ismail, 2011. Drying Characteristics of Sweet Cherry. *Food and Bioproducts Processing* 89:31–38.
10. Doymaz, İ., N. Tugrul and M. Pala, 2006. Drying Characteristics of Dill and Parsley Leaves. *Journal of Food Engineering* 77:559–565.
11. Drouzas, A. E., E. Tsami and G. D. Saravacos, 1999. Microwave/Vacuum Drying of Model Fruit Gels. *Journal of Food Engineering* 39:117–122.
12. 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.
13. Feng, H. and J. Tang, 1998. Microwave Finish Drying of Diced Apple Slices in a Spouted Bed. *Journal of Food Science* 63(4):679–683.
14. Henderson, S. M., 1974. Progress in Developing the Thin Layer Drying Equation. *Transaction of ASAC* 17:1167–1172.
15. Jena, S. and H. Das, 2007. Modelling for Vacuum Drying Characteristics of Coconut Presscake. *Journal of Food Engineering* 79:92–99.
16. 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.
17. Karathanos, V. T., 1999. Correlation of Water Content of Dried Fruits by Drying Kinetics. *Journal of Food Engineering* 39:337–344.
18. Kassem, A. S., 1998. Comparative Studies on Thin Layer Drying Models for Wheat. In: 13th International Congress on Agricultural Engineering, 2–6 February 1998. Morocco. Vol 6.
19. Krüger, E., H. Dietrich, E. Schöpplein, S. Rasim and P. Kürbel, 2011. Cultivar, Storage Conditions and Ripening Effects on Physical

- and Chemical Qualities of Red Raspberry Fruit. *Postharvest Biology and Technology* 60:31–37.
- 20.Maskan, M., 2000. Microwave/Air and Microwave Finish Drying of Banana. *Journal of Food Engineering* 44:71–78.
 - 21.Maskan, M., 2001. Drying, Shrinkage and Rehydration Characteristics of Kiwifruits during Hot Air and Microwave Drying. *Journal of Food Engineering* 48(2):177–182.
 - 22.Melkadze, R. G., N. S. Chikovani and E. Kakhniashvili, 2008. Characteristics of the Composition of Caucasian Blackberry (*Rubus caucasicus* L.) Leaves as a Raw Material for Tea Production. *Appl. Biochem. Microbiol.* 44:647–651.
 - 23.Midilli, A., H. Kucuk and Z. Yapar, 2002. A New Model for Single Layer Drying. *Drying Technology* 20(7):1503–1513.
 - 24.Nile, S. H. and S. W. Park, 2014. Edible Berries: Bioactive Components and Their Effect on Human Health. *Nutrition* 30:134–144.
 - 25.Ozkan, I. A., N. Akbudak and B. Akbudak, 2007. Microwave Drying Characteristics of Spinach. *Journal of Food Engineering* 78:577–583.
 - 26.Pavlovic, A. V., A. Papetti, D. C. D. Zagorac, U. M. Gasic, D. M. Misic, Z. L. Tesic and M. M. Natic, 2016. Phenolics Composition of Leaf Extracts of Raspberry and Blackberry Cultivars Grown in Serbia. *Industrial Crops and Products* 87:304–314.
 - 27.Ryan, T., J. M. Wilkinson and H. M. A. Cavanagh, 2001. Antibacterial Activity of Raspberry Cordial *in vitro*. *Res. Vet. Sci.* 71:155–159.
 - 28.Soydal, Y., 2004. Microwave Drying Characteristics of Parsley. *Biosystems Engineering* 89:167–173.
 - 29.Torki–Harchegani, M., D. Ghanbarian and A. G. Pirbalouti, 2016. Dehydration Behaviour, Mathematical Modelling, Energy Efficiency and Essential Oil Yield of Peppermint Leaves Undergoing Microwave and Hot Air Treatments. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 58:407–418.
 - 30.Venskutonis, P. R., A. Dvaranauskaite and J. Labokas, 2007. Radical Scavenging Activity and Composition of Raspberry (*Rubus idaeus*) Leaves from Different Locations in Lithuania. *Fitoterapia* 78:162–165.
 - 31.Verma, L. R., R. A. Bucklin, J. B. Endan and F. T. Wratten, 1985. Effects of Drying Air Parameters on Rice Drying Models. *Transaction of ASEA* 28:296–301.
 - 32.Wang, S. Y. and H. S. Lin, 2000. Antioxidant Activity in Fruits and Leaves of Blackberry, Raspberry, and Strawberry Varies with Cultivar and Developmental Stage. *J. Agric. Food Chem.* 48:140–146.
 - 33.Yağcıoğlu A., A. Değirmencioğlu and F. Cagatay, 1999. Drying Characteristics of Laurel Leaves under Different Drying Conditions. *Proceedings of the 7th International Congress on Agricultural Mechanization and Energy*, 26–27 May 1999. Adana–Turkey. 565–569