



## The Investigation of The Drying Kinetics of *Vitis Labrusca L.* Type Grape by Using Microwave Method

Azmi Seyhun Kıpçak<sup>1,a,\*</sup>, Berrin Saygı Yalçın<sup>2,b</sup>

<sup>1</sup>Chemical Engineering Department, Faculty of Chemical and Metallurgical, Yıldız Technical University, 34210 Istanbul, Turkey

<sup>2</sup>Chemical and Process Engineering Department, Yalova University, 77200 Yalova, Turkey

\*Corresponding author

ARTICLE INFO	ABSTRACT
<p><i>Research Article</i></p> <p>Received : 16/11/2018 Accepted : 20/02/2019</p> <p><b>Keywords:</b> <i>Vitis labrusca L.</i> Drying Modelling Effective moisture diffusion Activation energy</p>	<p><i>Vitis labrusca L.</i> grape (Isabella Grape) is among the grape types that are consumed frequently in the world. Dry fruits are used frequently as snacks for people who work hard and in diet especially during the recent years compared to wet fruits. In this study, the drying characteristics of <i>Vitis labrusca L.</i> are investigated with using different microwave power levels. Mathematical modeling of drying is studied by using the drying models frequently used in the literature. By using spherical coordinates effective moisture diffusion coefficients and activation energy are calculated. <i>Vitis labrusca L.</i> are dried at 20, 6 and 2 minutes with 90, 180 and 360 W power levels, respectively. The best drying model was determined as Alibas and <math>R^2</math>, <math>\chi^2</math>, and root mean square error (RMSE) values were calculated between 0.999398 - 0.999715, 0.000182 - 0.000169, 0.010589 - 0.008675 respectively. <i>Vitis labrusca L.</i> are generally dried in a falling- rate period. Effective moisture diffusion coefficients were calculated between <math>2.11 \times 10^{-7}</math> - <math>6.61 \times 10^{-8}</math> m<sup>2</sup>/s and the activation energy were calculated as 75.464 kW/kg. Energy consumption values were determined as 108, 64.8 ve 43.2 kJ at the microwave power levels of 90, 180 and 360 W, respectively.</p>

Türk Tarım – Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi 7(4): 631-638, 2019

## *Vitis Labrusca L.* Tipi Üzümün Mikrodalga Metodu ile Kurutma Kinetiğinin İncelenmesi

MAKALE BİLGİSİ	ÖZ
<p><i>Araştırma Makalesi</i></p> <p>Geliş : 16/11/2018 Kabul : 20/02/2019</p> <p><b>Anahtar Kelimeler:</b> <i>Vitis labrusca L.</i> Kurutma Modelleme Etketif nem yayılımı Aktivasyon enerjisi</p>	<p><i>Vitis labrusca L.</i> (Isabella üzümü) dünyada sıkça tüketilen üzüm türleri arasında yer almaktadır. Kuru meyveler, yaş meyvelere oranla son yıllarda özellikle yoğun çalışan ve diyet yapan insanlarca çabuk atıştırma öğünü veya ara öğün olarak sıkça kullanılmaktadır. Bu çalışmada farklı mikrodalga güç seviyelerinde <i>Vitis labrusca L.</i>'nin kurutma karakteristiği incelenmiş, literatürde sıkça kullanılan kurutma modelleri kullanılarak matematiksel modellemesi yapılmış, küresel koordinatlar kullanılarak efektif nem yayılım katsayıları ve aktivasyon enerjisi hesabı yapılmıştır. <i>Vitis labrusca L.</i> 90, 180 ve 360 W güçte sırası ile 20, 6 ve 2 dakikada kurutulmuştur. En iyi kuruma modeli Alibas olarak belirlenmiştir ve <math>R^2</math>, <math>\chi^2</math> ve hata kareleri ortalaması kare kökü (HKOK) değerleri sırası ile 0,999398 – 0,999715, 0,000182 – 0,000169, 0,010589 – 0,008675 arasında hesaplanmıştır. Kurutma genel olarak azalan hız periyotunda gerçekleşmiştir. Etketif nem yayılım katsayıları <math>2,11 \times 10^{-7}</math> ile <math>6,61 \times 10^{-8}</math> m<sup>2</sup>/s arasında aktivasyon enerjisi de 75,464 kW/kg olarak hesaplanmıştır. Enerji tüketim miktarları 90, 180 ve 360 W mikrodalga güç seviyelerinde sırası ile 108, 64,8 ve 43,2 kJ olarak belirlenmiştir. Anahtar Kelimeler: <i>Vitis labrusca L.</i>, kurutma, modelleme, efektif nem yayılımı, aktivasyon enerjisi.</p>

<sup>a</sup> [skipcak@yildiz.edu.tr](mailto:skipcak@yildiz.edu.tr)

<sup>b</sup> <https://orcid.org/0000-0003-2068-6065>

<sup>c</sup> [berrin.yalcin@yalova.edu.tr](mailto:berrin.yalcin@yalova.edu.tr)

<sup>d</sup> <https://orcid.org/0000-0003-0728-7350>



## Giriş

Üzüm, dünyanın birçok yerinde özellikle taze halde ve bir kısmı da kurutulmuş olarak tüketilmek amacıyla üretilmektedir. Bunun yanı sıra üzüm, şarap, meyve suyu ve sirke üretiminde kullanılmaktadır (Xu ve ark., 2010). Üzümün dünya çapında yaygın olarak üretilmesinin en önemli nedeni besin değerinin yüksek olmasıdır. Bunun yanı sıra üzümün yapısında bulunan polifenolik bileşenlerin, antioksidan, anti-proliferatif, anti-inflamatuar, anti-allerjik, anti-hipertansif ve antitrombotik gibi özelliklerinden dolayı insan sağlığı bakımından büyük önem taşımakta olduğu bilinmektedir (Cueva ve ark, 2010, Meng ve ark, 2010).

Gıda ve Tarım Örgütünün 2014 verilerine göre global kapsamda en yüksek miktarda üzüm üreten ilk beş ülke sırasıyla Çin, İtalya, A.B.D., Fransa ve İspanya olarak belirlenmiştir ve bu ülkeleri 6. sırada Türkiye takip etmektedir. 2014 verilerine göre dünya genelinde üzüm üretimi 74.499.859 ton olarak belirlenmiş ve bu üretimin %5,61'lik kısmı (4.175.356 ton) Türkiye'de gerçekleştirilmiştir (FAO, 2017). Türkiye'nin hemen hemen her bölgesinin iklim ve toprak yapısı birçok üzüm çeşidinin yetiştiriciliği için uygundur. Bunun yanı sıra Doğu Anadolu ve Karadeniz bölgelerinde ise sadece İzabella, olarak adlandırılan *Vitis labrusca* L. (İzabella üzümü) türü üzüm yetişebilmektedir. Aynı üzüm çeşidi literatürde ayrıca çilek üzümü, Amerikan üzümü veya kokulu üzüm olarak da adlandırılmaktadır (Çelik ve ark., 2009). *Vitis labrusca* L. yapısal bakımdan kalın ve kaygan bir dış kabuğa sahip olmakla beraber diğer üzüm türlerine kıyasla farklı bir aromatik lezzete sahiptir. Bu üzüm türünün olgun hali, genellikle sofralık olarak tüketilmekte veya marmelat, şarap, pekmez ve reçel, olgunlaşmamış hali ise turşu yapımında kullanılmaktadır. *Vitis labrusca* L. diğer üzümlere kıyasla düşük pH'a ve şeker içeriğine sahiptir ve diğer üzüm çeşitlerinde sıkça görülen mantar hastalıklarına karşı dayanıklıdır (Çelik ve ark., 2008). Literatürde *Vitis labrusca* L. üzüm türünün genel olarak ampelografik özellikleri (Çelik ve ark., 2008; Martínez ve ark., 2000; Arif ve ark., 2012), fenolik içeriği ve antioksidan özelliği (Margraf ve ark., 2016; Rockenbach ve ark., 2011; Santos ve ark., 2011) üzerine çalışmalar bulunmaktadır.

Kurutma, gıdaların özellikle meyvelerin uzun süre bozulmadan korunabilmesi için uygulanan bilenen en eski yöntemlerden bir tanesidir. Gıda maddelerine kurutma işlemi uygulanması, gıda maddelerinin uzun süre saklanmasına ve bunun yanı sıra gıda maddelerinin daha kolay ambalajlanmasına, öğütülebilirliğinin artmasına, nakliye maliyetinin düşmesine olanak sağlamaktadır (Onwude ve ark., 2017). Günümüzde meyve ve sebzelerin kurutulması amacıyla kullanılan birçok geleneksel yöntem bulunmaktadır (Mujumdar ve ark., 2010). Bu yöntemler düşük kurutma verimliliği ve uzun kurutma süresi gibi dezavantajlara sahiptir. Geleneksel kurutma yöntemlerinin sahip olduğu bu olumsuz etkileri iyileştirmek amacıyla günümüzde yeni kurutma teknikleri üzerinde birçok çalışma yapılmaktadır ve mikro dalga kurutma bunlardan bir tanesidir (Doymaz ve ark., 2015a). Mikrodalga kurutmanın en önemli avantajı kurutma sırasında sıcaklık ve nem gradyanlarının aynı yönde olması sebebiyle su molekülleri tarafından enerjinin çabuk emilmesinden

kaynaklı, kuruma süresinin kısılması ve böylelikle enerji tüketim değerlerinin de düşmesidir (Sanga ve ark., 2000; Puligundla ve ark., 2013).

Mikrodalga kurutma metodu ile son yıllarda kızılçık (Yongsawatdigul ve ark., 1996), elma (Funebo ve ark., 1998), yaban mersini (Feng ve ark., 1999), nektarin (İsmail ve ark., 2017), karadut (Doymaz ve Kıpçak, 2019) gibi meyvelerin kurutulması üzerine birçok çalışma yapılmıştır. Bunun yanı sıra literatürde çeşitli üzüm türlerinin sıcak hava ile kurutma, güneşte kurutma, kızılötesi kurutma ve mikrodalga kurutma yöntemi ile ilgili (Doymaz ve ark., 2002; Doymaz ve ark., 2006; Çağlar ve ark., 2009; Kassem ve ark., 2011) birçok çalışma yapılmış olmasına rağmen *Vitis labrusca* L. üzüm türüne mikrodalga kurutma yöntemi ile ilgili yapılmış herhangi bir çalışma bulunmamaktadır. Bu sebeple bu çalışmada literatürdeki çalışmalara katkı olarak farklı mikrodalga güç seviyelerinde *Vitis labrusca* L. üzümünün kurutma karakteristiği ve kinetiği ve kurutma işleminin matematiksel olarak modellenmesi incelenmiştir.

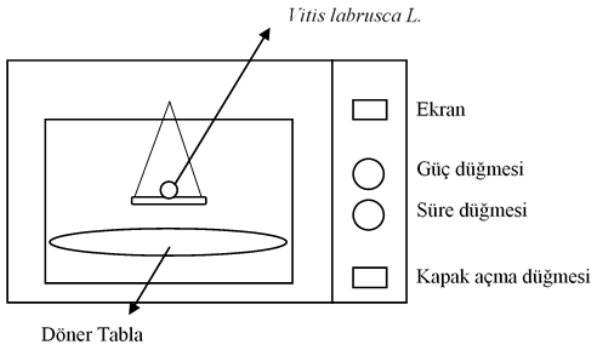
## Materyal ve Yöntem

### Örnekler

Mikrodalga kurutma denemelerinde kullanılmış olan taze *Vitis Labrusca* L. türü üzüm Eylül 2017 yılında Rize ilinden temin edilmiştir. Deneysel çalışmalardan önce üzümler çapları  $1,8 \pm 0,1$  cm olacak şekilde seçilmiş ve  $4 \pm 0,5$ °C sıcaklıkta buzdolabında muhafaza edilmiştir. Deneysel çalışmalara başlanmadan önce üzümlerin nem miktarı, AOAC (AOAC., 1995) kapsamında Ecocell LSIS-B2 V/EC55 (Almanya) model etüv kullanılarak, numunelerin 105°C sıcaklıkta 24 saat bekletilmesi sonucu elde edilmiş ve ortalama nem miktarı ıslak bazda %79,88 (3,97 kg su/kg kuru madde) olarak belirlenmiştir.

### Mikrodalga ile Kurutma

*Vitis Labrusca* L. türü üzümlerin mikro dalga kurutma denemeleri 2450 MHz'de çalışan maksimum gücü 800 W olan mikrodalga fırın (Bosch HMT72420, Almanya) kullanılarak yapılmıştır. Denemelerden önce üzüm numuneleri soğutucudan çıkarılarak oda sıcaklığına gelinceye kadar (yaklaşık 2-2,5 saat) desikatörde bekletilmiştir. Daha sonra yaklaşık olarak ağırlıkları  $3,25 \pm 0,25$  g olan numuneler 0,001g ölçüm hassasiyetine sahip olan dijital terazi (Ohaus PA214C, ABD) kullanılarak tartılmıştır. Kurutma işlemi 90, 180, 360W'lık mikrodalga güçleri kullanılarak yapılmıştır. Her bir güç seviyesinde 90, 180, 360 W için sırasıyla 1 dakika, 30 saniye ve 15 saniye aralıklar ile tartım alınmıştır. Tüm tartım işlemleri 10 saniye içinde bitirilmiştir (Maskan ve ark., 2000). Kurutma işlemi, *Vitis Labrusca* L. türü üzümlerin nem içeriğinin  $0,18 \pm 0,01$  kg su / kg kuru madde'ye düşmesiyle sonlandırılmıştır. Deneysel çalışmalar her bir deneme için birbirlerine en yakın çap ve ağırlıktaki numuneler ile 3 tekrar olacak şekilde yapılmış ve kuruma eğrilerinin çiziminde bu tekrar deneylerin ortalama nem içeriği değerleri kullanılmıştır. Düzenegin şematik gösterimi Şekil 1'de sunulmuştur.



Şekil 1 Mikrodalga kurutma düzeneği  
Figure 1 Scheme of microwave drying

#### Matematiksel Modelleme

*Vitis Labrusca L.* türü üzümün nem miktarı (N), kuruma hızı (KH) ve nem oranı (NO) Eş. (1), (2) ve (3) kullanılarak elde edilmiştir (Doymaz ve ark., 2006):

$$N = \frac{m_w}{m_d} \quad (1)$$

$$KH = \frac{N_{t+dt} - N_t}{dt} \quad (2)$$

$$NO = \frac{N_t - N_e}{N_i - N_e} \quad (3)$$

Eş. (1) de verilmiş olan N, nem miktarını (kg su/kg kuru madde),  $m_w$  numune içerisinde bulunan su miktarını (kg),  $m_d$  ise kuru madde miktarını (kg) temsil etmektedir. Bunun yanı sıra Eş. (2) de verilmiş olan KH kuruma hızını (kg su/kg kuru madde×dk), t kuruma süresini (dakika),  $N_{t+dt}$ , t+dt süresindeki nem miktarını (kg su/kg kuru madde) miktarını temsil etmektedir. Eşitlik (3)'te NO, nem oranını (boyutsuz),  $N_t$ ,  $N_i$ ,  $N_e$  ise sırasıyla herhangi bir andaki, başlangıçtaki ve dengedeki nem miktarını temsil etmektedir. Dengedeki nem miktarları başlangıç ve herhangi bir andaki nem değerlerine kıyasla çok düşük olduğu için hesaplamalarda ihmal edilmiştir (Doymaz ve ark., 2015a,b; İsmail ve ark., 2017; Doymaz ve Kıpçak, 2019; Doymaz ve ark., 2002; Doymaz ve ark., 2006). *Vitis Labrusca L.* türü üzümün kuruma süreci matematiksel olarak gıda ürünleri için literatürde sıkça kullanılan 5 farklı modele göre yapılmıştır (Tablo 1).

#### İstatistiksel analiz

*Vitis Labrusca L.* türü üzümüne mikrodalga kurutma yöntemi uygulanması sonucu elde edilen verilerin regresyon analizi Statistica 8.0 (StatSoft Tulsa, ABD) programı yardımıyla yapılmıştır. Verilerin modellenmesinde doğrusal olmayan regresyonda parametre tahmini için Lavenberg-Marquart algoritması temel alınmıştır.

Matematiksel modellemede kullanılan beş modelin tümü için modellerin uygunluğunu belirlemede birincil olarak regresyon katsayısının ( $R^2$ ) aldığı değer göz önünde bulundurulmuştur.  $R^2$  değeri, Eş. (4) kullanılarak

hesaplanmıştır.  $R^2$  değeri deneysel veriler ile model denklem kullanılarak elde edilen verilerin uyumluluğunun bir ölçüsüdür ve bu değer 1'e ne kadar yakınsa modelin uygunluğunun o kadar iyi olduğunu göstermektedir (Çelen ve ark., 2015).

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (NO_{deneysel,i} - NO_{hesaplanan,i})^2}{\sum_{i=1}^N (NO_{deneysel,i} - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N NO_{hesaplanan,i})^2} \quad (4)$$

Bunun yanı sıra modelin uygunluğunun belirlenmesi amacıyla her bir model denklem için Ki-kare ( $\chi^2$ ) ve hata kareleri ortalaması karekökü (HKOK) değerleri de hesaplanmıştır. Ki-kare değeri denemeler sonucunda elde edilen veriler ile model denklem kullanılarak elde edilen tahmin verilerinin ortalama karesini temsil etmektedir. Modelin uygunluğu için bu değer mümkün olduğunca küçük olması gerekmektedir. Ki-kare değeri Eş. (5) kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (NO_{deneysel,i} - NO_{hesaplanan,i})^2}{N-z} \quad (5)$$

HKOK değeri mikrodalga kurutma işlemi sırasında elde edilen veriler ile tahmin değerleri arasındaki farkların ortalamalarının karekökünü temsil etmektedir. Bu değer Eş. (6) kullanılarak hesaplanmaktadır. Modelin uyumluluğu için bu değer mümkün olduğunca küçük olması gerekmektedir.

$$HKOK = \left( \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (NO_{hesaplanan,i} - NO_{deneysel,i})^2 \right)^{1/2} \quad (6)$$

Eş. (4), (5) ve (6)'da verilen  $NO_{deneysel}$  ve  $NO_{hesaplanan}$  ifadeleri sırasıyla deneysel ve model denklemi ile hesaplanan nem oranı değerlerini, N değeri toplam deney sayısını, z değeri ise modellerdeki sabit sayıların temsil etmektedir (Doymaz ve ark., 2006; Kıpçak, 2017).

#### Efektif Nem Difüzyon Katsayısının Hesaplanması

Gıda maddelerinde kuruma işlemi sırasında yapıda bulunan nemin uzaklaşması sabit veya azalan hız periyodunda gerçekleşmektedir ve nem difüzyonu, sıvı buhar difüzyonu, buharlaşma-yoğunlaşma, hidrodinamik akış ve diğer olası kütle transferi mekanizmaları da dahil olmak üzere karmaşık bir kütle taşınım mekanizması özelliği göstermektedir. Gıda maddelerinde efektif nem difüzyon katsayısının belirlenmesinde yaygın olarak Fick'in ikinci difüzyon eşitliği kullanılmaktadır (Eş. (7)). Efektif difüzyon katsayısı, gıda maddesinin yapısında bulunan bileşenler, nem miktarı, kurutma sıcaklığı, gıda maddesinin gözenekliliği gibi birçok faktörden etkilenmektedir (Srikiatden ve ark., 2006; Guo ve ark., 2017).

$$\frac{\partial M}{\partial t} = \nabla [D_{eff}(VM)] \quad (7)$$

Tablo 1 Literatürde sıkça kullanılan kurutma modelleri  
Table 1 Frequently used drying methods in the literature

Model	Denklem	Kaynak
Alibas	$NO = ae^{(-kt^n)} + bt + g$	(Alibas ve ark., 2012)
Jena & Das	$NO = ae^{(-kt)} + bt^{0.5} + c$	(Jena ve ark., 2007)
Midilli	$NO = e^{(-kt^n)} + bt$	(Midilli ve ark., 2002)
Page	$NO = e^{(-kt^n)}$	(Guan ve ark., 2013)
Parabolik	$NO = a + bt + ct^2$	(Kıpçak, 2017)

Eş. (7) de verilmiş olan Fick'in ikinci yasasının küresel koordinatlarda kararsız hal difüzyon için analitik çözümü, nem transferinin sadece difüzyondan kaynaklı olduğu, kurutma işlemi süresince difüzyon katsayısının, sıcaklığın sabit olduğu kabul edilerek ve kuruma işlemi sırasında gerçekleşen büzüşme ihmal edilerek yapıldığında Eş. (8) elde edilmektedir (Crank, 1975).

$$NO = \frac{6}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} \exp\left(-n\pi^2 \frac{D_{eff} \times t}{r^2}\right) \quad (8)$$

Eş. (8) de  $D_{eff}$  ( $m^2/s$ ) etkin nem difüzyon katsayısını,  $r$  (m) üzüm numunesinin yarıçapını ve  $t$  (s) kurutma süresini temsil etmektedir. Uzun kuruma süreleri için Eş. (8)'de ihmal edilebilecek kadar küçük olan bazı terimler ( $n > 1$ ) ihmal edildiğinde Eş. (8) daha da basitleştirilmiş bir denklem haline gelmektedir (Eş. (9) (Babalıs ve ark., 2004).

$$NO = \frac{6}{\pi^2} \exp\left(-\pi^2 \frac{D_{eff}}{r^2} t\right) \quad (9)$$

Eş. (9)'un logaritmik basitleştirilmesi sonucu lineer formda Eş. (10) elde edilmektedir.

$$\ln(NO) = \ln\left(\frac{6}{\pi^2}\right) - \left(\pi^2 \frac{D_{eff}}{r^2} t\right) \quad (10)$$

Eş. (10) yardımıyla  $\ln(NO)$ 'a karşılık çizilen  $t$  grafiğinin eğimi Eş. (11)'i vermektedir.

$$Eğim = \pi^2 \frac{D_{eff}}{r^2} \quad (11)$$

Eş. (11)'den  $D_{eff}$  değerinin çekilmesi durumunda Eş. (12) elde edilmekte ve bu eşitlikten  $D_{eff}$  değeri kolaylıkla hesaplanabilmektedir.

$$D_{eff} = \frac{Eğim \times r^2}{\pi^2} \quad (12)$$

#### Aktivasyon Enerjisi Hesaplaması

Termodinamik olarak aktivasyon enerjisi kurutma süreçlerinde su moleküllerinin ürün yapısından ayrılması için gerekli olan minimum enerji miktarıdır. Kurutma işlemi aktivasyon enerjisi ne kadar düşük olursa ürünün yapısından su moleküllerinin ayrılması daha kolay olmakta ve dolayısıyla kurutma işlemi daha hızlı bir şekilde gerçekleşmektedir. Yapılan çalışmalarda mikrodalga kurutma yönteminde diğer kurutma yöntemlerine kıyasla aktivasyon enerjisinin daha düşük olduğu ve bu sayede gıda maddelerinin kurutulmasının daha hızlı olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Adu ve ark., 1996).

Gıda ürünlerinin kurutulması işleminde efektif nem difüzyon katsayısının sıcaklıkla değişimi arasındaki korelasyon, Arrhenius eşitliği (Eş. (13)) ile ifade edilir ve yine aynı eşitlik yardımıyla aktivasyon enerjisini hesaplamak mümkündür.

$$D_{eff} = D_0 \exp\left(-\frac{E_a}{R(T+273,15)}\right) \quad (13)$$

Eş. (13)'te  $D_{eff}$  ( $m^2/s$ ) efektif difüzyon katsayısını,  $D_0$  ( $m^2/s$ ) Arrhenius denklem sabitini,  $E_a$  (kJ/mol) aktivasyon enerjisini,  $R$  (kJ/molK) ideal gaz sabitini,  $T$  ( $^{\circ}C$ ) sıcaklığı ifade etmektedir. Mikrodalga kurutma işleminde

sıcaklığın direkt olarak ölçülmesi mümkün olmadığından, mikro dalga kurutma prosesi için Arrhenius eşitliği, mikrodalga gücü ve numune kütesine bağlı olarak Eş. (14) şeklinde ifade edilmiştir (Kıpçak, 2017).

$$D_{eff} = D_0 \exp\left(-\frac{E_a \times m}{P}\right) \quad (14)$$

Eş. (13)'ten farklı olarak Eş. (14)'te bulunan  $m$  (kg) ve  $P$  (W) sembolleri sırasıyla yaş numune miktarını ve mikrodalga cihazının gücünü temsil etmektedir ve bu eşitlikte aktivasyon enerjisinin ( $E_a$ ) birimi Eş. (13)'ten farklı olarak W/kg olarak değişmektedir.

#### Enerji Hesaplamaları

Mikrodalga kurutmada enerji üretim miktarı, mikrodalganın etkin çıkış gücünün kuruma süresiyle çarpımı sonucu elde edilir ve Eş. (15) kullanılarak hesaplanır.

$$Q = P \times t \quad (15)$$

Eş. (15)'te  $Q$  (kWh) üretilen enerjiyi,  $P$  (W) mikrodalganın etkin çıkış gücünü ve  $t$  (h) kuruma süresini temsil etmektedir.

#### Bulgular ve Tartışma

##### Kurutma Eğrileri

*Vitis labrusca* L.'in nem içeriğinin farklı mikrodalga güçlerinde süreye bağlı olarak değişimi Şekil 1'de verilmiştir. Başlangıç nem miktarı 3,97 kg su/kg kuru madde olan *Vitis labrusca* L. türü üzümüne 90, 180 ve 360 W mikrodalga gücünde kurutma işlemi uygulanması sonucunda üzümün nem miktarı sırası ile 0,19, 0,18 ve 0,17 kg su/kg kuru maddeye kadar düşmüştür. Kuruma süreci 90, 180 ve 360 W mikrodalga gücünde sırası ile 20, 6 ve 2 dakika sürmüştür. *Vitis labrusca* L. türü üzümün nem değişiminin genel olarak literatürde daha önce mikrodalga kurutma işlemi uygulanmış sebze ve meyveler ile benzer özellik göstermekte olduğu belirlenmiştir (Doymaz ve ark., 2015a,b; Zarein ve ark., 2015). Şekil 2'den de görüldüğü üzere mikrodalga gücündeki artışın kuruma işleminin daha hızlı gerçekleşmesine neden olduğu belirlenmiştir. Literatürde de belirtildiği gibi, yüksek mikrodalga gücü, yüksek ısı emilimine neden olmakta ve böylece yüksek ürün sıcaklığı oluşmaktadır. Sonuç olarak mikrodalga kurutma işleminde daha yüksek kuruma hızlarına ve daha kısa kuruma sürelerine ulaşılmaktadır (Alibas ve ark., 2014; Bal ve ark., 2010; Hammouda ve ark., 2014).

##### Kurutma Hızı Eğrileri

Gıda maddelerinin kuruması genellikle azalan-hız periyotunda gerçekleşmekle birlikte, katı yüzeyden nem yayılımı Fick'in ikinci yasası ile açıklanmaktadır (Diamante ve ark., 1993; Lewicki ve ark., 1998). Şekil 3'de Farklı mikrodalga güçlerine kurutma hızlarının nem miktarına bağlı olarak değişimi verilmiştir.

90 W mikrodalga gücündeki kurutma hızı eğrisi incelendiğinde, kurutma işleminin başlangıç nem miktarı (3,97 kg su / kg kuru madde) ile 2,50 kg su/kg kuru madde arasında artan-hız periyotunda gerçekleştiği görülmektedir. Bunun yanı sıra 2,50 kg su/kg kuru madde ile son nem miktarı olan 0,19 kg su / kg kuru madde

arasında kurutma işleminin azalan-hız periyodunda gerçekleştiği görülmektedir. Aynı şekilde sırası ile 180 W ve 360 W mikrodalga güçlerinde 3,97 kg su / kg kuru madde başlangıç nem miktarından, 2,19 kg su / kg kuru madde ve 1,46 kg su / kg kuru maddeye kadar kurutma işlemi artan hız periyodunda gerçekleşmiştir. Sonrasında 180 W ve 360 W mikrodalga güçlerinde azalan hız periyodları gözlemlenmiştir. Kurutma hızı düşüşünün sebebi, numunelerde gözeneklerin azalması sonucu nem yayılım direncinin artmasından kaynaklanmaktadır (Doymaz ve ark., 2015a).

#### Matematiksel modelleme değerlendirmesi

Tablo 2’de matematiksel modellerin katsayıları ve istatistiki değerleri verilmiştir.

En iyi model en yüksek  $R^2$  değeri ile en düşük  $\chi^2$  ve HKOK değerlerine göre seçilmiştir. En iyi model Tablo 2’den de görüldüğü üzere, Alibas modeli olarak ortaya çıkmaktadır. Alibas modelinde en yüksek  $R^2$  değeri 360W’da 0,999715 olarak elde edilirken en düşük değeri ise 180W’da 0,999018 olarak elde edilmiştir. Genel olarak en düşük  $R^2$  değeri 0,968714 olarak elde edilmiştir böylelikle sunulan tüm modeller *Vitis labrusca* L.’in kurutma karakteristiğine uymaktadır. Şekil 4’te Alibas modeline göre hesaplanan kurutma değerleri ile deneysel olarak bulunan değerler karşılaştırılmıştır ve görüldüğü üzere değerler bir doğru üzerinde toplanmıştır. Böylelikle Alibas modeli ile hesaplanan değerler ile deneysel olarak bulunan değerler bir uyum içerisinde. Alibas matematiksel modelinden elde edilen katsayılar bakıldığında mikro dalga gücü arttıkça, e tabanlı üstel fonksiyon içindeki üstel terim “n” nin, e tabanlı üstel fonksiyon içindeki zamanla çarpım halinde bulunan kurutma hız sabiti “k” değerinin ve fonksiyonun üçüncü terimi olan “g” sabitinin arttığı belirlenmiştir. Bunun yanı sıra artan güç miktarıyla e tabanlı üstel fonksiyon ile çarpım halinde bulunan “a” katsayısı ile fonksiyonun ikinci teriminde zaman ile çarpım halinde bulunan “b” katsayısının azaldığı görülmektedir. Kurutma hız sabiti, Jena & Das, Midilli ve Page matematiksel modellerinde de artan güç ile birlikte artış göstermiştir.

#### Efektif nem yayılım değerleri

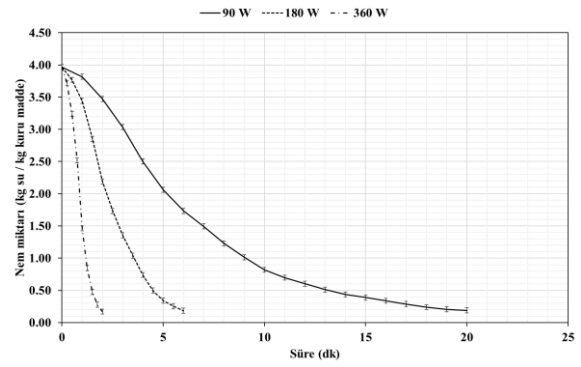
Efektif nem yayılım katsayısı ( $D_{eff}$ ) bulmak için kurutma süresi (s)’ ne karşılık  $\ln(NM)$  değişimi çizildiğinde 90, 180 ve 360 W mikrodalga güçleri için Eş. (16), (17) ve (18) ile ifade edilen doğru denklemleri elde edilmiştir.

$$\ln(NO) = -0,002773 \times t + 0,146138 \quad (16)$$

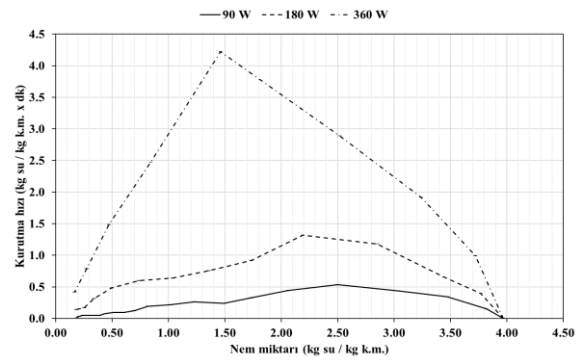
$$\ln(NO) = -0,007797 \times t + 0,240329 \quad (17)$$

$$\ln(NO) = -0,024162 \times t + 0,316307 \quad (18)$$

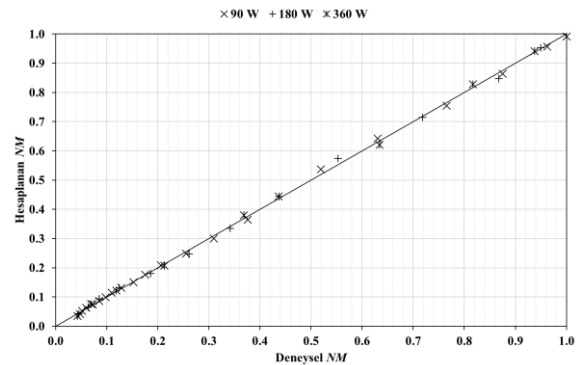
Elde edilen denklemlerin eğimlerinden 90, 180 ve 360W mikrodalga güçleri için  $D_{eff}$  değerleri sırası ile  $6,61 \times 10^{-08}$ ,  $2,21 \times 10^{-07}$  ve  $6,66 \times 10^{-07}$  m<sup>2</sup>/s olarak hesaplanmıştır. Yapılan denemeler sonucunda artan mikrodalga güç seviyesi ile  $D_{eff}$  değerlerinin arttığı belirlenmiştir. Bu durumu Doymaz ve ark., (2015a) yapmış oldukları çalışmada, mikrodalga gücündeki artışın bir gıda ürünüde hızlı bir şekilde sıcaklığının yükselmesine sebep olmasından kaynaklı basıncının da artmasıyla açıklamışlardır (Doymaz ve ark., 2015a)



Şekil 2 Nem içeriğinin süreye bağlı olarak değişimi  
Figure 2 Moisture content with respect to time

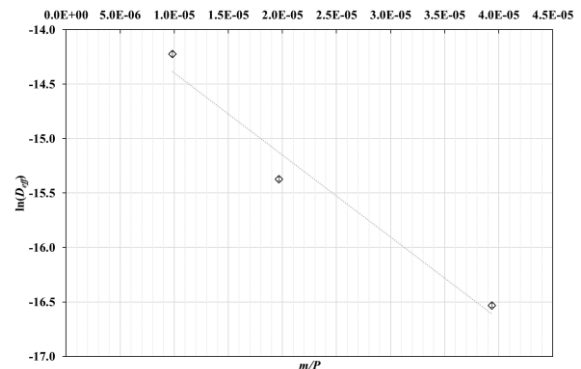


Şekil 3 Kurutma hızının nem miktarına bağlı olarak değişimi  
Figure 3 Moisture rate with respect to moisture content



Şekil 4 Deneysel veriler ile Alibas modeli ile hesaplanan verilerin kıyaslanması

Figure 4 Comparison of the experimental values and calculated values obtained from Alibas model



Şekil 5  $\ln(D_{eff})$  in  $m/P$  ye göre değişim grafiği  
Figure 5  $\ln(D_{eff})$  values with respect to  $m/P$

Tablo 2 Farklı modellerden elde edilen sabit katsayılar ve istatistiksel veriler  
 Table 2 Constant parameters and statistical results obtained from different models

Matematiksel Modeller	Katsayılar	Güç (W)		
		90	180	360
Alibas	a	0,759271	0,751093	0,638335
	k (s <sup>-1</sup> )	0,058385	0,178575	1,238889
	n	1,633044	1,865668	3,137153
	b (s <sup>-1</sup> )	-0,010499	-0,036361	-0,159106
	g	0,251140	0,255583	0,353311
	R <sup>2</sup>	0,999398	0,999018	0,999715
	χ <sup>2</sup>	0,000077	0,000182	0,008675
	HKOK	0,007650	0,010589	0,000169
Jena & Das	a	0,968006	0,366221	0,255784
	k (s <sup>-1</sup> )	0,212600	0,654131	2,099019
	b (s <sup>-0.5</sup> )	0,193921	0,504605	1,127424
	c	0,031699	0,986590	1,344761
	R <sup>2</sup>	0,998605	0,996952	0,978498
	χ <sup>2</sup>	0,000168	0,001121	0,005114
	HKOK	0,011648	0,026264	0,053304
	Midilli	a	1,020052	1,006932
k (s <sup>-1</sup> )		0,070735	0,179598	0,987285
n		1,384083	1,667688	2,317609
b (s <sup>-1</sup> )		0,002470	0,003385	0,020910
R <sup>2</sup>		0,998540	0,998932	0,998661
χ <sup>2</sup>		0,000166	0,000175	0,000318
HKOK		0,011918	0,011002	0,013300
Page		k (s <sup>-1</sup> )	0,074968	0,176637
	n	1,301904	1,638317	2,121580
	R <sup>2</sup>	0,995386	0,998583	0,997819
	χ <sup>2</sup>	0,000496	0,000190	0,000462
	HKOK	0,021185	0,012672	0,018952
	Parabolik	a	1,042954	1,076482
b (s <sup>-1</sup> )		-0,115883	-0,302630	-0,792009
c (s <sup>-2</sup> )		0,003398	0,021189	0,120998
R <sup>2</sup>		0,992341	0,989149	0,968714
χ <sup>2</sup>		0,000835	0,000695	0,006201
HKOK		0,026753	0,024798	0,064297

#### Aktivasyon enerji değeri

Şekil 5'te Eş. (9)'un logaritmik formu kullanılarak ln(D<sub>eff</sub>) değerlerinin, m/P değerlerine karşılık değişimi verilmiş ve aktivasyon enerjisi eğrinin eğiminden 75,464 kW/kg olarak hesaplanmıştır. Yayılım ön katsayısı (D<sub>0</sub>) ise eğrinin kesim noktasından  $1,189 \times 10^{-06}$  olarak hesaplanmıştır. Eğri denklemi Eş. (19)'da verilmiştir:

$$\ln(D_{\text{eff}}) = -75464 \times \frac{m}{p} - 13,642 \quad (R^2=0,9652) \quad (19)$$

#### Enerji Üretim Değerleri

Geleneksel kurutma yöntemlerine alternatif olarak yeni bir kurutma yönteminin geliştirilmesinin amacı, zamandan ve enerjiden tasarruf etmek ve ürünün kalitesini arttırmaktır. Başka bir deyişle, kurutma maliyetini düşürmek için bir kurutma tekniği seçerken kurutma işlemi sırasında enerji tüketimi göz önüne alınmalıdır. *Vitis labrusca* L.'in kurutulurken enerji üretim miktarları 90, 180 ve 360 W mikrodalga güç seviyelerinde sırası ile 108, 64,8 ve 43,2 kJ olarak hesaplanmıştır. Elde edilen verilerden literatürle benzer olarak uzun kurutma sürelerinin daha fazla enerji tüketimine neden olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Bal ve ark., 2010; Hammouda ve

ark., 2014; Diamante, 1993; Lewicki ve ark., 1998; Doymaz ve ark., 2015a)

#### Sonuç

Bu çalışmada *Vitis labrusca* L. meyvesinin kurutma karakteristiği incelenerek matematiksel modellemesi gerçekleştirilmiş efektif nem yayılım katsayısı, aktivasyon enerjisi ve enerji tüketim değerleri hesaplanmıştır. Farklı mikrodalga güçlerine göre çeşitli matematiksel modeller uygulanmış ve en uygun modelin yüksek R<sup>2</sup>, düşük χ<sup>2</sup> ve HKOK değerleri ile Alibas modeli olduğu tespit edilmiştir. *Vitis labrusca* L. diğer sebze ve meyveler gibi genel olarak azalan-hız periyodunda kurumuştur. Efektif nem yayılım değerleri  $2,11 \times 10^{-7}$  –  $6,61 \times 10^{-8}$  m<sup>2</sup>/s arasında ve aktivasyon enerjisi 75,464 kW/kg olarak hesaplanmıştır. Uzun kurutma sürelerinin enerji gerekliliğini arttırdığı hesaplanmış ve en düşük enerji üretim değeri 360 W'da 43,2 kJ olarak belirlenmiştir.

#### Kaynaklar

Adu B, Otten L. 1996. Microwave heating and mass transfer characteristics of white beans. J Agric Eng Res, 64(1): 71-78.

- Alibaş İ. 2012. Microwave drying of grapevine (*Vitis vinifera* L.) leaves and determination of some quality parameters. *J Agric Sci*, 18: 43-53
- Alibab I. 2014. Microwave, air and combined microwave-air drying of grape leaves (*Vitis vinifera* L.) and the determination of some quality parameters. *Int J Food Eng*, 10(1): 69-88.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists), Official Methods of Analysis of AOAC International, 16th ed., AOAC International, Virginia 1995.
- Atak A, Gokce, AF, Altindisli A, Özer C. 2012. Molecular and ampelographic characterization of some grape hybrids (*Vitis vinifera* L.). *Afr J Agric Res*, 7(33): 4596-4606.
- Babalıs S J, Belessiotıs V G. 2004. Influence of the drying conditions on the drying constants and moisture diffusivity during the thin-layer drying of figs. *J Food Eng*, 65(3): 449-458.
- Bal LM, Kar A, Satya S, Naik SN. 2010. Drying kinetics and effective moisture diffusivity of bamboo shoot slices undergoing microwave drying. *Int J Food Sci Technol*, 45(11): 2321-2328.
- Başlar M, Kılıçlı M, Toker OS, Sağdıç O, Arıcı M. 2014. Ultrasonic vacuum drying technique as a novel process for shortening the drying period for beef and chicken meats. *Innov Food Sci Emerg Technol*, 26: 182-190.
- Crank J. 1975. The mathematics of diffusion. Oxford university press, Newyork. ISBN:0 19 853344 6
- Cueva C, Moreno-Arribas MV, Martín-Álvarez PJ, Bills G, Vicente M F, Basilio A, Rivas, C L, Requena T, Rodríguez J M, Bartolomé B. 2010. Antimicrobial activity of phenolic acids against commensal, probiotic and pathogenic bacteria. *Res Microbio*, 161(5): 372-382.
- Çağlar A, Toğrul İT, Toğrul H. 2009. Moisture and thermal diffusivity of seedless grape under infrared drying. *Food Bioprod Process*, 87(4): 292-300.
- Çelen S, Aktaş T, Karabeyoğlu SS, Akyıldız A. 2015. Zeytin Pirinasının Mikrodalga Enerjisi Kullanılarak Kurutulması ve Uygun İnce Tabaka Modelinin Belirlenmesi Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi, 12(2): 21-31.
- Çelik H, Odabaş F, Köse B, Cangi R. 2009. Samsun'da yetişmekte olan İzabella (*Vitis labrusca* L.) üzüm tiplerinin ampelografik özelliklerinin belirlenmesi, 7. Türkiye Bağcılık ve Teknolojileri Sempozyumu, 5-9 Ekim, Manisa, Cilt 2: 51-56, 2009.
- Çelik, H, Köse B, Cangi, R. 2008. Determination of Fox grape genotypes (*Vitis labrusca* L.) grown in Northeastern Anatolia. *Hort. Sci*, 35: 162-170.
- Diamante LM, Munro PA. 1993. Mathematical modelling of the thin layer solar drying of sweet potato slices. *Solar Energ*, 51(4): 71-276.
- Doymaz I, Pala M. 2002. The effects of dipping pretreatments on air-drying rates of the seedless grapes. *J Food Eng*, 52(4): 413-417.
- Doymaz I. 2006. Drying kinetics of black grapes treated with different solutions. *J Food Eng*, 76(2): 212-217.
- Doymaz I, Kıpçak AS. 2019. Drying Characteristics Investigation of Black Mulberry Dried via Infrared Method, *Journal of Thermal Engineering*, 5(2): Special Issue 9, 13-21.
- Doymaz I, Kıpçak, AS, Piskin S. 2015a. Microwave Drying of Green Bean Slices: Drying Kinetics and Physical Quality. *Czech J Food Sci*, 33(4): 367-376.
- Doymaz I, Kıpçak AS Piskin S. 2015b. Characteristics of Thin-layer Infrared Drying of Green Bean. *Czech J Food Sci*, 33(1): 83-90.
- Feng HAO, Tang J, Mattinson DS, Fellman JK. 1999. Microwave and spouted bed drying of frozen blueberries: the effect of drying and pretreatment methods on physical properties and retention of flavor volatiles. *J Food Process Preserv*, 23(6): 463-479.
- Food and Agriculture Organization. FAOSTAT Data. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/>, [Accessed 13.12.2017].
- Funebo T, Ohlsson T. 1998. Microwave-assisted air dehydration of apple and mushroom. *J Food Eng*, 38(3): 353-367.
- Guo Q, Sun DW, Cheng JH, Han Z. 2017. Microwave processing techniques and their recent applications in the food industry. *Trends Food Sci Technol*, 67: 236-247.
- Hammouda I, Mihoubi D. 2014. Comparative numerical study of kaolin clay with three drying methods: Convective, convective-microwave and convective infrared modes. *Energ Conv Manage*, 87: 832-839.
- Ismail O, Kıpçak AS, Doymaz İ, Piskin S. 2017. Thin-layer drying kinetics of nectarine slices using IR, MW and hybrid methods. *Bulgarian Chem Comm*, 49(1): 92-100.
- Jena S, Das H. 2007. Modelling for vacuum drying characteristics of coconut presscake. *J Food Eng*, 79(1): 92-99.
- Kassem AS, Shokr AZ, El-Mahdy AR, Aboukarima AM, Hamed EY. 2011. Comparison of drying characteristics of Thompson seedless grapes using combined microwave oven and hot air drying. *J Saudi Soc Agric Sci*, 10(1): 33-40.
- Kıpçak AS. 2017. Microwave drying kinetics of mussels (*Mytilus edulis*). *Res Chem Intermediat*, 43(3): 1429-1445.
- Lewicki P P. 1998. Some remarks on rehydration of dried foods. *J Food Eng*, 36(1): 81-87.
- Margraf T, Santos ENT, de Andrade EF, van Ruth SM, Granato D. 2016. Effects of geographical origin, variety and farming system on the chemical markers and in vitro antioxidant capacity of Brazilian purple grape juices. *Food Res Int*, 82:145-155.
- Martínez MC, Pérez JE. 2000. The forgotten vineyard of the Asturias Princedom (North of Spain) and ampelographic description of its grapevine cultivars (*Vitis vinifera* L.). *American J Enolog Vitic*, 51(4): 370-378.
- Maskan M. 2000. Microwave/air and microwave finish drying of banana. *J Food Eng*, 44(2):71-78.
- Meng JF, Shi TC, Song S, Zhang ZW, Fang YL. 2017. Melatonin in grapes and grape-related foodstuffs: a review. *Food Chem*, 231: 185-191.
- Midilli A, Kucuk H, Yapar Z. 2002. A new model for single-layer drying. *Drying Technol*, 20(7): 1503-1513.
- Mujumdar AS, Law CL. 2010. Drying technology: Trends and applications in postharvest processing. *Food Bioprocess Technol*, 3(6): 843-852.
- Onwude DI, Hashim N, Janius R, Abdan K, Chen G, Oladejo A O. 2017. Non-thermal hybrid drying of fruits and vegetables: A review of current technologies. *Innov. Food Sci Emerg Technol*, 43: 223-238.
- Puligundla P, Abdullah SA, Choi W, Jun S, Oh SE, Ko S. 2013. Potentials of microwave heating technology for select food processing applications: a brief overview and update. *J Food Process Technol*, 4(11): 1000278
- Rockenbach II, Gonzaga LV, Rizelio VM, Gonçalves AEDSS, Genovese MI, Fett R. 2011. Phenolic compounds and antioxidant activity of seed and skin extracts of red grape (*Vitis vinifera* and *Vitis labrusca*) pomace from Brazilian winemaking. *Food Res Int*. 44(4): 897-901.
- Rockenbach II, Rodrigues E, Gonzaga LV, Caliarı V, Genovese MI, Gonçalves AEDSS, Fett R. 2011. Phenolic compounds content and antioxidant activity in pomace from selected red grapes (*Vitis vinifera* L. and *Vitis labrusca* L.) widely produced in Brazil. *Food Chem*, 127(1): 174-179.
- Sanga E, Mujumdar AS, Raghavan GSV. 2000. Principles and applications of microwave drying. In: (Mujumdar A S) *Drying Technology in Agriculture and Food Science*. New Hampshire: Science Publishers. pp. 253-289.
- Santos LP, Morais DR, Souza NE, Cottica SM, Boroski M, Visentainer JV. 2011. Phenolic compounds and fatty acids in different parts of *Vitis labrusca* and *V. vinifera* grapes. *Food Res Int*, 44(5): 1414-1418.

- Srikiatden J, Roberts JS. 2006. Measuring moisture diffusivity of potato and carrot (core and cortex) during convective hot air and isothermal drying. *J Food Eng.* 74(1): 143-152.
- Wang Z, Sun J, Liao X, Chen F, Zhao G, Wu J, Hu X. 2007. Mathematical modeling on hot air drying of thin layer apple pomace. *Food Res Int.* 40(1): 39-46.
- Xu C, Zhang Y, Cao L, Lu J. 2010. Phenolic compounds and antioxidant properties of different grape cultivars grown in China. *Food Chem.* 119(4): 1557-1565.
- Yongsawatdigul J, Gunasekaran S. 1996. Microwavevacuum drying of cranberries: Part II. Quality evaluation. *J Food Process Preserv.* 20(2): 145-156.
- Zarein M, Samadi SH, Ghobadian B. 2015. Investigation of microwave dryer effect on energy efficiency during drying of apple slices. *J Saudi Soc Agric Sci.* 14(1): 41-47.