



Dondurarak Kurutma Yönteminin Zencefilin Kurutma Karakteristikleri, Renk, Mikroyapı ve Rehidrasyon Özellikleri Üzerine Etkisi

Nazmi İZLİ* Ahmet POLAT

Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, Görükle Kampüsü, 16059, Nilüfer/Bursa

*e-mail: nizli@uludag.edu.tr

Alındığı tarih (Received): 08.08.2016

Online Baskı tarihi (Printed Online): 29.08.2016

Kabul tarihi (Accepted): 22.08.2016

Yazılı baskı tarihi (Printed): 31.08.2016

Öz: Bu çalışmada, zencefil örneklerinin kurutma karakteristikleri, renk, mikroyapı ve rehidrasyon özellikleri üzerine dondurarak kurutma yönteminin etkisi incelenmiştir. Deneysel sonuçlar kuruma hızının hem artan kuruma zamanıyla hem de örneklerin nem içeriklerinin düşmesiyle azaldığını göstermiştir. Kurutma işlemlerinde en iyi ince tabaka kurutma modelini seçmek için 10 matematiksel model deneysel verilere uygulanmıştır. İstatistiksel parametreler esas alındığında, en düşük ki-kare (χ^2) ve hataların karelerinin karekök ortalaması (*RMSE*) değerlerinin yanı sıra en yüksek belirtme katsayısı (R^2) değerine sahip Page modeli zencefil örneklerinin kuruma davranışları tanımlanması için en iyi model olarak bulunmuştur. Taze zencefilin tüm renk parametreleri dondurarak kurutma uygulaması ile etkilenmiştir. Kurutulan örnekler kararmamış, sarılık (b^*), Kroma (*C*) ve Hue açısı (α) parametreleri azalırken, parlaklık (L^*) ve yeşillik ($-a^*$) değerleri artmıştır. Taze ve kurutulmuş zencefillerin mikroyapı değişimleri sırasıyla ışık mikroskobu ve taramalı elektron mikroskobuyla incelenmiştir. Taramalı elektron mikroskobu görüntüleri dondurarak kurutulmuş örneklerin gözenekli ve tek düze bir yapıya sahip olduklarını ve nişasta taneciklerini iyi koruduklarını ortaya koymuştur. Dondurarak kurutulmuş ürünlerin en yüksek rehidrasyon oranı değerinin 5.20 olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Dondurarak kurutma; Modelleme; Renk; Taramalı elektron mikroskobu; Zencefil

Effect of Freeze Drying Method on Drying Characteristics, Colour, Microstructure and Rehydration Properties of Ginger

Abstract: In this study, the effects of freeze drying method on the drying characteristics, colour microstructure and rehydration properties of ginger samples were investigated. The experimental results indicated that drying rate decreases both increasing with drying time and decreasing moisture content. To select the best thin-layer drying models for the drying treatments, 10 mathematical models were fitted to the experimental data. Based on evaluation by statistical tests, the Page model having lowest reduced chi-squared (χ^2) and root mean square error (*RMSE*) values as well as the highest coefficient of determination (R^2) was found to be the best model for describing the drying behavior of ginger samples. All colour parameters of fresh ginger were affected by freeze drying treatment. Dried samples did not brown and the lightness (L^*) and greenness ($-a^*$) values increased while and yellowness (b^*), Chroma (*C*) and Hue angle (α) parameters decreased. Microstructure changes of fresh and dried gingers were observed by light microscope and scanning electron microscope, respectively. Scanning electron microscopy images revealed that freeze dried samples had porous and uniform structure and the starch grains were well preserved. Freeze dried ginger samples had the highest rehydration ratio value of 5.20.

Keywords: Colour; Freeze drying, Ginger, Modeling, Scanning electron microscopy

1. Giriş

Zencefil (*Zingiber officinale* Rascoe), Zingiberales takımının Zingiberaceae familyasının Zingiber cinsi altında sınıflandırılmıştır. *Zingiber officinale* ismi 1807 yılında İngiliz bilim adamı William Roscoe (1753-1831) tarafından verilmiştir. Zencefil bir metreye kadar boylanabilen, ince-uzun yapraklı, sarı-kırmızı renklere çiçekler açan, kök yumruları baharat ve ilaç olarak kullanılan, çok yıllık bir bitkidir (Rahman ve ark. 2009). Günümüzde başta Çin ve Hindistan olmak üzere Asya, Afrika, Avustralya, Güney ve Orta Amerika'da ve birçok ülkede yetiştirilmektedir (Parlak 2014). Yaklaşık olarak 53 farklı cinsten 120 türü bulunmaktadır. Zencefilin en çok bilinen etkilerinden biri sindirim sistemi açısından rahatlatmasıdır. Kurutulmuş olarak günde 1 g alınan zencefilin hamilelikle ilişkili olan kusma ve bulantıdan koruma etkisi tespit edilmiştir (Miyamoto ve ark. 2005). Ayrıca, ağrı kesici, yatıştırıcı, ateş düşürücü ve bakteri önleyici özellikleri olmakla birlikte kanser tedavisi için kullanılmasında yararlı sonuçlar elde edilmiştir (Kaplan 2005).

Zencefil uygun şartlar altında depolama süresi sınırlı bir üründür. Tüketicinin yıl boyunca bu ürüne ulaşabilmesi için dondurma, konserveleme ve kurutma gibi yöntemler kullanılmaktadır. Kurutma en eski ve en çok kullanılan gıda muhafaza yöntemlerinden biridir. Ürünlerin kurutulmasında çeşitli kurutma yöntemleri kullanılmaktadır. Konvektif kurutma gıdalarda nemin uzaklaştırılmasında kullanılan en yaygın yöntemdir (Mundada ve ark. 2010). Bu yöntem, düşük yatırım ve işletim maliyeti gerektirmesi, ayrıca kolay işlem kontrolü sağlaması nedeniyle büyük avantajlar sağlamaktadır (Hiranvarachat ve ark. 2011). Ancak kullanılan bu yöntemin uzun kurutma süresi gerektirmesi ve yüksek sıcaklık uygulamaları sonucu ürünlerin lezzet ve biyolojik bileşenlerinin zarar görmesiyle ürünlerin kalite özelliklerini olumsuz yönde etkilemektedir (Zhang ve ark. 2006).

Gıdaların özel bir yöntemle kurutulmasını sağlayan yeni bir teknoloji ise dondurarak kurutma teknolojisidir. Dondurarak kurutma yöntemi süblimasyonla gıdada bulunan suyun

uzaklaştırılması yöntemine dayanır. Dondurarak kurutma eczacılıkta kullanılan ürünler, serumlar, ilaç sanayi, bakteri kültürlerinin yanı sıra meyve ve sebzelerin kurutulması gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Dondurarak kurutma pahalı ve yavaş yürüyen bir işlemdir, ısıya duyarlı materyaller için uygundur. Bu yöntemle aroma muhafazası sağlanan yüksek kalitede ve yüksek rehidrasyon özelliğine sahip ürünler elde edilmektedir (Sosa ve ark. 2012).

Bu çalışmanın amacı zencefil örneklerinin dondurarak kurutma yöntemiyle kurutulmasında kurutma kinetiklerinin belirlenmesi, kurutulan ürünlerden deneysel olarak elde edilen nem oranı değerleriyle bu çalışmada kullanılan 10 farklı ince tabaka kurutma modeliyle tahmini olarak elde edilen nem oranı değerlerinin karşılaştırılması ve deneysel verileri en iyi açıklayan modelin tespit edilmesi, dondurarak kurutma yönteminin zencefil örnekleri üzerinde renk, mikroyapı ve rehidrasyon değişimlerinin saptanmasıdır.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Kurutma ekipmanları ve kurutma işlemi

Deneysel olarak kullanılan taze zencefil örnekleri yerel bir marketten alınmış ve deneyler bitene kadar 4 ± 0.5 °C sıcaklık koşullarında muhafaza edilmiştir. Numunelerin ilk nem içerikleri 105°C sıcaklıktaki fırında (ED115 Binder, Tuttlingen, Germany) 24 saat kurutulduktan sonra hesaplanmıştır. Kurutma deneylerinden önce zencefil örnekleri bir adet küp dilimleyici (Börner, Germany) yardımıyla küp şekline (0.7 cm^3) getirilmiş ve örnekler bu şekilde kurutulmuştur.

Zencefil örneklerinin kurutulması laboratuvar tipi bir dondurarak kurutucu (Alpha 1-2 LD Plus, Osterode am Harz, Germany) kullanılarak 52 Pa vakum basıncı ve -50 °C sıcaklık koşulları altında gerçekleştirilmiştir. Örneklerin ağırlık kayıpları 60'şar dakika zaman aralıklarında ağırlık tartımları yapılarak belirlenmiştir. Tüm kurutma deneyleri 3 tekerrürlü olarak gerçekleştirilmiştir.

2.2. Renk ölçüm cihazı

Taze ve kurutulmuş ürünlerin renk ölçümlerini yapmak için renk ölçüm cihazı (MSEZ-4500L,

HunterLab, Virginia, USA) kullanılmıştır. Bu cihaz ile rengin parlaklığında meydana gelen değişimleri ifade eden L^* değeri, renginin kırmızı ile yeşil renk skalası içinde nerede bulunduğunu gösteren a^* değeri ve mavi ile sarı renk skalası içinde nerede olduğunu belirten b^* değeri okunmaktadır. Renk ölçümleri cihazın aydınlatma konumunda Stewart yansıtıcı plakaya göre kalibrasyonu yapıldıktan sonra yapılmıştır (Odjo ve ark. 2012). Ölçülen L^* , a^* ve b^* değerleri tüketiciler tarafından algılanan renk olguları olmadığı için bu değerlerden insanların renk algısına hitap eden kroma (C) ve Hue açısı (α) hesaplanmaktadır (McGuire 1992). Kırmızılık ve sarılık değerlerini birlikte ele alan ve metrik renk kroması olarak tanımlanan C değeri rengin doygunluğunu (yoğunluk) göstermekte olup, canlı renklerde yüksek iken donuk renklerde düşüktür. Renk tonu ölçüsü olan Hue açısı (α) ise bir renk dairesi olarak tanımlanmakta olup kırmızı, sarı, yeşil ve mavi 0° , 90° , 180° ve 270° açılarda konumlanmıştır (Luo 2006). C ve α değerlerinin hesaplanmasında kullanılan eşitlikler aşağıda belirtilmiştir:

$$C = \sqrt{(a^{*2} + b^{*2})} \quad (1)$$

$$\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{b^*}{a^*}\right) \quad (2)$$

2.3. Mikroyapı analizi

Deneysel olarak elde edilen nem oranı değerlerinin zamanla değişiminin modellenmesi için Çizelge 1'de verilen 10 farklı ince tabaka kurutma modeli kullanılmıştır. Modellemede boyutsuz nem içeriği olan nem oranını (MR) belirlemek için kullanılan Eşitlik 4 sadeleştirilerek, Eşitlik 5 elde edilmiş ve hesaplamalar bu eşitliğe göre yapılmıştır (Xiao ve ark. 2010).

mikroyapılarının incelenmesinde, örneklerinin iç yüzeyleri dikkate alınarak incelenmiştir.

2.4. Rehidrasyon özellikleri

Rehidrasyon oranı belirlenmesi deneyleri 200 mL ve 20°C sıcaklığındaki saf suya kurutulmuş zencefil örneklerinin batırılması ile gerçekleştirilmiştir. Ölçümler 20'şer dakika zaman aralıklarında yapılmıştır. Aşağıda verilen eşitlik ile rehidrasyon oranı belirlenmiştir (Kocabiyik ve Tezer 2009):

$$\text{Rehidrasyon Oranı} = \frac{M_r}{M_d} \quad (3)$$

M_r : Rehidre edilmiş ürün ağırlığı (g)

M_d : Kurutulmuş ürün ağırlığı (g) olarak tanımlanmıştır.

2.5. Matematiksel modelleme

Deneysel olarak elde edilen nem oranı değerlerinin zamanla değişiminin modellenmesi için Çizelge 1'de verilen 10 farklı ince tabaka kurutma modeli kullanılmıştır. Modellemede boyutsuz nem içeriği olan nem oranını (MR) belirlemek için kullanılan Eşitlik 4 sadeleştirilerek, Eşitlik 5 elde edilmiş ve hesaplamalar bu eşitliğe göre yapılmıştır (Xiao ve ark. 2010).

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_o - M_e} \quad (4)$$

$$MR = \frac{M_t}{M_o} \quad (5)$$

MR : Nem oranı (birimsiz)

M_t : Herhangi bir t anındaki nem içeriği (g su. g kuru madde⁻¹)

M_e : Denge anındaki nem içeriği (g su. g kuru madde⁻¹)

M_o : Başlangıçtaki nem içeriği (g su. g kuru madde⁻¹)

Kurutma hızının hesaplanması için aşağıdaki eşitlik kullanılmıştır (Doymaz 2006):

$$\text{Kuruma Hızı} = \frac{M_{t+dt} - M_t}{dt} \quad (6)$$

M_{t+dt} : $t + dt$ anındaki nem içeriği (g su. g kuru madde⁻¹)

t : Kuruma zamanı (dakika) olarak tanımlanmıştır.

Çizelge 1. Zencefil örneklerinin kurutma kinetiklerinin matematiksel modellenmesi için kullanılan ince tabaka kurutma modelleri

Table 1. Thin layer drying models used to mathematically model the drying kinetics of ginger samples

No	Model Adı	Model	Kaynak
1	Henderson ve Pabis	$MR = a \exp(-kt)$	Westerman ve ark. (1973)
2	Newton	$MR = \exp(-kt)$	Ayensu (1997)
3	Page	$MR = \exp(-kt^n)$	Agrawal ve Singh (1977)
4	Logaritmik	$MR = a \exp(-kt) + c$	Yagcioglu ve ark. (1999)
5	İki Terimli	$MR = a \exp(-k_0t) + b \exp(-k_1t)$	Madamba ve ark. (1996)
6	İki Terimli Eksponansiyel	$MR = a \exp(-kt) + (1 - a) \exp(-kat)$	Sharaf-Eldeen ve ark. (1980)
7	Wang ve Singh	$MR = 1 + at + bt^2$	Wang ve Singh (1978)
8	Diffusion Yaklaşımı	$MR = a \exp(-kt) + (1 - a) \exp(-kbt)$	Kassem (1998)
9	Verma ve ark.	$MR = a \exp(-kt) + (1 - a) \exp(-gt)$	Verma et al. (1985)
10	Midilli ve ark.	$MR = a \exp(-kt^n) + bt$	Midilli ve ark. (2002)

2.5. İstatistiksel değerlendirmeler

Modelleme çalışmalarında MATLAB 2008a (MathWorks Inc., Natick, MA) paket programı kullanılmıştır. Ayrıca elde edilen verilerin istatistiksel olarak değerlendirilmesinde MINITAB (Versiyon 14, Texas University, Austin, TX, USA) paket programı kullanılarak varyans analizi yapılmış ve Asgari Önemli Farklılık (LSD) çoklu karşılaştırma testi uygulanmıştır. Veriler %5 önem seviyesinde analiz edilmiştir. En iyi modelin belirlenmesinde ki-kare (χ^2 , Eşitlik 7), hataların karelerinin karekök ortalaması ($RMSE$, Eşitlik 8) ve belirtme katsayısı (R^2) istatistiksel kriterleri uygulanmıştır (Özbek ve Dadalı 2007).

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

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (MR_{\text{pre},i} - MR_{\text{exp},i})^2}{N}} \quad (8)$$

$MR_{\text{exp},i}$, i . Deneysel nem oranı,

$MR_{\text{pre},i}$, i . Tahmin edilen nem oranı,

N gözlemlenen deneysel veri adedi,

n modelde yer alan bağımsız değişken sayısıdır.

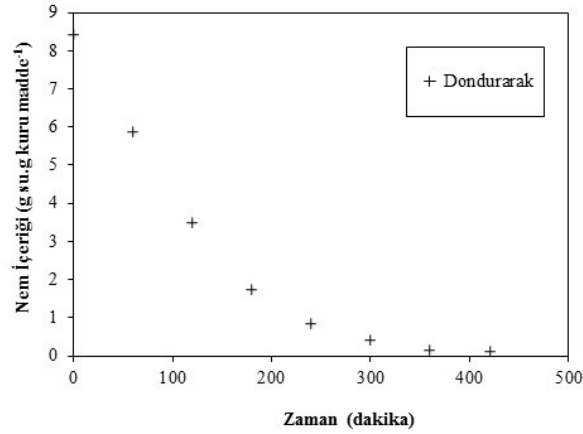
3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Kurutma karakteristikleri

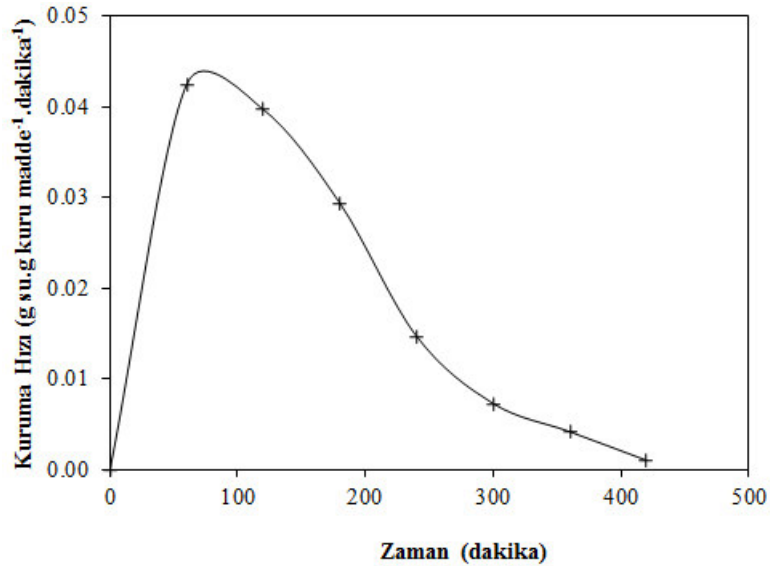
Şekil 1'de dondurarak kurutma yöntemiyle kurutulan zencefil küplerinin nem içeriklerinin zamanla değişimi sunulmuştur. Deneysel sonuçlar incelendiğinde 420 dakika ortalama toplam kuruma süresi belirlenmiştir. Sonuçlar açıkça göstermiştir ki, kuruma süresi arttıkça nem içeriği sürekli azalmıştır (Demir ve ark. 2004; Sacilik 2007). Şekil 2'de ise zencefil örneklerinin kuruma hızının zamanla değişimi gösterilmektedir. Bu

sonuçlara göre kurutma işleminin başlangıcında örnekler hızlı bir şekilde kurumakta özellikle 60 dakikalık periyottan sonra kuruma hızı zamanla azalmaktadır. Sonuç olarak zencefil örneklerinin dondurarak kurutulması işlemi azalan bir periyotta gerçekleşmiştir. Acar ve ark. (2015) yapmış oldukları dondurarak kurutma işlemi çalışmalarında, Akpınar ve ark. (2003) kırmızı biber, Toğrul ve Pehlivan (2003) kayısı ve Goyal ve ark. (2006) mango dilimlerini farklı

yöntemlerle kurutma çalışmalarında benzer sonuçlar bildirmişlerdir. Ayrıca, şekillerden anlaşılacağı gibi kurutulan örneklerin düşük ve yüksek nem seviyelerinden elde edilen kuruma hız değerleri karşılaştırıldığında, yüksek nem seviyelerinde elde edilen kuruma hız değerlerinin düşük nem seviyelerinden elde edilen kuruma hız değerlerinden daha yüksek oldukları tespit edilmiştir (Mundada ve ark. 2010).



Şekil 1. Dondurarak kurutma şartları altında zencefil örneklerinin kurutma eğrisi
Figure1. Drying curve of ginger samples under freeze drying conditions



Şekil 2. Dondurarak kurutma şartları altında zencefil örneklerinin kuruma zamanı ile kuruma hızının değişimi
Figure2. Variation of drying rate with drying time of ginger samples under freeze drying conditions

3.2. Kuruma eğrilerinin modellenmesi

Zencefil küplerinin dondurarak kurutma yöntemleriyle kurutulması sırasında elde edilen nem oranı değerlerinin kuruma zamanları ile değişimi Çizelge 1’de verilen 10 adet ince tabaka kurutma modeli ile

incelenmiştir. Tüm kurutma şartları için uygulanan modellerin kurutma katsayıları, R^2 , $RMSE$ ve χ^2 istatistiksel parametreleri hesaplanarak analiz edilmiş ve Çizelge 2’de sunulmuştur.

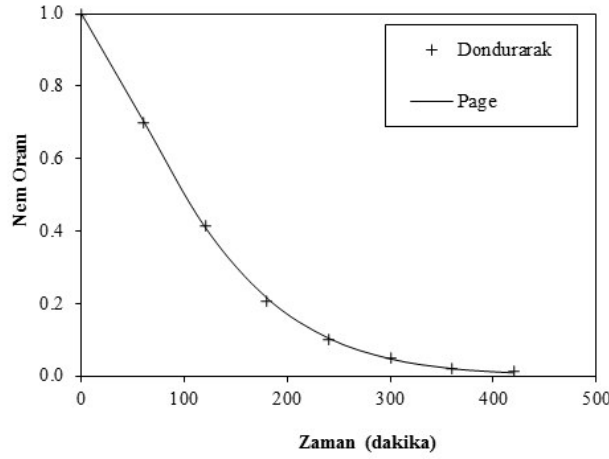
Çizelge 2. Dondurarak kurutma şartlarında kurutulan zencefil örnekleri için değişik modellerden elde edilen tahmini katsayı ve istatistiksel analiz sonuçları

Table 2. Estimated values of coefficients and statistical analyses obtained from various thin layer drying models for drying of ginger samples at freeze drying conditions

No	Model Katsayıları	R^2	RMSE	$\chi^2(10^{-4})$
1	a= 1.039; k= 0.008292	0.9842	0.0459	20.2269
2	k= 0.008031	0.9846	0.0454	19.7874
3	k= 0.001404; n= 1.348	0.9998	0.0052	0.3051
4	a= 1.105;k= 0.006833 c= -0.08154	0.9908	0.0351	12.2953
5	a= 0.6314; k _o = 0.008304 b= 0.4109 ; k ₁ = 0.008336	0.9763	0.0563	30.3976
6	a= 1.917; k= 0.01182	0.9994	0.0090	0.6888
7	a= -0.005679; b=0.00000805	0.9962	0.0227	5.4770
8	a= 2.807; k= 0.005657 b= 0.8288	0.9888	0.0387	11.9439
9	a=1.308; k= 0.01012 g=1	0.9972	0.0192	3.2318
10	a= 0.9988; k= 0.001369 n= 1.353; b=0.00000301	0.9997	0.0063	0.4390

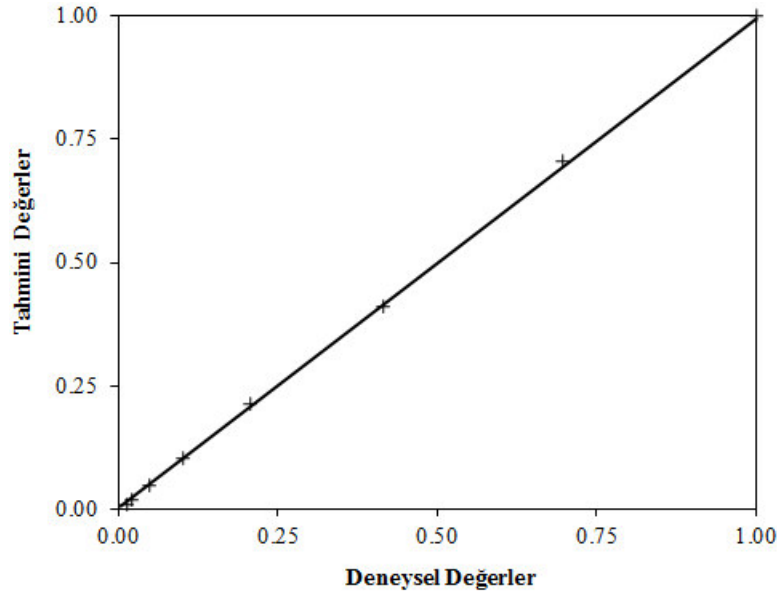
Çizelge 2 incelendiğinde zencefil küplerinin dondurarak kurutma yöntemiyle kurutulmasında elde edilen nem oranı değerlerine en yakın değerlerin istatistiksel parametrelere göre kullanılan modeller arasında Page modelinden elde edildiği görülmektedir. Page modeli ile $R^2=0.9998$, $RMSE=0.0052$ ve $\chi^2=0.3051 \times 10^{-4}$ değerleri elde edilmiştir. Şekil 3’de görüldüğü gibi dondurularak kurutulan zencefil örneklerinden deneysel olarak elde edilen nem oranı değerlerinin zamanla değişim sonuçlarının Page modelinden elde edilen tahmini sonuçlarla birbirine oldukça yakın oldukları görülmektedir. Ayrıca, Şekil 4’de Page modelinden elde edilen tahmini nem oranı değerleri ile deneysel olarak elde edilen nem oranı değerlerinin karşılaştırılması görülmekte olup verilerin 45° açıyla çizilmiş bir çizginin etrafında toplandığı görülmektedir. Sonuç olarak zencefil örneklerinin

dondurarak kurutma yöntemiyle kurutulmasında elde edilen bu değerler Page modelinin literatürde bulunan ve bu çalışmada kullanılan diğer modellere göre zencefil örneklerinin nem oranı değerlerinin zamana göre değişimini en iyi açıklayan model olduğunu göstermiştir. Daha önce yapılan çalışmalar incelendiğinde, Acar ve ark. (2015) dondurarak kurutma yöntemiyle safran örneklerini kurutarak elde ettiği deneysel sonuçları uygulamış olduğu 10 farklı model arasında en iyi açıklayan modelin Page modeli olduğunu tespit etmiştir. Goyal ve ark. (2006) mango, Doymaz ve İsmail (2011) kiraz ve Demiray ve Tulek (2012) domates örneklerini farklı sıcaklıklarla kurutarak elde ettikleri deneysel sonuçları uygulamış oldukları farklı modeller arasında en iyi açıklayan modelin Page modeli olduğunu bildirmişlerdir.



Şekil 3. Dondurarak kurutma şartları altında deneysel ve Page modeliyle elde edilen teorik nem oranı değerlerinin zamanla karşılaştırılması

Figure 3. A comparison of the experimental and theoretical moisture ratios predicted by the Page model at specific drying times under freeze drying conditions



Şekil 4. Deneysel nem oranı değerleri ile Page modeli kullanılarak elde edilen tahmini nem oranı değerlerinin karşılaştırılması

Figure 4. Comparison between experimental and predicted moisture ratio values using Page model

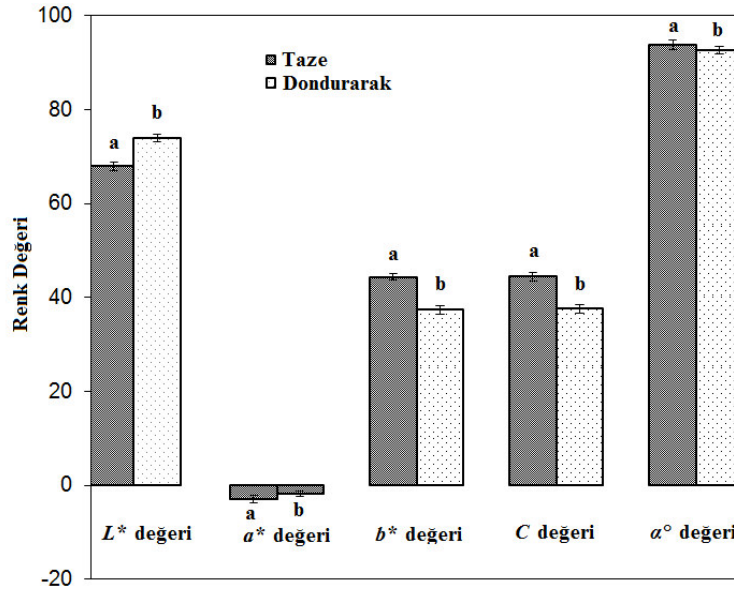
3.3. Renk analiz sonuçları

Taze ve dondurarak kurutma yöntemleri kullanılarak kurutulmuş zencefil örneklerinin renk parametreleri olan L^* , a^* , b^* , Kroma (C) ve Hue açısı (α) değerleri Şekil 5’de sunulmuştur. Elde edilen sonuçlara göre kurutulan zencefil örneklerinin L^* değeri 67.934’ten 73.996’ya, a^* değeri ise -3.008’den -1.792’ye artarken, b^*

değeri 44.348’den 37.556’ye, C değeri 44.450’den 37.599’a ve α değeri 93.877’den 92.688’e azalmıştır. Taze zencefil örneklerinin tüm renk parametreleri kurutulan örneklerin değerlerinden istatistik olarak önemli ölçüde farklıdır ($P < 0.05$). Sonuçlar incelendiğinde dondurarak kurutma uygulaması L^* ve a^* değerlerinin artmasına neden olurken, b^* , C ve α

değerlerinde ise azalışa neden olmuştur. Daha önce yapılan çalışmalar incelendiğinde, Krokida ve ark. (2001) konvektif, vakum, mikrodalga, ozmotik ve dondurarak kurutma yöntemlerinin elma, muz, patates ve havuç örneklerinde renk değişimleri üzerine etkilerini incelemişlerdir. Elde ettikleri sonuçlara göre konvektif, vakum ve mikrodalga yöntemlerinin L^* değerlerini azalttığını, a^* ve b^* değerlerini arttırdığını

bununda örnekler üzerinde kararmaya neden olduğunu tespit etmişler, ozmotik kurutmanın L^* değerini çok az azalttığını, a^* ve b^* değerlerini yine çok az arttırdığını bildirmişler, dondurarak kurutma yönteminin ise L^* değerinde bir artışa neden olduğunu, hem ozmotik yöntemle kurutulan örneklerde hem de dondurarak kurutulan örneklerde kararma olmadığını tespit etmişlerdir.



Şekil 5. Taze ve dondurarak kurutma şartlarında kurutulan zencefil örneklerinin renk değerleri

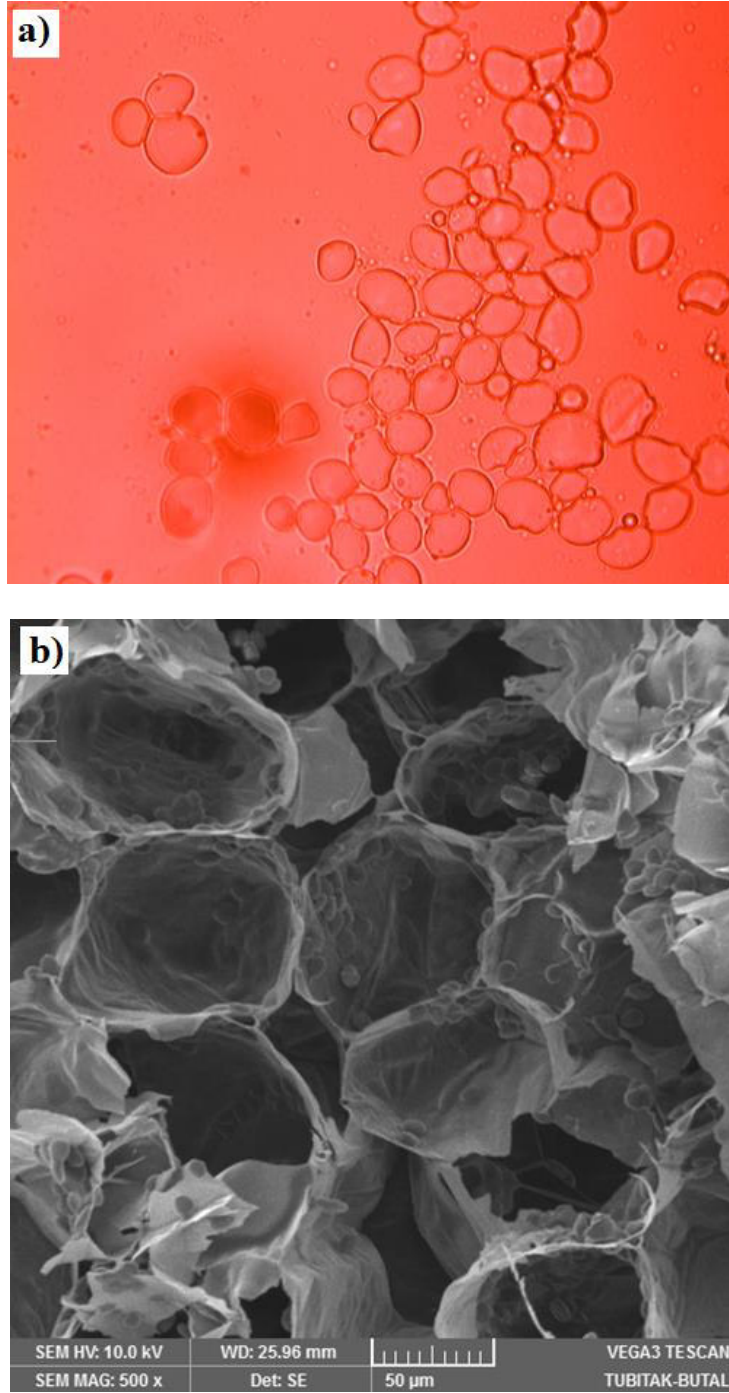
Figure 5. Colour values of fresh and dried ginger samples at freeze drying conditions

3.4. Mikroyapı analiz sonuçları

Şekil 6a'da taze zencefile ait ışık mikroskobu görüntüsü yer alırken, Şekil 6b'de dondurarak kurutma yöntemi kullanılarak kurutulan zencefil örneğine ait taramalı elektron mikroskobu görüntüleri sunulmuştur. Elde edilen görüntüler incelendiğinde, Şekil 6a'da yer alan ışık mikroskobu görüntüsünde taze zencefillerin nişasta tanecikleri net olarak görülmekte olup, bu görüntüye göre taneciklerde her hangi bir çatlak ya da zarar görünmemektedir. Şekil 6b'de ise dondurarak kurutma yöntemi kullanılarak kurutulan zencefil örneğine ait taramalı elektron mikroskobu görüntüleri incelendiğinde, dondurarak kurutma yöntemiyle kurutulan örnek

lerin hücre yapılarının homojen yayılım gösterdikleri ve tek düze gözenek yapılarına sahip oldukları belirlenmiştir. Ayrıca zencefil dokularının içerisinde nişasta granüllerinde her hangi bir zarar görülmemektedir. Daha önce yapılan çalışmalara bakıldığında, An ve ark. (2016) taze zencefil örneklerinin görüntülerini ışık mikroskobunda, konvektif, mikrodalga, mikrodalga-konvektif, infrared ve dondurarak kurutma yöntemleriyle kurutulan örneklerin görüntülerini ise taramalı elektron mikroskobunda incelemişler, taze zencefil örneklerine en yakın görüntüleri dondurarak kurutma yöntemiyle elde edilen örneklerde tespit etmişlerdir. Bunun nedenini de suyun uzaklaştırma işleminin vakumun eş zamanlı etkisiyle donan maddelerden süblimasyon yoluyla gerçekleştirilmesi olduğunu, bununda zencefil örneklerinin hücre yapılarını

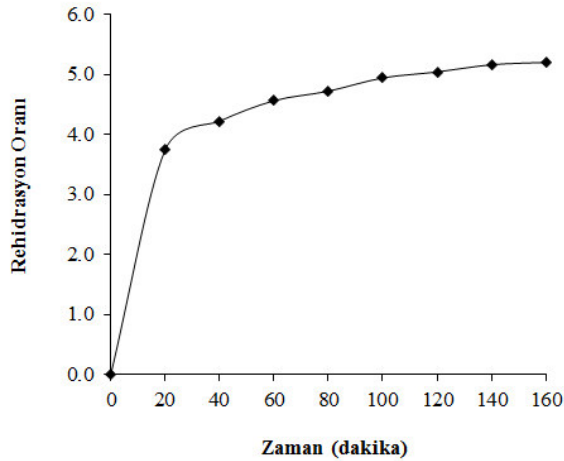
korumalarını sağladığını belirtmişlerdir. Benzer çalışmalarında bildirmişlerdir. sonuçları Huang ve ark. (2011) yapmış oldukları



Şekil 6. Taze zencefilin ışık mikroskobu görüntüsü (a) ve dondurarak kurutma şartlarında kurutulan zencefil örneklerinin taramalı elektron mikroskop görüntüsü (b)
Figure 6. Light microscopy image of fresh ginger (a) and scanning electron microscope image of dried ginger samples at freeze drying conditions (b)

3.4. Rehidrasyon özellikleri sonuçları

Zencefil örneklerinin rehidrasyon oranı sonuçları Şekil 7’de verilmiştir. Bu sonuçlara göre rehidrasyon oranı değerleri sürekli artmış 160 dakikanın sonunda en yüksek 5.20 değeri elde edilmiştir. Daha önce yapılan çalışmalar incelendiğinde Phoungchandang ve Saentaweasuk (2011) tepsili kurutucu ve ısı pompasıyla farklı sıcaklıklarda kurutmuş oldukları zencefil örneklerinin rehidrasyon oranı değerlerini belirledikleri çalışmalarında, tepsili kurutucuda kurutulan örnekler için 4.88 ila 5.09 arasında değişen değerleri elde ederlerken, ısı pompasıyla kurutulmuş örneklerin rehidrasyon oranı değerlerinin 5.1 ila 5.41 arasında değiştiğini bildirmişlerdir.



Şekil 7. Dondurarak kurutma yönteminin zencefil örneklerinin rehidrasyon oranı üzerine etkisi
Figure 7. Effect of freeze drying method on rehydration ratio of ginger samples

4. Sonuçlar

Sunulan çalışmada, dondurarak kurutma yönteminin zencefil örnekleri üzerine kurutma karakteristikleri, renk, mikroyapı ve rehidrasyon özellikleri bakımından etkisi incelenmiştir. Kurutma deneyleri ortalama 420 dakika sürmüştür ve kurutma işlemi azalan bir periyotta gerçekleşmiştir. Çalışmada değerlendirilen 10 farklı ince tabaka kurutma modeli arasında istatistiksel değerlendirmelere göre, Page modeli örneklerden deneysel olarak elde edilen nem oranı değerlerine en yakın sonuçları sağlamıştır. Sonuçlar renk değerleri bakımından

değerlendirildiğinde, dondurarak kurutma uygulaması L^* ve a^* değerlerini artırırken, b^* , C ve α değerlerinde ise azalışa neden olmuştur. Mikroyapı sonuçları değerlendirildiğinde ise taze zencefillerin nişastalarında her hangi bir çatlak ya da zarar tespit edilmemiştir. Dondurularak kurutulan örneklerin taramalı elektron mikroskopu sonuçları incelendiğinde ise zencefil örneklerin hücre yapılarının homojen yayılım gösterdikleri ve tek düze gözenek yapılarına sahip oldukları belirlenmiştir. Ayrıca kurutulan örneklerin rehidrasyon oranı değerleri belirlenmiş, zamanla rehidrasyon oranı değerlerinin arttığı ve 160 dakikanın sonunda en yüksek 5.20 değeri sonucuna varıldığı tespit edilmiştir. Sonuç olarak dondurarak kurutma yöntemiyle kurutulan zencefil örneklerinin kurutma karakteristikleri, renk, mikroyapı ve rehidrasyon özellikleri bakımından olumlu sonuçlar elde edilmiştir.

Kaynaklar

- Acar B, Sadikoglu H and Doymaz I (2015). Freeze-drying kinetics and diffusion modeling of saffron (*Crocus sativus* L.). *Journal of Food Processing and Preservation*, 39(2): 142-149.
- Agrawal YC and Singh RP (1977). Thin-layer drying studies on short-grain rice. ASAE Paper No. 77-3531, St. Joseph, MI, USA.
- Akpınar EK, Bicer Y and Yildiz C (2003). Thin layer drying of red pepper. *Journal Food Engineering*, 59: 99-104
- An K, Zhao D, Wang Z, Wu J, Xu Y and Xiao G (2016). Comparison of different drying methods on Chinese ginger (*Zingiber officinale* Roscoe): Changes in volatiles, chemical profile, antioxidant properties, and microstructure. *Food Chemistry*, 197: 1292-1300.
- Ayensu A (1997). Dehydration of food crops using a solar dryer with convective heat flow. *Solar Energy*, 59: 121-126.
- Demir V, Gunhan T, Yagcioglu AK and Degirmencioglu A (2004). Mathematical modeling and the determination of some quality parameters of air-dried bay leaves. *Biosystems Engineering*, 88: 325-335.
- Demiray E and Tulek Y (2012). Thin-layer drying of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill. cv. Rio Grande) slices in a convective hot air dryer. *Heat and Mass Transfer*, 48(5): 841-847.
- Doymaz I (2006). Thin-layer drying behaviour of mint leaves. *Journal of Food Engineering*, 74: 370-375.
- Doymaz İ and İsmail O (2011). Drying characteristics of sweet cherry. *Food and Bioproducts Processing*, 89(1): 31-38.
- Goyal RK, Kingsly ARP, Manikantan MR and Ilyas SM (2006). Thin-layer drying kinetics of raw mango slices. *Biosystems Engineering*, 95(1): 43-49.

- Hiranvarachat B, Devahastin S and Chiewchan N (2011). Effects of acid pretreatments on some physicochemical properties of carrot undergoing hot air drying. *Food and Bioproducts Processing*, 89: 116-127.
- Huang TC, Chung CC, Wang HY, Law CL and Chen HH (2011). Formation of 6-shogaol of ginger oil under different drying conditions. *Drying Technology*, 29: 1884-1889.
- Kaplan H (2005). Zencefilin (*Zingiber officinale* Roscoe) bitkisel özellikleri ve yetiştiriciliği. *Derim*, 22(2): 1-9.
- Kassem AS (1998). Comparative studies on thin layer drying models for wheat. In: 13th International Congress on Agricultural Engineering, Vol. 6, Morocco.
- Kocabiyik H and Tezer, D. (2009). Drying of carrot slices using infrared radiation. *International Journal of Food Science & Technology*, 44(5): 953-959.
- Krokida MK, Maroulis ZB and Saravacos GD (2001). The effect of the method of drying on the colour of dehydrated products. *International Journal of Food Science & Technology*, 36(1): 53-59.
- Luo MR (2006). Applying colour science in colour design. *Optics & Laser Technology*, 38: 392-398.
- Madamba PS, Driscoll RH and Buckle KA (1996). The thin-layer drying characteristics of garlic slices. *Journal of Food Engineering*, 29: 75-97.
- McGuire RG (1992). Reporting of objective color measurements. *HortScience*, 27: 1254-1255.
- Midilli A, Kucuk H and Yapar Z (2002). A new model for single layer drying. *Drying Technology*, 20: 1503-1513.
- Miyamoto M, Matsuzaki K, Katakura M, Hara T, Tanabe Y and Shido O (2015). Oral intake of encapsulated dried ginger root powder hardly affects human thermoregulatory function, but appears to facilitate fat utilization. *International Journal of Biometeorology*, 59(10): 1461-1474.
- Mundada M, Hathan BS and Maske S (2010). Convective dehydration kinetics of osmotically pretreated pomegranate arils. *Biosystems Engineering*, 107: 307-316.
- Odjo S, Malumba P, Dossou J, Janas S and Béra F (2012). Influence of drying and hydrothermal treatment of corn on the denaturation of salt-soluble proteins and color parameters. *Journal of Food Engineering*, 109: 561-570.
- Özbek B and Dadalı G (2007). Thin-layer drying characteristics and modelling of mint leaves undergoing microwave treatment. *Journal of Food Engineering*, 83: 541-549.
- Parlak N. (2014). Akışkan yataklı kurutucuda zencefilin kuruma kinetiğinin incelenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 29(2): 261-269.
- Phoungchandang S and Saentaweek S (2011). Effect of two stage, tray and heat pump assisted-dehumidified drying on drying characteristics and qualities of dried ginger. *Food and Bioproducts processing*, 89(4): 429-437.
- Rahman H, Karuppaiyan R, Kishore K and Denzongpa R (2009). Traditional practices of ginger cultivation in Northeast India. *Indian Journal of Traditional Knowledge*, 8(1): 23-28.
- Sacilik K (2007). Effect of drying methods on thin layer drying characteristics of hull-less seed pumpkin (*Cucurbita pepo* L.). *Journal of Food Engineering*, 79: 23-30.
- Sharaf-Eldeen YI, Blaisdell JL and Hamdy MY (1980). A model for ear corn drying. *Transactions of the ASAE* 5: 1261-1265.
- Sosa N, Salvatori DM and Schebor C (2012). Physicochemical and mechanical properties of apple disks subjected to osmotic dehydration and different drying methods. *Food and Bioprocess Technology*, 5(5): 1790-1802
- Toğrul IT and Pehlivan D (2003). Mathematical modeling of solar drying of apricots in thin layers. *Journal of Food Engineering*, 55: 209-216.
- Wang CY and Singh RP (1978). A single layer drying equation for rough rice. *ASAE Paper No. 78-3001*, St. Joseph, MI, USA.
- Westerman PW, White GM and Ross IJ (1973). Relative humidity effect on the high temperature drying of shelled corn. *Transactions of the ASAE*, 16: 1136-1139.
- Xiao HW, Pang CL, Wang LH, Bai JW, Yang WX and Gao ZJ (2010). Drying kinetics and quality of Monukka Seedless grapes dried in an air-impingement jet dryer. *Biosystems Engineering*, 105(2): 233-240.
- Yagcioglu A, Degirmencioglu A and Cagatay F (1999). Drying characteristics of the laurel leaves under different drying conditions. In: *Proceedings of the 7th International Congress on Agricultural Mechanization and Energy*. Adana, Turkey, pp. 565-569.
- Zhang M, Tang J, Mujumdar A and Wang S (2006). Trends in microwave related drying of fruits and vegetables. *Trends in Food Science and Technology*, 17: 524-534