

Ultrases Ön İşleminin Havuç Dilimlerinin Kuruma Karakteristikleri Üzerine Etkisi

Senem Tüfekçi¹ , Sami Gökhan Özkal²  ¹Pamukkale Üniversitesi, Acıpayam Meslek Yüksekokulu, Gıda İşleme Bölümü, Denizli²Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Denizli

Geliş Tarihi (Received): 23.11.2016, Kabul Tarihi (Accepted): 17.07.2017

✉ Yazışmalardan Sorumlu Yazar (Corresponding author): sgozkal@pau.edu.tr (S.G. Özkal)

☎ 0 258 296 31 19 📠 0 258 296 32 62

ÖZ

Sıcak hava öncesi uygulanan ultrasonik ön işlemin havuç dilimlerinin kurutma karakteristikleri üzerine etkisi araştırılmıştır. Ön işlem için 20 kHz frekansa sahip ultrases üreten bir prob kullanılmış olup ön işlem süresi 20, 40, 60 dakika ve ultrases genliği %55 ve %100 olarak seçilmiştir. Kurutucunun hava hızı 0.3 m/s olup, kurutma sıcaklığı 50°C ve 60°C olarak seçilmiştir. Artan ön işlem sürelerinde ve genliklerde havuç dilimlerinin kuruma hızları artarken, kuruma zamanı kısalmıştır. Havuç dilimlerinin kuruma kinetiğini açıklayan en uygun modellerin Page ve Modifiye Page modelleri olduğu saptanmıştır. Artan genlikle beraber havuç dilimlerinin dokusunda meydana gelen zarar taramalı elektron mikroskobu görüntülerinde belirgin bir şekilde görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Havuç, Kurutma, Ultrases, Ön işlem, Matematiksel modelleme

Effect of Ultrasound Pre-Treatment on Drying Characteristics of Carrot Slices

ABSTRACT

The effects of ultrasound pre-treatment prior to hot air drying on drying characteristics of carrot slices were investigated. For pre-treatments an ultrasonic generator with 20 kHz frequency connected to an ultrasonic probe was used, time and amplitude values were chosen as 20, 40, 60 minutes, and 55 or 100%, respectively. The air velocity was 0.3 m/s and the drying air temperatures were selected as 50 and 60°C. Drying time of carrot slices decreased, and drying rate increased by the application of ultrasound pre-treatment with increasing pre-treatment time and amplitude. The Page and Modified Page models were the most suitable models for describing the drying characteristics of carrot slices. Tissue damage occurred by increasing the amplitude of ultrasound was observed clearly in scanning electron microscopy images of dried samples.

Keywords: Carrot, Drying, Ultrasound, Pre-treatment, Mathematical modelling

GİRİŞ

Havuç (*Daucus carota* L.) hoş aroması, yüksek lif, vitamin, antioksidan içeriği ve birçok sağlığa faydalı etkisi ile insan beslenmesinde taze ve kurutulmuş olarak yaygın şekilde tüketilen sebzelerden biridir [1, 2]. Yaş bazda yaklaşık olarak %90 su içeren havucun uzun süreli muhafazası ve kullanımı için kurutma uygun bir

metottur. Kurutulmuş havuçların çorba, sos, hazır öğün ve sağlıklı atıştırmalık üretiminde kullanımı yüksek karetonoid içeriklerinin son yıllarda fark edilmesine bağlı olarak giderek artmaktadır [3, 4].

Kurutma eş zamanlı olarak gerçekleşen ısı ve kütle transferine bağlı olarak gıdadan suyun uzaklaştırılması olarak tanımlanan en eski ve yaygın gıda muhafaza

yöntemlerinden biridir [5-7]. Kurutma işlemiyle hasat sonrası kayıplar azaltıldığı gibi kurutulmuş ürünler direkt olarak tüketilebilmekte veya gıda üretim proseslerinde kullanılmaktadır [8]. Günümüzde yeni kurutma teknikleri üzerine çalışmalar yapılmaktadır ve bu yeni tekniklerden biri de ultrases enerjisinin kullanımı olmuştur.

Yüksek şiddetli ses alanı yani ultrases etkisiyle bir materyalden suyun uzaklaştırılması işlemine 'akustik kurutma' denir [9]. Ultrases enerjisi; yüksek genlikteki titreşimler sayesinde gıda içindeki ısı ve kütle transferini konsantrasyon gradyanında, difüzyon katsayılarında ve sınır tabakalarında değişimler meydana getirerek arttırmaktadır ve bu özelliği ile de gıdaların kurutulmasında kullanım olanağı sunmaktadır [10]. Ultrases enerjisi tek başına uygulanabildiği gibi sıcak hava, ışınlama, dondurularak kurutma, yüksek basınç, ozmotik kurutma gibi farklı kurutma yöntemleri birlikte eş zamanlı veya ön işlem sırasında uygulanabilmektedir [11].

Literatürde havucun eş zamanlı uygulanan ultrases destekli konvektif kurutulması [12-14], ultrases enerjisi ile vakum kurutma tekniğinin kombine edilmesi [3], ultrases destekli dondurularak kurutma [15], ultrasonik destekli osmotik kurutma ön işlemi sonrası sıcak hava ile kurutma [4, 16], sıcak hava ile kurutma öncesi ultrasonik banyo ile ön işlem [17] çalışmalarına rastlanmıştır. Bu çalışmada ise silindirik havuç örnekleri ultrasonik prob ile su içerisinde ön işlem uygulandıktan sonra sıcak hava ile kurutulmuştur.

Çalışmanın amacı sıcak hava ile kurutulması öncesinde uygulanan ultrases ön işleminin havucun kuruma karakteristikleri üzerine etkisini belirlemek, kurutma davranışını modellemek ve havuç dokusunda meydana gelen değişimleri gözlemlemektir.

MATERYAL ve METOT

Materyal

Bu çalışmada materyal olarak kullanılan havuç örnekleri Denizli piyasasından temin edilmiş ve örnekler kurutma denemelerinde kullanıncaya dek +4°C'de buzdolabı koşullarında bekletilmiştir. Örnekler başlangıç nem içeriklerinin belirlenebilmesi için 105°C sıcaklıktaki etüvde sabit tartıma gelinceye kadar kurutulmuştur. Örnekler kurutma işleminden önce elektronik sebze doğrayıcı (Moulinex Fresh Express, Moulinex, Ecully, Fransa) ile sabit çap (3.2 cm) ve kalınlıkta (0.5 cm) silindirik olarak dilimlenmiştir.

Metot

Ultrases Ön İşlemi

Ön işlemler; 1:4 (w/w) ürün/su oranında 400 mL'lik beher içerisinde 25°C'de saf su ile 20 kHz frekansta çalışan Bandelin marka (Sonoplus HD 2200, Bandelin Berlin, Almanya) ultrases cihazının TT13 numaralı titanyum ucu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ultrases ön işlemi için kullanılan süre ve genlik değerleri sırasıyla 20, 40, 60 dakika ile %55 ve %100 olarak seçilmiştir.

Kurutma Denemeleri

Kurutma denemeleri Yücebaş Makine Tic. Ltd. Şti. (İzmir) tarafından üretilip, bölüm laboratuvarına kurulan tepsili kurutma kabini gerçekleştirilmiştir. Örnekler iki farklı kurutma sıcaklığında (50 ve 60°C) ve 0.3 m/s hava hızında sabit tartıma gelinceye kadar kurutulmuştur. Kurutma süresince örneklerdeki ağırlık değişimleri ilk yarım saat için her beş dakikada bir, daha sonra her 30 dakikada bir kaydedilmiştir. Tüm denemeler 2 paralel ve 2 tekerrürlü olarak gerçekleştirilmiştir. Ön işlem ve kurutma koşulları ile örnek kodları Tablo 1'de sunulmuştur.

Matematiksel Modelleme

Havuç örneklerinin nem içeriği (Denklem 1), boyutsuz nem oranı (Denklem 2) ve kuruma hızı (Denklem 3) aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$M_t = \frac{m - KM}{KM} \quad (1)$$

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

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

Burada, M_t herhangi bir t anındaki nem içeriği (g su/g kurumadde), m örneğin ağırlığı (g), KM örneğin içerdiği kurumadde miktarı (g), M_e denge anındaki nem içeriği (g su/g kurumadde), M_0 başlangıç nem içeriği (g su/g kurumadde), M_{t+dt} herhangi bir t+dt anındaki nem içeriği (g su/g kurumadde), t kuruma zamanı (dakika) olarak tanımlanmıştır [5]

Ürünlerin kurutulması sırasında elde edilen nem oranı değerlerinin kuruma zamanı ile değişimini içeren deneysel verilerin Tablo 2'de yer alan beş ince tabaka kuruma modeline uygunluğu araştırılmıştır.

Tablo 1. Ön işlem ve kurutma koşulları ile örnek kodları

Örnek Kodu	Ultrasonik Ön İşlem Koşulları		Kuruma Sıcaklığı (°C)
	Süre (dakika)	Genlik (%)	
50°C kontrol	-	-	50
50°C-20 dakika-%55 genlik	20	55	50
50°C-40 dakika-%55 genlik	40	55	50
50°C-40 dakika-%100 genlik	40	100	50
50°C-60 dakika-%55 genlik	60	55	50
60°C kontrol	-	-	60
60°C-40 dakika-%55 genlik	40	55	60

Tablo 2. Deneysel verilere uygunluğu araştırılan matematiksel modeller

Model No	Model ismi	Model denklemleri	Kaynaklar
1	Lewis	$MR = \exp(-kt)$	[5]
2	Henderson-Pabis	$MR = a \exp(-kt)$	[18]
3	Page	$MR = \exp(-kt^n)$	[19]
4	Modifiye Page	$MR = \exp(-(kt)^n)$	[6]
5	Logaritmik	$MR = a \exp(-kt) + c$	[20]

İstatistiksel Analizler

Havuç örneklerinin kuruma kinetiğini en iyi açıklayan modelin belirlenmesinde korelasyon katsayısı (R^2), tahmini standart hata (RMSE) ve indirgenmiş ki-kare (χ^2) değerleri kullanılmıştır.

RMSE ve χ^2 değerleri Denklem 4 ve 5 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$RMSE = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (MR_{tahmini,i} - MR_{deneysel,i})^2 \right]^{1/2} \quad (4)$$

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{deneysel,i} - MR_{tahmini,i})^2}{N-n} \quad (5)$$

Burada N deneysel veri sayısı, n kullanılan modeldeki katsayı sayısı olarak tanımlanmıştır [21]

Doku Değişimi

Ultrasonik ön işlemin havuç dilimlerinin mikro yapısında meydana getirdiği değişimler FEI Quanta 250 FEG taramalı elektron mikroskopu (SEM) ile 250x, 1000x, 5000x büyütme oranlarında görüntüler alınarak gözlemlenmiştir.

BULGULAR ve TARTIŞMA

Kuruma Karakteristikleri

Havuç örneklerinin kuruma karakteristiklerinin belirlenmesi amacıyla nem oranının kuruma zamanına bağlı değişimi ile kuruma hızının nem oranına bağlı değişiminin grafikleri incelenmiştir (Şekil 1-3).

Ultrasonik Ön İşlem Süresinin Etkisi

%55 genlikteki ultrases ile farklı sürelerde ön işleme tabi tutulduktan sonra 50°C'de kurutulan örnekler ile ön işleme tabi tutulmadan 50°C'de kurutulan kontrol örneğinin kuruma eğrileri Şekil 1'de verilmiştir. Genel olarak, ultrasonik ön işlem süresi arttıkça havuç örneklerinin kuruma süreleri azalmış ve kuruma hızları artmıştır. Kurumanın 150. dakikasında kontrol örneği 0.20 nem oranına sahip iken bu oran 20, 40 ve 60 dakika süreyle %55 genlikteki ultrases ön işlemine tabi tutulmuş örnekleri için sırasıyla 0.15, 0.16 ve 0.05 olarak tespit edilmiştir (Şekil 1A). 60 dakika süreyle ultrasonik ön işleme tabi tutulmuş havuç örneğinin kuruma hızı, 0.2

nem oranında kontrol örneği ile kıyaslandığında yaklaşık olarak 2 kat artmıştır (Şekil 1B). Ultrasonik ön işlem süresinin kurutma performansını arttırdığı daha önceki çalışmalarda ananas [22] ve patates [23] için de bildirilmiştir.

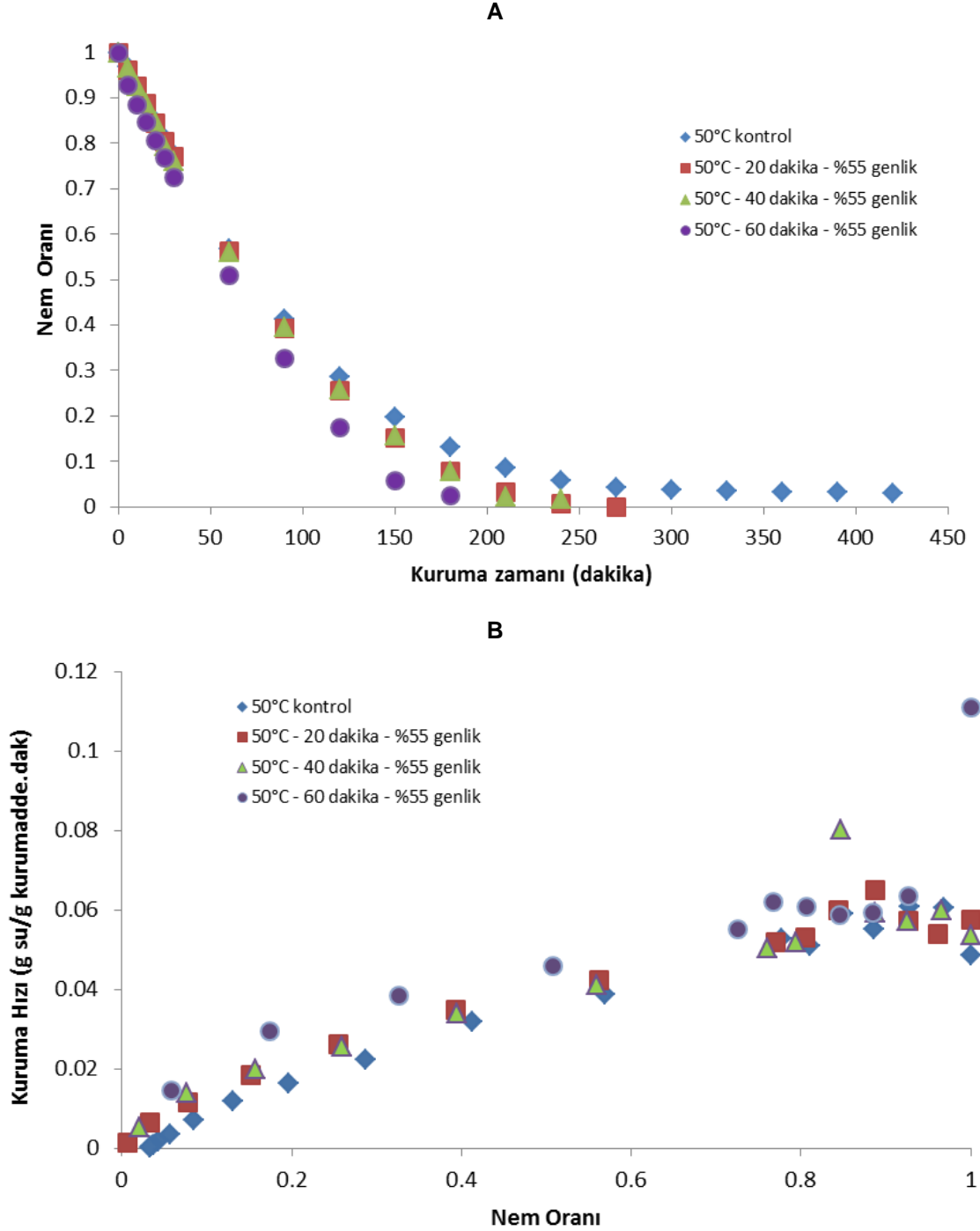
Ultrases Genliğinin Etkisi

Ultrases genliğinin etkisinin belirlenmesi için örnekler 40 dakika boyunca %55 ve %100 olacak şekilde farklı iki genlikte ön işlem uygulanmış ve sonrasında örnekler 50°C sıcaklıkta kurutulmuştur. Ultrases genliğinin artması ile kuruma süresinin kısaldığı, en hızlı kurumanın 40 dakika süreyle %100 genlikteki ultrases ön işlemine tabi tutulmuş havuç örneklerinde meydana geldiği tespit edilmiştir. Diğer yandan 0.16 nem oranına 40 dakika süreyle %55 ve %100 genlikteki ultrases ön işlemine tabi utulmuş örnekler sırasıyla kurumanın 150. ve 120. dakikalarında ulaşmışlardır. Bu orana kontrol örneği ise 170. dakikada ulaşmıştır (Şekil 2A).

Kurutmanın başlangıcında 40 dakika süreyle %100 genlikteki ultrases ön işlemine tabi tutulmuş havuç örneğinin kuruma hızı (0.1107 g su/g kurumadde.dakika); kontrol (0.0487 g su/g kurumadde.dakika) ve %55 genlikteki ultrases ön işlemine tabi tutulmuş örneğin kuruma hızının (0.0537 g su/g kurumadde.dakika) yaklaşık iki katı olarak gözlemlenmiş, kurutmanın ilerleyen aşamalarında bu fark azalmıştır (Şekil 2B).

Kurutma Sıcaklığının Etkisi

Kurutma sıcaklığının ön işlem uygulanmamış kontrol örneğinin ve 40 dakika %55 genlikte ultrases ön işlemi uygulanmış örneğin kurutma eğrilerine etkisi Şekil 3'te verilmiştir. Şekil 3A incelendiğinde kurutma sıcaklığındaki artışın kuruma süresini kısalttığı görülmektedir. Kurutmanın 120. dakikasında 50 ve 60°C kontrol örneklerini nem oranları sırasıyla 0.29 ve 0.14 olarak tespit edilmiştir. Diğer yandan kurutma sıcaklığı ultrasonik ön işleme tabi tutulmuş örnekler için kontrol örneklerine kıyasla kuruma süresi üzerine daha etkili olduğu bulunmuştur. Örneğin; 40 dakika süreyle %55 genlikte ultrases ile ön işleme tabi tutulduktan sonra 50°C'de kurutulan örnek için 120. dakikadaki nem oranı 0.26 iken 60°C'de kurutulan örnek için 0.05'tir. Ön işlem uygulanmış ve uygulanmamış havuç örneklerinde, kurutma sıcaklığının 50°C'den 60°C'ye yükselmesiyle kuruma hızları yaklaşık olarak 2 kat artmıştır (Şekil 3B).

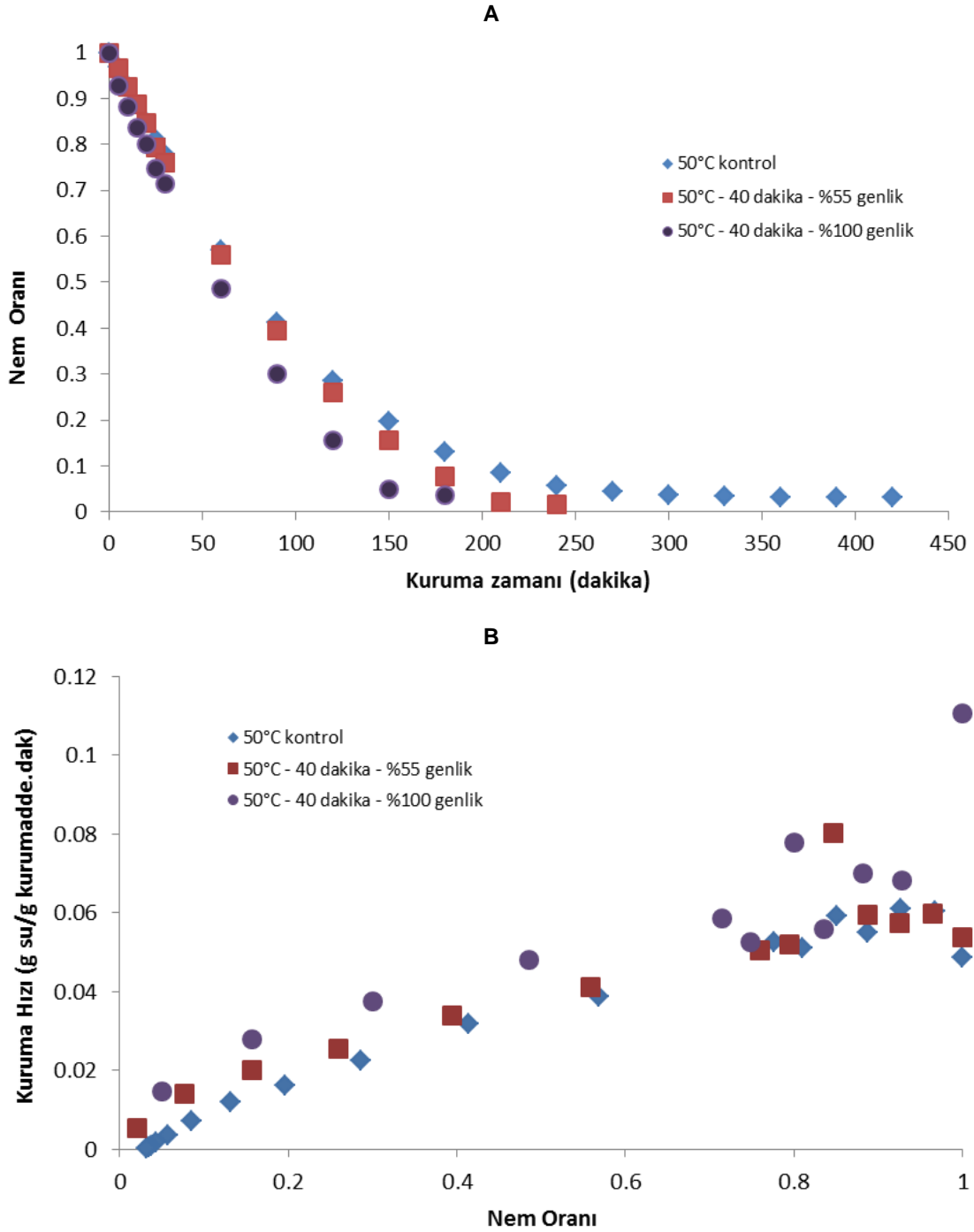


Şekil 1. %55 genlikte ultrasese farklı ön işlem sürelerinde tabi tutulmuş havuç örneklerinin kuruma eğrileri; A) Nem oranının kuruma zamanına bağlı değişimi, B) Kuruma hızının nem oranına bağlı değişimi

Matematiksel Modelleme

Farklı koşullarda ultrasonik ön işleme tabi tutulmuş havuç örneklerinin tepsili kurutma fırınında kurutulması sırasında elde edilen nem oranı değerlerinin kuruma zamanı ile değişimini içeren deneysel veriler beş ayrı ince tabaka kurutma modeli ile modellenmiştir. Matematiksel modellere ait katsayı ve sabitleri ile istatistiksel veriler Tablo 3'te verilmiştir. Elde edilen verilerden, yüksek R^2 ile düşük χ^2 ve RMSE değerlerine sahip Page ve Modifiye Page modellerin havuç

örneklerinin kuruma kinetiğini açıklayan en iyi modeller olduğu saptanmıştır. R^2 , χ^2 ve RMSE değerleri Page ve Modifiye Page modeller için sırasıyla 0.9856-0.9982, 0.0003-0.0028 ve 0.0037-0.0141 aralığında bulunmuştur. Benzer şekilde, havucun 50, 60, 65, 70°C'lerde kabin kurutucuda sıcak hava ile kurutulduğu diğer bir çalışma ile [1], direkt ultrasese ile kurutulduğu çalışmada da kuruma kinetiğini en iyi şekilde ifade eden modelin Page model olduğu rapor edilmiştir [9].

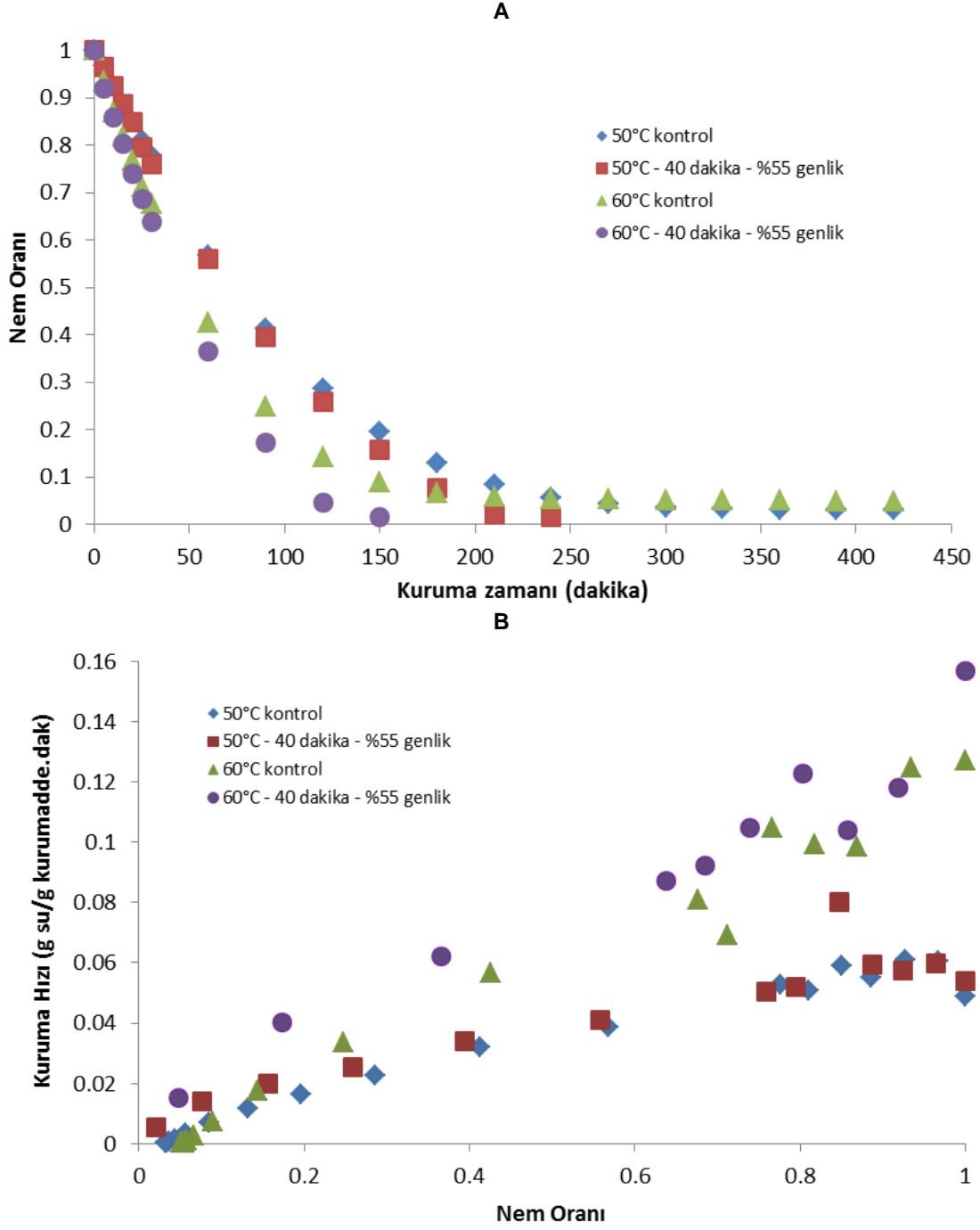


Şekil 2. 40 dakika süreyle farklı genliklerde ultrases ön işleme tabi tutulmuş havuç örneklerinin kuruma eğrileri; A) Nem oranının kuruma zamanına bağlı değişimi, B) Kuruma hızının nem oranına bağlı değişimi

Doku Değişimi

Ön işlem uygulanmamış, 20 dakika süreyle %55 ve %100 genlikteki ultrases ön işleme tabi tutulup 50°C'de kurutulmuş havuç örneklerinin taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile incelenmiş ve havuç örneklerinin dokusunda meydana gelen değişim Şekil 4'de verilmiştir. Ön işlem uygulanmamış havuç örneğinde, ön

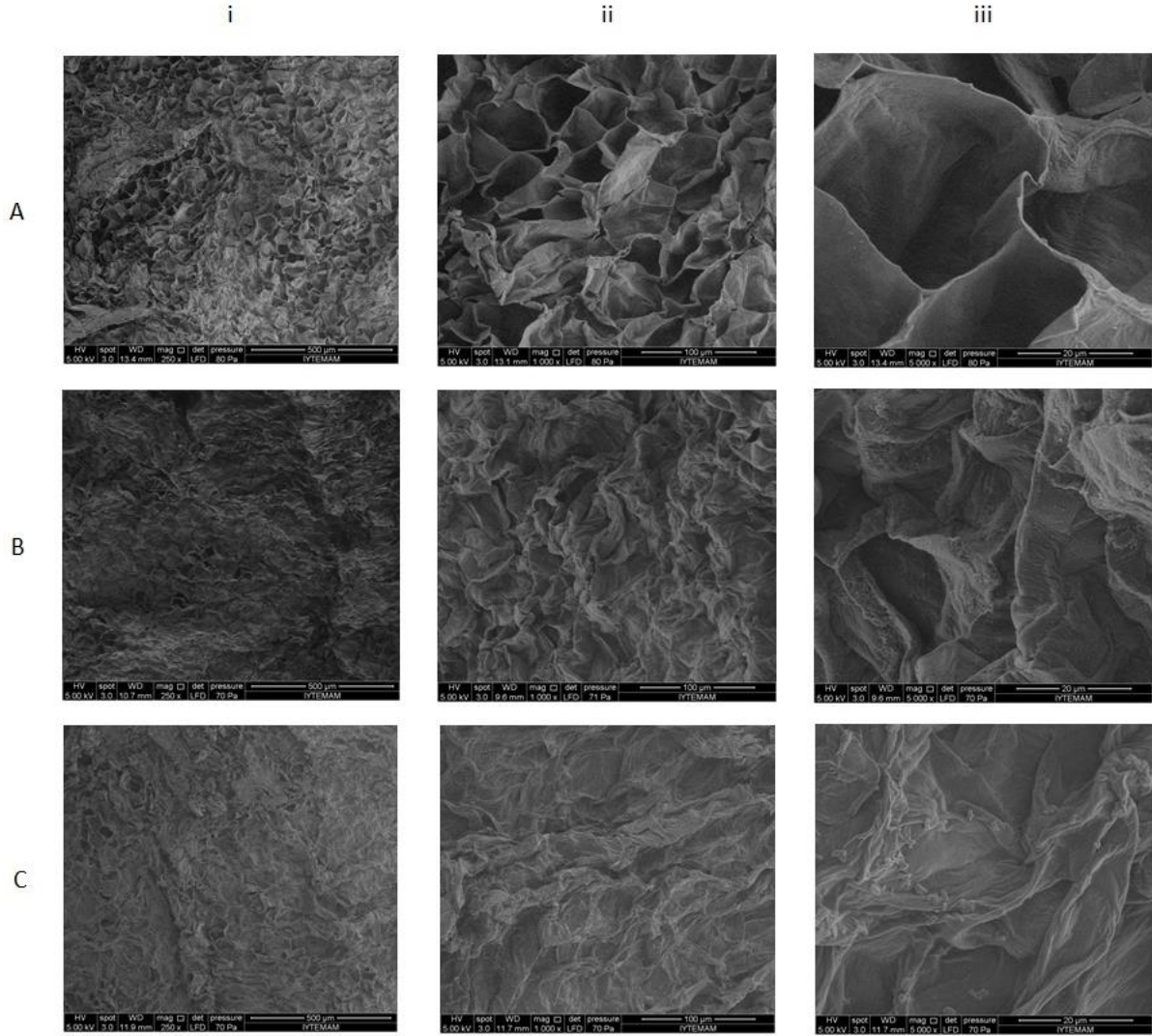
işleme tabi tutulmuş örneklere göre hücre bütünlüğünün korunduğu tespit edilmiştir. Ultrases etkisiyle oluşan kaviteasyonun sonucunda hücre yapısında bozulma ve parçalanmanın gerçekleştiği, ayrıca artan genlikle birlikte şiddeti artan kaviteasyonun hücrelerde uzama ve yassılaşıma meydana getirdiği saptanmıştır. Benzer sonuçlar elma [24], papaya [25] ve ananas [22] için de belirtilmiştir.



Şekil 3. Farklı kuruma sıcaklıklarında kurutulan havuç örneklerine ait kuruma eğrileri; A) Nem oranının kuruma zamanına bağlı değişimi, B) Kuruma hızının nem oranına bağlı değişimi

Tablo 3. Kurutulmuş havuç örnekleri için kullanılan modellerin istatistiksel parametreleri ve model katsayıları

Örnek Kodu	Model No	Model Katsayıları			R ²	RMSE	χ ²
50°C kontrol	1	k = 0.0100			0.9558	0.005262	0.000583
	2	k = 0.0097	a = 1.0805		0.9590	0.009818	0.002142
	3	k = 0.0062	n = 1.0929		0.9943	0.003813	0.000323
	4	k = 0.0096	n = 1.0929		0.9943	0.003813	0.000323
	5	k = 0.0182	a = 1.4368	c = 0.0309	0.9750	0.038520	0.034913
50°C 20 dakika %55 genlik	1	k = 0.0139			0.9688	0.018159	0.005299
	2	k = 0.0150	a = 1.1782		0.9590	0.018981	0.006235
	3	k = 0.0049	n = 1.1887		0.9958	0.005036	0.000439
	4	k = 0.0114	n = 1.1887		0.9958	0.005036	0.000439
	5	k = 0.0151	a = 1.1790	c = 0.0004	0.9683	0.019166	0.006887
50°C 40 dakika %55 genlik	1	k = 0.0125			0.9711	0.013907	0.002916
	2	k = 0.0134	a = 1.1090		0.9796	0.012872	0.002706
	3	k = 0.0052	n = 1.1704		0.9982	0.005119	0.000428
	4	k = 0.0111	n = 1.1704		0.9982	0.005119	0.000428
	5	k = 0.0143	a = 1.1123	c = 0.0164	0.9718	0.015111	0.004069
50°C 40 dakika %100 genlik	1	k = 0.0141			0.9805	0.011733	0.001802
	2	k = 0.0148	a = 1.0574		0.9854	0.011245	0.001821
	3	k = 0.0120	n = 1.0140		0.9896	0.011309	0.001842
	4	k = 0.0128	n = 1.0140		0.9896	0.011309	0.001842
	5	k = 0.0165	a = 1.0402	c = 0.0364	0.9782	0.013981	0.003128
50°C 60 dakika %55 genlik	1	k = 0.0132			0.9793	0.012697	0.002111
	2	k = 0.0139	a = 1.0522		0.9839	0.012236	0.002156
	3	k = 0.0122	n = 0.9937		0.9856	0.014096	0.002861
	4	k = 0.0119	n = 0.9937		0.9856	0.014096	0.002861
	5	k = 0.0148	a = 1.0383	c = 0.0236	0.9800	0.013718	0.003011
60°C kontrol	1	k = 0.0101			0.9364	0.016628	0.005821
	2	a = 1.4128	k = 0.0088		0.9708	0.067927	0.102536
	3	k = 0.0181	n = 0.9162		0.9930	0.008962	0.001781
	4	k = 0.0125	n = 0.9162		0.9930	0.009002	0.001801
	5	a = 1.0159	k = 0.0200	c = 0.0497	0.9914	0.007112	0.001180
60°C 40 dakika % 55 genlik	1	k = 0.0181			0.9823	0.012156	0.001788
	2	k = 0.0192	a = 1.0618		0.9886	0.011295	0.001715
	3	k = 0.0139	n = 1.0406		0.9921	0.010018	0.001349
	4	k = 0.0167	n = 1.0406		0.9921	0.010018	0.001349
	5	k = 0.0201	a = 1.0531	c = 0.0174	0.9862	0.012682	0.002433



Şekil 4. 50°C'de kurutulmuş havuç örneklerine ait SEM görüntüleri: i) 250×, ii) 1000×, iii) 5000× büyütme oranları; A) ön işlemsiz, B) 20 dakika süreyle %55 genlikteki ultrases ön işlemine tabi tutulmuş, C) 20 dakika süreyle %100 genlikteki ultrases ön işlemine tabi tutulmuş örnekler.

SONUÇ

Sıcak hava ile kurutma öncesinde uygulanan ultrases ön işleminin havucun kurutma karakteristikleri üzerine etkisi araştırılmış ve artan ön işlem süresi, ultrases genliği ve kurutma sıcaklığı ile kuruma süresinin kısaldığı, kuruma hızının ise arttığı tespit edilmiştir. Havucun kuruma kinetiğini en iyi açıklayan modeller Page ve Modifiye Page modeller olmuştur. Ayrıca ultrases genliğinin artması ile havuç örneklerinin dokusundaki değişimin arttığı gözlemlenmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Doymaz, İ., 2004. Convective air drying characteristics of thin layer carrots. *Journal of Food Engineering* 61(3): 359-364.
- [2] Gamboa-Santos, J., Montilla, A., Soria, A.C., Villamiel, M., 2012. Effects of conventional and ultrasound blanching on enzyme inactivation and carbohydrate content of carrot. *European Food Research and Technology* 234(6): 1071-1079.
- [3] Chen, Z.G., Guo, X.Y., Wu, T., 2016. A novel dehydration technique for carrot slices implementing ultrasound and vacuum drying methods. *Ultrasonics Sonochemistry* 30: 28-34.
- [4] Kowalski, S.J., Szadzinska, J., Pawlowski, A., 2015. Ultrasonic-assisted osmotic dehydration of carrot followed by convective drying with continuous and intermittent heating. *Drying Technology* 33(13): 1570-1580.
- [5] Dadalı, G., Kılıç Apar, D., Özbek, B., 2007. Microwave drying kinetics of okra. *Drying Technology* 25(5): 917-924.
- [6] Akpınar, E.K., Biçer, Y., Yıldız, C., 2003. Thin layer drying of red pepper. *Journal of Food Engineering* 59(1): 99-104.
- [7] Cemeroglu, B., 2013. Meyve Sebze İşleme Teknolojisi, 2. Cilt, Bizim Grup Basımevi, Kızılay, Ankara, Turkey.
- [8] Fernandes, F.A.N., Gallão, M.I., Rodrigues, S., 2008. Effect of osmotic dehydration and ultrasound pre-treatment on cell structure: Melon dehydration. *LWT-Food Science and Technology* 41(4): 604-610.

- [9] Kantaş, Y. 2007. Effect of Ultrasound on Drying Rate of Selected Produce. PhD Thesis, Middle East Technical University, Ankara, Turkey.
- [10] Jambrak, A.R., Mason, T.J., Paniwyk, L., Lelas, V., 2007. Accelerated drying of button mushrooms, Brussels sprouts and cauliflower by applying power ultrasound and its rehydration properties. *Journal of Food Engineering* 81(1): 88-97.
- [11] Topdaş, E.F., Başlar, M., Ertugay, M.F., 2011. Elmaların ozmotik kurutulması üzerine ultrases işleminin etkisi. *Akademik Gıda* 9(5): 6-10.
- [12] Aversa, M., Van der Voort, A.J., Heij, W., Tournois, B., Curcio, S., 2011. An Experimental Analysis of Acoustic Drying of Carrots: Evaluation of Heat Transfer Coefficients in Different Drying Conditions. *Drying Technology* 29(2): 239-244.
- [13] Carcel, J.A., Garcia-Perez, J.V., Reira, E., Mulet, A., 2011. Improvement of convective drying carrots by applying power ultrasound - Influence of mass load density. *Drying Technology* 29(2): 174-182.
- [14] Denglin, L., Juan, L., Yuhonh, L., Guangyue, R., 2015. Drying characteristics and mathematical model of ultrasound assisted hot-air drying of carrots. *International Journal of Agricultural & Biological Engineering* 8(4): 124-132.
- [15] Dai, C., Zhou, X., Zhang, S., Zhou, N., 2016. Influence of ultrasound-assisted nucleation on freeze-drying of carrots. *Drying Technology* 34(10): 1196-1203.
- [16] Lui, Y., Wu, J., Chong, C., Miao, S., 2014. Ultrasound assisted osmotic dehydration as pretreatment for hot-air drying of carrot. *Food Science and Technology Research* 20(1): 31-41.
- [17] Nowacka, M., Wedzik, M., 2016. Effect of ultrasound treatment on microstructure, colour and carotenoid content in fresh and dried carrot tissue, *Applied Acoustics* 103: 163-171.
- [18] Toğrul, İ.T., Pehlivan, D., 2004. Modelling of thin layer drying kinetics of some fruits under open-air sun drying process. *Journal of Food Engineering* 65(3): 413-425.
- [19] Özdemir, M., Devres, O.Y., 1999. The thin layer drying characteristics of hazelnuts during roasting, *Journal of Food Engineering* 42(4): 225-233.
- [20] Ertekin, C., Yaldız, O., 2004. Drying of eggplant and selection of a suitable thin layer drying model, *Journal of Food Engineering* 63(3): 349-359.
- [21] Sacilik, K., Eliçin, A.K., 2006. The thin layer drying characteristics of organic apple slices. *Journal of Food Engineering* 73(3): 281-289.
- [22] Fernandes, F.A.N., Gallão, M.I., Rodrigues, S., 2009. Effect of osmosis and ultrasound on pineapple cell tissue structure during dehydration. *Journal of Food Engineering* 90(2): 186-190.
- [23] Ozuna, C., Carcél, J.A., Garcia-Perez, J.V., Mulet, A., 2011. Improvement of water transport mechanisms during potato drying by applying ultrasound, *Journal of Science Food and Agriculture* 91(14): 2511-2517.
- [24] Deng, Y., Zhao, Y., 2008. Effect of pulsed vacuum and ultrasound osmopretreatments on glass transition temperature, texture, microstructure and calcium penetration of dried apples (Fuji). *LWT-Food Science and Technology*, 41(9): 1575-1585.
- [25] Fernandes, F.A.N., Oliveira, F.I.P., Rodrigues, S., 2008 Use of ultrasound for dehydration of papayas. *Food Bioprocess Technol* 1(4): 339-345.
-