

Su Kabağının (*Lagenaria Siceraria*) Kuruma Davranışının Deneysel İncelenmesi

Ahmet KAYA^{1*}, Orhan AYDIN², Muhammed Safa KAMER¹, Oğuz DOĞAN¹

¹Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Makine Mühendisliği, Kahramanmaraş, Türkiye

²Karadeniz Teknik Üniversitesi, Makine Mühendisliği, Trabzon, Türkiye

ÖZET: Bu çalışmada dikdörtgen şeklinde kesilen su kabağının kuruma davranışı deneysel olarak incelenmiştir. Deneyler sabit kurutma havası ($U=1.4$ m/s) hızında ve üç farklı sıcaklıkta (40,50 ve 60°C) konvektif bir kurutucuda yapılmıştır. Deneylerden elde edilen kuruma eğrileri, üç farklı ince tabakalı kurutma modeline yerleştirilmiş (Lewis, Henderson ve Pabis ve iki-terimli eksponansiyel) ve su kabağının kuruma davranışını tanımlamada, iki-terimli eksponansiyel ve Henderson ve Pabis modellerinin uygun olduğu belirlenmiştir. Difüzyon Deff ve kütle taşınım hm katsayılarının kurutma havası sıcaklığıyla değişimleri belirlenmiş ve artan sıcaklıkla bu katsayılarında arttığı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: *Su Kabağı, Kuruma Kinetiği, Kurutma Modelleri, Difüzyon Katsayısı, Kütle Taşınım Katsayısı*

Experimental Investigation Of Drying Kinetics Of Gourd (*Lagenaria Siceraria*)

ABSTRACT: In this study, drying behavior of gourd (*Lagenaria Siceraria*) which cut into a rectangular shape has been investigated as experimentally. Experiments have been made in a convective dryer at constant drying air velocity ($U=1.4$ m/s) and at three different drying air temperatures (40, 50, and 60° C). Drying curves obtained from the experiments put into three different thin-layer drying models (Lewis, Henderson and Pabis and two-term exponential) and to describe the behavior of the gourd drying, two-term exponential model and Henderson and Pabis determined to be appropriate. The variations of diffusion Deff and mass transfer coefficients hm with the drying air temperature have been determined and these coefficients were increased with increasing temperature.

Keywords: *Gourd (Lagenaria Siceraria), Drying Kinetics, Drying, Diffusion Coefficient, Mass Transfer Coefficient*

1. GİRİŞ

Bir çok ülkede, sezon meyveleri, işletim imkanları olmadığı için bozulup atılmaktadır. Depolama süresinin uzaması ve bozulmalara karşı son derece önemli olan işlemlerden biri de gıdaların kurutulmasıdır (Karim ve Hawlader, 2005). Kurutma; kurutma havası ile ürün arasında gerçekleşen eş zamanlı ısı ve kütle transferi işlemidir.

Kurutma işlemi iki faktöre bağlıdır. Bunlar; iç (ürün nemi, yoğunluğu, gözenekliliği v.s.) ve dış (kurutma havası hızı, sıcaklığı ve bağıl nemi) faktörlerdir. Literatürde yapılan çalışmaların çoğu dış faktörlerin, ürünlerin kuruma davranışlarına olan etkisini araştırmak üzerinedir. Literatürde, gıda ürünlerinin kuruma davranışını araştıran birçok çalışma mevcuttur. Queiroz ve Nebra (2001) muzun; Park vd. (2002) armudun; Doymaz (2004) dutun; Kaya vd (2007) ayvanın; Kaya vd. (2007) elmanın; Galvez vd (2009) yaban mersininin; Kouchakzadeh ve Shafeei (2010) fıstığın; Doymaz ve Gol (2011) patlıcanın; Doymaz (2013) armudun; Ortiz v.d. (2013) sarımsağın ve Purkayastha vd. (2013)

domatesin kuruma davranışını deneysel olarak araştırmışlardır.

Literatürde yapılan araştırmalarda, sezonluk yetişen su kabağının (*Lagenaria Siceraria*) Kuruma davranışının henüz incelenmediği tespit edilmiştir. Bu çalışmada; tasarlanarak imal edilen bir konvektif kurutucuda, farklı sıcaklıklarda su kabağının kuruma davranışı ve kütle transferi parametreleri (difüzyon ve kütle taşınım) araştırılmıştır.

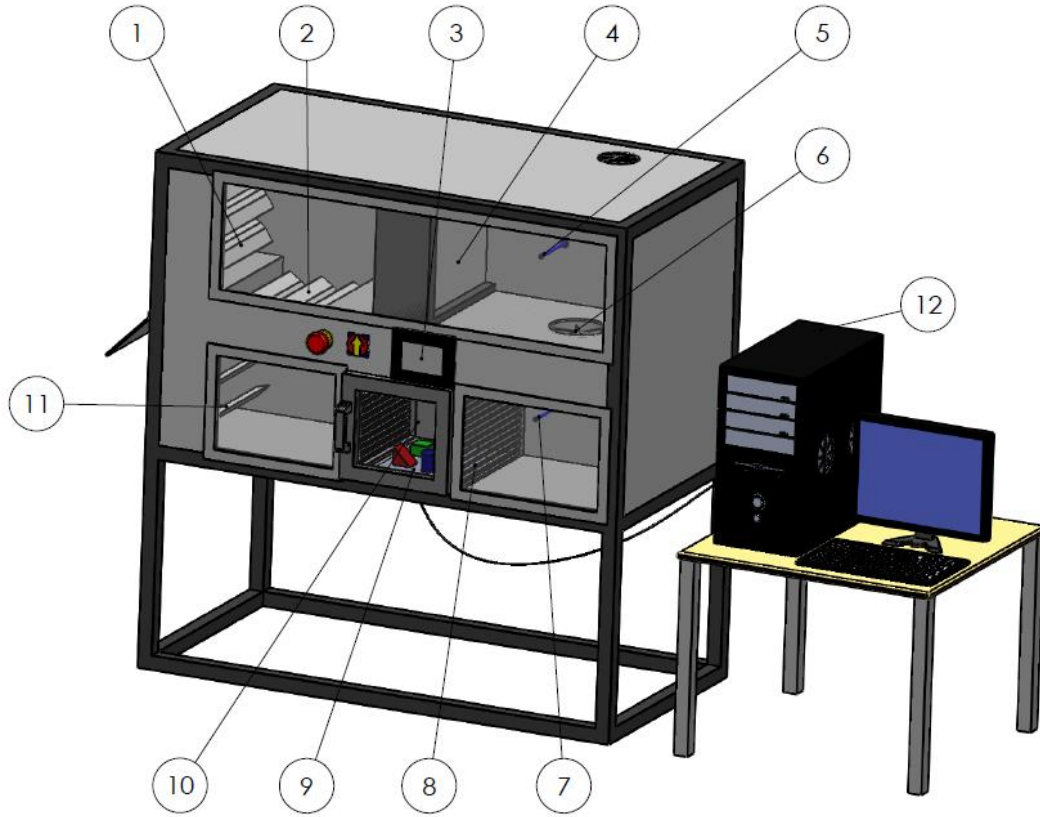
2. DENEYSEL ÇALIŞMA

Çalışmada kullanılan konvektif kurutucunun şematik gösterimi Şekil 1'de verilmiştir. Deney düzeneği, hızı kontrol edilebilir fan, ısıtıcı, hava giriş damperi, hava çıkış damperi ve taze hava ile kullanılmış havanın belirli ölçekte karıştırıldığı karışım odacığı, test bölgesi, hassas terazi, veri okuma ve kaydetme sistemi ile bilgisayardan oluşmaktadır. Isı yalıtımı iyi bir şekilde yapılan konvektif kurutucuda, proses boyunca test bölgesinde kurutma havası hızı ve sıcaklığı sabit tutulmaktadır. Bu amaçla konvektif kurutucuda hız ve sıcaklık kontrol üniteleri kullanılmıştır.

*Sorumlu Yazar: Ahmet KAYA, ekaya38@gmail.com

Test bölgesinde, akışa paralel olarak yerleştirilmiş ve sızdırmazlığı iyi bir şekilde sağlanmış olan hassas terazi bulunmaktadır. Hassas terazideki anlık kütle değişimleri ile sıcaklık ve bağıl nem değişimleri, istenen periyotlarda doğrudan bilgisayara kaydedilebilmesi bilgisayar yazılımı ile sağlanmıştır. Ayrıca bu değerler konvektif kurutucu üzerinde bulunan PLC okuyucu ile de takip edilebilmektedir. Konvektif kurutucu üzerinde bulunan PLC okuyucuda, test bölgesi içindeki istenilen hız ve sıcaklık değerleri girilmekte ve kurutma süresi

boyunca bu değerler sabit tutulmaktadır. Beş farklı bölgeye yerleştirilen hız, sıcaklık ve bağıl nem sensörleri ile kurutma işlemi takip edilebilmekte, değerler istenen periyotlarda bilgisayara doğrudan kaydedilebilmekte ve PLC okuyucu ekrandan da görülebilmektedir. Yerel bir marketten alınarak 40C'deki buzdolabında saklanan su kabağı, dikdörtgen şeklinde dilimlenerek (35 mm x 40 mm x 60 mm) hassas terazi üzerine yerleştirilmiş ve her 30 dakikada bir ölçüm alınmıştır. Su kabağının ilk nem içeriği, nem tayin cihazıyla belirlenmiştir.

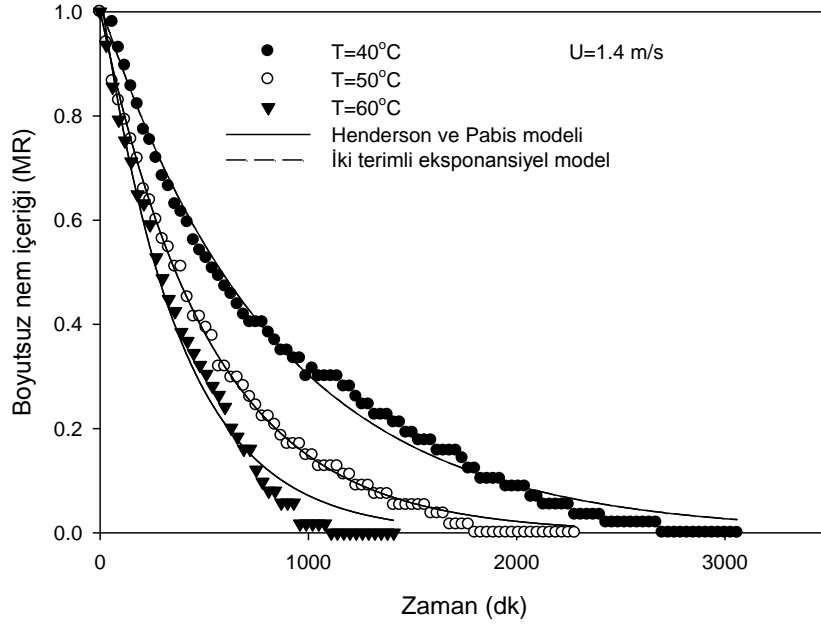


1) Taze hava giriş damperi, 2) Karışım damperi, 3) PLC okuyucu, 4) Isıtıcı / Rezistans (5-7) Sıcaklık, Nem ölçerler ve Hava hız sensörü 6) Fan 8) Akış düzenleyici 9) Hassas terazi 10) Test bölgesi 11) Egzoz damperi 12) Bilgisayar
Şekil 1. Deneyde Kullanılan Konvektif Kurutucu

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Kurutma işlemine başlamadan önce, sistem yaklaşık 30 dakika kadar çalıştırılarak istenilen sıcaklık değerine ulaşılmıştır. Su kabağının ilk nem içeriği % 96.11 y.m. (24.70 kg H₂O/kg k.m.) olarak belirlenmiştir. Deneyler, sabit kurutma havası hızında (1.4 m/s) ve üç farklı sıcaklıkta (40, 50 ve 60oC) gerçekleştirilmiştir. Kurutma işlemi, üründe kütle değişimi olmayıncaya kadar devam etmiştir. Her deney en az üç kez tekrarlanarak ortalama değerler alınmıştır. Her deneyde hassas teraziye 300 g ağırlığında ürün konulmuştur.

Şekil 2'de kurutma havası sıcaklığının kuruma süresine etkisi gösterilmiştir. Kurutma havası sıcaklığının 40oC den 60oC ye yükseltilmesi ile toplam kurutma süresinin %53 oranında azaldığı tespit edilmiştir. Kurutma havası sıcaklığının yükselmesiyle hem difüzyon hem de kütle transferinin hızlandığı bilinmektedir (Kaya vd., 2007b, c, d; Kaya 2008). Bu etkiler, ürünün daha çabuk kurumasına sebep olmaktadır.



Şekil 2. Boyutsuz Nem İçeriğinin Kuruma Süresiyle Değişiminin Deneysel ve Modellerle Karşılaştırılması

Tablo 1’de verilen ince tabakalı kurutma modelleri, dikdörtgen şeklinde kesilen su kabağının kuruma davranışını tanımlamada kullanılmıştır.

Deneysel olarak elde edilen veriler, kurutma modellerine yerleştirilmiş ve regresyon analiziyle kurutma katsayıları tespit edilmiştir (Tablo 2).

Tablo 1. Kurutma Modelleri

Model ismi	Denklem	Referans
Lewis	$MR = \exp(-kt)$	Lewis (1921)
Henderson ve Pabis	$MR = a \exp(-kt)$	Henderson ve Pabis (1961)
İki-terimli eksponansiyel	$MR = a \exp(-k_0t) + b \exp(-k_1t)$	Sharaf-Eldeen vd. (1980)

MR, boyutsuz nem içeriği; a, b kurutma katsayıları; k, k_0 and k_1 , kurutma sabitleri; t, kurutma süresi

Regresyon analizinde, bir bilgisayar programı olan Sigma Plot kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre kurutma modellerinde önemli bir parametre olan kurutma sabitlerinin (k) sıcaklıkla arttığı görülmüştür.

Matematiksel model sonuçlarından Henderson ve Pabis modeli ile iki-terimli eksponansiyel modelin su kabağının kuruma davranışını tanımlamada kullanılabileceği görülmüştür.

Tablo 2. Kurutma Sabit ve Katsayılarının Kurutma Havası Sıcaklığı ile Değişimi

Model ismi	katsayılar	T=40°C	R ²	T=50°C	R ²	T=60°C	R ²
Lewis	k (1/dk)	0.0012	0.9924	0.0019	0.9970	0.0026	0.9845
Henderson ve Pabis	a	1.0143	0.9926	1.0019	0.9970	1.0411	0.9862
	k (1/dk)	0.0012		0.0019		0.0027	
İki-terimli eksponansiyel	a	0.4958	0.9926	0.5055	0.9970	0.5345	0.9862
	k_0 (1/dk)	0.0012		0.0019		0.0027	
	b	0.5185		0.4964		0.5066	
	k_1 (1/dk)	0.0012		0.0019		0.0027	

Şekil 2' de ayrıca deneysel ve model sonuçları da gösterilmiştir. Deneysel ve model sonuçlarının iyi bir uyum yakaladığı görülmektedir.

Kurutmada önemli parametrelerden biri olan difüzyon katsayısı, su kabağı için farklı sıcaklıklarda

$$MR = \frac{M - M_e}{M_i - M_e} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp\left(-\frac{(2n+1)^2 \pi^2 D_{eff} t}{4L^2}\right) \quad (1)$$

Burada MR boyutsuz nem içeriği, M zamanla değişen ürün nem içeriği, Mi ilk nem içeriği, Me ürünün verilen sıcaklıktaki denge nem içeriği (kurutma sonundaki nem içeriği), Deff difüzyon katsayısı (m²/s), L kurutulan ürünün yarı kalınlığıdır. Bu denklem serinin ilk terimi alınarak basitleştirilebilir (Doymaz, 2013);

$$MR = \frac{M - M_e}{M_i - M_e} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \exp\left(-\frac{\pi^2 D_{eff} t}{4L^2}\right) \quad (2)$$

hesaplanmıştır. Hesaplamada, literatürde yaygın olarak kullanılan Fick difüzyon denklemi kullanılmıştır (Doymaz, 2013). Difüzyon katsayısının sabit, ilk nem içeriğinin homojen olduğu dikdörtgen şeklinde kesilen su kabağı için bu denklem Crank tarafından aşağıdaki gibi elde edilmiştir (Crank, 1975).

Eşitlik (2)'de verilen denklemin regresyon analizi ile çözülmesiyle difüzyon katsayısı Deff elde edilmiştir. Her bir sıcaklık durumu için denklem çözülmüş ve elde edilen sonuçlar Tablo 3'te gösterilmiştir. Sıcaklığın artmasıyla Deff'in arttığı ve kurutma mekanizmasını da hızlandırdığı görülmektedir. Elde edilen bu değerlerin, literatürde gıda ürünleri için belirlenen 10-8 ile 10-12 m²/s aralığında olduğu tespit edilmiştir (Doymaz, 2013).

Tablo 3. Difüzyon ve Kütle Taşınım Katsayılarının Kurutma Havası Sıcaklığının Etkisi

	T=40°C	R ²	T=50°C	R ²	T=60°C	R ²
D _{eff} (m ² /s) x10 ⁹	2.489	0.986	3.820	0.987	6.048	0.990
h _m (m/s) x10 ⁷	1.736	0.99	2.781	0.997	3.759	0.984

Yüzeyden transfer edilen kütle miktarının, transfer edilme hızı ile alakalı olan kütle taşınım katsayısı farklı sıcaklık koşulları için belirlenmiştir. Ürün içindeki nem içeriğinin zamana bağlı bir süreçte her noktada aynı olduğu kabulüne dayanarak (Incropera ve DeWitt, 1990);

$$V \frac{dM}{dt} = -h_m A (M_i - M_e) \quad (3)$$

Yukarıdaki denklemin çözümü ile hm, regresyon analizi yardımıyla belirlenir.

$$MR = \frac{M - M_e}{M_i - M_e} = \exp\left(-\frac{hmA}{V} t\right) \quad (4)$$

Dikdörtgen şekilli ürünlerde değeri yarı kalınlık olarak alınır (Incropera ve DeWitt, 1990).

Teşekkür

Bu çalışma; KSÜ Rektörlüğü Bilimsel Araştırma Projeleri Birimince 2013/3-38M nolu proje ile desteklenmiştir.

Semboller

A	kurutulan ürünün yüzey alanı [m ²]
a	kurutma katsayısı
b	kurutma katsayısı
D _{eff}	difüzyon katsayısı [m ² /s]
h _m	kütle taşınım katsayısı [m/s]
k ₀	kurutma sabiti [1/dk]
k ₁	kurutma sabiti [1/dk]
k.m.	kuru madde
L	kurutulan ürünün kalınlığı [m]
MR	boyutsuz nem içeriği MR=(M-Me) / (Mi -Me)
M	t anındaki nem içeriği [kg H ₂ O/kg k.m.]
Me	denge nem içeriği [kg H ₂ O /kg k.m.]
Mi	ilk nem içeriği [kg H ₂ O /kg k.m.]
R ²	korelasyon katsayısı
t	zaman [dk]
T	sıcaklık [°C]
U	hız [m/s]
V	kurutulan ürünün hacmi [m ³]
y.m.	yaş madde
k.m.	kuru madde

4. KAYNAKLAR

- [1]. Crank, J., 1975, *The Mathematics of Diffusion*, Oxford University Press, London.
- [2]. Galvez, A.V., Mondaca, L.R., Ireland, T.C., Miranda, M., Yagnam, F., 2009. Kinetic study of convective drying of blueberry variety o'neil (*vaccinium corymbosum* l.), *Chil. J. Agr. Res.*, 69, 171-178.
- [3]. Doymaz, I., 2004, Drying Kinetics of White Mulberry, *J.Food Eng.*, 61, 341-346.
- [4]. Doymaz, I., 2013, Experimental study on drying of pear slices in a convective dryer, *Int. J. Food Sci. Tech.*, 48, 1909–1915.
- [5]. Doymaz I., Gol E., 2011, Convective drying characteristics of eggplant slices, *J. Food Process. Eng.*, 34, 1234–1252.
- [6]. Henderson, S.M., Pabis, S., 1961, Grain drying theory. II. Temperature effects on drying coefficients, *J. Agr. Eng. Resource*, 6, 169–174.
- [7]. Incropera, F.P., De Witt, D.P., 1990, *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, John Wiley&Sons, New York.
- [8]. Lewis, W.K., 1921, The rate of drying of solid materials, *J. Ind. Eng. Chem.*, 13(5) (1921) 427–432.
- [9]. Karim, M.A., Hawlader, M.N.A., 2005, Mathematical modeling and experimental investigation of tropical fruits drying, *Int. J. Heat Mass Tran.*, 48, 4914-4925.
- [10]. Kaya, A., Aydın, O., Demirtas, C., Akgün, M., 2007, An experimental study on the drying kinetics of quince, *Desalination*, 212, 328-243.
- [11]. Kaya, A., Aydın, O., Demirtas, C., 2007, Drying kinetics of red delicious apple, *Biosyst. Eng.*, 96(4), 517-524.
- [12]. Kouchakzadeh, A., Shafeei, S., 2010, Modeling of microwave-convective drying of pistachios, *Energ. Convers. Manage.*, 51, 2012–2015.
- [13]. Ortiz, A. L., Ramírez, J. R., Lagunas, L.L. M., 2013, Effects of drying air temperature on the structural properties of garlic evaluated during drying, *Int. J. Food Prop.*, 16, 1516–1529.
- [14]. Park, K.J., Bin, A., Brod, F.P.R., 2002, Drying of pear d'Anjou with and without osmotic dehydration, *J. Food Eng.*, 56, 97–103.
- [15]. Purkayastha, M.D., Nath, A., Deka, B.C., Mahanta, C.L., 2013, Thin layer drying of tomato slices, *J. Food Sci. Tech.*, 50(4), 642-653.
- [16]. Sharaf-Eldeen, Y.I., Blaisdell, J.L., Hamdy, M.Y., 1980, A model for ear corn drying, *Trans. ASAE*, 23, 1261–1271.
- [17]. Queiroz, M.R., Nebra, S.A., 2001, Theoretical and experimental analysis of the drying kinetics of Bananas, *J. Food Eng.*, 47, 127-132, 2001.