

## TRABZON HURMASININ (DIOSPYROS KAKI L.) KURUMA DAVRANIŞININ DENEYSSEL İNCELENMESİ

Ahmet Kaya\*, Muhammed Safa Kamer, H. Emre Şahin

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş

Geliş tarihi / Received: 14.06.2014

Düzeltilerek Geliş tarihi / Received in revised form: 05.08.2014

Kabul tarihi / Accepted: 18.08.2014

### Özet

Bu çalışmada, Kahramanmaraş'ta yetişen Trabzon hurmasının kuruma davranışı deneysel olarak incelenmiştir. Deneyler üç farklı hız (0.5, 1.0 ve 1.5 m/s) ve üç farklı sıcaklıkta (40, 50 ve 60 °C) konvektif bir kurutucuda yapılmıştır. Elde edilen kuruma eğrileri, literatürde kullanılan üç farklı ince tabakalı kurutma modeline yerleştirilmiştir (Lewis, Henderson-Pabis ve iki terimli eksponansiyel). Hurmanın kuruma karakteristiğini tanımlamada iki-terimli eksponansiyel ve Henderson-Pabis modellerinin uygun olduğu belirlenmiştir. Difüzyon  $D_{eff}$  ve kütle taşınım  $h_m$  katsayılarının kurutma havası sıcaklığıyla değişimleri belirlenmiş ve artan sıcaklıkla bu katsayılarında arttığı tespit edilmiştir. Ayrıca kurutma havası sıcaklığının hurmanın renk değişimi, su aktivitesi ve protein değişimine olan etkisi de belirlenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Trabzon hurması, kuruma kinetiği, kurutma modelleri, difüzyon katsayısı, kütle taşınım katsayısı, renk analizi.

## EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF DRYING KINETICS OF TRABZON PERSIMMON (DIOSPYROS KAKI L.)

### Abstract

In this study, drying behavior of Trabzon persimmon (Diospyros kaki L.) which grown in Kahramanmaraş has been investigated as experimentally. Experiments have been made in a convective dryer at three different drying air velocity ( $U=0.5$  m/s, 1.0 m/s and 1.5 m/s) and at three different drying air temperatures (40, 50, and 60 °C). The experimental moisture data were fitted to some thin layer models (namely Henderson-Pabis, Lewis and two-term exponential models) available in the literature. The two-term exponential and Henderson - Pabis models were found to describe the drying characteristics of persimmon better. The variations of diffusion  $D_{eff}$  and mass transfer coefficients  $h_m$  with the drying air velocity and drying air temperature have been determined and these coefficients were increased with increasing velocity and temperature. Also, effect of the drying air temperature on change of color, water activity and protein of persimmon was determined.

**Keywords:** Trabzon persimmon (Diospyros kaki L.), drying kinetics, drying models, diffusion coefficient, mass transfer coefficient, color analyses

\*Yazışmalardan sorumlu yazar / Corresponding author;

✉ ekaya38@gmail.com, ☎ (+90) 344 280 1694,

☎ (+90) 344 280 1602

## 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 (1). Kurutma; kurutma havası ile ürün arasında gerçekleşen eş zamanlı ısı ve kütle transferi işlemidir.

"Japanese Persimmon", "Kaki" veya "Japon Elması" isimleriyle de bilinen Trabzon hurması, başta Akdeniz Bölgesi olmak üzere Karadeniz, Ege ve Marmara bölgelerinde üretilmektedir (2). Türkiye'de Trabzon hurmasının yıllık üretimi 24302 ton'dur (3). Ortalama 500 g ağırlığında olan bu meyve yuvarlak şekle sahiptir. Yüzeyi pürüzsüz, kabuğu ince ve parlak, rengi sarıdan kırmızıya ya da turuncuya dönüşen bir meyvedir. Trabzon hurmasının tadı "buruk" ve "buruk olmayan" olmak üzere ikiye ayrılır (4).

Trabzon hurmasının kolesterolü azalttığı, bağışıklık sistemini güçlendirdiği, sindirim sistemini hızlandırdığı ve kanseri önlemeye yardımcı olduğu yapılan çalışmalarla ortaya konulmuştur (5, 6). Kullanım süresini artırmak amacıyla birçok gıda ürünü olduğu gibi Trabzon hurmasının da kuruma davranışı farklı araştırmacılar tarafından incelenmiştir. Zorlugenç (3) Türkay çeşidi buruk Trabzon hurmasının sakaroz, glikoz ve maltoz çözümleri içerisindeki ozmotik dehidrasyon davranışlarını inceleyerek çözelti konsantrasyonu, bileşimi ve sıcaklık gibi işlem parametrelerinin kütle transfer mekanizması üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Ayrıca, ozmotik dehidrasyon ve sonrasında uygulanan kurutma işleminin hurmaların kuruma davranışı, sorpsiyon ve kalite özellikleri üzerine etkilerini de incelemiştir. Karakasova vd. (4) hurmanın güneş altında kurutulmasıyla antioksidan özelliklerinde (C vitamini, sitrik asit ve potasyum) meydana gelen değişimleri incelemiştir. Bölek ve Obuz (6) Trabzon hurmasının kuruma kalitesini belirlemek amacıyla, ince dilimler halindeki ürünü 6 saat 50 °C'de, 4 saat 65 °C'de ve 3 saat 80 °C'de kurutmuşlardır. Ürüne farklı ozmotik işlemler uygulayarak yapılan bu kurutma yöntemi ile üründeki renk ve besin değerlerinin değişimleri araştırılmıştır. Park vd. (7) hurmanın kuruma davranışını doğrudan güneş altında doğal ve ozmotik çözeltide işleme tabii tutulan durumlar için incelemiştir. Doymaz (8) doğal ve kimyasal çözeltiye daldırılarak işleme tabii tutulmuş hurmanın

kuruma davranışını farklı sıcaklıklar için araştırarak kurutma katsayılarını belirlemiştir.

Bu çalışmada, tasarlanarak imal edilen bir konvektif kurutucuda hurma dilimlerinin kuruma davranışı ve kütle transfer parametreleri (difüzyon ve kütle taşınım) farklı sıcaklık ve kurutma havası hızlarında araştırılmıştır. Ayrıca kurutma havası sıcaklığının hurma dilimlerinin renk değişimi, su aktivitesi ve protein değerlerine olan etkisi de incelenmiştir.

## MATERYAL VE YÖNTEM

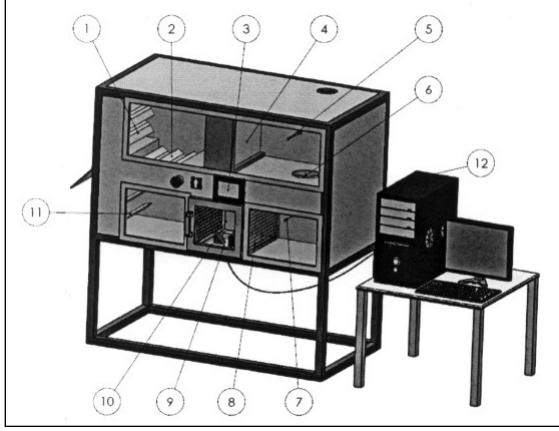
### Malzeme

Yaklaşık aynı büyüklükte olan ve aynı cinsteki hurma (buruk olmayan hurma çeşidi) yerel bir marketten alınarak 4 °C sıcaklığa sahip soğutucuda saklanmıştır. Kurutma işlemi için hurmaların çekirdekleri çıkartılmış, dilim kalınlığı 1 cm olacak şekilde kesilerek hassas terazi üzerine yerleştirilmiştir. Konvektif kurutucu her deney öncesinde 30 dakika kadar çalıştırılarak dengeye gelmesi sağlanmış ve sonrasında ölçümlere başlanmıştır. Yapılan her bir deney için her 30 dakikada bir ölçüm alınmış ve doğrudan bilgisayara kaydedilmiştir. Hurmanın ilk nem içeriği, OHAUS marka infrared nem tayin cihazıyla belirlenmiştir.

### Deney Düzenegi

Çalışmada kullanılan konvektif kurutucunun şematik gösterimi Şekil 1'de verilmiştir. Deney düzenegi, hızı kontrol edilebilir fan, ısıtıcı, hava giriş damperi, hava çıkış damperi ve taze hava ile kullanılmış havanın belirli oranda karıştırıldığı karışım odacığı, test bölgesi, hassas terazi, sıcaklık ve nem ölçerler, akış düzenleyici, 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.

Test bölgesinde, akışı bozmayacak şekilde yerleştirilmiş ve sızdırmazlığı iyi bir şekilde sağlanmış olan hassas terazi bulunmaktadır. Test bölgesi içindeki hız, bağıl nem ve sıcaklık değişimleri ile hassas terazideki anlık kütle değişimleri, belirlenen periyotlarda, bir yazılım programı aracılığıyla doğrudan bilgisayara kaydedilebilmektedir. Ayrıca bu değerler konvektif kurutucu üzerinde bulunan PLC ekranı ile de takip edilebilmektedir.



Şekil 1. Deneyde kullanılan konvektif kurutucu

1) Taze hava damperi, 2) Karışım damperi, 3) PLC okuyucu, 4) Isıtıcı (5-7) Sıcaklık ve Nem ölçerler ve hız sensörü 6) Fan 8) Akış düzenleyici 9) Hassas terazi 10) Test bölgesi 11) Egzoz damperi 12) Bilgisayar

Figure 1. Convective dryer used in the experiment  
1) Fresh air damper, 2) Mixing damper, 3) PLC monitor, 4) Heater (5-7) Temperature and Humidity meters and velocity sensor, 6) Fan 8) Flow regulator 9) Precision balance 10) Test section 11) exhausting damper 12) Computer

Konvektif kurutucu üzerinde bulunan PLC ekranında, 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 ekranından da görülebilmektedir.

Kurutma işlemine başlamadan önce, sistem yaklaşık 30 dakika kadar çalıştırılarak sistemin dengeye gelmesi sağlanmıştır. Hurmanın ilk nem içeriği % 75.20 y.m. (3.03 kg H<sub>2</sub>O/kg k.m.) olarak belirlenmiştir. Deneyler, üç farklı kurutma havası hızında (0.5m/s, 1.0 m/s ve 1.5 m/s) ve üç farklı sıcaklıkta (40, 50 ve 60 °C) gerçekleştirilmiştir. Kurutma işlemine, üründe kütle değişimi olmayıncaya kadar devam edilmiştir (verilen sıcaklıkta denge nem değeri). Her deney en az

üç kez tekrarlanarak ortalama değerler alınmıştır. Her deneyde hassas teraziye 300 g ağırlığında, çekirdekleri çıkartılmış 1 cm kalınlığındaki hurma dilimleri konulmuştur.

### Kurutma Eğrilerinin Matematiksel Modellere Uyarlanması

Boyutsuz nem oranı aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır.

$$MR = \frac{M - M_e}{M_i - M_e} \quad (1)$$

Burada M zamanla değişen ürün nem içeriği, M<sub>i</sub> ilk nem içeriği, M<sub>e</sub> ürünün verilen sıcaklıktaki denge nem içeriğidir (kurutma sonundaki nem içeriği). Çizelge 1’de verilen üç farklı ince tabakalı kurutma modeli, 1 cm kalınlığında dilim şeklinde kesilen hurmanın kuruma davranışını tanımlamada kullanılmıştır.

Deneyel verilerden faydalanarak kurutma katsayıları ile difüzyon ve kütle taşınım katsayılarını elde etmede bir bilgisayar programı olan Sigma Plot kullanılmıştır. Elde edilen değerlerin kullanılabilirliğini sorgulamada korelasyon katsayısı R<sup>2</sup> ve tahmini standart hata önemli kriterlerdir (9, 10). Korelasyon katsayısı R<sup>2</sup>

$$R^2 = \frac{SSR}{SST} = 1 - \frac{SSE}{SST} \quad (2)$$

Tahmini standart hata (SEE)

$$SEE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (MR_{deneysel,i} - MR_{hesaplanan,i})^2}{N}} \quad (3)$$

### Difüzyon katsayısının belirlenmesi

Kurutmada önemli parametrelerden biri olan difüzyon katsayısı, hurma dilimi için farklı hız ve sıcaklıklarda hesaplanmıştır. Hesaplama Fick difüzyon denklemi kullanılmıştır. Difüzyon katsayısının sabit, ilk nem içeriğinin homojen olduğu dilim şeklinde kesilen hurma için bu denklem Crank tarafından aşağıdaki gibi elde edilmiştir (11).

Çizelge 1. Kurutma modelleri  
Table 1. Drying models

Model ismi Model Name	Denklem Equation	Referans Reference
Lewis	MR=exp(-kt)	Lewis (19)
Henderson-Pabis	MR=a exp(-kt)	Henderson ve Pabis (20)
İki-terimli eksponansiyel Two-term exponential	MR=a exp(-k <sub>0</sub> t) + b exp(-k <sub>1</sub> t)	Sharaf-Eldeen vd. (21)

MR, nem oranı; a, b kurutma katsayıları; k, k<sub>0</sub> and k<sub>1</sub>, kurutma sabitleri; t, kurutma süresi  
MR, moisture ratio; a, b drying coefficients; k, k<sub>0</sub> and k<sub>1</sub>, drying constant; t, drying tim

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

Burada Deff difüzyon katsayısı (m<sup>2</sup>/s), L kurutulan ürünün yarı kalınlığı, t kurutma süresidir. Bu denklem serinin ilk terimi alınarak basitleştirilebilir (8);

$$MR = \frac{M - M_e}{M_i - M_e} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \exp\left(-\frac{\pi^2 D_{eff} t}{4L^2}\right) \quad (5)$$

(5) numaralı denkleme regresyon analizi uygulanarak difüzyon katsayısı elde edilmiştir.

#### Kütle Taşınım Katsayısının Belirlenmesi

Yüzeyden transfer edilen kütle miktarı kütle taşınım katsayısı ile doğrudan alakalıdır. Hurma diliminin kütle taşınım katsayısına kurutma havası hızı ve sıcaklığının etkisi araştırılmıştır. Ürün nem içeriğinin zamana bağlı bir süreçte her noktada aynı olduğu kabulüne dayanarak (12);

$$V \frac{dM}{dt} = -h_m A (M_i - M_e) \quad (6)$$

(5) numaralı denklem düzenlenirse;

$$MR = \frac{M - M_e}{M_i - M_e} = \exp\left(-\frac{h_m A}{V} t\right) \quad (7)$$

elde edilir. Dikdörtgen şekilli ürünlerde V/A değeri yarı kalınlık olarak alınmıştır (12). (7) numaralı denkleme regresyon analizi uygulanarak h<sub>m</sub> değeri belirlenmiştir.

#### Renk, Su Aktivitesi ve Protein Analizi

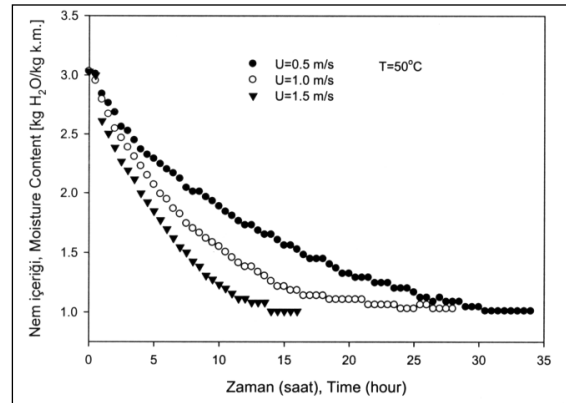
Yaş ve kuru hurma dilimlerinin renkleri Hunter-Lab renk ölçüm cihazı ile ölçülmüştür. Renk ölçüm işlemi, cihazın beyaz plakaya karşı kalibre edilmesinden sonra yapılmıştır. Renk ölçümü esnasında "L\*", "a\*" ve "b\*" değerleri elde edilmiş olup, "L\*" parametresinin artması parlaklıktan koyuluğa, "a\*" değerinin artması kırmızılığa, azalması ise yeşillığe, "b\*" parametresinin artması sarılığa, azalması ise maviliğe gidişi göstermektedir (3, 13).

Yaş ve kuru gıdaların işlenmeleri ve depolanmaları aşamalarında görülen bozulmalar ve kalite kayıpları, gıda ürünlerinin su aktivite değerlerinin bilinmeleri ile önlenabilir (3). Belirli bir bağlı nem ve sıcaklık değerine sahip bir ortamda bulunan ürünün sahip olabileceği denge nem içeriği ile su aktivitesi doğrudan alakalıdır. Su aktivitesi yaş ve kuru ürünlerin depolama koşullarının doğru bir şekilde belirlenmesinde son derece önemlidir. Yaş ve kurutulmuş hurmalara ait su aktivite (a<sub>w</sub>) değerleri Aqua-Lab (standart) model su aktivitesi ölçüm cihazı kullanılarak belirlenmiştir.

Yaş ve kurutulmuş hurmanın protein içeriğindeki değişim, Kjeldahl yöntemi kullanılarak Velpudk 127 model destinasyon cihazı ile belirlenmiştir.

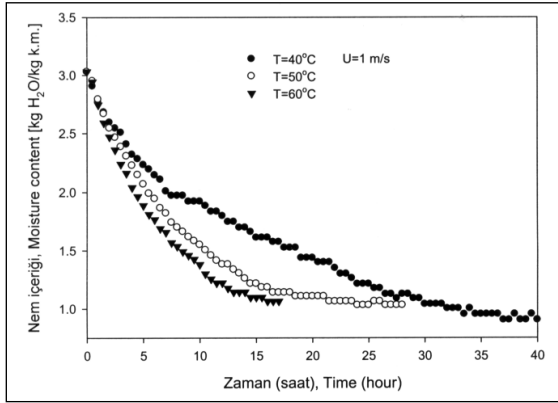
## BULGULAR ve TARTIŞMA

Dilim şeklinde kesilen Trabzon hurmasının kuruma davranışı farklı hız ve sıcaklıklarda araştırılarak difüzyon ve kütle taşınım katsayıları araştırılmıştır. Şekil 2'de kurutma havası hızının kuruma süresine etkisi gösterilmiştir. Sabit sıcaklıkta tutulan (50 °C) kurutma havası hızının artması ısı transfer katsayısını da artırmıştır. Ayrıca kurutma havası hızının artması dilim şeklinde kesilen hurma yüzeyi ile ortam havası arasında olan ısı ve kütle taşınımını da artırmaktadır. Hurma yüzeyinin nemi yüksek olduğundan, eş zamanlı ısı ve kütle taşınımının artması kurutma süresinin azalmasına sebep olacaktır. Hızın 0.5 m/s'den 1.5 m/s'ye yükseltilmesiyle kurutma süresinin yaklaşık %53 oranında azaldığı tespit edilmiştir.



Şekil 2. Kurutma havası hızının kuruma davranışı üzerine etkisi  
Figure 2. The effect of drying air velocity on drying behavior

Şekil 3'te kurutma havası sıcaklığının kuruma süresine etkisi gösterilmiştir. Kurutma havası hızının 1 m/s'de sabit tutulup sıcaklığın 40 °C den 60 °C ye yükseltilmesi ile toplam kurutma süresinin %57.5 oranında azaldığı tespit edilmiştir. Kurutma havası sıcaklığı ve hızının kuruma süresine etkisi incelendiğinde, kurutma havası sıcaklığının daha etkin olduğu tespit edilmiştir. Kurutma havası sıcaklığının yükselmesiyle hem difüzyon katsayısı hem de ürün yüzeyi ile ortam havası arasında meydana gelen eş zamanlı ısı ve kütle transferi artmaktadır (14,15). Hem difüzyon hem de taşınım etkilerinin artmasıyla kurutma süresinde önemli ölçüde azalma sağlanmaktadır.



Şekil 3. Kurutma havası sıcaklığının kuruma davranışı üzerine etkisi

Figure 3. The effect of drying air temperature on drying behavior

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

DeneySEL veriler Lewis, Handerson-Pabis ve İki-terimli Ekspansiyel modellerine yerleştirilerek kurutma katsayıları ve kurutma sabitleri elde edilmiştir. Modellerin uygulanabilirliğinde en önemli istatistiki parametrelerden olan korelasyon katsayısı ( $R^2$ ) ve tahmini standart sapmalar (SEE) her deney sonucuna göre belirlenmiş ve Çizelge 2 ve Çizelge 3'te gösterilmiştir. Her üç modelin uygulanmasıyla elde edilen  $R^2$  değerinin, modelin

uygulanabilirlik kriteri olan 0.98'den büyük olduğu tespit edilmiştir (10). Her bir deney sonucunun Handerson-Pabis ve İki-terimli ekspansiyel modellerine uygulanmasıyla elde edilen  $R^2$  değerlerinin Lewis modelinin uygulanmasıyla elde edilen  $R^2$  değerlerinden büyük olduğu tespit edilmiştir.  $R^2$  değerlerinin Handerson-Pabis ve İki-terimli ekspansiyel modellerinde 0.9858 ile 0.9947 arasında; Lewis modellerinde ise 0.9807 ile 0.9933 aralığında olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 2 ve 3 incelendiğinde, elde edilen istatistiki parametreler ışığında 40-60 °C sıcaklıkları ve 0.5-1.5 m/s hız değerleri arasında Henderson-Pabis ve İki-terimli Ekspansiyel modellerin hurmanın kuruma davranışını belirlemede oldukça iyi sonuçlar verdiği söylenebilir. Ayrıca bütün kurutma modellerinde önemli bir parametre olan kurutma sabitlerinin (k) hız ve sıcaklıkla arttığı görülmüştür. Şekil 4 ve 5'te, deneySEL olarak elde edilen boyutsuz nem içeriği ile model sonuçları karşılaştırılmıştır. Şekillerden görüldüğü gibi her iki modelden elde edilen sonuçlar ve deneySEL sonuçlar oldukça uyumludur. Benzer sonuçlara literatürde farklı gıda ürünleri için de rastlanmıştır (16-18).

(4) numaralı denkleme regresyon analizi uygulanarak hız ve sıcaklığın değişimine göre difüzyon katsayısı  $De_{eff}$  elde edilmiştir. Elde edilen

Çizelge 2. Kurutma sabit ve katsayılarının kurutma havası hızı ile değişimi (T=50 °C sabit)

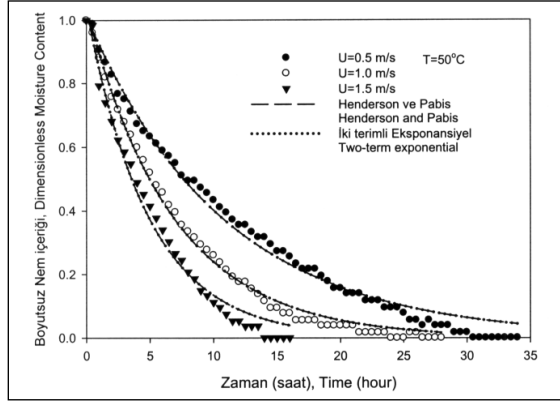
Table 2. Variation of drying constant and coefficients with the drying air velocity (T = 50 °C constant)

Model ismi Model Name	Katsayılar Coefficients	U=0.5m/s	$R^2$	SEE	U=1.0 m/s	$R^2$	SEE	U=1.5 m/s	$R^2$	SEE
Lewis	k (1/saat)	0.0913	0.9881	0.0305	0.1417	0.9933	0.0231	0.1975	0.9838	0.0380
Henderson-Pabis	a	1.0142	0.9883	0.0304	1.0390	0.9947	0.0207	1.0425	0.9858	0.0362
	k (1/ saat)	0.0926			0.1470			0.2056		
İki-terimli eksponansiyel Two-term exponential	a	0.5087	0.9883	0.0309	0.5340	0.9947	0.0211	0.5376	0.9858	0.0374
	$k_0$ (1/ saat)	0.0926			0.1470			0.2056		
	b	0.5055			0.5051			0.5049		
	$k_1$ (1/ saat)	0.0926			0.1470			0.2056		

Çizelge 3. Kurutma sabit ve katsayılarının kurutma havası sıcaklığı ile değişimi (U= 1 m/s sabit)

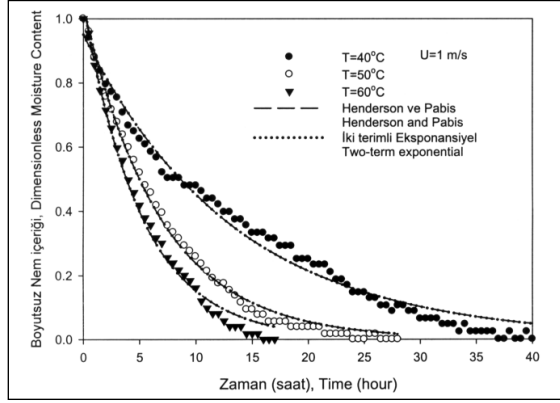
Table 3. Variation of drying constant and coefficients with the drying air temperature (U= 1 m/s constant)

Model ismi Model Name	Katsayılar Coefficients	T=40°C	$R^2$	SEE	T=50°C	$R^2$	SEE	T=60°C	$R^2$	SEE
Lewis	k (1/saat)	0.0785	0.9807	0.0360	0.1417	0.9933	0.0231	0.1845	0.9886	0.0317
Henderson-Pabis	a	0.9506	0.9839	0.0331	1.0390	0.9947	0.0207	1.0476	0.9910	0.0285
	k (1/ saat)	0.0745			0.1470			0.1930		
İki-terimli eksponansiyel Two-term exponential	a	0.4484	0.9839	0.0336	0.5340	0.9947	0.0211	0.5376	0.9910	0.0294
	$k_0$ (1/ saat)	0.0745			0.1470			0.1930		
	b	0.5022			0.5051			0.5100		
	$k_1$ (1/ saat)	0.0745			0.1470			0.1930		



Şekil 4. Farklı hızlar için elde edilen deneysel sonuçların modellerle karşılaştırılması

Figure 4. Experimental results obtained for different velocities compared with the models



Şekil 5. Farklı sıcaklıklar için elde edilen deneysel sonuçların modellerle karşılaştırılması

Figure 5. Experimental results obtained for different temperatures compared with the models

sonuçlar Çizelge 4 ve Çizelge 5'te gösterilmiştir. Hızın ve sıcaklığın artmasıyla eş zamanlı ısı ve kütle transferi arttığından kurutma hızlanmış ve buna bağlı olarak difüzyon katsayısı  $D_{eff}$ 'in arttığı görülmüştür. Elde edilen bu değerlerin, literatürde gıda ürünleri için belirlenen  $10^{-8}$  ile  $10^{-12}$   $m^2/s$  aralığında olduğu tespit edilmiştir (8).

Çizelge 4. Difüzyon ve kütle taşınım katsayılarının kurutma havası hızıyla değişimi ( $T=50$  °C sabit)

Table 4. Variation of diffusion and mass transfer coefficients with drying air velocity ( $T=50$  °C constant)

	U=0.5 m/s	R <sup>2</sup>	U=1 m/s	R <sup>2</sup>	U=1.5 m/s	R <sup>2</sup>
$D_{eff}$ ( $m^2/s$ ) $\times 10^{10}$	2.662	0.9864	4.264	0.9844	5.752	0.9914

Çizelge 5. Difüzyon ve kütle taşınım katsayılarının kurutma havası sıcaklığıyla değişimi (U=1 m/s sabit)

Table 5. Variation of diffusion and mass transfer coefficients with drying air temperature (U=1 m/s constant)

	T=40 °C	R <sup>2</sup>	T=50 °C	R <sup>2</sup>	T=60 °C	R <sup>2</sup>
$D_{eff}$ ( $m^2/s$ ) $\times 10^{10}$	2.212	0.9853	4.264	0.9844	5.743	0.9884
$h_m$ ( $m/s$ ) $\times 10^7$	1.111	0.9811	1.944	0.9931	2.500	0.9892

Kütle taşınım katsayısının kurutma havası hızı ve sıcaklığıyla olan değişimi Çizelge 4 ve 5'te verilmiştir. Kurutma havası hızının ve sıcaklığının artmasıyla kütle taşınım katsayısının arttığı dolayısıyla üründen taşınım ile transfer edilen kütle miktarının da arttığı ve kuruma süresini azaldığı tespit edilmiştir.

Kurutma havası sıcaklığının artmasıyla ürün renk değişimine rastlanmış, ürünün  $L^*$  parametresi ile parlaklıktan (16.35) koyuluğa doğru geçtiği (55.37);  $a^*$  parametresi ile kırmızılıktan (13.31) yeşillığe (8.95) doğru dönüştüğü ve  $b^*$  parametresi ile sarılığının arttığı görülmüştür ( $b^*$  değeri 10.84'ten 20.42'ye yükselmiştir) (Çizelge 6).

Çizelge 6. Kurutma havası sıcaklığının hurmanın renk değişimi, su aktivitesi ve protein değişimine etkisi

Table 6. Effects of colour change, water activity and protein change of persimmon with drying air temperature

Parametre	Doğal hal	T=40 °C	T=50 °C	T=60 °C
Parameter	Natural			
$L^*$	16.35	41.02	43.64	55.37
$a^*$	13.20	13.31	11.09	8.95
$b^*$	10.84	18.34	18.72	20.42
$a_w$	0.97	0.43	0.37	0.31
Protein (%)	0.90	2.42	2.80	2.90

Depolama koşullarının belirlenmesinde son derece önemli olan su aktivitesinin kurutma havası sıcaklığıyla değişimi Çizelge 6'da verilmiştir. Yaş haldeki su aktivite değeri yüksek olan hurmanın, kurutma havası sıcaklığının artmasıyla azaldığı görülmüştür. Üründeki nem gözeneklerde tutulduğundan belli bir basınç altındadır. Sıcaklığın artması hem gözenekleri küçültmekte hem de yüzey nemini hızla uzaklaştırdığından içteki nemin de yüzeye doğru çıkarak uzaklaşmasına sebep olmaktadır. Denge nemi ve su aktivite özellikleri birbirine son derece bağlı olduğundan, kurutma havası sıcaklığının değişmesi bu özellikleri değiştirir. Çizelge 6'da ürün protein içeriğinin sıcaklıkla olan değişimi de verilmiştir. Yaş haldeki hurmada

protein içeriği düşükken, ürünün farklı sıcaklıklarda kurutulmasıyla protein içeriğinin arttığı görülmüştür. Ürünün belirli bir sıcaklıkta, kurutma sonunda ulaştığı denge nemi (su aktivitesi) ile protein içeriğindeki değişimin ters orantılı olarak değiştiği belirlenmiştir.

## SONUÇLAR

Kurutma havası hızı ve sıcaklığının Kahramanmaraş'ta yetiştirilen Trabzon hurmasının kuruma davranışı ile difüzyon ve kütle transfer parametrelerine etkisi deneysel olarak araştırılmıştır. Kurutma havası hızı ve sıcaklığının artmasıyla kurutma süresinin azaldığı, difüzyon ve kütle taşınım katsayılarının arttığı belirlenmiştir. Deneysel veriler üç farklı kurutma modeline yerleştirilmiş ve Handerson-Pabis ile İki-terimli Eksponansiyel modellerinin uygun sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Ayrıca kurutma havası sıcaklığının artmasıyla üründe renk değişimine rastlanmış, su aktivitesinin azaldığı ve protein içeriğinin arttığı belirlenmiştir.

## TEŞEKKÜR

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

## KAYNAKLAR

1. Karim MA, Hawlader MNA. 2005. Mathematical modeling and experimental investigation of tropical fruits drying. *In. J Heat Mass Tran.* 48: 4914-4925
2. Karkacier M. 1998. Trabzon hurmasının (*diospyros kaki L.*) kimyasal bileşimi üzerine araştırmalar. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, Ankara.
3. Zorlugenç FK. 2010. Ozmotik dehidrasyon uygulamasının Trabzon hurması meyvelerinin kuruma davranışı ve ürün kalitesi üzerine etkileri. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı Doktora Tezi, Adana.
4. Karakasova L, Babanovska-Milenkovska F, Lazov M, Karakasov B, Stojanova M. 2013. Quality properties of solar dried persimmon (*diospyros kaki*). *J Hygienic Eng Des.* 4: 54-59.
5. Yönel S, Uylaser V, Yonak S. 2008. Trabzon hurmasının bileşimi ve besleyici değeri, Türkiye
10. Gıda Kongresi, Erzurum, Türkiye, 339-342.

6. Bölek S, Obuz E. 2014. Quality characteristics of Trabzon persimmon dried at several temperatures and pretreated by different methods. *Turk J Agric For.* 38: 1-8.
7. Park YS, Jung ST, Kang SG, Licond ED, Ayala ALM, Tapia MS, Belloso OM, Trakhtenberg S, Gorinstei S. 2006. Drying of persimmons (*Diospyros kaki L.*) and the following changes in the studied bioactive compounds and the total radical scavenging activities. *LWT- Food Sci Technol.* 39: 748-755.
8. Doymaz I. 2012. Evaluation of some thin-layer drying models of persimmon slices (*Diospyros kaki L.*). *Energ Convers Manage.* 56: 199-205.
9. Doymaz I. 2007. The kinetics of forced convective air-drying of pumpkin slices. *J Food Eng.* 79: 243-248.
10. Saeed IE. 2010. Solar Drying of Roselle (*Hibiscus sabdariffa L.*) part I: Mathematical modelling, drying experiments, effects of the drying conditions. *Agric Eng Int: CIGR J.* 12 (3-4): 54-59.
11. Crank, J. 1975. *The Mathematics of Diffusion.* Oxford University Press, London.
12. Incropera FP, De Witt DP. 1990. *Fundamentals of Heat and Mass Transfer.* John Wiley&Sons, New York
13. Gould AW. 1977. *Food Quality Assurance.* The AVI Publishing Company Inc. USA.
14. Kaya A, Aydın O, Demirtas C, Akgün M. 2007. An experimental study on the drying kinetics of quince. *Desalination* 212: 328-243.
15. Kaya A, Aydın O, Demirtas C. 2007. Drying kinetics of red delicious apple. *Biosyst Eng.* 96(4): 517-524.
16. Doymaz I. 2007. Air-drying characteristics of tomatoes. *J Food Eng.* 78: 1291-1297.
17. Ahmed J, Shivhare US. 2001. Effect of pre-treatment on drying characteristics and colour of dehydrated green chillis. *J Food Sci Technol.* 38: 504-506.
18. Akpınar EK, Bicer Y. 2004. Modelling of the drying of eggplants in thin-layers. *Int J Food Sci Technol.* 39: 1-9.
19. Lewis WK. 1921. The rate of drying of solid materials. *J Indian Eng Chem.* 13(5): 427-432.
20. Henderson SM, Pabis S. 1961. Grain drying theory. II. Temperature effects on drying coefficients. *J Agr Eng Res.* 6: 169-174.
21. Sharaf-Eldeen YI, Blaisdell JL, Hamdy MY. 1980. A model for ear corn drying. *Trans ASAE* 23: 1261-1271.