



## KONVEKTİF VE MODİFİYE EDİLEN SICAKLIK KONTROLLÜ BİR MİKRODALGA FIRINDA KURUTULAN IHLAMURUN BAZI FİZİKO-KİMYASAL ÖZELLİKLERİN ARAŞTIRILMASI

<sup>1</sup>Muhammed TAŞOVA , <sup>1</sup>Hakan POLATCI 

*Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, Tokat, TÜRKİYE*  
<sup>1</sup>[muhammed.tasova@gop.edu.tr](mailto:muhammed.tasova@gop.edu.tr), <sup>2</sup>[hakan.polatci@gop.edu.tr](mailto:hakan.polatci@gop.edu.tr)

### Önemli Katkılar (Highlights)

- Modifiye edilen sıcaklık kontrollü mikrodalga kurutucunun performansı araştırılmıştır.
- Ihlamurun kalite özelliklerine kurutma yöntemlerinin etkisi incelenmiştir.
- Enerji analizlerine kurutma işlemlerinin etkisi belirlenmiştir.



## KONVEKTİF VE MODİFİYE EDİLEN SICAKLIK KONTROLLÜ BİR MİKRODALGA FIRINDA KURUTULAN İHLAMURUN BAZI FİZİKO-KİMYASAL ÖZELLİKLERİN ARAŞTIRILMASI

<sup>1</sup>Muhammed TAŞOVA , <sup>1</sup>Hakan POLATCI 

Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, Tokat, TÜRKİYE  
<sup>1</sup>muhammed.tasova@gop.edu.tr, <sup>2</sup>hakan.polatci@gop.edu.tr

(Geliş/Received:16.12.2022; Kabul/Accepted in Revised Form: 30.03.2023)

**ÖZ:** İhlamur, yapısındaki önemli biyoaktif maddelerden (antioksidan, fenolik bileşikler) dolayı sağlık açısından önemli bir türdür. Kurutulduktan sonra özellikle çay olarak tüketimi oldukça yaygındır. Bu çalışmada, konvektif (KK) ve modifiye sıcaklık kontrollü mikrodalga (SKM) kurutma fırınında 40, 45 ve 50 °C sıcaklıklarında ıhlamur kurutulmuştur. Kurutma işlemlerinde ıhlamur örnekleri 3.21±0.19 nem değerinden 0.12±0.02 g nem/g kuru madde nem değerine kadar kurutulmuştur. KK işleminde belirtilen sıcaklıklar için ıhlamur örnekleri sırasıyla 23.5, 15 ve 8.5 saatte kurumıştır. SKM işleminde ise belirtilen sıcaklıklar için sırasıyla 8.25, 3.75 ve 2.25 saatte kurumıştır. KK yönteminde tespit edilen ortalama kuruma oranı değerleri 0.004025-0.008274 g nem/g kuru madde.dakika, SKM yönteminde ise ortalama 0.006178-0.0228 g nem/g kuru madde.dakika değerleri arasında değişmiştir. Efektif difüzyon değerleri KK işleminde 1.46x10<sup>-5</sup>-6.02x10<sup>-6</sup> m<sup>2</sup>/s arasında, SKM işleminde ise bu değer 1.06x10<sup>-6</sup>-2.35x10<sup>-7</sup> m<sup>2</sup>/s arasında değiştiği belirlenmiştir. Aktivasyon enerji değerleri KK ve SKM işlemleri için sırasıyla 74.50 ve 122.47 kJ/mol olarak hesaplanmıştır. Renk kalitesi açısından en uygun (p<0.05) kurutma işlemi olarak SKM yöntemi tespit edilmiştir. KK ve SKM yöntemlerinde buharlaşma enerji değerleri sırasıyla 0.6998-0.8312 ve 0.5267-0.6497 kWh değerleri arasında değişmiştir. Bu çalışmada ıhlamurun kuruma kinetiği, renk kalitesi ve buharlaşma enerji parametreleri açısından kurutma yöntemi olarak modifiye edilen sıcaklık kontrollü mikrodalga (SKM) önerilmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Kurutma İşlemleri, Mikrodalga Kurutma, Kuruma Kinetiği, Efektif Difüzyon-Aktivasyon Enerji, Kalite Özelliği, Buharlaşma Enerjisi

### Investigation of Some Physio-Chemical Properties of Lime Dry in a Convective and Modified Temperature Controlled Microwave Oven

**ABSTRACT:** Linden is an important species for health due to the important bioactive substances (antioxidant, phenolic compounds) in its structure. After drying, it is widely consumed, especially as tea. In this study, linden was dried at 40, 45 and 50 °C temperatures in a convective (CD) and modified temperature controlled microwave (TCM) drying oven. In the drying processes, linden samples were dried from a moisture value of 3.21±0.19 to 0.12±0.02 g moisture/g dry matter moisture value. For the temperatures specified in the CD process, the linden samples were dried in 23.5, 15 and 8.5 hours, respectively. In the TCM process, it dried in 8.25, 3.75 and 2.25 hours, respectively, for the specified temperatures. The average drying rate values determined in the CD method ranged from 0.004025-0.008274 g moisture/g dry matter.minute, and in the TCM method, the average values between 0.006178-0.0228 g moisture/g dry matter.minute. It was determined that the effective diffusion values changed between 1.46x10<sup>-5</sup>-6.02x10<sup>-6</sup> m<sup>2</sup>/s in the CD process and between 1.06x10<sup>-6</sup>-2.35x10<sup>-7</sup> m<sup>2</sup>/s in the TCM process. Activation energy values were calculated as 74.50 and 122.47 kJ/mol for CD and TCM processes, respectively. TCM method was determined as the most suitable (p<0.05) drying process in terms of color quality. Evaporation energy values in the CD and TCM methods varied between 0.6998-0.8312 and 0.5267-0.6497 kWh, respectively. In this study, a modified temperature controlled microwave (TCM)

drying method is recommended in terms of drying kinetics, color quality and evaporation energy parameters of linden.

**Keywords:** *Drying Processes, Microwave Drying, Drying Kinetics, Effective Diffusion-Activation Energy, Quality Property, Evaporation Energy*

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Aromatik bitkiler yapılarındaki biyoaktif maddelerden dolayı sağlık problemlerinin iyileşmesine önemli katkılar sağlamaktadır. Son yıllarda tüketimi artan aromatik bitkileri ülkelerin tarım sektöründe önemli gelir kaynakları arasında yer almaktadır. Bununla birlikte FAO (Gıda ve Tarım Örgütü) raporuna göre üretilen ilaçların ortalama % 30'unda tıbbi/aromatik bitkilerden üretilen bileşiklerin olduğu bildirilmiştir [13-6]. Comtrade [7] ve TÜİK [30], yılı verilerine göre Dünya toplam aromatik bitki ihracat değerinin 207.475.944 dolar ithalat değerinin ise 205.887.100 dolar olduğunu bildirmişlerdir. Dünya'da bulunan 250.000 damarlı bitki türünün yaklaşık 85.000' inin tıbbi özelliklere sahip olduğu bilinmektedir. Türkiye'de ise 500' ü tıbbi ve aromatik özellikte olduğu ve bu değer 200' ünün ticari potansiyeli olduğu belirtilmiştir [6]. Aromatik bitkilerden birisi de kurutulduktan sonra çayı demlenerek tüketilen ve analjezik, sakinleştirici etkisi olan ıhlamur (*Tilia platyphyllos* Scop.) bitkisidir [32]. Ihlamur yapısında bulunan fenolik bileşikler, flavanoid maddelerinden dolayı ısıl reaksiyonlardan çok fazla etkilenmektedir [23]. Kurutma şartlarının iyi belirlenmemesi enzimatik olmayan renk kayıplarını meydana getirmektedir. Bu durum ticari değerini ciddi oranda azaltmaktadır.

Kurutma termal işlemle ürünlerdeki nem içeriğinin azaltılması işlemidir. Buradaki temel amaç, oksidatif ve enzimatik reaksiyonlarla gerçekleşebilecek bozulmaların engellenmesi ve ürünün tat, aroma ve renk özelliklerinin korunmasıdır [5]. Bu amacı gerçekleştirirken uygulanan bir çok kurutma yöntemi vardır. En eski bilineni açıkta güneş ya da gölge ortamına serilerek yapılan kurutma şeklidir. Bu yöntem ucuz ve pratik olmasına rağmen kuruma süresinin çok uzun olması, homojen nem içeriğine sahip olmayan son kuru ürün eldesi, çevre koşullarından olumsuz etkilenme (hijyen olmayan durumlar) gibi olumsuz yönleri vardır [9]. Açıkta yapılan kurutma işlemlerinde nitel ve nicel kayıp oranı yaklaşık % 30-40 oranında olduğu bildirilmiştir [4]. Açıkta kurutma işlemlerinde karşılaşılan sorunları azaltmak için yapay kurutucular daha yaygın kullanılmaya başlanmıştır. Bu sebeple kurutma endüstrisinde en yaygın kullanılan kurutma yöntemlerinden biriside konvektif sıcak havalı ve mikrodalga kurutuculardır [27]. Konvektif sıcak havalı kurutma işleminde açıkta kurutmaya göre kuruma süresi daha kısa olmakta, güvenli depo edilebilir nem değerine daha kolay düşürülebilmekte ve ürünün son kalite değerlerinde daha iyi sonuçlar alınmaktadır. Ancak mikrodalga kurutuculara göre termal iletkenliği daha düşüktür. Bu durum kuruma süresini uzatmaktadır [11]. Mikrodalga kurutma işlemlerinde ise sıcaklık ürünün iç kısmından dış kısmına doğru olduğu için enerji ve ısı dağılımı konvektif kurutuculara göre daha uniform olmaktadır. Bunun yanında enerji tüketimi ve suda çözünebilir kuru madde kayıpları konvektif kurutuculara göre daha az seviyede kalmaktadır [12]. Fakat mikrodalga kurutma işlemlerinde güç (W) değeri ayarlanarak çalıştığı için üründe oluşturduğu sıcaklık değerleri yüksek olmaktadır. Bu durum renk kayıplarına ve ürün yüzeyindeki keskin köşelerde yanmalara sebebiyet vermektedir. Bu sebeple çalışmanın amacı imal edilen sıcaklık kontrollü mikrodalga kurutucunun performansını kurutulan ürün açısından test etmek ve kurutma işlemlerinin ıhlamurun kuruma, buharlaşma enerjisi ve kalite özelliklerine etkisi araştırılarak literatüre katkı sağlamaktır.

Bu çalışmada, ıhlamur sıcak havalı konvektif kurutucu ve sıcaklık kontrollü mikrodalga kurutucuda (40, 45, 50 °C) kurularak ürünün; (1) kuruma-nem oranları, (2) efektif difüzyon-aktivasyon enerjisi, (3) kuruma modeli, (4) buharlaşma enerjisi, (5) renk değerleri tespit edilmiştir.

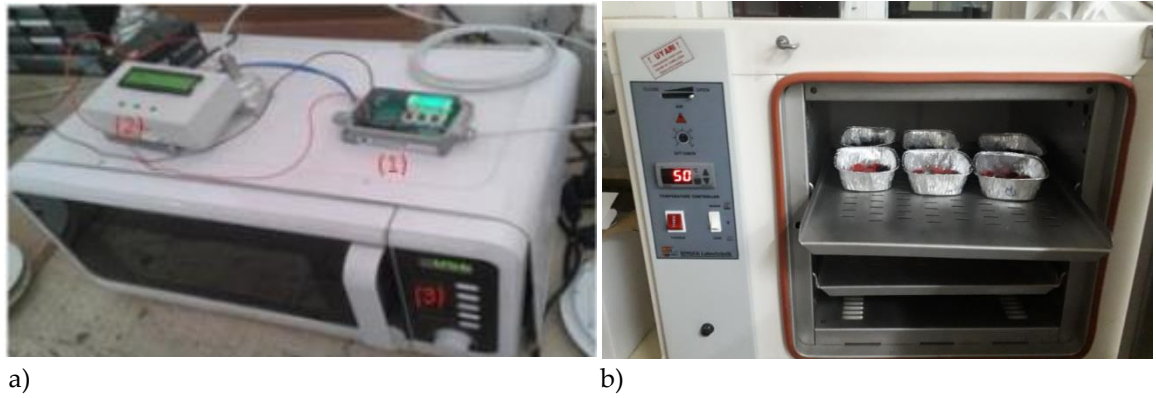
## 2. MATERYAL ve YÖNTEM (MATERIAL AND METHOD)

### 2.1. Materyal (Material)

Çalışma kapsamında kullanılan ihlamurlar Tokat Gaziosmanapaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi bahçesinde bulunan ağaçlardan haziran ayında hasat edilmiştir. Ihlamur yığınındaki yaprak, dal gibi yabancı materyaller ayıklandıktan sonra nem kaybetmemesi için iki gün boyunca buzdolabı koşullarında  $+4\pm 0.5$  °C sıcaklıkta muhafaza edilmiştir.

### 2.2. Kurutma Cihazları (Drying Devices)

Ihlamurların kurutulması için Şimşek laborteknik marka-ST-055 model sıcak havalı kovektif kurutucu kullanılmıştır. Kurutulan örneklerin ağırlık değişimini takip etmek için AND marka GF-300 model hassas terazi (0.01 g) kullanılmıştır. Mikrodalga kurutucu ise sıcaklık kontrollü olup kurutulan ürün yüzündeki oluşan sıcaklık değerini ölçme prensibi ile çalışmaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. Kurutucular; a) Modifiye edilen sıcaklık kontrollü mikrodalga, b) konvektif

Figure 1. Dryers; a) Modified temperature-controlled microwave, b) convective

Kenwood marka 13J28 model mikrodalga fırın üzerine teknik özellikler dikkate alınarak Optris marka temassız kızıl ötesi sıcaklık sensörü monte edilmiştir. Mikrodalga fırın içerisinde yer alan kurutma materyali dönen bir cam tepsi üzerine konularak kurutulmuştur. Kullanılan mikrodalga fırın 230 V, 50 Hz, 800 W teknik özelliklere sahiptir. Bunun yanında 2450 MHz özelliğine sahiptir. Kurutma materyalinin yüzey sıcaklığı temassız kızılötesi sıcaklık sensörü (1) ile ölçülmektedir. Ölçülen değerler kontrol paneline (2) iletilmektedir. Ürünün yüzey sıcaklığı kontrol panelinde ayarlanan kurutma sıcaklığına ulaştığında mikrodalga fırın otomatik olarak durmakta ve kontrol panelinde ön denemede belirlenen dinlenme süresi kadar beklemektedir. Ürün sıcaklığı 15 saniye dinlenme süresi sonunda belirlenen kurutma sıcaklığının altına düştüğünde ( $\pm 2$  °C) mikrodalga fırın (3) tekrar otomatik olarak çalışmaya başlamaktadır. Eğer bu süre içerisinde ürün sıcaklığı kurutma sıcaklığının alt değerine düşmediği durumda belirlenen süre kadar daha kurutucu çalışmadan beklemektedir. Ürünün nem içeriği % 10 (y.b.) seviyesine kadar 15'er dakika süre aralıklarında fırından çıkartılıp tartılmıştır. Kurutma işlemi, ürün nem içeriği belirlenen kritik nem değerine düşene kadar bu şekilde devam etmektedir [29-22].

### 2.3. Ürün Nem İçeriği (Product Moisture Content)

Ürünün nem tayinini belirlemek için 70 °C sıcaklığa ayarlanmış [15], fırında (Şimşek laborteknik marka-ST-055 model) ağırlık değişimi sabitlenene kadar kurutulmuştur. Ihlamurun ilk nem içeriği yaş baza (y.b.) göre belirlenmesi için 1 numaralı eşitlik kullanılmıştır [33].

$$N_{wb} = \frac{M_i \times M_t}{M_i} \times 100 \quad (1)$$

Burada:  $M_i$ ; İlk ağırlık (g),  $M_t$ ; son ağırlık (g).

#### 2.4. Kuruma Oranı (DR) (Dry Ratio)

İhlamur örneklerinin kurutma oranlarının belirlenmesi için 2 numaralı eşitlik kullanılmıştır [10].

$$DR = \frac{M_t - M_{(t+dt)}}{dt} \quad (2)$$

Burada:  $M_t$ ; t anındaki nem içeriği (g nem/g kuru madde), dt; dakika, DR; kuruma oranı (g nem.g kuru madde dakika).

#### 2.5. Nem Oranı (MR) (Moisture Ratio)

Kurutma işlemi esnasındaki ihlamurdan uzaklaşan nem miktarının süreye bağlı oran değerlerini belirlemek için 3 numaralı eşitlik kullanılmıştır [19].

$$MR = \frac{M - M_e}{M_0 - M_e} \quad (3)$$

Burada: **MR**; Nem oranı,  $M$ ; Ürünün anlık nem içeriği [(g nem/g kuru madde)],  $M_e$ ; Ürünün denge nem içeriği [(g nem/g kuru madde)],  $M_0$ ; Ürünün ilk nem içeriğidir. [(g nem/g kuru madde)]. En uygun ince tabaka kuruma modelini belirlemek için kullanılan eşitlikler (4-6) arasında verilmiştir.

#### 2.6. Matematiksel Modelleme (Mathematical Modeling)

Tespit edilen süreye bağlı deneysel nem oranı değerleri ince tabakalı matematiksel modellerde işlenerek nem oranı-süre ilişkisini tespit etmek için en uygun model belirlenmiştir. Çalışma kapsamında literatürde en yaygın olarak kullanılan modellerden bazıları seçilmiştir. Bu modeller literatürde en yaygın kullanılanlar arasında olduğu ve iyi sonuçlar alındığı için tercih edilmiştir.

$$\text{Lewis} \quad MR = \exp(-k \cdot t) \quad [18] \quad (4)$$

$$\text{Jena-Das} \quad MR = k \cdot \exp(-h \cdot t + j(t^{0.5}) + m) \quad [34] \quad (5)$$

$$\text{Wang-Sing} \quad MR = 1 + k \cdot t + h \cdot t^2 \quad [31] \quad (6)$$

Burada: h, j, k, m; modellere ait katsayılar, t; süre

#### 2.7. Efektif Difüzyon-Aktivasyon Enerjisi (Effective Diffusion-Activation Energy)

Kurutma işlemlerinde ihlamurdan uzaklaşan nemin efektif kütle difüzyon değerlerini hesaplamak için 7 numaralı eşitlik kullanılmıştır [8].

$$\ln MR = \ln \frac{8}{\pi^2} - \frac{\pi^2 \cdot D_{eff} \cdot t}{4L^2} \quad (7)$$

Burada:  $D_{eff}$ ; efektif difüzyon değerini ( $m^2/s$ ), L; ürünün kalınlık değerinin (m) yarısını temsil etmektedir.

Ürün kalınlık değeri kumpas (0.01 mm) aracılığıyla küçük bir yığının yataydaki ortalama değeri tespit edilmiştir. Ürün kalınlığı 0.01±0.0035 m olarak tespit edilmiştir. İhlamurdan kurutulan şartlar altında bir mol nem uzaklaştırabilmek için gerekli aktivasyon enerji değeri ise 8 numaralı eşitlik kullanılarak tespit edilmiştir.

$$D_{eff} = D_0 \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right) \quad (8)$$

Burada: R; gaz sabiti (8.3143 kJ/mol K),  $E_a$ ; akitvasyon enerjisi (kJ/mol) ve T (K°); kurutma havası sıcaklığı,  $D_0$ ; difüzyon katsayısını temsil etmektedir.

## 2.8. Buharlaştırma Enerjisi (BE) (Evaporation Energy)

Kurutma işlemlerinde ıhlamurdan buharlaşan nemin enerji değerini hesaplamak için 9 numaralı eşitlik kullanılmıştır [2].

$$Q_w = h_{fg} \times m_w \quad (9)$$

$$h_{fg} = 2.503 \times 10^6 - 2.386 \times 10^3 \times (T_d - 273.16) \\ 273.16 \leq T_d(K) < 338.72$$

$$h_{fg} = \sqrt{(7.33 \times 10^{12} - 1.60 \times 10^7 \times T_d^2)} \\ 338.72 \leq T_d < 533.16$$

Burada:  $Q_w$ ; buharlaştırma enerjisi (kWh),  $h_{fg}$ ; buharlaştırma gizli enerjisi (kJ/kg),  $m_w$ ; buharlaşan nem miktarı (kg).  $T_d$ ; kurutma sıcaklığı (°K).

## 2.9. Renk Değeri (Color Value)

Taze ve kurutulan ıhlamur örneklerinin parlaklık (L), kırmızı/yeşil (a) ve sarı/mavi (b) değerlerini ölçmek için CR400 model/Japan renk ölçüm cihazı kullanılmıştır. Ölçülen değerler laboratuvar değerler olup bunlar kullanılarak kroma, hue ve toplam renk değişim değerleri hesaplanmıştır (10-12). Kroma değeri ürünün renk tonunu belirtirken solgun ürünlerde düşük kaliteli ürünler ise yüksek değerler hesaplanmaktadır. Hue değeri ürün renk değerlerinin 360°lik bir radyanttaki yerini belirtmektedir. Sınır açısı değerlerinden 0°; kırmızı, 180°; yeşil, 90 °; sarı ve 270°; mavi ana renkleri temsil etmektedir. Toplam renk değişim değeri ise kurutma işlemlerinde ısıyla parçalanmış (enzimatik olmayan) renk pigmentlerinin toplam değişimini göstermektedir. Hesaplanan renk değerlerini daha çok ticari değeri ve tüketici için karar verici olması açısından önemlidir. Bu değerleri hesaplamak için (10-12) eşitlikler kullanılmıştır.

$$\text{Kroma} \quad C = (a^2 + b^2)^{1/2} \quad [25] \quad (10)$$

$$\text{Hue} \quad h^\circ = \tan^{-1}\left(\frac{b}{a}\right) \quad [1] \quad (11)$$

$$\text{Renk değişimi} \quad \Delta E = \sqrt{(L - L^*)^2 + (a - a^*)^2 + (b - b^*)^2} \quad [28] \quad (12)$$

$L^*$ ,  $a^*$  ve  $b^*$  değerleri kurutulmuş ıhlamur örneklerinin parlaklık, kırmızılık ve sarılık renk değerlerini göstermektedir.

## 2.10. Belirsizlik Analizi (Uncertainty Analysis)

Kurutma işlemi ve ölçüm aşamalarında gerçekleşen standart sapma değerlerinden kaynaklı toplam belirsizlik değerini hesaplamak için 13 numaralı eşitlik kullanılmıştır [20-16].

$$W_x = \sqrt{[(X_1)^2 + (X_2)^2 + (X_3)^2 + \dots + (X_n)^2]} \quad (13)$$

$X_1; X_2; X_3; \dots X_n$  ölçüm aletlerinin hassasiyetlik değerlerinin göstermektedir.

### 2.11. İstatistiksel Analiz (Statistical analysis)

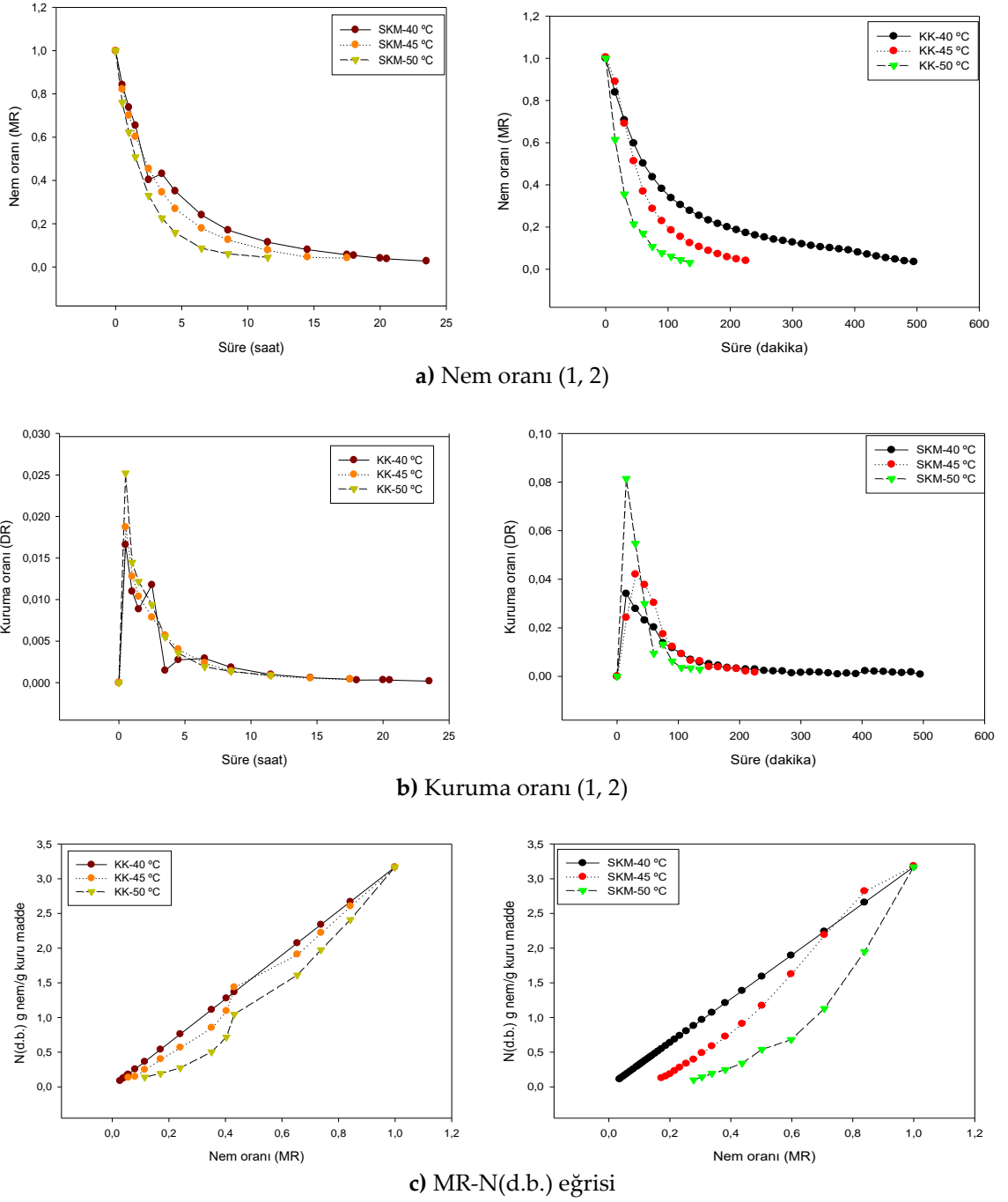
Kurutulan ıhlamur örneklerinin matematiksel modellerini oluşturmak için ( $P<0.05$ ) SigmaPlot 10. Programı kullanılmıştır. Çalışma kapsamında elde edilen bulguları istatistiksel açıdan değerlendirmek için SPSS 17. programında Duncan çoklu karşılaştırma testi ( $P<0.05$ ) yapılmıştır.

## 3. BULGULAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

### 3.1. Nem ve Kuruma Oranı (Moisture and Dry Ratio)

Konvektif (1) ve imal edilen sıcaklık kontrollü mikrodalga (2) kurutucu ile kurutulan ıhlamur örneklerinin kuruma eğrileri Şekil 2'de verilmiştir.

ıhlamur örneklerinin nem değeri  $3.21 \pm 0.19$ 'den  $0.12 \pm 0.02$  g nem/g kuru madde değerine kadar kurutulmuştur. Şekil 2'ye göre, imal edilen sıcaklık kontrollü mikrodalga kurutucu ile ıhlamurlar istenilen nem düzeyine daha kısa sürede ulaşmıştır. Sıcaklık kontrollü mikrodalgada kurutucu konvektif kurutucuya göre kuruma süresini % 69.69 oranında azaltmıştır. Kurutma sıcaklığının artmasıyla ürünün hem nem oranı hem de kuruma oranı değerleri artmıştır. Kurutma sıcaklığının artması birim zamanda daha fazla nem uzaklaştırmıştır. Bu olay kuruma oranının artırmıştır. Sıcaklık kontrollü mikrodalga kurutucuda ıhlamur örnekleri konvektif kurutucuya göre daha hızlı kurumıştır. Konvektif kurutma işleminde tespit edilen en yüksek kuruma oranı 0.0252 g nem/g kuru madde.dakika olarak tespit edilirken sıcaklık kontrollü mikrodalga kurutucuda bu değer 0.0814 g nem/g kuru madde.dakika olarak tespit edilmiştir. Modifiye edilen sıcaklık kontrollü mikrodalga kurutucu ıhlamurun kuruma oranını % 69.04 oranında artırmıştır. Kuruma ve nem oranı parametreleri için sıcaklık kontrollü mikrodalga kurutucu performansının daha iyi olması ısıyı direkt ürün içerisinde oluşturarak kütle difüzyonunun daha efektif bir şekilde gerçekleşmesine neden olduğu düşünülmektedir. Nguyen ve diğ. [21], limon otunu konvektif bir kurutma fırınında 50, 55, 60 ve 65 °C sıcaklıklarda kuruttuğu çalışmada kuruma süresi değerlerine sıcaklığın önemli etkisi olduğunu tespit etmişlerdir. Sıcaklığın artmasıyla uzaklaşan nemin oranı ve kuruma oranı değerlerinin arttığını bildirmişlerdir. Çalışmalarında maksimum kuruma oranı değerini 0.14 g nem/g kuru madde.dakika (65 °C) olarak tespit etmişlerdir. ıhlamur için tespit edilen maksimum kuruma oranı değerinden daha fazla olmasının başlıca nedeni kurutma sıcaklığının yüksek olması ve bunun yanında ürünlerin mikro-yapı ve fiziksel özelliklerinde farklı olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Selvi [26], ıhlamur yapraklarını infrared kurutucu ile 50, 60 ve 70 °C sıcaklıklarda 0.10 g nem/g kuru madde değerine kadar kurutmuştur. Kurutma sıcaklık değerlerine göre ıhlamur örnekleri sırasıyla 50, 30 ve 20 dakikada istenilen nem değerine düştüğü görülmüştür. Yapılan çalışmada ise ıhlamur örnekleri sıcaklık kontrollü mikrodalgada 40, 45 ve 50 °C sıcaklıklar için sırasıyla 495, 225 ve 135 dakika olarak tespit edilmiştir. Bunun sebebi sıcaklık kontrollü mikrodalgada yapılan kurutma işlemleri kesikli (on-off) kurutma prensibiyle çalıştığı için toplam kuruma süresinde daha fazla olmuştur. Bunun yanında infrared ve mikrodalga enerjilerin termal özelliklerinin farklı olmasında etkilemiştir.



Şekil 2. Kurutulmuş ihlamur örneklerinin a) nem oranı, b) kuruma oranı değerleri, c) MR-N(d.b.)

Figure 2. a) moisture content, b) drying rate values of dried linden samples, c) MR-N(d.b.)

### 3.2. Matematiksel Modelleme (Mathematical Modeling)

Ihlamur örneklerinin deneysel kuruma oranlarına ait model sonuçları Çizelge 1’de verilmiştir.



Çizelge 1. Matematiksel modellere ait veriler

Table 1. Data of mathematical models

Modeller	Yöntem	Sıcaklık (°C)	k	h	j	m	p	R <sup>2</sup>
Lewis	Konvektif	40	0.2511	-	-	-	<0.0001	0.9784
		45	0.3000	-	-	-	<0.0001	0.9891
		50	0.4386	-	-	-	<0.0001	0.9952
	Sıc. kont. mikrodalga	40	0.0089	-	-	-	<0.0001	0.9560
		45	0.0152	-	-	-	<0.0001	0.9891
		50	0.0319	-	-	-	<0.0001	<b>0.9954</b>
Jena Das	Konvektif	40	0.9655	0.5171	0.5817	-0.0286	<0.0001	0.9938
		45	0.9756	0.5438	0.5281	-0.0217	<0.0001	0.9923
		50	0.9841	0.6141	0.3873	-0.0157	<0.0001	<b>0.9967</b>
	Sıc. kont. mikrodalga	40	0.9497	0.4078	0.7999	-0.0567	<0.0001	0.9689
		45	1.0280	0.4119	0.7918	-0.0234	<0.0001	0.9922
		50	0.9949	0.4197	0.7762	-0.0047	<0.0001	0.9955
Wang Singh	Konvektif	40	-0.1353	0.0043	-	-	<0.0001	0.8419
		45	-0.1918	0.0089	-	-	<0.0001	0.9159
		50	-0.3106	0.0243	-	-	<0.0001	0.9579
	Sıc. kont. mikrodalga	40	-0.0056	0.0008	-	-	<0.0001	0.8168
		45	-0.0110	0.0031	-	-	<0.0001	<b>0.9778</b>
		50	-0.0203	0.0001	-	-	<0.0001	0.9379

Çizelge 1'e göre Lewis modeli ıhlamur örneklerinin deneysel nem oranlarını en iyi ( $R^2$ : 0.9954) sıcaklık kontrollü mikrodalga kurutucu ile 50 °C sıcaklıkta yapılan kurutma işlemi için tahmin etmiştir. Jena-Das modeli deneysel nem oranı değerlerini en iyi ( $R^2$ : 0.9967) konvektif kurutucu ile 50 °C sıcaklıkta yapılan kurutma işlemi için tahmin etmiştir. Wang-Sing modeli ise nem oranı değerlerini en iyi ( $R^2$ : 0.9778) sıcaklık kontrollü mikrodalga kurutucuda 45 °C sıcaklıkta tahmin etmiştir. Modeller arasında ıhlamur örneklerine ait her sıcaklık için elde edilen deneysel nem oranı değerlerini en iyi Jena-Das modeli tahmin etmiştir.

### 3.3. Efektif Difüzyon ve Aktivasyon Enerji Değerleri (Effective Diffusion and Activation Energy Values)

Kurutulan ıhlamur örneklerinin efektif difüzyon ve aktivasyon enerji değerlerine kurutma işlemlerinin etkisi Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. Ihlamur örneklerine ait efektif difüzyon-aktivasyon enerji değerleri

Table 2. Effective diffusion-activation energy values of linden samples

Kurutma yöntemi	Sıcaklık (°C)	Efektif difüzyon (m <sup>2</sup> /s)	Aktivasyon enerji (kJ/mol)
Konvektif	40 °C	6.02×10 <sup>-6</sup>	74.50
	45 °C	8.25×10 <sup>-6</sup>	
	50 °C	1.46×10 <sup>-5</sup>	
Sıc. Kont. Mikrodalga	40 °C	2.35×10 <sup>-7</sup>	122.47
	45 °C	5.88×10 <sup>-7</sup>	
	50 °C	1.01×10 <sup>-6</sup>	

Çizelge 2'ye göre kurutma yöntemi ve sıcaklık değerlerinin ıhlamur örneklerinin efektif difüzyon değerlerini etkilemiştir. Sıcaklık kontrollü mikrodalga kurutucu ile yapılan kurutma işlemlerinin efektif difüzyon değerleri konvektif kurutma yöntemine göre daha düşük olduğu bulunmuştur. Bunun sebebi konvektif kurutucuda ıhlamur örneklerinin kuruma oranı sıcaklık kontrollü kurutucuya göre daha düşük olduğu için buharlaşan nemin daha aerosol bir hal aldığı düşünülmektedir. Bu sebeple nemin yayıldığı alan miktarında artmasına neden olduğu düşünülmektedir. Bunun diğer nedeni genel mikrodalga fırınların çalışmasından farklı olarak bu kurutucuda kontrol paneline girilen dinlenme süresine göre kesikli bir şekilde kuruma gerçekleşmesi nedeni olmuştur. Konvektif kurutma işleminde tespit edilen efektif difüzyon değerleri  $1.46 \times 10^{-5}$ - $6.02 \times 10^{-6}$  m<sup>2</sup>/s arasında değişmiştir. Sıcaklık kontrollü mikrodalga kurutma işleminde ise bu değerler  $1.06 \times 10^{-6}$ - $2.35 \times 10^{-7}$  m<sup>2</sup>/s arasında değiştiği belirlenmiştir. Konvektif yöntemle kurutulan ıhlamurun aktivasyon enerji değeri 74.50 kJ/mol, sıcaklık kontrollü mikrodalgada ise bu değer 122.47 kJ/mol olarak hesaplanmıştır. Aktivasyon enerji değerinin sıcaklık kontrollü mikrodalga kurutma işleminde daha yüksek olmasının nedeni üründen ilk buharlaşmanın olabilmesi için daha fazla enerji gerektiğini göstermektedir. Bunun sebebi imal edilen sıcaklık kontrollü mikrodalga kurutucunun kesikli (on-off) kurutma prensibiyle çalışmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bunun yanında mikrodalga enerjisi direk ürün içerisinde bir ısı oluşturmada fakat ürün fırın içerisinde sürekli hareket halinde olması ve ürünün mikrodalga enerjisi açısından termal özellik, di elektrik faktörü gibi parametrelerinde aktivasyon enerji üzerinde etkili olduğu düşünülmektedir. Nguyen ve diğ. [21], konvektif kurutucu ile 50, 60 ve 70 °C sıcaklıklarda kuruttukları limon otunun efektif difüzyon değerinin  $7.64 \times 10^{-11}$ - $1.48 \times 10^{-10}$  m<sup>2</sup>/s arasında değiştiğini tespit etmişlerdir. Bu çalışmada limon otu için belirlenen efektif difüzyon değerlerinin daha düşük olmasının nedeni kurutucunun termodinamik özelliklerinin farklı olması ve ürünlerin fiziksel yapısının farklı olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

### 3.4. Renk Verileri (Color Values)

Taze ve kurutulan ıhlamur örneklerinin renk değerleri kurutma yöntemi ve sıcaklıkların etkisi Çizelge 3'te verilmiştir.

Çizelge 3. Ihlamur örneklerinin renk değerleri

Table 3. Color values of linden samples

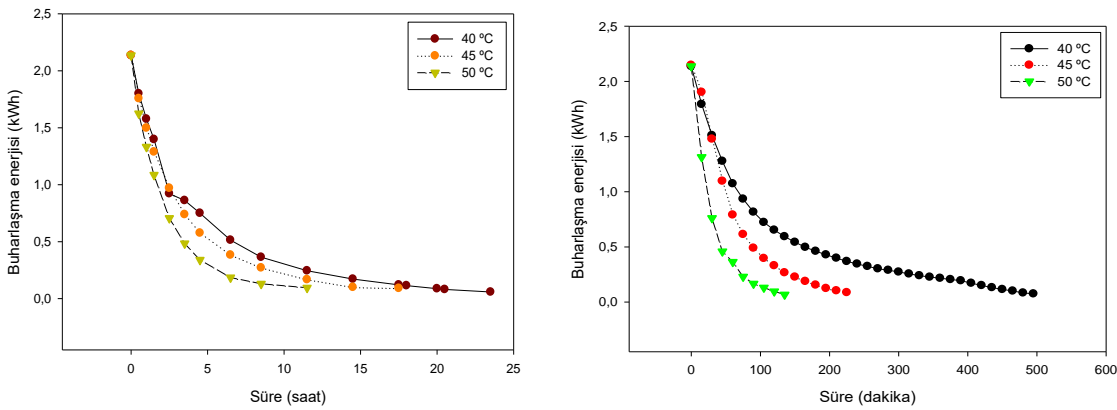
Kurutma yöntemi	L	a	b	C	ΔE	
Taze	55.05±4.55ab	-5.71±4.06c	23.11±2.23a	24.06±2.90a	-	
Konvektif	40 °C	46.48±9.77d	-0.82±2.25ab	16.47±2.86d	16.64±2.84e	15.08±6.30a
	45 °C	59.29±2.03a	-2.58±1.66b	19.46±1.79b	19.69±1.75bc	<b>8.63±3.07b</b>
	50 °C	53.52±7.78bc	0.72±1.93a	18.71±3.00bc	18.82±2.96cd	11.76±5.57ab
Sıc. Kont.	40 °C	<b>54.76±2.71ab</b>	-1.18±2.35b	16.90±3.16cd	17.09±3.13de	<b>9.22±3.94b</b>
	45 °C	48.82±5.52cd	0.74±2.78a	20.62±1.51b	<b>20.81±1.50b</b>	12.08±4.56ab
Mikrodalga	50 °C	51.10±5.78bcd	-1.31±2.29b	17.46±2.37cd	17.63±2.53de	<b>10.82±5.70b</b>

Çizelge 3'e göre taze ıhlamurun parlaklık değerleri ile sıcaklık kontrollü mikrodalgada 40 °C'de kurutulan örnekler hariç diğer yöntemlerde kurutulan örnekler arasında önemli düzeyde ( $p < 0.05$ ) bir fark olmuştur. Parlaklık değeri açısından sıcaklık kontrollü mikrodalgada 40 °C'de kurutulan örnekler arasında istatistiksel olarak önemli düzeyde ( $p > 0.05$ ) bir fark olmamıştır. Taze ıhlamurun "a", "b" ve "C" değerleri için tüm yöntemlerde kurutulan örneklerin "a", "b" ve "C" değerleri arasında önemli düzeyde ( $p < 0.05$ ) bir fark olmuştur. Taze ıhlamur örneklerinin kroma değerini en iyi sıcaklık kontrollü mikrodalgada 45 °C sıcaklıkta yapılan kurutma işlemi muhafaza etmiştir. Toplam renk değişimi açısından en uygun kurutma işlemi olarak ise konvektif kurutucuda 45 °C ile sıcaklık kontrollü mikrodalgada 40 ve 50 °C sıcaklıkların daha uygun olduğu bulunmuştur. Selvi ve ark. [26], taze ıhlamurun renk değerlerine infrared kurutucu ile yapılan sıcaklıkların önemli düzeyde ( $p < 0.05$ ) etki ettiğini tespit etmiştir. Taze ıhlamurun "L" ve "C" ile 50 °C sıcaklıkta kurutulan örneklerin "L" ve "C"

değerleri açısından önemli düzeyde ( $p>0.05$ ) bir fark olmamıştır. Çalışmada düşük sıcaklıkta ( $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) ıhlamurun kurutulması renk değerleri açısından daha iyi sonuç aldığını tespit etmiştir. Yapılan bu çalışma ile kıyaslandığında her iki kurutma yönteminde düşük kurutma sıcaklıklarında ( $40, 45\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) tazenin renk özelliklerini daha iyi muhafaza etmiştir. Bunun nedeni ıhlamur örneklerindeki “a (yeşil)” ve “b (sarı)” renk pigmentlerin yüksek sıcaklıklara karşı hassas olduğu ve parçalanarak kaybolduğu düşünülmektedir. Beigi [3], çalışmasında  $40, 50$  ve  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$  sıcaklıklarda kuruttuğu nane bitkisinin son renk değerleri açısından benzer bir durum olduğu görülmüştür.

## 2.5. Buharlaştırma Enerjisi (Evaporation Energy)

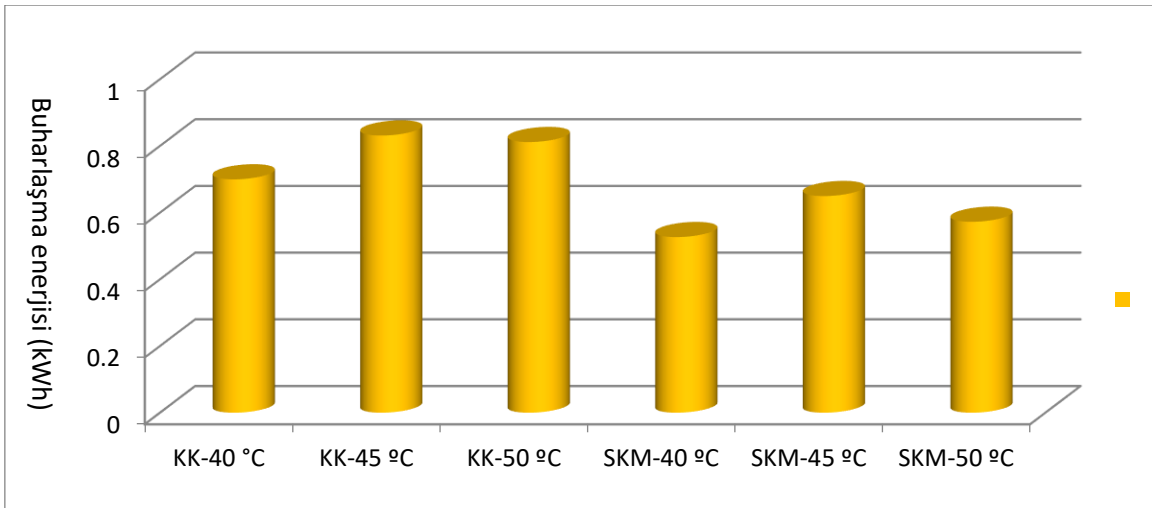
ıhlamur yapraklarının kurutulması işlemlerinde ortaya çıkan buhar enerjisinin kinetiği Şekil 3’te verilmiştir.



Şekil 3. Kurutulan ıhlamur örneklerinin buharlaştırma enerjisi

Figure 3. Evaporation energy of dried linden samples

Kurutma işlemleri için belirlenen ortalama buharlaştırma enerji değerleri Şekil 4’te veirlmiştir.



Şekil 4. Kurutulan ıhlamur örneklerinin ortalama buharlaştırma enerjisi

Figure 4. Average evaporation energy of dried linden samples

Şekil 4’e göre kurutma yöntemleri ve sıcaklıkları buharlaştırma değerlerine etki etmiştir. Konvektif yöntemle yapılan kurutma işlemlerinde kurutulan ıhlamur örneklerinin buharlaştırma enerjileri sıcaklık kontrollü mikrodalga kurutucularda kurutulan örneklere göre daha fazla olduğu belirlenmiştir. Bunun sebebi efektif difüzyon değerlerinin daha yüksek olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Çünkü

uzaklaşan nem daha büyük alana yayılarak nemin süpürdüğü yüzey alanının artması dolayısıyla buharlaşma enerjisininide artırdığı düşünülmektedir. Konvektif kurutucuda 40, 45 ve 50 °C sıcaklıklarda kurutulan ıhlamur örneklerinin ortalama buharlaşma enerji değerleri sırasıyla 0.6998, 0.8312 ve 0.8117 kWh olarak hesaplanmıştır. Sıcaklık kontrollü mikrodalga kurutucuda yapılan kurutma işleminin ortalama buharlaşma enerji değerleri sırasıyla 0.5267, 0.6497 ve 0.5726 kWh olarak hesaplanmıştır. Rabha ve diğ. [24], konvektif kurutucuda 50 °C sıcaklıkta kurutulan biber kurutma çalışmasında buharlaşma enerji değerini 0.6636 kWh (2.37 MJ/kg) olarak hesapladıklarını bildirmişlerdir. Literatürde tespit edilen verilerle çalışma kapsamında elde edilen bulguların uyumlu olduğu tespit edilmiştir.

## 2.6. Belirsizlik Analizi (Uncertainty Analysis)

Kurutma işlemi esnasında kullanılan ölçüm alet ve ekipmanların hassasiyet değerleri kullanılarak belirsizlik analizi yapılmıştır. Çalışmada kullanılan ölçüm alet ve ekipmanların hassasiyet değerleri Çizelge 4'te verilmiştir.

**Çizelge 4. Hassasiyet değerleri**

*Table 4. Sensitivity values*

Ölçüm aletleri	Hassasiyet değerleri
Tartım cihazı	± 0.001 g
Kumpas	± 0.2 mm
Renk ölçer ( $\Delta E$ için)	± 0.6
Sıcaklık ölçümü (Konvektif)	± 1.5 °C
Sıcaklık ölçümü (Sıc. kont. mikrodalga)	± 2 °C

Veriler Eşitlik 13'de işlenerek kurutma işleminde kontrol edilemeyen belirsizlik değeri 6.651 olarak hesaplanmıştır. Kumar ve diğ. (2015), yaptıkları çalışmada belirsizlik değerini 1.06 olarak tespit etmişler.

## 3. SONUÇ (CONCLUSIONS)

Kurutma yöntemleri ve sıcaklık değerlerinin ıhlamurun kuruma kinetiği, renk kalitesi ve buharlaşma enerji değerine etki ettiği belirlenmiştir. Her iki yöntem de kurutma sıcaklığının artmasıyla kuruma süresinin önemli oranda azaldığı görülmüştür. İmal edilen sıcaklık kontrollü mikrodalga kurutucu konvektif kurutucuya göre kuruma süresini azalttığı, kuruma oranını artırdığı, renk değerlerini daha iyi koruduğu görülmüştür. İhlamur örnekleri konvektif kurutma işleminde daha yüksek efektif difüzyon değerleri ve buharlaşma enerjisi ve daha az renk değişimine neden olduğu görülmüştür. Modifiye edilen sıcaklık kontrollü mikrodalga kurutucunun bu çalışmada incelenen performans özellikleri açısından ıhlamurun kurutulması için uygun olduğu bulunmuştur.

### Etik Standartlar Bildirimi (Declaration of Ethical Standards)

Çalışma etik standartlara uygun olarak yürütülmüştür.

### Yazar Katkı Beyannamesi (Credit Authorship Contribution Statement)

**Muhammed TAŞOVA:** Kavramsallaştırma, Veri iyileştirme, Biçimsel analiz, Araştırma, Doğrulama, Yazma - orijinal taslak, Yazma - gözden geçirme ve düzenleme.

**Hakan POLATCI:** Yazma - gözden geçirme ve düzenleme

### Çıkar Çatışması Beyannamesi (Declaration of Competing Interest)

Tüm yazarlar herhangi bir çıkar çatışması beyan etmemektedir.

**Destek / Teşekkür (Funding / Acknowledgements)**

Bu çalışma herhangi bir kurum tarafından fonlanmamıştır.

**Veri Kullanılabilirliği (Data Availability)**

Veriler uygun istek üzerine sunulabilecektir.

**KAYNAKLAR (REFERENCES)**

- [1] A. A. Alemrajabi, F. Rezaee, M. Mirhosseini, ve A. Esehaghbeygi, "Comparative evaluation of the effects of electrohydrodynamic, oven, and ambient air on carrot cylindrical slices during drying proces" *Drying Technology*, 30, 88–96, 2012.
- [2] M. Beigi, "Energy efficiency and moisture diffusivity of apple slices during convective drying", *Food Science and Technology*, 36(1): 374-382, 2016.
- [3] M. Beigi, "Drying of mint leaves: influence of the process temperature on dehydration parameters, quality attributes, and energy consumption", *Journal of Agricultural Science and Technology*, 21(1): 77-88, 2019.
- [4] A. K. Bhardwaj, R. Kumar, R. Chauhan, ve S. Kumar, "Experimental investigation and performance evaluation of a novel solar dryer integrated with a combination of SHS and PCM for drying chilli in the Himalayan region", *Thermal Science and Engineering Progress*, 20: 2020. doi: 10.1016/j.tsep.2020.100713.
- [5] C. Bonazzi, E. Dumoulin, "Quality changes in food materials as influenced by drying processes", 2011. doi: 10.1002/9783527631667.ch1.
- [6] G. Boztaş, A. B. Avcı, O. Arabacı, ve E. Bayram, "Tıbbi ve aromatik bitkilerin dünyadaki ve Türkiye'deki ekonomik durumu", *Teorik ve Uygulamalı Ormancılık*, 1:27-33, 2021.
- [7] Comtrade, "International Trade Center", <https://www.trademap.org> 2021, (Erişim tarihi: 18.04.2021).
- [8] O. Corzo, N. Bracho, A. Pereira, A. Vasquez, "Weibull distribution for modeling air drying of coroba slices". *LWT - Food Science and Technology*, 41(10), 2023-2028, 2008.
- [9] S. P. Göztok, ve F. İçier, "Karbon fiber destekli kabin kurutucuda farklı sıcaklıklarda elma dilimlerinin kurutulmasının incelenmesi: kurutma karakteristikleri ve performans değerlendirmesi". *Akademik Gıda*, 15(4): 355-367, 2017.
- [10] İ. Doymaz, N. Tugrul, ve M. Pala, "Drying characteristics of dill and parsley leaves", *Journal of Food Engineering*, 77:559-565, 2006.
- [11] H. S. El-Mesery, A. E. F. Abomohra, C. U. Kang, J. K. Cheon, B. Basak, ve B. H. Jeon, "Evaluation of infrared radiation combined with hot air convection for energy-efficient drying of biomass", *Energies*, 12(14), 2019. doi: 10.3390/en12142818.
- [12] H. S. El-Mesery, R. M. Kamel, ve R. Z. Emara, "Influence of infrared intensity and air temperature on energy consumption and physical quality of dried apple using hybrid dryer". *Case Studies in Thermal Engineering*, 27, 2021. doi: 10.1016/j.csite.2021.101365.
- [13] FAO, "Trade in medicinal plants", <http://www.fao.org/3/af285e/af285e00.pdf> 2005. (Erişim Tarihi: 18.04.21).
- [14] S. Jena, ve H. Das, "Modeling for vacuum drying characteristics of coconut presscake", *Journal of Food Engineering*, 79: 92-99, 2007.
- [15] M. Kaveh, V. R. Sharabiani, R. A. Chayjan, E. Taghinezhad, Y. Abbaspour-Gilandeh, ve I. Golpour, "ANFIS and ANNs model for prediction of moisture diffusivity and specific energy consumption potato, garlic and cantaloupe drying under convective hot air dryer". *Information Processing in Agriculture*, 5(3): 372-387, 2018.
- [16] A. K. Karthikeyan, ve S. Murugavelh, "Thin layer drying kinetics and exergy analysis of turmeric (*Curcuma longa*) in a mixed mode forced convection solar tunnel dryer", *Renewable Energy*, 128 (Part A): 305-312, 2018.

- [17] C. Kumar, G. J. Millar, ve M. A. Karim, "Effective diffusivity and evaporative cooling in convective drying of food material", *Drying Technology*, 33(2): 227-237, 2015.
- [18] W. K. Lewis, "The Rate of Drying of Solid Materials", *Industrial Engineering Chemistry*, 13: 427-432, 1921.
- [19] M. Maskan, "Microwave/air and microwave finish drying of banana", *Journal of Food Engineering*, 44: 71-78, 2000.
- [20] R. J. Moffat, "Describing the uncertainties in experimental results", *Experimental Thermal and Fluid Science*, 1(1): 3-17, 1988.
- [21] T. V. L. Nguyen, M. D. Nguyen, D. C. Nguyen, L. G. Bach, ve T. D. Lam, "Model for thin layer drying of lemongrass (*Cymbopogon citratus*) by hot air", *Processes*, 7(1), 2019. doi: 10.3390/pr7010021.
- [22] H. Polatçı, ve M. Taşova, "Sıcaklık kontrollü mikrodalga kurutma yönteminin alıç (*crataegusspp.* l.) meyvesinin kuruma karakteristikleri ve renk değerleri üzerine etkisi", *Türk Tarım – Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 5(10): 1130-1135, 2017.
- [23] T. M. Rababah, M. Al-u'datt, M. Alhamad, M. Al-Mahasneh, K. Ereifej, J. Andrade, B. Altarifi, A. Almajwal, ve W. Yang, "Effects of drying process on total phenolics, antioxidant activity and flavonoid contents of common Mediterranean herbs", *International Journal of Agriculture Biology Engineering*, 8, 145-150, 2015.
- [24] D. K. Rabha, P. Muthukumar, ve C. Somayaji, "Energy and exergy analyses of the solar drying processes of ghost chilli pepper and ginger", *Renewable Energy*, 105: 764-773, 2017.
- [25] L. A. Ramallo, ve R. H. Mascheroni, "Quality evolution of pineapple fruit during drying process", *Food and Bioproducts Processing*, 99, 275-283, 2012.
- [26] K. Ç. Selvi, "Investigating the influence of infrared drying method on linden (*Tilia platyphyllos* Scop.) leaves: kinetics, color, projected area, modeling, total phenolic, and flavonoid content", *Plants*, 9(7), 2020. doi: 10.3390/plants9070916.
- [27] V. R. Sagar, P. ve Suresh Kumar, "Recent advances in drying and dehydration of fruits and vegetables: a review", *Journal of Food Science and Technology*, 47: 15-26, 2010.
- [28] M. Tan, K. J. Chua, A. S. Mujumdar, ve S. K. Chou, "Effect of osmotic pre-treatment and infrared radiation of drying rate and color changes during drying of potato and pineapple", *Drying Technology*, 19(9): 2193-2207, 2001.
- [29] M. Taşova, "Sıcaklık Kontrollü Bir Mikrodalga Kurutucu Geliştirilmesi Ve Performansının Belirlenmesi", *Yüksek Lisans Tezi, Gaziosmanpaşa Üniversitesi Tokat*, 2016.
- [30] TÜİK, "Dış ticaret istatistikleri", <https://biruni.tuik.gov.tr/disticaretapp/menu.zul> 2021. (Erişim tarihi: 18.04.2021).
- [31] C. Y. Wang, ve R. P. Singh, "A single layer drying equation for rough rice", *ASAE Paper No: 78-3001*, ASAE, St. Joseph, MI. 1978.
- [32] Z. Wissam, A. A. Nour, J. Bushra, N. Zein, ve D. Saleh, "Extracting and studying the antioxidant capacity of polyphenols in dry linden leaves (*Tilia cordata*)", *Journal of Pharmacogn. Phytochem*, 6, 258-262, 2017.
- [33] A. Yağcıoğlu, "Tarımsal Ürünleri Kurutma Tekniği", *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi yayınları No: 536*. Bornova, İzmir. 1999.
- [34] S. Jena, H. Das, "Modeling for vacuum drying characteristics of coconut presscake", *Journal of Food Engineering*, 79, 92-99, 2007.