

## ARAPSAÇI OTUNUN (*FOENÍCULUM VULGARE*) KURUMA KİNETİĞİNİN İNCELENMESİ VE KURUMA DAVRANIŞININ MODELLENMESİ

Yeliz TEKGÜL<sup>1</sup>, Gülşah ÇALIŞKAN KOÇ<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Köşk Meslek Yüksek Okulu, Aydın, Türkiye

<sup>2</sup>Ege Üniversitesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye

Geliş / Received: 25.03.2019; Kabul / Accepted: 09.06.2020; Online baskı / Published online: 14.07.2020

Tekgöl, Y., Çalışkan-Koç, G. (2020). Arapsaçı otunun (*Foeniculum vulgare*) kuruma kinetiğinin incelenmesi ve kuruma davranışının modellenmesi. *GIDA* (2020) (45)3 676-688 doi: 10.15237/gida.GD20044.

Tekgöl, Y., Çalışkan-Koç, G. (2020). Investigation of the drying kinetics and modeling of drying behavior of the fennel (*Foeniculum vulgare*). *GIDA* (2020) (45)3 676-688 doi: 10.15237/gida.GD20044.

### ÖZ

Bu çalışmanın amacı, arapsaçı otunun (*Foeniculum vulgare*) farklı kurutma teknikleri ve koşulları altında kuruma davranışının belirlenmesidir. Bu amaçla, arapsaçı otu mikrodalga fırında (460-700 W) ve tepsili kurutucuda (1 m/s hava akış hızı, 50-70 °C) kurutulmuştur. Örneklerin kuruma süreleri mikrodalga fırında 105-150s arasında değişirken, bu süre sıcak havada kurtulan örnekler için 60-150dk arasında değişim göstermiştir. Örneklerin kuruma davranışının beş farklı ince tabaka kurutma modeline (Lewis, Page, Henderson ve Pabis, iki terimli eksponansiyel, logaritmik) uyumluluğu incelenmiştir. Mikrodalga fırında kurutulan örnekler için en yüksek R<sup>2</sup>, en düşük RMSE ve  $\chi^2$  değerleri Page modelden elde edilirken, sıcak havada kurutulan örnekler için logaritmik modelden elde edilmiştir. Tüm kurutma denemelerinde kuruma genel olarak azalan hızda kuruma periyodunda gerçekleşmiştir. Mikrodalga fırında kurutulan örnekler için daha yüksek efektif nem difüzyon katsayısı değerleri ( $4.7061 \times 10^{-7}$  -  $8.3168 \times 10^{-7}$  m<sup>2</sup>/s) elde edilmiştir. Aktivasyon enerjisi mikrodalga fırında kurutulan örnekler için 131.3443 W/g, sıcak havada kurutulan örnekler için ise 37.5142 kJ/mol olarak hesaplanmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Arapsaçı otu, mikrodalga kurutma, efektif nem difüzyon katsayısı, aktivasyon enerjisi

## INVESTIGATION OF THE DRYING KINETIC AND MODELLING OF DRYING BEHAVIOR OF THE FENNEL (*FOENÍCULUM VULGARE*)

### ABSTRACT

In this study, the effect of different drying techniques and conditions on the drying behaviors of fennels (*Foeniculum vulgare*) were investigated. For this purpose, fennels were dried at a microwave oven (460-700W) and tray dryer (1m/s airflow rate, 50-70°C). Drying time of microwave and tray dried fennels ranged between 105-150s and 60-150min, respectively. In order to determine the drying behavior of fennels, experimental data were fitted to five different thin-layer drying models (Lewis, Page, Henderson and Pabis, Two-term exponential, and Logarithmic). The highest R<sup>2</sup> and lowest RMSE and  $\chi^2$  values were obtained from Page and logarithmic models for microwave and tray dried samples, respectively. The overall drying process took place in the falling rate period for all drying experiments. Higher effective moisture diffusivity values ( $4.7061 \times 10^{-7}$ - $8.3168 \times 10^{-7}$  m<sup>2</sup>/s) were obtained for microwave dried samples. Activation energy values were calculated as 131.3443 W/g and 37.5142 kJ/mol for microwave and tray dried samples, respectively.

**Keywords:** Fennel, microwave drying, effective moisture diffusivity, activation energy

\* Yazışmalardan sorumlu yazar / Corresponding author

✉: yeliz.tekgul@adu.edu.tr,

☎: (+90) 256 212 0258-1320

☎: (+90) 256 214 6834

Yeliz Tekgöl; ORCID no: 0000-0002-5227-4754

Gülşah Çalışkan Koç; ORCID no: 0000-0002-6542-3093

## GİRİŞ

Apiaceae familyasından olan Arapsaçı otu (*Foeniculum vulgare*), Akdeniz, Mısır ve Hindistan çevresinde yetişen otsu bir bitkidir. Diüretik özellik göstermesi ve gastrointestinal sistem bozuklukları üzerine olumlu etkisi nedeniyle halk arasında teröpatik amaçlı değerlendirilmektedir (Zeng vd., 2015). Arapsaçı otu linolenik ve stearik asit başta olmak üzere yağ asitlerince zengindir. Bitki tohumundan elde edilen esansiyel yağlar antioksidan, antitrombotik ve antidiyabetik özellik göstermektedir (Ruberto vd., 2001; Tognolini vd., 2007; Abou El-Soud vd., 2011). Ayrıca yapılan çalışmalar, bitki esansiyel yağlarının *Escherichia coli*, *Bacillus spp.*, *Staphylococcus aureus*, *Micrococcus luteus*, *Pseudomonas spp.*, *Listeria innocua*, *Serratia marcescens* ve *Pseudomonas fluorescens* gibi patojenler üzerinde antibakteriyel, *Aspergillus spp.*, *Fusarium spp.*, *Candida spp.*, *Sclerotinia sclerotiorum* ve *Trichophyton mentagrophytes* gibi mikroorganizmalar üzerinde ise antifungal etki gösterdiğini ortaya koymaktadır (Mahady vd., 2005; Inouye vd., 2006; Singh vd., 2006; Mohsenzadeh, 2007; Viuda-Martos vd., 2011; Rostami ve Shafiei 2012; Roby vd., 2013). Arapsaçı otu taze olarak tüketilmesinin yanı sıra yaprakları ve tohumu aromatik bileşenlerce zengin olduğundan kurutularak dondurma, alkollü içecekler, bitki çayları, et ve balık ürünlerinin üretiminde katkı maddesi olarak da kullanılmaktadır (Atta-Aly, 2001; Parejo vd., 2002).

Kurutma bilinen en eski gıda muhafaza yöntemlerindedir. Gıda ürünlerinin kurutulmasındaki temel amaç, suyun uzaklaştırılması yoluyla gıdada meydana gelebilecek kimyasal reaksiyonların ve mikrobiyal bozulmaların yavaşlatılması ya da durdurulmasıdır (Krokida vd., 2003; Ayan, 2010). Kurutma yöntemleri doğal ve yapay olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Sıcak hava ile kurutma gıda endüstrisinde yaygın olarak kullanılmasına rağmen enerji verimliliği düşük, kuruma süresi uzun olan bir dehidrasyon yöntemidir. Kuruma süresinin uzaması ürünlerde, besin değerinin azalmasına ve renk, tat, aroma ve tekstürde istenmeyen değişikliklere yol açmaktadır (Maskan, 2000). Mikrodalga enerjisi, 300 MHz ile 300 GHz aralığında frekansa sahip iyonize olmamış

elektromanyetik ışınımdır (Karabacak vd., 2015). Bir maddenin mikrodalga uygulaması ile kurutulması sırasında o maddenin yüzeyine gelen mikrodalgalar absorbe edilmektedir. Gıda bünyesine alınan elektromanyetik enerjinin etkisi ile polar moleküller arasında oluşan titreşim ve sürtünmeler sonucunda sıcaklık artışı görülmektedir. Meydana gelen sıcaklık artışı, üründe yer alan suyun buharlaşmasına yol açmaktadır (Platts, 1991; Stephen, 1997). Mikrodalga ile kurutma tekniğinde gıda maddesinde hacimsel ısıtma meydana geldiğinden kuruma süresi önemli ölçüde kısalmaktadır. Kurutma prosesinin optimizasyonu, yeni kurutma sistemlerinin tasarlanması ve mevcut sistemlerin iyileştirilmesi amacıyla çeşitli matematiksel modellerden faydalanılmaktadır. İnce tabaka kurutma modelleri teorik (Fick'in difüzyon yasası; Basitleştirilmiş Fick modeli, Henderson ve Pabis, Modifiye Henderson ve Pabis, Logaritmik, İki Terimli, Modifiye İki Terimli, İki Terimli Exponansiyel, Midilli, Difüzyon Yaklaşımı ve Modifiye Midilli), yarı teorik (Newton'un soğutma yasası; Lewis, Page, Modifiye Page ve Otsura) ve empirik modeller (deneysel veriler; Wang ve Singh, Thompson, Hii ve ark., Weibull, Vega-Galvez ve ark., Jena Das, Wang ve ark., Demir ve ark., Diamente ve ark., Haghi ve Angiz, Sripinyowanich ve Noomhorm, Noomhorm ve Verma, Hasibuan ve Daud, Sharaf-Eldeen ve ark., Henderson ve Henderson, Parabolik, Geometrik, Lojistik, Üssel, Regresyon, Chavez-Mendez ve ark., Aghbashlo, Modifiye Henderson ve Perry, Üç terimli, Alibas, vb.) olarak üç kategoride sınıflandırılabilir. Fick'in difüzyon yasasından çıkarılan modeller, teorik temelleri nedeniyle meyve ve sebzelerin kuruma davranışını daha iyi tanımlamaktadır (Erbay ve Icier, 2009; Onwude vd., 2016; Ertekin ve Firat, 2017). Bu çalışmanın amacı, farklı hava sıcaklıkları ve mikrodalga güç değerlerinin arapsaçı otunun kuruma kinetiği üzerine etkilerinin belirlenmesi ve efektif nem difüzyon katsayısı ile aktivasyon enerjisi değerlerinin hesaplanmasıdır. Bu amaçla arapsaçı otu, tepsili kurutucuda ve mikrodalga fırında farklı sıcaklık ve güç değerlerinde kurutulmuştur. Ayrıca, çalışma kapsamında arapsaçı otu örneklerinin kuruma davranışının beş farklı ince tabaka kurutma modeline (Lewis, Page,

Henderson ve Pabis, iki terimli eksponansiyel ve logaritmik) uygunluğu incelenmiştir.

## MATERYAL VE YÖNTEM

### Materyal

Çalışmada kullanılan arapsaçı otu (*Foeniculum vulgare*) örnekleri, Aydın ilinde bulunan yerel bir marketten alınmış, sap kısımları uzaklaştırıldıktan sonra yıkanmış ve peçete yardımıyla fazla su uzaklaştırılmıştır.

### Yöntem

#### Mikrodalga Kurutma

Örnekler, mikrodalga fırında (Arçelik MD 574S, Türkiye, 17 litre hacim, 230 V, 50 Hz besleme gerilimi, 1200 W toplam güç, 700W çıkış gücü, 452 mm x 325 mm x 262 mm) farklı güç değerlerinde (460, 600 ve 700 W) kurutulmuştur.  $4.0 \pm 0.5$  g örnek cam petri (10.8 cm çap, 5 mm kalınlık) içinde mikrodalga fırının döner tablasına yerleştirilmiştir. Nem kaybını belirlemek üzere her 15 saniyede bir  $\pm 0.001$  g hassasiyete sahip dijital terazi (RADWAG WTC 2000, Radom, Polonya) ile tartım alınmıştır.

#### Sıcak Hava Kurutma

Örnekler sabit hava hızında (1 m/s) ve farklı sıcaklık değerlerinde (50, 60 ve 70 °C) laboratuvar ölçekli tepsili kurutucuda (Eksis TK, Isparta, Türkiye) kurutulmuştur.  $4.0 \pm 0.5$  g örnek cam petri (10.8 cm çap, 5 mm kalınlık) içinde fırın tepsisine yerleştirilmiştir. Kurutma süresince örnekler sabit tartıma ulaşınca kadar her 10 dakikada bir  $\pm 0.001$  g hassasiyete sahip dijital terazi (RADWAG WTC 2000, Radom, Polonya) ile tartım alınmıştır.

Kurutma denemeleri iki tekrarlı olarak yapılmıştır. Tüm ağırlık ölçüm işlemleri kurutma rejiminin bozulmaması açısından en kısa süre içinde (max. 5 s) tamamlanmıştır. Arapsaçı otu örnekleri petrilerin taban alanını tamamen kapsayacak şekilde yerleştirilmiş ve birim alana düşen örnek miktarı  $0.44 \text{ kg/m}^2$  olarak hesaplanmıştır.

### Matematiksel Modelleme, Kuruma Hızı ve Efektif Nem Difüzyonu Değerlerinin ( $D_{\text{eff}}$ , $\text{m}^2/\text{s}$ ) Hesaplaması

Kurutulan arapsaçı örneklerinin zamana bağlı olarak ağırlığında meydana gelen değişim takip edilerek, boyutsuz nem oranı (MR) ve kuruma hızı (DR) değerleri Eşitlik 1 ve 2 kullanılarak hesaplanmıştır.

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

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

$M_t$ ,  $M_i$ ,  $M_e$  ve  $M_{t+dt}$  sırasıyla herhangi bir t anındaki, başlangıç anındaki, denge durumundaki ve herhangi bir t+dt anındaki nem içeriğini (g su/g kuru madde (KM)) ifade etmektedir. t ise kuruma zamanı (mikrodalga deneyleri için saniye, sıcak havada kurutma deneyleri için dakika) olarak tanımlanmıştır.

Lewis ( $MR = \exp(-kt)$ ), Page ( $MR = \exp(-kt^n)$ ), Henderson ve Pabis ( $MR = a * \exp(-kt)$ ), İki terimli eksponansiyel ( $MR = a * \exp(-kt) + (1 - a)\exp(-kat)$ ), ve logaritmik ( $MR = a * \exp(-kt) + b$ ) ince tabaka kurutma modelleri seçilerek; arapsaçı otu örneklerinin kurutulması sırasında boyutsuz nem oranı değerlerinin kuruma zamanı ile değişiminin bu modellere uyumluluğu incelenmiştir (Erbay ve Icier, 2009; Onwude vd., 2016). Seçilen ince tabaka kurutma model parametrelerini değerlendirmek amacıyla doğrusal olmayan regresyon analizi kullanılmıştır (SPSS 20.0, SPSS Inc., Chicago, IL, ABD). Deneysel verilerin model eşitliği tarafından açıklanabilirliğinin belirlenmesinde belirleme katsayısı ( $R^2$ ), hata kareler ortalamasının karekökü (RMSE) ve indirgenmiş ki-kare ( $\chi^2$ ) değerleri kullanılmıştır (Erbay ve Icier, 2009).

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (MR_i - MR_{pre,i}) \times \sum_{i=1}^N (MR_i - MR_{exp,i})}{\sqrt{\left[ \sum_{i=1}^N (MR_i - MR_{pre,i})^2 \right] \times \left[ \sum_{i=1}^N (MR_i - MR_{exp,i})^2 \right]}} \quad (3)$$

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

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

$MR_{pre,i}$ : hesaplanan boyutsuz nem oranı,  $MR_{exp,i}$ : deneysel boyutsuz nem oranı,  $N$ ; gözlem sayısı,  $n$ ; sabit sayısını ifade etmektedir.

Efektif nem difüzyon katsayısı Fick'in ikinci yasasına göre hesaplanmıştır.

$$MR = \frac{M - M_e}{M_0 - M_e} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp \left[ -(2n+1)^2 \frac{\pi^2 D_{eff} t}{L^2} \right] \quad (6)$$

$L$  (m); kuruma tek yönden gerçekleştiği için arapsaçı örneklerinin kalınlığını (5mm) temsil etmektedir. Uzun kuruma süreleri için ( $MR < 0.6$ ) Eşitlik 6'da gösterilen seri basitleştirilerek Eşitlik 7'de belirtilen ilk terim kullanılmış ve efektif nem difüzyon katsayısı hesaplanmıştır (Bennamoun vd., 2013).

$$MR = \frac{8}{\pi^2} \exp \left[ \frac{D_{eff} t \pi^2}{4L^2} \right] \quad (7)$$

Efektif nem difüzyon katsayısı ve mikrodalga gücü veya hava sıcaklığı arasındaki ilişkinin Arrhenius fonksiyonu olduğu varsayılmaktadır (Eşitlik 8 ve 9) (Dadali vd., 2007; Erbay ve Icier 2009; Onwude vd., 2016).

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

$$D_{eff} = D_0 \exp \left( -\frac{E_a}{RT} \right) \quad (9)$$

$D_0$ ; pre- ekponansiyel faktörü ( $m^2/s$ ),  $E_a$ ; aktivasyon enerjisini ( $W/g$ ),  $P$ ; mikrodalga gücünü ( $W$ ),  $m$ ; örnek miktarını ( $g$ ),  $T$ ; mutlak sıcaklığı (Kelvin) ve  $R$ ; gaz sabitini ( $R = 8.31451 J/mol.K$ ) göstermektedir.

## BULGULAR VE TARTIŞMA

Saplarından ayrılan arapsaçı otu örneklerinin başlangıç nem içeriği 4.52 kg su/kg kuru madde (%81.88 y.b.) olarak hesaplanmıştır. Arapsaçı otu

örneklerinin kuruma süreleri mikrodalga fırın için 105-150 saniye arasında değişirken, bu süre sıcak havada kurtulan örnekler için 60-150 dakika arasında değişim göstermiştir. Mikrodalga gücündeki her artış kuruma süresinde 15 saniyelik bir azalışa neden olmuştur. Tepsili kurutucuda sıcaklık 50°C'den 60°C'ye arttığında kuruma süresi %50 azalmıştır. Sıcaklık 60°C'den 70°C'ye artırıldığında ise kuruma süresi 10 dakika (%14.29) kısalmıştır. Yüksek mikrodalga gücü gıdalarda daha fazla ısı jenerasyonuna neden olduğundan, gıdadan nem uzaklaşması hızlanmakta ve kuruma süresi kısalmaktadır (Torki-Harchegani vd., 2018). Yüksek hava sıcaklıkları, ısı ve kütle transferinin itici gücünde artışa neden olmakta, su buharı difüzyon hızı artmakta ve kuruma süresi kısalmaktadır. Benzer şekilde Ozkan vd. (2007) yaptıkları çalışmada ıspanak yapraklarını farklı mikrodalga güçlerinde kurutmuşlar (90, 160, 350, 500, 650, 750, 850 ve 1000 W) ve artan mikrodalga gücünün ıspanak yapraklarının kuruma süresini (290 s ve 4005 s) önemli ölçüde kısalttığını ve 1000 W'ta kurutulan örneklerin kuruma sürelerinin 50 ve 75 °C'de (1 m/s hava hızı) kurutulan örneklerle kıyasla 33 ve 17 kat daha kısa olduğunu belirtmişlerdir. Soysal (2004) yaptığı çalışmada maydanozların kuruma süresinin artan mikrodalga gücü (360, 450, 540, 630, 720, 810 ve 900 W) ile kısaldığı (3.50–9.75 dk) sonucuna varmıştır. Çalışmada 900 W'ta kurutulan örneklerin 360 W'ta kurutulan örneklerle kıyasla %64 daha kısa sürede kuruduğu belirlenmiştir. Aynı çalışmada 900 W mikrodalga gücünde kurutulan maydanoz örneklerinin 30, 40, 50 ve 65°C'de kurutulan örneklerle kıyasla kuruma sürelerinin sırasıyla 111, 92, 37 ve 31 kat daha kısa olduğu ortaya konulmuştur. Farklı mikrodalga güçlerinde (180, 360, 540, 720 ve 900 W) kurutulan nane örneklerinin kuruma sürelerinin artan mikrodalga gücü ile kısaldığı ve 900 W'ta kurutulan örneklerin kuruma süresinin, 180 W mikrodalga gücünde kurutulanlara kıyasla %76 daha kısa olduğu belirtilmiştir (Özbek ve Dadali 2007). *Sabia officinalis* yapraklarının kuruma süresinin artan hava sıcaklığı ile kısaldığı, hava sıcaklığı 60°C' den 50 °C'ye düşürüldüğünde kuruma süresinin yaklaşık 2.5 kat arttığı, 80°C'den 60 °C'ye düşürüldüğünde ise yaklaşık 1.5 arttığı belirtilmiştir (Jebri vd., 2019). Bu çalışma

kapsamında elde edilen bulgular literatür ile uyum içindedir. Arapsaçı otu örneklerinin kuruma süreleri, artan mikrodalga gücü ve hava sıcaklığı ile kısalmıştır. Mikrodalga fırında kurutulan örneklerin kuruma süresi, sıcak havada kurutulan örneklerle kıyasla önemli ölçüde kısa bulunmuştur. Seçilen kurutma sistemlerinin farklı prensiplere göre kurutma işlemini gerçekleştirmesi bu durumun nedeni olarak açıklanabilir. Mikrodalga fırında yapılan kurutma denemelerinde, enerji gıdaya elektromanyetik dalgalar ile iletilmekte ve gıdalar hacimsel olarak ısınmaktadır. Bu nedenle, ısıtma hızı sınırlı olmamakta ve homojen ısı dağılımı büyük ölçüde sağlanmaktadır. Ayrıca, bipolar moleküllerin dönüş hareketi mikrodalga alanı içinde üretilen ısı için önemlidir. Arapsaçı otu örneklerinin yüksek nem içeriği, ürünün içinde üretilen ısıya dışa doğru nem difüzyonunu hızlandırmakta ve kuruma hızını arttırarak kuruma zamanını kısaltmaktadır (Torki-Harchegani vd., 2018). Kutlu ve İşçi (2016) kuruma süresinin kısaltılmasının enerji sarfiyatını azaltarak endüstriyel olarak büyük bir maddi kazançta yol açacağını belirtmiştir. Kuruma işleminin kısa sürede gerçekleşmesi enerji sarfiyatının azaltılmasının yanında üründe istenmeyen reaksiyonların ortaya çıkmasını da engellemektedir. Bu kapsamda, arapsaçı otu örneklerinin mikrodalga fırında kurutulmasının gerek kuruma süresi gerekse enerji tüketimi açısından avantajlı olduğu sonucuna varılabilir.

Arapsaçı otu örneklerinin boyutsuz nem oranı (MR) değerlerinin kuruma zamanına bağlı değişimi Şekil 1'de gösterilmiştir. Beklenildiği gibi arapsaçı otu örneklerin MR değerleri kuruma süresine bağlı olarak azalmıştır. Mikrodalga fırında gerçekleştirilen kurutma denemelerinde 80 saniyeden sonra MR değerindeki değişim büyük ölçüde azalmıştır. Mikrodalga fırında kurutulan örneklerin kuruma davranışı birbirine benzerlik göstermektedir. Sıcak havada 60 ve 70 °C kurutulan örneklerin MR değerinde hızlı bir düşüş meydana gelirken 50 °C kurutulan örneklerde bu düşüşün daha yavaş olduğu gözlenmiştir. Benzer şekilde Motevali vd. (2016) yaptıkları çalışmada, papatya yapraklarını mikrodalga-konvektif kurutucuda kurutmuşlar (200, 300, 400, 500, 600, 700, 800 ve 900 W ve 50 °C, 0.5 m/s) ve artan

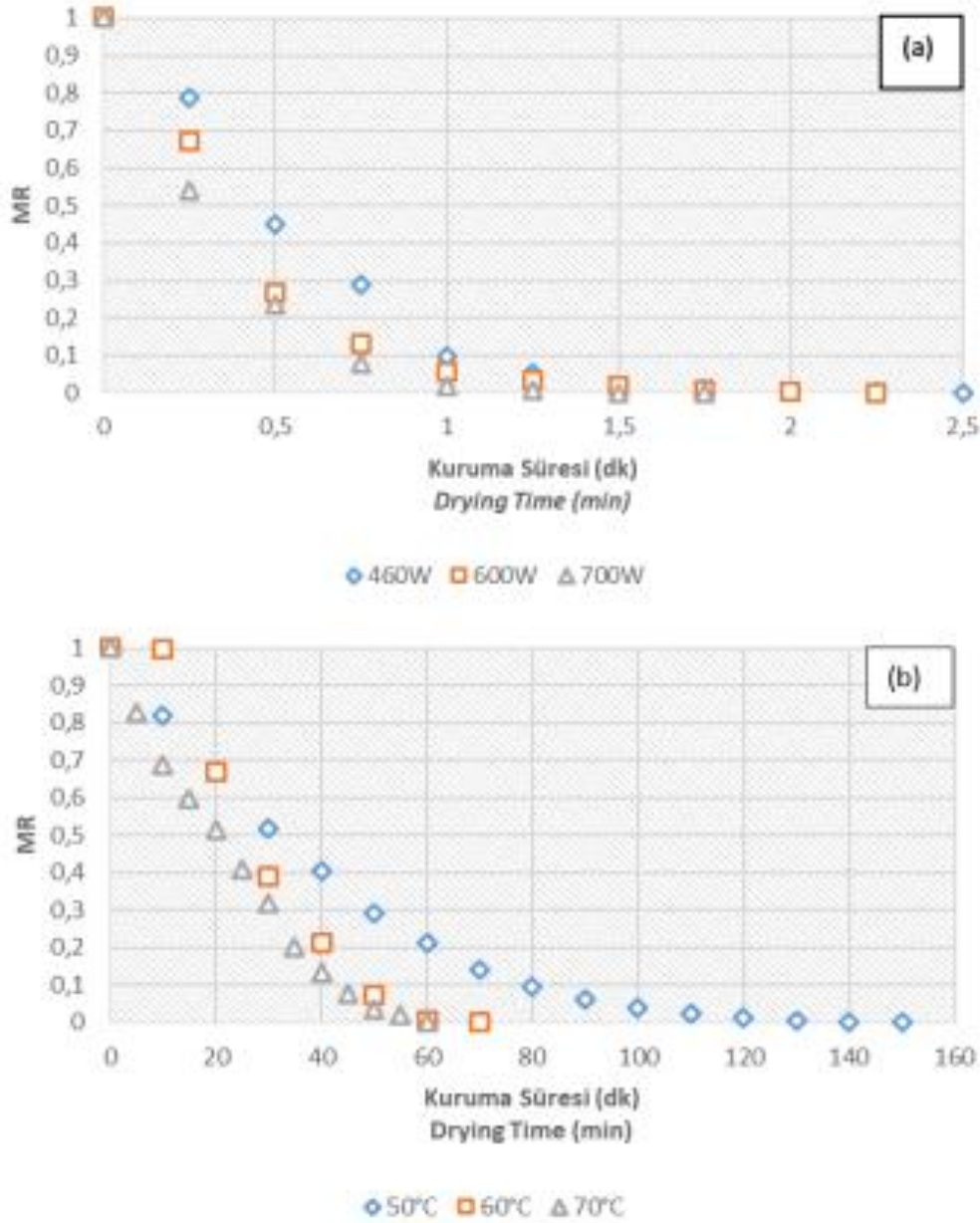
kuruma süresiyle birlikte nem içeriğinin ve kuruma hızının azaldığı sonucuna varmışlardır. Araştırmacılar nem içeriğindeki düzenli azalışın nedeninin nem transferinin difüzyon ile gerçekleşmesinden kaynaklandığını belirtmişlerdir. Ayrıca gıda maddelerinin mikrodalga enerjisini absorbe etmesinin gıdanın nem içeriğine bağlı olduğunu, zamana bağlı olarak su buharı evaporasyonu ile kuruma hızının azaldığını açıklamışlardır (Motevali vd., 2016).

Örneklerin nem içeriği mikrodalga güçleri ve hava sıcaklıkları için sırasıyla %2.64 (460 W), %2.47 (600 W), %3.24 (700 W) ve %4.81 (50 °C), %8.57 (60 °C), %9.79 (70 °C) olarak bulunmuştur. Çalışma sonuçlarına göre mikrodalga kurutma yöntemi ile üründen daha fazla nem uzaklaştırarak daha düşük nem içerikli örneklerin elde edilebileceği belirlenmiştir. Ayrıca yüksek hava sıcaklıklarında yapılan kurutma denemelerinde, üründe kabuk oluşumu sonucunda daha yüksek nemli ürünler elde edildiği bilinmektedir. Hava sıcaklığındaki artışa bağlı olarak nem içeriğinin artması kabuk oluşumu ile açıklanabilir.

Arapsaçı otu örneklerinin kuruma hızı hesaplanmış ve nem içeriğine karşı kuruma hızı eğrisi çizilmiştir (Şekil 2). Şekil 2 incelendiğinde, hem mikrodalga fırında hem de sıcak havada kurutulan örneklerin kurumasının azalan hızda kuruma periyodunda gerçekleştiği söylenebilir. Yüksek mikrodalga gücü ve sıcaklıklarda daha yüksek kuruma hızı değerleri elde edilmiştir. Bulunan sonuçlar literatür ile uyum içerisindedir (Doymaz, 2006; Akdoğan vd., 2017; Jebri vd. 2019). Ayrıca mikrodalga fırında gerçekleştirilen kurutma denemelerinde, sıcak havada gerçekleştirilen kurutma denemelerine kıyasla daha yüksek kuruma hızı değerleri elde edilmiştir. Azalan hızda kuruma periyodunda nem transferi moleküler difüzyon ile gerçekleşmektedir. Kutlu ve İşçi (2016) azalan hız periyodunda, ürün içerisindeki nem oranının azalmasıyla kuruma hızının azaldığını belirtmiştir. Benzer şekilde bu çalışmada da, arapsaçı otu örneklerinin kuruma hızı nem içeriği ile azalan bir eğilim göstermektedir. Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde mikrodalga fırında mısır kabuğunun (Akdoğan vd., 2017) ve patlıcan

dilimlerinin (Kutlu ve İşçi 2016), mikrodalga-konvektif kombine kurutucuda papatya yaprağının (Motevali vd., 2016) ve sıcak havada

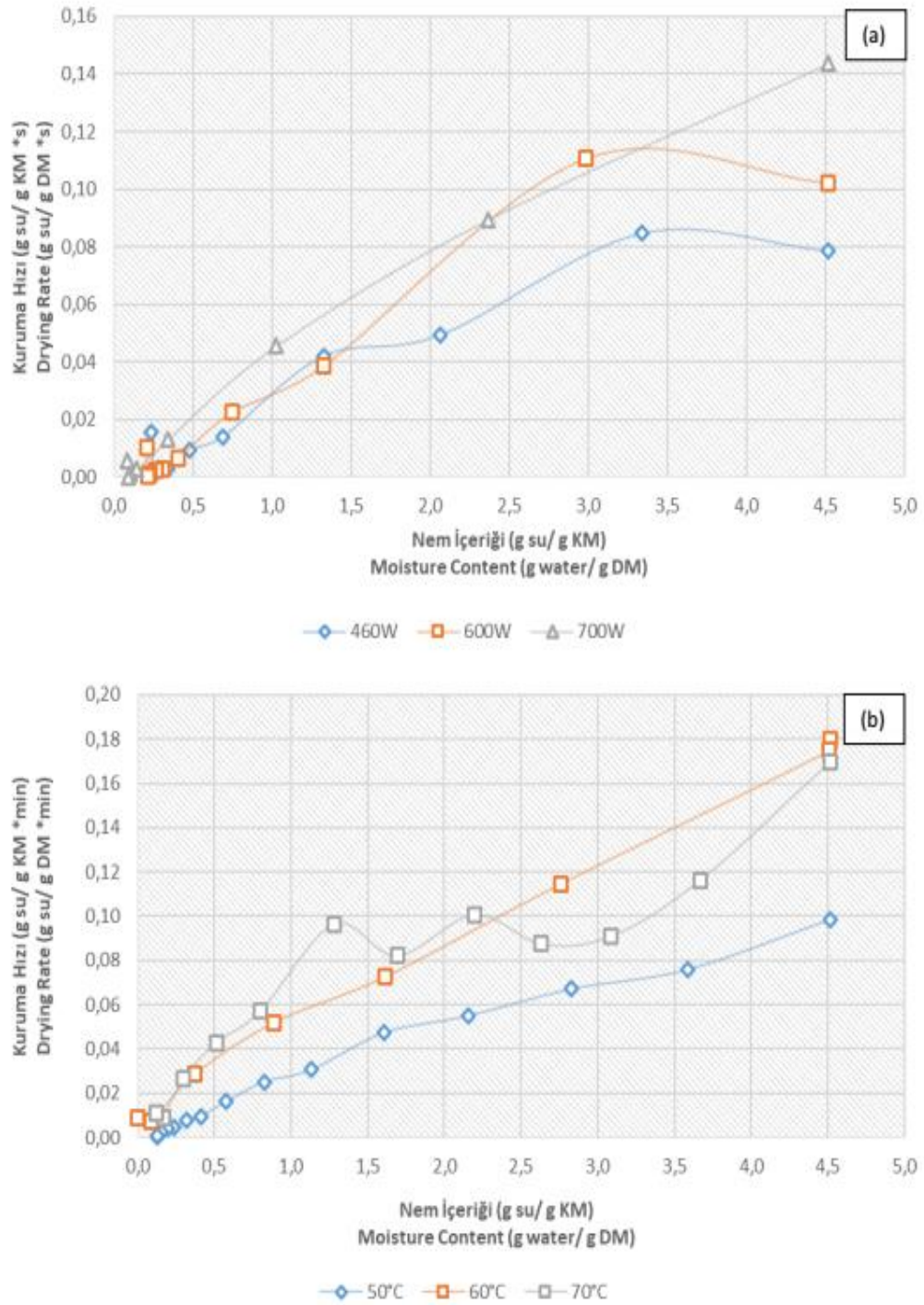
nanelerin (Doymaz, 2006) kuruma işleminin azalan hızda kuruma periyodunda gerçekleştiği görülmektedir.



Şekil 1. Boyutsuz nem içeriği (MR) değerlerinin kuruma zamanına bağlı değişimi (a: Mikrodalga fırında kurutulan örnekler; b: Sıcak havada kurutulan örnekler)

Figure 1. Changes in the moisture ratio values (MR) depending on drying time (a: Microwave dried samples; b: Hot air dried samples)





Şekil 2. Nem içeriğine karşı kuruma hızı eğrisi (a: Mikrodalga Fırında kurutulan örnekler; b: Sıcak havada kurutulan örnekler)

Figure 2. Moisture content values versus drying rate (a: Microwave dried samples; b: Hot air dried samples)

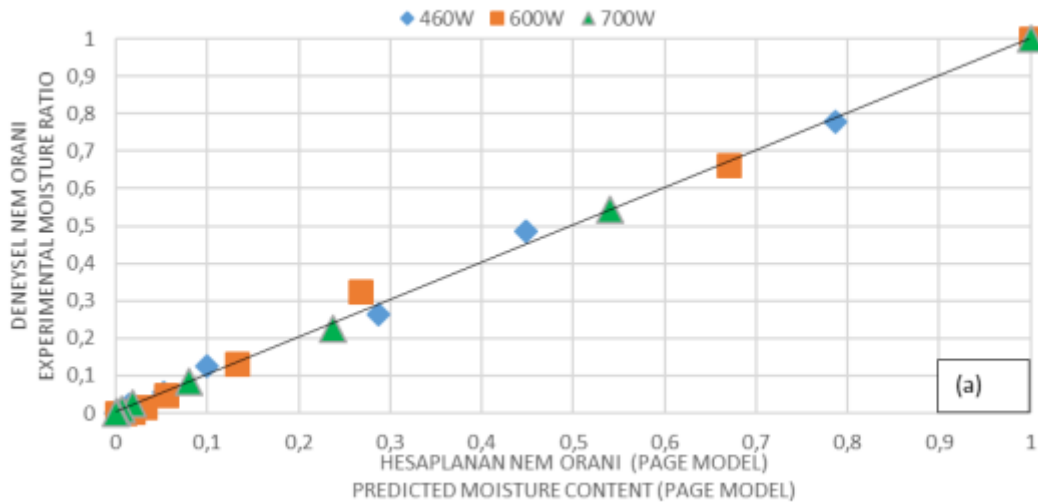
Son yıllarda, nane, maydanoz, defneyapağı, papatya yaprağı, zeytin yaprağı gibi çeşitli yapraklı bitkilerin ince tabaka kurutulmasının matematiksel modellenmesi üzerine birçok çalışma yapılmıştır. Ancak literatürde arapsaçı otunun kuruma davranışının incelenmesi üzerine yapılan bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Farklı kurutma yöntemleri ve kurutma koşullarının arapsaçı otu örneklerinin kurutma davranışı üzerindeki etkisini incelemek amacıyla yaygın olarak kullanılan beş farklı ince tabaka kurutma modeli seçilmiştir. Model parametreleri ve istatistiksel değerlendirme sonuçları Çizelge 1’de verilmiştir. Seçilen modellerin  $R^2$  değeri 0.8915’ten büyük bulunmuştur. Seçilen ince tabaka kurutma modellerinin yüksek  $R^2$  değerlerine dayanarak, tüm modellerin deneysel veriler için iyi uyum gösterdiği sonucuna varılmıştır. Mikrodalga fırında kurutulan örnekler için en yüksek  $R^2$  değerleri Page (0.9935-0.9990) ve iki terimli ekponensiyel modellerinden (0.9945-0.9990) elde edilmiştir. Sıcak havada kurutulan örnekler için ise iki terimli ekponensiyel (0.9840-0.9950) ve logaritmik modellerin (0.9545-0.9965)  $R^2$  değerleri en yüksek olarak bulunmuştur. Deneysel verilerin açıklanmasında en yüksek belirleme katsayısı ( $R^2$ ), en düşük hata kareler ortalamasının karekökü (RMSE) ve indirgenmiş ki-kare ( $\chi^2$ ) değerleri veren matematiksel model seçilmektedir (Erbay ve Icier 2009). Mikrodalga fırında kurutulan örnekler için en yüksek  $R^2$ , en düşük RMSE ve  $\chi^2$  değerleri Page modelden elde edilirken, sıcak havada kurutulan örnekler için logaritmik modelden elde edilmiştir. Benzer şekilde, Ozkan vd. (2007) yaptıkları çalışmada ıspanak yapraklarını farklı mikrodalga güçlerinde kurutmuşlar (90, 160, 350, 500, 650, 750, 850 ve 1000 W) ve Page modelin ıspanak yapraklarının kuruma davranışını açıkladığı sonucuna varmışlardır ( $R^2 > 0.9943$ ). Routray ve Rayaguru (2011) farklı mikrodalga güçlerinde (180, 360, 540 ve 720W) kurutulan aromatik *Pandanus amaryllifolius* yapraklarının kuruma davranışını en iyi Page modelin tanımladığını belirtmişlerdir ( $R^2 > 0.9884$ ). Akdoğan vd. (2017) mısır kabuğunun mikrodalga fırında (180, 360, 540, 720 ve 900W) kuruma davranışının Page model ile en iyi şekilde açıklandığını ortaya koymuşlardır ( $R^2 > 0.999$ ). Ayrıca araştırmacılar, kuruma hız sabitinin (k)

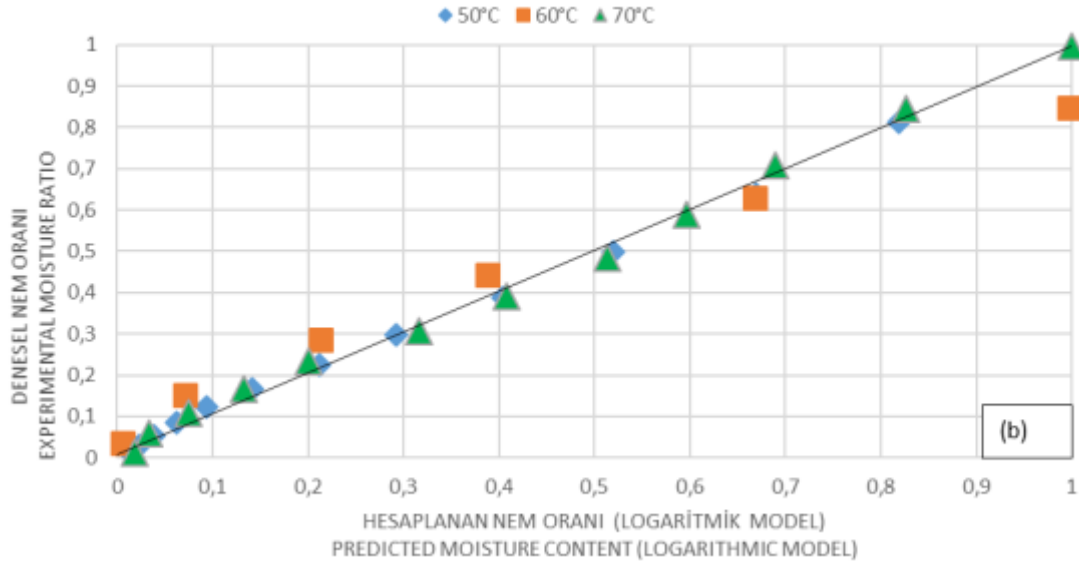
mikrodalga gücüyle arttığını saptamışlardır. Kuruma hız sabitinin (k) artan mikrodalga gücü ile artışının nedeninin ürünün daha hızlı kurumasından kaynaklı olduğu belirtilmiştir (Ozkan vd., 2007; Routray ve Rayaguru, 2011; Akdoğan vd., 2017). Çelen vd. (2017) tarafından yapılan ve mikrodalga konveyör kurutucu (1500 ve 2100 W mikrodalga gücü ve 0.175, 0.210 ve 0.245 m/dk. konveyör hızı) kullanarak kurutulan kabak dilimlerinin (5-15 mm kalığında) kuruma davranışının incelendiği bir çalışmada kuruma davranışını en iyi açıklayan modelin Page model ( $r: 0.978-0.998$ ) olduğu ortaya konulmuştur. Kabak dilimlerinin (5mm) mikrodalga gücü ve konveyör hızına bağlı olarak k değerlerinde meydana gelen değişimler incelendiğinde, kuruma hız sabitinin (0.175m/dk-1500 W için k:  $6 \times 10^{-5}$ , 0.175m/dk-2100 W için k:  $9.1 \times 10^{-6}$ , 0.210m/dk-1500 W için k: 0.0003, 0.210m/dk-2100 W için k:  $9.1 \times 10^{-6}$ , 0.245m/dk-1500 W ve 2100 W için k: 0.000) artan mikrodalga gücü ile azaldığı belirlenmiştir. Aynı çalışmada 10 ve 15 mm kalınlıklardaki kabak örnekleri için k değerinde artışlar ve azalışlar gözlenmiştir. Ancak yapılan bu çalışmada kuruma hız sabiti önce azalmış daha sonra artış göstermiştir. Şekil 3’te arapsaçı örneklerinin kuruma hızı eğrileri yer almaktadır. Şekil 3 incelendiğinde 600 W’ta yapılan kurutma denemelerinde bazı kuruma hızı değerlerinin 460 W için hesaplanan kuruma hız sabiti değerlerinden daha düşük olduğu görülmektedir. Bu durumun 600 W mikrodalga gücünde yapılan kurutma denemeleri için hesaplanan kuruma hız sabiti değerlerinin 460 W’ta yapılabileceğiyle daha düşük olmasının nedeni olduğu düşünülmektedir. Doymaz (2006) nane örneklerini farklı hava sıcaklıklarında (35-60°C) kurutmuş ve örneklerin kuruma davranışının logaritmik modelle açıklanabileceği sonucuna varmıştır. Mikrodalga fırında yapılan denemeler için Page modelin ve sıcak havada yapılan denemeler için logaritmik modelin uyumluluğu, deneysel nem oranının tahmin edilen nem oranı ile karşılaştırılmasıyla doğrulanmış ve Şekil 3’te gösterilmiştir. Hesaplanan değerler, genellikle seçilen modellerin uygunluğunun güçlü bir kanıtı olan düz bir çizgi etrafında toplanmıştır.



Çizelge 1. Farklı mikrodalga gücü ve sıcaklık değerlerinde kurutulan arapsaçı otu örneklerinin kuruma davranışlarının belirlenmesinde kullanılan matematiksel modeller ve istatistiksel veriler  
 Table 1. Mathematical models and statistical values used in the determination of the drying behavior of the fennel samples dried at different microwave powers and temperatures

Model Model	Mikrodalga Gücü (W)- Sıcaklık (°C) Microwave Power (W)- Temperature (°C)	Model Sabitleri Model Constants		R <sup>2</sup> R <sup>2</sup>	χ <sup>2</sup> χ <sup>2</sup>	RMSE RMSE
Lewis Lewis	460	k=0.0305±0.0021		0.9830±0.0170	0.0021±0.0004	0.03982±0.0251
	600	k=0.0405±0.0021		0.9815±0.0021	0.0022±0.0002	0.0444±0.0019
	700	k=0.0515±0.0050		0.9930±0.0000	0.0009±9E-05	0.0286±0.0012
	50	k=0.0290±0.0057		0.9895±0.0050	0.0010±5E-04	0.0308±0.0080
	60	k=0.0345±0.0021		0.8915±0.0012	0.0198±0.0010	0.1310±0.0050
	70	k=0.0455±0.0050		0.9675±0.0035	0.0037±0.0004	0.05812±0.0029
Page Page	460	k=0.0120±0.0021	n=1.3595±0.2369	0.9985±0.0007	0.0002±0.0000	0.0102±0.0214
	600	k=0.0100±0.0028	n=1.4155±0.0530	0.9935±0.0050	0.0009±0.0000	0.0266±0.0091
	700	k=0.0195±0.0007	n=1.2980±0.0226	0.9990±0.0000	6E-05±4E-05	0.0070±0.0019
	50	k=0.0125±0.0050	n=1.2320±0.0452	0.9990±0.0000	0.0171±0.0100	0.1128±0.092
	60	k=0.0010±0.0000	n=2.1030±0.1655	0.9890±0.0071	0.0165±0.0146	0.1050±0.0523
	70	k=0.0155±0.0021	n=1.3355±0.0050	0.9875±0.0021	0.0402±0.0408	0.1699±0.1016
Henderson ve Pabis Henderson and Pabis	460	k=0.0320±0.0014	a=1.0440±0.0297	0.9860±0.0141	0.0020±0.0020	0.0368±0.0226
	600	k=0.0420±0.0014	a=1.0320±0.0070	0.9830±0.0028	0.0020±0.0003	0.0430±0.0026
	700	k=0.0520±0.0125	a=1.0155±0.0021	0.9935±0.0007	0.0010±0.0001	0.0280±0.0014
	50	k=0.0300±0.0057	a=1.0425±0.0120	0.9915±0.0035	9E-04±0.0004	0.0280±0.0071
	60	k=0.0385±0.0021	a=1.1425±0.0106	0.9145±0.0092	0.0170±0.0022	0.1140±0.0074
	70	k=0.0480±0.0057	a=1.0490±0.0014	0.9705±0.0035	0.0036±0.0004	0.0553±0.0028
İki Terimli Ekspansiyonel Two-term Exponential	460	k=38.6051±2.0156	a=0.0010±0.0006	0.9945±0.0064	0.0091±0.0004	0.0864±0.0015
	600	k=0.0645±0.0007	a=2.0635±0.0743	0.9945±0.0006	0.0010±0.0001	0.0320±0.0210
	700	k=0.0735±0.0078	a=1.8840±0.0382	0.9990±0.0000	1E-04±5E-05	0.0090±0.0020
	50	k=0.0010±0.0000	a=42.2375±3.0483	0.9925±0.0035	0.0100±0.0070	0.0920±0.0330
	60	k=0.0620±0.0106	a=2.479±0.0064	0.9950±0.0078	0.0010±0.0001	0.0296±0.0252
	70	k=0.0600±0.0027	a=1.8240±0.1321	0.9840±0.0028	0.0020±0.0120	0.0412±0.0007
Logarithmic Logarithmic	460	k=0.0290±0.0028	a=1.0745±0.0473	c=-0.0395±0.0106	0.9895±0.0106	0.0025±0.0014
	600	k=0.0410±0.0028	a=1.0385±0.0176	c=-0.0090±0.0007	0.9835±0.0035	0.0022±0.0004
	700	k=0.0475±0.0035	a=1.0430±0.0000	c=-0.0325±0.0021	0.9960±0.0000	0.0006±1E-04
	50	k=0.0265±0.0064	a=1.0735±0.0318	c=-0.0470±0.0021	0.9965±0.0007	0.0004±5E-05
	60	k=0.0195±0.0050	a=1.5820±0.2037	c=-0.4820±0.0007	0.9545±0.0050	0.0094±5E-04
	70	k=0.0291±0.0071	a=1.2720±0.0976	c=-0.2715±0.0014	0.9940±0.0014	0.0007±0.0002





Şekil 3. Deneysel ve hesaplanan boyutsuz nem oranı değerlerinin karşılaştırılması (a: Mikrodalga Fırında kurutulan örnekler; b: Sıcak havada kurutulan örnekler)

Figure 3. Experimental moisture ratio versus predicted moisture ratio values (a: Microwave dried samples; b: Hot air dried samples)

Efektif nem difüzyon katsayısı ve aktivasyon enerjisi değerleri hesaplanmış sonuçlar Çizelge 2'de verilmiştir. Efektif nem difüzyon katsayısı değerleri artan mikrodalga gücü ve hava sıcaklığına bağlı olarak artış göstermiştir. Bu durumun yüksek mikrodalga gücü ve hava sıcaklıklarının nem difüzyonunu hızlandırdığından kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca, mikrodalga fırında kurutulan örnekler için daha yüksek efektif nem difüzyon katsayısı değerleri elde edilmiştir. Benzer şekilde, Akdoğan vd. (2017) yaptıkları çalışmada mısır kabuklarını farklı mikrodalga güçlerinde (180, 360, 540, 720 ve 900 W) kurutmuşlar ve efektif nem difüzyon katsayısı değerlerinin ( $2.264 \times 10^{-10}$ -  $8.941 \times 10^{-10} \text{m}^2/\text{s}$ ) artan mikrodalga gücü ile arttığını ortaya koymuşlardır. Routray ve Rayaguru (2011), artan mikrodalga gücü (180, 360, 540 ve 720W) ile aromatik *Pandanus amaryllifolius* yapraklarının efektif nem difüzyon katsayısı değerlerinin arttığı ve bu değerlerin  $5.35 \times 10^{-8}$  ile  $1.99 \times 10^{-7} \text{m}^2/\text{dk}$  arasında değiştiği sonucuna varmışlardır. Çelen vd. (2017) artan mikrodalga gücü ile kabak dilimlerinin efektif nem difüzyon katsayısı değerlerinin arttığını ve  $1.682 \times 10^{-7}$  ile  $2.690 \times 10^{-6}$

$\text{m}^2/\text{s}$  arasında değiştiğini belirtmişlerdir. Araştırmacılar bu durumun nedeninin artan ısı enerjisiyle su moleküllerinin aktivitesindeki artıştan kaynaklanabileceğini vurgulamışlardır (Çelen vd., 2017). Sıcak havada kurutulan *Sahia officinalis* yapraklarının efektif nem difüzyon katsayısı değerleri ( $50\text{-}80^\circ\text{C}$ )  $2915 \times 10^{-12}$  ve  $2964 \times 10^{-11} \text{m}^2/\text{s}$  (Jebri vd., 2019), mercanköşk yapraklarının ( $40\text{-}60^\circ\text{C}$ ) efektif nem difüzyon katsayısı değerleri  $7.19 \times 10^{-12}$  ve  $1.17 \times 10^{-10} \text{m}^2/\text{s}$  (Benhamou vd., 2008) ve nanelerin ( $35\text{-}60^\circ\text{C}$ ) efektif nem difüzyon katsayısı değerleri  $3.067 \times 10^{-9}$  ve  $1.941 \times 10^{-8} \text{m}^2/\text{s}$  (Doymaz 2006) arasında değişim göstermiştir. Erbay ve Icier (2009) gıdaların efektif nem difüzyon katsayısı değerlerinin  $10 \times 10^{-12}$  ile  $10 \times 10^{-6} \text{m}^2/\text{s}$  arasında değiştiğini ve bu değerlerin %75'inin  $10 \times 10^{-10}$  ile  $10 \times 10^{-8} \text{m}^2/\text{s}$  arasında olduğunu belirtmişlerdir. Bu çalışma kapsamında arapsaçı otu için hesaplanan efektif nem difüzyon katsayısı değerlerinin literatür ile uyum içinde olduğu görülmektedir.

Aktivasyon enerjisi değerleri mikrodalga fırında kurutulan örnekler için  $131.3443 \text{W/g}$ , sıcak

havada kurutulan örnekler için ise 37.5142 kJ/mol olarak hesaplanmıştır. Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde, aktivasyon enerjisi değerleri mikrodalga fırında kurutulan nane örnekleri için 12.2839 W/g (Özbek ve Dadalı 2007), mikrodalga fırında kurutulan aromatik *Pandanus amaryllifolius* yaprakları için 13.6 W/g (Routray ve Rayaguru 2011), mikrodalga fırında kurutulan mısır kabukları için 49.350 W/g (Akdoğan vd., 2017), mikrodalga fırında kurutulan patlıcan dilimleri (5mm kalınlığında) için 76.5 W/g (Kutlu ve İşçi 2016), sıcak havada ve mikrodalga fırında kurutulan *Salvia officinalis* yaprakları için sırasıyla 1054.85 J/mol ve 4.85 W/g (Jebri vd., 2019), sıcak havada kurutulan mercanköşk yapraklarının için 82 kJ/mol (Benhamou vd., 2008), sıcak havada kurutulan

naneler için 62.96 kJ/mol (Doymaz, 2006) olarak bulunmuştur. Erbay ve Icier (2009), gıdaların aktivasyon enerji değerlerinin 12.32- 82.93 kJ/mol arasında değiştiğini ve bu değerlerin % 80.5'inin 18-49.5 kJ/mol arasında olduğunu belirtmiştir. Bu çalışma kapsamında arapsaçı otunun sıcak havada kurutulması için hesaplanan aktivasyon enerjisi değeri (37.5142 kJ/mol) literatür ile uyum içerisindedir. Mikrodalga fırında kurutma için hesaplanan aktivasyon enerjisi değeri literatürde belirtilen değerlerin üzerindedir. Bu durumun, kullanılan örneklerin kimyasal bileşimi, doku yapıları, spesifik yüzey alanı, kurutma yöntemi ve koşulları (sıcaklık, mikrodalga gücü, vb.) arasındaki farklılıklardan kaynaklandığı düşünülmektedir.

Çizelge 2. Farklı mikrodalga gücü ve sıcaklık değerlerinde kurutulan arapsaçı otu örneklerinin efektif nem difüzyon katsayısı, aktivasyon enerjisi ve istatistiksel veriler  
Table 2. The effective moisture diffusivity, activation energy, and statistical values for the fennel samples dried at different microwave powers and temperatures

Mikrodalga Gücü (W)-Sıcaklık (oC) Microwave Power (W)-Temperature (oC)	$D_{eff}$ ( $m^2/s$ ) $D_{eff}$ ( $m^2/s$ )	R2 R <sup>2</sup>	Ea (W/g ya da kJ/mol) Ea (W/g or kJ/mol)	R2 R <sup>2</sup>
460	$4.7061 \times 10^{-7} \pm 3.2990 \times 10^{-8}$	$0.9851 \pm 0.0004$	131.3443 ± 5.7845	0.7177 ± 0.2010
600	$5.1422 \times 10^{-7} \pm 5.4505 \times 10^{-8}$	$0.9955 \pm 0.0011$		
700	$8.3168 \times 10^{-7} \pm 1.8647 \times 10^{-7}$	$0.9816 \pm 0.0018$		
50	$7.6068 \times 10^{-9} \pm 7.1718 \times 10^{-10}$	$0.9692 \pm 0.0228$	37.5142 ± 3.2651	0.9881 ± 0.0141
60	$1.1664 \times 10^{-8} \pm 7.1718 \times 10^{-10}$	$0.9684 \pm 0.0102$		
70	$1.7242 \times 10^{-8} \pm 2.8687 \times 10^{-9}$	$0.9544 \pm 0.0091$		

## SONUÇ

Bu çalışma kapsamında, arapsaçı otunun mikrodalga fırında ve tepsili kurutucuda kuruma kinetiği incelenmiştir. Mikrodalga fırında kurutulan arapsaçı otu örneklerinin, sıcak havada kurutulanlara kıyasla daha kısa kuruma zamanına, daha yüksek kuruma hızı ve efektif nem difüzyonu değerlerine sahip olduğu sonucuna varılmıştır. Mikrodalga gücü ve hava sıcaklığı ile kuruma süresinin kısaldığı, nem içeriği ve kuruma hızının ise arttığı tespit edilmiştir. Arapsaçı otu örneklerinin kuruma kinetiğini en iyi açıklayan modeller Page (mikrodalga fırın için) ve Logaritmik model (tepsili kurutucu için) olmuştur. Arapsaçı otu için hesaplanan efektif nem difüzyonu değerlerinin, mikrodalga fırında yapılan kurutma denemeleri için  $4.7061 \times 10^{-7}$  -  $8.3168 \times 10^{-7}$   $m^2/s$  ve tepsili kurutucuda yapılan kurutma

denemeleri için  $7.6068 \times 10^{-9}$  -  $1.7242 \times 10^{-8}$  arasında değiştiği ve literatür ile uyum içinde olduğu sonucuna varılmıştır. Farklı kurutma işlemlerinin ve koşullarının arapsaçı otunun fiziksel, kimyasal ve duyuşal özelliklerinde meydana getirdiği değişim ileriki çalışmalar kapsamında incelenebilir.

## KAYNAKLAR

Abou El-Soud, N., El-Lithy, N., Mohamed, G., Wahby, M.S., Yossif, M., Morsy, F., Shaffie, N. (2011). Antidiabetic activities of *Foeniculum vulgare* Mill. essential oil in streptozotocin-induced diabetic rats. *Maced J Med Sci*, 4, 139–146.  
Akdoğan, A., Çalışkan Koç, G., Dirim, S.N. (2017). Mathematical Modeling on Thin Layer Microwave Drying of Corn Husk and

- Investigation of Powder Properties. *Bulg Chem Commun*, 49, 986 – 993.
- Atta-Aly, M. (2001). Fennel swollen base yield and quality as affected by variety and source of nitrogen fertilizer. *Sci Horti (Amsterdam)*, 88, 191–202.
- Ayan, H. (2010). Güneşte ve Yapay Kurutucuda Kurutulmuş Domates (*Lycopersicon esculentum*) Üretimi ve Proses Sırasındaki Değişimlerin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Ankara, Türkiye.
- Benhamou, A., Idrimam, A., Lamharrar, A., Benyoucef, B., Kouhila, M., Abou, U., Belkaïd, B., Tlemcen, A. (2008). Diffusivité hydrique et cinétique de séchage solaire en convection forcée des feuilles de marjolaine. *Revue des Energies Renouvelables*, 11 (1),75 – 85.
- Bennamoun, L., Kahlerras, L., Michel, F., Courard, L., Salmon, T., Fraikin, L. (2013). Determination of moisture diffusivity during drying of mortar cement: Experimental and modeling study. *Int J Energy Eng*, 3, 1–6.
- Çelen, S., Haksever, A., Moralar A. (2017). Investigation of Drying Kinetics of Zucchini using Microwave Energy. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 32(4),107-120.
- Dadali, G., Demirhan, E., Özbek, B. (2007). Color Change Kinetics of Spinach Undergoing Microwave Drying. *Dry Technol*, 25, 1713–1723.
- Doymaz, İ. (2006). Thin-layer drying behaviour of mint leaves. *J Food Eng*, 74, 370–375.
- Erbay, Z., Icier, F. (2009). A review of thin layer drying of foods: theory, modeling, and experimental results. *Crit Rev Food Sci Nutr*, 4, 441–464.
- Ertekin, C., Firat, M.Z. (2017). A comprehensive review of thin layer drying models used in agricultural products. *Crit Rev Food Sci Nutr*, 57, 701-717.
- Inouye, S., Uchida, K., Abe, S. (2006). Vapor activity of 72 essential oils against a Trichophyton mentagrophytes. *J Infect Chemother*, 12, 210–216.
- Jebri, M., Desmorieux, H., Maaloul, A., Saadaoui, E., Romdhane, M. (2019). Drying of *Salvia officinalis* L. by hot air and microwaves: dynamic desorption isotherms, drying kinetics and biochemical quality. *Heat Mass Transf*, 55, 1143–1153.
- Karabacak, A. Ö., Sınır, G.Ö., Suna, S. (2015). Mikrodalga ve Mikrodalga Destekli Kurutmanın Çeşitli Meyve ve Sebzelerin Kalite Parametreleri Üzerine Etkisi. *U. Ü. Ziraat Fakültesi Dergisi*, 29(2), 125-135.
- Krokida, M.K., Karathanos, V.T., Maroulis, Z.B., Marinou-Kouris, D. (2003). Drying kinetics of some vegetables. *J Food Eng*, 59, 391–403.
- Kutlu, N., İşçi, A. (2016). Farklı Kurutma Yöntemlerinin Patlıcanın Kurutma Karakteristikleri Üzerine Etkisi ve Kurutmanın Matematiksel Modellenmesi. *Akademik Gıda*, 14(1) 21-27.
- Mahady, G.B., Pendland, S.L., Stoia, A., Hamill, F.A., Fabricant, D., Dietz, B.M., Chadwick, L.R. (2005). In Vitro susceptibility of Helicobacter pylori to botanical extracts used traditionally for the treatment of gastrointestinal disorders. *Phyther Res*, 19, 988–991.
- Maskan, M. (2000). Microwave/air and microwave finish drying of banana. *J Food Eng*, 44, 71–78.
- Mohsenzadeh, M. (2007). Evaluation of Antibacterial Activity of Selected Iranian Essential Oils Against Staphylococcus aureus and Escherichia coli in Nutrient Broth Medium. *Pak J Biol Sci*, 10, 3693–3697.
- Motevali, A., Minaei, S., Banakar, A., Ghobadian, B., Darvishi, H. (2016). Energy analyses and drying kinetics of chamomile leaves in microwave-convective dryer. *J Saudi Soc Agric Sci*, 15, 179–187.
- Onwude, D.I., Hashim, N., Janius, R.B., Nawi, N.M., Abdan, K. (2016). Modeling the Thin-Layer Drying of Fruits and Vegetables: A Review. *Compr Rev Food Sci Food Saf*, 15, 599–618.
- Özbek, B., Dadali, G. (2007). Thin-layer drying characteristics and modelling of mint leaves undergoing microwave treatment. *J Food Eng*, 83, 541–549.
- Ozkan, I.A., Akbudak, B., Akbudak, N. (2007). Microwave drying characteristics of spinach. *J Food Eng*, 78, 577–583.
- Parejo, I., Francesc, V., Bastida, J., Rosas-Romero, A., Flerlage, N., Burillo, J., Codina, C. (2002). Comparison between the Radical Scavenging Activity and Antioxidant Activity of Six Distilled and Nondistilled Mediterranean

- Herbs and Aromatic Plants. *J Agric Food Chem*, 50, 6882–6890.
- Platts, J. (1991). Microwave Ovens. Peter Pergrinus Ltd. London UK.
- Roby, M.H.H., Sarhan, M.A., Selim, K.A.-H., Khalel, K.I. (2013). Antioxidant and antimicrobial activities of essential oil and extracts of fennel (*Foeniculum vulgare* L.) and chamomile (*Matricaria chamomilla* L.). *Ind Crops Prod*, 44, 437–445.
- Rostami, H., Shafiei, S. (2012). Antibacterial and Antifungal Activity of some Medicinal Plants from Iran. *J Plant Sci*, 7, 55–66.
- Routray, W., Rayaguru, K. (2011). Microwave drying kinetics and quality characteristics of aromatic Pandanus amaryllifolius leaves. *Int Food Res J*, 18, 992–999.
- Ruberto, G., Baratta, M., Deans, S., Dorman, H. (2001). Antioxidant and Antimicrobial Activity of *Foeniculum vulgare* and *Crithmum maritimum* Essential Oils. *Planta Med*, 66, 687–693.
- Singh, G., Maurya, S., de Lampasona, M.P., Catalan, C. (2006). Chemical constituents, antifungal and antioxidative potential of *Foeniculum vulgare* volatile oil and its acetone extract. *Food Control*, 17, 745–752.
- Soysal, Y. (2004). Microwave Drying Characteristics of Parsley. *Biosyst Eng*, 89, 167–173.
- Stephen, J.H. (1997). Microwave Enhanced Chemistry (Fundamentals, sample preparation and Application). American Chemical Society, Washington DC., USA.
- Tognolini, M., Ballabeni, V., Bertoni, S., Bruni, R., Impicciatore, M., Barocelli, E. (2007). Protective effect of *Foeniculum vulgare* essential oil and anethole in an experimental model of thrombosis. *Pharmacol Res*, 56, 254–260.
- Torki-Harchegani, M., Pirbalouti, A.G., Ghanbarian, D. (2018). Influence of Microwave Power on Drying Kinetic, Chemical Composition and Antioxidant Capacity of Peppermint Leaves. *J Essent Oil Bear Plants*, 21, 430–439.
- Viuda-Martos, M., Mohamady, M.A., Fernández-López, J., Abd ElRazik, K.A., Omer, E.A., Pérez-Alvarez, J.A., Sendra, E. (2011). In vitro antioxidant and antibacterial activities of essential oils obtained from Egyptian aromatic plants. *Food Control*, 22, 1715–1722.
- Zeng, H., Chen, X., Liang, J. (2015). In vitro antifungal activity and mechanism of essential oil from fennel (*Foeniculum vulgare* L.) on dermatophyte species. *J Med Microbiol*, 64, 93–103.