

## Zeytin Pirinasının Mikrodalga Enerjisi Kullanılarak Kurutulması ve Uygun İnce Tabaka Modelinin Belirlenmesi

S. Çelen<sup>1\*</sup>

T. Aktaş<sup>2</sup>

S. S. Karabeyoğlu<sup>3</sup>

A. Akyıldız<sup>4</sup>

<sup>1\*</sup> Namık Kemal Üniversitesi Çorlu Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, Tekirdağ

<sup>2</sup> Namık Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Biyosistem Mühendisliği Bölümü, Tekirdağ

<sup>3</sup> Kırklareli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, Kırklareli

<sup>4</sup> Namık Kemal Üniversitesi Çorlu Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Tekirdağ

Bu çalışmada mikrodalga fırında pirinanın ince tabaka kuruma kinetiği incelenmiştir. 7mm, 9mm ve 11mm kalınlıktaki pirina örnekleri; 90, 180, 360 ve 600W (2450 MHz) çıkış güçlerinde mikrodalgada kurutulmuş ve zamana bağlı olarak pirinanın nem içeriğindeki değişim belirlenmiştir. Mikrodalga çıkış gücündeki artma ile kuruma hızının arttığı saptanmıştır. Dört farklı mikrodalga çıkış gücünde nihai nem içeriklerine sırasıyla; 7mm kalınlığında pirina için 90W da 13250s, 360W da 1070s ve 600W da 820 saniyede ulaşılırken, 9mm kalınlığında pirina için 90W da 17640s, 360W da 1360s ve 600W da 990 saniyede ve 11mm kalınlığında pirina için 90W da 23440s, 360W da 1580s ve 600W da 1070 saniye sonunda ulaşılmıştır. Deneysel verileri değerlendirmek için literatürde önerilmiş olan Wang&Singh, Two Term, Two Term Exponential ve Midilli ve ark. ince tabaka kuruma modelleri kullanılmıştır. Modeller arasındaki kıyaslama  $R^2$ ,  $\chi^2$  ve  $e_s$  istatistik parametreleri kullanılarak yapılmıştır. Kullanılan modeller arasında 7mm için Two Term Exponential, 9mm için Midilli ve ark. ve 11mm için Two Term modelinin pirinanın mikrodalga kuruma davranışını temsil eden en iyi modeller olduğu saptanmıştır. Ayrıca kurutma ile ilgili modelleme çalışmaları incelendiğinde efektif difüzyon katsayısının ve aktivasyon enerjisinin sırasıyla  $1,17 \cdot 10^{-5}$ - $4,11 \cdot 10^{-6}$  m<sup>2</sup>/s ve 0,1190kJ/mol-0,3577 kJ/mol arasında değiştiği belirlenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Pirina, mikrodalga, kurutma modeli, difüzyon katsayısı

### Drying of Prina Using Microwave Energy and Determination of Appropriate Thin Layer Drying Model

This study examined the thin layer drying kinetics of the prina in the microwave. Prina samples with 7mm, 9mm and 11mm thickness were dried using 90, 180, 360 and 600 W (2450 MHz) microwave output powers and changing of moisture content of samples depend on time were determined. The drying rate increased with the increase in microwave power output. The final moisture content was determined at the end of 13250s for 90W, at the end of 1070s for 360W, at the end of 820s for 600W for prina of 7mm thickness, at the end of 17640s for 90W, at the end of 1360s for 360W, at the end of 990s for 600W for prina of 9mm thickness and at the end of 23440s for 90W, the end of 1580s for 360W, at the end of 1070s for 600W for prina of 11mm thickness in four different microwave powers. To evaluate the experimental data, Wang & Singh, Two Term, Two Term Exponential and Midilli et al. thin layer drying models suggested in the literature were used. Comparison between models was performed using the statistical parameters as  $R^2$ ,  $\chi^2$  and  $e_s$ . Among used the models, Two Term Exponential for 7mm, Midilli et al. for 9mm, Two Term for 11mm were found to be the best models representing the microwave drying behavior of prina samples. Also, according to modelling results, it was determined that the effective diffusion coefficient and activation energy changed between  $1,17 \cdot 10^{-5}$ - $4,11 \cdot 10^{-6}$  m<sup>2</sup> s and 0,1190kJ/mol-0.3577 kJ/mol, respectively.

**Keywords:** Prina, microwave, drying model, diffusion coefficient

#### Giriş

Dünya'da ve ülkemizde, zeytin işleme ve zeytinyağı sektörü büyük ekonomik öneme sahiptir. Zeytin ve zeytinyağı endüstrisi, gerek zeytinyağı olarak gerekse sofralık zeytin olarak insanların beslenme zincirinin en özel ve önemli halkalarındandır. 2009 yılı verilerine göre ülkemizde üretilen zeytin miktarı 1 290 654

tondur. Üretilen miktarın 389.120 tonu sofralık 737.244 tonu da yağlık olarak değerlendirilmiştir (Başkan, 2010).

Pirina, zeytinden yağ çıkartılması sırasında elde edilen çekirdek ve etli kısımdan oluşan, %3-6 oranında zeytinyağı ve %40-65 oranında nem içeren katı atıktır (Kurtuluş 2003; Öcal 2005; Başkan 2010). Yağlı pirina ya da diğer bir adı ile

yağlı zeytin küspesi zeytinyağı elde edilme aşamasında ortaya çıkan önemli zeytin yan ürünüdür (Tunalıoğlu ve Armağan, 2008). Eski Roma zamanlarında yabancı otların büyümesine engel olan doğal bir ilaç olarak kullanılmasına rağmen günümüzde kullanım alanı oldukça geniştir. Yakıt, gübre, büyükbaş hayvanlar için yem olarak (Tunalıoğlu ve Armağan, 2008; Keser ve Bilal, 2010), hatta bitümlerle karıştırıldığında yol yapımında katkı malzemesi olarak değerlendirilebilen pirininin en yaygın kullanım alanı sahip olduğu enerji içeriği nedeniyle “yakıt amaçlı” kullanımınıdır (Koçer, 2013).

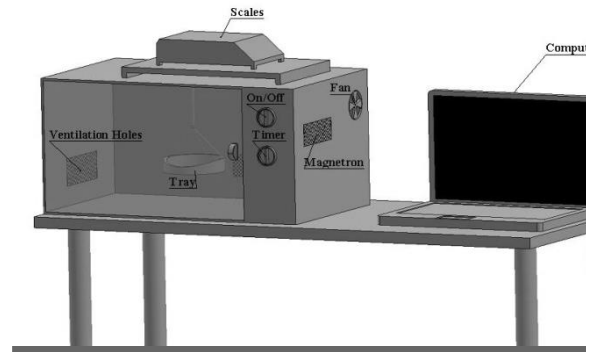
Bu kullanım alanlarına ilave olarak zeytin pirinasının tekrar kullanılması amacıyla, artıkların plastik malzemeler ile katılaştırılarak polimer sektöründe kullanılan kompozit malzeme üretiminde kullanılması günümüzde yaygınlaşmaktadır. Plastik matrisin zeytin atık malzemelerle karışımlarının kullanılması hem dayanım hem de ekonomik olması açısından olumlu kazanımlar sağlamaktadır.

Kullanım amacı ne olursa olsun bünyesindeki yağ asit değeri bekletme sırasında artış göstereceğinden dolayı pirininin mümkün olan en kısa zamanda uygun kurutma yöntemleri ve kurutma şartları kullanılarak kurutulması önem taşımaktadır. Bu sebeple bu çalışmanın temel amacı; zeytinyağı fabrikalarında zeytinlerin sıkılmasından sonra arta kalan zeytin küspesi olan pirininin mikrodalga yöntemi kullanılarak kurutulması, kurutma kinetiğinin incelenmesi, farklı kalınlıklarda kurutulmuş örneklerin ince tabaka kurutulmasında en uygun modelin saptanması ve bu modelleme sonuçlarına bağlı olarak difüzyon katsayısı ve aktivasyon enerji değerlerinin belirlenmesidir.

## Materyal ve Yöntem

Deneylerde kullanılmış olan pirina Balıkesir’ den bir zeytinyağı işleme fabrikasından temin edilmiştir. Pirina örneklerinin kurutulması amacıyla kullanılmış Beko marka, 2450MHz frekanslı, 800W’ luk enerji değerli, 19 litrelik iç hacimli, döner tabanlı mikrodalga fırın denemelere uygun şekilde düzenlenmiştir (Şekil 1).

Mikrodalga kurutmada deneyler süresince oluşan nem kayıpları Presica XB 620 M marka hassas terazi aracılığıyla ölçülmüştür. Terazi mikrodalga fırının üstüne konulmuştur. Ağırlık kayıpları terazinin alttan tartma özelliği sayesinde ölçülmektedir.



Şekil 1. Mikrodalga Kurutma Sistemi

Figure 1. Microwave Drying System

Tarım ürünlerinin nem içeriğini ifade etmede “yaş baz” (y.b.) ve “kuru baz” (k.b.) olmak üzere iki tanımdan biri kullanılmaktadır. Yaş baza göre nem içeriği ürünlerdeki su ağırlığının ürünün tüm ağırlığına oranı olarak tanımlanmaktadır (Kahveci ve Cihan, 2008). Deneyler kurutulmuş pirininin nem oranı %22±0.5 ye (yaş baz) gelinceye kadar devam ettirilmiştir.

Yaş baza göre nem içeriğini hesaplamak amacıyla 1 numaralı eşitlik kullanılmıştır.

$$\%m_{yb} = \frac{M_s}{M_s + M_k} \cdot 100 \quad (1)$$

Boyutsuz nem oranı:

$$mr = \frac{m - m_e}{m_o - m_e} \quad (2)$$

şeklinde tanımlıdır. Mikrodalga kurutma için bu formül aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

$$mr = m / m_o \quad (3)$$

Bu eşitliklerde:

$M_k$ : ürünün kuru kütlesi (g),

$M_s$ : ürünün sıvı kütlesi (g),

$m_r$ : boyutsuz nem oranı,

$m$ : ürünün belli bir zamandaki nem içeriği,

$m_e$ : denge nem içeriği,

$m_o$ : ilk nem içeriği,

$m_{yb}$ : yaş baza göre nem içeriğidir.

Mikrodalga fırın içinde denge nem içeriği ( $m_e$ ) sıfır kabul edilmiştir (Maskan, 2000).

Mikrodalga kurutma deneylerinde, pirina tabaka kalınlıkları 7, 9, 11mm olarak alınmış ve ilk nem değerlerinin saptanması amacıyla etüvde 24 saat 105°C' de sabit ağırlığa gelinceye kadar kurutulmuştur. Yaş baza göre ilk nem değeri %49 ± 0,01 olarak bulunmuştur. Kurutma için örnek ağırlıkları her bir kalınlık için farklı alınmıştır. Bu ağırlıklar, 7mm için 150 g, 9mm için 200 g, 11mm için 250 g'dır. Bu amaçla hazırlanmış her bir örneğin kuru ağırlıkları bulunmuştur.

Transport mekanizmalarının karmaşıklığından dolayı gıda maddelerinin kuruma davranışları genellikle ampirik ve yarı-ampirik modeller ile simüle edilmektedir (Kahveci ve Cihan, 2008). Bu amaçla sıkça kullanılan modeller Çizelge 1' de verilmiştir. Ampirik ve yarı-ampirik modeller teorik modellere göre daha az karmaşık olmakla birlikte, içerdikleri parametrelerin, yalnızca ele alınan ürün ve prosesle ilgili olması, yaygın kullanım alanı bulmalarını engellemektedir.

Çizelge 1. Biyolojik malzemelerin kuruma davranışını ifade etmede sıkça kullanılan ampirik ve yarı-ampirik modeller (Cihan ve Ark., 2007)

Table 1. Emprical and semi-emprical models that are often used to express the drying behaviour of biological materials (Cihan et al., 2007)

Model adı	Model denklemleri
Wang&Singh	$mr = 1 + at + bt^2$
Two term	$mr = a_1 \exp(-k_1 t) + a_2 \exp(-k_2 t)$
Two term exponential	$mr = a \exp(-kt) + (1 - a) \exp(-kat)$
Midilli ve ark.	$mr = a \exp(-kt^n) + bt$

Modelleme lineer olmayan regresyon analiz yöntemi yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla Fortran programı kullanılarak bir kod hazırlanmıştır. Modelin deneysel verileri ifade etmedeki uygunluğuna korelasyon katsayısının ( $r$ ) aldığı değere göre karar verilmiştir. Modelin uygunluğunu tespit etmek amacıyla ayrıca standart hata ( $e_s$ ) ve chi-kare ( $\chi^2$ ) değerleri de hesaplanmıştır. Bu büyüklükler aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır (McMinn, 2006; Sacılık ve ark., 2006)

$$r = \frac{n_o \sum_{i=1}^{n_o} mr_{teo,i} mr_{den,i} - \sum_{i=1}^{n_o} mr_{teo,i} \sum_{i=1}^{n_o} mr_{den,i}}{\sqrt{\left( n_o \sum_{i=1}^{n_o} (mr_{teo,i})^2 - \left( \sum_{i=1}^{n_o} mr_{teo,i} \right)^2 \right) \left( n_o \sum_{i=1}^{n_o} (mr_{den,i})^2 - \left( \sum_{i=1}^{n_o} mr_{den,i} \right)^2 \right)}} \quad (4)$$

$$e_s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n_o} (mr_{teo,i} - mr_{den,i})^2}{n_o}} \quad (5)$$

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n_o} (mr_{teo,i} - mr_{den,i})^2}{n_o - n_c} \quad (6)$$

Bu eşitliklerde;

- $a, b, k, k_1, k_2, n$  : kurutma sabitleri,
- $n_o$  : ölçüm sayısı,
- $e_s$  : standart hata,
- $t$  : zaman (s),
- $m$  : kuru baza göre nem içeriği,
- $m_r$  : boyutsuz nem oranı,
- $teo$  : teorik,
- $n_c$  : kurutma modelindeki sabit sayısı,
- $\chi^2$  : Chi kare,
- $\varphi$  : bağıl nem,
- $T$  : sıcaklık (°C),
- $e$  : denge nem durumu,
- $o$  : başlangıç durumu,
- $den$  : deneysel,
- $r$  : korelasyon katsayısıdır.

Model sonuçları ile deneysel veriler arasındaki uygunluk ne kadar iyi ise korelasyon katsayısı 1' e o kadar yakın, standart hata ve chi-kare ise 0' a o kadar yakın olmaktadır.

Mikrodalga kurutucuda kurutma için efektif difüzyon katsayıları tespit edilmiştir. Çoğu gıdalarda nem difüzyonu kurutma sıcaklığındaki artış ile artmaktadır. Genellikle, difüzyon katsayısının sıcaklıkla ilişkisi aşağıda verilen Arrhenius tipi bir ilişkidir ve aşağıdaki formülle hesaplanır.

$$D_{\text{eff}} = D_o \cdot e^{-E/R \cdot T} \quad (7)$$

$D_o$  : Sabit katsayı ( $m^2/s$ ),

$E$  : Aktivasyon enerjisi ( $J/kg \text{ mol K}$ ),

$R$  : Üiversal gaz sabiti ( $8314.34 J/kg \text{ mol K}$ )

$T$  : Kurutma ortamı sıcaklığı ( $K$ )

Mikrodalga kurutmada sıcaklık doğrudan ölçülemez. Arrhenius denklemi değiştirilerek aktivasyon enerjisi hesaplanabilir. Aktivasyon enerjisi efektif difüzyon katsayısı ile ilişkilidir ve mikrodalga gücün ürün ağırlığına oranı ( $m/P$ ) aşağıdaki denklemdeki gibidir (Demirhan ve Özbek, 2008; Abano ve Ark., 2012 ).

$$D_{\text{eff}} = D_o \cdot e^{-E \cdot m/P} \quad (8)$$

Bu eşitlikte :

$m$  : pirinanın ilk yaş ağırlığı ( $g$ ),

$P$  : mikrodalga gücüdür ( $W$ ).

İkinci Fick yasasının belirtilen şartlar altında bazı basit geometriler için analitik çözümleri vardır. Çalışmamızda kullanılan tabaka sonsuz slab olarak kabul edilmiştir.  $\ln \frac{m - m_e}{m_o - m_e}$  nin zamana bağlı

olarak değişim grafiği çizilerek her deney şartındaki difüzyon katsayıları hesaplanabilmektedir. Bunun için (9) eşitliği kullanılmıştır.

$$\frac{m - m_e}{m_o - m_e} = \frac{8}{\pi^2} \exp\left(-\frac{\pi^2 D_{\text{eff}} t}{4L^2}\right) \quad (9)$$

$$\ln \frac{m - m_e}{m_o - m_e} = \ln \frac{8}{\pi^2} - \frac{\pi^2 D_{\text{eff}} t}{4L^2} \quad (10)$$

elde edilir. Bu bir doğru bağıntısıdır.  $L$  tabaka kalınlığıdır.

$$A = \ln \frac{8}{\pi^2} \quad (11)$$

$$c = -\frac{\pi^2 D_{\text{eff}}}{4L^2} \quad (12)$$

olmak üzere:

$$\ln \frac{m - m_e}{m_o - m_e} = a + ct \quad (13)$$

şeklinde ifade edilebilir.  $\ln \frac{m - m_e}{m_o - m_e}$  ile  $t$  arasında

bir grafik çizildiğinde doğrunun eğimi  $-\frac{\pi^2 D_{\text{eff}}}{4L^2}$  dir.

Bu eğimlerden difüzyon katsayısı  $D_{\text{eff}}$  hesaplanabilmektedir.

$$D_{\text{eff}} = -\frac{4L^2 c}{\pi^2} \quad (14)$$

## Bulgular ve Tartışma

Farklı tabaka kalınlıklarında örneklerin mikrodalga sistemi ile kurutulması sırasında gösterdiği kuruma davranışları Şekil 3, 4 ve 5' de gösterilmiştir. Şekil 3, 4 ve 5'den de görüldüğü gibi pirinanın kurutulmasında mikrodalga gücünün büyük bir önemi vardır. Doğal olarak en uzun kuruma süresi 90W' da, en kısa kuruma süresi ise 600W' da söz konusu olmaktadır. Yüksek güç hızlı kuruma sağlamaktadır. Bunun bir avantaj olduğu düşünülebilir ama kalite yönünden incelendiğinde bu istenmeyen bir durumdur. Denemeler sırasında pirinanın içinde bulunan çekirdek parçaları, 600W güçte bölgesel olarak yanmalara sebep olmuştur. Homojen bir kuruma sağlanamamıştır. 7mm kalınlığında pirina 90W'da 13250s, 360W'da 1070s ve 600W'da 820 saniyede %22±0.5 neme kadar düşürülerek kuruma sağlanmıştır. 9mm kalınlığında pirina 90W da 17640s, 360W da 1360s ve 600W da 990 saniyede %22±0.5 neme kadar düşürülerek kuruma sağlanmıştır. 11mm kalınlığında pirina 90W'da 23440s, 360W'da 1580s ve 600W'da 1070 saniyede %22±0.5 neme kadar düşürülerek kuruma sağlanmıştır.

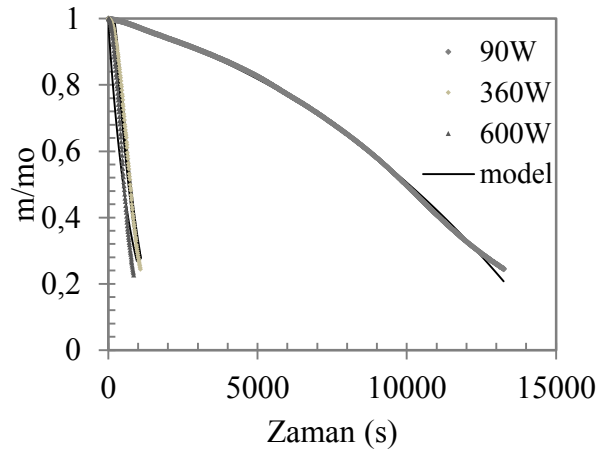
Mikrodalgada kurutulan pirina numunelerinin kuruma davranışını ifade etmede Çizelge 1'de verilen modellerin uygunluğu gerçekleştirilen istatistiksel analiz sonuçlarına göre 7, 9 ve 11mm tabaka kalınlığında hazırlanan pirina örnekleri için sırasıyla Çizelge 2, 3 ve 4' de verilmiştir.

Sonuçlardan da görülebileceği gibi ele alınan değişik mikrodalga güçleri için Şekil 2' de modelin deneysel veriler ile uygunluğu çözülmüştür. 90W için Two Term Exponential model, 360W ve 600W için Midilli ve ark. Modelinin uygun olduğu görülmektedir. Two Term Exponential modele dayalı olarak kuruma eğrileri

Çizelge 2. 7mm kalınlığındaki Pirina için mikrodalga kurutmada ampirik ve yarı-ampirik modellerin uygunluğu

Table 2. Appropriateness of empirical and semi-emprical models for prina with 7 mm thickness for microwave drying

Model	M.G.	Sabitler	r	e <sub>s</sub>	χ <sup>2</sup>
Wang and Singh	90W	a=-0,000049 b=0,000201	0,9720	0,0563	0,00317
	360W	a=-0,000309 b=0,008152	0,9814	0,0648	0,00421
	600W	a=-0,000728 b=-1,83.10 <sup>-10</sup>	0,9887	0,0444	0,00197
Midilli ve ark.	90W	a=1,054548 k=-0,00174 n=0,440172 b=-0,00006	0,9791	0,03343	0,001117
	360W	a=0,399561 k=-0,75580 n=0,06666 b=-0,00105	0,9957	0,01689	0,000285
	600W	a=1,07589 k=-0,00034 n=0,73856 b=-0,00112	0,9916	0,02377	0,000565
Two term	90W	a=3,203771 k <sub>0</sub> =0,000157 b=-2,267705 k <sub>1</sub> =0,000253	0,9799	0,03300	0,001089
	360W	a=4,557828 k <sub>0</sub> =0,002346 b=-3,616446 k <sub>1</sub> =0,003300	0,9955	0,01765	0,000311
	600W	a=1,180290 k <sub>0</sub> =0,001645 b=-13,76064 k <sub>1</sub> =0,442478	0,9600	0,05452	0,002972
Two term exponential	90W	a=2,437169 k=-0,000024	0,9987	0,00830	0,000068
	360W	a=2,194453 k=0,001882	0,9908	0,02507	0,000628
	600W	a=0,001283 k=1,052386	0,9723	0,09016	0,008129



Şekil 2. 90W, 360W ve 600W güçte kurutulan 7mm kalınlığındaki Pirina için Two term exponential modeline dayalı kuruma eğrileri

Figure 2. Drying curves of pirina that were dried using 90, 360 and 600 W power levels with 7 mm thickness based on Two term exponential model

Çizelge 3 incelendiğinde 9mm kalınlığında hazırlanmış pirinanın mikrodalga sisteminde kurutulmasında kuruma davranışına  $r$ ,  $e_s$  ve  $\chi^2$  sonuçlarının birlikte değerlendirilme sonucunda uygun modelin Midilli ve ark. modeli olduğu görülmektedir.

DeneySEL veriler ile en iyi uygunluğu veren Midilli ve ark. modeline dayalı olarak kuruma eğrileri değişik mikrodalga güçleri ve 9mm pirina tabakası kalınlığı için Şekil 3' de çizilmiştir.

Çizelge 4 incelendiğinde 11mm kalınlığında hazırlanmış pirinanın mikrodalga sisteminde kurutulmasında kuruma davranışına en uygun modelin yine Two Term modeli olduğu görülmektedir.

DeneySEL veriler ile iyi uygunluğu veren Two Term modeline dayalı olarak kuruma eğrileri değişik mikrodalga güçleri için Şekil 5' de çizilmiştir.

Eldedilen bu sonuçlar uygulanan üç farklı mikrodalga gücünde üç farklı uygun model ortaya koymaktadır. Vega-Galvez ve ark. (2010) yaptıkları çalışmada taşınım ile pirinanın kurutulmasında The Modified Henderson and Pabis modelin, Meziane (2011) ise akışkan yataklı kurutucuda kurutulan

pirina için Midilli ve ark. modelinin uygun olduğunu göstermişlerdir.

Şekil 5'de  $\ln \frac{m - m_e}{m_o - m_e}$  nin zamana bağlı olarak değişimi mikrodalga kurutma yöntemi için verilmiştir.

Şekil 6'da farklı mikrodalga güç seviyeleri için  $\ln Deff$  'nin birim güce düşen ağırlık miktarına (m/P) bağlı olarak değişimi ve bu değişimin denklemleri verilmiştir.

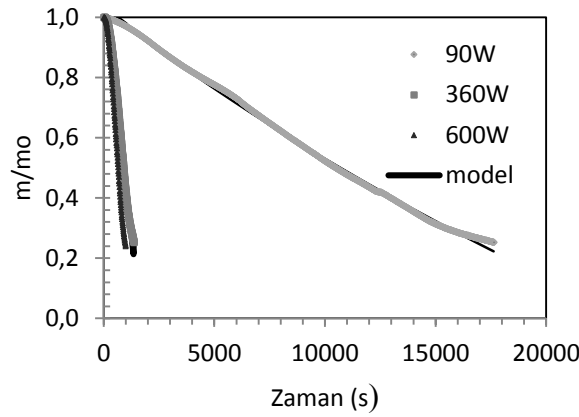
Şekil 6 'da verilmiş olan grafiklerden faydalanarak her deney şartındaki difüzyon katsayıları Eşitlik (9) kullanılarak hesaplanmıştır. Hesaplanan difüzyon katsayıları ve aktivasyon enerjileri pirina tabaka kalınlığı ve mikrodalga gücüne bağlı olarak Çizelge 5'de verilmiştir.

Vega-Galvez vd. (2010), pirinanın beş farklı sıcaklıkta taşınım ile kurutulmasında efektif difüzyon katsayıları ve aktivasyon enerjilerini de sırasıyla  $2.03.10^{-9}$ - $1.71.10^{-9}$   $m^2/s$  ve  $12.43kJ/mol$  olarak belirlemişlerdir. Meziane (2011) yaptığı çalışmada pirinanın akışkan yataklı kurutucuda kurutulmasında difüzyon katsayısının hava sıcaklığına bağlı olarak  $0.68$ - $2.15.10^{-7}$   $m^2/s$  ve aktivasyon enerjisinin  $34.05$ ,  $36.84$  ve  $38.10$   $kJ/mol$  olarak bulunmuştur.

Çizelge 3. 9mm kalınlığındaki Pirina için mikrodalga kurutmada ampirik ve yarı-ampirik modellerin uygunluğu

Table 3. Appropriateness of empirical and semi-empirical models for pirina with 9mm thickness for microwave drying

Model	M.G.	Sabitler	r	e <sub>s</sub>	χ <sup>2</sup>
Wang and Singh	90W	a=-0,0000456 b=2,2.10 <sup>-12</sup>	0,9950	0,01633	0,000266
	360W	a=-0,0005417 b=0,0007674	0,9851	0,05868	0,003443
	600W	a=-0,0007885 b=0,0058754	0,9899	0,05231	0,002736
Midilli ve ark.	90W	a=1,031251 k=0,000044 n=0,981044 b=-0,000017	0,9982	0,00985	0,000097
	360W	a=1,097892 k=-0,000129 n=0,941906 b=-0,000749	0,9853	0,03133	0,000982
	600W	a=1,090949 k=-0,000205 n=0,936219 b=-0,001047	0,9908	0,02508	0,000629
Two term	90W	a=1,081887 k <sub>0</sub> =0,000075 b=-8,513370 k <sub>1</sub> =0,464394	0,9852	0,02863	0,000819
	360W	a=1,172467 k <sub>0</sub> =0,000942 b=-61,86524 k <sub>1</sub> =1,180369	0,9402	0,06420	0,004122
	600W	a=4,063010 k <sub>0</sub> =0,002529 b=-3,100287 k <sub>1</sub> =0,003623	0,9981	0,01158	0,000134
Two term exponential	90W	a=1,881758 k=0,000109	0,9990	0,00707	0,000050
	360W	a=0,001245 k=0,584398	0,9537	0,09369	0,008777
	600W	a=0,001224 k=0,838124	0,9623	0,08955	0,008020



Şekil 3. 90W, 360W ve 600W güçte kurutulan 9mm kalınlığındaki Pirina için Midilli ve ark. modeline dayalı kuruma eğrileri

Figure 3. Drying curves of prina that were dried using 90, 360 and 600 W power levels with 9mm thickness based on Midilli et al. model

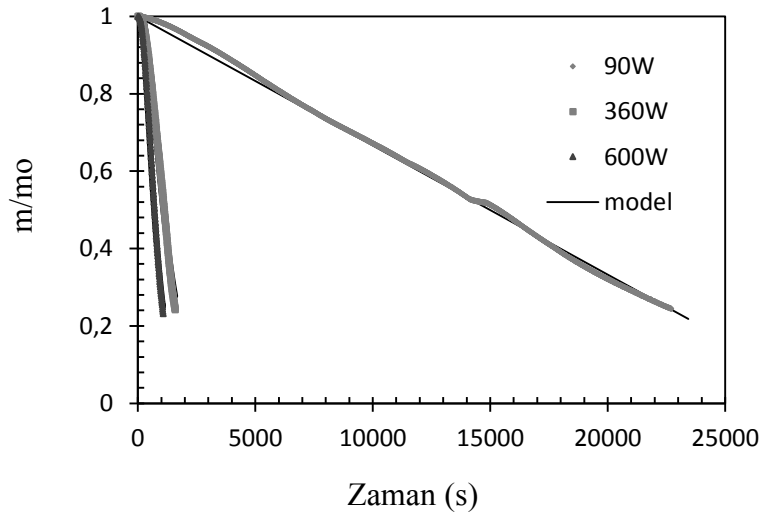
Çizelge 4. 11mm kalınlığındaki Pirina için mikrodalga kurutmada ampirik ve yarı-ampirik modellerin uygunluğu

Table 4. Appropriateness of empirical and semi-empirical models for prina with 11mm thickness for microwave drying

Model	M.G.	Sabitler	r	e <sub>s</sub>	χ <sup>2</sup>
Wang and Singh	90W	a=-0,0000333 b=-8,5.10 <sup>-11</sup>	0,9993	0,01061	0,000112
	360W	a=-0,0004955 b=0,0071163	0,9858	0,05829	0,003397
	600W	a=-0,0007377 b=0,0066127	0,9901	0,05195	0,002699
Midilli ve ark.	90W	a=1,019523 k=6,323119 n=0,973576 b=-0,000029	0,9993	0,00595	0,000035
	360W	a=1,098083 k=-0,000143 n=0,7947020 b=-0,000576	0,9875	0,02809	0,000789
	600W	a=1,0901277 k=-0,000148 n=0,939548 b=-0,000933	0,9911	0,02453	0,000601
Two term	90W	a=3,675954 k <sub>0</sub> =0,000080 b=-2,664026 k <sub>1</sub> =0,000099	0,9992	0,00343	0,000011
	360W	a=2,871580 k <sub>0</sub> =0,001394 b=-1,919944 k <sub>1</sub> =0,002453	0,9942	0,01958	0,000383

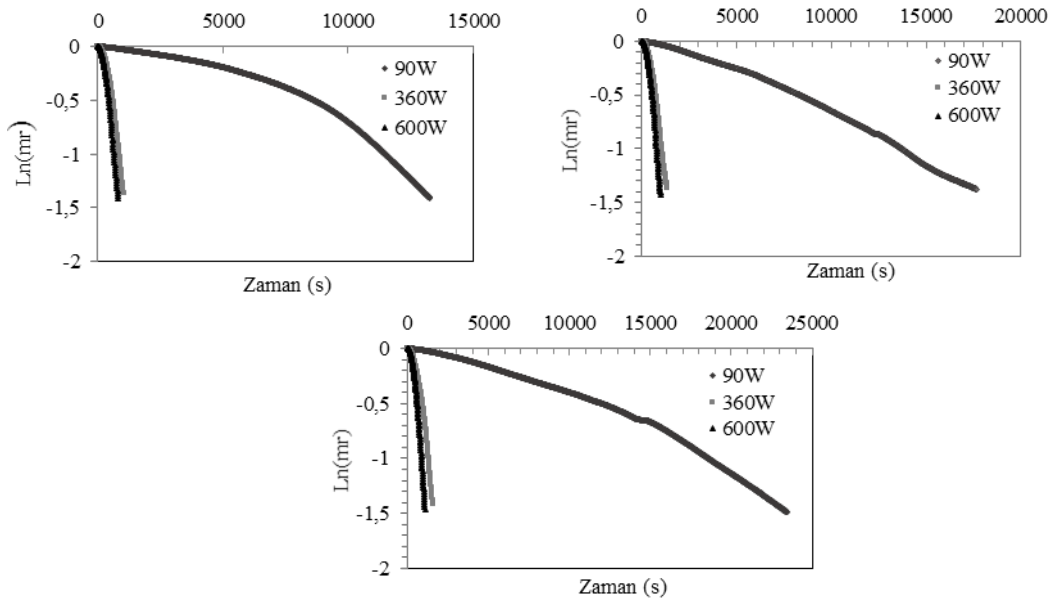


	600W	a=3,0570587 k <sub>0</sub> =0,002189 b=-2,096946 k <sub>1</sub> =0,003636	0,9980	0,01167	0,000136
	90W	a=8,0210105 k=6,5410 <sup>-7</sup>	0,9988	0,00878	0,000077
Two term exponential	360W	a=2,1655613 k=0,0012442	0,9910	0,02408	0,000857
	600W	a=2,151426 k=0,001927	0,9959	0,01668	0,000278



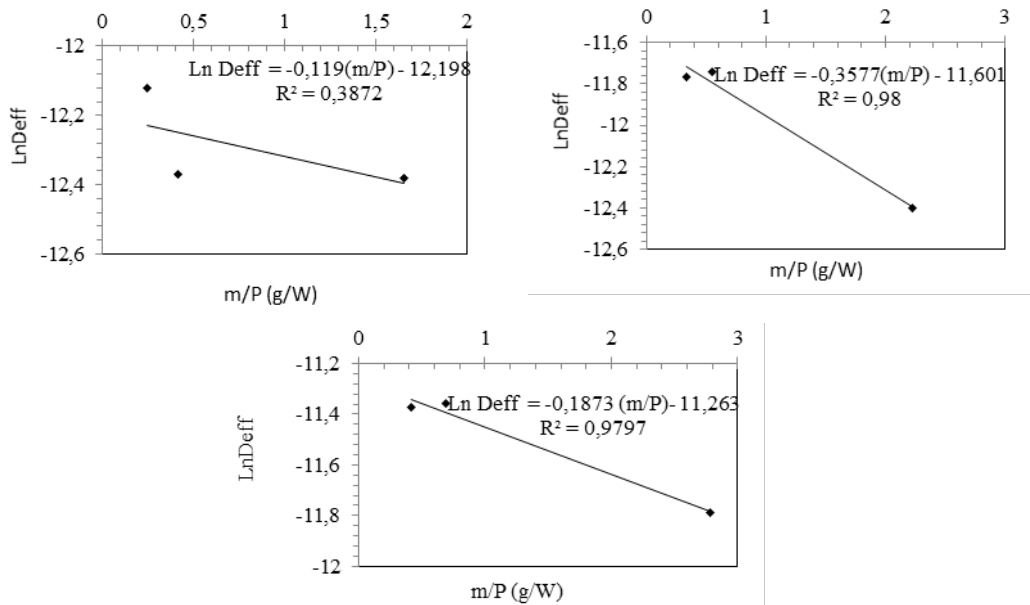
Şekil 4. 90W, 360W ve 600W güçte kurutulan 11mm kalınlığındaki Pirina için Two Term modeline dayalı kuruma eğrileri

Figure 4. Drying curves of prina that were dried using 90, 360 and 600W power levels with 11mm thickness based on Two term model



Şekil 5. 7mm, 9mm ve 11mm kalınlığındaki pirinanın farklı mikrodalga güçlerinde  $\ln(m_r)$  ve kuruma zamanı arasındaki lineer ilişki

Figure 5. Linear relationship between drying time and  $\ln(m_r)$  determined at different microwave power levels for pirina with 7, 9 and 11mm thicknesses



Şekil 6. 7mm, 9mm ve 11mm kalınlığındaki pirina için farklı mikrodalga güçlerindeki  $\ln(D_{eff})$  ve kuruma zamanı arasındaki lineer ilişki

Figure 6. Linear relationship between drying time and  $\ln(D_{eff})$  determined at different microwave power levels for pirina with 7, 9 and 11mm thicknesses

Çizelge 5. Farklı güçlerdeki kurutulan pirinanın  $D_{eff}$  ve aktivasyon enerjisi değerleri

Table 5.  $D_{eff}$  and activation energy values for prina that were dried using different microwave power levels

Pirina Kalınlığı	Mikrodalga Gücü (W)	$D_{eff}$ ( $m^2/s$ )	E (kJ/mol)
7mm	90	$4,11.10^{-6}$	0,1190
	360	$7,94.10^{-6}$	
	600	$7,74.10^{-6}$	
9mm	90	$4,20.10^{-6}$	0,3577
	360	$4,25.10^{-6}$	
	600	$5,45.10^{-6}$	
11mm	90	$7,60.10^{-6}$	0,1873
	360	$1,17.10^{-5}$	
	600	$1,15.10^{-5}$	

### Sonuçlar

Bu çalışmada pirinanın mikrodalga kuruma davranışı deneysel olarak araştırılmış ve deneyler 90 W, 360 W, 600 W güçlerinde gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar sırasıyla: (1) Mikrodalga gücünün artmasıyla kuruma zamanı azalmıştır. (2) Pirinanın kuruma davranışının tanımlanmasında 7mm için Two Term Exponential, 9mm için Midilli ve ark. ve 11mm için Two Term Modeli en uygun model olarak tespit edilmiştir. (3) Kurutma ile ilgili modelleme çalışmaları incelendiğinde efektif difüzyon katsayısının ve aktivasyon enerjisinin sırasıyla  $1,17.10^{-5}$ - $4,11.10^{-6}$   $m^2/s$  ve  $0,1190$ kJ/mol- $0,3577$  kJ/mol aralarında değiştiği görülmüştür.

### Teşekkür

Bu çalışmanın yapılmasında Namık Kemal Üniversitesi Bilimsel Araştırma Fonun desteklerinden dolayı teşekkür ederiz (NKUBAP.00.17.AR.12.04).

### Kaynaklar

- Abano, E.E., Ma, H. Ve Qu, W., 2012. Influence of combined microwave-vacuum drying on drying kinetics and quality of dried tomato slices. Journal of Food Quality, 35: 159-168.
- Başkan, A. E., 2010. Zeytinyağı işletmelerinin atıkları ve değerlendirme yolları, T.C. Güney Ege Kalkınma Ajansı, Denizli.
- Cihan, A., Kahveci, K. and Hachafizoğlu, O. 2007. Modelling of intermittent drying of thin layer rough rice. J. Food Eng., 79(1): 293-298.
- Demirhan, E. Ve Özbek, B., 2008. Microwave-drying characteristics of basıl. Journal of Food Processing and Preservation, 34: 476-494.

- Kahveci K ve Cihan A, 2008. Drying of Food Materials: Transport Phenomena, Nova Science, New York, part 1, 13-163.
- Keser, O. Ve Bilal, T., 2010. Zeytin Sanayi Yan Ürünlerinin Hayvan Beslemede Kullanım Olanakları , Hayvansal Üretim, 51(1): 64-72.
- Koçer, O., 2013. Zeytin Posası (Pirina) Üzerine Malaşit Yeşilinin Sulu Çözeltilen Adsorpsiyonu, Yüksek lisans tezi. Kilis 7 Aralık Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 67 s.
- Kurtuluş, E ., 2003. prinanın bir yakıt olarak kullanımı ve eldesi. Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu ve Sergisi Bildiriler Kitabı, Kayseri, 3-4 Ekim, 2003, s. 105-108.
- Maskan, M., 2000. Microwave/air and microwave finish drying of banana, Journal of Food Engineering, 44: 71-78.
- Meziane, S., 2011. Drying kinetics of olive pomace in a fluidized bed dryer, Energy Conversion and Management 52,1644-1649.
- Mcminn W.A.M., 2006. Thin-layer modelling of the convective, microwave, microwave-convective and microwave-vacuum drying of lactose powder, Journal of Food Engineering, 72(2): 113-123.
- Öcal, A, 2005. Zeytinyağı Atıksuyu ve Pirinanın Bitki Yetiştirilmesinde Kullanım Olanaklarının Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 58 s.
- Sacılık, K., Keskin, R. and Elicin, A. K., 2006. Mathematical modelling of solar tunnel drying of thin layer organic tomato, Journal of Food Engineering, 73 (3): 231-238.
- Tunalıoğlu, R. ve Armağan, G., 2008. Aydın ilindeki zeytinyağı işletmelerinde elde edilen yan ürünlerin tarım-sanayi çevre ilişkileri boyutunda değerlendirilmesi, Türkiye 8. Tarım Ekonomisi Kongresi Bildiri Kitabı, Cilt 2, Bursa, s 135-143.
- Vega-Galvez A, Miranda M, Diaz L P, Lopez L, Rodriguez K ve Scala K D, 2010. Effective moisture diffusivity determination and mathematical modelling of the drying curves of the olive-waste cake, Bioresource Technology, 101, 7265-7270.