

## MİKRODALGA BANTLI KURUTUCUDA PATATESİN KURUTULABİLİRLİĞİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

İlker Hüseyin ÇELEN<sup>1</sup>, Soner ÇELEN<sup>2</sup>, Aytaç MORALAR<sup>3</sup>, Halil Nusret BULUŞ<sup>4</sup>, Eray ÖNLER<sup>5</sup>

### Özet

Bu çalışmada 5mm dilimindeki patatesin mikrodalga bantlı kurutucuda mikrodalga gücünün (1500W ve 2100W) ve bant hızının (0,175, 0,210 ve 0,245 m/dak) kurutma zamanı, renk değişimi ve enerji tüketimine etkisi araştırıldı. Elde edilen sonuçlara göre mikrodalga gücünün artması ve bant hızının azalması ile enerji tüketimi azalmıştır. Dokuz adet kurutma modelinin uygunluğunu belirlemek için deneysel ve teorik nem oranları dikkate alınarak korelasyon katsayısı (r), standart hata ( $e_s$ ) ve ( $\chi^2$ ) hesaplandı. Tüm kurutma şartları için Page modelin en uygun model olduğu belirlenmiştir. Efektif difüzyon katsayısı  $2,958.10^{-7}$  ve  $3,587.10^{-6}$  m<sup>2</sup>/s aralığında hesaplanmıştır. Kurutma süresince en az enerji 0,175m/dak ve 2100W gücünde belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Patates, kurutma, mikrodalga, konveyör.

### EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF POTATO DRYING IN MICROWAVE BELT DRYER

### Abstract

In this work, the drying behaviors of potatoes slices with 5mm thickness were investigated in a laboratory type microwave conveyor dryer. The effects of different microwave power levels (1500 and 2100W) and conveyor belt speeds (0,175, 0,210 ve 0,245 m/min) on drying time, color changing and energy consumption have been investigated. The results show that drying time and energy consumption decreases considerably with increasing microwave power and with decreasing conveyor belt speed. The performances of nine models were compared according to the coefficient of determination (r), standard error of estimate ( $e_s$ ) and residual sum of square ( $\chi^2$ ), between the observed and predicted moisture ratios. It was found that the Page Model described the drying ratio satisfactorily in all drying methods for 5mm thickness. Fick's diffusion model was applied to calculate the effective diffusivities. The effective diffusivity values were found between  $2,958.10^{-7}$  and  $3,587.10^{-6}$  m<sup>2</sup>/s. When the electrical energy consumption values were considered, optimum results have been found at 0,175 m/min belt speed and 2100W power.

**Keywords:** Potato, drying, microwave, conveyor

<sup>1</sup> Doç. Dr, Namık Kemal Üniversitesi, icelen@nku.edu.tr

<sup>2</sup> Yrd. Doç. Dr, Namık Kemal Üniversitesi, scelen@nku.edu.tr

<sup>3</sup> Yrd. Doç. Dr, Namık Kemal Üniversitesi, amoralan@nku.edu.tr

<sup>4</sup> Yrd. Doç. Dr, Namık Kemal Üniversitesi, nbulus@nku.edu.tr

<sup>5</sup> Arş. Gör, Namık Kemal Üniversitesi, erayonler@nku.edu.tr

## Giriş

Günümüzde ileri endüstrilerin birçok uygulamasında ve tıpta bazı hastalıkların tedavisinde yüksek frekanslı elektromanyetik dalgalar geniş ölçüde kullanılmaktadır. Elektromanyetik enerji kullanılmasının çeşitli üstünlükleri yanında, optimum şartlarda klasik enerji sistemlerine nazaran enerji ve zaman tasarrufu elde edilmesi bu konudaki çalışmaların önemini daha da arttırmıştır. Elektromanyetik dalgalardan olan mikrodalgaların suyu ısıtma etkisinin fark edilmesiyle birçok ısıtma ve kurutma konusunda etkinlikleri ve kullanılabilirlikleri araştırılmaya başlanmıştır. Teknolojik gelişmelere paralel olarak, mikrodalga uygulamalarının gıdalar üzerindeki etkileri incelenerek kurutma vb. uygulamalarda kullanılmaya başlanmıştır.

Mikrodalga ile kurutma yönteminde, elektromanyetik alan materyali bir bütün olarak etkilediğinden geleneksel kurutma yöntemlerinden farklı olarak, doğrudan materyal bünyesindeki su molekülleri hedef alınarak seçici bir ısıtma yapılmaktadır (Karaaslan, 2012). Bu yüzden kurutma işlemi daha hızlı olur ve süre daha da kısadır. Dolayısıyla ısıtma etkisinin geleneksel kurutma yöntemlerine göre oldukça hızlı ve üniform olması yanında ısıtma verimi de yüksek olmaktadır.

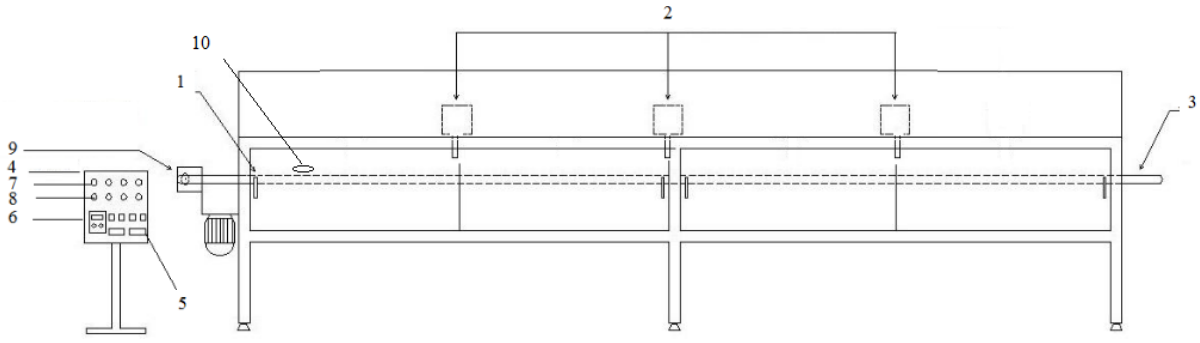
Bazı araştırmacılar tarafından mikrodalga kurutma yöntemi ile yapılan çalışmalarında asma yaprağı (Alibas 2012), elma (Cuccurullo vd, 2012), maydanoz (Soysal 2004; Soysal vd., 2006), ıspanak (Alibas, Ozkan et al 2007), nane (Özbek ve Dadali 2007), kırmızı biber (Erdem, 2006) üzüm (Kassem et al., 2011), kabak (Liamkaew vd., 2008; Alibas, 2007a), domates (Workneh vd., 2011), muz (Maskan, 2000), Ispanak (Ozkan vd., 2007), patates (Haghi ve Amanifard, 2008) gibi tarımsal ürünler kurutmuşlardır. Bu ürünler ince tabaka kurutma işlemlerinde kurutma alanına tek tabaka olacak şekilde yerleştirilir. İnce tabaka kurutma kuramını tanımlayan pek çok deneysel, yarı deneysel ve teorik model bulunmaktadır (Ozdemir ve Devres 1999; Midilli ve Kucuk 2003). İnce tabaka kurutma sürecinin matematiksel olarak modellenmesi kurutma sistemlerinin performansının artırılması açısından son derece önemlidir (Cihan et al 2007).

Yapılan bu çalışmada, konveyörlü mikrodalga kurutma sistemi üzerinde; farklı magnetron çıkış güçlerinde (1500W, 2100W), farklı bant hızlarında (0,175, 0,210 ve 0,245m/dak), numune olarak seçilen 5mm kalınlığındaki patatesin kurutma deneyleri yapılmıştır. Kurutma sonrası patatesin nem oranları tespit edilip istatistiksel analizleri yapılarak 9 kurutma modeli içerisinde en uygun model bulunmuştur. Ayrıca kurutulan ve yaş patateslerin renk parametrelerine ve kurutma sonunda tüketilen enerji miktarlarına da bakılarak uygun bant hızı ve mikrodalga gücü tespit edilmiştir.

## Materyal ve Yöntem

### Materyal

Deneylerde kullanılan patates 4°C de muhafaza edilmiş marketten temin edilmiştir. Örneklerin kurutulması amacıyla kullanılmış olan kurutucu olarak Şekil 1' de gösterilen 400x500x3500mm boyutlarında bantlı kurutucu kullanılmıştır. Mikrodalga kurutmada deneyler süresince oluşan nem kayıpları 0.001g hassasiyetli Presica marka hassas terazi aracılığıyla ölçülmüştür. Renk ölçümleri için uluslararası L\*a\*b\* sistemine göre ölçüm yapan Spec marka HP-200 model renkölçer kullanılmıştır.



- |                  |                 |                         |                    |               |
|------------------|-----------------|-------------------------|--------------------|---------------|
| 1. Kurutma odası | 2. Magnetron    | 3. Bant                 | 4. Kontrol paneli  | 5. Ana şalter |
| 6. Hız kontrol   | 7. Güç (on/off) | 8. Mikrodalga güç ayarı | 9. Elektrik motoru | 10. Numune    |

Şekil 1: Deney düzeneği

## Yöntem

Deneylere başlanmadan önce, buzdolabında saklanan ürünler çıkarılarak ortam sıcaklığına ulaşmaları beklenmiştir. Ürünlerde tazelik, renk, doku vb. kayıplar olmaması için her bir deneyde tek bir ürün kullanılarak dilimlenmiştir. Kurutma işlemlerine geçmeden önce ürünler yıkayıp kabukları soyulmuş patates için 5mm kalınlıklarda dilimlenmiştir. Yıkama ve kabuk soyma dışında herhangi bir ön işlem uygulanmamıştır. Kurutma deneylerine başlanmadan önce örnek dilimlerin başlangıç nem değerlerinin hesaplanabilmesi için 24 saat 104°C etüvde kuru ağırlık tespiti yapılmıştır. Yapılan kuru ağırlık tespiti sonucunda patatesin başlangıç nem değerinin %80±1 (y.b.) olduğu belirlenmiştir. Ayrıca kurutma işlemi yapılacak taze ürünlerin renk ölçümleri alınmıştır.

Örnekler kurutma tüneline başlangıcına sırası ile konulmuş, bantı döndüren elektrik motoruna hareket verilmiş ve mikrodalga güç üniteleri çalıştırılmıştır. Dilimler, mikrodalga enerjisinden daha iyi yararlanmak amacıyla 3cm yüksekliğinde üçer adet ince tahta çubuk üzerine konulmuştur. Örnek dilimleri kurutma tüneline sonuna geldiklerinde, kontrol panosunda bulunan invertör aracılığı ile elektrik motoru kontrol edilerek bant ters yönde hareket ettirilmiştir. Deneyler tüm mikrodalga güç üniteleri açık konumdayken ve her biri 500W ve 700W güç seviyelerine getirilerek toplamda 1500W ve 2100W mikrodalga güçlerinde ayrı ayrı yapılmıştır. Çalışmalar boyunca bant hızları 0,175m/dak, 0,210m/dak, 0,245m/dak olmak üzere üç farklı değere ayarlanmış, tüm dilim kalınlıkları için üç farklı bant hızı ve iki farklı mikrodalga gücünün kombinasyonlarında deneyler gerçekleştirilmiştir. Tüm mikrodalga güçlerindeki denemelerde 5 dakikalık zaman aralıklarında kurutma işlemi gerçekleştirilmiş ve her 5 dakika sonunda hassas terazi ile ürünün ağırlığı ölçülerek nem kaybı bulunmuştur. Kurutma işlemleri patatesin nemi %10 oluncaya kadar devam ettirilmiştir. Deneyler üç kez tekrarlanıp verilerin ortalamaları kullanılmıştır.

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

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

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 içeriği,

Boyutsuz nem oranı:

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

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

$$mr = m_s / m_y \quad (3)$$

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

### Kuruma eğrilerinin matematiksel modellenmesi

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 Tablo 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.

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

Model adı	Model denklemleri
Weibull distribution	$mr = a - b \exp(-kt^n)$
Verma et al.	$mr = a \exp(-kt) + (1 - a) \exp(-gt)$
Two term exponential	$mr = a \exp(-kt) + (1 - a) \exp(-kat)$
Wang & Singh	$mr = 1 + at + bt^2$
Henderson & Pabis	$mr = a \exp(-kt)$
Geometric	$mr = at^{-n}$
Page	$mr = \exp(-kt^n)$
Lewis	$mr = \exp(-kt)$
Midilli et al.	$mr = a \exp(-kt^n) + bt$

Modelleme lineer olmayan regresyon analiz yöntemi yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla C# 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 vd., 2006; Toğrul ve Pehlivan, 2003):

$$r = \sqrt{\frac{S_t - S_r}{S_t}} \quad (4)$$

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

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n_o} (m_{p_{re}} - m_{e_{xp}})^2}{n_o - n_c} \quad (6)$$

Bu eşitliklerde;

$$S_t = \sum (mr_{exp,i} - mr_{ort})^2 \quad (7)$$

$$S_r = \sum (mr_{exp,i} - mr_{pre,i})^2 \quad (8)$$

şeklinde tanımlı ortalama nem oranı ve modele ait nem oranı baz alınarak hesaplanan hataların kareleri toplamıdır. 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.

### Difüzyon katsayısı tespiti

Çoğu gıdalarda nem difüzyonu kurutma sıcaklığındaki artış ile artar. Genellikle, difüzyon katsayısının sıcaklıkla ilişkisi aşağıda verilen Arrhenius tipi bir ilişkidir ve denklem 9'daki gibi hesaplanır.

$$D_{eff} = D_o \cdot e^{-E/R.T} \quad (9)$$

$D_o$  : Sabit katsayı ( $m^2/s$ ),

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

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

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

Mikrodalga kurutmada sıcaklık doğrudan ölçülemez. Mikrodalga gücün ürün ağırlığına oranı ( $m/P$ ) aşağıdaki denklem 10'daki gibidir (Demirhan ve Özbek, 2008; Abano vd., 2012 ).

$$D_{eff} = D_o \cdot e^{-E.m/P} \quad (10)$$

Bu eşitlikte :

$m$  : ürünün ilk yaş ağırlığı,

$P$  : mikrodalga gücüdür ( $W$ ).

İkinci Fick yasasının belirtilen şartlar altında bazı basit geometriler için analitik çözümleri vardır. Hesaplamalarda geometrimiz sonsuz slab olarak kabul edilmiştir (Denk.11).  $\ln \frac{m - m_e}{m_o - m_e}$  nin zamana bağlı olarak değişim grafiği çizilerek her deney şartındaki difüzyon katsayıları hesaplanabilmektedir. Bunun için (11) eşitliği kullanılmıştır.

$$\frac{m - m_e}{m_o - m_e} = \frac{8}{\pi^2} \exp\left(-\frac{\pi^2 D_{eff} t}{4L^2}\right) \quad (11)$$

$$\ln \frac{m - m_e}{m_o - m_e} = \ln \frac{8}{\pi^2} - \frac{\pi^2 D_{eff} t}{4L^2} \quad (12)$$

elde edilir.

## Renk Tayini

Kurutma işleminde kurutma şartlarının kurutulan biyolojik malzemenin rengi üzerindeki etkilerini belirlemek amacıyla renk ölçümleri yapılır.

$$\begin{aligned} \Delta L &= L_{t a z e} - L^* \\ \Delta a &= a_{t a z e} - a^* \\ C &= \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \\ \Delta b &= b_{t a z e} - b^* \end{aligned} \quad (13)$$

Kurutulan ürünlerde taze ürüne göre renk değişiminin belirlenmesinde renk parlaklığı sapması ( $\Delta L$ ), kırmızı renk sapması ( $\Delta a$ ), sarı renk sapması ( $\Delta b$ ) indisleri kullanılmıştır. Renk kriterleri olan L (parlaklık) 0 ve 100 arasında, a pozitif değeri kırmızılığı negatif değeri yeşilliliği, b pozitif değeri sarılık ve negatif değeri mavililiği gösterir. Bu değerlerin ilk renk değerlerine yakınlığı bizim için kalite göstergesi olacaktır.

## Enerji tüketimi

Mikrodalgada kurutma sırasındaki enerji tüketimi panoda bulunan sayaç sayesinde belli periyotlarda okunup kaydedilmektedir.

## Bulgular

### Kurutma davranışlarının modellenmesi

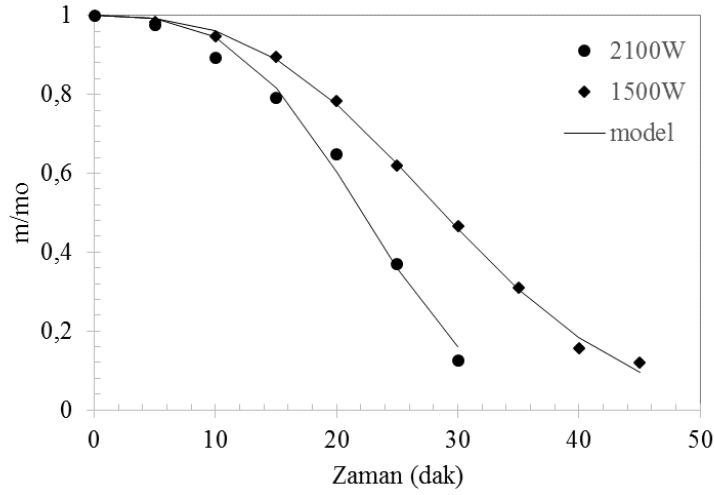
Kurutulan patates dilimlerinin kuruma davranışını ifade etmede Tablo 1'de verilen modeller kullanılmış ve bu modellerin kurutucu güçlerine göre istatistiksel analiz sonuçları Tablo 2-5'de verilmiştir.

Tablo 2: 5mm dilim kalınlığında, 0,175 m/dak bant hızında yapılan kurutulmuş patates dilimine ait modellerin analiz sonuçları

Model	Güç	Sabitler	r	e <sub>s</sub>	$\chi^2$
Weibull	1500	a=-0,310 b=-1,324 k=0,0003 n=2,187	0,993	0,001	0,035
	2100	a=-1,268 b=-2,245 k=0,00008 n=2,531	0,997	0,001	0,029
Verma	1500	a=-16,815 k=0,078 g=0,072	0,964	0,006	0,079
	2100	a=0,840 k=0,031 g=0,031	0,887	0,053	0,231
Two term exponential	1500	a=-0,121 k=-0,043	0,967	0,005	0,074
	2100	a=-0,051 k=-0,092	0,992	0,001	0,036
Wang & Singh	1500	a=-0,006 b=0,0003	0,976	0,003	0,058
	2100	a=0,001 b=-0,001	0,996	0,0005	0,022
Henderson & Pabis	1500	a=1,353 k=0,037	0,891	0,015	0,122
	2100	a=1,362 k=0,048	0,847	0,021	0,146
Geometric	1500	a=2,695 n=0,519	0,679	0,043	0,207

	2100	a=2,595 n=0,536	0,673	0,045	0,211
Page	1500	k=0,00007 n=2,734	0,998	0,0002	0,016
	2100	k=0,000 n=3,179	0,989	0,002	0,042
Lewis	1500	k=0,025	0,926	0,027	0,165
	2100	k=0,031	0,887	0,037	0,179
Midilli	1500	a=1,124 b=-0,018 k=0,00001 n=2,587	0,981	0,003	0,059
	2100	a=1,232 b=0,033 k=0,000 n=0,033	0,972	0,009	0,033

Tablo 2' de verilen modeller içerisinde 0,175m/dak bant hızı için hesaplanan korelasyon katsayısı bire en yakın (0,989-0,998), standart hata (0,0002-0,002) ve  $\chi^2$  (0,016-0,042) sıfıra en yakın olduğu için Page modelin uygun olduğu sonucuna varılmıştır. Aghbashlo vd., 2009 tarafından yapılan çalışmada da uygun modelin Page modelin olduğu görülmüştür. Şekil 2' de deneysel sonuçlarla Page modelinin uygunluğu grafiksel olarak verilmiştir.



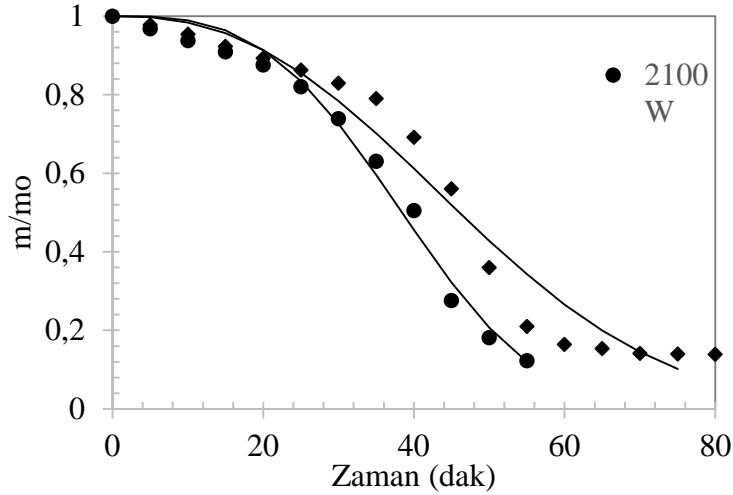
Şekil 2: 5mm dilim kalınlığı ve 0,175 m/dak bant hızı için deneysel verilerin Page modele uygunluğu

Tablo 3: 5mm dilim kalınlığında, 0,210 m/dak bant hızında yapılan kurutulmuş patates dilimine ait modellerin analiz sonuçları

Model	Güç	Sabitler	r	e <sub>s</sub>	$\chi^2$
Weibull	1500	a=-0,334 b=-1,175 k=0,005 n=1,337	0,924	0,011	0,107
	2100	a=-1,763 b=-2,677 k=0,0002 n=2,418	0,985	0,004	0,061
Verma	1500	a=14,363 k=0,045 g=0,050	0,943	0,008	0,090
	2100	a=-9,473 k=0,018 g=0,018	0,859	0,034	0,185
Two term exponential	1500	a=0,0005 k=38,301	0,903	0,025	0,160
	2100	a=-0,067 k=-0,046	0,973	0,003	0,056
Wang & Singh	1500	a=-0,012 b=0,00002	0,897	0,016	0,127
	2100	a=-0,001 b=-0,0003	0,983	0,002	0,043

Henderson & Pabis	1500	a=1,307 k=0,023	0,886	0,016	0,125
	2100	a=1,265 k=0,025	0,825	0,020	0,141
Geometric	1500	a=2,909 n=0,505	0,644	0,049	0,221
	2100	a=2,229 n=0,405	0,584	0,047	0,216
Page	1500	k=0,00006 n=2,445	0,962	0,006	0,077
	2100	k=0,0008 n=3,179	0,989	0,002	0,041
Lewis	1500	k=0,018	0,903	0,024	0,155
	2100	k=0,018	0,859	0,028	0,166
Midilli	1500	a=0,927 b=0,002 k=0,00002 n=3,427	0,990	0,002	0,042
	2100	a=1,137 b=-0,006 k=0,0004 n=1,919	0,960	0,007	0,083

Tablo 3' de verilen modeller içerisinde 0,210m/dak bant hızı için hesaplanan korelasyon katsayısı bire en yakın (0,962-0,989), standart hata (0,002-0,006) ve  $\chi^2$  (0,041-0,077) sifıra en yakın olduğu için Page modelin uygun olduğu sonucuna varılmıştır. Şekil 3' de deneysel sonuçlarla Page modelinin uygunluğu grafiksel olarak verilmiştir.



Şekil 3: 5 mm dilim kalınlığı ve 0,210 m/dak bant hızı için deneysel verilerin Page modele uygunluğu

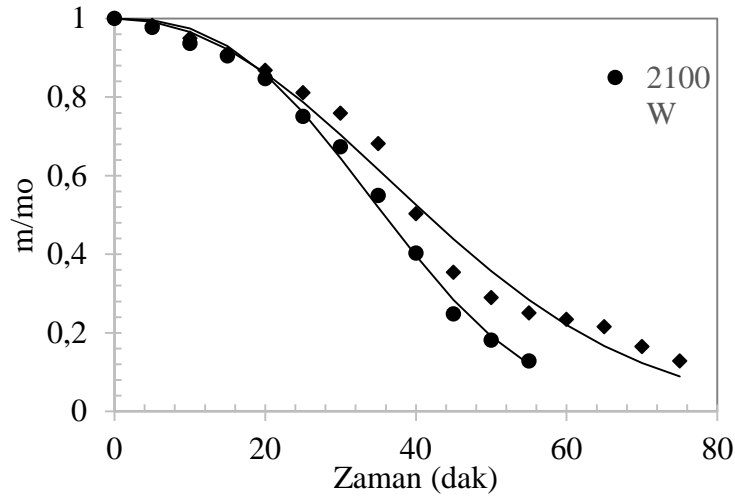
Tablo 4: 5mm dilim kalınlığında, 0,245 m/dak bant hızında yapılan kurutulmuş patates dilimine ait modellerin analiz sonuçları

Model	Güç	Sabitler	r	e <sub>s</sub>	$\chi^2$
Weibull	1500	a=-0,351 b=-1,401 k=0,002 n=1,500	0,969	0,004	0,064
	2100	a=-0,737 b=-1,785 k=0,00007 n=2,360	0,989	0,007	0,083
Verma	1500	a=1,876 k=0,002 g=-0,008	0,947	0,007	0,086
	2100	a=8,317 k=-0,010 g=-0,012	0,979	0,003	0,052
Two term exponential	1500	a=0,00035 k=51,042	0,939	0,018	0,136
	2100	a=-0,116 k=-0,036	0,976	0,003	0,056
Wang & Singh	1500	a=-0,010 b=0,00004	0,947	0,007	0,081



	2100	a=-0,005 b=0,0002	0,984	0,002	0,043
Henderson & Pabis	1500	a=1,272 k=0,024	0,918	0,009	0,097
	2100	a=1,281 k=0,028	0,883	0,014	0,117
Geometric	1500	a=2,611 n=0,505	0,644	0,049	0,221
	2100	a=2,414 n=0,446	0,652	0,039	0,198
Page	1500	k=0,00027 n=2,110	0,981	0,002	0,046
	2100	k=0,00006 n=2,60	0,995	0,001	0,026
Lewis	1500	k=0,018	0,939	0,017	0,131
	2100	k=0,020	0,913	0,022	0,148
Midilli	1500	a=0,911 b=0,002 k=0,00002 n=2,821	0,989	0,002	0,042
	2100	a=0,911 b=0,001 k=0,00003 n=3,441	0,994	0,001	0,031

Tablo 4' de verilen modeller içerisinde 0,245m/dak bant hızı için hesaplanan korelasyon katsayısı bire en yakın (0,981-0,995), standart hata (0,001-0,002) ve  $\chi^2$  (0,026-0,046) sifıra en yakın olduğu için Page ve Midilli modelin uygun olduğu sonucuna varılmıştır. Şekil 4' de deneysel sonuçlarla Page modelinin uygunluğu grafiksel olarak verilmiştir.



Şekil 4: 5 mm dilim kalınlığı ve 0,245 m/dak bant hızı için deneysel verilerin Page modele uygunluğu

### Renk analiz sonuçları

Taze ürün ile kurutulan ürünün renk değişimlerinin belirlenmesi amacıyla her bir deney şartında kuruma öncesi ve sonrası 3 farklı noktadan renk ölçümleri yapılmıştır. Elde edilen değerlerin aritmetik ortalaması alınarak değerlendirmeye tabi tutulmuştur.

Mikrodalga kurutucuda kurutulan dilimlerin renk parametreleri Tablo 5'de verilmiştir. Kurutulan ürünlerin renk parametreleri taze ürünün renk parametreleri ile karşılaştırılıp renk kayıpları tespit edilmiştir.

Tablo 5: 5 mm kalınlığındaki patates dilimlerine ait renk parametreleri

Renk Parametreleri	L*	a*	b*	C	$\Delta a$	$\Delta b$	$\Delta L$
Taze Ürün	56,63	-0,15	20,14				
Deney Koşulu							
- (Bant Hızı - Güç)							
0,175 m/dak - 1500 W	41,85	9,94	16,45	19,21	-9,01	3,69	13,12
0,175 m/dak - 2100 W	41,23	10,69	17,33	20,36	-9,76	2,81	13,74
0,210 m/dak - 1500 W	37,89	10,95	15,26	18,78	-11,10	2,8	18,74
0,210 m/dak - 2100 W	42,10	8,85	16,16	18,42	-9,0	1,90	14,53
0,245 m/dak - 1500 W	51,62	5,39	14,75	15,70	-4,36	9,11	11,70
0,245 m/dak - 2100 W	33,46	5,36	14,89	15,82	-5,71	7,80	22,05

Önemli bir kalite kriteri olan renk analizleri sonucunda düşük güçte çalışmanın, parlaklık ve renk kalitesinin korunması açısından avantajlı olduğu saptanmıştır. Şekil 5 dikkate alındığında parlaklık kriterinin yanında şekil değiştirme, görünüş faktörünü de dikkate alırsak 1500W güçte yapılan kurutmalardaki dilimlerin daha düzenli olduğu ve geometrik yapısını bozmadığı görülmüştür. 2100W güçte yapılan kurutmalarda ise geometrik yapılar bozulmuş, üründe deformasyonlar meydana gelmiştir. Geometrik yapı ve parlaklık kriterleri göz önüne alındığında 1500W mikrodalga gücünde yapılan kurutma işleminin daha uygun olduğu söylenebilir. Ayrıca 2100W güçte, ürün üzerindeki deformasyonların yanında yanmalar ve kararmalar da görülmüştür. 5mm kalınlıktaki patates dilimleri için, bant hızının artması üründeki parlaklık değişimini de önemli ölçüde arttırmıştır. Bant hızı arttıkça renk değişimi ve deformasyonların daha fazla olduğu görülmüştür. Mikrodalgada kurutmada 5 m m patates i ç i n parlaklık ( $\Delta L$ ) için taze ve kuru ürün arasındaki en az fark 0,245 m/dak bant hızında ve 1500W güçte 11,70 olarak görülmüştür.



Şekil 5: kurutulmuş patates dilimi örneği

### Enerji tüketim sonuçları

Mikrodalgada kurutma sırasındaki enerji tüketimi kontrol panosunda bulunan sayaç sayesinde test başlangıç ve bitişlerinde kaydedilmiştir. Toplam tüketim değerleri Tablo 6' da verilmiştir. Araştırmada, patatesin  $\%10 \pm 0.2$  (y.b.) seviyelerine kadar kurutulması için gerekli süre ve sistemin elektrik enerjisi tüketimi değerleri (1,502kWh) bakımından en uygun sonuçları, 2100W mikrodalga gücünde ve 0,175m/dak bant hızında yapılan kurutma işlemi vermiştir. Mikrodalga gücünün arttırılması kuruma süreleri ve enerji tüketimlerini azaltmıştır. Bant hızı değişiminin kurutma işlemine etkilerine bakıldığında artan bant hızı değerlerinin kuruma sürelerini arttırdığı görülmüştür. Düşük mikrodalga güçlerinde üretilen ısı az olduğundan, üretilen ısının biyolojik malzeme içerisinde transferi ve üründen çevreye olan ısı transferi için daha fazla zaman söz konusudur. Böylece ürünün içerisindeki suyun buharlaşma sıcaklığına ulaşması için gereken süre uzamakta ve buharlaşma için harcanan enerji azalmaktadır. Bu durumda etkin bir kurutma sağlanmasını engellemektedir.

Tablo 6: 5mm kalınlığındaki patates dilimlerine ait enerji tüketim değerleri

Bant hızı ve güç değerleri	Enerji Tüketimi (kWh)
0,175 m/dak - 1500W	1,881
0,175 m/dak - 2100W	1,502
0,210 m/dak - 1500W	2,821
0,210 m/dak - 2100W	2,589
0,245 m/dak - 1500W	3,059
0,245 m/dak - 2100W	2,793

### Difüzyon katsayısı sonuçları

Bu çalışmada, patatesin iki farklı güç ve üç farklı bant hızında kurutulması sonucunda, efektif difüzyon katsayılarının  $2,958.10^{-7}$ - $3,587.10^{-6}$  m<sup>2</sup>/s aralığında değiştiği görülmüştür. Mikrodalga gücünün artmasıyla efektif difüzyon katsayısı artmıştır. Aghbashlo vd., 2009 tarafından yapılan çalışmada da  $3,17.10^{-7}$  –  $15,45.10^{-7}$  m<sup>2</sup>/s aralığında benzer sonuç bulunmuştur.

Tablo 7 : Farklı güçlerdeki kurutulmuş patatesin D<sub>eff</sub> değerleri

Mikrodalga gücü (W)	Bant hızı (m/dak)	D <sub>eff</sub> (m <sup>2</sup> /s)	r <sup>2</sup>
1500	0,175	$4,884.10^{-7}$	0.8619
2100	0,175	$6,150.10^{-7}$	0.6445
1500	0,210	$2,746.10^{-6}$	0,8941
2100	0,210	$3,587.10^{-6}$	0,7955
1500	0,245	$2,958.10^{-7}$	0,9386
2100	0,245	$6,201.10^{-7}$	0,8601

### Sonuçlar

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar şunu gösterir: (1) 5mm dilim patatesin kurutulmasında en uygun model Page modelidir. (2) Enerji tüketim değerleri en düşük 0,175m/dak-2100W devir ve gücünde, en fazla tüketim ise 0,245m/dak-1500W devir ve gücünde tespit edilmiştir. (3) Efektif difüzyon katsayısı  $2,958.10^{-7}$ - $3,587.10^{-6}$  aralığında bulunmuştur. (4) Kalite kriteri olan renk parametrelerine bakıldığında parlaklığın en az değiştiği 0,245 m/dak - 1500 W devir ve gücünde görülmüştür.

### Öneriler

Sonuç olarak, bantlı mikrodalga kurutucu ile kurutma uygulamalarında mümkün olduğu kadar düşük güç ve düşük bant hızı ile çalışmasının kalite kriterleri açısından daha yararlı olacağı söylenebilir. Ancak daha etkin kurutma koşullarının belirlenebilmesi için kurutucu sistemde mikrodalga güç ünitelerinin yerleşimi, bant uzunluğu, kurutma kabini hacmi, mikrodalgaların daha etkin bir şekilde kurutulmuş ürüne yönlendirilmesi vb. teknik bazı düzenlemeler yapılması ile birlikte alınabilecek sonuçların doğruluğu artacaktır. Mikrodalga enerjisinin numunenin içine nüfuz etmesi ve kurumanın numunenin içinden başlaması kuru ürün kalitesini arttırmak için dışarıdan ısı vererek çalışan kombineli bir sistem de tasarlanabilir.

### Kaynakça

- 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.*
- Alibas, I. (2007). *Microwave air and combined microwaveair drying parameters of pumpkin slices. Lebensmittel Wissenschaft und Technologie, 40, 1445-1451.*
- Alibaş, İ. (2012). *Asma Yapraklarının (Vitis vinifera L.) Mikrodalga Enerjisiyle Kurutulması ve Bazı Kalite Parametrelerinin Belirlenmesi. Tarım Bilimleri Dergisi, 18, 43-53.*
- Arslan, D. ve Özcan, M. M. (2010). *Study the effect of sun, oven and microwave drying on quality of onion slices. LWT - Food Science and Technology, 43, 1121-1127.*
- Cihan, A., Kahveci, K. ve Hacıhafızoğlu, O. (2007). *Modelling of intermittent drying of thin layer rough rice. Journal of Food Engineering 79, 293-298.*
- Cuccurulo, G. Giordano, L. Albanese, D. Cinquanta, L. ve Di Matteo., M. (2012). *Infrared thermography assisted control for apples microwave drying. Journal of Food Engineering, 112, 319-325.*
- Demirhan, E. and Özbek, B. (2008). *Microwave-Drying Characteristics Of Basil. Journal of Food Processing and Preservation, 34, 476-494.*
- Erdem, T. (2006). *Drying by microwave energy of washed red pepper by ozonated water. [MSc. Thesis.] University of Çukurova, Turkey.*
- Haghi, A. K. ve Amanifard, N. (2008). *Analysis of heat and mass transfer during microwave drying of food products. Brazilian Journal of Chemical Engineering, 25(3), 491-501.*
- Kahveci, K. Ve Cihan, A. (2008). *Drying of Food Materials: Transport Phenomena, Nova Science, New York.*
- Karaaslan, S. (2012). *Meyve ve Sebzelerin Mikrodalga Destekli Kurutma Sistemleri ile Kurutulması. Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 7(2), 123-129.*
- Kassem, A. S., Shokr, A. Z., El-Mahdy, A. R., Aboukarima, A. M. ve Hamed E.Y. (2011). *Comparison of drying characteristics of Thompson seedless grapes using combined microwave oven and hot air drying. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences, 10: 33-40.*
- Kutlu, N. ve İşçi, A. (2014). *Evaluation of thin-layer drying models for Describing microwave drying of zucchini. 2nd International Congress on Food Technology; November 05-07, Kusadası/Turkey.*
- Liamkaew R., Thipayarat A., Koetsinchai W. (2008): *Kinetics model of vacuum microwave drying of dried pumpkin slices. In: 2nd Technology and Innovation for Sustainable Development Conference, 28-29 January 2008, Khon Kaen, Thailand: 11-16.*
- Maskan, M. (2001). *Kinetics of colour change of kiwifruits during hot air and microwave drying. Journal of Food Engineering, 48, 169 - 175.*
- McMinn, V.A.M. (2006). *Thin-layer modeling of the convective, microwave, microwaveconvective and microwave vacuum drying of lactose powder. J. Food Eng 72,113-23.*
- Midilli, A. ve Kucuk, H. (2003). *Mathematical modeling of thin layer drying of pistachio by using solar energy. Energy Conversion and Management 44(7), 1111-1122.*

- Ozkan, I. A., Akbudak, B. ve Akbudak, N. (2007). *Microwave drying characteristics of spinach. Journal Food Engineering*, 78,577–583.
- Ozbek B., Dadali G. (2007). *Thin layer drying characteristics and modeling of mint leaves undergoing microwave treatment. Journal Food Engineering*, 83, 541–549.
- Özdemir, M. ve Devres, Y. O. (1999). *The thin layer drying characteristics of hazelnuts during roasting. Journal of Food Engineering* 42, 225-233.
- Sacilik, 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.
- Sahin, S., Ocak, M.A., ve Uluyol, C. (2009). A systematic evaluation of preservice teachers' opinions on learning objects. *International Journal of Human Sciences*, 6(2), 723-736.
- Soysal Y. (2004). *Microwave drying characteristics of parsley. Biosystems Engineering*, 89, 167–173.
- Soysal, Y., Oztekin, S. ve Eren, O. (2006). *Microwave drying of parsley: Modelling, kinetics, and energy aspects. Biosystems Engineering*, 93(4), 403-413.
- Toğrul, İ. T. Ve Pehlivan, D. (2003). *Modelling of Drying Kinetics of Single Apricot, Journal of Food Engineering*, 58(1), 23-32.
- Wang Z., Sun J., Chen F., Liao X., Hu X. (2007). *Mathematical modeling on thin layer microwave drying of apple pomace with and without hot air pre-drying. Journal Food Engineering*, 80,536–544.
- Worknech, T.S., Raghavan, V. ve Garipey, Y. (2011). *Microwave assisted hot air ventilation drying of tomato slices. In: International Conference on Food Engineering and Biotechnology*, 150–161.