Mikrodalga Bantlı Kurutucunun Gıda Kurutmada Kullanılabilirliği ve Modellenmesi

Soner ÇELEN[1*] Halil Nusret BULUŞ[2] Aytaç MORALAR[1] Ayşen HAKSEVER[1] Erhan ÖZSOY[1]

[1*] Namık Kemal Üniversitesi Çorlu Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, Tekirdağ

[2] Namık Kemal Üniversitesi Çorlu Mühendislik Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Tekirdağ

*Sorumlu yazar: E-mail: scelen@nku.edu.tr

Geliş Tarihi (Received): 31.05.2016 Kabul Tarihi (Accepted): 21.07.2016

Bu çalışmada yeni bir teknoloji olan mikrodalga bantlı kurutucunun gıda ürünlerinde kullanılabilirliği 1mm, 2mm ve 3mm dilimlenen patates örneklerinde araştırılmıştır. Kurutma işlemleri, 1500W ve 2100W güçlerinde ve 0,175, 0,210 ve 0,245 m/dak bant hızlarında gerçekleştirilmiştir. Kullanılabilirliğini araştırmak için kuruma zamanı, enerji tüketimi ve renk kriterleri dikkate alınmıştır. Kurutma işlemi yaş baza göre ilk nem değeri %80±1 olan patatesin %12±0.5 son değerine gelinceye kadar kuruma işlemi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen nem değerleri dikkate alınarak literatürde var olan on iki adet kurutma modellerine uygulanmıştır. Korelasyon katsayısı (r), standart sapma (RMSE) ve χ^2 değerleri dikkate alınarak en uygun modelin Modified Henderson and Pabis model olduğu belirlenmiştir. Kuruma zamanları dikkate alındığında en kısa sürede kurutma 1mm dilim için 1500W mikrodalga gücünde ve 0,175 m/dak bant hızındaki örneklerde görülürken en az enerji tüketimi 2100 W ve 0,175 m/dak değerlerinde 1.121 kWh olarak ölçülmüştür. Kurutulan gıdalarda kalite kriterlerinden biri olarak değerlendirilen renk kriterine göre taze patatesin renk değerine en yakın sonucu veren toplam renk değişimi dikkate alındığında (ΔE) 1 mm dilim kalınlığı için 1500 W ve 0,175 m/dak değerlerinde tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Mikrodalga kurutma, patates, modelleme, renk analizi

Availability and Modelling of Microwave Belt Dryer in Food Drying

In this study, the usability of microwave belt drier in food products is surveyed on 1 mm, 2 mm and 3 mm slices of potatoes. Drying processes are carried out in 1500 W and 2100 W power and 0,175, 0,210 and 0,245 m/min belt speed. Drying time, energy consumption and color criteria are consulted to survey the usability. Drying process is applied until potatoes have %12±0.5 final moisture value from %80±1 initial moisture value. Acquired moisture values are implemented to twelve drying models which take place in the literature. The most suitable model is determined as Page Model by considering Coefficient of correlation (r), standard deviation (RMSE) and $\chi 2$ values. When considering drying times, it is seen that the shortest duration of drying process is in the examples of 1500 W microwave power and 0,175 m/min belt speed for 1 mm slice and least energy consumption is measured as 1.121 kW/h in the examples of 2100 W and 0,175 m/min values. According to the color criteria which is the quality criteria for dried foods, when the the closest color change value which is the closest color value to the fresh potatoe (ΔE) is considered, this value is measured in the examples of 1500 W and 0,175 m/min for 1 mm slice.

Keywords : Microwave conveyor, color criteria, drying modelling, energy comsumption

Giriş

Yumrularında demir, protein, ve vitaminler içeren Patates (*Solanumtuberosum*), patlıcangiller (Solan aceae) familyasından bir bitki türüdür. Patates insan beslenmesinde en az buğday ve pirinç kadar önemli yer tutan bir bitki olup doğrudan mutfaklarda tüketildiği gibi cips, parmak patates, hazır çorba, et, köfte, balık, bisküvi, börek vs. içlerine konularak ve kurutulmuş olarak da tüketilmektedir. Yüksek karbonhidrat miktarı ile Avrupa ve Amerika'da birçok ulusun temel besin kaynağıdır.

Kurutma gıda maddelerinin ömrünü ve dayanıklılığını arttırmak için uygulanan eski bir yöntemdir. Gıdaların kurutulması, içerdikleri suyun yavaş bir şekilde uzaklaştırılmasıdır. Genelde kurutma, gıdada bulunan suyun buharlaştırılması suretiyle yapılır (Gürses, 1986). Modern gıda endüstrisi her zaman daha yüksek kalitede ve güvenilir ürünü enerji ekonomisi sağlayarak en verimli şekilde üretmenin yollarını

aramaktadır. Günümüzde bu bakış açısıyla yeni kurutma yöntemleri üzerine çalışmalar yapılmaktadır (Tüfekçi ve Özkal, 2015). Gıda endüstrisinde en çok kullanılan kurutma yöntemleri güneş enerji ile kurutma, dondurarak kurutma, döner kurutucular, vakum kurutma, tünel kurutucular, sprey kurutucular, akışkan yatak kurutucular, mikrodalga ile kurutma ve radyo frekanslı kurutmadır (Kutlu ve ark.,. 2014). Bu kurutucuların her birinin farklı kurutma teknikleri vardır.

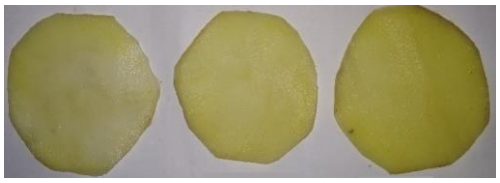
Mikrodalgalar 1 mm'den 1 m dalga boyuna kadar olan dalga boylarında ve 300 MHz-300 GHz frekans aralığında bulunmaktadır. Genel olarak ev tipi mikrodalga fırınlarda frekans 2.45 GHz iken endüstriyel proseslerde ve araştırma amaçlı kullanılan projelerde 2.45 GHz ya da 915 MHz frekansları kullanılmaktadır (Gölcü ve Şen, 2014). Mikrodalga enerji ile kurutma ile geleneksel kurutma mekanizmaları farklılık gösterir. Konvansiyonel kurutmada sıcak yüzey ile daha soğuk olan iç kısım arasındaki sıcaklık farkından dolayı ısının materyalin yüzeyinden iç kısımlarına doğru kademeli olarak iletimi söz konusudur. Mikrodalga ile kurutmada ise elektromanyetik alan materyal içerisindeki su moleküllerinin saniyede milyonlarca kez titreşmesi sağlamaktadır. Bu titreşim ile oluşan enerji materyalin içindeki nemin oldukça hızlı bir şekilde buharlaşmasını sağlamaktadır (Karaaslan ve Tunçer. 2009). Bu özelliği sayesinde homojen kuruma, zaman ve enerji tasarrufu sağlamaktadır.

Çeşitli meyve sebzelerin mikrodalga sistemler kullanılarak laboratuar ölçeğinde kurutulmasına ilişkin çok sayıda bilimsel çalışma mevcuttur. Bu araştırmalarda ürün bazında daha çok maydanoz (Eren ve ark., 2005), reyhan (Polatcı ve Tarhan, 2009), asma yaprağı (Alibaş, 2012), kırmızı biber (Erdem, 2006) üzüm (Kassem ve ark., 2011), muz (Maskan, 2000), ıspanak (Ozkan ve ark., 2007), patates (Haghi ve Amanifard, 2008), domates ve elma (Çelen ve ark.,2013a;2013b) gibi meyve sebzeler üzerinde çalışılmıştır.

Bu çalışmada, konveyörlü mikrodalga kurutma sistemi üzerinde; farklı magnetron çıkış güçlerinde (1500 W, 2100 W), farklı bant hızlarında (0,175, 0,210 ve 0,245 m/dak), numune olarak seçilen 1mm, 2mm ve 3mm kalınlığındaki patatesin kurutma deneyleri yapılmıştır. İnce tabaka kurutma kuramını tanımlayan pek çok deneysel, yarı deneysel ve teorik model bulunmaktadır ve kurutma sürecinin matematiksel olarak modellenmesi kurutma sistemlerinin performansının artırılması açısından son derece önemlidir (Cihan ve ark., 2007). Bu çalışmada kurutma sonrası patatesin nem oranları tespit edilip istatistiksel analizleri yapılarak 12 kurutma modeli içerisinden 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. Ayrıca ürün rengi, gıdalarda istenilen önemli kalite kriterlerinden biridir. Gıdanın rengindeki olumlu yada olumsuz değişim, kalite düzeyinin ve pazarlanabilme şansının azalıp artmasına neden olmaktadır. Bu yüzden kurutulan ürünlerin renk analizleri de yapılmıştır.

Materyal ve Yöntem

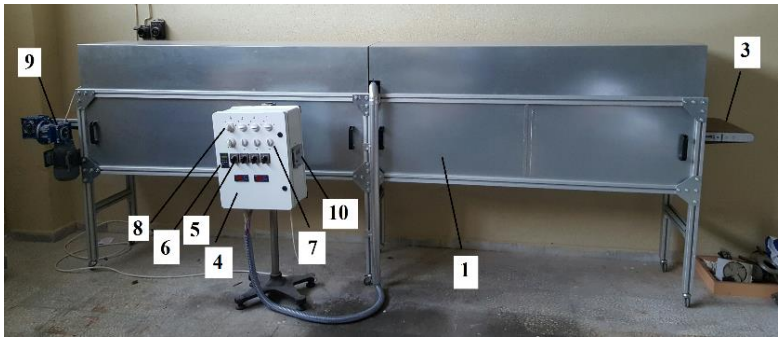
Deneylerde Şekil 1' de kullanılan patates *(Solanum tuberosum)* Tekirdağ'dan bir marketten temin edilmiştir. Kurutma işlemlerinde kullanılan 0,2 m^2 iç hacminde 3,5 m uzunluğunda bantlı kurutucu Şekil 2'de gösterilmiştir. Deneyler süresince oluşan nem kayıpları 0,001g hassasiyetli Presica marka hassas terazi aracılığıyla ölçülmüştür. Renk ölçümleri için uluslararası L*a*b* sistemine göre ölçüm yapan Spec marka HP-200 model renkölçer kullanılmıştır.



(a) (b) (c)

Şekil 1. Deneylerde kullanılan a) 1 mm, b) 2 mm, c) 3 mm patates dilimlerinin fotoğrafları

Figure 1. Photos of the potato slices used in the experiments a) 1 mm, b) 2 mm, c) 3 mm



(a)



(b)

1.	Kurutma odası	2.	Magnetron	3.	Konveyor
4.	Kontrol paneli	5.	Ana şalter	6.	Bant hızı kontrol
7.	Güç (on/off)	8.	Mikrodalga güç ayarı	9.	Elektrik motoru
10.	Enerji ölçer				

Şekil 2. (a) Mikrodalga konveyor kurutucu, (b) kurutucunun iç görünüşü

Figure 2. (a) The experimental setup of microwave conveyor dryer, (b) view of drying room inside

Kurutma denemelerinin yapılması

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 dilimlenmiştır. Kurutma işlemlerine geçmeden önce ürünler yıkanıp kabukları soyulmuş patates 1, 2 ve 3 mm kalınlılarda dilimlenmiştir. Yıkama ve kabuk soyma dışında herhangi bir ön işlem uygulanmamıştır. Kurutma deneylerine başlanmadan önce örnek dilimlerin başlangıç nem değerlerinin hesaplanabilmesi için etüvde 105^{o}C 24saatte kuru ağırlık tespiti yapılmıştır (Çelen ve ark., 2010). Yapılan kuru ağırlık tespiti sonucunda ürünlerin başlangıç nem değerlerinin patates %80±1 (y.b.) olduğu belirlenmiştir. Ayrıca kurutma öncesi taze ürünlerin renk parametreleri de belirlenmiştir.

Kurumanın modellenmesi

Kurutma deneylerinde modelleme, zamanla nem oranındaki değişimi ifade eden denklem araştırılarak yapılmaktadır. Bu çalışmada da, lineer

olmayan regresyon analiz yöntemi ile deneylerden elde edilen nem oranın zamanla değişimi eğrilerinin modellenmesi yapılmıştır. Patatesin denge nem oranı genelde diğer nem miktarlarına göre küçük olduğundan dolayı birçok çalışmada ihmal edilmiştir (McMinn, 2006; Soysal, 2004, Doymaz, 2005). Nem oranı eğrileri Denklem (1)' deki gibi hesaplanmaktadır.

$$mr = m/mo \quad (1)$$

Patates dilimlerinin kuruma davranışlarını gösterecek en uygun ince tabaka modelinin belirlenmesinde literatürde sıklıkla kullanılan oniki farklı model (Tablo 1) karşılaştırılmıştır. Bunların içerisinde en uygun sonucu veren model deneysel sonuçları ifade etmek için kullanılmıştır. Regresyon analizleri C# yazılımı kullanılmıştır. Patates dilimlerine uygulanan modellerin r, RMSE ve χ^2 değerlerini denklem (2-4)' e göre hesaplanmıştır. Regresyon katsayısı r'nin bire yakınlığı, RMSE ve χ^2 ' nin sıfıra yakınlığı en uygun denklemi seçmek için temel kriter olarak alınmıştır ve en uygun model belirlenmiştir.

Çizelge 1. Kurutmanın modellemesinde kullanılan ampirik ve yarı ampirik modeller (Cihan ve ark., 2007; Çelen ve ark., 2010)

Table 1. Semi-emprical and emprical models that are used to modeling of the drying (Cihan ve ark., 2007; Çelen ve ark., 2010)

Model	Model equation	Model	Model equation
Newton	$mr = \exp(-kt)$	Midilli *et al.*	$mr = a\exp(-kt^n) + bt$
Page	$mr = \exp(-kt^n)$	Wang and Singh	$mr = 1 + at + bt^2$
Henderson and Pabis	$mr = a\exp(-kt)$	Diffusion approach	$mr = a\exp(-kt) + (1-a)\exp(-kbt)$
Weibull distribution	$mr = a - b\exp(-(kt^n))$	Verma *et al.*	$mr = a\exp(-kt) + (1-a)\exp(-gt)$
Modified Page II	$mr = \exp(-c(t/L^2)^n)$	Modified Henderson and Pabis	$mr = a\exp(-kt) + b\exp(-gt) + c\exp(-ht)$
Lewis	$mr = \exp(-kt)$	Two term exponential	$mr = a\exp(-kt) + (1-a)\exp(-kat)$

$$r = \frac{n_o \sum_{i=1}^{n_o} MR_{pre,i} MR_{\exp,i} - \sum_{i=1}^{n_o} MR_{pre,i} \sum_{i=1}^{n_o} MR_{\exp,i}}{\sqrt{n_o \sum_{i=1}^{n_o} (MR_{pre,i})^2 - \left(\sum_{i=1}^{n_o} MR_{pre,i}\right)^2} \sqrt{n_o \sum_{i=1}^{n_o} (MR_{\exp,i})^2 - \left(\sum_{i=1}^{n_o} MR_{\exp,i}\right)^2}} \quad (2)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n_o} (MR_{pre,i} - MR_{\exp,i})^2}{n_o}} \quad (3)$$

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n_o} (MR_{pre,i} - MR_{\exp,i})^2}{n_o - n_c} \quad (4)$$

.

Denklemdeki MR boyutsuz (ayrılabilir) nem oranını, m_o başlangıç nem içeriğini (g su/g kuru madde), m herhangi bir andaki nem içeriğini (g su/g kuru madde) göstermektedir.

Denklem (2-4)'de $MR_{exp,i}$ deneysel nem oranı, $MR_{pre,i}$ matematiksel model ile hesaplanan nem oranı, n_o deney sayısını ve n_c kurutma modelindeki katsayılarının sayısını göstermektedir.

Kurumanın renk analizleri

Patates dilimlerinin kurutma parametrelerinin ürünler üzerindeki etkilerini belirlemek amacıyla, taze ve kurutulmuş ürün örneklerinin renk ölçümleri yapılmıştır. Renk ölçüm cihazı ile patatesin L*,a*,b* renk parametreleri ölçülmüştür. Taze ve kuru ürünlerin ölçümleri 5 farklı noktadan yapılmış ve ölçülen değerlerin ortalaması alınmıştır. L* değeri parlaklığı temsil etmekte olup 0 ile 100 arasında değişmektedir. 0 siyahlığı, 100 beyazlığı ifade etmektedir. a* değeri kırmızılık ve yeşilliği, b* değeri mavilik ve sarılığı ifade etmektedir. ΔE ise toplam renk değişimini göstermektedir. Bu ölçümlerin hesaplanması için Denklem (5-8) kullanılmıştır (Çelen ve ark., 2010).

$$\Delta L=L_{taze}-L^* \quad (5)$$

$$\Delta a=a_{taze}-a^* \quad (6)$$

$$\Delta b=b_{taze}-b^* \quad (7)$$

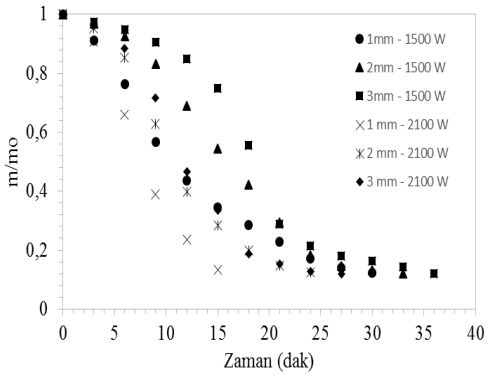
$$\Delta E=\sqrt{\Delta L^2+\Delta a^2+\Delta b^2} \quad (8)$$

Enerji tüketimin hesaplanması

Mikrodalgada kurutma sırasındaki enerji tüketimi kontrol panosunda bulunan Enda marka sayaç sayesinde kaydedilmiştir.

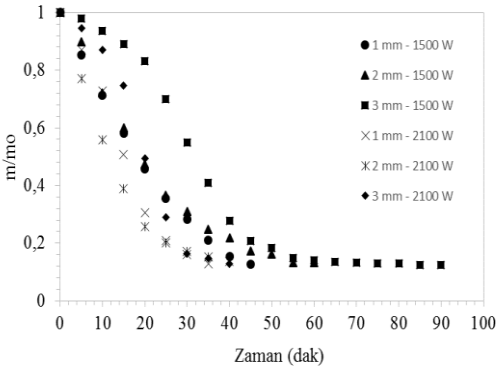
Bulgular Ve Tartışma

Farklı boyutlarda dilimlenmiş patates örneklerinin kuruma karakteristikleri Şekil 3 - 5 'de verilmiştir. Görüldüğü gibi kuruma süresi, kurutma mikrodalga gücünden etkilenmekte, kurutma gücünün yükselmesine bağlı olarak nem kaybı hızlanmakta ve kuruma süresi kısalmaktadır. Aynı zamanda bant hızının azalması ve dilim kalınlığının azalması ile de kuruma süresin de azalmaya sebep olmuştur. Fakat ürün içindeki nemin homojen olmaması, ısı enerjisinin iç kısımlarda daha çok oluşması ve mikrodalga enerjisinin bant hızından kaynaklanan ürün ile etkileşiminin değişken olması kuruma sürelerinde farklılık göstermektedir. Bant hızı ile kuruma zamanları arasında ilişki kurmak tam anlamıyla mümkün değildir. 1500 W güç ve 0,175 m/dak bant hızında dilim kalınlıklarına göre sırasıyla 30, 33 ve 36 dakikada , 0,210 m/dak bant hızında 45, 60 ve 90 dakikada ve 0,245 m/dak bant hızında 57, 63 ve 66 dakikada kuruma işlemleri gerçekleşmiştir. 2100 W güç ve 0,175 m/dak bant hızında dilim kalınlıklarına göre sırasıyla 15, 24 ve 27 dakikada , 0,210 m/dak bant hızında 35, 40 ve 42 dakikada ve 0,245 m/dak bant hızında 18, 21 ve 30 dakikada kuruma işlemleri gerçekleşmiştir. Zlatkovic ve Rajkovic (2005) tarafından yapılan çalışmada laboratuvar ölçekli bir kurutucuda 70 ^oC de patatesin nemini %10 kadar düşürmek için 6,5 saat gerektiğini belirtmişlerdir. Naderinezhad ve ark. (2015) ise 7 mm patatesi konveksiyonel kurutuca 45^oC – 55 ^oC sıcaklık aralığında, 256-335 dakikada %11 neme düşürmüşlerdir. Literatürdeki çalışmalar baktığımızda yaptığımız çalışmanın zaman yönünden ne kadar avantajlı olduğu göstermiştir.



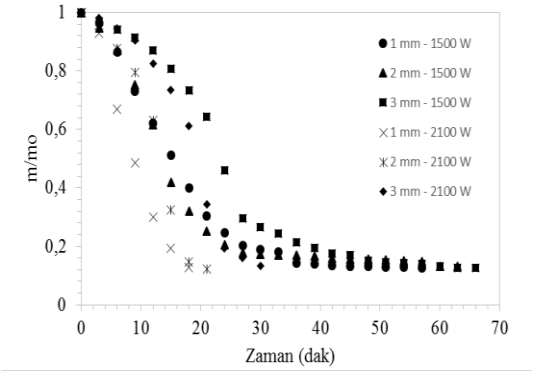
Şekil 3. 0,175 m/dak da yapılan kurutmanın nem eğrileri

Figure 3. Moisture curves of the drying at 0,175 m / min



Şekil 4. 0,210 m/dak da yapılan kurutmanın nem eğrileri

Figure 4. Moisture curves of the drying at 0,210 m/ min



Şekil 5. 0,245 m/dak da yapılan kurutmanın nem eğrileri

Figure 5. Moisture curves of the drying at 0,245 m/min

Çizelge 2. 0,175 m/dak bant hızında yapılan kurutma modellerin analiz sonuçları

Table 2. Analysis results of drying models at 0,175 m / min band speed

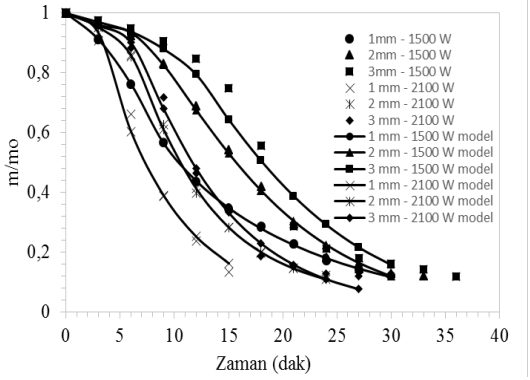
Model	Dilim kalınlığı (mm)	Katsayılar	
		1500W	2100W
Newton	1	k=0.067	k=0.098
r=0.916-0.995			
RMSE=0.048-0.164	2	k=0.049	k=0.070
χ^2=0.002-0.027	3	k=0.042	k=0.065
Page	1	k=0.034; n=1.244	k=0.017; n=1.795
r=0.971-0.996			
RMSE=0.025-0.066	2	k=0.003; n=1.974	k=0.009; n=1.780
χ^2=0.001-0.004	3	k=0.608; n=0.709	k=0.855; n=0.952
Henderson and Pabis	1	k=0.079; a=1.172	k=0.145; a=1.443
r=0.997-0.892			
RMSE=0.016-0.125	2	k=0.066; a=1.326	k=0.099; a=1.376
χ^2=0.0001-0.016	3	k=0.399; a=0.881	k=0.824; a=0.979
Wang and Singh	1	a=-0.054; b=0.001	a=-0.062; b=0.000
r=0.991-0.908			
RMSE=0.035-0.120	2	a=-0.031; b=0.000	a=-0.049; b=0.000
χ^2=0.001-0.014	3	a=-0.299; b=0.022	a=-0.551; b=0.074
Modified Page II	1	c=0,139; L=1,753; n=1,244	c=0,016; L=-0,992; n=1,795
r=0,971-0,996			
RMSE=0,029-0,070	2	c=0,828; L=4,212; n=1,974	c=1,464; L=4,125; n=1,780
χ^2=0,001-0,005	3	c=2,023; L=5,389; n=2,486	c=2,153; L=4,702; n=1,910
Two Term Exponantial	1	a=0,991; k=0,067	a=2,215; k=0,182

r=0,916-0,998			
RMSE=0,018-0,172	2	a=-1,466; k=-0,006	a=2,226; k=0,129
χ^2=0,0003-0,030	3	a=0,989; k=0,042	a=2,263; k=0,121
Midilli et al. r=0,920-0,999	1	a=1,094; k=0,048; b=0,002; n=1,194	a=1,023; k=0,017; b=0,005; n=1,878
RMSE=0,011-0,118	2	a=0,971; k=0,001; b=0,003; n=2,409	a=1,000; k=0,005; b=0,005; n=2,166
χ^2=0,0001-0,014	3	a=0,512; k=-0,805; b=-0,031; n=-0,017	a=0,980; k=0,002; b=0,005; n=2,463
Diffusion Approach r=0,953-0,997	1	a=-0,199; k=0,711; b=0,113	a=-1,487; k=-0,017; b=-0,802
RMSE=0,016-0,091	2	a=-23,989; k=0,130; b=0,948	a=-2,626; k=0,225; b=0,658
χ^2=0,0003-0,008	3	a=-35,170; k=0,118; b=0,960	a=-12,782; k=0,178; b=0,904
Verma et al. r=0,892-0,998	1	a=1,199; k=0,081; g=0,711	a=11,566; k=0,237; g=0,265
RMSE=0,016-0,144	2	a=24,132; k=0,125; g=0,132	a=-0,376; k=110,582; g=0,099
χ^2=0,0003-0,021	3	a=-0,357; k=61,745; g=0,058	a=-1,724; k=0,065; g=0,065
Weibull Distribution r=0,925-0,999	1	a=11,673; k=-0,390; b=7,038; n=0,072	a=-319,962; k=1,922; b=-2197,510; n=0,001
RMSE=0,013-0,114	2	a=0,111; k=0,001; b=-0,857; n=2,601	a=-2,590; k=-8,342; b=-0,001; n=-0,018
χ^2=0,0002-0,013	3	a=-6,164; k=0,006; b=-7,351; n=0,923	a=-4,608; k=0,065; b=-6,277; n=0,464
Modified Henderson and Pabis r=0,969-1,000	1	a=1,116; k=0,392; b=-15,629; g=1,374; c=1,019; h=0,072	a=1,253; k=0,145; b=0,042; g=0,146; c=0,148; h=0,145
RMSE=0,007-0,085	2	a=2,967; k=0,117; b=-5,051; g=0,169; c=2,799; h=0,126	a=0,698; k=0,081; b=-5,692; g=0,38; c=4,898; h=0,263
χ^2=0,00005-0,007	3	a=4,418; k=0,103; b=-3,87; g=0,177; c=-0,029; h=0,007	a=1,737; k=0,116; b=-3,159; g=0,382; c=1,526; h=0,242
Logarithmic r=0,929-0,997	1	a0=0,019; a=1,166; k=0,083	a0=-0,253; a=1,558; k=0,095
RMSE=0,017-0,105	2	a0=-0,58; a=1,78; k=0,031	a0=-0,169; a=1,459; k=0,073
χ^2=0,0003-0,011	3	a0=-1,217; a=2,426; k=0,018	a0=-0,195; a=1,489; k=0,065

Kurutulan patates dilimlerinin kuruma davranışını ifade etmede Çizelge 1'de verilen modeller kullanılmış ve bu modellerin kurutucu güçleri ve dilim kalınlıklarına göre istatistiksel analiz sonuçları 0,175 m/dak için Çizelge 2'de verilmiştir.

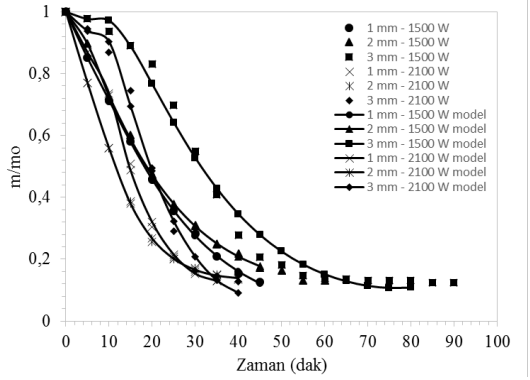
Çizelge 2' de verilen modeller içerisinde genel olarak parametrelerin biribirine yakın olduğu görülmektedir. Fakat tüm kuruma parametreleri için altı değişken sabit içeren Modified Henderson and Pabis modelin deneysel kurutma eğrilerine yakınlığı diğerlerine göre daha fazladır. Bu model içerisinden de korelasyon katsayısı bire en yakın (0,969-1,000), standart hata (0,007-0,085) ve χ2 (0,00005-0,007) sıfıra en yakın olduğu için 0,175 m/dak bant hızının optimum olduğu belirlenmiştir. Deneysel ve Modified Henderson and Pabis modelin uyumluğunu Şekil 6-8' verilmiştir. En kötü sonuçları ise Diffusion Approach model vermiştir. Çelen ve ark., 2015 tarafından yapılan çalışmada

5mm patates için Page modelin, Faisal ve ark., 2013 ise Midilli modelin ve Naderinezhad ve ark., 2015' de patates dilimleri için Midilli-Küçük modelinin uygunluğunu belirtmişlerdir.



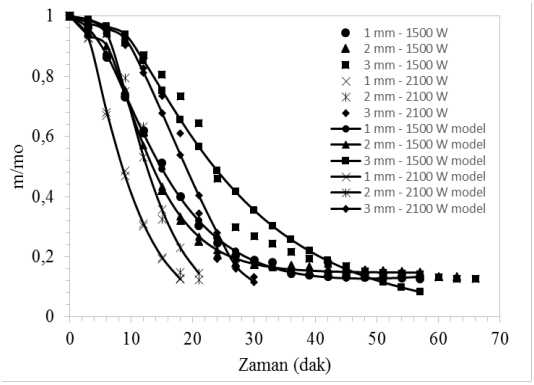
Şekil 6. 0,175 m/dak bant hızında deneysel ve Modified Henderson and Pabis model nem oranlarının karşılaştırılması

Figure 6. Comparison of experimental and Modified Henderson and Pabis model moisture ratios at 0,175m/min belt speed



Şekil 7. 0,210 m/dak bant hızında deneysel ve Modified Henderson and Pabis model nem oranlarının karşılaştırılması

Figure 7. Comparison of experimental and Modified Henderson and Pabis model moisture ratios at 0,210m/min belt speed



Şekil 8. 0,245 m/dak bant hızında deneysel ve Modified Henderson and Pabis model nem oranlarının karşılaştırılması

Figure 8. Comparison of experimental and Modified Henderson and Pabis model moisture ratios at 0,245 m/min belt speed

Taze ürün ile kurutulan ürünlerdeki renk değişimlerinin belirlenmesi amacıyla her bir deney şartında 5 farklı noktadan renk ölçümleri yapılmıştır. Elde edilen değerlerin aritmetik ortalaması alınarak değerlendirmeye tabi tutulmuştur. Mikrodalga kurutucuda kurutulan dilimlerin renk parametreleri Çizelge 3-5'de, taze ve kurutulmuş örneklerin fotoğrafları da Şekil 9' da verilmiştir.

Mikrodalga gücü, Dilim kalınlığı	Taze ürün	Kurutulmuş ürün
1500 W, 1mm		
1500 W, 2mm		
1500 W, 3mm		

Şekil 9. Patates dilimlerinin kuruma öncesi ve sonrası resimleri

Figure 9. Pictures of fresh and drying potato slices

Çizelge 3. 1 mm kalınlığındaki patates dilimlerine ait renk parametreleri

Table 3. Color parameters of the potato slices with 1mm thickness

Renk Parametreleri	*L**	*a**	*b**	*C*	*α*	*Δa*	*Δb*	*ΔL*	*ΔE*
Taze Ürün	57,77	-1,94	20,09						
Deney Koşulu (Bant Hızı - Güç)									
0,175 m/dak - 1500 W	54,81	0,22	20,05	20,0512	1,5598	-2,16	0,04	2,96	3,66453

Renk Parametreleri	*L**	*a**	*b**	*C*	*α*	*Δa*	*Δb*	*ΔL*	*ΔE*
Taze Ürün	44,44	-0,76	9,57						
Deney Koşulu (Bant Hızı - Güç)									
0,175 m/dak - 2100 W	40,29	-0,29	16,31	16,3126	-1,553	-0,47	-6,74	4,15	7,92912

Renk Parametreleri	*L**	*a**	*b**	*C*	*α*	*Δa*	*Δb*	*ΔL*	*ΔE*
Taze Ürün	50,89	-1,12	11,94						
Deney Koşulu (Bant Hızı - Güç)									
0,210 m/dak - 1500 W	43,54	0,55	22,71	22,7167	1,5466	-1,67	-10,77	7,35	13,1455
0,210 m/dak - 2100 W	59,63	0,52	19,84	19,8468	1,5446	-1,64	-7,9	-8,74	11,8948

Renk Parametreleri	*L**	*a**	*b**	*C*	*α*	*Δa*	*Δb*	*ΔL*	*ΔE*
Taze Ürün	48,47	-0,08	12,79						
Deney Koşulu (Bant Hızı - Güç)									
0,245 m/dak - 1500 W	31,87	5,73	19,25	20,0847	1,2815	-5,81	-6,46	16,6	18,7363
0,245 m/dak - 2100 W	43,27	0,74	19,9	19,9138	1,5336	-0,82	-7,11	5,2	8,84672

Çizelge 4. 2 mm kalınlığındaki patates dilimlerine ait renk parametreleri

Table 4. Color parameters of the potato slices with 2mm thickness

Renk Parametreleri	*L**	*a**	*b**	*C*	*α*	*Δa*	*Δb*	*ΔL*	*ΔE*
Taze Ürün	57,64	-2,62	19,4						
Deney Koşulu (Bant Hızı - Güç)									
0,175 m/dak - 1500 W	50,82	1,45	12,82	12,9017	1,4582	-4,07	6,58	6,82	10,3138
Renk Parametreleri	*L**	*a**	*b**	*C*	*α*	*Δa*	*Δb*	*ΔL*	*ΔE*
Taze Ürün	47,09	-1,31	10,32						
Deney Koşulu (Bant Hızı - Güç)									
0,175 m/dak - 2100 W	27,11	5,21	13,5	14,4705	1,2025	-6,52	-3,18	19,98	21,2561
Renk Parametreleri	*L**	*a**	*b**	*C*	*α*	*Δa*	*Δb*	*ΔL*	*ΔE*
Taze Ürün	58,44	-0,06	17,82						
Deney Koşulu (Bant Hızı - Güç)									
0,210 m/dak - 1500 W	46,27	0,81	24,16	24,1736	1,5373	-0,87	-6,34	12,17	13,75
0,210 m/dak - 2100 W	40,55	2,14	17,65	17,7793	1,4501	-2,2	0,17	17,89	18,0256
Renk Parametreleri	*L**	*a**	*b**	*C*	*α*	*Δa*	*Δb*	*ΔL*	*ΔE*
Taze Ürün	60,57	1,02	23,45						
Deney Koşulu (Bant Hızı - Güç)									
0,245 m/dak - 1500 W	32,5	4,29	16,22	16,7777	1,3122	-3,27	7,23	28,07	29,17
Renk Parametreleri	*L**	*a**	*b**	*C*	*α*	*Δa*	*Δb*	*ΔL*	*ΔE*
Taze Ürün	49,34	-0,46	15,79						
Deney Koşulu (Bant Hızı - Güç)									
0,245 m/dak - 2100 W	30,54	2,54	15,94	16,1411	1,4128	-3	-0,15	18,8	19,0384

Çizelge 5. 3 mm kalınlığındaki patates dilimlerine ait renk parametreleri
Table 5. Color parameters of the potato slices with 3mm thickness

Renk Parametreleri	*L**	*a**	*b**	*C*	*α*	*Δa*	*Δb*	*ΔL*	*ΔE*
Taze Ürün	57,11	-1,13	21,69						
Deney Koşulu (Bant Hızı - Güç)									
0,175 m/dak - 1500 W	42,36	4,41	17,99	18,5226	1,3304	-5,54	3,7	14,75	16,1847
Renk Parametreleri	*L**	*a**	*b**	*C*	*α*	*Δa*	*Δb*	*ΔL*	*ΔE*
Taze Ürün	49,38	-1,09	12,67						
Deney Koşulu (Bant Hızı - Güç)									
0,175 m/dak - 2100 W	43,45	2,23	18,44	18,5744	1,4504	-3,32	-5,77	5,93	8,91517
Renk Parametreleri	*L**	*a**	*b**	*C*	*α*	*Δa*	*Δb*	*ΔL*	*ΔE*
Taze Ürün	47,82	-0,7	18,6						
Deney Koşulu (Bant Hızı - Güç)									
0,210 m/dak - 1500 W	54,47	5,84	15,11	16,1993	1,202	-6,54	3,49	-6,65	9,95862
0,210 m/dak - 2100 W	39,44	7,01	16,17	17,6241	1,1617	-7,71	2,43	8,38	11,6436
Renk Parametreleri	*L**	*a**	*b**	*C*	*α*	*Δa*	*Δb*	*ΔL*	*ΔE*
Taze Ürün	56,92	1,44	23,42						
Deney Koşulu (Bant Hızı - Güç)									
0,245 m/dak - 1500 W	41,46	2,1	13,11	13,2771	1,412	-0,66	10,31	15,46	18,5942
Renk Parametreleri	*L**	*a**	*b**	*C*	*α*	*Δa*	*Δb*	*ΔL*	*ΔE*
Taze Ürün	58,83	-0,5	22,8						
Deney Koşulu (Bant Hızı - Güç)									
0,245 m/dak - 2100 W	37,36	5,41	13,07	14,1454	1,1783	-5,91	9,73	21,47	24,3015

Kurutulan gıdalarda kalite kriterlerinden biri olarak değerlendirilen renk kriterine göre taze patatesin renk değerine en yakın sonucu veren toplam renk değişimi dikkate alındığında (ΔE) 1 mm dilim kalınlığı için 1500 W ve 0,175 m/dak değerlerinde tespit edilmiştir. Kurutma gücünün artması ile genelde ΔE değerinde artış olmaktadır. ΔL parklaklık değişim kriteri dikkate aldımızda 1mm ve 3mm patates dilimlerin kurutulmasında 0,175 d/dak bant hızı ve 2100 W güçte, 2 mm patates dilimi için 0,175 d/dak bant hızı ve 1500 W güçte taze ürüne en yakın değerler görülmektedir.

Mikrodalga kurutma gücü azaldıkça kurutma süresince tüketilen enerji de bir artışa söz konusu olmaktadır. Bunun sebebi düşük mikrodalga güçlerinde üretilen ısı az olduğundan, üretilen ısının ürün 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. En az enerji tüketimi 1 mm dilim için 2100 W ve 0,175 m/dak değerlerinde 1.121 kWh olarak ölçülürken, en fazla tüketim 3 mm dilim için 2100 W ve 0,210 m/dak değerlerinde 2.849 kWh olarak ölçülmüştür.

Mikrodalga kurutma işlemi, geleneksel kurutma yöntemlerine göre daha hızlı bir nem transferi gerçekleştirmesinin yanı sıra, gıdaların besin değerlerinin daha iyi korunmasını sağlamaktadır. Ancak, her ürün mikrodalga kurutmaya uygun olmayıp, son ürün kalitesinin belirlenmesinde seçilecek dalga boyu ve frekans aralığı oldukça önem taşımaktadır. Mikrodalga kurutma, diğer yöntemlerle kurutulamayacak ve ekonomik olarak değerli ürünlerde önemli kullanım alanına sahip olup, farklı kurutma yöntemleriyle kombine edildiğinde ürün kalitesini olumlu yönde desteklemekte ve enerji verimliliğini arttırmaktadır (Karabacak ve ark., 2015).

Sonuç

Bu çalışmanın sonucu olarak aşağıda belirtilen sonuçlar ortaya çıkmıştır.

Mikrodalga gücünün artması ile enerji tüketimi artmıştır. En az enerji tüketimi 2100 W ve 0,175 m/dak değerlerinde 1.121 kWh olarak ölçülmüştür.

Kuruma zamanları dikkate alındığında en kısa sürede kurutma 1mm dilim için 1500 W mikrodalga gücünde ve 0,175 m/dak bant hızındaki örneklerde görülmüştür.

Bant hızının artması ile de enerji tüketimi artmıştır.

Mikrodalga gücünün artması ile kuruma zamanı azalırken bant hızının artması ile kuruma zamanı artmaktadır.

Tüm deney parametreleri için elde edilen verilere göre en uygun model Modified Henderson and Pabis modeli olarak belirlenmiştir.

Kurutulan gıdalarda kalite kriterlerinden biri olarak değerlendirilen renk kriterine göre taze patatesin renk değerine en yakın sonucu veren toplam renk değişimi dikkate alındığında (ΔE) 1mm dilim kalınlığı için 1500 W ve 0,175 m/dak değerlerinde tespit edilmiştir.

Teşekkür

Bu çalışmanın yapılmasında Namık Kemal Üniversitesi Bilimsel Araştırma Fonun desteklerinden dolayı teşekkür ederiz (NKUBAP.00.17.AR.13.12).

Kaynaklar

Çelen, S. ve Kahveci, K. 2013a. Microwave drying behavior of tomato slices, Czech Journal of Food Sciences, Vol. 31 (2): 132-138.

Çelen, S. ve Kahveci, K. 2013b. Microwave drying behaviour of apple slices, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part E, Journal of Process Mechanical Engineering. 227(4): 264-272.

Çelen, İ.H., Çelen, S., Moralar, A., Buluş, H. N. ve Önler, E. 2015. Mikrodalga bantlı kurutucuda patatesin kurutulabilirliğinin deneysel olarak incelenmesi, Electronic Journal of Vocational Colleges- Special Issue: The Latest Trends in Engineering, 5(4): 242-287.

Haghi, A. K. ve Amanifard, N. 2008. Analysıs of heat and mass transfer durıng mıcrowave drying of food products. Brazilian Journal of Chemical Engineering. 25(3): 491-501.

Alibaş, İ. 2012. Microwave Drying of Grapevine (Vitis vinifera L.) Leaves and Determination of Some Quality Parameters, Journal of Agricultural Sciences. 18: 43-53.

Cihan, A., Kahveci, K. ve Hacıhafızoğlu, O. 2007. Modelling of intermittent drying of thin layer rough rice. Journal of Food Engineering. 79: 293-298.

Doymaz, İ. 2005. Drying characteristics and kinetics of okra. Journal of Food Engineering. 69: 275-279.

Erdem, T. 2006. Drying by microwave energy of washed red pepper by ozonated water. (MSc. Thesis) University of Çukurova, Turkey.

Eren, Ö., Soysal, Y., Öztekin, S. ve Doğantan, Z.S. 2005. Mikrodalga Sistemi İle Donatılmış Bir Bantlı

Kurutucuda Maydanoz Kurutulması, III. Tarımsal Ürünleri Kurutma Tekniği Çalıştayı, Antalya, 2-4 Mayıs 2005.

Faisal, S., Tabassum, R. Ve Kumar, V. 2013. Performance Evaluation and Process Optimization of Potato Drying using Hot Air Oven, J Food Process Technol, 4:10.

Gölcü, M. 2014. Fatih Şen, Experimental investigatıon of wet viol dryability wıth microwave, Pamukkale University Journal of Engineering Sciences, Cilt 20, Sayı 4, s. 111-115.

Gürses, Ö.L. 1986. Gıda İşleme Mühendisliği II, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları: 963 Ders Kitabı : 282, Ankara.

Karaaslan, S., Tunçer, İ.K. 2009. Investigation of drying characteristics and determining of a drying model for microwave-fan assisted convection drying of red pepper, KSU J. Nat. 9 Sci., 12(2).

Karabacak, A.Ö., Sinir, G.Ö. ve Suna, S. 2015. Mikrodalga ve Mikrodalga Destekli Kurutmanın Çeşitli Meyve ve Sebzelerin Kalite Parametreleri Üzerine Etkisi, Uludağ Üniversitesi ziraat fakültesi dergisi, 29(2): 125-135.

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., Isci, A., Demirkol, Ö.S. 2015. Thin Layer Drying Models In Food Systems, Gıda, 40 (1): 39-46

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: 113-123.

Maskan, M. 2001. Kinetics of colour change of kiwifruits during hot air and microwave drying. Journal of Food Engineering, 48: 169 - 175.

Naderinezhad, S., Etesami, N., Najafabady, A. P. Ve Falavarjani, M. G. 2015. Mathematical modeling of drying of potato slices in a forced convective dryer based on important parameters, Food Science & Nutrition, 4(1): 110–118.

Ozkan, I. A., Akbudak, B. ve Akbudak, N. 2007. Microwave drying characteristics of spinach. Journal Food Engineering, 78: 577–583.

Polatcı, H. ve Tarhan, S. 2009. The effects of various drying methods on the drying time and quality of Basil (Ocimum Basilicum), GOÜ. Ziraat Fakültesi Dergisi, 26(1): 61-70.

Soysal, Y., 2004. Microwave drying characteristics of parsley, Biosystems Engineering, 89(2):167- 173.

Tüfekçi, S., Özkal, S.G. 2015. Applıcation of ultrasound in food drying, Pamukkale University Journal of Engineering Sciences, 21(9): 408-413.

Zlatkovic, B. P. And Rajkovic, M. B. 2005. Analysis Of Drying Potato Kinetics In Laboratory Conditions, Journal of Agricultural Sciences, 50(2): 161-171.