

MİKRODALGA ENERJİSİNİN AYVA DİLİMLERİNİN KURUTULMASINA ETKİSİ*

Soner ÇELEN¹, Serhat KUŞ²

ÖZET

Bu çalışmada, 4 mm kalınlıklarındaki ayva dilimlerinin laboratuvar tipi bantlı mikrodalga kurutucudaki kuruma davranışları incelenmiştir. Farklı mikrodalga güçlerinin (2000 ve 2800W) ve farklı bant hızlarının (0,175, 0,210 ve 0,245 m/dk) kuruma süresi, renk değişimi ve enerji tüketim değerleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Ürünlerin, kurutmanın belirli bir anındaki nem içeriğini belirlemek amacıyla Newton, Page, Henderson ve Pabis, Geometric, Wang ve Singh, kuruma modelleri birbiri ile karşılaştırılmıştır. Bu modellerin performansları gözlemlenen ve tahmini nem oranları arasında korelasyon katsayısı değeri (r), tahmini standart hatası (e_s) ve kalanların kareleri toplamına (χ^2) göre karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre tüm kuruma şartları için Page Modelinin, ürünlerin kuruma davranışını diğerlerinden daha iyi açıkladığı belirlenmiştir. Ayrıca 4 mm kalınlığındaki ayva dilimlerinin %11,05±1 (y.b.) seviyelerine kadar kurutulması için gerekli süre ve sistemin elektrik enerjisi tüketimi değerleri bakımından en uygun sonuçları yine, 2800 W mikrodalga gücünde ve 0,175 m/dk bant hızında yapılan kurutma işlemi verdiği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Ayva, Mikrodalga Kurutucu, Konveyör, Modelleme, Page Model

EFFECT OF MICROWAVE ENERGY TO THE DRYING OF QUINCE SLICES

ABSTRACT

In this study, drying behaviors of quince slice thickness of 4 mm were investigated in the laboratory type band microwave dryer. Different microwave powers (2000 and 2800W), and different belt speeds (0.175, 0.210 and 0.245 m / min) were investigated the effects on drying time, color change and energy consumption values. , Drying models as Newton, Page, Henderson and Pabis, Geometric, Wang and Singh to determine the moisture content in a given instant were compared with each other. Performance of this models was compared of observed and predicted moisture ratio between according to the coefficient of determination (r), standard error of estimate (e_s) and sum of square (χ^2). According to the results obtained for all the drying conditions, Page Model was determined better than others to explain the behavior of the drying of the product. In addition, when the drying time and energy consumption taken into account, optimal results are at 2800 W microwave power and 0.175 m / min belt speed.

Keywords: Quince, Microwave Dryer, Conveyor, Modelling, Page Model

* Namık Kemal Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi, NKUBAP.00.17.YL.14.01

¹ Yrd. Doç. Dr., Namık Kemal Üniversitesi, scelen@nku.edu.tr

² Namık Kemal Üniversitesi, serhat848484@hotmail.com

Giriş

Günümüzde endüstrilerin birçok uygulamasında, tekstil, gıda sektörü, kimya, biyomedikal ve metalürji alanlarında ve tıpta bazı hastalıkların tedavisinde elektromanyetik dalgalar 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 (Çelen vd., 2015).

Mikrodalgalar 300MHz-300GHz frekans aralığında olan elektromanyetik dalgalardır (Oktay, 2004). Mikrodalganın ısıtma etkisi, enerjinin dielektrik bir malzeme tarafından yutulması ve bu madde tarafından emilmesi sonucu sıcaklığının artması şeklinde açıklanabilir. Mikrodalga alanındaki ısı üretimini açıklayan iyonik polarizasyon ve dipol rotasyon gibi iki önemli mekanizma vardır (Çalışkan 2012). Mikrodalga ile ısıtma sistemlerinde elektromanyetik enerji direkt madde içerisinde su moleküllerinin saniyede milyonlarca kez titreşmesi ile ısıya dönüşür. Bu titreşim ve oluşan enerji materyal içindeki nemin oldukça hızlı bir şekilde buharlaşmasını sağlamaktadır (Eren vd., 2005). Bu nedenle mikrodalga ile ısıtmada ısı konvansiyonel sistemlerin tam tersine maddenin içinden dışarıya doğru taşınır. Mikrodalga ile kurutmada, ısı materyalin içine doğrudan nüfuz ettiği için geleneksel kurutma sistemlerine göre kurutma işlemi daha hızlı olur ve süre daha da kısadır (Özsoy, 2015). Bu yöntemde dielektrik özellikleri, materyal kütlesi, özgül ısı, geometrisi, ısı kayıp mekanizması ve materyal içinde üretilen güç ve mikrodalga sisteminde üretilen güç verimliliği temel parametreler olarak dikkate alınmaktadır (Eren vd., 2005).

Mikrodalga kurutucular; kurutma işleminde mikrodalga enerjisinin kullanıldığı kurutuculardır. Mikrodalga enerjisi doğrudan kurutulacak maddeye etkimekte ve bu durum enerji kayıplarını aşağıya çekmektedir. Mikrodalga kurutucular giderek yaygınlaşmakta olup gelişen teknoloji ile birlikte mikrodalga ile çalışan kurutucuların kullanım alanları da artmaktadır.

Bu tezde amaç, mikrodalga bantlı kurutucuda Ayva (*Cydonia oblonga*) dilimlerini kurutmak suretiyle, mikrodalga ile kurutmanın genel olarak meyvelerin kalitesi üzerine etkisini araştırmak, bu etkiyi sağlayan önemli parametreler hakkında temel bilgiyi geliştirmektir. Ayrıca toplam kurutma zamanını ve enerji tüketimini düşürecek bir kontrol yapısı oluşturmak, doğrusal olmayan bir kurutma sürecinin matematiksel modelini geliştirmektir.

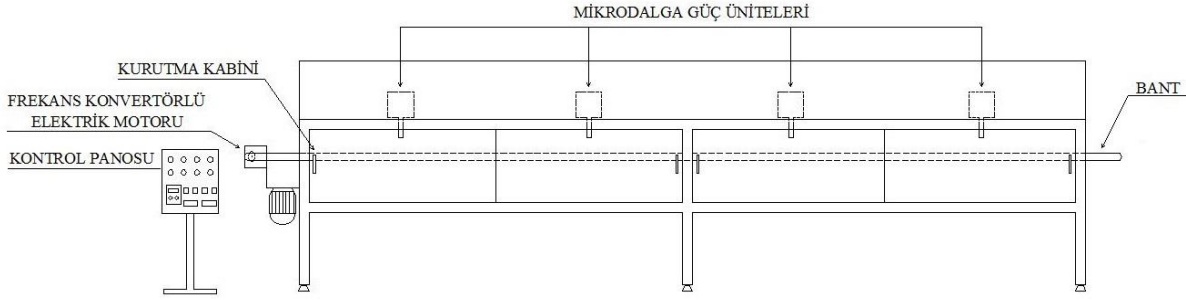
Materyal ve Yöntem

Türkiye 'de yaygın olarak yetiştiriciliği yapılan ayva (*Cydonia oblonga*) kurutma denemelerinde kullanılmıştır. Ayvalar, Tekirdağ ilinden, yerel marketten temin edilerek kurutma işlemine tabi tutulana kadar +4°C deki buzdolabında bekletilmiştir. Şekil 1' de denemelerde kullanılan ayvanın örnek fotoğrafı bulunmaktadır.



Şekil 1: Çalışmalarda kullanılan Ayva örneği

Kurutma işleminde, Namık Kemal Üniversitesi Çorlu Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde bulunan ve Şekil 2' de gösterilen bantlı mikrodalga kurutucu kullanılmıştır (Kuş, 2016).



Şekil 2: Mikrodalga bantlı kurutucunun şematik resmi

Ayvanın kurutulacağı mikrodalga bantlı kurutucu; kurutma tüneli, dört adet mikrodalga güç ünitesi, teflon bant, elektrik motoru ve kontrol panosundan oluşmaktadır. Kurutma tünelinin uzunluğu 3,5 m genişliği 0,5 m'dir. Her bir mikrodalga güç ünitesi 700 W gücünde olup (toplam kurutucu gücü 2800 W) kontrol panosu vasıtası ile ısıtma güçleri 90, 120, 350, 500, 700 W değerleri arasında ayarlanabilmektedir. Magnetronlar arası mesafe 0,9 m olup kurutma tünelinin başından ve sonundan 0,4 m mesafede uzaktan dizilmeye başlanmıştır. Bandın ilerleme hızı ve dönüş yönü, elektrik motorunu kontrol eden ve kontrol panosu içinde bulunan invertör ile ayarlanabilmektedir. Ayrıca kontrol panosu üzerinde, saatteki elektrik tüketiminin belirlenmesini sağlayan Köhler marka elektrik sayacı bulunmaktadır (Kuş, 2016).

Yöntem

Kurutma denemelerinin yapılması

Kurutma işlemlerine geçmeden önce ayvalar yıkanıp kabukları soyulmuş ve çekirdek kısımları çıkarılarak ayvalar 4 mm kalınlıkta dilimlenmiştir ve herhangi bir ön işlem uygulanmamıştır. Ürünlerde tazelik, renk, doku vb. kayıpların olmaması açısından deneylerde ayvalar tek tek kullanılarak dilimlenmiştir. Deney öncesinde ayva dilimlerinin başlangıç nem değerlerinin hesaplanabilmesi için etüvde 105°C 24 saatte kurutma yapılmıştır. Ayrıca kurutma işlemi yapılacak taze ürünlerin her birinin renk ölçümleri alınmıştır.

Ayva dilimleri kurutma tünelinin başlangıcına sırası ile konulmuş, banda hareket verilmiş ve mikrodalga güç üniteleri çalıştırılmıştır. Ayva dilimleri kurutma tünelinin 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, 500 ve 700 W güç seviyelerine getirilerek dört adet magnetron vasıtasıyla toplamda 2000 ve 2800 W mikrodalga güçlerinde ayrı ayrı yapılmıştır. Çalışmalar boyunca bant hızları 0,175 m/dk, 0,210 m/dk ve 0,245 m/dk 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 3 dakikalık zaman aralıklarında kurutma işlemi gerçekleştirilmiş ve her 3 dakika sonunda hassas terazi ile ürünün ağırlığı ölçülerek nem kaybı bulunmuştur. Kurutma işlemlerinde ayva için %11,05±1 oluncaya kadar devam ettirilmiştir. Deneyler üç kez tekrarlanıp verilerin ortalamaları kullanılmıştır (Kuş, 2016).

Ürün neminin belirlenmesi

Kurutma işleminden önce ürünlerin başlangıç nemlerinin belirlenmesi amacıyla her bir dilim kalınlığı (4, 5 mm) için 3'er adet örnek alüminyum folyo içerisine koyularak 105°C sıcaklığındaki etüvde 24 saat süresince bekletilmiştir. Kurutma denemelerinde kullanılan ürünlerin nem içeriği yaş baza göre aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır.

$$m_y = \frac{m_s}{(m_s + m_k)} \quad (1)$$

Burada:

m_y : yaş baza göre nem içeriği,

m_s : ürünün yaş kütlesi (g),

m_k : ürünün kuru kütlesi (g).

Ürünlerin ilk nem ve son nemlerinin yanı sıra kurutma işlemi boyunca değişen nem içeriği değerleri de aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmıştır.

$$mr = \frac{m - m_e}{m_0 - m_e} \quad (2)$$

Burada:

mr: boyutsuz nem oranı,

m: ürünün belli bir zamandaki nem içeriği (g.su/g.katı madde),

m_e: denge nem içeriği,

m₀: ilk nem içeriği.

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

$$mr = m / m_0 \quad (3)$$

Renk tayini

Ayva dilimlerinin kurutulması sırasında, kurutma koşullarının ürünler üzerindeki etkilerini belirlemek amacıyla, taze ve kurtulmuş ürün örneklerinin renk ölçümleri yapılmıştır. Renk ölçümü uluslararası L*a*b* sistemine göre Hunter Lab D25LT (USA) cihazı ile yapılmıştır.

Kuruma eğrilerinin matematiksel modellenmesi

Çizelge 1’de, literatürde mevcut beş tip kurutma modeli ve ilgili denklemler verilmektedir. Bu çalışmada elde edilen deneysel veriler beş tip model denkleminde kullanılarak model verileri ve çalışmada elde edilen deneysel neticeler arasında grafiksel karşılaştırmalar yapılmıştır. Standart sapma (es), teorik ve deneysel değerler arasındaki sapmayı göstermektedir. Bu değer in sıfıra yakın olması modelin daha etkin olduğunu belirtmektedir.

Ayrıca uyumun iyilik derecesini gösteren χ^2 değerinin azalması da uyumun arttığını belirtmektedir. Bunların yanında deneysel verileri açıklayan modelin, modelleme yeterliliği değerinin (korelasyon katsayısının) 1’e yakın olması modelin kullanılabilirliğinin göstergesidir.

Çizelge 1: Deney sonuçlarının karşılaştırılmasında kullanılan kurutma modelleri (Cihan ve ark. 2007)

Model	Model denklemi
Newton	$mr = \exp(-kt)$
Page	$mr = \exp(-kt^n)$
Henderson and Pabis	$mr = a \exp(-kt)$
Geometric	$mr = at^{-n}$
Wang and Singh	$mr = 1 + at + bt^2$

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

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

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

Yukarıdaki denklemlerde:

r: korelasyon katsayısı,

e_s : standart sapma,

χ^2 : ki-kare,

mr_{exp} : deney sonucu elde edilen boyutsuz nem oranı,

mr_{pre} : uygun modelde elde edilen boyutsuz nem oranı,

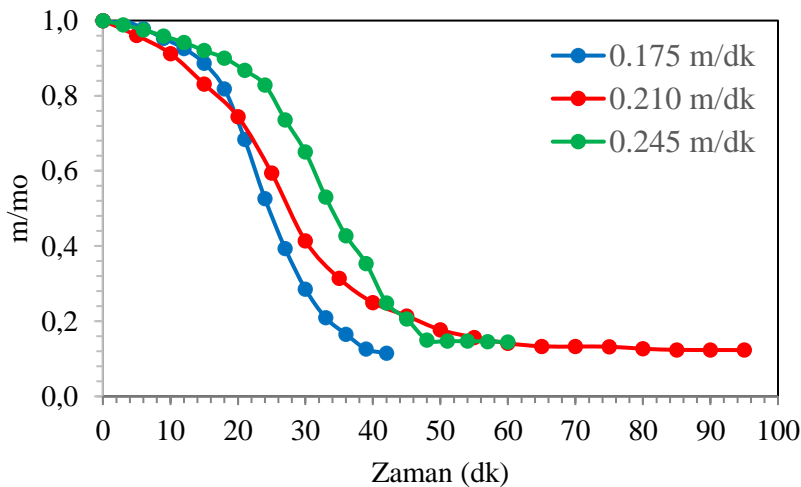
n_o : gözlem sayısı,

n_c : kurutma modelindeki sabitlerin sayısı.

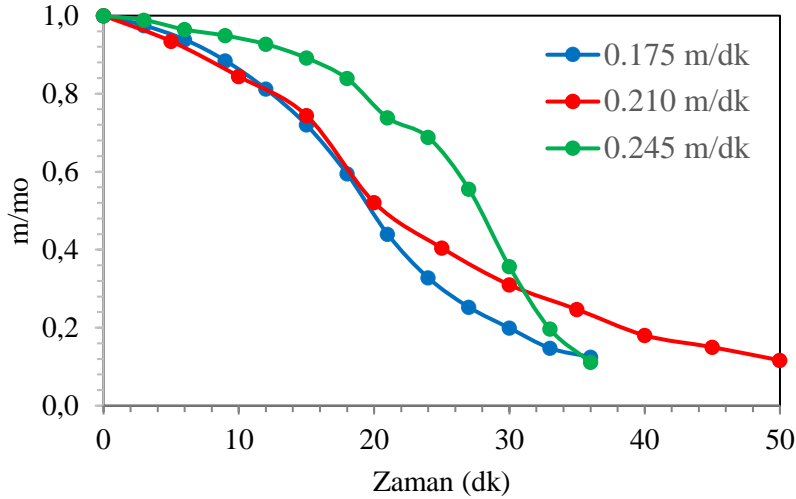
Elde edilen verilerin değerlendirilmesinde istatistiksel yöntemler kullanılmıştır. Kuruma sabitlerinin hesaplanmasında doğrusal olmayan regresyon analizi yapan XLSTAT bilgisayar programı kullanılmıştır.

Bulgular

Farklı boyutlarda dilimlenmiş patates örneklerinin kuruma karakteristikleri Şekil 3 - 4 '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 süresinde değişimler söz konusudur. Bunun sebebi 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 söylenemez. 2000W mikrodalga gücü için bant hızına göre sırasıyla 39, 95 ve 57 dakikada, 2800W mikrodalga gücü için sırasıyla 39, 50 ve 36 dakikada kuruma işlemleri gerçekleşmiştir.



Şekil 3: 4 mm kalınlığındaki ayva dilimleri ve 2000 Watt güç için kuruma eğrileri



Şekil 4: 4 mm kalınlığındaki ayva dilimleri ve 2800 Watt güç için kuruma eğrileri

Renk analizi

Taze ürün ile kurutulan ürünlerdeki renk değişimlerinin belirlenmesi amacıyla her bir deney şartında kuruma öncesi ve sonrası 5 tekrarlı renk ölçümleri yapılmıştır. Elde edilen değerlerin aritmetik ortalaması alınmıştır.

Mikrodalga kurutucuda kurutulan 4 mm kalınlığındaki ayva dilimlerinin renk parametreleri Çizelge 2' de verilmiştir. Kurutulan ürünlerin renk parametreleri taze ürünün renk parametreleri ile karşılaştırılıp renk kayıpları tespit edilmiştir. Mikrodalgada kurutmada parlaklık (ΔL) için en fazla kayıplar 0,210 m/dk bant hızında ve 2000 W güçte görülmüştür. Aşırı ısınma nedeniyle üründe yanmalar, dolayısıyla kararmalar görülmektedir. Bu istenmeyen bir durumdur.

Çizelge 2: 4 mm kalınlığındaki ayva dilimlerine ait renk parametreleri

	Renk Parametreleri								
	L^*	a^*	b^*	C	α	Δa	Δb	ΔL	ΔE
Taze Ürün	50,19	7,17	20,45						
Deney Koşulu (Bant Hızı - Güç)									
0,175 m/dk - 2000 W	55,06	15,5	26,91	31,07	1,047	-8,37	-6,46	-4,87	11,6407
	Renk Parametreleri								
	L^*	a^*	b^*	C	α	Δa	Δb	ΔL	ΔE
Taze Ürün	64,88	0,29	22,83						
Deney Koşulu (Bant Hızı - Güç)									
0,175 m/dk - 2800 W	41,29	15,3	19,83	25,05	0,913	-	3	23,59	28,1316
						15,03			
	Renk Parametreleri								
	L^*	a^*	b^*	C	α	Δa	Δb	ΔL	ΔE
Taze Ürün	64,56	0,86	25,39						

Deney Koşulu (Bant Hızı - Güç)									
0,210 m/dk - 2000 W	36,56	12,6	23,01	26,26	1,067	-11,8	2,38	28	30,4779
Renk Parametreleri									
	<i>L*</i>	<i>a*</i>	<i>b*</i>	<i>C</i>	<i>α</i>	<i>Δa</i>	<i>Δb</i>	<i>ΔL</i>	<i>ΔE</i>
Taze Ürün	64,56	0,86	25,39						
Deney Koşulu (Bant Hızı - Güç)									
0,210 m/dk - 2800 W	49,37	7,21	23,82	24,88	1,276	-6,35	1,57	15,19	16,5385
Renk Parametreleri									
	<i>L*</i>	<i>a*</i>	<i>b*</i>	<i>C</i>	<i>α</i>	<i>Δa</i>	<i>Δb</i>	<i>ΔL</i>	<i>ΔE</i>
Taze Ürün	74,09	0,73	21,23						
Deney Koşulu (Bant Hızı - Güç)									
0,245 m/dk - 2000 W	50,48	13,6	26,4	29,69	1,095	-12,8	-5,17	23,61	27,3824
Renk Parametreleri									
	<i>L*</i>	<i>a*</i>	<i>b*</i>	<i>C</i>	<i>α</i>	<i>Δa</i>	<i>Δb</i>	<i>ΔL</i>	<i>ΔE</i>
Taze Ürün	56,45	2,94	25,98						
Deney Koşulu (Bant Hızı - Güç)									
0,245 m/dk - 2800 W	51,33	15,3	25,7	29,91	1,033	-12,37	0,28	5,12	13,3907



Şekil 5: Kurutulan 4 mm kalınlığındaki ayva diliminin kurutma sonrası durumu

Mikrodalgada enerji tüketimi ve kuruma süreleri

Mikrodalgada kurutma sırasındaki enerji tüketimi kontrol panosunda bulunan sayaç sayesinde test başlangıç ve bitişlerinde kaydedilmiştir. Toplam tüketim değerleri Çizelge 3' de verilmiştir. Çizelge 3' den görüldüğü gibi mikrodalga gücü azaldıkça tüketilen enerji de bir artışa söz konusu olmaktadır.

Çizelge 3: 4 mm kalınlığındaki ayva dilimlerine ait tüm tüm parametreler

	Toplam Süre (dk)	Başlangıç Kütlesi (g)	Son Kütle (g)	Başlangıç Nem İçeriği (%)	Son Nem İçeriği (%)	Enerji Tüketimi (kWh)
0,175 m/dk - 2000 W	39	14,44	2,73	81,7	10,3	2,144
0,175 m/dk - 2800 W	36	23,02	4,68	81,7	10,2	1,370
0,210 m/dk - 2000 W	95	17,45	3,30	83	10,2	2,600
0,210 m/dk - 2800 W	50	16,2	2,99	83,3	9,7	2,193
0,245 m/dk - 2000 W	57	14,42	2,99	81,7	11,9	1,870
0,245 m/dk - 2800 W	36	14,44	2,90	81,7	9,1	1,399

Aynı şekilde, kuruma süreleri dikkate alındığında yüksek mikrodalga güçlerinde sürelerin kısaldığı, düşük güçlerde ise arttığı görülmektedir. Bant hızının kuruma süresine etkisi açısından bir karşılaştırma yapılırsa; yüksek bant hızlarında kuruma süresinin arttığı, düşük hızlarda azaldığı ölçülmüştür.

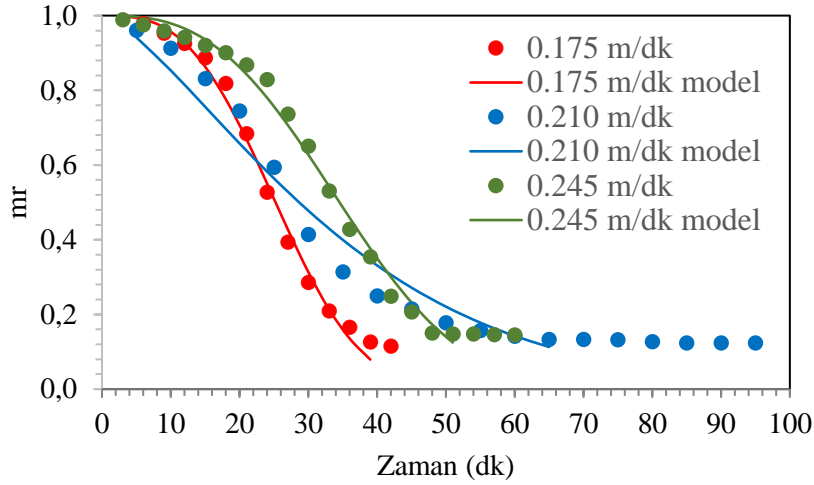
Kuruma davranışlarının modellenmesi

Kurutulan ayva dilimlerinin kuruma davranışını ifade etmede Çizelge 1’de verilen modeller kullanılmış ve bu modellerin kurutucu güçlerine göre istatistiksel analiz sonuçları Çizelge 4-5’de verilmiştir.

Çizelge 4: 2000 watt güçte yapılan kurutma işlemine ait modellerin analiz sonuçları

Model	Bant Hızı	Sabitler	r	e _s	χ ²
Henderson and Pabis	0,175 m/dk	a=1,3281449 / k= 0,0410852	0,8643	0,1333	0,0178
	0,210 m/dk	a=1,2418541 / k= 0,03361104	0,96	0,0624	0,0039
	0,245 m/dk	a=1,2918601 / k= 0,02962892	0,8647	0,1309	0,0171
Geometric	0,175 m/dk	a= 1,9847524 / n=0,42898523	0,6128	0,2228	0,0497
	0,210 m/dk	a= 3,2929296 / n=0,640065	0,8189	0,1348	0,0182
	0,245 m/dk	a= 1,9919764 / n=0,39758516	0,5867	0,2265	0,0513
Wang and Singh	0,175 m/dk	a=-0,0041357 / b= -0,000545	0,9613	0,0712	0,0051
	0,210 m/dk	a= -0,022617 / b= 0,0001412	0,9681	0,0706	0,005
	0,245 m/dk	a= -0,006077 / b= -0,0002064	0,9456	0,083	0,0069
Newton	0,175 m/dk	k= 0,02826369	0,8999	0,1735	0,0301
	0,210 m/dk	k= 0,02698514	0,9476	0,0857	0,0073
	0,245 m/dk	k= 0,02144866	0,896	0,165	0,0272
Page	0,175 m/dk	k= 0,0000 / n= 2,9786444	0,994	0,028	0,0008
	0,210 m/dk	k= 0,0063202 / n= 1,399856	0,9571	0,0677	0,0046
	0,245 m/dk	k=0,0000 / n= 2,8194694	0,9894	0,0373	0,0014

Sonuçlardan da görülebileceği gibi ele alınan modeller içerisinde deneysel veriler ile en iyi uygunluğu Page modeli vermektedir. Bu modele dayalı olarak kuruma eğrileri farklı bant hızları için Şekil 6-7’de çizilmiştir.

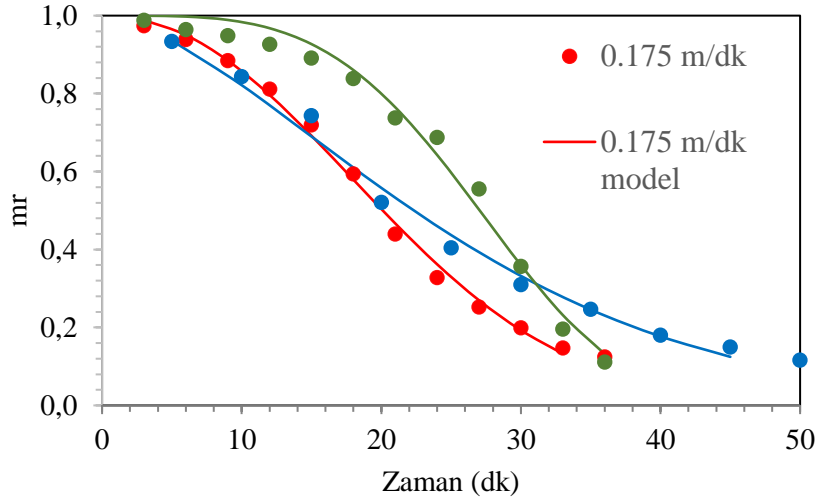


Şekil 6: 4 mm dilim kalınlığı ve 2000 Watt kurutma gücü için Page modeline dayalı kuruma eğrileri

Şekil 6’dan da görülebileceği gibi model sonuçları ile deneysel veriler arasında oldukça iyi bir uygunluk söz konusudur.

Çizelge 5: 2800 Watt güçte yapılan kurutma işlemine ait modellerin analiz sonuçları

Model	Bant Hızı	Sabitler	r	e _s	χ ²
Henderson and Pabis	0,175 m/dk	a=1,29497859 / k= 0,0516691	0,9303	0,0921	0,0085
	0,210 m/dk	a=1,256551 / k= 0,0445496	0,9774	0,0489	0,0024
	0,245 m/dk	a=1,268305 / k= 0,03434459	0,7849	0,1529	0,0234
Geometric	0,175 m/dk	a=2,0468115 / n=0,5067677	0,713	0,1846	0,0341
	0,210 m/dk	a=2,962906 / n=0,6348704	0,8348	0,1324	0,0175
	0,245 m/dk	a= 1,7549795 / n=0,3504944	0,5349	0,2232	0,0498
Wang and Singh	0,175 m/dk	a=-0,0188109 / b=-0,0002247	0,965	0,0678	0,0046
	0,210 m/dk	a=-0,025516 / b= 0,0001406	0,9749	0,0596	0,0036
	0,245 m/dk	a= 0,00529 / b= -0,0008535	0,9896	0,0339	0,0011
Newton	0,175 m/dk	k= 0,03797227	0,9531	0,1308	0,0171
	0,210 m/dk	k= 0,03470697	0,9835	0,0863	0,0074
	0,245 m/dk	k= 0,023468220	0,822	0,1788	0,032
Page	0,175 m/dk	k=0,00106487 / n= 2,158826	0,9955	0,0233	0,0005
	0,210 m/dk	k=0,00529218 / n= 1,569634	0,9905	0,0316	0,001
	0,245 m/dk	k=0,0000 / n= 3,751765	0,9904	0,0368	0,0014



Şekil 7: 4 mm dilim kalınlığı ve 2800 Watt kurutma gücü için Page modeline dayalı kuruma eğrileri

Şekil 7' den de görülebileceği gibi model sonuçları ile deneysel veriler arasında oldukça iyi bir uygunluk söz konusudur.

Sonuçlar

Araştırmada, 4 mm kalınlığındaki ayva dilimlerinin %11,05±1 (y.b.) seviyelerine kadar kurutulması için gerekli süre ve sistemin elektrik enerjisi tüketimi değerleri bakımından en uygun sonuçları yine, 2800 W mikrodalga gücünde ve 0,175 m/dk bant hızında yapılan kurutma işlemi vermiştir. Tüm dilim kalınlıkları için mikrodalga gücünün artırılması kuruma süreleri ve enerji tüketimlerini azaltmıştır. Bant hızı değişiminin kurutma işlemine etkilerine bakıldığında artan bant hızı değerlerinin genelde kuruma sürelerini arttırdığı görülmüştür. Mikrodalga gücü artışının elektrik tüketimi ve kuruma süresinde azalma oluşturmasına rağmen kalite değerlerinde herhangi bir belirleyici etkisi olmamıştır.

Kurutulan ayva dilimleri renk açısından incelendiğinde, aynı bant hızında ayva dilimleri için 2800 W toplam mikrodalga gücü ile çalışma koşullarına ait renk faktörlerinin genelde, ürünün taze rengine en yakın sonuçları verdiği görülmektedir. Mikrodalga gücünün yükselmesi ile genel olarak renk kalitesinde iyileşmeler olmuştur. Renk kalitesi açısından bakıldığında 4 mm kalınlığındaki ayva dilimleri için ise en iyi sonuç 0,175 m/dk bant hızı ve 2000 W mikrodalga gücünde görülmüştür. Her iki çalışmada da renk kalitesi açısından en iyi sonucu 0,175 m/dk bant hızında elde edilmiştir.

Ayrılabilir nem oranının tahmin edilmesinde kullanılabilecek Newton, Page, Henderson ve Pabis, Geometric, Wang and Singh modellerinde yer alan a, k, n, b katsayılarına mikrodalga gücü ve bant hızının etkisi çoklu regresyon yöntemi ile incelenmiş ve incelenen kuruma modellerinin katsayılarını mikrodalga gücü ve bant hızına bağlı olarak en yüksek r değeri ile tahminleyen en çok üç terimli modeller oluşturulmuştur. Analizler sonucunda yapılan tüm deney koşullarında kuruma kinetiklerini en iyi tahminleyen model "Page" kuruma modeli olarak seçilmiştir.

Öneriler

Sonuç olarak, bantlı mikrodalga kurutucu ile kurutma uygulamalarında mümkün olduğunca düşük bant hızı ile çalışmasının kalite kriterleri açısından daha yararlı olacağı söylenebilir. Yüksek bant hızlarında ise yüksek mikrodalga gücünün renk kalitesi açısından daha iyi sonuçlar verdiği söylenebilir. Ancak uygun kurutma koşullarının belirlenebilmesi için kurutmanın yapılacağı sistemde magnetronların konumları, bant uzunluğu, kurutma kabini hacmi vb. teknik bazı düzenlemeler yapılması ile birlikte alınabilecek sonuçların doğruluğu artacaktır. Renk kalitesini ve homojen kurutmayı arttırabilmek için mikrodalga ile kombineli kurutma sistemli bir kurutucu yapılması da önerilir.

Kaynakça

- 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), 57-69.
- Cihan, A., Kahveci, K. ve Hacıhafızoğlu, O. (2007). Modelling of intermittent drying of thin layer rough rice. *Journal of Food Engineering*, 79, 293-298.
- Çalışkan, K. (2002). Mikrodalga Enerjisi ile Kurutma. Y.Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Eren, Ö., Soysal, Y., Öztekin, S. ve Doğanatan, Z.S. (2005). Mikrodalga sistemi ile donatılmış bir bantlı kurutucuda maydanoz kurutulması, III. Tarımsal Ürünleri Kurutma Tekniği Çalıştayı, 2-4 Mayıs 2005, Antalya.
- Kuş, S. (2016). Mikrodalga Enerjisiyle Ayva Ve Armut Meyvesinin Kuruma Davranışı Ve Modellemesi, Yüksek lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.
- Oktay, A. (2005). RF ve Mikrodalga Enerjisinin Endüstriyel Uygulamaları, 1.RF ve Mikrodalga Ölçüm Ulusal Çalıştayı, Gebze/Kocaeli.
- Özsoy E (2015) Mikrodalga Bantlı Kurutucuda Elma (Gala) Dilimlerinin Kuruma Davranışı. Y.Lisans Tezi,Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.
- Maskan, M. (2000). Microwave/air and Microwave Finish Drying of Banana. *Journal of Food Engineering*, 44, 71-78.