

Ananasın Mikrodalga ile Kurutulması ve Uygun Kuruma Modelinin Belirlenmesi¹

Murat SARI Sevil KARAASLAN

Süleyman Demirel Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Tarım Makineleri Bölümü, 32260-Çünür, Isparta
Sorumlu yazar: sevilcaraaslan@sdu.edu.tr

Geliş tarihi: 06.12.2013, Yayına kabul tarihi: 17.03.2014

Özet: Bu çalışmada, ilk nem içeriği % 88 (y.b) olan ananas meyvesi nem içeriği % 7 olana kadar kuruma süresine bağlı olarak farklı mikrodalga güçleri ve sıcaklıklarda kurutulmuştur. Ananas meyvesi, mikrodalga, mikrodalga-sıcak hava kombinasyonu ve sadece sıcak hava ile kurutulmuştur. Kurutma işlemleri kuruma süresine bağlı olarak mikrodalga güçleri (180, 360, 540, 720 ve 900W), mikrodalga güçleri(180, 360 ve 540 W) ve sıcak hava (100, 150, 200°C) kombinasyonu ve sadece sıcak hava (100, 150, 200°C) ile gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışma sonucu elde edilen veriler literatürde bulunan 9 farklı ayrılabilir nem içeriği modellerine (Newton, Page, Henderson ve Pabis, Logaritmik, Wang ve Singh, Verma, iki terimli, iki terimli üssel, Midilli-Kucuk) göre karşılaştırılmış, belirtme katsayısı (R^2); tahminin standart hatası (SEE) ve kalanların kareleri toplamı (RSS) değerlerine göre en uygun kuruma modeli Midilli-Küçük model eşitliği olarak bulunmuştur.

Anahtar kelimeler: Ananas, kuruma süresi, matematiksel modeller

Microwave Drying of Pineapple and Determination of Suitable Drying Model

Abstract: In this study, pineapple with 88 % humidity (w.b) were dried different microwave powers and temperatures based on drying time until the humidity fell down to 7 % (w.b). Pineapples were dried on the microwave, combined microwave-convective and convective drying. Drying processes were completed with microwave powers (180, 360, 540, 720 and 900W), combined microwave powers (180, 360 and 540 W) and convective ((100, 150 and 200°C) and only convective (100, 150 and 200°C) based on drying time. Nine thin layers drying equations (Newton, Page, Henderson and Pabis, Logarithmic, Wang and Singh, Diffusion Approach, Two Term, Verma, Two Term exponential, Midilli-Kucuk) were compared with the collected data and the best model was found to be Midilli-Kucuk model when comparing the correlation coefficient (R^2), standard error estimate (SEE) and residual sum of the square (RSS).

Key words: Pineapple, drying time, modelling

¹ Bu makale TÜBİTAK 2209/A Üniversite Öğrencileri Yurt İçi Araştırma Projeleri Destek Programı tarafından desteklenmiştir (2012).

Giriş

Kurutma çeşitli sektörlerde temel üretim basamağı olup, enerjisi yoğun bir işlemdir. Hasat edilen tarımsal ürünler, solunum faaliyetlerine devam ettikleri için kısa sürede bozulmaya başlarlar. Ürünlerin bozulmalarını engelleyip kullanım sürelerini artırmak için pek çok yöntem kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden biri de kurutmadır. Kurutma üründen nemin uzaklaştırılması işlemidir (Ertekin ve Yıldız 2004; Alibaş, 2012). Tarımsal ürünlerin güneşte kurutulması çok eski yıllardan beri bilinen bir koruma yöntemidir. Ancak bu yöntem taş, toprak, böcek ve çöp başta olmak üzere üründe kirliliğe neden olabilmektedir. Tarımsal ürünlerin sıcak havayla kurutulması ise düşük enerji verimliliğine ve uzun kuruma sürelerine sahip bir yöntem olduğu için yeni teknolojiler oluşturulmaktadır. Bu nedenle son dönemlerde yapılan çalışmalar temel olarak, enerjiyi daha verimli kullanan, kurutma süresi kısa, fiziksel yer gereksinimi az ve yüksek kalitede kuru ürün üretimine olanak veren alternatif kurutma yöntemleri geliştirilmiş ve uygulanması üzerine odaklanılmıştır. Sıcak hava ile kurutma yöntemleri ile karşılaştırıldığında mikrodalga kurutma sistemleri, ürün kalitesinde bozulma olmadan, kurutma süresini önemli ölçüde kısaltabilmektedir. Geleneksel kurutma yöntemlerinde ısı ürünün yüzeyinden iç kısımlarına doğru kademeli olarak iletilmektedir. Öncelikle ürünün yüzeyi kurumakta daha sonra iç kısımlarına doğru kuruma devam etmektedir ve bu sırada dış yüzeyde oluşan sert tabaka büzülmeye neden olarak ısı ve nem transferini engellemekte ve kurutma süresini uzatmaktadır. Mikrodalga ile kurutmada ise elektromanyetik alan ürünü bir bütün olarak etkilemekte ve materyal içerisindeki su moleküllerinin saniyede milyonlarca kes titreşmesi sağlanmaktadır. Bu titreşim ve oluşan enerji ürünün içindeki nemin oldukça hızlı bir şekilde buharlaşmasını sağlamaktadır (Eren ve ark., 2005; Soysal ve ark., 2009).

Son yıllarda açıkta güneşte kurutmanın sakıncalarının ortadan kaldırılması, hızlı kurutmanın sağlanması, birim kuru materyal

başına enerji tüketiminin azaltılması ve besin içeriğinin korunması gibi olumlu etkilerden dolayı mikrodalga enerjisiyle kurutma yöntemi yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biri haline gelmiştir (Alibaş, 2012; Soysal ve ark., 2009).

Yapılan çok sayıda araştırmada mikrodalga kurutma tekniğinin meyve ve sebzeler gibi yüksek oranda nem içeren ürünlerin kurutulmasında başarıyla uygulandığı bildirilmektedir. Bu araştırmalarda mikrodalga kurutma yöntemi ile kivi (Maskan, 2001), çilek (Venkatachalapathy and Raghavan 1999), havuç (Sumnu ve ark., 2005), mantar (Torrington et al., 2001), sarımsak (Shorma and Prasad 2001), maydanoz (Soysal, 2004), (Soysal ve ark., 2006), ıspanak (Karaaslan ve Tunçer 2008), kırmızıbiber (Karaaslan ve Tunçer 2009) ve çilek (Alibaş, 2012) gibi pek çok meyve ve sebze kurutulmuştur.

Bu çalışmada ananasın farklı kurutma koşullarındaki kurutma davranışı, laboratuvar tipi mikrodalga kurutucuda yapılan denemeler ile incelenmiş ve nem içeriği değişimlerine farklı mikrodalga güçleri etkisi 9 farklı model ile açıklanmaya çalışılmıştır.

Materyal ve Yöntem

Materyal

Kurutma denemelerinde, ananas meyvesi kullanılmıştır. Ananas, Isparta ilinde tüketime sunulan lokal bir marketten alınmıştır. Toplanan meyveler, laboratuvar ölçekli kurutma işlemlerini gerçekleştirmek üzere Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makineleri Bölümü'ne getirilmiş ve +4°C deki buzdolabında bir gece bekletilerek muhafaza edilmiş ve ertesi gün kurutma işlemine tabi tutulmuştur.

Mikrodalga ile kurutma denemeleri, 180 W, 360 W, 540 W, 720 W ve 900 W olmak üzere toplam 5 güç seviyesinde çalışabilen mikrodalga fırın kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Tüm meyvelerde ayıklama ve yıkama ortak işlemlerdir. Ananaslar, kabuğu

soyulup 5 mm kalınlığında dilimlenmişlerdir.

Ürünlerin başlangıç nem içerikleri, laboratuvar koşullarında kurutma dolabında (etüv) kurutulmuş olarak ölçülmüştür. Kurutma işlemine başlamadan kabuğu soyulmuş ananaslar yıkanmış, tartılmış ve darası alınmış alüminyum folyo üzerine 100'er gramlık örnekler konularak 105°C sıcaklığındaki etüvde 24 saat bırakılmıştır. Her deneme koşulunda, denemelerde kullanılan örneklerin nem içerikleri ölçümleri tekrarlanmış bu işlemler 5 tekerrürlü olarak gerçekleştirilip ortalaması alınmıştır.

Kurutma ekipmanları ve kurutma yöntemi

Kurutma denemelerinde Arçelik MD-824 model programlanabilir bir mikrodalga fırın kullanılmıştır. Kullanılan mikrodalga fırının kurutma alanı 230 x 350 x 330 mm boyutlarındadır ve kurutma alanının ortasında çapı 325 mm olan cam bir kurutma tablası yer almaktadır. Mikrodalga fırın 180, 360, 540, 720 ve 900 W olan 5 farklı mikrodalga güç seviyelerinde çalışabilmektedir.

Kurutma işlemleri için ananas 100 gram olarak belirlenmiştir. Ürünlerle bu ağırlıklarda çalışılmasındaki neden, mikrodalga fırın içerisinde bulunan döner cam tepsinin üzerindeki dağılımın homojen bir dağılım göstermesidir. 1 dakikalık zaman aralıklarında kurutma işlemi gerçekleştirmiş ve her 1 dakika sonunda 0,01 g hassasiyete sahip dijital bir hassas terazi ile ürünün ağırlığı ölçülerek nem kaybı bulunmuştur (Soysal ve ark., 2006). Ağırlık ölçümleri kurutma rejiminin bozulmaması için 10 saniye içinde tamamlanmıştır (Alibaş, 2010).

Kurutma denemelerinde kullanılan ürünlerin ilk nem içeriği yaş baza göre aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır.

$$M = \frac{m_w}{m_w + m_d} \times 100 \quad [1]$$

Burada;

M: Yaş baza göre nem içeriği (%),

m_w =Su miktarı (g),

m_d =Kuru madde miktarı (g)

Kurutma Denemeleri

Mikrodalga ile kurutma denemelerinde 5 farklı mikrodalga güç seviyesi kullanılmıştır. Mikrodalga ile kurutmada güç seviyeleri 180 W, 360 W, 540W, 720 W ve 900 W; mikrodalga-sıcak hava kombinasyonunda mikrodalga güç seviyeleri ile sıcaklıklar 180W-100°C, 180W-150°C, 180W-200°C, 360W-100°C, 360W-150°C, 360W-200°C, 540W-100°C, 540W-150°C, 540W-200°C, ve sıcak havayla kurutmada sıcaklıklar 100°C, 150°C ve 200°C olarak belirlenmiştir.

Ürünün kurumadan önceki ve sonraki nem değerleri belirlenerek kurutma sırasındaki meydana gelen nem kaybı bulunmuştur. Nem kayıpları, kurutma eğrilerini oluşturmak için kurutma işlemi süresince 1'er dakikalık aralıklarla hassas terazi kullanılarak ölçülmüştür (Maskan, 2001). Ananas, denge nem içeriğine ulaşılan kadar kurutulmuştur.

Kuruma Eğrilerinin Matematiksel Modellenmesi

Nem içeriği ile kuruma süresi arasında bir ilişki sağlanması amacıyla deneysel verilerden yararlanılmış ve Newton (Ayensu, 1997), Page (Aqraval and Singh 1977), Henderson ve -Pabis (Akpınar ve ark., 2006), Logaritmik (Yaldız ve ark., 2001), Wang-Singh (Wang and Singh 1978), Verma (Verma et al., 1985), İkiterimli (Henderson , 1974), İki Terimli Üssel (Sharaf et al., 1980), Midilli ve Küçük (Sacılık ve Eliçin 2006) olmak üzere toplam 9 farklı model eşitlik istatistiksel olarak kıyaslanmıştır (Çizelge 1).

Çizelge 1. Kuruma eğrileri için uygulanan matematiksel modeller.

Table 1. Mathematical models applied to drying curves

No	Model	Model adı	Kaynak
1	MR=exp(-kt)	Newton	Ayensu(1997)
2	MR=exp(-kt ⁿ)	Page	Agrawal ve Singh (1977)
3	MR=a exp(-kt)	Henderson ve Pabis	Akpınar ve ark.(2006)
4	MR=a exp(-kt)+c	Logaritmik	Yaldiz ve ark.(2001)
5	MR=1+at+bt	Wang ve Singh	Wang ve Singh (1978)
6	MR=a exp(-kt)+(1-a)exp(-gt)	Verma	Verma ve ark.(1985)
7	MR=a exp(-kt)+b exp(-k ₁ t)	İki terimli	Akpınar ve ark.(2006)
8	MR=a exp(-kt)+(1-a)exp(-kat)	İki terimli üssel	Sharaf-Elden ve ark.(1980)
9	MR=a exp(-k(t ^m)+bt	Midilli ve Küçük.	Sacilik ve Eliçin (2006)

Yapılan denemeler sonucunda elde edilen veriler, literatürde bulunan dokuz farklı ayrılabilir nem içeriği modellerinden elde edilen verilerle karşılaştırılmış, belirtme katsayısı (R^2), kalanların kareleri toplamı (RSS) ve tahminin standart hatası (SEE) değerlerine göre değerlendirilmiş ve en uygun model bulunmuştur. Değerlendirmede, kalanların kareleri toplamı (RSS) en küçük, tahminin standart hatası (SEE) en küçük ve belirtme katsayısı değeri (R^2) 1,000'a en yakın model en uygun model olarak nitelendirilir. Belirtme katsayısı değeri 0,00 değerine yaklaştıkça modelin verileri temsil etme yeteneği de kötüleşir. Belirtme katsayısı değerinin %95 gibi yüksek bir değerde olması arzu edilir.

Ayrılabilir nem oranı (ANO) belirli bir t anında materyalde bulunan alınabilir nem miktarını gösterir. Boyutsuz bir terim olan ve aşağıdaki eşitlikle ifade edilen ayrılabilir nem oranı (ANO) genel kurutma denklemlerinin sol tarafında yer alan oransal bir ifadedir (Yağcıoğlu, 1999).

$$ANO = \frac{M_1 - M_e}{M_0 - M_e} \quad [2]$$

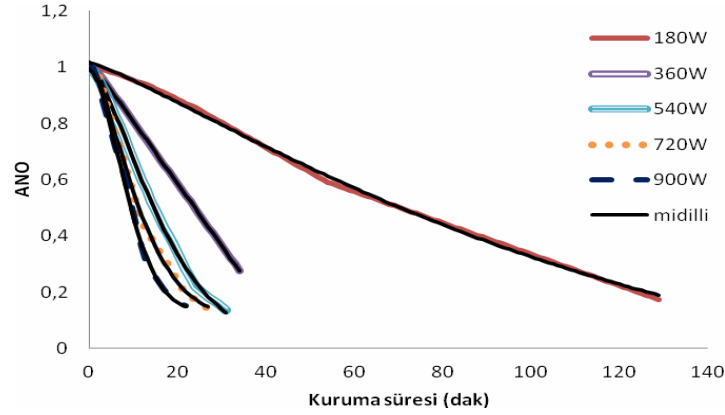
Burada M (kg su/kg kuru madde) herhangi bir andaki su miktarını belirtir. Mo, (kg su/kg kuru madde) kurutmaya

başlamadan önceki ürünün içerdiği su miktarıdır. Me, kurutma koşullarındaki havanın içerdiği su miktarıdır. Bunu ya bir higrometre ile ya da kurutma dolabındaki yaş ve kuru termometre sıcaklıkları yardımıyla psikometri diyagramından bulunur. Genelde diğer nem miktarlarına göre küçük olduğundan dolayı birçok çalışmada ihmal edilmiştir (Doymaz, 2005).

Elde edilen verilerin değerlendirilmesinde istatistiksel yöntemler kullanılmıştır. Kuruma sabitlerinin hesaplanmasında doğrusal olmayan regresyon analizi yapan SIGMAPLOT-12 ve EXCEL gibi bilgisayar programları kullanılmıştır.

Tartışma ve Sonuç

Yapılan bu çalışma da ananasın mikrodalga enerjisiyle kurutulmasında uygulanan farklı mikrodalga güçlerinin kurumaya etkisi incelenmiştir. 5 farklı mikrodalga gücüyle ananas meyvesinin kurutulması konusunda çalışılmış ve bu güçler birbiri ile karşılaştırılmıştır. Mikrodalga ile gerçekleştirilen kuruma işlemi, 180 W, 360W, 540W, 720 W ve 900 W mikrodalga güçlerinde sırasıyla 129, 34, 31, 27 ve 22 dakika sürmüştür. Mikrodalga gücünün artırılmasıyla kuruma süreleri kısalmıştır (Şekil 1).

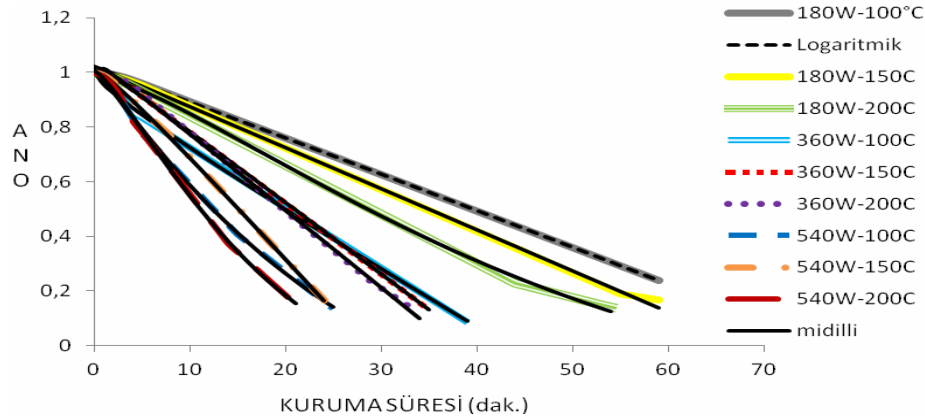


Şekil 1. Zamana bağlı ayrılabilir nem oranı ananasın çeşitli mikrodalga güçleri ile kurutulması sırasında elde edilen deneysel verilerle Midilli-Küçük eşitliğine ilişkin tahmini verilerin karşılaştırılması

Figure 1. Moisture ratio versus time, comparing experimental curve with the predicted one through Midilli-Kucuk's Equation for pineapple under various microwave powers

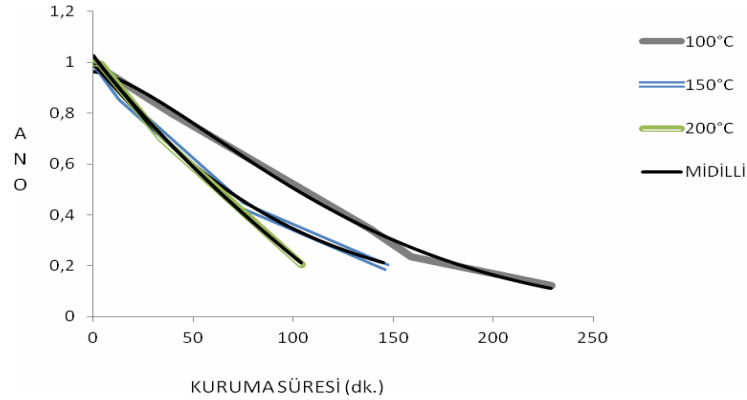
Yapılan denemeler sonucunda ürünün zamana bağlı olarak nem içeriğinde meydana gelen değişim incelenmiştir. Ürünün belli bir t anında sahip olduğu nem içeriğinin (M) ürünün ilk nem içeriğine (Mo) oranı olarak sadeleştirilen ayrılabilir nem oranı (ANO) 9 farklı model ile belirlenmeye çalışılmıştır. Mikrodalga-sıcak hava kombinasyonu ile gerçekleştirilen kuruma işlemi, 180W-100°C, 180W-150°C,

180W-200°C, 360W-100°C, 360W-150°C, 360W-200°C, 540W-100°C, 540W-150°C, 540W-200°C mikrodalga güç-sıcaklık kombinasyonlarının da sırasıyla 65, 59, 54, 39, 35, 34, 25, 24 ve 21 dakika sürmüştür (Şekil 2). Yalnızca sıcak havayla yapılan kurutma işlemi, 100°C, 150°C ve 200°C sıcaklıklarında sırasıyla 229, 145 ve 104 dakika sürmüştür (Şekil 3).



Şekil 2. Zamana bağlı ayrılabilir nem oranı ananasın çeşitli mikrodalga güç-sıcak hava kombinasyonu ile kurutulması sırasında elde edilen deneysel verilerle Midilli-Küçük eşitliğine ilişkin tahmini verilerin karşılaştırılması

Figure 2. Moisture ratio versus time, comparing experimental curve with the predicted one through Midilli-Kucuk's Equation for pineapple under various combined microwave power- hot air temperatures.



Şekil 3. Zamana bağlı ayrılabilir nem oranı ananasın çeşitli sıcaklıklarla ile kurutulması sırasında elde edilen deneysel verilerle Midilli-Küçük eşitliğine ilişkin tahmini verilerin karşılaştırılması

Figure 3. Moisture ratio versus time, comparing experimental curve with the predicted one through Midilli-Kucuk's Equation for pineapple under various temperatures.

Ananas meyvesinde kuruma olayı azalan hızda kuruma evresinde meydana gelmektedir. Bu uygulamayı açıklamak için kullanılan 9 modele ait istatistiksel veriler incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre belirtme katsayısı (R^2) en yüksek bulunan Midilli-Küçük modelinde nem içeriğinin zamana göre değişimi, $MR=a.exp(-ktm)+b.t$ eşitliği ile saptanmıştır. Sadece 180W–100°C Logaritmik modelinde belirtme

katsayısı (R^2) en yüksek değere sahiptir ve $MR=a.exp(-kt)+c$ eşitliği ile hesaplanmıştır.

Modeller, model katsayıları ve hesaplanan değerlerle deneysel veriler arasındaki belirtme katsayıları incelendiğinde en yüksek belirtme katsayısı Midilli-Küçük modelinde sağlanmış olup, sırasıyla 0,9973 -1,0000 düzeyindedir. Bu nedenle Midilli- Küçük model eşitliği ile deneysel verilere en yakın sonuçların elde edilmesi mümkündür. (Çizelge 2,3,4,5,6).

Çizelge 2. Farklı mikrodalga güçleri için çeşitli kurutma modellerinin non lineer analiz sonuçları.

Table 2. Non-linear regression analysis results obtained from various drying models for the different microwave powers.

Mikrodalga Gücü Microwave power	İstatistik Statistics	No								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
180W	R^2	0,9658	0,9981	0,9854	0,9980	0,9955	0,9658	0,9854	0,9658	0,9986
	SEE(±)	0,0463	0,0110	0,0303	0,0112	0,0168	0,0467	0,0306	0,0467	0,0095
	RSS	0,2766	0,0156	0,1177	0,0160	0,0362	0,2766	0,1177	0,2766	0,0113
360W	R^2	0,9530	0,9980	0,9745	0,9997	0,9989	0,9530	0,9745	0,9530	1,0000
	SEE(±)	0,0486	0,0103	0,0363	0,0041	0,0076	0,0501	0,0375	0,0501	0,0013
	RSS	0,0802	0,0035	0,0436	0,0005	0,0019	0,0802	0,0436	0,0802	0,0005
540W	R^2	0,9537	0,9994	0,9756	0,9950	0,9918	0,9537	0,9756	0,9537	0,9995
	SEE(±)	0,0620	0,0070	0,0458	0,0211	0,0266	0,0641	0,0474	0,0641	0,0071
	RSS	0,1193	0,0015	0,0628	0,0129	0,0212	0,1193	0,0628	0,1193	0,0014
720W	R^2	0,9683	0,9961	0,9876	0,9927	0,9875	0,9683	0,9876	0,9683	0,9988
	SEE(±)	0,0518	0,0184	0,0329	0,0258	0,0331	0,0538	0,0343	0,0538	0,0108
	RSS	0,0724	0,0088	0,0282	0,0167	0,0285	0,0724	0,0282	0,0724	0,0028
900W	R^2	0,9556	0,9949	0,9771	0,9867	0,9819	0,9556	0,9771	0,9556	0,9985
	SEE(±)	0,0633	0,0220	0,0465	0,0363	0,0414	0,0664	0,0489	0,0664	0,0126
	RSS	0,0881	0,0102	0,0453	0,0263	0,0360	0,0881	0,0453	0,0881	0,0030

SEE, tahminin standart hatası; R^2 , belirtme katsayısı değerleri; RSS, kalanların kareleri toplamı.

SEE: Standard error of estimate; R^2 : Coefficient of determination; RSS: residual sum of square

Çizelge 3. 180W mikrodalga gücü ve farklı sıcaklıklar için çeşitli kurutma modellerinin non lineer analiz sonuçları.

Table 3. Non-linear regression analysis results obtained from various drying models for the 180W microwave power and different temperatures.

No	180W-100°C			180W-150°C			180- 200°C		
	R ²	SEE(±)	RSS	R ²	SEE(±)	RSS	R ²	SEE(±)	RSS
1	0,9378	0,0638	0,2643	0,9375	0,0654	0,2525	0,9445	0,0645	0,2244
2	0,9954	0,0175	0,0195	0,9961	0,0165	0,0158	0,9972	0,0147	0,0115
3	0,9638	0,0490	0,1537	0,9634	0,0505	0,1480	0,9672	0,0500	0,1327
4	0,9998	0,0034	0,0007	0,9993	0,0071	0,0029	0,9977	0,0133	0,0092
5	0,9955	0,0168	0,0362	0,9983	0,0109	0,0069	0,9964	0,0167	0,0147
6	0,9378	0,0648	0,2643	0,9375	0,0666	0,2525	0,9445	0,0657	0,2244
7	0,9638	0,0498	0,1537	0,9634	0,0514	0,1480	0,9672	0,0510	0,1327
8	0,9378	0,0648	0,2643	0,9375	0,0666	0,2525	0,9445	0,0657	0,2244
9	0,9994	0,0066	0,0027	0,9994	0,0065	0,0024	0,9991	0,0085	0,0036

SEE, tahminin standart hatası; R², belirtme katsayısı değerleri; RSS, kalanların kareleri toplamı.

SEE: Standard error of estimate; R²: Coefficient of determination; RSS: residual sum of square

Çizelge 4. 360W mikrodalga gücü ve farklı sıcaklıklar için çeşitli kurutma modellerinin non lineer analiz sonuçları.

Table 4. Non-linear regression analysis results obtained from various drying models for the 360W microwave power and different temperatures.

No	360W- 100°C			360W-150°C			360W- 200°C		
	R ²	SEE(±)	RSS	R ²	SEE(±)	RSS	R ²	SEE(±)	RSS
1	0,9591	0,0536	0,1120	0,9255	0,0741	0,1920	0,9165	0,0818	0,2276
2	0,9844	0,0335	0,0426	0,9954	0,9954	0,0118	0,9972	0,0151	0,0075
3	0,9658	0,0496	0,0935	0,9563	0,0576	0,1126	0,9516	0,0632	0,1320
4	0,9987	0,0098	0,0036	0,9995	0,0065	0,0014	0,9982	0,0125	0,0050
5	0,9976	0,0133	0,0067	0,9980	0,0124	0,0053	0,9956	0,0191	0,0120
6	0,9591	0,0550	0,1120	0,9255	0,0763	0,1920	0,9165	0,0843	0,2276
7	0,9658	0,0510	0,0935	0,9563	0,0593	0,1126	0,9516	0,0652	0,1320
8	0,9591	0,0550	0,1120	0,9255	0,0763	0,1920	0,9165	0,0843	0,2276
9	0,9994	0,0066	0,0016	0,9999	0,0022	0,0002	0,9991	0,0091	0,0026

SEE, tahminin standart hatası; R², belirtme katsayısı değerleri; RSS, kalanların kareleri toplamı.

SEE: Standard error of estimate; R²: Coefficient of determination; RSS: residual sum of square

Çizelge 5. 540W mikrodalga gücü ve farklı sıcaklıklar için çeşitli kurutma modellerinin non lineer analiz sonuçları.

Table 5. Non-linear regression analysis results obtained from various drying models for the 540W microwave power and different temperatures.

No	540W-100°C			540W-150°C			540W-200°C		
	R ²	SEE(±)	RSS	R ²	SEE(±)	RSS	R ²	SEE(±)	RSS
1	0,9729	0,0446	0,0496	0,9263	0,0716	0,1232	0,9588	0,0561	0,0660
2	0,9974	0,0140	0,0047	0,9957	0,0176	0,0071	0,9987	0,0103	0,0021
3	0,9852	0,0336	0,0271	0,9538	0,0579	0,0772	0,9388	0,0756	0,1143
4	0,9990	0,0089	0,0018	0,9995	0,0063	0,0009	0,9982	0,0125	0,0029
5	0,9981	0,0120	0,0035	0,9987	0,0097	0,0022	0,9962	0,0175	0,0061
6	0,9729	0,0465	0,0496	0,9263	0,0748	0,1232	0,9588	0,0589	0,0660
7	0,9852	0,0351	0,0271	0,9538	0,0606	0,0772	0,9776	0,0447	0,0359
8	0,9729	0,0465	0,0496	0,9263	0,0748	0,1232	0,9588	0,0589	0,0660
9	0,9992	0,0083	0,0015	1,0000	0,0018	0,0005	0,9994	0,0072	0,0009

SEE, tahminin standart hatası; R², belirtme katsayısı değerleri; RSS, kalanların kareleri toplamı.

SEE: Standard error of estimate; R²: Coefficient of determination; RSS: residual sum of square

Çizelge 6. Farklı sıcaklıklar için çeşitli kurutma modellerinin non lineer analiz sonuçları; SEE, tahminin standart hatası.

Table 6. Non-linear regression analysis results obtained from various drying models for the different temperatures.

No	100°C			150°C			200°C		
	R ²	SEE(±)	RSS	R ²	SEE(±)	RSS	R ²	SEE(±)	RSS
1	0,9655	0,0505	0,5841	0,9978	0,0107	0,0167	0,9714	0,0399	0,1654
2	0,9960	0,0172	0,0678	0,9987	0,0083	0,0100	0,9966	0,0138	0,0196
3	0,9783	0,0402	0,3683	0,9983	0,0094	0,0128	0,9858	0,0282	0,0821
4	0,9946	0,0200	0,0910	0,9986	0,0087	0,0109	0,9992	0,0067	0,0046
5	0,9949	0,0194	0,0860	0,9984	0,0092	0,0121	0,9984	0,0094	0,0091
6	0,9655	0,0507	0,5841	0,9978	0,0108	0,0167	0,9714	0,0403	0,1654
7	0,9783	0,0404	0,3683	0,9983	0,0095	0,0128	0,9858	0,0285	0,0821
8	0,9655	0,0507	0,5841	0,9978	0,0108	0,0167	0,9714	0,0403	0,1654
9	0,9973	0,0142	0,0456	0,9987	0,0083	0,0097	0,9993	0,0065	0,0043

SEE, tahminin standart hatası; R², belirtme katsayısı değerleri; RSS, kalanların kareleri toplamı.

SEE: Standard error of estimate; R²: Coefficient of determination; RSS: residual sum of square

Kaynaklar

- Agrawal, YC., Singh, RP. 1977. Thin layer drying studies on short grain rough rice. ASAE Paper No 3531. St. Joseph MI: ASAE.
- Akpınar, EK., Biçer, Y., Çetinkaya, F. 2006. Modeling of thin layer drying of parsley leaves in a convective dryer and under open sun. Journal of Food Engineering, 2006, 75: 308-315.
- Alibaş İ. 2012. Asma yaprağının (Vitis vinifera L.) mikrodalga enerjisiyle kurutulması ve bazı kalite parametrelerinin belirlenmesi. Tarım Bilimleri Dergisi, 2012, 18: 43-53.
- Ayensu, A. 1997. Dehydration of food crops using a solar dryer with convective heat flow. Solar Energy, 1997, 59 (4-6): 121-126.
- Doymaz, İ. 2005. Drying characteristics and kinetics of okra. Journal of Food Engineering, 69: 275-279.
- Eren, Ö., Soysal, Y., Öztekin, S., Doğantan, ZS., 2005. Mikrodalga sistemi ile donatılmış bir bantlı kurutucuda maydanoz kurutulması. III. Tarımsal Ürünleri Kurutma Çalıştayı, Akdeniz Üniversitesi Ziraat fakültesi Tarım Makineleri Bölümü, 2-4 Mayıs, 2005, Antalya, 13-25.
- Ertekin, C., & Yaldiz, O. (2004). Drying of eggplant and selection of a suitable thin layer drying model. Journal of Food Engineering, 63, 349-359.
- Henderson, SM. 1974. Progress in developing the thin-layer drying equation. Transactions of the ASAE, 1974, 17: 1167-1172.
- Karaaslan, S., Tunçer, İK. 2008. Development of a drying model for combined microwave-fan assisted convection drying of spinach. Biosystems Engineering, 2008, 100: 44-52.
- Karaaslan, S., Tunçer, İK. 2009. Kırmızıbiberin fan destekli mikrodalga ile kurutulmasında kuruma karakteristilerinin incelenmesi ve uygun kuruma modelinin belirlenmesi. KSU Doğa Bil. Dergisi, 2009, 12 (2): 9-16.
- Maskan M. 2001. Drying, shrinkage and rehydration characteristics of kiwifruits during hot air and microwave drying. Journal of Food Engineering, 2001, 48: 177-182.
- Sacılık, K., Eliçin, AK. 2006. The thin layer drying characteristics of organic apple slices. Journal of Food Engineering, 2006, 73, 281-289.
- Sharma, GP., and Prasad, S., 2001. Drying of garlic (Allium sativum) cloves by microwave-hot air combination. Journal of Food Engineering, 2001, 50: 99-105.
- Sharaf-Elden, YI., Blaisdell, JL., Hamdy, MY. 1980. A model for ear corn

- drying. Transactions of the ASAE, 1980, 5: 1261-1265.
- Soysal Y, Ayhan Z, Eştürk O. 2009. Mikrodalga ile meyve ve sebze kurutmada enerji kullanım verimliliği ve ürün kalitesinin arttırılmasında ileri kurutma tekniklerinin uygulanması üzerine araştırmalar. Tübitak-Tovag Proje No: 105 O 547 .
- Soysal, Y. 2004. Microwave drying Characteristics of parsley. Biosystems Engineering, 2004, 89: 167-173.
- Soysal, Y., Öztekin, S., Eren, Ö., 2006. Microwave drying of parsley: Modelling, kinetics, and energy aspects. Biosystems Engineering, 2006, 93 (4): 403-413.
- Sumnu G, Turabi E, Öztop M. 2005. Drying of carrots in microwave and halogen lamp-microwave combination ovens. LWT. 38: 549-553.
- Toğrul, İT., Pehlivan, D. 2003. Modeling of drying kinetics of single apricot. Journal of Food Engineering, 2003, 58: 23-32.
- Torrington, E., Esveld, E., Scheewe, I., Van der Berg, R., and Bartels, P. 2001. Osmotic dehydration as a pre-treatment before combined microwave-hot air drying of mushrooms. Journal of Food Engineering, 2001, 49: 185-191.
- Venkatachalapathy K, and Raghavan GSV. 1999. Combined osmotic and microwave drying of strawberries. Drying Technology, 17(4&5), 837-853.
- Verma, LR., Bucklin, RA., Endan, JB., Wratten, FT. 1985. Effects of drying air parameters on rice drying models. Transactions of the ASAE, 1985, 28: 296-301.
- Wang, CY., Singh, RP. 1978. A single layer drying equation for rough rice. ASAE Paper No:78-3001,ASAE, 1978, St.Joseph,MI.
- Yağcıoğlu, A. 1999. Tarım ürünleri kurutma tekniği. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Ofset Atölyesi, 1999, Yayın No: 536, İzmir.
- Yaldız, O., Ertekin, C., Uzun, HI. 2001. Mathematical modelling of thin layer solar drying of Sultana grapes. Energy, 2001, 26: 457-465.