

Atıf İçin: Uysal M B, Özkal S G, 2022. Limon Kabuklarının Sıcak Hava, Mikrodalga ve Sıcak Hava-Mikrodalga Kombinasyonu ile Kurutulması. İğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 12(4): 2223 - 2236.

To Cite: Uysal M B, Özkal S G, 2022. Drying of Lemon Peels with Hot Air, Microwave and Hot Air-Microwave Combination. Journal of the Institute of Science and Technology, 12(4): 2223 - 2236.

Limon Kabuklarının Sıcak Hava, Mikrodalga ve Sıcak Hava-Mikrodalga Kombinasyonu ile Kurutulması

Mahmut Burak UYSAL¹, Sami Gökhan ÖZKAL^{1*}

ÖZET: Bu çalışmada, limon kabuğu örneklerinin mikrodalga, sıcak hava ve mikrodalga ile sıcak havanın kombinasyonlarıyla gerçekleştirilen kurutma işlemlerinin kuruma performansları araştırılmıştır. Çalışmada üç farklı sıcaklık değeri (40, 50 ve 60°C) ve üç farklı mikrodalga gücü (90, 180 ve 360 W) kullanılmıştır. Kurutma koşullarının kuruma hızı ile kuruma süresine etkileri tespit edilmiştir. Limon kabuklarının kuruma kinetiğini en iyi ifade eden modellerin Page ve Modifiye Page modelleri olduğu belirlenmiştir. Sıcaklık ve mikrodalga gücünün artışıyla birlikte örneklerin kuruma hızı artarken, kuruma süreleri azalmıştır. 60°C sıcak hava ile 360 W mikrodalga kombinasyonu ile yapılan kurutma işleminin en yüksek kuruma hızına sahip olduğu görülmüştür. Bu koşul 24 dakika ile en kısa kuruma süresine sahip kurutma işlemi olmuştur. Kurutma işlemlerinin limon kabuklarının rengine olan etkisi L*, a*, b*, Hue açısı, Kroma ve ΔE* değerleri belirlenerek taze ve kuru örnekler arasındaki renk farklılıkları incelenmiştir. Yüksek mikrodalga gücünün örneklerin rengine kararmalara neden olmasından dolayı limon kabuklarının kurutulmasında 90 ve 180 W kullanılması daha uygun olduğu sonucuna varılmıştır. Yapılan tüm kurutma işlemlerinin sonucunda taze örnekler göre kuru örneklerde toplam fenolik madde miktarının arttığı, antioksidan aktivitenin ise azaldığı saptanmıştır. Kuruma süresi en uzun olan 40°C sıcak havada yapılan kurutmada antioksidan aktivitedeki azalma %85.54 ile en fazladır. 60°C sıcak hava ile 360 W mikrodalga kombinasyonu ile yapılan kurutma işlemi, toplam fenolik maddenin %186.11 ile en fazla artış olduğu kurutma koşul olarak saptanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Limon kabuğu, kurutma, mikrodalga, sıcak hava, kinetik modelleme

Drying of Lemon Peels with Hot Air, Microwave and Hot Air-Microwave Combination

ABSTRACT: In this study, the drying performance of lemon peel samples was investigated by drying processes with microwave, hot air and their combinations. Three different temperatures (40, 50 and 60°C) and three different microwave powers (90, 180 and 360 W) were used. Effects of drying conditions on drying rate and drying time were determined. Page and Modified Page models were found to be the best expressing models of the drying kinetics of lemon peels. With the increase in temperature and microwave power, the drying rate increased, while the drying time decreased. It was observed that the drying process performed with the combination of 60°C hot air and 360 W microwave had the highest drying rate with the shortest drying time of 24 minutes. The effect of drying processes on the color of lemon peels was determined by determining the L*, a*, b*, Hue angle, Chroma and ΔE* values and the color differences between fresh and dry samples. Due to the darkening of the samples under high microwave power, it was concluded that the use of 90 and 180 W is more suitable than 360 W. Total amount of phenolic substances increased in the dried samples compared to the fresh samples, while the antioxidant activity decreased. At 40°C, which has the longest drying time, the decrease in antioxidant activity was the highest with 85.54%. The drying process performed with the combination of 60°C and 360 W was the drying condition in which the total phenolic content increased the most with 186.11%.

Keywords: Lemon peel, drying, microwave, hot air, kinetic modeling

¹ Mahmut Burak UYSAL (Orcid ID: 0000-0001-9078-9540), Sami Gökhan ÖZKAL (Orcid ID: 0000-0001-5040-9814), Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Denizli, Türkiye

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Sami Gökhan ÖZKAL, e-mail: sgozkal@pau.edu.tr

Bu çalışma Mahmut Burak UYSAL'ın Yüksek Lisans tezinden üretilmiştir.

GİRİŞ

Limon, portakal ve mandalina başta olmak üzere turunçgiller Türkiye’de yaygın olarak yetiştirilmektedir (Cesur, 2014). Türkiye’de yetiştirilen turunçgillerin % 48’i portakal, % 24’ü mandalina, % 21’i limon, % 5’i greyfurt ve kalan kısım ise diğer turunçgillerin çeşitleridir (Saraçoğlu, 2017).

Turunçgiller C vitamini, pektin, kalsiyum, diyet lifi, fenolik bileşikler gibi bileşikler içerirler. Bu bileşikler sağlık açısından olumlu etkilere sahiptir (Cesur, 2014). Turunçgillerin yenilen kısmının dışında, atık kısım olarak düşünülen meyvenin çekirdeği ve kabuğu halk arasında çeşitli hastalıkların tedavisinde (diyabet, yüksek tansiyon gibi) kullanılmaktadır. Ayrıca turunçgillerin kabuklarının toplam fenolik madde, mineral madde ve vitamin içeriği bakımından meyvenin kendisinden ve suyundan daha zengin olduğu belirlenmiştir (Güzel ve ark., 2017). Limon kabuklarının da toplam fenolik madde miktarının meyvenin kendisinde bulunandan oldukça fazla olduğu saptanmıştır (Gorinstein ve ark., 2001)

Gıdaların muhafazası için kurutmanın kullanımı çok yaygındır. Geleneksel kurutma yöntemlerinin yanı sıra teknolojinin de gelişmesiyle birlikte birçok yeni kurutma yöntemi bulunmuş olup, bunlardan önemli bir yere sahip olan mikrodalga kurutmadır. Maskan (2000) tarafından yapılmış bir çalışmada muz dilimlerinin 60°C sıcaklığa ve 1.45 m/s hava hızına sahip tepsili kurutucu ile mikrodalga fırının (350, 490 ve 700 W) ayrı ayrı ve kombinasyonları kullanılarak kurutulduğu görülmüştür. En uzun süren kurutma yönteminin tepsili kurutucu olduğu belirlenmiş ve kombinasyon kullanımı kuruma süresini azalttığı görülmüştür. Horuz ve ark., (2017a) yaptıkları çalışmada 3 farklı sıcaklık (50, 60 ve 70°C) ve birlikte hibrit olarak adlandırılan hava sıcaklığına ilave olarak 3 farklı mikrodalga gücü (120, 150 ve 180 W) kullanılarak vişne örnekleri kurutulmuştur. Alibaş (2007)’nin yapmış olduğu çalışmada kabak dilimlerini 1 m/s hava hızına sahip fırında 50, 75°C’de ve 160, 350 W mikrodalga gücünde ve son olarak da bu 2 sistemin kombinasyonu şeklinde 3 farklı yöntemle kurutmuştur. İzli (2016) yaptığı çalışmada kayısının konvektif, mikrodalga ve bunların kombinasyonu ile kurutulmasını incelemiştir. Konvektif olarak 50 ve 75°C, mikrodalga gücü olarak da 90 ve 160 W kullanmıştır. Horuz (2018) elma, kayısı, vişne, domates, kırmızıbiber ve nane üzerine yaptığı çalışmada 3 farklı sıcaklığı (50, 60 ve 70°C) tek başına ve 120, 150 ve 180 W mikrodalga güçleriyle kombinleyerek bu yöntemlerin karşılaştırmasını yapmıştır. Örneklerin tamamında kuruma süreleri kombinasyonların kullanımında konvektif sisteme göre azalmıştır. Alibaş (2006) tarafından yapılan çalışmada 50, 75 ve 100°C sıcaklıklarda konvektif ve 350, 500 ve 650 W güçlerde mikrodalga ve konvektif-mikrodalga olmak üzere 3 farklı yöntemle pazı yaprağı kurutması gerçekleştirilmiştir.

Literatürde mikrodalğanın sıcak hava ile kurutma ve diğer kurutma yöntemlerinde ön işlem olarak ya da kombinasyon şeklinde kullanılmasına yönelik çalışmaların olduğu görülmekte olup bu durum mikrodalğanın kurutma teknolojisindeki öneminin gitgide artmakta olduğunu göstermektedir. Fakat limon kabukları için bu alanda yeterli çalışmanın yapılmadığı görülmüştür. Kurutulmuş limon kabukları bazı bitkisel çay ve fabrikasyon gıda ürünlerinin üretiminde girdi olarak kullanılmaktadırlar. Kurutulan gıda ürünlerinin tümünde olduğu gibi limon kabukları için de en hızlı ve kalite kaybının en az düzeyde olduğu kurutma yönteminin belirlenmesi önem arz etmektedir. Mikrodalga ve sıcak hava kombinasyonu ile kurutmanın bu bakımdan faydaları olabildiğinden dolayı, bu çalışmada mikrodalğanın sıcak hava ile kombinasyonu ile farklı koşullarda limon kabukları kurutulurken, limon kabuklarının kuruma kinetiği ve bazı kalite özelliklerine mikrodalga ve sıcak hava kombinasyonu ile kurutmanın etkileri araştırılmıştır.

MATERYAL ve METOT

Materyal

Bu çalışmada materyal olarak kullanılan Enterdonat cinsi limon (Citrus limon) örnekleri Denizli ilinden temin edilmiştir. Örnekler kurutma analizlerinde kullanılabilecek kadar parafilm ile sarılı halde $4\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ sıcaklığındaki buzdolabında muhafaza edilmiştir. Öncelikle örneklerin kabuklarının başlangıç nem içeriği değerlerinin bulunması için 6 ± 0.3 g kabuk 105°C sıcaklıkta etüv kullanılarak ağırlıkları sabit tartıma gelene kadar kurutulmuştur.

Örnekleme Yöntemi ve Analizler

Kurutma öncesinde temin edilen limonların kabuklarından 1 cm x 1 cm boyutlarında kare şeklinde kesilerek 4 mm kalınlığında örnekler hazırlanmıştır. Kurutma işlemlerinde her bir paralel için bu örneklerden 16 tanesi tepsilere dizilerek kullanılmış olup, kurutma öncesinde her bir tepsideki toplam ürün miktarı 3.8 ± 0.5 g olarak ölçülmüştür. Kurutma deneyleri mikrodalga özellikli ve 1.0 m s^{-1} hava hızına sahip fırın (Siemens HN678G4S1 Ankastre Fırın, Almanya) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kurutma işlemleri $40, 50, 60^{\circ}\text{C}$ sıcak hava ve $90, 180, 360 \text{ W}$ mikrodalga güçlerinin ayrı ayrı ve kombinasyonlar şeklinde kullanılmasıyla yapılmıştır. Kurutma işlemleri sırasında örnekler fırından çıkartılarak çok kısa bir sürede tartılıp tekrar fırına yerleştirilmiştir. Tartımlar ilk 30 dakika içerisinde 5 dakikada bir, ilk 30 dakikadan sonra ise her 15 dakikada bir olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Renk, antioksidan aktivite ve toplam fenolik madde analizleri taze ve kuru örneklerde gerçekleştirilmiştir. Kuru örnek olarak kurutma işlemleri sonrası nem içeriği %15'e düşürülen limon kabukları kullanılmıştır. %15 nem içeriğine sahip kuru örnekler analizler yapılabilecek kadar -18°C 'de muhafaza edilmiştir.

Taze ve kurutulmuş örneklerinin L^*, a^*, b^* değerleri renk ölçüm cihazı (PCE-CSM 2, Almanya) kullanılarak tespit edilmiştir. Örneklerin Hue açısı, Kroma ve toplam renk sapması (ΔE^*) değerleri taze limon kabuğuna ait renk değerleri (L_0^*, a_0^*, b_0^*) referans kabul edilerek Eşitlik 1, 2 ve 3 kullanılarak hesaplanmıştır (Seerangurayar ve ark., 2019).

$$\text{Hue açısı} = \tan^{-1}(b^*/a^*) \quad (1)$$

$$\text{Kroma} = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2} \quad (2)$$

$$\Delta E^* = \sqrt{[(L_0^* - L^*)^2 + (a_0^* - a^*)^2 + (b_0^* - b^*)^2]} \quad (3)$$

Toplam fenolik madde tayini Folin-Ciocalteu (FC) metoduna göre gerçekleştirilmiştir (Singleton ve ark., 1999). Antioksidan aktivite tayini 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) metodu uygulanarak gerçekleştirilmiştir (Thaipong ve ark., 2006).

Hesaplamalar

Kurutma işlemi sırasında limon kabuklarının nem içeriği değerleri Eşitlik 4. kullanılarak belirlenmiştir;

$$M_t = (m - KM)/KM \quad (4)$$

Burada, M_t herhangi bir t anındaki nem içeriğini ($\text{g su g kuru madde}^{-1}$) belirtirken, m örnek miktarını (g), KM ise örneğin içerdiği kuru madde miktarını (g) belirtmektedir (Demiray 2015).

Kuruma hızı, kuruma zamanına bağlı olarak nem içeriğinin değişimini gösteren eğrilerinin türevleri alınarak belirlenmiştir, birimi $\text{g su g kuru madde}^{-1} \text{ dakika}^{-1}$ olarak ifade edilmektedir.

$$\text{Kuruma Hızı} = (M_t + dt - M_t)/dt \quad (5)$$

Burada, M_t+dt herhangi bir $t+dt$ anındaki nem içeriği değerini ($\text{g su.g kuru madde}^{-1}$), M_t herhangi bir t anındaki nem içeriğini ($\text{g su g kuru madde}^{-1}$) ve son olarak dt kuruma zamanını ifade etmektedir (Demiray, 2009).

Nem oranı Eşitlik 6'dan hesaplanmıştır.

$$MR = (M_t - M_e) / (M_0 - M_e) \quad (6)$$

Eşitlikte MR nem oranını (birimsiz), M_t herhangi bir t anındaki nem içeriğini (g su/g kuru madde⁻¹), M_e denge anındaki nem içeriğini (g su/g kuru madde⁻¹), M_0 ise başlangıç nem içeriğini (g su/g kuru madde⁻¹) ifade etmektedir (Zambak, 2015).

Gıdaların kurutulması sırasında kütle transferi meydana gelmektedir. Etkin difüzyon katsayısı bu kütle transferinin önemli ölçütlerinden biridir. Etkin difüzyon katsayısı limon kabuğu örnekleri için, Fick'in ikinci yasasından dilim kabulü yapılarak (Eşitlik 7) hesaplanmıştır (Tüfekçi, 2014).

$$MR = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp\left(-\frac{(2n+1)^2 \pi^2 D_{eff} t}{4L^2}\right) \quad (7)$$

D_{eff} etkin difüzyon katsayısını (m² saat⁻¹), L dilim kalınlığını (m) ve t kuruma zamanını (saat) ifade etmektedir (Tüfekçi, 2014).

Uzun kurutma süreleri için Eşitlik 7'nin ilk terimleri kullanılarak basitleştirilip çözüm için logaritmik formda yazıldığında Eşitlik 8 elde edilmektedir (Kocayığıt, 2010).

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

Bu ifadeye göre deneylerden elde edilen MR değerlerinin doğal logaritmasının kuruma süresine karşılık grafiği çizilerek elde edilen doğrunun eğiminden (Eşitlik 9) etkin difüzyon katsayısı hesaplanmıştır.

$$\text{Eğim} = \frac{\pi^2 D_{eff}}{4L^2} \quad (9)$$

L^* , a^* , b^* , Hue açısı, Kroma, toplam fenolik madde miktarı ve antioksidan aktivite değerlerinin yüzde değişimleri Eşitlik 10 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\text{Yüzde Değişim} = [(\text{Son Değer} / \text{İlk Değer}) - 1] \times 100 \quad (10)$$

Kuruma Kinetiğinin Modellenmesi

Limon kabuklarının kurutulmasıyla elde edilen kuruma süresi ile nem oranı arasındaki ilişkinin ifade edilmesi için 5 farklı kurutma modeli denenmiştir. Bu modeller Çizelge 1'de verilmiştir

Çizelge 1. Limon kabuğu örnekleri için kullanılan matematiksel modeller

No	Model Adı	Model	Kaynak
1	Page	$MR = \exp(-kt^n)$	Arslan ve Özcan (2010)
2	Modifiye Page	$MR = \exp(-(kt)^n)$	Wang ve ark. (2007)
3	Lewis	$MR = \exp(-kt)$	Özel (2010)
4	Logaritmik	$MR = a \cdot \exp(-kt) + c$	Mcminn (2006)
5	Henderson ve Pabis	$MR = a \cdot \exp(-kt)$	Zambak (2015)

DeneySEL verilerin model Eşitliklerine uyumun tespit edilmesi için tahmini standart hata (RMSE) ve χ^2 değerleri (Eşitlik 11 ve 12) hesaplanmıştır.

$$RMSE = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (MR_{tahmini,i} - MR_{deneysel,i})^2 \right]^{1/2} \quad (11)$$

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{deneysel,i} - MR_{tahmini,i})^2}{N - n} \quad (12)$$

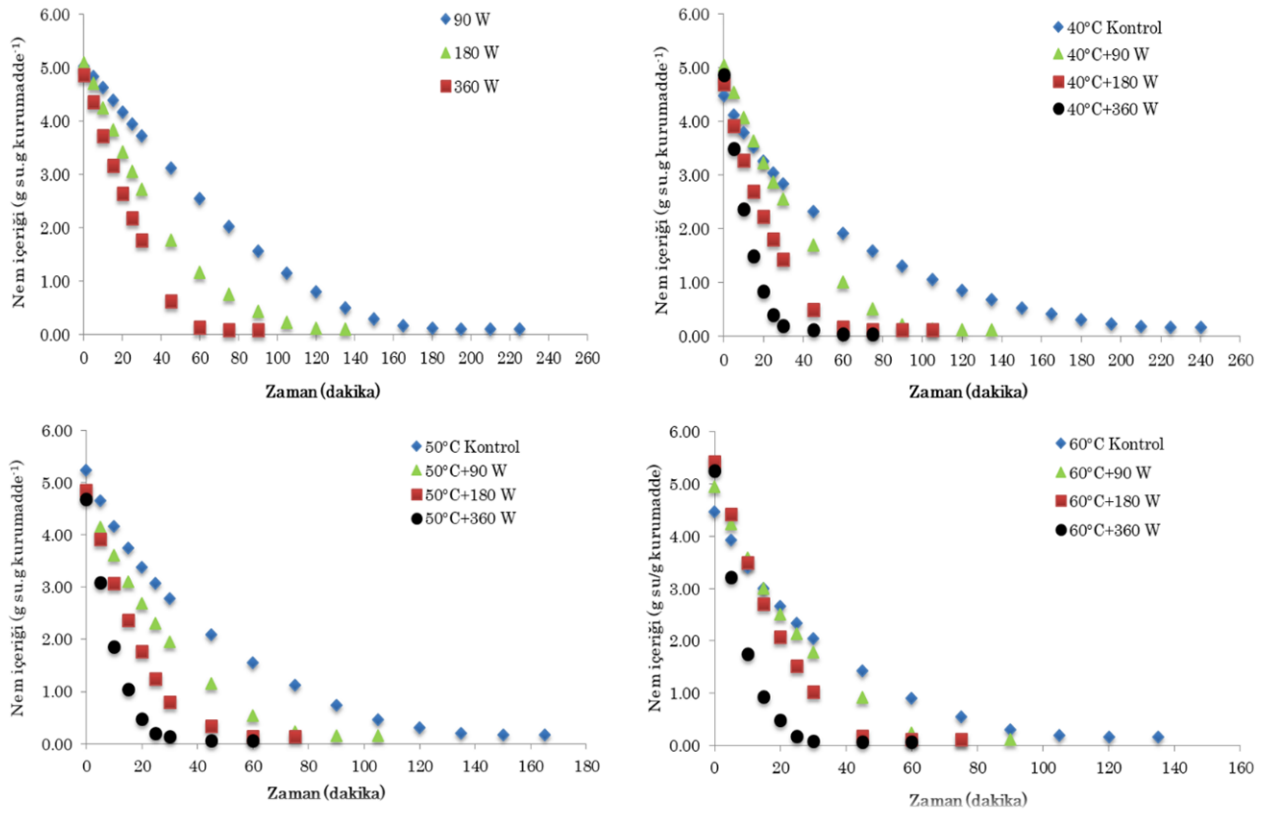
BULGULAR VE TARTIŞMA

Nem İçeriği

Bu çalışmada kullanılan limon kabuğu örneklerinin başlangıç nem içeriği ortalama $M_0 = 4.91$ g su g kuru madde⁻¹ olarak saptanmıştır. Örneklerin kurutma sırasında zamana bağlı olarak nem içeriğindeki değişimler Şekil 1’de gösterilmiştir.

Genel olarak sıcak hava-mikrodalga kombinasyonlarıyla yapılan kurutma işlemlerinde mikrodalga gücünün artırılmasıyla kuruma sürelerinde kısaltmalar meydana gelmiştir. Örneklerin 0.2 g su.g kuru madde⁻¹ nem içeriğine gelme süreleri Şekil 1’den görülebilir. En kısa kurutma süresi 60°C ile 360 W’ın kombine edildiği kurutma işleminde gözlenmiş olup, örneklerin 5.26 g su g kuru madde⁻¹ nem içeriğinden 0.2 g su g kuru madde⁻¹’e gelme süresi 24 dakika olarak hesaplanmıştır. 60°C+360 W kombinasyonu kurutma koşulları içerisinde en yüksek sıcaklık ve mikrodalga gücü değerine sahip olan kombinasyon olup bu kombinasyonda en yüksek kuruma hızının görülmesi bu koşullarda suyun buharlaşma hızının en yüksek değerinde olmasından dolayı olabilir.

Benzer sonuçlar başka çalışmalarda da tespit edilmiştir. Horuz (2018) yaptığı çalışmada elma örneklerini 50, 60, 70°C sıcaklıklar ve 120, 150, 180 W mikrodalga güçleri ile ayrı ayrı ve kombinasyonlar şeklinde kurutmuş ve çalışmanın sonucunda en yüksek kuruma hızı ve en kısa kuruma süresinin 70°C+180 W kombinasyonuna ait olduğunu belirlemiştir. Alibaş (2006) pazı yaprağı üzerine yaptığı çalışmada 50, 75 ve 100°C sıcaklıklar ile 350, 500 ve 650 W mikrodalga güçlerini ayrı ayrı ve kombinasyon şeklinde kullanarak kurutma işlemlerini gerçekleştirmiş ve en yüksek kuruma hızı ve en kısa kuruma süresinin olduğu kurutmanın 100°C+650 W kombinasyonu olduğunu belirtmiştir.



Şekil 1. Kurutulan limon kabuğu örneklerinin nem içeriğinin kuruma zamanı ile değişimi

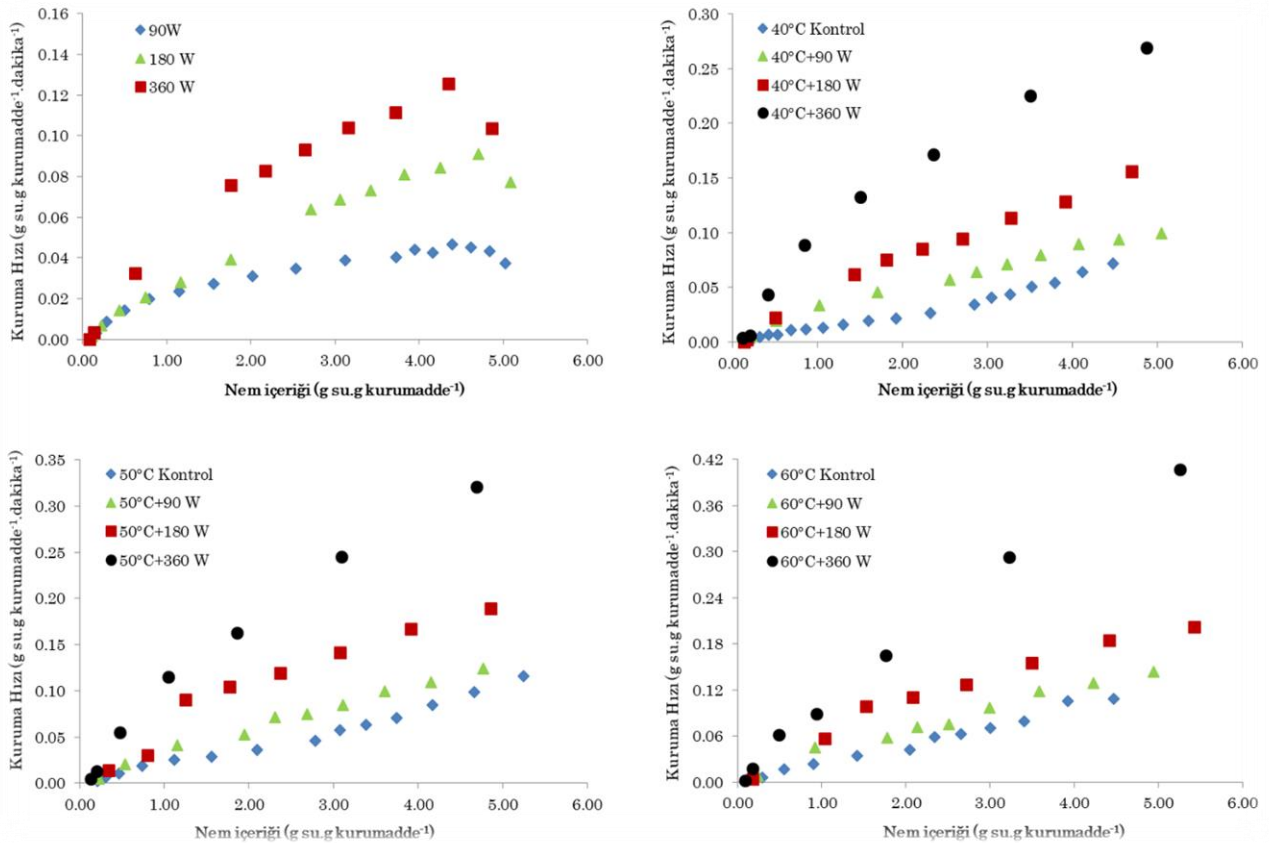
Kurutma Hızı

Mikrodalğanın sıcak havayla birlikte kullanılmasının nem içeriğine etkisini incelemek için farklı sıcaklıklarda sıcak hava ve mikrodalga kombinasyonlarıyla kurutulan limon kabuğu örneklerinin

kuruma hızlarının nem içeriğine bağlı olarak değişimi Şekil 2’de verilmiştir.

Limon kabuğunun 90, 180, 360 W mikrodalga güçleriyle kurutulmasında ilk önce artan hız kuruma periyodu ve ardından azalan hızda kuruma periyodunun gerçekleştiği tespit edilmiştir. Bunun nedeni örneklerin mikrodalga ile kurutulması sırasında ısınmanın içten olması nedeniyle kurumanın da örneklerin iç kısmından başlayarak dış yüzeye doğru gerçekleşmesi olabilir. 40, 50 ve 60°C’de gerçekleştirilen kurutmaların ve sıcak hava-mikrodalga kombinasyonları ile yapılan kurutmaların azalan kurutma hızı periyodunda gerçekleştiği belirlenmiştir. Mikrodalğanın sıcak havaya ilave olarak kullanılmasıyla birlikte mikrodalga gücünün ve sıcaklığın yükseltilmesi sonucu kuruma hızında artış meydana gelmiştir. Kuruma hızları arasındaki bu farklılıklar örneğin nem içeriği düştükçe azalmıştır. Örneklerin kurutulmasında en yüksek kuruma hızına sahip kurutma koşulunun 60°C+360 W kombinasyonu olduğu saptanmıştır.

Horuz ve ark. (2017b) domates dilimlerini 60°C sabit sıcaklıkta 120, 150 ve 180 W mikrodalga gücüne ilave 0 (ultrases uygulaması yapılmamış), 20 ve 40 dakikalık ultrases uygulaması ile kurutmuşlardır. Ultrases uygulaması yapılmayan örneklerde 60°C+180 W kombinasyonunun en yüksek kuruma hızına sahip olduğu belirlenmiştir. Soysal (2004) yaptığı çalışmada 360-900 W arasındaki 7 mikrodalga gücünde gerçekleştirdiği kurutmalarda maydanozun kurutma karakteristiklerini incelemiştir. Çalışmada öncelikle kuruma hızının yükseldiği ardından ise mikrodalga değerlerine bağlı olarak sabit hızda ya da azalan hızda kuruma periyotları şeklinde devam ettiği saptanmıştır.



Şekil 2. Kurutulan limon kabuğu örneklerinin kuruma hızlarının nem içeriği ile değişimi

Renk Değişimi

Farklı kurutma şartlarının limon kabuklarının L*, a*, b* değerlerine etkilerinin belirlenmesi için bu özelliklerde meydana gelen değişimler % olarak hesaplanmış ve elde edilen sonuçlar Çizelge 2’te verilmiştir.

Çizelge 2. Limon kabuğu örnekleri için taze ve kurutulmuş örneklere ait L*, a*, b*, Hue açısı ve Kroma değerleri arasındaki yüzde değişimler ile ΔE^* değerleri

Kurutma Şartları	% Değişim					ΔE^*
	L*	a*	b*	Hue Açısı	Kroma	
90 W	-4.60±1.06 ^a	31.99±8.21 ^{e^f}	-7.27±1.07 ^c	-6.96±1.16 ^g	-4.73±1.17 ^d	7.79±1.10 ⁱ
180 W	-3.65±1.83 ^a	57.11±8.44 ^d	-10.27±1.29 ^d	-12.47±1.32 ^h	-5.09±1.25 ^d	12.13±1.32 ^{ef}
360 W	-14.49±0.57 ^d	289.44±16.39 ^c	-17.57±1.01 ^e	-41.46±1.48 ⁱ	12.52±2.96 ^c	42.65±2.09 ^c
40°C	-6.63±1.69 ^b	1.67±7.46 ^h	-4.85±4.39 ^{ab}	-1.05±1.76 ^a	-4.55±4.05 ^d	6.04±2.09 ^j
50°C	-11.23±1.52 ^c	7.37±4.07 ^{gh}	-4.03±1.29 ^a	-1.91±0.68 ^{ab}	-3.43±1.27 ^d	7.75±1.10 ⁱ
60°C	-11.86±4.33 ^c	9.08±6.83 ^{gh}	-5.04±3.46 ^{ab}	-2.54±1.09 ^{bc}	-4.17±3.69 ^d	8.97±2.01 ^{hi}
40°C+90 W	-11.62±3.91 ^c	15.04±7.61 ^{efgh}	-5.49±0.92 ^{abc}	-3.61±1.29 ^{cd}	-4.27±0.95 ^d	8.74±1.89 ^{hi}
40°C+180 W	-14.78±0.36 ^d	26.45±7.36 ^{efg}	-4.35±0.75 ^a	-5.31±1.13 ^{ef}	-2.45±0.98 ^d	10.68±0.44 ^{fg}
40°C+360 W	-21.79±2.45 ^f	370.16±32.76 ^b	-25.67±1.76 ^g	-55.21±1.12 ^j	27.96±4.01 ^b	62.89±2.09 ^b
50°C+90 W	-14.18±1.09 ^d	18.93±4.81 ^{efgh}	-5.41±2.02 ^{abc}	-4.25±0.84 ^{de}	-3.96±2.01 ^d	10.19±0.51 ^{gh}
50°C+180 W	-15.98±1.25 ^d	27.22±4.30 ^{efg}	-5.29±1.56 ^{abc}	-5.39±0.75 ^{ef}	-3.44±1.43 ^d	11.34±1.00 ^{fg}
50°C+360 W	-24.96±1.23 ^g	447.81±64.28 ^a	-22.98±0.88 ^f	-56.35±1.07 ^j	34.46±2.65 ^a	65.32±2.40 ^a
60°C+90 W	-18.78±1.40 ^e	28.74±6.17 ^{efg}	-6.47±2.26 ^{bc}	-5.61±0.82 ^f	-4.62±2.27 ^d	13.52±1.37 ^{de}
60°C+180 W	-20.76±1.48 ^f	35.15±19.22 ^e	-6.53±1.28 ^{bc}	-5.78±1.86 ^f	-4.73±1.72 ^d	14.75±1.30 ^d
60°C+360 W	-24.59±0.78 ^g	384.56±28.17 ^b	-22.49±0.95 ^f	-55.49±1.23 ^j	34.46±2.67 ^a	64.36±2.15 ^{ab}

Her bir sütun için farklı harfler değerlerin $p < 0.05$ seviyesinde farklı olduğunu ifade etmektedir.

Limon kabuklarının kurutulmasıyla birlikte L* değerinde azalma meydana gelmiştir (“% Değişim” değerinin “-” olarak bulunması azalmayı göstermektedir). Sıcaklığın ve mikrodalga gücünün artmasıyla L* değerindeki bu azalmanın arttığı saptanmıştır.

Limon kabuğu örneklerinin a* değeri kurutmaya birlikte artmıştır. Sıcaklık ve mikrodalga gücü değerlerinin yükseltilmesiyle a* değerindeki artışın yükseldiği tespit edilmiştir. Örneklerin 180 W, 360 W ve bu mikrodalga gücünün sıcak hava ile kombinasyonlarında kurutulmasının a* değerleri üzerindeki etkisi istatistiksel olarak anlamlı olduğu saptanmıştır ($p < 0.05$). Bu kurutmalarda 180 W mikrodalga gücünde örneklerin bazı bölgelerinde kararmalar meydana gelirken, 360 W ve 360 W mikrodalga gücünün sıcak hava ile kombinasyonlarının kullanıldığı kurutmalarda örneklerin renginin tamamen karardığı görülmüştür. Bu renk değişikliklerin kabukta bulunan flavonoidlerin kurutma esnasında zarara uğramasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Diğer koşullarda kurutulan ürünlerin a* değerleri için de benzer değerler elde edilmiştir.

Kabukların b* değerlerinde kurutma işlemi sonrası azalma belirlenmiştir. En çok azalma 360 W ve 360 W ile sıcak hava kombinasyonlarında (% 17.57 – 25.67 aralığında) saptanmıştır. Limon kabuğu için sarılık (b*) değeri renk kriterleri açısından önemlidir. Sarılık değerinin 360 W ve bu mikrodalga gücünün sıcak hava ile kombinasyonlarındaki kurutmalarda önemli derecede düştüğü görülmüştür. Bunun sebebi olarak örneklerde meydana gelen kararmalar olduğu düşünülmektedir. Diğer kurutma koşullarında ise sarılık değeri taze örneklere göre çok az bir düşüş göstermiştir.

Kabukların kurutulması sonucu Kroma ve Hue açısındaki değişimler ile Toplam Renk Değişimi (ΔE^*) değerleri de Çizelge 2’te verilmiştir. Örneklerin ΔE^* değerinde sıcaklık ve mikrodalga gücünün artmasıyla birlikte bir artış meydana gelmiştir. Bu da sıcaklık ve mikrodalga gücünün yükseltilmesinin örneğin orijinal rengindeki değişimin artmasına neden olduğunu göstermektedir. Yüksek kuruma şartlarına maruz kalan örneklerde meydana gelen enzimatik olmayan reaksiyonlar renk kaybına neden olabilmektedir.

Taze örneklerde Hue açısının değeri 75.90-78.76 aralığında bulunmuştur. Kurutma işlemiyle birlikte bu değerlerin azaldığı görülmüştür. Kurutma sonrası Hue açısının değeri 34.10-75.55 aralığında belirlenmiştir. Hue açısı değeri 360 W ile yapılan kurutmada ve bu mikrodalga gücünün kombinasyonlarıyla yapılan kurutmalarda 34.10-46.20 değerlerine kadar düşmüştür. Bu düşüş örneğin renginde meydana gelen kararmalar sonucu Hue açısını ifade eden renk dairesinde rengin sarıdan turuncuya doğru yönelmesiyle açıklanmaktadır. Toplam renk değişimini ifade eden ΔE^* değeri sıcaklık

ve mikrodalga gücünün yükselmesiyle artmıştır. Bu artış 90, 180 W ve 40, 50, 60°C'de ve bunların kombinasyonlarında yapılan kurutmalarda 6.04-14.75 arasında kalırken, 360 W ve bu mikrodalga gücünün sıcak hava ile kombinasyonlarındaki kurutmalarda 42.65-64.36 aralığına kadar artmıştır.

Donukluk-canlılık olarak ifade edilen Kroma değerleri genel olarak kurutmayla birlikte azalmıştır. Kroma değerlerinin azalması donukluğun arttığını göstermektedir. Ancak sıcak hava ile 360 W kombinasyonunda yapılan kurutmalarda kroma değeri yükselmiştir. Bu da bu koşullardaki kurutmalarda örneğin canlılığının arttığını göstermektedir.

Maskan (2000) gerçekleştirdiği çalışmada sıcak hava, mikrodalga ve sıcak hava-mikrodalga kombinasyonlarıyla muz dilimlerini kurutarak örneklerdeki renk değişimlerini L^* , a^* , b^* ve ΔE^* değerlerine göre incelemiştir. Taze örneğin L^* değeri 71.01 iken, kurutmalar sonucu bu değer 40.815-62.08 arasında bulmuştur. Taze örnekte 3.96 olan a^* değerinde kurutmanın etkisiyle birlikte artış tespit edilmiştir. Bu değişimlerin enzimatik olmayan esmerleşmeyle ilişkili olabileceği belirtilmiştir. Örneklere ait b^* değerleri kurutma işlemleri sonucu artmıştır. Böylelikle örneğin sahip olduğu sarılık değeri yükselmiştir. Toplam renk değişimi (ΔE^*) sıcak hava-mikrodalga kombinasyonu ile yapılan kurutmada diğer yöntemlere göre daha az düşüş göstermiştir.

Alibaş (2007)'ın yapmış olduğu çalışmada kabak dilimlerini 1 m/s hava hızına sahip fırında sıcak hava (50 ve 75°C), mikrodalga (160 ve 350 W) ve sıcak hava-mikrodalga kombinasyonları ile kurutmuştur. Bu kurutmaların sonucunda en iyi renk değerlerine sahip örneklerin kombinasyon kurutma sırasında elde edildiği belirlemiştir. Sıcak hava ile kurutmanın, diğer kurutma yöntemlerine göre daha uzun kuruma sürdüğü için, örneklerde kararmalara neden olduğu belirtilmiştir. Taze kabak dilimlerine en yakın olan renk değerlerine (L^* , a^* , b^*) sıcak hava-mikrodalga yönteminde kurutulan örneklerin sahip olduğu ve en iyi sonucun 75°C+350 W kombinasyonu için elde edildiği ifade edilmiştir. Örneklerin kurumayla birlikte Kroma değerinde düşüş meydana gelirken, Hue açısı değerleri taze örneklerin değerine yakın olarak tespit etmiştir.

Toplam Fenolik Madde ve Antioksidan Aktivite Değeri

Örneklerin toplam fenolik madde miktarları ve antioksidan aktivite değerleri Çizelge 3'te verilmiştir.

Taze limon kabuğundaki antioksidan aktiviteleri 15.965-16.901 mmol TE g kuru madde⁻¹ arasında değiştiği saptanmıştır. Kurutulan limon kabuğu örneklerine ait antioksidan aktiviteleri ise 2.309-6.140 mmol TE g kuru madde⁻¹ arasında bulunmuştur. Bu sonuçlar kurutma işlemi antioksidan aktivite değerlerinde azalmaya neden olmuştur. Bu durumun üründe doğal olarak bulunan antioksidanların uygulanan ısı işlem sırasında bozunmasıyla ilgili olduğu düşünülmektedir. Ayrıca sıcaklığın ve mikrodalga gücünün artması ile birlikte kuruma süresinin azalmasına bağlı olarak örneklerin antioksidan aktivitesindeki düşüş azalmıştır.

Kuruma süresi en uzun olan 40°C sıcak hava ile kurutmada, antioksidan aktivitedeki azalma % 85.54 ile en fazla olarak tespit edilmiştir. 40°C ile birlikte kullanılan mikrodalga uygulamalarında ise antioksidan aktivitedeki azalma, mikrodalga gücünün (90, 180 ve 360 W) arttırılmasıyla birlikte sırasıyla % 79.18, % 74.11 ve % 68.57'e kadar düşmüştür. Kurutma sıcaklığı ve mikrodalga gücü en yüksek olan 60°C+360 W kombinasyonunda ise antioksidan aktivitedeki azalmanın % 61.98 ile en düşük olduğu belirlenmiştir. Genel olarak kurutma yönteminin antioksidan aktivite üzerine etkisi istatistiksel açıdan önemli bulunmuştur ($p<0.05$).

Elde edilen sonuçlar literatürle paralellik arz etmektedir. Tekgül (2019) yaptığı çalışmada limon kabuklarını 5 farklı yöntemle kurutmuş ve bu kurutmalar sonucu limon kabuğu örneğine ait toplam antioksidan aktivite değerlerinin kurutma sonrası azaldığını belirlemiştir. Horuz ve ark. (2017a)

yaptıkları çalışmada vişnenin konvansiyonel ve hibrit sistem (konvansiyonel-mikrodalga) ile kurutulması sonucu taze örneklerdeki antioksidan aktivitenin kurutma sonrası düştüğünü tespit etmişlerdir. Ayrıca kurutulan örnekler baz alındığında hibrit sistemle yapılan kurutmalarda antioksidan aktivitenin konvansiyonel kurutmalarla göre daha yüksek olduğu saptanmıştır. İzli ve ark. (2014) tarafından yapılan çalışmada konvektif, mikrodalga ve mikrodalga-konvektif kurutma yöntemleri ile altın çilek meyvesinin toplam fenolik madde ve antioksidan kapasitesi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Kurutulmuş örnekler, taze örnek ile karşılaştırıldığında antioksidan kapasitede % 65-75 aralıklarında düşüş gösterdiği belirtilmiştir. Sıcaklık ve mikrodalga gücünün artırılması sonucu antioksidan kapasitedeki düşüşün arttığı görülmüştür.

Çizelge 3. Taze örneklerin ve farklı kurutma koşullarında kurutulan örneklerin antioksidan aktivite ve toplam fenolik madde miktarları.

Kurutma Şartları	Antioksidan Aktivite (mmol TE g kuru madde ⁻¹)			Toplam Fenolik Madde (mg GAE g kuru madde ⁻¹)		
	Taze	Kuru	% Değişim ¹	Taze	Kuru	% Değişim ¹
90 W	16.901	2.959	-82.43±1.58 ^b	12.443	16.356	31.49±2.31 ^j
180 W	16.575	3.588	-78.33±1.29 ^{de}	11.992	21.329	78.03±6.65 ^{gh}
360 W	16.514	4.494	-72.73±1.97 ^{hi}	12.04	25.05	108.11±3.37 ^e
40°C	15.965	2.309	-85.54±0.42 ^a	12.466	15.13	21.34±2.19 ^k
50°C	16.266	3.061	-81.16±1.12 ^{bc}	12.561	19.062	51.80±2.85 ⁱ
60°C	16.249	4.041	-75.10±1.00 ^{fg}	12.741	22.493	76.56±1.48 ^{gh}
40°C+90 W	16.26	3.375	-79.18±1.50 ^{cd}	12.033	20.587	71.21±5.34 ^h
40°C+180 W	16.433	4.254	-74.11±0.42 ^{gh}	12.428	23.676	90.56±3.83 ^f
40°C+360 W	16.494	5.183	-68.57±0.47 ^j	11.995	30.083	151.01±8.22 ^c
50°C+90 W	16.804	3.919	-76.67±0.80 ^{ef}	13.005	21.963	82.90±3.91 ^{fg}
50°C+180 W	16.71	4.653	-72.13±1.18 ^{hi}	12.285	26.509	115.85±4.39 ^{de}
50°C+360 W	16.532	5.843	-64.64±1.24 ^k	12.788	33.476	161.89±5.95 ^b
60°C+90 W	16.896	4.863	-71.20±0.91 ⁱ	12.417	27.328	120.17±6.27 ^d
60°C+180 W	16.323	5.313	-67.41±1.61 ^j	12.637	32.282	155.55±6.37 ^{bc}
60°C+360 W	16.156	6.14	-61.98±1.26 ^l	12.272	35.112	186.11±1.29 ^a

¹Farklı harfler değerlerin p<0.05 seviyesinde farklı olduğunu ifade etmektedir.

Toplam fenolik madde miktarı değerlerine baktığımız zaman kurutma işlemleri sonucu limon kabuklarındaki toplam fenolik madde miktarında artış meydana gelmiştir. Taze limon kabuklarındaki toplam fenolik madde miktarı 11.992-13.005 mg GAE g kuru madde⁻¹ arasında iken, kuru örneklerde 15.130-35.112 mg GAE g kuru madde⁻¹ aralığında tespit edilmiştir. Kurutma sonrasındaki toplam fenolik madde miktarındaki bu artışın hücrelerde bağlı bulunan fenolik maddelerin ısıyla birlikte ayrılma reaksiyonlarının hızlanmasından dolayı kaynaklandığı düşünülmektedir. Elde edilen veriler sonucu sıcak hava ve mikrodalga kombinasyonlarındaki artışın diğer yöntemlere göre daha fazla olduğu bulunmuştur.

40°C sıcak hava ile yapılan kurutmada toplam fenolik madde miktarındaki artış %21.34 bulunurken, 40°C+90 W, 40°C+180 W ve 40°C+360 W ile yapılan kurutmalarındaki toplam fenolik madde miktarındaki artış sırasıyla %71.21, %90.56 ve %151.01 olarak tespit edilmiştir. Sıcak hava ve mikrodalga kurutma şartları kendi içerisinde değerlendirildiğinde de kurutma sıcaklık ve mikrodalga gücünün artmasıyla toplam fenolik madde miktarında artış meydana gelmiştir. Kurutma süresinin en kısa olduğu 60°C+360 W kombinasyonunda toplam fenolik madde miktarı taze örnekteki değeri olan 15.130 mg GAE g kuru madde⁻¹'den kuru örnekteki değeri olan 35.112 mg GAE g kuru madde⁻¹ seviyesine ulaşmış ve en fazla artışın %186.11 ile bu kurutma koşulunda meydana geldiği saptanmıştır. İstatistiksel açıdan, taze örneklerdeki toplam fenolik madde miktarı ile kurutmalar sonrası elde edilen toplam fenolik madde miktarları arasındaki farklar önemli bulunmuştur (p<0.05).

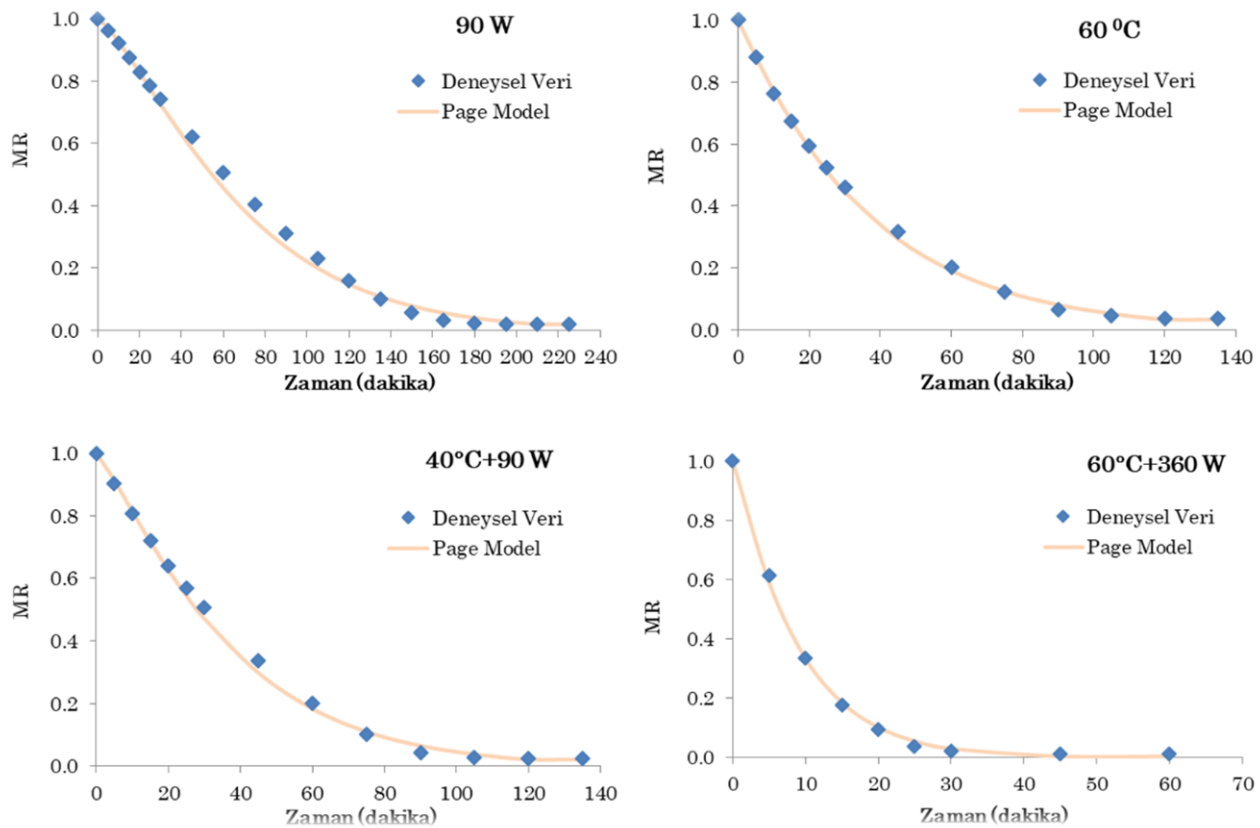
Horuz ve ark. (2017b) yaptıkları çalışmada domates dilimlerini 60°C sabit sıcaklıkta 120, 150 ve 180 W mikrodalga gücüne ilave ultrases uygulamasının etkisini araştırmak için ultrases uygulaması

yapılmamış örnek ile 20 ve 40 dakikalık ultrases uygulaması yapılmış örnekleri incelemiştir. Ultrases uygulaması yapılmayan örnekler baz alındığı zaman toplam fenolik madde miktarı taze üründe 8.27 mg GAE g kuru madde⁻¹ tespit edilirken, kuru örneklerde 60°C+120 W, 60°C+150 W ve 60°C+180 W için sırasıyla 9.59 mg GA.g kuru madde⁻¹, 10.88 mg GAE g kuru madde⁻¹ ve 6.81 mg GAE g kuru madde⁻¹ olarak bulmuştur. Kurutma işlemi sonrası 120 W ve 150 W ile yapılan kombinasyon kurutmalarda taze örneğe göre artış meydana gelirken, 180 W ile yapılan kombinasyon kurutmada azalma olduğunu saptanmıştır.

Tekgül (2019) yaptığı çalışmada toplam fenolik madde miktarının taze limon kabuğunda 35.5 mg GAE 100 g kuru madde⁻¹ iken 6 farklı kurutma (açık hava, tepsili, mikrodalga, vakumlu mikrodalga, vakumlu infrared, liyofilizatör) işleminin sonucunda 59.52-227.2 mg GAE 100g kuru madde⁻¹ aralığındaki değerlere yükseldiğini tespit etmiştir. Bu kurutmalar arasında en fazla artışın 227.2 mg GAE 100 g kuru madde⁻¹ liyofilizatör ile kurutma olduğu tespit edilirken bu kurutmayı daha sonra sırasıyla mikrodalga (162.99 mg GAE 100g kuru madde⁻¹) ve tepsili kurutma (157.74 mg GAE 100 g kuru madde⁻¹) takip etmiştir.

Kurutma Kinetiği

Limon kabuklarının kurutma işlemleri sırasında elde edilen deneysel MR değerlerinin beş ayrı matematiksel modele uygunluğu incelenmiştir. Modellere ait model sabitleri ve istatistiksel değerler Çizelge 4’te verilmiştir. Hesaplanan R², RMSE ve χ^2 değerlerine göre limon kabuğunun kurutulmasını en iyi açıklayan modelin Page ve Modifiye Page modeller olduğu belirlenmiştir. Şekil 3’te bazı koşullar için deneysel ve Page modelden elde edilen MR değerlerinin karşılaştırması grafiksel olarak verilmiştir.



Şekil 3. Page Model’den elde edilen MR değerlerinin deneysel veriler ile karşılaştırması

Page modele ait kinetik sabitin (k) mikrodalga, sıcak hava, sıcak hava-mikrodalga kombinasyonları için sırasıyla 0.0040-0.0114 dakika⁻¹, 0.0175-0.0239 dakika⁻¹ ve 0.0140-0.0942 dakika⁻¹ aralıklarında değiştiği tespit edilmiştir. Genel olarak sıcaklık ve mikrodalga gücündeki artış kinetik

sabitin yükselmesine neden olmuştur. Ayrıca Page modelin diğer bir sabiti olan n değeri 0.9587-1.3574 aralığında bulunmuştur (Çizelge 4).

Horuz ve ark. (2017b) domates dilimlerini 60°C sabit sıcaklıkta 120, 150 ve 180 W mikrodalga gücüne ilave 0 (ultrases uygulaması yapılmamış), 20 ve 40 dakikalık ultrases uygulaması yaptıkları çalışmada Page modelin tüm kurutma şartları için en uygun model olduğunu tespit etmişlerdir. Soysal (2004) yaptığı çalışmada 360, 450, 540, 630, 720, 810, 900 W mikrodalga güçlerinde gerçekleştirdiği kurutmalarda maydonozun kurutma kinetiğini en iyi temsil eden modelin Page model olduğunu tespit etmiştir.

Çizelge 4. Kurutulan limon kabuğu örnekleri için model sabitleri ve istatistiksel parametreler

MODEL	Sabit	Sabitin Değeri	R ²	RMSE	χ ²	Sabitin Değeri	R ²	RMSE	χ ²	Sabitin Değeri	R ²	RMSE	χ ²
			90 W			180 W			360 W				
Lewis	k	0.0183	0.9542	0.024	0.0112	0.0283	0.9826	0.018	0.0047	0.0503	0.9370	0.039	0.0167
Henderson ve Pabis	k	0.0204	0.9716	0.028	0.0169	0.0305	0.9909	0.019	0.0057	0.0580	0.9652	0.051	0.0331
	a	1.3496				1.2099				1.4405			
Page	k	0.0040	0.9946	0.006	0.0007	0.0110	0.9992	0.002	0.0001	0.0114	0.9924	0.007	0.0007
	n	1.2865				1.2016				1.3574			
Modifiye Page	k	0.0138	0.9946	0.006	0.0007	0.0235	0.9992	0.002	0.0001	0.0370	0.9924	0.007	0.0007
	n	1.2865				1.2016				1.3574			
Logaritmik	k	0.0281				0.0390				0.0700			
	a	1.7716	0.8970	0.062	0.0893	1.4313	0.8915	0.041	0.0297	1.6484	0.8915	0.077	0.0844
	c	0.0192				0.0197				0.0178			
			40°C			50°C			60°C				
Lewis	k	0.0145	0.9974	0.003	0.0002	0.0228	0.9941	0.005	0.0004	0.0284	0.9948	0.006	0.0005
Henderson ve Pabis	k	0.0146	0.9975	0.004	0.0003	0.0234	0.9951	0.008	0.0010	0.0291	0.9537	0.006	0.0006
	a	1.0156				1.0587				1.0545			
Page	k	0.0175	0.9985	0.002	0.0001	0.0220	0.9970	0.004	0.0003	0.0239	0.9983	0.003	0.0001
	n	0.9587				1.0009				1.0345			
Modifiye Page	k	0.0147	0.9985	0.002	0.0001	0.0221	0.9970	0.004	0.0003	0.0271	0.9983	0.003	0.0001
	n	0.9587				1.0009				1.0345			
Logaritmik	k	0.0200				0.0315				0.0403			
	a	1.1799	0.9487	0.020	0.0090	1.2316	0.9478	0.026	0.0127	1.2462	0.9586	0.029	0.0137
	c	0.0368				0.0318				0.0352			
			40°C+90 W			40°C+180 W			40°C+360 W				
Lewis	k	0.0315	0.9745	0.020	0.0056	0.0457	0.9648	0.014	0.0024	0.0833	0.9576	0.011	0.0013
Henderson ve Pabis	k	0.0340	0.9836	0.022	0.0074	0.0469	0.9659	0.012	0.0019	0.0803	0.9597	0.018	0.0038
	a	1.2174				1.0727				1.1190			
Page	k	0.0140	0.9947	0.005	0.0004	0.0279	0.9898	0.006	0.0004	0.0606	0.9773	0.007	0.0006
	n	1.1725				1.1190				1.1021			
Modifiye Page	k	0.0262	0.9947	0.005	0.0004	0.0409	0.9898	0.006	0.0004	0.0409	0.9773	0.007	0.0006
	n	1.1725				1.1190				1.1190			
Logaritmik	k	0.0490				0.0805				0.1042			
	a	1.6114	0.9085	0.061	0.0644	1.7412	0.9516	0.080	0.0962	1.1489	0.9746	0.021	0.0059
	c	0.0237				0.0252				0.0107			
			50°C+90 W			50°C+180 W			50°C+360 W				
Lewis	k	0.0369	0.9798	0.017	0.0035	0.0577	0.9925	0.014	0.0020	0.1067	0.9583	0.012	0.0014
Henderson ve Pabis	k	0.0397	0.9881	0.020	0.0054	0.0606	0.9962	0.015	0.0025	0.1049	0.9588	0.011	0.0012
	a	1.1747				1.1152				1.0549			
Page	k	0.0204	0.9956	0.005	0.0003	0.0334	0.9979	0.004	0.0002	0.0713	0.9805	0.005	0.0003
	n	1.1320				1.1470				1.1299			
Modifiye Page	k	0.0322	0.9956	0.005	0.0003	0.0516	0.9979	0.004	0.0002	0.0966	0.9805	0.005	0.0003
	n	1.1320				1.1470				1.1299			
Logaritmik	k	0.0509				0.0707				0.1455			
	a	1.3270	0.9369	0.040	0.0243	1.1753	0.9833	0.025	0.0085	1.3450	0.9773	0.046	0.0274
	c	0.0323				0.0293				0.0137			
			60°C+90 W			60°C+180 W			60°C+360 W				
Lewis	k	0.0456	0.9537	0.025	0.0067	0.0636	0.9534	0.026	0.0066	0.1114	0.9353	0.007	0.0004
Henderson ve Pabis	k	0.0509	0.9711	0.035	0.0150	0.0701	0.9669	0.035	0.0139	0.1091	0.9383	0.023	0.0059
	a	1.2852				1.2777				1.1535			
Page	k	0.0211	0.9900	0.007	0.0007	0.0263	0.9908	0.006	0.0004	0.0942	0.9759	0.004	0.0002
	n	1.1764				1.2268				1.0686			
Modifiye Page	k	0.0376	0.9900	0.007	0.0007	0.0516	0.9908	0.006	0.0004	0.1096	0.9759	0.004	0.0002
	n	1.1764				1.2268				1.0686			
Logaritmik	k	0.0558				0.0923				0.1699			
	a	1.3075	0.9185	0.040	0.0227	1.5963	0.8852	0.075	0.0768	1.4882	0.9572	0.063	0.0515
	c	0.0230				0.0212				0.0123			

Etkin Difüzyon Katsayısı

Limon kabuğu örneklerinin hesaplanan etkin difüzyon katsayısı değerleri Çizelge 5’de verilmiştir. Sıcak hava ile kurutma işlemlerinde sıcaklık artışıyla birlikte etkin difüzyon katsayısı da artmıştır. 40°C’de kurutulan örnekler için etkin difüzyon katsayısı $1.58 \times 10^{-9} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ bulunurken, kurutmaya mikrodalga gücünün ilave edilmesiyle 40°C+90 W, 40°C+180 W ve 40°C+360 W için etkin difüzyon katsayı değerleri sırasıyla 3.67×10^{-9} , 5.07×10^{-9} , $8.68 \times 10^{-9} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ olarak bulunmuştur. Böylelikle kombinasyonlarda mikrodalga gücünün yükseltilmesinin etkin difüzyon katsayısını arttırdığı tespit edilmiştir. Ayrıca mikrodalga ve sıcak hava değerlerinin en yüksek olduğu 60°C+360 W kombinasyonu ile yapılan kurutmada etkin difüzyon katsayısı $11.79 \times 10^{-9} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ bulunmuştur.

Çizelge 5. Farklı kurutma koşulları için limon kabuğu örneklerine ait etkin difüzyon katsayısı değerleri

Kurutma Koşulları		D _{eff} x 10 ⁹ (m ² s ⁻¹)
Sıcaklık (°C)	Mikrodalga gücü (W)	
40°C	-	1.58
	90 W	3.67
	180 W	5.07
	360 W	8.68
50°C	-	2.53
	90 W	4.29
	180 W	6.55
	360 W	11.33
60°C	-	3.14
	90 W	5.50
	180 W	7.57
	360 W	11.79
-	90 W	2.21
	180 W	3.29
	360 W	6.27

Belirtilen değerlerin literatür ile uyumlu olduğu saptanmıştır. Tekgül, 2019, limon kabuğunun etkin difüzyon katsayısı değerlerinin 10^{-12} - $10^{-8} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ arasında değiştiğini belirtmiştir. Horuz (2018) biber dilimlerini 3 farklı sıcaklık (50, 60 ve 70°C) ve bu sıcaklıkların 3 farklı mikrodalga gücü (120, 150 ve 180 W) ile kombinasyon halinde kullanarak kurutmuş ve bu kurutmalar sonucu elde edilen etkin difüzyon katsayısını kombinasyonlar baz alındığında $8.92 \times 10^{-10} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ ile $4.54 \times 10^{-9} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ arasında bulmuştur. Ayrıca çalışmada kombinasyon kurutmalarında sıcaklık ve mikrodalga değerlerinin yükseltilmesiyle birlikte etkin difüzyon katsayılarının da arttığı saptanmıştır.

SONUÇ

Mikrodalga ile sıcak havayla birlikte kullanılması örneklerin kurutma hızını arttırmış, kuruma süresini kısaltmış ve ürün kalitesini etkilemiştir. Limon kabuğu örnekleri için kuruma süreleri karşılaştırıldığında 0.2 g su g kuru madde⁻¹ nem içeriğine düşürülen kuru örneklerde en uzun kuruma süresi 208 dakika ile 40°C’de gerçekleşirken, en kısa kuruma ise 60°C+360 W kombinasyon kurutmada 24 dakikada gerçekleşmiştir.

Page ve Modifiye Page modellerin limon kabuğunun kurutma kinetiğini en iyi şekilde temsil eden modeller olduğu saptanmıştır.

360 W ve bu mikrodalga gücünün sıcak hava ile kombinasyonlarında örneklerde yanma ve örnek renklerinde kararmalar oluşması nedeniyle mikrodalga gücünün 90 ve 180 W olarak kullanılmasının daha uygun olduğu sonucuna varılmıştır.

Kurutma işlemleri sonucu taze örnekler göre kuru örneklerde toplam fenolik madde miktarı artmıştır. Sıcaklık ve mikrodalga gücü değerlerinin yükseltilmesi sonucu toplam fenolik madde miktarındaki artışı yükselmiştir.

Antioksidan aktivitede kurutma işlemleri sonucunda azalmalar meydana gelmiştir. Kuruma süresi

arttıkça antioksidan miktarındaki düşüş yükselmiştir.

Sonuç olarak mikrodalga'nın sıcak havayla birlikte kullanılmasının limon kabuğunun kurutulması üzerine önemli bir etkisinin olduğu saptanmış olup, farklı ürünler için de değişik mikrodalga ve sıcak hava kombinasyonlarının denenerek ürüne yönelik en uygun kurutma koşullarının tespit edilmesi ürün kalitesi ve kurutma süresinin optimize edilmesinin gerekli olduğu düşünülmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Pamukkale Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından 2018FEBE063 numaralı proje olarak desteklenmiştir.

Çıkar Çatışması

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Yazar Katkısı

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan eder.

KAYNAKLAR

- Alibaş İ, 2006. Characteristics of chard leaves during microwave, convective and combined microwave-convective drying. *Drying Technology*, 24(11): 1425-1435.
- Alibaş İ, 2007. Microwave, air and combined microwave-air-drying parameters of pumpkin slices. *LWT-Food Science and Technology*, 40(8): 1445-1451.
- Arslan D, Özcan MM, 2010. Study the effect of sun, oven and microwave drying on quality of onion slices. *LWT-Food Science and Technology*, 43(7): 1121-1127.
- Cesur H, 2014. Kurutulmuş turunçgil kabuklarının kefirin bazı mikrobiyal, kimyasal ve fiziksel özelliklerine etkisi. Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi (Basılmış).
- Demiray E, 2009. Kurutma işleminde domatesin likopen, β -karoten, askorbik asit ve renk değişim kinetiğinin belirlenmesi. Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi (Basılmış).
- Demiray E, 2015. Havuç ve Kırmızı Biberin Farklı Kurutma Yöntemleri ile Kurutulması, Kuruma Karakteristiklerinin ve Bazı Kalite Özelliklerindeki Değişimin Modellenmesi. Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi (Basılmış).
- Gorinstein S, Martín-Belloso O, Park YS, Haruenkit R, Lojek A, Cız M, Caspi A, Libman I, Trakhtenberg S, 2001. Comparison of some biochemical characteristics of different citrus fruits. *Food Chemistry*, 74 (3): 309-315.
- Güzel M, Akpınar Ö, 2017. Turunçgil kabuklarının biyoaktif bileşenleri ve antioksidan aktivitelerinin belirlenmesi. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 7(2): 153-167.
- Horuz E, Bozkurt H, Karataş H, Maskan M, 2017a. Effects of hybrid (microwave-convective) and convective drying on drying kinetics, total phenolics, antioxidant capacity, vitamin C, color and rehydration capacity of sour cherries. *Food Chemistry*, 230: 295-305.
- Horuz E, Jaafar HJ, Maskan M, 2017b. Ultrasonication as pretreatment for drying of tomato slices in a hot air-microwave hybrid oven. *Drying Technology*, 35(7): 849-859.
- Horuz E, 2018. Investigation of drying and quality parameters of some fruits and vegetables in home type hybrid (convective-microwave) oven. Gaziantep Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi (Basılmış).

- İzli N, Yıldız G, Ünal H, Işık E, Uylaşer V, 2014. Effect of different drying methods on drying characteristics, colour, total phenolic content and antioxidant capacity of Goldenberry (*Physalis peruviana* L.). International Journal of Food Science and Technology, 49(1): 9-17.
- İzli N, 2016. Kayısının (*Prunus armeniaca* L.) konvektif, mikrodalga ve mikrodalga-konvektif yöntemleriyle kurutulması ve matematiksel modellenmesi. Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi, 31(3): 375.
- Kocayiğit F, 2010. Bazı sebzelerin kurutma karakteristiklerinin incelenmesi. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi (Basılmış).
- Maskan M, 2000. Microwave/air and microwave finish drying of banana. Journal of Food Engineering, 44(2): 71-78.
- McMinn WAM, 2006. Thin-layer modelling of the convective, microwave, microwave-convective and microwave-vacuum drying of lactose powder. Journal of Food Engineering, 72(2): 113-123.
- Özel ÖF, 2010. Balkabağının farklı kurutma şartlarındaki kurutma karakteristiklerinin belirlenmesi. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi (Basılmış).
- Saraçoğlu T, 2017. Bazı Narenciye Çeşitlerinin Seçilmiş Fiziksel ve Hidrodinamik Özellikleri. Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi, 32(2): 206-215.
- Seerangurayar T, Al-Ismaïli AM, Jeewantha LJ, Al-Habsi NA, 2019. Effect of solar drying methods on color kinetics and texture of dates. Food and Bioproducts Processing, 116: 227-239.
- Singleton VL, Orthofer R, Lamuela-Raventós RM, 1999. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. In Methods in enzymology (Vol. 299, pp. 152-178). Academic press.
- Soysal Y, 2004. Microwave drying characteristics of parsley. Biosystems Engineering, 89(2): 167-173.
- Tekgül Y, 2019. limon kabuğunun farklı kurutma yöntemleriyle optimum kurutma koşullarının belirlenmesi ve kurutma yöntemlerinin bazı kalite özellikleri ile uçucu bileşenler üzerine etkileri. Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi (Basılmış).
- Thaipong K, Boonprakob U, Crosby K, Cisneros-Zevallos L, Byrne DH, 2006. Comparison of ABTS, DPPH, FRAP, and ORAC assays for estimating antioxidant activity from guava fruit extracts, Journal of Food Composition and Analysis, 19(6-7): 669-675.
- Tüfekçi S, 2014. Ultrases ön işleminin bamya ve elma örneklerinin kurutma performansları üzerine etkisi. Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi (Basılmış).
- Zambak Ö, 2015. Ultrases ön işleminin sığır bonfile ve tavuk göğüs etlerinin kurutma davranışları üzerine etkisi. Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi (Basılmış).
- Wang Z, Sun J, Chen F, Liao X, Hu X, 2007. Mathematical modelling on thin layer microwave drying of apple pomace with and without hot air pre-drying. Journal of Food Engineering, 80: 536-544.