

Mikrodalga Kurutma ve Ozmotik Dehidrasyon ile Birlikte Kurutulmuş Limon Halkalarının Renk Analizi

Zehra YILDIZ*¹, Süleyman REYHAN²

Ziraat Fakültesi Dergisi,
Cilt 18, Sayı 2,
Sayfa 66-73, 2023

Journal of the Faculty of Agriculture
Volume 18, Issue 2,
Page 66-73, 2023

Öz: Bu çalışmada, ozmotik ön kurutma işlemi uygulanmış ve uygulanmamış olan limon dilimlerinin mikrodalga yöntemi ile kurutulmasında ozmotik ön işleminin, mikrodalga kurutma süresi ve mikrodalga güç seviyesi gibi faktörlerin nem kaybı, büzülme oranı ve renk parametreleri üzerine etkileri belirlenmiştir. Renk parametreleri olarak kroma, kahverengileşme indeksi, hue açısı ve toplam renk değişimi seçilmiştir. Bu çalışmada, ozmotik ön kurutma işlemi uygulanmış ve uygulanmamış 10 mm dilim kalınlığındaki limon halkaları mikrodalga fırında kurutulmuştur. Ozmotik dehidrasyon işlemi için katı/çözelti oranı 1/10, sodyum klorür çözelti derişimi %20 (a:h) ve ozmotik dehidrasyon süresi üç saat olarak belirlenmiştir. Mikrodalga güç seviyeleri 100, 200 ve 300 W ve mikrodalga kurutma süresi 2, 4, 6 ve 8 dk olarak seçilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, mikrodalga kurutma işleminden önce uygulanan ozmotik ön kurutma işlemi ile nem kaybı artarken, büzülme oranından önemli bir değişimin olmadığı belirlenmiştir. Ayrıca ozmotik ön kurutma işleminin mikrodalga kurutmada üründeki renk kaybını engelleyerek renk parametrelerinden kroma değeri ve hue açısına olumlu katkısı olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Kurutma ön işlemleri, Mikrodalga kurutma, Ozmotik dehidrasyon, Hue açısı, Kroma

Color Analysis of Co-Dried Lemon Rings by Microwave Drying and Osmotic Dehydration

Abstract: In this study, it was determined the effects of microwave drying time and microwave power level, osmotic pretreatment on moisture loss, shrinkage rate and color parameters on microwave drying of lemon slices that was applied both treated and untreated with osmotic pre-dried method. Chroma, brownish index, hue angle and total color change were chosen as the color parameters. In this study, both treated and untreated with osmotic pre-dried method the lemon rings in 10 mm slice thickness were dried in a microwave oven. For the osmotic dehydration process, the solid/solution ratio was 1/10, the sodium chloride solution concentration was 20% (w:v), and the osmotic dehydration time was three hours. Microwave power levels were chosen as 100, 200 and 300 W and microwave drying time were as chosen 2, 4, 6 and 8 min. According to the results obtained it was determined that while the moisture loss increased with the osmotic dehydration pre-drying process applied before the microwave drying process, the diametrical shrinkage ratio wasn't significantly change. In addition, it has been observed that osmotic dehydration pre-drying process has a positive contribution to color parameters such as chroma value and hue angle by preventing color loss in microwave drying.

Keywords: Pre-drying treatment, Microwave drying, Osmotic dehydration, Hue angle, Chroma

*Sorumlu yazar (Corresponding author)
zyildiz@tarsus.edu.tr

Alınış (Received): 08/12/2022
Kabul (Accepted): 22/07/2023

¹Tarsus Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,
Mühendislik Temel Bilimler Bölümü, 33400, Mersin,
Türkiye

²Tarsus Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü,
Makine Mühendisliği Bölümü, 33400, Mersin, Türkiye

1. Giriş

Dünyada ve ülkemizde en fazla israf edilen gıda maddeleri meyve ve sebzelerdir. Dünyada meyve ve sebzelerin %44'ü ve ülkemizde %25-40'ı kaybedilmektedir. Ülkemizde yaş meyve ve sebzede kayıpları, hasat esnasında %4-12, ürünlerin pazara veya hale taşınmasında %2-8, pazara hazırlık sırasında %5-15, depolama sürecinde %3-10 ve tüketim esnasında %1-5 olmak üzere toplamda %15-50 arasındadır (Tekiner vd., 2021). Yaş sebze-meyve tüketimi ve ihracatından sonra arz fazlası olarak elde kalan ürünlerin bozulmadan uzun süre depolanması veya ekonomik değeri yüksek kuru gıda ürünlerinin elde edilmesinde çeşitli kurutma yöntemleri kullanılmaktadır. Kurutma işlemi, gıdanın raf ömrünü arttırır, kurutma sırasında uzaklaşan nem ile ürün hacminde meydana gelen azalma depolama, nakliye ve paketleme maliyetlerini önemli derecede düşürür. Özellikle kurutulan meyveler bitki çayları, bisküvi, kek ve puding gibi tatlılarda tat-aroma verici olarak birçok yerde kullanılmakla beraber sağlıklı atıştırmalık olarak mevsimi dışında da her zaman tüketilebilir (Güngör ve Özbalta, 1997; Ertekin ve Yıldız, 1998; Anonim, 1999).

Kurutma için vakumla, kızılötesi, dondurarak ve mikrodalga kurutma gibi birçok yöntem kullanılmaktadır. Mikrodalga kurutma işleminde doku daha zarar görmediği için daha kaliteli kuru ürün elde edilir. Mikrodalga kurutma yönteminde fırın boşluğuna gönderilen mikrodalga ışınım ürün tarafından absorbe edilerek ürün içerisinde bulunan su moleküllerini titreştirmesiyle ürün içerisinde ısı oluşturur. Mikrodalga kurutma yönteminde ısı transferi ürünün merkezinden yüzeyine doğru gerçekleştiği için konduktif ve konvektif kurutma yöntemlerine göre farklıdır. Mikrodalga kurutma yöntemi, kurutulan materyalin iç kısımlarına daha fazla ısı transfer etmesi, temizlik, enerji kazanımı, kolay işlem kontrolü, kurutma işleminin hızlı başlatılması ve sonlandırılması gibi avantajlar sağlayan alternatif bir kurutma yöntemidir. Ancak mikrodalga kurutma yöntemi homojen şekli olmayan ürünler üzerinde düzensiz ısı dağılımı sağlaması, yapısal zararlar meydana getirmesi, yüksek yatırım maliyeti gerektirmesi ve mikrodalga ışınlarının ürünler üzerinde etkisinin sınırlı olması gibi olumsuz etkilere sebeptir (Schiffmann, 1986; Datta ve Davidson, 2000; Maskan, 2000; Alibaş, 2012; Polatçı ve Taşova, 2017).

Mikrodalga kurutma yönteminin olumsuzluklarını gidermek için mikrodalga kurutma ile birçok kurutma yönteminin beraber kullanıldığı mikrodalga destekli kurutma yöntemleri kullanılmaktadır. Mikrodalga destekli kurutma yöntemlerinde geleneksel kurutma yöntemlerine göre kurutma süresinde %25-90'na varan azalma, kurutma hızında %400-800 artış ve enerji tüketiminde %32-71 azalma sağlanmıştır (Moses vd., 2014). Mikrodalga destekli kurutma yöntemlerinde

birçok kurutma yöntemiyle mikrodalga kurutma birlikte kullanılmıştır (Schiffmann, 1986; Datta ve Davidson, 2000; Karaaslan, 2008; Yılmaz 2015). Bu yöntemler arasında mikrodalga sıcak hava kurutma yöntemi, mikrodalga destekli vakum kurutma, mikrodalga destekli dondurarak kurutma, mikrodalga destekli akışkan yatak kurutma, mikrodalga destekli köpük kurutma ve mikrodalga destekli ozmotik kurutma sayılabilir. Mikrodalga destekli ozmotik kurutmaya son yıllarda ilgi artmaktadır (Karaaslan, 2008; Moses vd., 2014). Bu yöntemde, ürünün ya da maddenin dielektrik özelliklerini etkileyen izotonik çözünenler daha fazla esneklik sunmaktadırlar. Mikrodalga ile ısıtmanın yoğunluğu dolayısı ile de kurutma işlemi etkilenmektedir. Bununla birlikte çözünen maddelerin difüzyonu dolayısı ile iyi bir görünüme yol açan yapının geçiş sıcaklığını ve çökme sıcaklığını artırmaktadır. Ayrıca önceden ozmotik olarak işlem görmüş madde daha fazla su içereceğinden ürünün kalitesi de etkilenmektedir. Mikrodalga kurutma işleminden önce uygulanan ozmotik dehidrasyon ön işlemi ile katı madde miktarının artması dielektrik özellikleri değiştirerek büzülmeyi ve kurutma süresini azaltmasına, tekrar su alma yapısını ve gözenekli yapısını iyileştirerek ısının homojen dağılmasını sağlamaktadır (Tunçer, 1990; Yağcıoğlu, 1994; İzli, 2012).

Yaş meyve ve sebze ihracatımızın yarısını yaklaşık narenciye ürünleri oluşturmaktadır. Ülkemizde toplam mandalina üretiminin %84'ü, portakal üretiminin %85'i, limon üretiminin %93'ü ve greylimondun üretiminin %96'sı Akdeniz Bölgesi'nde gerçekleştirilmektedir. Son yıllarda turunçgil üretiminde mandalina ve limon türlerine ağırlık verilmiştir (Aygören, 2021). Mersin ili, limon üretiminin %59'unu karşılayarak limon üretiminde Türkiye de ilk sırada yer almakta olup, özellikle narenciye üretiminde ülke ekonomisine önemli katkısı olan illerden biridir (Anonim, 2020; Aygören, 2021). Ülkemizde Mersin ilinin batısındaki Erdemli-Silifke yöresinde yetiştirilen Lamas çeşidi limon orta boyuttaki meyvesi, silindirik, belirgin memeli, boyun halkalı, kabuğu sarı renkli, koku-tat bakımından zengin, sulu bir limondur (Alkaç, 2019). Bu sebeple Lamas türü limon dilimlerinin kurutulması bölgenin tarım ekonomisine ve kırsal gelişimine katkıda bulunacaktır. Bu sebeple çalışmada, ozmotik dehidrasyon uygulanmış ve uygulanmamış limon dilimleri mikrodalga fırında kurutulmuş ve kurutma koşullarının kurutma performansı üzerine etkileri belirlenmiştir.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Materyal ve Yöntem

Deneylerde ozmotik ön işlem uygulanmış ve uygulanmamış Lamas cinsi limon dilimleri kurutulmuştur. Bu çalışmada ozmotik dehidrasyon ön işlemi uygulanmış ve uygulanmamış limon dilimleri mikrodalga fırında kurutulmuştur. Ozmotik dehidrasyon işlemi oda

sıcaklığında yapılmış olup, yapılan ön denemeler sonunda en uygun dilim kalınlığı 10 mm, katı/çözelti oranı 1/10, sodyum klorür çözelti derişimi ağırlıkça/hacimce (a:h) olarak %20 (a:h) ve ozmotik dehidrasyon süresi üç saat olarak belirlenmiştir. Mikrodalga kurutma işlemi, Samsung marka Ms23J5133At/tr model solo mikrodalga fırında kesikli olarak gerçekleştirilmiştir. Mikrodalga kurutma işlemi için kurutma süresi üst sınırı limon dilimlerinin yanmadığı sekiz dakika olarak belirlenmiş olup, her iki dakikada bir kütle, çap, L, a ve b renk değerlerinin ölçümü yapılmıştır. Mikrodalga kurutma işleminde mikrodalga güç seviyeleri, 100 W, 200 W ve 300 W olarak seçilmiştir. Mikrodalga fırın tablasına ortalama 50 g örnek alınmıştır. Bu çalışmada, mikrodalga kurutma süresi ve güç seviyesi gibi kurutma parametrelerinin kurutma performans ölçütleri olan nem kayıp oranı, çapsal büzülme oranı ve renk parametreleri üzerine etkileri belirlenmiştir. Deneylerde kurutma işlemi öncesi ve sonrası ölçümler, üç örnek için yapılmış ve ortalamaları alınmıştır. Çapsal büzülme oranı (mm/mm), kurutma öncesi ve kurutma sonrası çap ölçümlerinden yararlanılarak eşitlik 1 ile hesaplanmıştır. Eşitlik 1'de yer alan D_0 ve D_t ise kurutma öncesi ve kurutma sonrası örnek çapını (mm) ifade etmektedir (Darıcı, 2012; Aboud, 2013; Pandya ve Yadav, 2014; Polatçı vd., 2018).

$$\text{Çapsal büzülme oranı} = 100 \frac{D_0 - D_t}{D_0} \quad (1)$$

Nem kayıp oranı ağırlıkça (g)/ağırlıkça (g) olarak (a:a) eşitlik 2' de verildiği gibi kurutmadan önceki ve sonraki kütle farkından yararlanılarak hesaplanmıştır (Darıcı, 2012; Aboud, 2013; Pandya ve Yadav, 2014; Polatçı vd., 2018). Bu eşitlikte yer alan m_0 ve m_t sırasıyla kurutma işlemine tabi tutulacak gıda dilimlerinin kurutma öncesi ve kurutma sonrası ağırlıklarını (g) simgelemektedir.

$$\text{Nem Kayıp Oranı} = 100 \frac{m_0 - m_t}{m_0} \quad (2)$$

L, a ve b renk parametreleri, FRU marka WR18 model renk ölçüm cihazı kullanılarak ölçülmüştür. Ölçülen L, a ve b değerleri ürün hakkında tek başına bir anlam ifade etmezken bu değerler kullanılarak renk değeri açısından önemli olan kroma, kahverengileşme indeksi, toplam renk kaybı ve hue açısı hesaplanmıştır. L parlaklık (aydınlık) değeri olup 0 ile 100 arasında değerler alır. Değerin 100 olması beyaz, 0 olması ise siyah rengi belirtir. a negatif değeri, yeşil rengi belirtirken, pozitif değeri kırmızı rengi belirtir. b pozitif değeri sarı rengi belirtirken, negatif değeri ise mavi rengi belirtir (Polatçı ve Taşova, 2017; Polatçı vd., 2018). Kroma değeri (K), eşitlik 3 ile hesaplanmıştır (Altuntas vd., 2020).

$$K = \sqrt{a^2 + b^2} \quad (3)$$

Hue renk açısı (h), a ve b nin pozitif veya negatif olma durumuna göre eşitlik 4-7'den uygun denklem seçilerek hesaplanmıştır (Çetin vd., 2019).

$$\left(\frac{b}{a}\right), (a > 0 \text{ ve } b \geq 0) \quad (4)$$

$$h = 180 + \arctan \arctan \left(\frac{b}{a}\right), (a < 0 \text{ ve } b \geq 0) \quad (5)$$

$$h = 180 + \arctan \arctan \left(\frac{b}{a}\right), (a < 0 \text{ ve } b < 0) \quad (6)$$

$$h = 360 + \arctan \arctan \left(\frac{b}{a}\right), (a > 0 \text{ ve } b < 0) \quad (7)$$

Toplam renk değişim değeri (ΔE), eşitlik 8 ile hesaplanmıştır (Polatçı vd., 2018).

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

Kahverengileşme indeksi (BI), eşitlik 9 ile x katsayısı hesaplanarak eşitlik 10' da yerine konularak belirlenmiştir (Özbek vd., 2021).

$$X = [(a + 1.75L)] / [(5.645L) + a - 0.3012b] \quad (9)$$

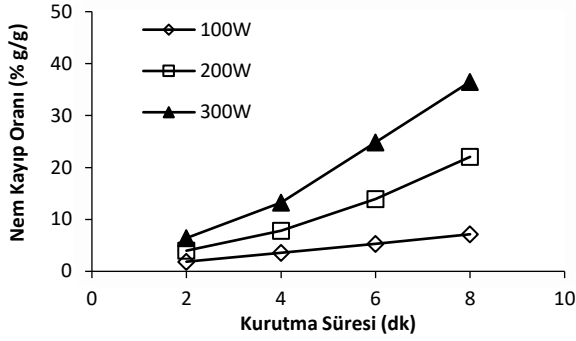
$$BI = [100(x - 0.31)] / 0.17 \quad (10)$$

2.2. İstatistiksel Analiz

Çalışma süresince, bütün kurutma deneyleri 3 defa tekrar edilmiştir. Ozmotik kurutma uygulanmış ve uygulanmamış örneklerin mikrodalgada kurutulması işleminde nem kayıp oranı, büzülme oranı ve renk parametreleri üzerine etkileri %95 güven aralığında $p < 0.05$ önem derecesine göre varyans analizinden (ANOVA) değerlendirilmesinde SPSS (versiyon 16.0) istatistiksel paket programı kullanılmıştır. Değerlendirme sonucu, istatistiksel açıdan önemli bulunan değerler çoklu karşılaştırma testi LSD ile $p < 0.05$ önem derecesine göre belirlenmiştir. Sonuçlar, ortalama \pm standart sapma olarak verilmiştir.

3. Bulgular ve Tartışma

Ozmotik kurutma uygulanmış ve uygulanmamış limon dilimleri mikrodalga fırında üç farklı mikrodalga güç seviyesinde kurutulmuş ve kurutma süresi boyunca nem kayıp oranı, büzülme oranı ve renk değerleri belirlenmiştir. Ayrıca L, a ve b renk parametrelerinden yararlanılarak toplam renk değişimi, kroma değeri, kahverengileşme indeksi ve hue değerleri belirlenmiştir. Şekil 1' de kurutma süresi boyunca farklı mikrodalga güç seviyelerinde nem kaybı değişimi verilmiştir. Şekilden görüldüğü üzere mikrodalga kurutma (MD) yönteminde nem kaybı, kurutma süresi ve mikrodalga güç seviyesi artması ile artmıştır. Ancak 100 W mikrodalga gücünde kurutma süresi boyunca önemli bir artış olmamıştır.

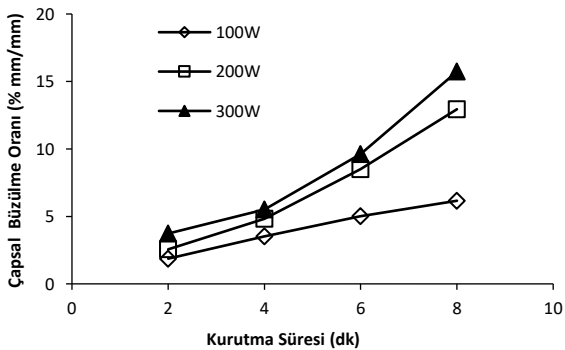


Şekil 1. Mikrodalga kurutmada nem kayıp oranı değişimi

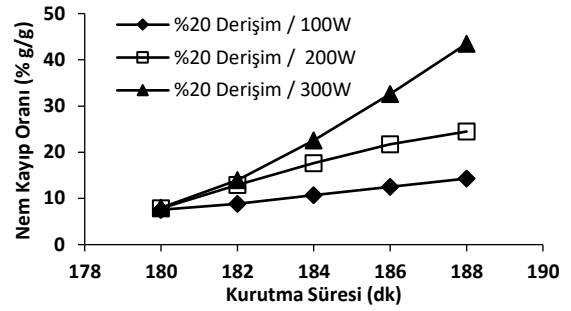
Kurutma periyodu sonunda en yüksek mikrodalga gücü 300 W düzeyinde mikrodalga gücünde nem kayıp oranı %36.51 ve en düşük 100 W da nem kayıp oranı %7.14 bulunmuştur. 300 W mikrodalga gücünde iki dakika kurutma süresi sonunda nem kaybı %6.41 iken 100 W mikrodalga gücünde kurutma periyodu sonunda nem kayıp oranı ancak %7.14'e ulaşılmıştır. Mikrodalga uygulamalarında artan nem kaybıyla ürün miktarı azalır ve absorbe edilen güç miktarı artar dolayısıyla kurutma süresi kısalmır (Sezer ve Demirdöven, 2015; Dinçer vd., 2021).

Şekil 2'de mikrodalga kurutma süresince farklı mikrodalga güç seviyelerinde büzülme oranı değişimi verilmiştir. Mikrodalga kurutma yönteminde büzülme oranı, kurutma süresi boyunca ve mikrodalga güç seviyelerinde nem kaybına bağlı olarak artmıştır. Üründeki nem içeriği azalırken yoğunluğu artmış ve ürün büzülmüştür (Talla vd., 2004). 100 W mikrodalga gücünde iki dakika mikrodalga kurutma süresinde büzülme oranı %19 iken sekiz dakika kurutma süresi sonunda %6'dır. Kuruma işleminin uzun sürmesi durumunda yoğunluk artışıyla birlikte büzülme oranı artmıştır (Heybeli ve Ertekin, 2007). 100 W mikrodalga gücünde sekiz dakika kurutma süresi sonunda büzülme oranı %6.16 iken 300 W güç seviyesinde dört dakika sonunda büzülme oranı %5.51 olmuştur.

Ozmotik ön kurutma işlemi uygulanmış mikrodalga kurutma işleminde (OMD), 10 mm dilim kalınlığında limon dilimleri oda sıcaklığında 1/10 katı/çözelti oranı,



Şekil 2. Mikrodalga kurutmada çapsal büzülme oranı değişimi

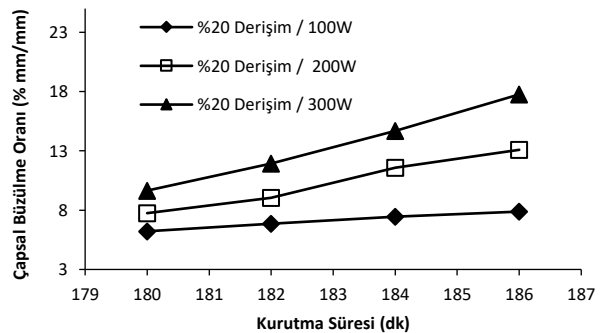


Şekil 3. Mikrodalga ile ozmotik birlikte kurutma işleminde nem kayıp oranı değişimi

%20 (w:v) derişiminde sodyum klorür çözeltisinde üç saat bekletilmiş daha sonra limon dilimleri çözeltiden süzülerek çıkarılarak mikrodalga fırına dizilerek kurutulmuştur. Şekil 3'de ozmotik kurutma uygulanmış mikrodalga kurutma süresi boyunca nem kaybı değişimi verilmiştir. Şekilden görüldüğü üzere bu yöntemde kurutma süresi ve mikrodalga güç seviyesi ile nem kaybı artmıştır. 100 W mikrodalga gücünde kurutma süresi boyunca önemli bir artış olmamıştır. Nem kaybındaki artış en fazla 300 W güç düzeyinde olmuştur. Ozmotik ön işlem uygulanmış örneklerin mikrodalga ile kurutulması sırasında nem kaybı oranı, ozmotik ön işlem uygulanmadan mikrodalga fırında kurutulan örnekler göre daha fazla olmuştur.

Şekil 4' te ozmotik ön kurutma işlemi uygulanan mikrodalga kurutma süresince farklı mikrodalga güç seviyelerinde büzülme oranı değişimi verilmiştir. Çapsal büzülme oranı, kurutma süresi ve mikrodalga güç seviyesinde nem kaybına bağlı olarak artmıştır. Ancak büzülme oranındaki bu artış, mikrodalga kurutmadakinden daha azdır. Nem kaybı artarken ozmotik ön işleminden dolayı katı madde kazanımı ile büzülme oranı azalmıştır. 100 W mikrodalga gücünde büzülme oranında kurutma süresiyle önemli bir değişim olmazken 200 W ve 300 W'ta artış olmuştur.

300 W güç seviyesinde iki dakika sonundaki büzülme oranı %11.93, 100 W mikrodalga gücünde sekiz dakikada büzülme oranı %7.88'dir. Ozmotik ön kurutma işlemi uygulanan üründen su, difüzyonla taşınırken çözülebilir



Şekil 4. Mikrodalga ile ozmotik birlikte kurutmada büzülme oranı değişimi

Tablo 1. Kurutulan limon dilimlerinin renk parametreleri

Renk Parametreleri	Kurutma Süresi (dk)		Mikrodalga Güç Seviyesi (W)			
			100 W	200 W	300 W	
Renk Parametreleri	OMD	K	Taze	14.599±0.024 ^a	18.697±0.023 ^a	14.073±0.035 ^a
			2	13.653±0.020 ^a	17.449±0.022 ^a	12.876±0.026 ^a
			4	13.231±0.021 ^a	16.731±0.032 ^a	12.249±0.031 ^a
			6	12.771±0.020 ^a	16.021±0.023 ^b	11.328±0.025 ^b
			8	12.192±0.012 ^b	15.208±0.020 ^b	10.517±0.024 ^b
		h	Taze	96.687±0.079 ^a	95.833±0.032 ^a	98.944±0.067 ^a
			2	95.042±0.064 ^a	94.273±0.053 ^a	96.242±0.058 ^a
			4	93.901±0.067 ^a	93.427±0.059 ^a	95.152±0.028 ^b
			6	92.244±0.070 ^b	92.863±0.035 ^a	94.051±0.028 ^b
			8	90.941±0.070 ^b	91.884±0.029 ^b	93.271±0.023 ^b
		ΔE	Taze	0±0.000 ^b	0±0.000 ^b	0±0.000 ^b
			2	0.302±0.003 ^b	0.324±0.003 ^a	0.374±0.002 ^a
	4		0.482±0.001 ^a	0.487±0.002 ^a	0.518±0.002 ^a	
	6		0.719±0.003 ^a	0.601±0.002 ^a	0.668±0.002 ^a	
	8		0.901±0.002 ^a	0.765±0.001 ^a	0.774±0.002 ^a	
	BI	Taze	-184.755±0.002 ^c	-184.029±0.005 ^c	-184.276±0.002 ^b	
		2	-186.003±0.004 ^c	-184.988±0.004 ^c	-185.668±0.002 ^b	
		4	-187.386±0.003 ^c	-185.934±0.005 ^b	-186.796±0.002 ^b	
		6	-191.776±0.004 ^b	-187.036±0.005 ^b	-188.975±0.003 ^a	
		8	-207.115±0.004 ^a	-190.269±0.004 ^a	-191.881±0.002 ^a	
	MD	K	Taze	14.269±0.015 ^a	14.525±0.021 ^a	12.454±0.016 ^a
			2	13.762±0.013 ^a	13.793±0.012 ^a	11.297±0.014 ^a
			4	12.847±0.026 ^a	13.186±0.012 ^a	10.806±0.014 ^a
			6	12.341±0.020 ^a	12.479±0.019 ^a	10.474±0.022 ^a
8			10.631±0.020 ^b	10.966±0.017 ^b	9.489±0.012 ^b	
h		Taze	95.631±0.047 ^a	97.516±0.058 ^a	101.581±0.053 ^a	
		2	95.421±0.068 ^a	96.661±0.069 ^a	100.713±0.054 ^a	
		4	94.912±0.049 ^a	96.532±0.056 ^a	101.216±0.051 ^a	
		6	94.648±0.044 ^a	96.442±0.059 ^a	100.452±0.053 ^a	
		8	94.316±0.054 ^a	96.283±0.054 ^a	97.874±0.052 ^b	
ΔE		Taze	0±0.000 ^b	0±0.000 ^b	0±0.000 ^b	
		2	0.082±0.002 ^b	0.166±0.004 ^b	0.189±0.005 ^b	
	4	0.238±0.003 ^a	0.235±0.005 ^a	0.218±0.004 ^b		
	6	0.322±0.004 ^a	0.305±0.005 ^a	0.301±0.005 ^a		
	8	0.504±0.005 ^a	0.447±0.004 ^a	0.547±0.005 ^a		
BI	Taze	-184.108±0.004 ^b	-183.613±0.004 ^b	-183.467±0.004 ^b		
	2	-184.317±0.004 ^b	-183.937±0.004 ^a	-183.824±0.004 ^b		
	4	-184.85±0.004 ^b	-184.125±0.004 ^a	-183.893±0.005 ^b		
	6	-185.22±0.004 ^a	-184.364±0.004 ^a	-184.114±0.003 ^a		
	8	-186.534±0.005 ^a	-185.035±0.003 ^a	-185.219±0.003 ^a		

*a-c: farklı harfler ortalamaların istatistiksel olarak önemli olduğunu göstermektedir (P<0.05)

maddeler ise taşınımla ozmotik çözeltiye geçer ise ozmotik ajanın ürüne geçişinden dolayı daha az büzülme görülür (Taiwo ve Adeyemi, 2009). Mikrodalga kurutmadan önce uygulanan ozmotik ön kurutma işlemi, katı madde miktarını artırır, dielektrik özellikleri değiştirir dolayısıyla büzülme oranı ve kurutma süresi azalır. Ayrıca tekrar su alma ve gözeneklilik arttığı için homojen ısı dağılımı sağlanır (Tunçer, 1990; Yağcıoğlu, 1994; İzli, 2012).

Ozmotik kurutma uygulanmış ve uygulanmamış limon dilimleri mikrodalga fırında kurutulması boyunca nem kayıp oranı ve büzülme oranı üzerine etkisi istatistiksel analizle belirlenmiştir. Varyasyon analizi sonuçlarına göre sadece ozmotik kurutma uygulanmamış limon dilimlerinin mikrodalga fırında kurutma süresi boyunca

mikrodalga güç seviyesinin büzülme oranı üzerine önemli bir etkisi olduğu bulunmuştur (p<0.05).

L, a, ve b renk parametreleri ürünlerdeki kalite kontrol için öncelikle başvurulan değerlerdir (Maskan, 2001). Mikrodalga gücü ile a değerindeki negatif yönde meydana gelen artış yeşilliğin arttığını göstermektedir. B değerinin azalması sarılıktan uzaklaşma anlamına gelir. Yüksek güç değerinde yapılan kurutma işlemi ürünün sarılık değerinin muhafazasına olumsuz etki ederken düşük güç değerinde yapılan kurutma işleminin ise olumlu etki ettiği belirlenmiştir (Polatçı ve Taşova, 2018). L değerindeki azalış esmerleşme reaksiyonlarına işaret etmektedir. Yüksek mikrodalga gücü, mikrodalga kurutma süresi düşük L değerine dolayısıyla daha mat görünüme sebep olmaktadır (Sezer ve Demiröven, 2015);

İzli, 2012). Limon dilimleri beyaz sarı arasında renk tonuna sahip olduğundan özellikle L ve b renk değerleri önemlidir. Çizelge 1' de ön işlem uygulanmış ve uygulanmamış limon dilimlerine ait kroma (K), hue açısı (h), toplam renk değişimi (ΔE) ve kahverengileşme indeksi (BI) gibi renk parametreleri verilmiştir. Çizelge 1'den görüldüğü gibi L, a ve b değerlerinden yararlanılarak hesaplanmış olan renk parametreleri kurutma süresi boyunca değişmiştir.

Kurutulmuş ürünlerin son kalite değerleri hakkında kroma değeri önemli bir fikir vermektedir (Polatçı ve Taşova, 2020). Kroma değeri, rengin saflığını veya doygunluğunu göstermektedir. Soluk renklerde kroma değerleri düşerken canlı renklerde ise kroma değeri yükselmektedir (Mutlu ve Güneş, 2008). Çizelge 1'e görüldüğü gibi ozmotik dehidrasyon uygulanmış ve uygulanmamış örneklerin sabit mikrodalga kurutma gücünde kurutma süresi boyunca kroma değerleri azalmıştır. Kroma değerlerinde 100 W ve 200 W mikrodalga güç seviyesinde önemli bir değişim olmazken 300 W düzeyinde düşmüştür. Kroma değeri açısından kurutulmuş ürünler kendi aralarında kıyaslandığında tazeye en yakın değer 100 W ve iki dakika kurutma koşulunda belirlenmiştir.

Mikrodalga destekli ozmotik kurutmada kroma değerleri, mikrodalga kurutmada göre daha fazladır. Mikrodalgayla kurutma sırasında ürünlerin L değerlerinde ozmotik ön işlem uygulanmış mikrodalga kurutmaya göre önemli derecede azalmanın gerçekleştiğini, ozmotik ön işlem gören örneklerin tazelerine göre parlaklıklarının dolayısıyla kroma değerinin azaldığı belirlenmiştir (Zorlugenç ve Fenerlioğlu, 2012). Kroma değerleri, kurutma süresinin artması ile azalmıştır. Tüm mikrodalga güç seviyelerinde kurutulmuş ürünlerin kroma değerleri taze ürünün kroma değerinden daha az olduğu belirlenmiştir. Bunun nedeni a ve b değerlerindeki değişimdir. Güç değerinin artması ile kroma değeri azalmıştır. Taze ürüne göre kroma değerindeki en fazla değişim uygulanan en yüksek mikrodalga güç seviyesinde gerçekleşmiştir.

Hue açısı, renk tonunu ifade etmektedir. a ve b değerlerinin 360°'lik bir renk dairesi içerisinde 0° açı değeri, kırmızı-mor, 90° açı değeri sarı rengi, 180° açı değeri mavimsi-yeşil, 270° açı değeri ise mavi rengi göstermektedir (Altuntas vd., 2020). Mikrodalga kurutmada hue açısı, 94-101 arasında değişmiştir. Hue açısında, 100 W ve 200 W güç seviyesinde mikrodalga kurutma süresi ile önemli bir değişim görülmezken, sabit kurutma süresinde mikrodalga gücü ile artış gözlenmiştir. Çizelge 1' den görüldüğü gibi mikrodalga kurutmada taze ürüne göre hue açısında sadece 300 W ve 8 dakikada önemli fark olmuştur, diğer koşullarda hue açısında önemli bir değişim olmamıştır. Taze ürünün hue renk değerinden en az uzaklaşmanın ise 100 W ve 2 dakika

değerinde yapılan kurutma işlemi olduğu belirlenmiştir. Mikrodalga destekli ozmotik kurutmada hue açısı, 90-99° arasında değişmiştir. Taze ürüne göre hue açısında kurutma süresi ile mikrodalga kurutmaya göre daha fazla bir azalma görülürken mikrodalga gücü ile kısmen artış olmuştur. Hue açısındaki düşüş, a ve b değerlerindeki düşüş ile beraber kahverengileşmeyi göstermektedir (Turgut ve Topuz, 2020). Mikrodalga destekli ozmotik kurutmada hue açısı 90° a kadar düşmüş olup, 90° değeri sarılığın ifade etmektedir. Hue değerinin 90° dan 180° ye doğru değişmesi yeşil rengin baskınlaştığını göstermektedir (Şelem vd., 2021). Dolayısıyla mikrodalga kurutma öncesi ozmotik ön işleminin limon dilimlerinin sarı rengini koruyarak hue açısına olumlu katkısı olduğu görülmüştür.

ΔE değeri, kurutma süresince ürün renginin referans alınan noktadan uzaklaşmasının ölçüsüdür (Zorlugenç ve Fenerlioğlu, 2012). ΔE değeri, taze ürünün renk değerlerine göre kurutma şartlarının etki ettiği toplam renk farklılık değerini belirlemek için kullanılmaktadır. Çizelge 1'de görüldüğü üzere mikrodalga kurutma süresi ile ΔE değerleri artmıştır. Mikrodalga güç seviyesinin artmasıyla ikinci dakikadan sonra önemli bir değişim olmamıştır. Mikrodalga destekli ozmotik kurutmada kurutma süresi ile ΔE renk değişimi artmış ancak mikrodalga güç seviyesi ile önemli bir artış görülmemiştir. ΔE renk değişimi en az mikrodalga kurutma da 100 W ve 2 dakika kurutma koşullarında görülmüştür. Düşük mikrodalga güç düzeylerinde L değerinin artmasıyla ürün parlaklaşıp, ΔE değeri düşmüştür (Sezer ve Demiröven, 2015). Düşük mikrodalga güçlerinde daha az renk değişimi gözlemlenir (Polat vd., 2020). Bunun nedeni, yüksek güç değerinde ürünün hızlı kuruyarak renk değerini muhafaza edememesidir (Polatçı ve Taşova, 2018). Mikrodalga ile ozmotik birlikte kurutmada renk değişimi mikrodalga kurutmaya göre daha fazla olmuştur. Çizelge 1' de görüldüğü gibi mikrodalga kurutmada taze ürünün kahverengileşme değerleri sabit mikrodalga gücünde kurutma süresiyle artmış ve sabit kurutma süresinde artan mikrodalga gücüyle azalmıştır. Mikrodalga kurutma daha az kırmızılığa neden olduğundan geleneksel hava ile kurutulmuş ürünlere göre daha az kahverengileşme olur (Darvishi vd., 2014). Bu sebeple 200 W ve 300 W mikrodalga güç seviyesinde ürünün kahverengileşme değerlerinde önemli bir fark görülmemiştir. Taze ürüne göre kahverengileşme değerindeki en fazla değişimin 100 W güç değerinde ve 8 dakika kurutma süresinde olduğu belirlenmiştir. Kurutma süresi boyunca tüm mikrodalga güç seviyelerinde 8 dakika ya kadar kahverengileşme indeks değerleri arasında önemli bir fark görülmemiştir. Mikrodalga kurutmadan önce uygulanan ozmotik kurutma da mikrodalga güç seviyesi ve kurutma süresi kahverengileşme indeksi üzerine önemli bir etkisi olmadığı gözlenmemiştir. Ayrıca mikrodalga kurutmaya

göre ozmotik ön işlem uygulanmış mikrodalga kurutmada kahverengileşme indeksi değeri daha yüksektir.

Mikrodalga kurutmada ısı merkezden yüzeye doğru transfer edildiğinden üründeki su içeriden yüzeye gelir ve yüzeyden buharlaşır. Bu işlem, yüzeyde aşırı ısınmaya neden olmadan kurumayı sağlar. Bu nedenle mikrodalga kurutma da kondüktif ve konvektif kurutma yöntemlerinden yüzeysel olarak renk bozulması daha az olup, ürün rengi daha iyi korunur (Darvishi vd., 2014).

Ozmotik dehidrasyon ön işlemin uygulamasının kurutma süresince renkteki bozulmaları engellediği ve diğer kurutma yöntemleri ile kıyaslandığında renk değişiminin daha az etkilendiği belirlenmiştir. Ozmotik kurutma işlemi sırasında kuru madde kazanımı ile sarılık değerinin daha az etkilendiği görülmüştür).

Ozmotik kurutma uygulanmış ve uygulanmamış limon dilimlerinin mikrodalga fırında kurutulması boyunca renk parametrelerinin istatistiksel analizi yapılmış, ANOVA sonuçlarına göre ozmotik kurutma uygulanmış limon dilimlerinin mikrodalga fırında kurutulmasında kurutma süresi boyunca renk parametrelerinin mikrodalga güç seviyesinin kroma üzerine etkisi anlamlı bulunmuştur ($p<0.05$). Ozmotik kurutma uygulanmamış limon dilimlerinin mikrodalga fırında kurutulmasında ise kurutma süresi boyunca mikrodalga güç seviyesinin kroma ve hue değerleri üzerine etkisi anlamlı bulunmuştur ($p<0.05$).

4. Sonuç

Limon dilimlerine mikrodalga kurutmadan önce uygulanan ozmotik ön kurutma işlemi nem kaybını artırırken dilimlerin büzülmesini önemli ölçüde etkilememiştir. Nem kayıp oranı ve çapsal büzülme oranı, mikrodalga güç seviyesi ve mikrodalga kurutma süresi ile artmıştır. Düşük mikrodalga güçlerinde, renk kaybı daha az olduğu için tazeye en yakın renk parametreleri 100 W mikrodalga gücünde elde edilmiştir. Mikrodalga kurutma öncesi uygulanan ozmotik dehidrasyon işlemi ile limon dilimlerinin sarı rengi muhafaza edildiğinden kroma değeri ve hue açısı değerleri korunmuştur. Taze limon dilimlerinin kroma değerine en yakın değer, mikrodalga kurutma öncesi ozmotik dehidrasyon ön işlemi uygulanmış örneklerde, 100 W ve iki dakika kurutma koşulunda olduğu belirlenmiştir. Taze limon dilimlerine en yakın hue açısı değeri, ozmotik dehidrasyon ön işlemi uygulanmış mikrodalga kurutmada, 100 W ve 8 dk da elde edilmiştir. Tazeye en yakın kahverengileşme indeksi ve ΔE renk değişimi ise ön işlem uygulanmamış mikrodalga kurutma yönteminde 100 W ve iki dakika kurutma koşulunda görülmüştür. Limon dilimlerinin düşük mikrodalga kurutma süresi ve mikrodalga şiddetinde nem kaybı önemli ölçüde azalmazken renk parametreleri korunmuştur.

Teşekkürler

Bu çalışma Tarsus Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından MF.21.007 no'lu proje ile desteklenen yüksek lisans tezinden üretilmiştir.

Yazar Katkı Oranları

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan eder.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Etik Kurul Onayı

Bu çalışmanın yazarları olarak herhangi bir etik kurul onay bilgileri beyanımız bulunmadığını bildiririz.

Kaynakça

- Aboud, A. (2013). Drying characteristic of apple slices undertaken the effect of passive shelf solar dryer and open sun drying. *Pakistan Journal of Nutrition*, 12(3), 250-254.
- Alibaş, İ. (2012). Asma yaprağının (*Vitis vinifera* L.) mikrodalga enerjisiyle kurutulması ve bazı kalite parametrelerinin belirlenmesi. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 18, 43-53.
- Alkaç, S. P. (2019). Isı pompalı infrared kurutucuda dilimlenmiş limonun kurutulmasının performans analizi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Enerji Sistemleri. Mühendisliği, ABD.
- Altuntaş, E., Gül, E. N., & Gök, H. (2020). Menengiç meyve ve tohumlarının fiziksel, mekanik ve kimyasal özelliklerinin belirlenmesi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*, 23(6), 1518-1528.
- Anonim, (1999). Sanayii de enerji yönetimi esasları. Elektrik işleri etüt idaresi ulusal enerji merkezi tasarruf merkezi.
- Anonim, 2020. Ekonomik rapor. Mersin Ticaret Odası, Ekonomik Araştırmalar Müdürlüğü, Mersin.
- Aygören, E. (2021). Tarımsal ekonomi ve politika geliştirme enstitüsü, ürün raporu turunçgiller, Tepge, Yayın No: 333.
- Çetin, N., Sağlam, C., & Demir, B. (2019). Effects of different drying conditions on physical changes of apple (*Malus communis* L.). *Mustafa Kemal Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 24, 71-77.
- Darıcı, S., Şen, S. (2012). Kivi meyvesinin kurutulmasında kurutma havası hızının kurumaya etkisinin incelenmesi. *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 20(130), 51- 58.
- Datta, A.K., Davidson, P.M. (2000). Microwave and radio frequency processing. *Journal of Food Science*, 65, 32-41.
- Diñçer, C., Çınar, A., & Elmasulu, S. (2021). Farklı mikrodalga güç seviyelerinde ve farklı fırın sıcaklıklarında kurutulan hibiskus çanak yapraklarının kuruma karakteristiklerinin ve

- bazı fizikokimyasal özelliklerinin belirlenmesi. *GIDA*, 46(3), 647-659.
- Ertekin, C., Yıldız, O. (1998). Bazı sebze, meyve ve baharatlı bitkilerin kurutulma yöntemleri ve kullanılan güneş enerjili kurutucular. Tarımsal Mekanizasyon 18. Ulusal Kongresi, Tekirdağ, 673-693.
- Güngör, A., Özbalt, N. (1997). Endüstriyel kurutma sistemleri. III. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi.
- Heybeli, N., Ertekin, C. (2007). Elma dilimlerinin ince tabaka halinde kuruma karakteristiği. *Tarım Makineleri Bilimi Dergisi*, 3(3), 179-187.
- İzli, N. (2012). Bazı tarımsal ürünlerin mikrodalga konvektif kurutma yöntemiyle ince tabaka kurutma kuramına göre kurutulmasında kurutma parametrelerinin belirlenmesi. Doktora Tezi, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Makineleri ABD.
- Karaaslan, S. (2008). Kırmızıbiberin fan destekli mikrodalga ile kurutulmasında kuruma karakteristiklerinin incelenmesi ve uygun kuruma modelinin belirlenmesi. *KSÜ Tarım ve Doğa Dergisi*, 12(2), 9-16.
- Kıroğlu Zorlugenç, F., & Fenercioğlu, H. (2012). Ozmotik dehidrasyon ve sıcak hava ile kurutma işleminin Trabzon hurması meyvelerinin renk özellikleri üzerine etkileri. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 28, 149-159.
- Kutlu, N., İşci, A. (2016). Farklı kurutma yöntemlerinin patlıcanın kurutma karakteristikleri üzerine etkisi ve kurutmanın matematiksel modellenmesi. *Akademik Gıda*, 14(1), 21-27.
- Maskan, M. (2000). Microwave/air and microwave finish drying of banana. *Journal of Food Engineering*, 44, 71-78.
- Maskan, M. (2001). Kinetics of colour change of kiwifruits during hot air and microwave drying. *Journal of Food Engineering*, 48, 169-175.
- Moses, J. A., Norton, T., Alagusundaram, K., & Tiwari, B. K. (2014). Novel drying techniques for the food industry. *Food Engineering Reviews*, 6(3), 43-55.
- Mutlu, A., & Ergüneş, G. (2008). Tokat'ta güneş enerjili rafli kurutucu ile domates kurutma koşullarının belirlenmesi. *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi*, 1, 61-68.
- Özbek, H. N., Aysel, E., Işınay, B., Sever, M., Bulut, Ş. E., Yanık, D. K., Dalgıç, A. C., & Göğüş, F. (2021). Kombine kurutma sistemiyle kurutulan kayısıların renk parametreleri üzerine depolamanın etkisi. *Akademik Gıda*, 19(3), 257-266.
- Pandya, R., & Yadav, K. C. (2014). Study on effect of pretreatments and microwave drying on banana chips. *IOSR Journal of Agriculture and Veterinary Science*, 7(7), 04-10.
- Polat, A., Kurtulmuş, F., İzli, N. (2020). Sürekli ve kesikli mikrodalga yöntemleriyle kurutulan elmanın renk değişim analizi. *Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 34(1), 149-165.
- Polatçı, H., & Taşova, M. (2017). Mikrodalga yöntemi ile kurutulan dereotu yapraklarının (*Anethum graveolens* L.) kurutma kinetiği ve renk değerlerinin belirlenmesi. *Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi*, 6, 42-51.
- Polatçı, H., & Taşova, M. (2018). Mikrodalga fırın ile kurutulan yenidünya (*Eriobotrya japonica* L.) meyvesinin kuruma kinetiği ve kalitesinin belirlenmesi. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 33(2), 124-130.
- Polatçı, H., Taşova, M., Saraçoğlu, O., & Taşkın, O. (2018). Şeftali (*Prunus persica* L.) posasının farklı sıcaklıklarda kuruma parametrelerinin belirlenmesi. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 14(3), 149-156.
- Schiffmann, R.F. (1986). Food product development for microwave processing. *Food Technology*, 40(6), 94-98.
- Sezer, D. B., & Demirdöven, A. (2015). Meyve sebze işlemede mikrodalga haşlama uygulamaları. *GIDA*, 40(3), 171-178.
- Şelem, E., Nohutçu, L., Tunçtürk, R., & Tunçtürk, M. (2021). Vermikompostlu ortamda yetiştirilen *Calendula officinalis* L. bitkinde tuz stresinin morfolojik ve anatomik gelişim parametreleri üzerindeki etkisi. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 11(4), 3222-3231.
- Taiwo, K. A., & Adeyemi, O. (2009). Influence of blanching on the drying and rehydration of banana slices. *African Journal of Food Science*, 3(10), 307-315.
- Talla, A., Puiggali, J. R., Jomaa, W., & Jannot, Y. (2004). Shrinkage and density evolution during drying of tropical fruits: application to banana. *Journal of Food Engineering*, 64(1), 103-109.
- Tekiner, İ. H., Mercan, N. N., Kahraman, A., & Özel, M. (2021). Dünya ve Türkiye'de gıda israfı ve kaybına genel bir bakış. *İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 3(2), 123-128.
- Tunçer, İ. K. (1990). Characterization and drying of vegetables by hot air and microwave energy. Proceedings of the 4th International Congress on Mechanization and Energy in Agriculture, 1-4 October, Adana, Turkey.
- Turgut, D. Y., & Topuz, A. (2020). Depolama süresinin farklı kurutma yöntemleri ile kurutulmuş kamkat dilimlerinin bazı kalite özelliklerine etkisi. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 30(1), 44-56.
- Yağcıoğlu, A. (1999). Tarım Ürünleri Kurutma Tekniği. Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Yayınları No:536, Bornova, İzmir. 121-248.
- Yılmaz, M. S. (2015). Brokolinin mikrodalga kurutma karakteristiklerinin belirlenmesi ve modellenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği, ABD.