

Farklı Kurutma Yöntemleriyle Meyve Kabuğu Tozu Elde Edilmesi: Fiziksel Özellikler, Toz Ürün Özelliği ve Kurutma Yöntemlerinin Enerji Verimliliği Yönünden İncelenmesi

Safiye DİRİM^{1*}, Eylül Elif METİNER², İrem BIYIKLI³, Nilay YÜCEL⁴, Tuğçe TÜRKÖĞLU⁵

¹ Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, İzmir, TÜRKİYE

¹nur.dirim@ege.edu.tr, ²emetiner162@gmail.com, ³iirembiyikli@gmail.com, ⁴yucel22@itu.edu.tr,
⁵tugceturkoglu@outlook.com

(Geliş/Received: 10/02/2023;

Kabul/Accepted: 29/03/2023)

Öz: Bu çalışmanın amacı; nar, portakal ve elma kabuklarının konveksiyonel ve mikrodalga kurutma yöntemleri kullanılarak kurutulması ile elde edilen tozların fiziksel ve toz ürün özellikleri ile kullanılan kurutma tekniklerinin enerji verimliliğinin incelenmesidir. Bu kapsamda seçilen meyveler konveksiyonel (90-120-150 °C) ve mikrodalga fırın (360-540-720W) kullanılarak üç farklı koşulda kurutulmuştur. Kurutma sonunda elde edilen toz ürünün özelliklerini belirlemek için fiziksel ve toz ürün analizleri yapılmıştır. Ayrıca, meyve kabuklarının kurutulması sırasında kullanılan kurutucuların enerji verimliliği belirlenmiştir. Meyve kabuğu tozlarında nem içeriği ve su aktivitesi değerleri incelendiğinde her iki yöntemde nem içeriği değerleri %1 ile %11 arasında değişim gösterirken, su aktivitesi sonuçları güvenilir gıda kriteri olan 0.6'nın altında bulunmuştur. Farklı kurutma teknikleri ve koşullarının meyve kabuğu tozlarının rengine olan etkisi değerlendirildiğinde en yüksek parlaklık değeri (L^*) ve en çok renk değişimi (ΔE) tüm meyve kabuğu tozlarında konveksiyonel kurutma yönteminde tespit edilmiştir. Aynı zamanda farklı kurutma koşullarında toz ürünlerin akabilirlik davranışı çok iyi düzeyde bulunurken, yapışkanlık davranışı ise düşük düzeyde bulunmuştur. Enerji tüketiminde ise her iki kurutma yönteminde de güç ve sıcaklık arttıkça SMER değerinde azalış ve SEC değerinde artış gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Meyve kabuğu tozu, enerji verimliliği, mikrodalga kurutma, konveksiyonel kurutma, atık değerlendirme

Obtaining Fruit Peel Powder by Different Drying Methods: Investigation of Physical Properties, Powder Properties and Energy Efficiency of Drying Methods

Abstract: The aim of this study is to investigate the energy efficiency of the drying techniques used with the physical and powder product properties of powders obtained by drying pomegranate, orange and apple peels using convection and microwave drying methods. In this context, the selected fruits were dried under three different conditions using convection (90-120-150°C) and microwave oven (360-540-720W). Physical and powder product analyzes were performed to determine the properties of the powder product obtained at the end of drying. In addition, the energy efficiency of the dryers used during the drying of fruit peels has been determined. When the moisture content values of the fruit peel powders were examined, the moisture content values varied between 1% and 11% in both methods, while the water activity results were found to be below the reliable food criterion. When the effect of different drying techniques and conditions on the color of fruit peel powders was evaluated, the highest brightness value (L^*) and the most color change (ΔE) were determined in all fruit peel powders by convection drying method. In terms of energy consumption, a decrease in the SMER value and an increase in the SEC value were observed as the power and temperature increased in both drying methods.

Keywords: Fruit peel powder product, energy efficiency, microwave drying, convection drying, waste valorization

* Sorumlu yazar: nur.dirim@ege.edu.tr, Yazarların ORCID Numarası: ¹ 0000-0002-0533-4275-, ² 0000-0003-4324-4980, 30000-0002-4628-3187, 40000-0003-3344-0742, 50000-0003-3563-9130

1. Giriş

Son yıllarda üretim ve tüketime bağlı olarak dünya genelinde gıda atık miktarı giderek artmaktadır. Özellikle meyve sebze üretim tesislerinde ayıklama, kabuk soyma, çekirdek çıkarma gibi fiziksel işlemler sonucunda oluşan kabuk, posa ve çekirdek gibi organik atıkların fazla olduğu görülmektedir. Çevrenin korunması, ekonomik katkı sağlanması ve gıda kaynaklarının verimli kullanılması amacıyla organik atıkları değerlendirme çalışmaları yapılmaktadır [1]. Günümüzde yapılan araştırmalarla birlikte organik atıkların besin değeri bakımından zengin kaynaklar olduğu anlaşılmış, gıda atıklarının katma değerli ürünlere verimli bir şekilde dönüştürülmesini sağlamak için modern yöntemler ve teknolojiler araştırılmaya başlanmıştır [2].

Nar (*Punica granatum* L.), *Lythraceae* familyası (Kınagiller) *Punica* cinsine ait en eski meyve çeşitlerinden biridir. Nar meyvesi taze tüketiminin yanı sıra reçel, şarap, meyve suyuna işlenmektedir. Narın işlenmesi sırasında nar posası, nar kabuğu ve nar çekirdekleri gibi yan ürünler açığa çıkmaktadır [3]. Nar kabuğu meyvenin işlenmesi ile ortaya çıkan zengin bir yan üründür. Genellikle tarımsal ve endüstriyel atık olarak kabul edilen nar kabuğu antioksidan aktivite açısından değerlendirildiğinde etkili olduğu bilinmektedir. Nar kabuğunun çok işlevli ve besleyici özelliklerinin olması sebebiyle, gıda endüstrisi nar kabuğunu kullanmanın yeni yollarını aramaktadır [4].

Portakal, *Citrus* cinsi bir ağaç çeşidi olan *Citrus sinensis*'in meyvesi olarak tanımlanmaktadır. Portakal meyvesi gıda endüstrisinde daha çok dondurma, bisküvi, reçel, meyve suyu ve çay yapımında kullanılırken, portakal kabuğu, gıda endüstrisi için önemli birincil yan ürün olarak ortaya çıkmaktadır. Kabukların içerisinde bulunan pektin, gıda endüstrisinde reçel ve jöle yapımında kıvam verme ve jelleştirme ajanı olarak kullanılmaktadır [5]. Yapılan çalışmalarla portakal kabuğunun içerisindeki fenolik madde, mineral madde ve vitamin içeriğinin fazla olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle günümüzde atık değerlendirme konusunda yapılan araştırmalarda tercih edilmektedir [6].

Elma, *Rosaceae* familyasına ait *Malus communis* L. cinsinden gelmektedir. Elma, taze olarak tüketilmesinin yanı sıra meyve suyu, şarap, sirke, reçel, marmelat, pekmez gibi ürünlere işlenmektedir. Elma ürünlerinin işlenmesi sırasında çok fazla miktarda elma kabuğu ortaya çıkmakta ve atık olarak değerlendirilmektedir [7]. Elma kabuğunun lif ve mineraller açısından zengin olması nedeniyle gıda endüstrisinde kullanımı ve atık bertarafında değerlendirilmesi verimli ve çevre dostu çözümler için önemlidir [8,9].

İlk çağlardan beri insanoğlu gıdaları korumak, uzun süre depolamak ve farklı ürünlere işleyebilmek için birçok yöntem kullanmaktadır. Bu yöntemlerden biri olan kurutma işlemi ürünlerin hasat edilip tüketiciye ulaşmasına kadar geçen sürede ürün kaybının olmaması, gıdaların uzun süre fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik olarak bozulmadan saklanması için uygulanmaktadır [10]. En genel tanımıyla bir dehidrasyon tekniği olan kurutma işlemi nemin ısı ve kütle aktarımı yoluyla ürün bölgesinden uzaklaştırılmasıdır. Bu yöntem ile su aktivitesi değeri düşürülerek mikrobiyal faaliyetlerin oluşması engellenmekte, enzim aktivitesi azaltılarak kimyasal bozulmanın önüne geçilmektedir [11]. Böylece gıdaların uzun süre zarar görmeden saklanması sağlanarak üründe meydana gelebilecek fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik değişiklikler önlenmektedir. Bunun yanında ürünlerin raf ömrü uzatılarak kalite özellikleri korunmakta, ürün hacminin azaltılmasıyla taşımada ve depolamada verimlilik sağlanmaktadır.

Konveksiyonel kurutma tekniği, yüksek hava sıcaklıkları gerektirmesi ve kurutma sürelerinin uzun olmasına rağmen gıda endüstrisinde ekonomik olduğu için yaygın olarak uygulanan bir tekniktir. Konveksiyonel kurutmada işlem kontrolünün kolaylıkla sağlanabilmesi, ekipman bakımı ve temizliğinin kolay olması bu sistemin tercih edilmesinde önemli etkenlerdir. Ancak bu yöntemde kurutma işleminin uzun sürmesi, enerji tüketiminin artması ve ürünün kalite özelliklerinde kayıp olması gibi bazı dezavantajlar da vardır [12].

Mikrodalga kurutma tekniği, ürünün mikrodalga enerjisini emerek ve enerjiyi ısıya dönüştürerek kurutulması işlemidir. Mikrodalga kurutma yönteminin geleneksel yöntemlerden farkı ısının doğrudan ürün içerisinde oluşması ve kısa sürede içerisinde bulunan suyu buharlaştırmasıdır [13]. Bu kurutma yönteminde üründe ısı oluşumu ve iletimi daha hızlı olmakta, böylece kuruma süresi kısalmaktadır. Ancak bu avantajların yanında yatırım maliyetleri yüksek olmakta ve düzensiz ısıtma sağlamaktadır. Bu nedenle son yıllarda mikrodalga yöntemi farklı kurutma yöntemleri ile kombine edilmiş bir şekilde uygulanmaktadır [14].

* Sorumlu yazar: janset@yildiz.edu.tr. Yazarların ORCID Numarası: ¹ 0000-0001-6359-0624, ^{2*} 0000-0003-1886-5240

Gıda endüstrisinde kurutma tekniği, ürün özellikleri ve kalite açısından önemli olmakla birlikte yüksek miktarda enerji kullanılmasından ötürü sürekli geliştirilmekte olan bir teknolojidir [15]. Günümüzde gıda endüstrisinde kullanılan kurutma yöntemlerinin, uzun kuruma süresine ve fazla enerji tüketimine sahip olması sebebiyle çok fazla tercih edilmemekte, tasarımlarının eksik olması nedeniyle düşük enerji verimliliğine neden olmaktadır. Buna ek olarak kurutma işleminde kullanılan yöntemler enerji tüketimini etkilediği gibi kurutma maliyetini de etkilemektedir. Kurutma maliyeti toplam maliyetin büyük bir kısmını oluşturduğu için üretimlerde enerji tasarrufu sağlamak amacıyla kurutucu sistemlerin etkinliği ve verimliliği belirlenmektedir. Bunun için kurutucuların özgül nem uzaklaştırma hızı (SMER: Specific Moisture Extraction Rate (kg/kWh)), nem uzaklaştırma hızı (MER: Moisture Extraction Rate (kg/h)) ve özgül enerji tüketimi (SEC: Specific Energy Consumption (MJ/kg)) hesaplanmaktadır. Düşük özgül enerji tüketim değerlerine sahip olan sistemlerin enerji verimliliğinin yüksek olduğu anlaşılmaktadır [16,17].

Literatür araştırmaları sonucunda gıda endüstrisinde atık olarak açığa çıkan meyve kabuklarının değerlendirilmesi amacıyla yapılan pek çok çalışma olmakla birlikte meyve kabuklarının kurutulması ve elde edilen kurutulmuş ürünlerden toz eldesi ve kullanılan kurutma yöntemlerinin enerji verimliliği açısından değerlendirilmesi konularının çalışmalara genel olarak dâhil edilmediği fark edilmiştir. Bu nedenle bu çalışmada seçilen üç farklı meyve kabuğunun (nar, portakal ve elma) iki farklı kurutma yöntemi (konveksiyonel kurutma ve mikrodalga kurutma) kullanılarak kurutulması ile elde edilen tozların fiziksel özellikleri, toz ürün özellikleri ve kullanılan kurutma tekniklerinin enerji verimliliğinin incelenmesi amaçlanmıştır.

2. Materyal Ve Yöntem

2.1 Materyal

Kurutma deneylerinde kullanılacak nar (*Punica granatum*), portakal (*Citrus sinensis*) ve elma (*Malus pumila* 'Fuji') İzmir'deki yerel marketlerden temin edilmiştir. Meyvelerin kabukları soyularak, fizyolojik ve kimyasal değişimlere uğramamaları için kurutma denemelerinde kullanılana kadar buzdolabı koşulunda (+4 °C) muhafaza edilmiştir. Kurutma çalışmalarında kullanılan kabuklar eşit büyüklükte olacak şekilde boyutlandırılmıştır. Taze nar kabukları 10±0,5 mm (uzunluk), 10±0,5 mm (genişlik) olacak şekilde, portakal kabukları 10±0,5 mm (uzunluk), 10±0,5 mm (genişlik) ve 4±0,5 mm kalınlık ölçülerinde kesilmiştir. Elma kabukları ise 10±0,5 mm (uzunluk), 5±0,5 mm (genişlik) ve 2±0,5 mm kalınlık ölçülerinde boyutlandırılmıştır.

2.2 Yöntem

Kurutma öncesi hazırlanan meyve kabukları cam petriye kabuk kısmı üste gelecek şekilde yerleştirilmiştir. Konveksiyonel kurutma yönteminde konveksiyonel fırın (Beko AFE 24300, Türkiye) kullanılmıştır. Örnekler 90-120-150 °C sıcaklıklarda kurularak denemeler gerçekleştirilmiştir. Mikrodalga kurutma yönteminde mikrodalga fırın kullanılmış (Arçelik MD 595, Türkiye), örnekler 360-540-720 W mikrodalga güçlerinde kurutulmuştur. Kurutma sistemlerinde kullanılan parametreler literatürde yapılan çalışmalar ve ön denemeler dikkate alınarak belirlenmiştir. Kurutma işlemi örneklerin ağırlığı sabit tartıma gelene kadar devam etmiştir. Kurutulan kabuklar öğütücü (Bosch MKM 6000, Almanya) kullanılarak iki dakika boyunca öğütülmüş ve meyve kabuğu tozları elde edilmiştir. Meyve kabuğu tozları alüminyum polietilen ambalaj malzemesiyle (ALPE) ambalajlanarak analizlere kadar desikatör içerisinde muhafaza edilmiştir.

2.3 Meyve Kabuğu Tozlarına Uygulanan Analizler

Kurutulmuş olan toz ürünlerin nem tayini 105 °C'deki etüvde yapılmış, su aktivitesi 0.001 hassasiyete sahip su aktivitesi ölçüm cihazında (Testo AG 400, Almanya) ölçülmüş, renk değerleri Konica Minolta Chroma Meter CR-400, Japonya cihazı kullanılarak belirlenmiştir. Ölçümler CIE renk skalası kullanılarak altı paralel olacak şekilde yapılmış ve ortalama değerler alınmıştır. Toplam renk değişimi (ΔE), doygunluk (Kroma, ΔC) ve Hue Açısı ($^\circ$) değerleri denklem 1-3 kullanılarak hesaplanmıştır. Toplam renk değişimi (ΔE) değeri bulunurken kullanılan L_0 , a_0 ve b_0 değerleri başlangıç ürününden elde edilen referans değerlerini göstermektedir.

$$\Delta E = \sqrt{(L^* - L_0)^2 + (a^* - a_0)^2 + (b^* - b_0)^2} \quad (1)$$

$$\text{Hue (H}^\circ) = \tan^{-1} \frac{b^*}{a^*} \quad (2)$$

$$\Delta C = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad (3)$$

Meyve kabuğu tozlarının yığın ve sıkıştırılmış yoğunluğu analizi [18]'in bildirdiği yonteme göre yapılmıştır. Toz ürünlerin yapışkanlık ve akabilirlik değerleri Carr İndeks (CI) ve Hausner Ratio (HR) değerlerine göre belirlenmiştir [18]. CI ve HR değerlerinin hesaplanması sırasıyla denklem 4 ve denklem 5'te verilmiştir. Tablo 1 ise sırasıyla Carr Endeksi ve Hausner Oranına göre toz ürünün akışkanlığının ve yapışkanlığının sınıflandırmasını göstermektedir.

$$CI = \frac{\rho_{\text{sıkıştırılmış}} - \rho_{\text{yığın}}}{\rho_{\text{yığın}}} * 100 \quad (4)$$

$$HR = \frac{\rho_{\text{sıkıştırılmış}}}{\rho_{\text{yığın}}} \quad (5)$$

Tablo 1. CI ve HR'ye göre toz ürünün akışkanlığının ve yapışkanlığının sınıflandırılması [18]

CI (%)	Akışkanlık	HR	Yapışkanlık
<15	Çok İyi	<1.2	Düşük
15 - 20	İyi	1.2 – 1.4	Orta
20 - 35	Orta	>1.4	Yüksek
35 - 40	Kötü		
>45	Çok Kötü		

Kurutma denemelerinde enerji verimliliğini hesaplamak için cihaza bağlı elektrik sayacı (Köhler, AEL. TF.04, Türkiye) kullanılarak kurutucuların elektrik tüketimleri ölçülmüştür. Kurutucuların enerji verimliliği, özgül nem uzaklaştırma hızı (SMER, kg/kWh), nem uzaklaştırma hızı (MER, kg/h) ve örneklerden birim miktarda suyu uzaklaştırmak için gerekli özgül enerji tüketim miktarı (SEC, MJ/kg) olarak belirlenmektedir. Meyve kabuğu tozlarının SMER, MER ve SEC değerleri aşağıdaki denklemlere göre hesaplanmıştır.

$$SMER = \frac{\text{Üründen Uzaklaştırılan Nem Kütlesi (kg)}}{\text{Toplam Enerji Tüketimi (kWh)}} \quad (6)$$

$$MER = \frac{\text{Üründen Uzaklaştırılan Nem Kütlesi (kg)}}{\text{Kuruma Süresi (h)}} \quad (7)$$

$$SEC = \frac{\text{Sisteme Giren Toplam Enerji (MJ)}}{\text{Üründen Uzaklaştırılan Nem Kütlesi (kg)}} \quad (8)$$

Tüm analizler üç tekerrür şeklinde yapılmış ve deneysel sonuçlar ortalama \pm standart sapma olacak şekilde kaydedilerek SPSS Statistics 25.0 paket programı (SPSS Inc., Chicago, IL, USA) Duncan çoklu karşılaştırma testi ile %95 güven düzeyinde istatistiksel olarak test edilmiştir.

3. Bulgular ve Tartışma

Kurutma işleminde kullanılacak olan nar, portakal ve elma kabukları homojen bir şekilde boyutlandırıldıktan sonra mikrodalga (MW) ve konveksiyonel fırın (KK) kullanılarak başarılı bir şekilde kurutulmuştur. Kurutma öncesi taze meyve kabuklarının bazı fiziksel özellikleri belirlenmiş ve sonuçlar Tablo 2'de verilmiştir.

Taze meyve kabuklarının fiziksel analiz sonuçlarına bakıldığında en yüksek nem içeriği değeri taze elma kabuğunda, su aktivitesi ve a^* değerleri taze nar kabuğunda, L^* ve b^* değerleri taze portakal kabuğunda

gözlenmiştir. Nem analizi sonuçları değerlendirildiğinde taze nar kabuklarının kurutma öncesi başlangıç nem içeriği değeri %70.34, taze portakal kabuklarının nem içeriği değeri %71.48 ve taze elma kabuklarının nem içeriği değeri %83.24 olarak bulunmuştur. Literatürde yapılan bir çalışmada portakal kabuğunun nem içeriğini %74.40 olarak, nar kabuğunun nem içeriğini %70.30 olarak ve elma kabuğunun nem içeriği ise %80 olarak bulunmuştur [19,20,21]. Taze meyve kabukları için bulunan nem içeriği değerlerinin referanslarla uyum içinde olduğu görülmüştür.

Tablo 2. Taze meyve kabuklarına ait bazı fiziksel özellik sonuçları

	Meyve Kabukları		
	Nar Kabuğu	Portakal Kabuğu	Elma Kabuğu
Nem İçeriği (%)	70.34±1.17	71.48±1.03	83.24 ±0.7
Su Aktivitesi (aw)	0.962±0.00	0.945±0.00	0.857±0.02 ^c
Renk Değerleri (Dış Kabuk) <i>L*</i>	38.83±1.55	57.94±0.79	55.57±0.30
	<i>a*</i>	37.20±0.47	21.16±0.67
	<i>b*</i>	16.29±0.75	43.97±0.57

Meyve kabuğu tozlarının nem içeriği sonuçları değerlendirildiğinde kurutma sıcaklığı ve mikrodalga gücünün artmasıyla birlikte artan kuru madde içeriğine bağlı olarak portakal kabuğu tozunun nem içeriği değerlerinin giderek azaldığı tespit edilmiştir. Nar ve elma kabuğu tozunda ise hava sıcaklığının artmasıyla birlikte nem içeriği değerlerinin önce azalıp daha sonra arttığı görülmüştür. Bu durumun yüksek sıcaklıklarda ani kurumaya bağlı kabuk oluşumundan kaynaklandığı düşünülmektedir. En düşük nem içeriği değerleri nar ve elma kabuğu tozunda konveksiyonel kurutma yönteminde 120 °C koşulunda, portakal kabuğu tozunda ise mikrodalga kurutma yönteminde 720W koşulunda saptanmıştır. En yüksek nem içeriği değerleri ise nar ve portakal kabuğu tozunda konveksiyonel kurutma yönteminde 90 °C koşulunda, elma kabuğu tozunda mikrodalga kurutma yönteminde 540W koşulunda tespit edilmiştir.

Tablo 3. Meyve kabuğu tozlarına ait nem içeriği ve su aktivitesi değerleri sonuçları

	Nem İçeriği (%)			Su Aktivitesi (aw)		
	Nar Kabuğu Tozu	Portakal Kabuğu Tozu	Elma Kabuğu Tozu	Nar Kabuğu Tozu	Portakal Kabuğu Tozu	Elma Kabuğu Tozu
MW 360W	3.36±0.14 ^b	7.69±0.49 ^d	4.21±0.16 ^c	0.126±0.01 ^d	0.251±0.01 ^d	0.341±0.01 ^c
MW 540W	3.24±0.20 ^b	6.60±0.10 ^e	8.57±0.33 ^a	0.163±0.01 ^c	0.319±0.01 ^b	0.395±0.01 ^b
MW 720W	2.86±0.18 ^c	4.69±0.11 ^f	3.28±0.08 ^d	0.184±0.01 ^c	0.320±0.01 ^b	0.327±0.01 ^d
KK 90°C	5.48±0.54 ^a	11.44±0.34 ^a	2.96±0.18 ^d	0.574±0.03 ^a	0.375±0.01 ^a	0.325±0.02 ^d
KK 120°C	1.24±0.17 ^d	10.76±0.13 ^b	1.53±0.30 ^e	0.249±0.03 ^b	0.368±0.06 ^a	0.235±0.01 ^e
KK150°C	3.52±0.11 ^b	8.20±0.40 ^c	5.41±0.32 ^b	0.270±0.03 ^b	0.266±0.06 ^c	0.445±0.01 ^a

MW: Mikrodalga Fırın

KK: Konveksiyonel Fırın

^{a-f} Farklı harflerle gösterilen değerler Duncan test yöntemine göre örnekler arasındaki istatistiksel farkı göstermektedir (P <0.05).

Kurutma işlemi sonucunda toz haline getirilen meyve kabuğu tozlarının su aktivitesi değerleri incelendiğinde mikrodalga ile kurutulmuş nar kabuğu tozunun su aktivitesi sonuçlarının daha düşük olduğu görülmüş, konveksiyonel kurutma yöntemine göre daha verimli olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Mikrodalga kurutma yöntemine göre en düşük su aktivitesi değeri 360W koşulunda 0.126 ± 0.01 olarak, konveksiyonel kurutma yöntemine göre ise 150 °C koşulunda 0.235 ± 0.00 olarak ölçülmüştür. Sonuç olarak her iki yöntemdeki değerler de 0.6'nın altında olduğu için toz ürünler mikrobiyolojik açıdan güvenli kabul edilmiş, uzun süre zarar görmeden

muhafaza edilebileceği sonucuna varılmıştır. Farklı güç ve kurutma sıcaklıkları uygulanarak kurutulan tüm meyve kabuğu tozlarının nem ve su aktivitesi değerlerinde istatistiksel olarak anlamlı bir farkın olduğu görülmüştür ($P<0.05$).

Meyve kabuğu tozlarının renk analizi sonuçlarına bakıldığında en yüksek parlaklık (L^*) ve sarılık- mavilik (b^*) değerleri konveksiyonel kurutma yönteminde bulunmuş, renk değerlerindeki farklılıklarının yüksek sıcaklıklarda oluşan enzimatik olmayan esmerleşme reaksiyonlarından kaynaklandığı düşünülmüştür. En yüksek parlaklık (L^*) ve sarılık-mavilik (b^*) değeri portakal kabuğu tozunda 90 °C koşulunda, en yüksek kırmızılık-yeşillik (a^*) değeri nar kabuğu tozunda 90 °C koşulunda saptanmıştır ($P<0.05$). Yapılan bir çalışmada elma kabukları üç farklı kurutma sisteminde (fırın, dondurma ve tamburda kurutma) kurutulmuş, kurutma sonunda başlangıç elma kabuğuna kıyasla parlaklık (L^*) ve sarılık-mavilik (b^*) değerlerinin azaldığını, kırmızılık-yeşillik (a^*) değerlerinin arttığını saptamıştır [7]. Yapılan çalışma ile konveksiyonel kurutma sonrası elde edilen sonuçlara bakıldığında renk değerlerindeki değişim benzerlik göstermektedir.

Tablo 4. Meyve kabuğu tozlarına ait renk değerleri sonuçları

		L^*	a^*	b^*	ΔE	Hue Açısı	Kroma
Nar Kabluğu Tozu	MW 360W	53.35±0.30 ^b	8.51±0.23 ^b	18.48±0.11 ^b	32.74 ±0.19 ^b	1.14±0.01 ^b	20.35±0.18 ^b
	MW 540W	50.38±0.34 ^c	8.41±0.28 ^b	18.32±0.17 ^b	31.60±0.33 ^d	1.14±0.01 ^b	20.16±0.18 ^b
	MW 720W	48.44±0.30 ^d	8.43±0.28 ^b	17.78±0.34 ^c	30.89±0.33 ^e	1.13±0.02 ^b	19.68±0.22 ^c
	KK 90°C	57.22±0.81 ^a	10.71±0.17 ^a	28.47±0.27 ^a	34.90 ±0.52 ^a	1.21±0.01 ^a	30.41 ±0.53 ^e
	KK 120°C	43.42±0.30 ^e	6.46±0.38 ^c	16.40±0.32 ^d	31.60±0.38 ^d	1.20±0.02 ^a	17.63±0.39 ^d
	KK 150°C	40.48±0.22 ^f	5.64±0.09 ^d	14.50±0.32 ^e	32.17±0.09 ^c	1.20 ±0.01 ^a	15.56±0.29 ^{ab}
Portakal Kabluğu Tozu	MW 360W	69.70±0.51 ^c	5.11±0.28 ^d	46.21±0.53 ^b	20.03±0.49 ^c	1.46±0.01 ^b	46.49±0.52 ^b
	MW 540W	65.08±0.52 ^d	6.38±0.29 ^c	44.63±0.86 ^c	16.45±0.38 ^d	1.43±0.01 ^c	45.09±0.83 ^c
	MW 720W	63.83±0.46 ^e	7.62±0.51 ^a	44.86±0.50 ^c	14.81±0.50 ^e	1.40±0.01 ^d	45.50±0.54 ^c
	KK 90°C	74.38±0.22 ^a	4.30±0.15 ^e	47.83±0.99 ^a	23.88±0.16 ^a	1.48±0.01 ^a	48.01±0.99 ^a
	KK 120°C	70.70±0.25 ^b	4.88±0.22 ^d	46.90±0.32 ^b	20.90±0.26 ^b	1.47±0.01 ^b	47.15±0.33 ^b
	KK 150°C	64.84±0.58 ^d	6.81±0.12 ^b	38.73±0.45 ^d	16.77±0.28 ^d	1.40±0.01 ^d	39.33±0.44 ^d
Elma Kabluğu Tozu	MW 360W	51.23±0.12 ^d	7.06±0.28 ^e	20.39±0.20 ^c	6.77 ±0.15 ^{de}	1.24±0.02 ^b	21.58±0.11 ^c
	MW 540W	49.38±0.25 ^e	9.68±0.07 ^a	19.62±0.31 ^d	9.89±0.13 ^c	1.11±0.01 ^e	21.88±0.28 ^c
	MW 720W	55.12±0.53 ^c	8.29±0.43 ^c	19.31±0.64 ^d	6.69±0.40 ^e	1.17±0.01 ^d	21.02±0.75 ^d
	KK 90°C	63.43±0.33 ^b	8.67±0.16 ^b	22.85±0.46 ^b	11.46±0.38 ^b	1.21±0.01 ^c	24.44±0.47 ^b
	KK 120°C	70.70±0.25 ^a	5.71±0.22 ^f	36.90±0.32 ^a	23.88±0.26 ^a	1.42±0.01 ^a	37.34±0.30 ^a
	KK 150°C	51.57±0.30 ^d	7.63±0.09 ^d	17.91±0.22 ^e	7.10±0.13 ^d	1.17±0.01 ^d	19.47±0.24 ^e

MW: Mikrodalga Fırın

KK: Konveksiyonel Fırın

^{a-f}Farklı harflerle gösterilen değerler Duncan test yöntemine göre örnekler arasındaki istatistiksel farkı göstermektedir ($P < 0.05$).

Kurutma sonrası meyve kabuğu tozlarına ait renk değeri sonuçları incelendiğinde ise kurutma sonucu toplam renk değişimi (ΔE) değerleri nar kabuğu tozlarında 30.8 - 34.9 aralığında, portakal kabuğu tozunda 14.1 - 23.8 aralığında, elma kabuğu tozunda ise 6.6 - 23.8 aralığında bulunmuştur. En yüksek Hue açısı (°) ve kroma değeri ise portakal kabuğu tozunda tespit edilmiştir ($P<0.05$). [20] yaptıkları bir çalışmada nar kabuklarını 40, 50 ve 60 °C'de fırında kurutmuşlardır. Kurutma işlemi sonunda en düşük toplam renk değişimi değerini 60 °C fırında

kurutmada (16.82), en yüksek toplam renk değişimini 50 °C fırın kurutmada (23.10) belirlemiştir. Buna göre sıcaklık değeri arttıkça toplam renk değişimi değerlerinin azaldığını gözlemlemiştir.

Toz ürünlerin yığın ve sıkıştırılmış yığın yoğunluğunun belirlenmesi toz ürünlerin stabilitesi hakkında bilgi vermekte, taşıma kolaylığı ve paketleme maliyetlerinin azaltılması açısından önemli taşımaktadır [22]. Meyve kabuğu tozlarının yığın yoğunluğu özellikleri değerlendirildiğinde nar kabuğu tozunu yığın yoğunluğu değerleri, portakal ve elma kabuğu tozlarının yığın yoğunluğu değerlerine göre daha yüksek bulunmuştur. Nar kabuğu tozu en yüksek yığın yoğunluğu değeri mikrodalga kurutma yönteminde ($619.86 \pm 0.02 \text{ kg/m}^3$), en düşük yığın yoğunluğu değeri ise konveksiyonel kurutma yönteminde ($543.85 \pm 0.01 \text{ kg/m}^3$) gözlenmiştir. Portakal ve elma kabuğu tozlarının yığın yoğunluğu sonuçları değerlendirildiğinde ise en yüksek yığın yoğunluğu değeri mikrodalga kurutma yönteminde saptanmıştır.

Tablo 5. Meyve kabuğu tozlarına ait yığın yoğunluğu, sıkıştırılmış yığın yoğunluğu, Carr endeksi ve Hausner oranı sonuçları

		Yığın Yoğunluğu (kg/m^3)	Sıkıştırılmış Yığın Yoğunluğu (kg/m^3)	Akabilirlik (CI)	Yapışkanlık (HR)
Nar Kabuğu Tozu	MW 360W	619.86±0.02 ^a	659.92±0.02 ^a	6.07±0.18 ^a (ÇOK İYİ)	1.06±0.01 ^a (DÜŞÜK)
	MW 540W	594.03±0.01 ^c	631.16±0.01 ^b	5.88±0.01 ^b (ÇOK İYİ)	1.06±0.01 ^a (DÜŞÜK)
	MW 720W	577.26±0.01 ^c	612.30±0.02 ^b	5.72±0.16 ^b (ÇOK İYİ)	1.06±0.01 ^a (DÜŞÜK)
	KK 90°C	543.85±0.01 ^d	574.98±0.02 ^c	5.41±0.15 ^c (ÇOK İYİ)	1.06±0.01 ^a (DÜŞÜK)
	KK 120°C	593.69±0.01 ^c	630.80±0.01 ^b	5.88±0.01 ^b (ÇOK İYİ)	1.06±0.01 ^a (DÜŞÜK)
	KK 150°C	610.39±0.02 ^b	649.85±0.02 ^a	6.07±0.18 ^a (ÇOK İYİ)	1.06±0.01 ^a (DÜŞÜK)
Portakal Kabuğu Tozu	MW 360W	459.74±0.01 ^c	493.66±0.01 ^b	6.82±2.27 ^{ab} (ÇOK İYİ)	1.07±0.03 ^b (DÜŞÜK)
	MW 540W	481.96±0.02 ^b	506.18±0.03 ^b	4.77±0.23 ^b (ÇOK İYİ)	1.05±0.01 ^c (DÜŞÜK)
	MW 720W	459.49±0.01 ^c	610.93±0.02 ^a	8.33±2.78 ^a (ÇOK İYİ)	1.09±0.03 ^a (DÜŞÜK)
	KK 90°C	469.18±0.01 ^a	504.09±0.01 ^b	6.93±2.16 ^b (ÇOK İYİ)	1.08±0.03 ^b (DÜŞÜK)
	KK 120°C	469.76±0.01 ^a	498.74±0.01 ^b	5.79±1.91 ^b (ÇOK İYİ)	1.06±0.02 ^c (DÜŞÜK)
	KK 150°C	469.98±2.45 ^a	498.98±0.01 ^b	5.79±1.91 ^b (ÇOK İYİ)	1.06±0.02 ^c (DÜŞÜK)
Elma Kabuğu Tozu	MW 360W	546.89±0.01 ^{ab}	578.19±0.02 ^{ab}	5.41±0.15 ^b (ÇOK İYİ)	1.06±0.01 ^b (DÜŞÜK)
	MW 540W	541.13±0.01 ^b	571.65±0.01 ^b	5.34±0.13 ^c (ÇOK İYİ)	1.06±0.01 ^b (DÜŞÜK)
	MW 720W	552.79±0.01 ^{ab}	548.88±0.01 ^{ab}	5.48±0.10 ^b (ÇOK İYİ)	1.06±0.01 ^b (DÜŞÜK)
	KK 90°C	421.97±0.01 ^d	430.56±0.01 ^d	4.08±0.08 ^d (ÇOK İYİ)	1.04±0.01 ^c (DÜŞÜK)
	KK 120°C	437.54±0.00 ^d	492.46±0.00 ^a	5.56±0.01 ^b (ÇOK İYİ)	1.06±0.01 ^b (DÜŞÜK)
	KK 150°C	459.49±0.00 ^c	505.44±0.00 ^c	9.09±0.01 ^a (ÇOK İYİ)	1.10±0.01 ^a (DÜŞÜK)

MW: Mikrodalga Fırın

KK: Konveksiyonel Fırın

^{a-d} Farklı harflerle gösterilen değerler Duncan test yöntemine göre örnekler arasındaki istatistiksel farkı göstermektedir (P < 0.05).

Meyve kabuğu tozlarının sıkıştırılmış yoğunluk değerlerine bakıldığında ise nar kabuğu tozlarının sıkıştırılmış yığın yoğunluğu değerlerinin, yığın yoğunluğu değerlerine paralel olarak portakal ve elma kabuğu tozuna göre daha yüksek olduğu saptanmıştır. Nar kabuğu tozu en yüksek sıkıştırılmış yığın yoğunluğu değeri mikrodalga kurutma yönteminde ($659.91 \pm 0.02 \text{ kg/m}^3$), en düşük yığın yoğunluğu değeri ise konveksiyonel kurutma yönteminde ($574.98 \pm 0.02 \text{ kg/m}^3$) gözlenmiştir. Portakal ve elma kabuğu tozlarının yığın yoğunluğu sonuçları değerlendirildiğinde ise en yüksek yığın yoğunluğu değeri mikrodalga kurutma yönteminde bulunmuştur. Tüm meyve kabuğu tozlarının yığın ve sıkıştırılmış yığın yoğunluğu değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark görülmemiştir (P < 0.05).

Toz ürünlerin akabilme ve yapışma davranışlarının belirlenmesi ambalajlama, işleme, depolama, doz ayarlama, karıştırma gibi işlemler açısından önemlidir. Yüksek nem içeriği toz ürünün akabilirliğini etkilemektedir. Ayrıca yapışma derecesi yüksek olan ürünlerde akabilirlik sorunu oluşmaktadır. Toz ürünlerin akabilmesi için mevcut kuvvetlerinin dışardan uygulanan kuvvetlerden daha az olması ve yığın içerisindeki partiküllerin hareket edebilmesi gerekmektedir [22, 23]. Meyve kabuğu tozlarının akabilme ve yapışkanlık davranışı incelendiğinde

konveksiyonel ve mikrodalga yöntemi uygulanan tüm örneklerin çok iyi düzeyde akabilirlik ve düşük düzeyde yapışkanlık davranışı sergilediği gözlenmiştir. Genel olarak toz ürünlerin akabilirlik değerleri 4.08 ± 0.08 ile 9.09 ± 0.00 aralığında bulunurken, yapışkanlık değerleri 1.04 ± 0.00 ile 1.10 ± 0.00 aralığında tespit edilmiştir. ($P < 0.05$).

Toz ürün elde etmek amacıyla kullanılan kurutma teknikleri, suyun buharlaştırılması için yüksek ısı gerektirmesinden dolayı enerji tüketimi fazla olan bir işlemlerdir. Bu nedenle kurutma işleminde kullanılan kurutucu sistemlerin enerji tüketimi ölçülmekte ve enerji verimliliği için çalışmalar yapılmaktadır. Düşük özgül enerji tüketim değerlerine sahip olan sistemlerin enerji verimliliğinin yüksek olduğu bilinmektedir [16]. Kurutma işlemi sonucunda toz haline getirilen meyve kabuğu tozlarının enerji analizi sonuçları incelendiğinde en yüksek SMER ve MER değerleri mikrodalga kurutma yönteminde bulunurken, en yüksek SEC değerleri konveksiyonel kurutma yönteminde tespit edilmiştir. Buna göre en verimli yöntemin mikrodalga kurutma yöntemi olduğu saptanmış, özgül enerji tüketimi (SEC) bu yöntemde daha düşük çıkmıştır. Her iki kurutma yönteminde de güç değerinin ve sıcaklığın artmasıyla birlikte genel olarak SMER değerindeki azalış ve SEC değerindeki artışın kurutma sırasında meyve kabuklarının kuru madde içeriği arttıkça, üründen uzaklaşan su miktarının azalmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. ($P < 0.05$). Literatürde yapılan bir çalışmada, elma dilimleri tepsili, ısı pompalı, dondurarak ve mikrodalga kurutma yöntemleri kullanarak kurutulmuş, en düşük özgül enerji tüketimi (SEC) mikrodalga kurutma ve ısı pompalı kurutma yönteminde saptanmıştır [24]. Bu sonuç, yaptığımız çalışmadaki SEC değerlerine benzerlik göstermiş, mikrodalga kurutma yönteminde daha düşük sonuçlar elde edilmiştir.

Tablo 6. Mikrodalga ve konvektif kurutucunun SMER, MER ve SEC değerleri

		SMER (kg su/kWh)	MER (kg su/h)	SEC (MJ/kg)
Nar Kabuğu Tozu	MW 360W	0.636±0.08 ^a	0.153±0.02 ^a	5.75±0.73 ^e
	MW 540W	0.335±0.03 ^b	0.120±0.01 ^b	10.82±0.84 ^e
	MW 720W	0.111±0.01 ^c	0.120±0.01 ^b	32.555±2.41 ^d
	KK 90°C	0.066±0.00 ^d	0.022±0.00 ^d	59.88±3.48 ^c
	KK 120°C	0.009±0.00 ^e	0.021±0.00 ^d	389.63±9.01 ^a
	KK 150°C	0.018±0.00 ^{de}	0.049±0.00 ^c	204.90±4.25 ^b
Portakal Kabuğu Tozu	MW 360W	0.821±0.02 ^a	0.197±0.00 ^a	4.39±0.09 ^e
	MW 540W	0.493±0.01 ^b	0.178±0.00 ^b	7.30±0.10 ^e
	MW 720W	0.154±0.01 ^c	0.166±0.01 ^c	23.52±1.48 ^d
	KK 90°C	0.062±0.00 ^d	0.022±0.00 ^d	58.11±0.01 ^c
	KK 120°C	0.019±0.00 ^e	0.043±0.00 ^e	190.24±7.74 ^b
	KK 150°C	0.018±0.00 ^e	0.050±0.00 ^f	197.57±3.61 ^a
Elma Kabuğu Tozu	MW 360W	0.879±0.00 ^a	0.211±0.00 ^b	4.09±0.00 ^e
	MW 540W	0.597±0.00 ^b	0.215±0.00 ^b	6.03±0.04 ^e
	MW 720W	0.283±0.00 ^c	0.306±0.00 ^a	12.70±0.01 ^d
	KK 90°C	0.088±0.01 ^d	0.032±0.00 ^e	40.95±0.05 ^c
	KK 120°C	0.035±0.00 ^e	0.081±0.01 ^d	102.52±9.94 ^b
	KK 150°C	0.032±0.00 ^f	0.088±0.01 ^c	112.38±1.85 ^a

MW: Mikrodalga Fırın

KK: Konveksiyonel Fırın

^{a-f}Farklı harflerle gösterilen değerler Duncan test yöntemine göre örnekler arasındaki istatistiksel farkı göstermektedir ($P < 0.05$).

Kurutma için gereken enerji miktarının ölçümünde elde edilen sonuçlar değerlendirilerek kurutma süreleri dikkate alındığında konveksiyonel kurutma sisteminde sıcaklık arttıkça kuruma süresinin kısaldığı tespit edilmiş, bütün meyve kabuklarında en uzun kuruma süresi 90 °C koşulunda bulunmuştur. Kuruma süreleri 90-120-150 °C koşulunda nar kabuğunda sırasıyla 90-60-45 dakika, portakal kabuğunda 95-50-45 dakika, elma kabuğunda 80-30-25 dakika olarak ölçülmüştür. Mikrodalga kurutma sisteminde ise mikrodalga gücü arttıkça kuruma süresinin

arttığı saptanmış, en uzun kuruma süresi 720W koşulunda bulunmuştur. Kuruma süreleri 360-540-720W koşulunda nar kabuğu için sırasıyla 510-570-630 saniye, portakal kabuğu için 570-630-660 saniye, elma kabuğu için 580-690-750 saniye olarak ölçülmüştür.

4. Sonuç

Bu çalışmada konveksiyonel ve mikrodalga kurutma teknikleri kullanılarak nar, portakal, elma kabuklarının kurutulması ile elde edilen tozların fiziksel ve toz ürün özellikleri ile kullanılan kurutma yöntemlerinin enerji verimliliği incelenmiştir. Meyve kabuğu tozlarının nem içeriği ve su aktivitesi değerleri güvenilir depolama koşulları için kabul edilebilir sınırlarda bulunmuştur. Nar ve portakal kabuğu tozlarında mikrodalga gücü ve sıcaklık arttıkça parlaklık (L^*) değerinde azalma gözlenmiştir. Konveksiyonel ve mikrodalga kurutma yöntemi uygulanan meyve kabuğu tozlarının düşük düzeyde yapışkanlık ve çok iyi düzeyde akabilirlik davranışı sergilediği tespit edilmiştir. Enerji analizi sonuçları incelendiğinde genel olarak SMER değerinde azalış ve SEC değerinde artış meydana gelmiştir. Meyve kabuklarından elde edilen toz ürünlerin uzun depolama ömrünün yanı sıra paketleme kolaylığı, düşük nakliye maliyeti ve mikrobiyolojik kararlılığı gibi avantajlarından dolayı gıda formülasyonlarında renk maddesi olarak kullanılabilmesi düşünülmektedir. Buna ek olarak incelenen sistemlerden verimliliği yüksek olan mikrodalga kurutma yönteminin sektöre uyarlanıp üretimde ve iş gücünde kolaylık, zamandan tasarruf ve maliyetin düşük olması ile endüstriyel uygulamalara yön vermesi beklenmektedir.

Teşekkür

Araştırmamız kapsamında bize destek olarak, çalışmamıza katkı sağlayan Ege Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimine (**Proje No:** FLP-2020-22562) teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- [1] Topkaya, C. Nar Kabuğu Tozu İlavesinin Keklerin Besinsel, Duyusal ve Mikrobiyolojik Özelliklerine Etkisi. *Yüksek Lisans Tezi*, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli, 2017.
- [2] Elaltunkara, Z. Nar Çekirdeği ve Nar Kabuğu Tozunun Probiyotik Yoğurt Üretiminde Prebiyotik Olarak Kullanım Olanaklarının Araştırılması. *Yüksek Lisans Tezi*, Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa, 2018.
- [3] Sarıca, Ş. Nar Suyu Yan Ürünlerinin Hayvan Beslemede Kullanım Olanakları. *GOÜ Ziraat Fakültesi Dergisi* 2011; 28(2), 97-101.
- [4] Demir, T., Akpınar, Ö., Kara, H., & Güngör, H. Nar (*Punica granatum L.*) Kabuğunun In Vitro Antidiyabetik, Antienflamatuar, Sitotoksik, Antioksidan ve Antimikrobiyal Aktivitesi. *Akademik Gıda* 2019; 17(1), 61-71. DOI: <https://doi.org/10.24323/akademik-gida.544647>
- [5] Yaman, K. Bitkisel Atıkların Değerlendirilmesi ve Ekonomik Önemi. *Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi* 2012; 12(2), 339-348.
- [6] Güzel, M., & Akpınar, Ö. Turunçgil Kabuklarının Biyoaktif Bileşenleri ve Antioksidan Aktivitelerinin Belirlenmesi. *GÜFBED* 2017; 7(2), 153-167. DOI: <http://dx.doi.org/10.17714/gufbed.2017.07.010>
- [7] Henríquez, M., Almonacid, S., Lutz, M., Simpson, R., & Valdenegro, M. Comparison Of Three Drying Processes To Obtain An Apple Peel Food Ingredient. *Journal of Food* 2013; 11(2), 127-135. DOI: <https://doi.org/10.1080/19476337.2012.703693>
- [8] Alibaş, İ., Zia, M.P., Yılmaz, A., ve Asik, B.B. Drying Kinetics And Quality Characteristics Of Green Apple Peel (*Mallus Communis L. Var. "Granny Smith"*) Used In Herbal Tea Production. *Journal of Food Processing and Preservation* 2020; 44:14332. DOI: <https://doi.org/10.1111/jfpp.14332>
- [9] Nakov, G., Brandolini, A., Hidalgo, A., Ivanova, N., Jukić, M., Komlenić, D.K., & Lukinac, J. Influence Of Apple Peel Powder Addition On The Physico-Chemical Characteristics And Nutritional Quality Of Bread Wheat Cookies. *Food Science and Technology International* 2020, 26(7), 574-582. DOI: [10.1177/1082013220917282](https://doi.org/10.1177/1082013220917282)
- [10] Tokdemir, M., Boran, K., Aktaş, M., & Alkaç, S.P. Isı Pompalı Kurutma Tekniği ile Toz Elma ve Elma Cipsi Üretimi: Performans Analizi. *Politeknik Dergisi* 2017; 21(4), 887-894. DOI: <https://doi.org/10.2339/politeknik.417750>
- [11] Polat, A., Kurtulmuş, F., & İzli, N. Sürekli ve Kesikli Mikrodalga Yöntemleriyle Kurutulan Elmanın Renk Değişim Analizi. *Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi* 2020; 34(1), 149-165.
- [12] Karam, M.C., Petit, J., Zimmer, D., Djantou, E.B., & Scher, J. Effects Of Drying And Grinding In Production Of Fruit And Vegetable Powders: A Review. *Journal of Food Engineering* 2016; 188, 32-49. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.05.001>
- [13] Yılmaz, M. S. Brokolinin Mikrodalga Kurutma Karakteristiklerinin Belirlenmesi Ve Modellenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2015.
- [14] Arda, S.O. Mikrodalga ve Güneş Enerjisi Kombinasyonlu Kurutucu Kullanılarak Kurutma Davranışının Deneysel Olarak İncelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ, 2017.

- [15] Atuonwu, J.C., Jina, X., Stratena, G.V., Antonius, H.V.D., & Boxtel, J.B. Reducing Energy Consumption In Food Drying: Opportunities In Desiccant Adsorption And Other Dehumidification Strategies. *Procedia Food Science* 2011; 1:1799 – 1805. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.profoo.2011.09.264>
- [16] Baker, C.G.J., & McKenzie, K.A., Energy Consumption Of Industrial Spray Dryers, *Drying Technology* 2005; 23:365–386. DOI: <https://doi.org/10.1081/DRT-200047665>
- [17] Gürlek, G., Akdemir, Ö.A., & Güngör, A., Gıda Kurutulmasında Isı Pompalı Kurutucuların Kullanımı ve Elma Kurutmada Uygulanması. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilim Dergisi* 2015; 21(9), 398-403. DOI: <https://doi.org/10.2339/politeknik.417750>
- [18] Jinapong, N., Suphantharika, M. & Jamnong, P. Production Of Instant Soymilk Powders By Ultrafiltration. Spray Drying And Fluidized Bed Agglomeration, *Journal of Food Engineering* 2008; 84:194-205. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.04.032>
- [19] Özcan, M.M., Ghafoor, K., Al Juhaimi, F., Uslu, N., Babiker, E.E., Mohamed Ahmed, I.A., & Almusallam, I.A. Influence Of Drying Techniques On Bioactive Properties, Phenolic Compounds And Fatty Acid Compositions Of Dried Lemon And Orange Peel Powders. *Journal Of Food Science And Technology* 2020; 58(1),147–158. DOI: [10.1007/s13197-020-04524-0](https://doi.org/10.1007/s13197-020-04524-0)
- [20] Mphahlele, R.R., Fawole, O.A., Makunga, N P., & Opara, U.L. Effect Of Drying On The Bioactive Compounds, Antioxidant, Antibacterial And Antityrosinase Activities Of Pomegranate Peel. *BMC Complementary and Alternative Medicine* 2016; 16(1), 1–12. DOI: [10.1186/s12906-016-1132-y](https://doi.org/10.1186/s12906-016-1132-y)
- [21] Ma, Q., Bi, J., Yi, J., Wu, X., Li, X., & Zhao, Y. Stability Of Phenolic Compounds And Drying Characteristics Of Apple Peel As Affected By Three Drying Treatments. *Food Science and Human Wellness* 2021; 10(2), 174-182. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fshw.2021.02.006>
- [22] Koç, G.Ç. Püskürtmeli Kurutucu İle Ispanak Ve Havuç Sularının Kurutulması Ve Örnek Gıda Sisteminde Denenmesi. *Doktora Tezi*, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 2018.
- [23] Türker, İ., Koç, B., & İşleroğlu, H. Püskürtmeli-Dondurarak Kurutma İşleminin Maltodekstrinin Fiziksel Özellikleri Üzerine Etkisi. *GIDA/The Journal of FOOD* 2018; 43(2). DOI: <https://doi.org/10.15237/gida.GD17101>
- [24] Baysal, T., Ozbalta, N., Gokbulut, S., Capar, B., Tastan, O., & Gurlek, G. Investigation Of Effects Of Various Drying Methods On The Quality Characteristics Of Apple Slices And Energy Efficiency. *Journal of Thermal Science and Technology*, 2015; 35(1), 135-144.