



Dip döküntü Göksulu Armutlardan üretilen meyve cipsinin fiziko-kimyasal ve enerji tüketim özelliklerine değişken mikrodalga-konvektif yöntemlerin etkisi

Effect of variable microwave-convective methods on the physico-chemical and energy consumption properties of fruit chips produced from Bottom Waste Göksulu Pears

Samet Kaya DURSUN^{1*} , Muhammed TAŞOVA¹

¹Biyosistem Mühendisliği Bölümü, Ziraat Fakültesi, Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Tokat, Türkiye.
kayadrn44@gmail.com, muhammed.tasova@gop.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 10.10.2023
Kabul Tarihi/Accepted: 05.07.2024

Düzeltilme Tarihi/Revision: 13.05.2024

doi: 10.5505/pajes.2024.92929
Araştırma Makalesi/Research Article

Öz

Göksulu armut nem içeriğinden dolayı uzun süre depolama ve tüketim olanağı bulunmamaktadır. Bu nedenle raf ömrünü uzatmak ve her mevsim erişim sağlayabilmek amacıyla kurutma işlemine tabi tutulmaktadır. Bu çalışmada, atıkları değerlendirmek amacıyla ağaç diplerine dökülmüş olan meyveler kullanılmıştır. Göksulu armut cipsi üretmek için mikrodalga, hibrit (konvektif+mikrodalga) ve değişken yöntemler olarak D1 ve D2 kurutma yöntemlerinin etkisi araştırılmıştır. Kurutma işlemlerinin kuruma oranı, nem oranı, renk, sertlik, efektif nem difüzyonu, özgül nem çekme oranı (SMER) ve özgül enerji tüketimi (SEC) parametreleri araştırılmıştır. Kurutma yöntemleri kuruma kinetiği, kalite parametreleri ve enerji tüketim değerlerini etkilemiştir. Kurutma işlemlerinde kuruma oranı 0.0115-0.7906 g nem/g kuru madde⁻¹. dk. aralığında değişmiştir. Kurutma yöntemleri kroma değeri hariç diğer renk değerlerini koruyamamıştır. Efektif nem difüzyon değerleri 4.04-7.72x10⁻⁷ m² s⁻¹ aralığında değiştiği belirlenmiştir. SMER değerleri 0.00083-0.00218 kg kWh⁻¹ arasında, SEC değerleri 89.49-232.34 kWh kg⁻¹ arasında değiştiği tespit edilmiştir. Kurutma işlemlerinin toplam enerji tüketim değerleri ise 0.271-0.426 kWh arasında değiştiği belirlenmiştir. Çalışma kapsamında Göksulu armut cipsi üretiminde değişken olan D1 kurutma yöntemi önerilmektedir.

Anahtar kelimeler: Meyve cipsi, Kurutma işlemi, Değişken yöntem, Kalite parametreleri, Enerji analizleri.

Abstract

Due to the moisture content of Göksulu pear, it is not possible to store and consume it for a long time. For this reason, it is subjected to a drying process in order to extend its shelf life and provide access in all seasons. In this study, fruits fallen at the bottom of trees were used to evaluate waste. The effects of D1 and D2 drying methods as microwave, hybrid (convective+microwave) and variable methods were investigated to produce Göksulu pear chips. Drying rate, moisture content, color, hardness, effective moisture diffusion, specific moisture absorption rate (SMER) and specific energy consumption (SEC) parameters of the drying processes were investigated. Drying methods affected drying kinetics, quality parameters and energy consumption values. In the drying processes, the drying rate varied between 0.0115-0.7906 g moisture/g dry matter⁻¹mi. Drying processes could not preserve other color values except chroma value. Effective moisture diffusion values were determined to vary between 4.04-7.72x10⁻⁷ m² s⁻¹. It was determined that SMER values varied between 0.00083-0.00218 kg kWh⁻¹, and SEC values varied between 89.49-232.34 kWh kg⁻¹. It was determined that the total energy consumption values of the drying processes varied between 0.271-0.426 kWh. Within the scope of the study, the variable D1 drying method is recommended in the production of Göksulu pear chips.

Keywords: Fruit chips, Drying process, Variable method, Quality parameters, Energy analysis.

1 Giriş

Armut (*Pirus communis* L.) dünyadaki popüler meyveler arasında yer almaktadır [1]. Asya bölgesinde ortaya çıkan ve yayılan bir ılıman bölge meyvesidir [2]. Armut bünyesinde barındırdığı mineraller, şeker, vitaminler, fenol ve daha diğer birçok besin maddesi açısından oldukça zengindir [3]. Taze tüketiminin yanında meyve suyu, şurup, konserve ve kuru meyve olarak tüketilen armut gıda endüstrisinde hammadde ve katkı maddesi olarak kullanılmaktadır [4]. Küresel boyutta üretilen tarımsal ürünlerin %45'i atık olmaktadır [5],[6]. Bu atıkların %14.4 tarımsal üretim aşamasında, %8.8 tüketimde, %8.5 işlemede, %7.1 dağıtımda ve %6.9 hasat sonrasındaki aşamalarda oluşmaktadır [6]-[8]. Tarımsal üretim aşamasında

oluşan atıkların başlıca etmenleri rüzgar, fırtına, yağmur, dolu gibi doğa olaylarında ve hasat olgunluğuna ulaştığında meyvelerin kendiliğinden dökülmesidir. Bunlara atık-dip döküntü meyveleri adı verilmektedir. Ağaç diplerine dökülen meyveler termal yolla işlendikten sonra kuru meyve ve meyve cipsine dönüştürülerek katma değer sağlanarak gıda arzının, atık oluşumunun azaltılmasına ve ekonomik kazanç elde edilmesine olanak sağlamaktadır.

Armut meyvesinin nem içeriği ortalama %75-80 seviyelerindedir [9]. Nem içeriği yüksek olan meyvelerin depolama konusunda herhangi bir biyolojik reaksiyon gelişmemesi için bilinen en yaygın yöntemlerden birisi de kurutmadır. Kurutma kısaca taze üründen nem içeriğinin uzaklaştırma işlemidir. Bu işlemdeki amaç enzimatik

*Yazışılan yazar/Corresponding author

reaksiyonlar sonucunda oluşabilecek bozulmaları önlemek ve bu süreçte ürünlerin aroma, tat ve renk özelliklerini korumaktır [10]. Bilinen en eski kurutma yöntemi açık alanlara serilerek güneşte ve gölgede kurutmadır. Bu yöntemler, çevreci ve maliyet açısından önemli avantajlar sağlasa da güneşte kurutma işlemi yılın her döneminde yapılamaması, geniş alanlara ihtiyaç duyulması, istenilen nem seviyesine düşürülebilmesi ve çevresel etmenlerden (toz, yağmur, rüzgâr, böcekler, kuşlar vb.) olumsuz etkilenmesi gibi bazı dezavantajları vardır [11]-[13]. Kurutma işlemlerde yaygın olarak kullanılan bir diğer yöntem ise sıcak havayla kurutmadır. Sıcak havayla kurutma işlemi, ısı ürünün dışından içeri doğru difüze olur. Bu yöntem kuruma süresinin uzamasına, daha fazla enerji tüketilmesine ve daha düşük kalite özelliklerinin oluşmasına neden olmaktadır [14]. Günümüzde popüler hale gelen mikrodalga kurutma işlemi ısı sıcak havayla kurutma işleminden farklı olarak içerden dışarı doğru difüze olur. Bu durum kuruma süresinin azalmasına ve daha az enerji tüketilmesine neden olmaktadır [15]. Kurutma işlemlerinde gerçekleşen enerji tüketimi değerlerinin yüksek olduğu bildirilmektedir. Ülkelerin toplam enerji tüketimlerinin ortalama %10-25 oranının yalnızca kurutma endüstrisi ve işlemlerinde tüketildiği bilinmektedir [16]. Bu nedenle hem üretim maliyetinin azalması hem de sürdürülebilir olması için kurutma işlemlerinde enerji tüketiminin azaltılmasına yönelik farklı tekniklerin geliştirilmesi önemlidir.

Literatürde Liu ve diğ. [17] armut dilimlerinin kurutulması işlemlerinde uzak kızılötesi kurutucuyu modifiye ederek kontakt ultrason ile güçlendirilmiş bir kurutucu imal etmişlerdir. Bu kurutucu ile yaptıkları çalışmada farklı ultrason güçlerinde armutların kuruma ve kalite özelliklerine, mikro yapısına ve enerji analizlerine olan etkilerini incelemişlerdir. Çalışmada, geleneksel kurutma yöntemine göre kuruma oranlarının arttığı, ürün içerisindeki besinlerin korunduğu, enerji tüketiminin ve kuruma sürelerinin azaldığını belirtmişlerdir. Araujo ve diğ. [18] infrared kurutucuda armut dilimlerini 50, 60, 70, 80, 90 ve 100 °C sıcaklıklarda kurutarak kuruma kinetiği, enerji ve ekserji analizlerini araştırmışlardır. Çalışma sonucunda ise sıcaklığın artmasıyla kuruma sürelerinin azaldığını, efektif nem difüzyon değerlerinin sıcaklıkların artmasıyla arttığını, en düşük özgül enerji tüketimini 100 °C sıcaklıkta 10.28 kWh/kg ve enerji verimliliğini %40-99 arasında değiştiğini tespit etmişlerdir. Polat ve İzli [19] elektrohidrokinamik-sıcak hava kurutma yöntemiyle farklı voltajlarda ve hava hızlarında yaptıkları Ankara çeşidi armut meyvesini kurutmuşlardır. Yaptıkları çalışmada renk parametreleri, rehidrasyon kapasitesi ve mikro yapı üzerine değişimlerini araştırmışlardır. Çalışmada yüksek voltaj ve yüksek hava hız değerlerinde kuruma süresinin azaldığını fakat renk değerlerinin etkilendiğini ve mikro yapılarının bozulduğunu tespit etmişlerdir. Kaveh ve diğ. [20] farklı kalınlıklarda dilimledikleri armut dilimlerini konvektif kurutucuda (50, 60 ve 70 °C), infrared kurutucuda (500, 750 ve 1000 W), mikrodalga kurutucuda (270, 450 ve 630 W), hibrit 1 (mikrodalga+konvektif) kurutucuda (50, 60, 70 °C ve 270, 450, 630W), hibrit 2 (infrared+konvektif) kurutucuda (50, 60, 70 °C ve 500, 750, 1000W) kurutmuşlardır. Çalışmada farklı kurutucularda ve kalınlıklarda kuruttukları armutların kalite parametreleri, kuruma süreleri, özgül enerji tüketimi ve sera gazı emisyonunu araştırmışlardır. Çalışmada hibrit 1 kurutucuda enerji tasarrufu, sera gazı emisyonunun azalması ve daha kaliteli ürün elde ettiklerini bildirmişlerdir. Literatür araştırmalarında dip döküntü armut meyvelerin kurutulması

cipse dönüştürülmesi ve Göksulu armut çeşidi üzerine herhangi bir kurutma çalışmasının olmadığı görülmüştür. Çalışmanın bu yönüyle özgün olduğu düşünülmektedir.

Bu çalışmada, armut meyve cipsi üretmek için kullanılan mikrodalga, hibrit (mikrodalga+konvektif) ve değişken D1, D2 kurutma yöntemlerinin;

- (i) Kuruma kinetiği,
- (ii) Enerji tüketimi ve
- (iii) Fizikokimyasal analizlerine olan etkisi araştırılmıştır.

2 Materyal ve yöntem

2.1 Kurutma materyali

Çalışmada, ağaç diplerine dökülmüş olan armut meyveleri kullanılmıştır. Meyveler toplanırken temiz, parçalanmamış ve kendini salmamış olanlar seçilmiştir. Armutlar çalışma sonlanana kadar buzdolabında 4±0.5 °C sıcaklıkta depolanmıştır. Kurutma işlemleri başlamadan önce armutlar yıkanmıştır. Yıkanan armutların ezik ve zedelenmiş kısımları kesilerek temizlenmiştir. Keskin bir bıçak yardımıyla daire şeklinde ortalama 5.08±0.89 mm kalınlığında dilimlenmiştir.

2.2 Kurutma işlemleri

Kurutma işlemleri, mikrodalga kurutucuda 540 W güçte ve hibrit kurutucuda 350 W+60 °C sıcaklıkta gerçekleştirilmiştir. Kurutma işlemleri sonlandıktan sonra aynı deneme şartları tekrar başlatılmış olup ilk yapılan (mikrodalga kurutucuda 540 W güçte ve hibrit kurutucuda 350 W+60 °C sıcaklıkta) denemelerin kuruma sürelerinin %40' ı alınarak mikrodalga kurutucuda ki örnekler hibrit kurutucuya aktarılmış (D1) ve hibrit kurutucudaki örnekler ise mikrodalga kurutucuya (D2) aktararak kurutma çalışmaları yürütülmüştür. Kurutulan armut örnekleri belirlenen (<%7) (y.b.) nem seviyesine düşürülmüştür [21]. Kurutma işlemlerinde kullanılmak üzere mikrodalga kurutucuda ortalama 32.64 g, hibrit kurutucuda 30.86 g, D1 kurutma yönteminde 25.63 g ve D2 kurutma yönteminde ise 25.90 g taze örnek kullanılmıştır. Örnekler her kurutma yönteminde 3 tekrerrür halinde gerçekleştirilmiştir. Araştırma materyali olan armut dilimlerinin ağırlık değişimlerini belirlemek için hassas terazi (AND marka GF-300 model) kullanılarak ölçülmüştür. Kurutma denemeleri hassas terazi kullanılarak 15 sn., 30 sn., 1 dk. ve 10 dk. aralıklarla tartılarak ağırlık kayıpları not edildi.

2.3 Nem tayini

Armutların kurutma öncesi başlangıç nem içeriği 70 °C sıcaklıktaki bir fırında ağırlık değişimleri sabitlenene kadar kurutularak belirlenmiştir [22]. Armut dilimlerinin ilk nem içeriğini hesaplamak için 1 no.lu eşitlik kullanılmıştır.

$$N_{k.b.} = \frac{M_i - M_f}{M_i} \times 100 \quad (1)$$

Burada;

- $N_{k.b.}$: Kuru baza göre nem miktarı,
 M_i : Yaş ağırlık,
 M_f : Kuru son ağırlık.

2.4 Kuruma oranı ve nem oranı

Armut meyvesinin kuruma oranı değerlerini belirlemek için 2 no.lu eşitlik kullanılmıştır.

$$KO = \frac{M_t - M_{(t+dt)}}{dt} \quad (2)$$

$$SEC = \frac{E_t}{m_w} \quad (8)$$

Eşitlikte;

M_t : Nem miktarı (g su g kuruma madde⁻¹),
 d_t : Süre,
 M_e : Kuruma oranı.

Örneklerin süreye bağlı nem oranlarını belirlemek için 3 no.lu eşitlik kullanılmıştır.

$$NO = \frac{M - M_e}{M_0 - M_e} \quad (3)$$

Eşitlikte;

NO : Nem oranı,
M : Nem değeri,
 M_e : Denge nem değeri,
 M_0 : Nem değeri.

2.5 Renk ölçümü

Taze ve kuru göksulu armutun "L" değeri dilimlerinin parlaklık, "a" değeri kırmızı/yeşil ve "b" değeri sarı/mavi değerlerini ölçmek için Minolta marka CR300 model renk ölçer kullanılmıştır. Ölçülen değerler kullanılarak toplam renk değişimi ve kroma değerleri hesaplanmıştır. Kroma, ürünlerin doygunluk değerini göstermektedir. Toplam renk değişimi, kurutma işlemleri sonucunda örneklerin renginin ne kadar değişiklik gösterdiğini göstermektedir. Bu değerler 4 ve 5 no.lu eşitlikler kullanılarak hesaplanmıştır [23],[24].

$$Kroma \quad C = (a^2 + b^2)^{1/2} \quad (4)$$

$$\text{Renk değişimi} = \frac{\Delta E}{\sqrt{(L - L^*)^2 + (a - a^*)^2 + (b - b^*)^2}} \quad (5)$$

2.6 2.6 Efektif nem difüzyon değeri

Armut örneklerinden efektif nem difüzyonunu hesaplamak için 6 no.lu eşitlik kullanılmıştır [25].

$$\ln MR = \ln \frac{8}{\pi^2} - \frac{\pi^2 \cdot D_{eff} \cdot t}{4L^2} \quad (6)$$

Burada;

D_{eff} : Efektif nem difüzyon değeri (m² s⁻¹),
L : Dilimin kalınlığını göstermektedir.

2.7 Özgül nem çıkartma oranı (SMER)

Kurutma işlemlerinde bir kg. numuneyi kurutmak için gerekli olan enerji miktarı olarak tanımlanan SMER değerini hesaplamak için 7 no.lu eşitlik kullanılmıştır [26].

$$SMER = \frac{\text{Kurutma işleminde uzaklaşan nem (kg)}}{\text{Kurutucunun tükettiği enerji (kWh)}} \quad (7)$$

Burada;

SMER : Özgül nem çekme oranı (kg kWh⁻¹).

2.8 Özgül enerji tüketimi (SEC)

Kurutma işlemlerinde bir kg. nemi uzaklaştırmak için harcanan enerji miktarını ise 8 No.lu eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır [27].

Eşitlikte;

SEC : Özgül enerji tüketimi (kWh kg su⁻¹),
 E_t : Toplam tüketilen enerji (kWh),
 m_w : Uzaklaşan su miktarı (kg).

2.9 İstatistiksel analiz

Armut örneklerinin renk değerlerini istatistiksel açıdan değerlendirmek için SPSS 22. programında Duncan çoklu karşılaştırma testi ($P < 0.05$) yapılmıştır. Ürünlerin kuruma oranı, nem oranı ve enerji analizlerine ait eğrileri ve grafikleri oluşturmak için SigmaPlot 10.0 programı kullanılmıştır.

3 Bulgular ve tartışma

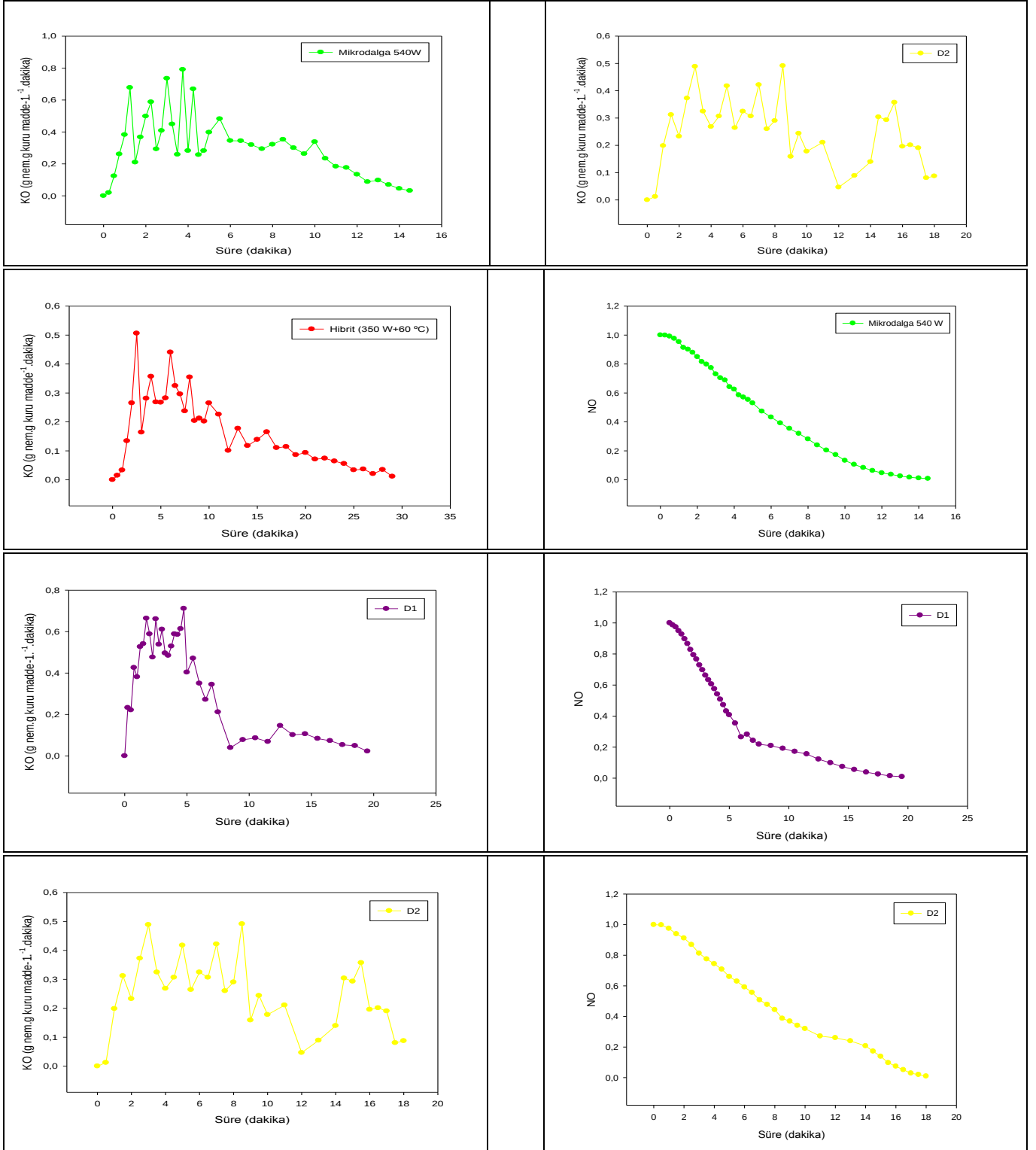
3.1 Kuruma verileri

Göksulu Armut çeşitine ait örnekler mikrodalga ve hibrit kurutucuda cips üretmek için belirtilen nem seviyesine (<%7) kadar kurutulmuştur. Armutların ilk nem içeriği %81.20±0.58 olarak tespit edilmiştir. Polatçı ve diğ. [9] yaptıkları armut posası kurutma çalışmasında kurutulacak olan materyalin başlangıç nemini ortalama %77.65 olarak tespit etmişlerdir. Bu çalışmadaki armut örneklerinin nem seviyesi literatür kaynağındaki örneklerin nem seviyesine benzer sonuçlar bulunmuş fakat aradaki farklılığın ise literatürdeki kurutulacak örnekleri posa haline getirilmesi aşamasında üründen nem kayıpları ve bu çalışmadaki ürün çeşidinin farklılığından dolayı olduğu düşünülmektedir. Hibrit, mikrodalga, D1 ve D2 kurutma yöntemlerindeki örnekler sırasıyla 29, 14.5, 19.5 ve 18 dk. de kurumuştur. Kurutma çalışmasında en uzun kuruma süresi hibrit kurutucuda 29 dk. de kururken en kısa kuruma süresi mikrodalga kurutucuda 14.5 dk. olarak belirlenmiştir. Taşova ve diğ. [28] mikrodalga ve konvektif kurutucular ile kuşburnu meyvesi kurutmuşlardır. Çalışmalarında 360, 540, 720 ve 900 W mikrodalga güç değerlerinde ve konvektif kurutucuda 50, 60 ve 70 °C sıcaklıklarda kurutma çalışması gerçekleştirmişlerdir. Çalışma sonucunda ise kuruma sürelerini mikrodalga kurutma yönteminde sırasıyla 27, 14, 11 ve 9 dk. olarak, konvektif kurutucuda sırasıyla 16.5, 7.5 ve 7 sa. olarak belirlemişlerdir. Literatürdeki ve bu çalışmadaki aynı mikrodalga gücünde (540W) kuruma sürelerinde çok yakın sonuçlar tespit edilmiştir. Uysal ve Özkal [29] çalışmalarında limon kabuklarını sıcak hava (40, 50 ve 60 °C, mikrodalga (90, 180 ve 360 W) ve hibrit (40 °C/90, +180, +360 W, 50 °C/90, +180, +360 ve 60°C/90, +180, +360) kurutucuda kurutmuşlardır. Sonuç olarak en kısa kuruma süresini kombine kurutucuda 60 °C/360 W yönteminde 24 dk. olarak tespit etmişlerdir. Bu çalışma ve literatürdeki çalışmada yakın sonuçlar elde edilmiş ancak aradaki farkların kurutulmuş olan ürünlerin farklılıklarından ve nem içeriklerinin değişkenlik göstermesinden dolayı olduğu tahmin edilmektedir.

3.2 Kuruma verileri

Kurutulan Göksulu armut örneklerine ait kuruma oranı ve süreye bağlı nem oranlarına ait veriler Şekil 1'de verilmiştir.

Şekil 1'e göre kuruma oranları mikrodalga kurutucuda 0.0192-0.7906 g nem g kuru madde⁻¹.dk. aralığında değiştiği belirlenmiştir.



Şekil 1. Göksulu armut örneklerinin kuruma kinetiği.

Figure 1. Drying kinetics of Göksulu pear samples.

Hibrit, D1 ve D2 kurutma yöntemlerinde sırasıyla 0.0115-0.5060, 0.0224-0.7115 ve 0.0123-0.4914 g nem g kuru madde⁻¹.dk. arasında değişkenlik gösterdiği belirlenmiştir. Dursun ve diğ. [30] geliştirilmiş olan sıcaklık kontrollü

mikrodalga (50, 60 ve 70 °C) kurutucuda mantar kurutmuşlardır. Kurutma sonucunda kuruma oranlarını 0.0028-0.5031 g nem g kuru madde⁻¹.dk. arasında değiştiğini bildirmişlerdir. Literatürdeki ve bu çalışmadaki farkın ise

modifiye edilmiş mikrodalga kurutucunun normal mikrodalga kurutucuya göre kuruma süresini uzatmasından dolayı olduğu tahmin edilmektedir. Li ve diğ. [31] Balsam armudunu mikrodalga kurutucuda kurutmuşlardır. Çalışma sonucunda en yüksek kuruma oranı $0.08364 \text{ g nem g kuru madde}^{-1} \cdot \text{dk}$ olarak tespit etmişlerdir. Bu çalışmada literatürdeki çalışmaya göre daha iyi sonuçlar elde edildiği görülmüştür.

3.3 Renk ve sertlik verileri

Meyve cipsleri için en belirleyici kalite özelliklerinden birisi olan renk ısı işlemlerden kaynaklanan kalite kayıplarına dikkat etmek için iyi bir parametre özelliği taşımaktadır [32]. Taze ve kurutulmuş armut örneklerinin renk ve sertlik değerleri Tablo 1'de verilmiştir. Tablo 1'e göre kurutma yöntemleri Göksulu armutların renk değerlerini etkilemiştir. Kurutma yöntemleri taze armutların renk değerlerini kroma değerleri hariç koruyamamıştır. Marzec ve diğ. [33] kurutma işlemlerinin kuru meyvenin rengini etkilediğini ve kurutulmuş armutların renk değerlerinin taze örneklerle göre farklı olduğunu tespit etmişlerdir. Bu çalışmada parlaklık (L) değerinin tazeye göre azaldığı tespit edilmiştir. Bunun nedenin ise kurutucuların üründe oluşturduğu sıcaklıktan dolayı armut meyvesinin bünyesinde barındırdığı şekeri karamelize hale getirirerek parlaklık değerlerini azaltıcı bir etki oluşturduğu düşünülmektedir. Zia ve diğ. [34] yaptıkları çalışma sonucunda yüksek mikrodalga gücü ve sıcaklıklarda proteinlerin, karbonhidratların ve karotenoidlerin termal bozulmasına neden olacağına ve Maillard reaksiyonu gibi belirli reaksiyonları başlatabileceğini ifade etmişlerdir. Önal ve diğ. [35] Rocha armudu kurutma çalışmasında mikrodalga ve ultrason ön işlemi uygulayarak kurutma çalışması gerçekleştirmişlerdir. Çalışma sonucunda ise mikrodalgada ön işlemi görmüş tüm örneklerde parlaklık değerlerinin tazeye göre daha düşük değerler elde ettiklerini bildirmişlerdir. Kurutulan örneklerde istatistiksel açıdan ($0.05 < p$) yeşil renk değerinin ($-a$) arttığı ve sarı renk değerinin (b) tazeye yakın değerler gösterdiği tespit edilmiştir. Polat ve İzli [19] Elektrohrodinamik-sıcak hava (EHD) yöntemi ile Ankara armudu kurutmuşlardır. Kurutma sonunda armut örneklerinin a ve b değerlerinde bir artış olduğunu bildirmişlerdir. Bu çalışmada a değerinin literatür ile uyumlu olduğu b değerinin ise farklı olduğu görülmüştür. Bu farkın kurutucuların kurutulmuş olduğu armut örnekleri üzerinde b değerini farklı koşullarda etkileyebileceğini düşündürmektedir. C değerleri açısından D1 kurutma yöntemi istatistiksel açıdan ($p < 0.05$)

tazeyi koruduğu diğer yöntemlerde ise arttığı ve azaldığı tespit edilmiştir. Dominguez-Nino ve diğ. [36] askorbik asit (ön işlemli) ve kontrol (ön işlemsiz) numunelerini elektrikli cebir fonksiyonlu kurutucuda armut dilimlerini kurutmuşlardır. Çalışma sonucunda ise artan ve azalan kroma değerlerini tespit etmiş ve kromanın artan pigment konsantrasyonu ile arttığı ve daha sonra örnekler koyulaştıkça azaldığını belirtmişlerdir. Renk değişimi (ΔE) hibrit ve mikrodalga kurutucuda, D1 ve D2 yöntemine göre daha düşük çıkmıştır. D1 ve D2 yöntemlerinde değişken yöntemli kurutma yöntemleriyle kurutma gerçekleştiği için enzimatik ve enzimatik olmayan kararmaların daha fazla olduğu bu durumda renk değişim değerlerini yükselttiği tahmin edilmektedir. Yi ve diğ. [37] daha düşük çıkan ΔE değerleri için tazeye daha yakın olduğunu ifade etmişlerdir. En yüksek sertlik değerinin mikrodalga kurutma yönteminde olduğu tespit edilirken en düşük sertlik değeri ise D2 kurutma yönteminde olduğu görülmüştür. Bunun nedenin ise D2 kurutma yönteminde kurutulmuş armut örnekleri ilk önce sıcak hava destekli mikrodalga kurutucuda (hibrit) başlayarak sıcak havanın normal mikrodalgaya göre üründen daha yumuşak doku yapısı oluşturduğu düşünülmektedir.

3.4 Efektif nem difüzyon değerleri

Armut kurutma işlemlerine ait efektif nem difüzyon değerleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2'ye göre Göksulu armut kurutma çalışmasında kurutma yöntemlerinin efektif nem difüzyon değerlerine etki ettiği görülmüştür. D1 ve D2 kurutma yöntemlerinde hesaplanan değerlerin birbirine yakın sonuçlar olduğu görülmektedir. Bunun nedenin ise ilk yapılan kurutma denemesinin ardından kuruma sürelerinin %40'ı tamamladıktan sonra kurutucu içindeki ürünlerin yer değiştirmesinden (değişken yöntemli kurutma) dolayı yani ürünler her iki kurutucuda da kuruma işlemi gerçekleşmesinden dolayı olduğu düşünülmektedir.

Dehghannya ve diğ. [38] ayva meyvesini çok aşamalı sürekli ve araklı olarak mikrodalga kurutucuda, ozmotik ön kurutmayla da sıcak havalı kurutucuda kurutmuşlardır. Çalışma sonucunda ise efektif nem difüzyon değerlerini 1.81×10^{-7} - $8.42 \times 10^{-10} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ aralığında farklı değerler hesaplamışlardır. Kalantari ve diğ. [39] armut dilimlerini konvektif kurutucuda (50, 60, 70 ve 80 °C) farklı hava hızlarında (0.5, 1 ve 1.5 m s^{-1}) kurutma çalışması gerçekleştirmişlerdir. Çalışma sonucunda ise 6.25×10^{-7} - $7.71 \times 10^{-8} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ aralığında değiştiğini bildirmişlerdir.

Tablo 1. Armut dilimlerine ait renk ve sertlik değerleri.

Table 1. Color and hardness values of pear slices.

Kurutma Yöntemleri	L	a	b	C	ΔE	S
Taze	54.89±3.12 ^a	-0.69±1.27 ^c	15.52±2.24 ^{ab}	15.58±2.23 ^{ab}	-	-
Hibrit kurutucu	39.92±3.9 ^c	10.27±2.13 ^a	13.05±2.56 ^{abc}	16.71±2.66 ^a	27.86±2.7 ^b	5.23±1.04 ^{ab}
Mikrodalga	39.37±6.25 ^c	7.44±2.48 ^b	10.85±4 ^c	13.27±4.36 ^b	28.99±5.34 ^b	5.48±0.98 ^a
D1	43.23±6.14 ^{bc}	8.53±1.89 ^{ab}	12.46±4.27 ^{bc}	15.29±3.93^{ab}	31.24±3.73 ^{ab}	4.60±1.52 ^{ab}
D2	47.11±4.93 ^b	9.48±1.13 ^a	15.85±3.18 ^a	18.51±3.07 ^a	33.24±3.25 ^a	4.33±0.53 ^b

*: Tabloda belirtilen koyu veri renk değeri açısından en uygun değeri göstermektedir.

Tablo 2. Efektif nem difüzyon değerleri.

Table 2. Effective moisture diffusion values.

Kurutma yöntemleri	Efektif nem difüzyon $\text{m}^2 \text{ s}^{-1}$
Hibrit kurutucu	4.04×10^{-7}
Mikrodalga	7.72×10^{-7}
D1	5.57×10^{-7}
D2	5.16×10^{-7}

3.5 SMER, SEC ve toplam enerji tüketim değerleri

Kurutma işlemlerinin SMER ve SEC değerleri Tablo 3'te verilmiştir.

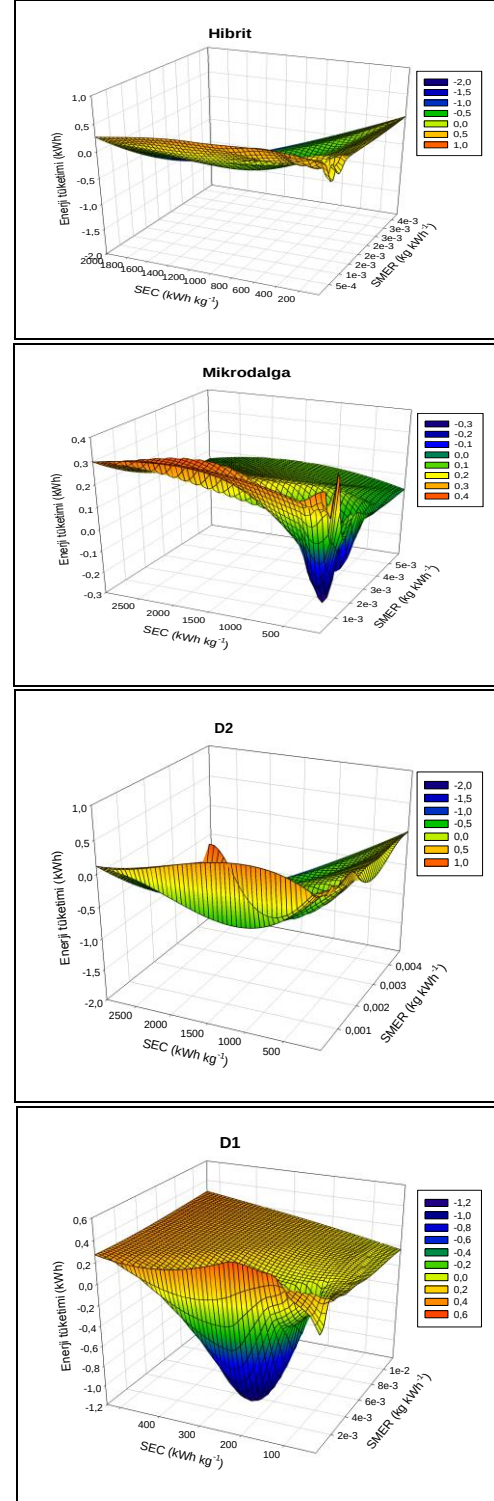
Tablo 3. Özgül nem çekme oranı, özgül enerji tüketim ve toplam enerji tüketim değerleri.

Table 3. Specific moisture absorption rate, specific energy consumption and total energy consumption values.

Kurutma yöntemleri	SMER (kg kWh ⁻¹)	SEC (kWh kg ⁻¹)	Toplam enerji tüketimi (kWh)
Hibrit kurutucu	0.00083	232.34	0.426
Mikrodalga	0.00146	170.04	0.297
D1	0.00218	89.49	0.271
D2	0.00143	164.13	0.279

Tablo 3'e göre kurutma yöntemlerinin armut kurutma işlemlerinde enerji analizlerini etkilemiştir. Taşova ve diğ. [40] kurutma yöntemlerinin enerji analizleri önemli ölçüde etkilediğini bildirmişlerdir. En yüksek SMER değeri D1 kurutma yönteminde tespit edilmiştir. Bunun nedenini ise mikrodalga kurutucunun hibrit kurutucuya göre daha yüksek özgül nem çekme oranına sahip olduğu görülmektedir. Bu nedenden dolayı D1 kurutma yöntemindeki örnekler önce mikrodalga kurutucuda kurutma işlemine başlayıp daha sonra armut örnekleri hibrit kurutucuya transfer edilmesinden dolayı olduğu düşünülmektedir. Taşova ve diğ. [40] çalışmalarında farklı sürelerde (30 ve 60 dk.) ozmotik ön işleme (%25, 50 ve 75 sakaroz çözeltisi) tabii tuttuğu ve ön işlem uygulamadığı Kosia (Nashi) armut örneklerini konvektif kurutucuda kurutmuşlardır. Çalışma sonucunda kontrol örneklerinin SMER değerlerini 0.0062-0.00075 kg kWh⁻¹ aralığında tespit etmişlerdir. En yüksek SEC değeri hibrit kurutma yönteminde olduğu tespit edilmiştir. Bunun nedeninin ise en uzun kuruma süresinin hibrit kurutma yönteminde olmasından dolayı kaynaklandığı düşünülmektedir. Yüksek SEC değerlerinin daha uzun kuruma süresi, sıcaklık ve güç değerlerinin doğrudan etkili olduğu bildirilmiştir [20]. Çetin ve Sağlam [42] üç çeşit (Golden Delicious, Oregon Spur ve Granny Smith) dip döküntü elmaları güneş, sera, mikrodalga, hibrit, konvektif ve dondurarak kurutma yöntemleriyle ultrason ön işlemleri uygulayarak kurutmuşlardır. Çalışma sonucunda mikrodalga kurutmanın hibrit kurutma yöntemine göre daha düşük enerji tüketim değerine sahip olduğunu bulmuşlardır. Abbaspour-Gilandeh ve diğ. [43] ayva örneklerini farklı sıcaklık ve hava hızlarında kurutmuşlardır. Ayva kurutma sürecini incelerken SEC değerlerini 85.40-260.11 kWh kg⁻¹ aralığında değiştiğini bildirmişlerdir. Taghinezhad ve diğ. [44] çalışmalarında hibrit kurutucuda (sıcak hava+mikrodalga) farklı hava hızlarında (0.5, 1 ve 1.5 m s⁻¹) ayva kurutmuşlardır. En yüksek SEC değerini 126.07 kWh kg⁻¹ bulurken en düşük değeri ise 47.87 kWh kg⁻¹ olarak bulmuşlardır. Literatürdeki ve bu çalışmada benzer özgül enerji tüketim değerleri tespit edilse de arada farklılıklar olduğu görülmektedir. Bunun nedeninin ise literatürdeki çalışmalarda hava hızının kuruma süresi ve SEC değerleri üzerinde etkili olduğu düşünülmektedir. Kurutma yöntemleri toplam enerji tüketim değerlerini etkilediği görülmektedir. D1 ve D2 yöntemlerinde yakın sonuçlar tespit edilmiş bunun nedeninin ise değişken yöntemli kurutma işlemi gerçekleşmesinden dolayı kaynaklandığı düşünülmektedir. Sabancı ve diğ. [45] konvektif kurutucuda, mikrodalga kurutucuda ve hibrit (mikrodalga+konvektif) kurutucuda kabak kurutma çalışması

gerçekleştirmişlerdir. Kabak kurutma işlemleri sonucunda toplam enerji tüketim değerlerini 0.30-0.72 kWh arasında değiştiğini tespit etmişlerdir. Armut kurutma çalışma sonunda hesaplanan ve ölçülen SMER, SEC ve toplam enerji tüketim değerlerinin birlikte verildiği üç boyutlu görünümü Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. SMER ve SEC değerleri.

Figure 2. SMER and SEC values.

4 Sonuçlar

Göksulu armudun kuruma kinetiği, renk ve enerji analizlerine kurutma yöntemlerinin etki ettiği görülmüştür. Değişken yöntemle kurutulmuş ürünlerin hibrit kurutucuda kuruma süresini azaltırken mikrodalga kurutucuda kuruma süresini artırmıştır. Değişken yöntemler hibrit kurutucuya göre nem difüzyonu açısından daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Renk, özgül nem çekme oranı, özgül enerji tüketimi ve toplam enerji tüketimi parametreleri açısından değişken yöntemli olan D1 kurutma yönteminde en iyi sonuçlarla karşılaşmıştır. Çalışma kapsamında dip döküntü Göksulu armutların kurutulmasında kuruma süresi ve nem difüzyonu açısından mikrodalga kurutma yöntemi önerilirken kalite ve enerji parametreleri açısından değişken yöntemlerden birisi olan D1 yöntemi önerilmektedir. Göksulu armut için bundan sonraki çalışmalarda kuruma kinetiği, kalite özellikleri ve biyoaktif özelliklerin birlikte muhafaza edileceği düşünüldüğü farklı yöntemlerde sıcaklık veya mikrodalga güçleri ile birlikte ön işlemlerin uygulandığı çalışmaların yapılması önerilir.

5 Conclusions

It can be seen that drying methods affect the drying kinetics, color and energy analyzes of Göksulu pear. While variable options reduce drying time in the stoppable hybrid dryer, drying time is increased in the remote dryer. Better results were obtained according to moisture diffusion than variable hybrids. The best results were obtained in the D1 drying method, which has a variable method in terms of color, specific moisture absorption rate, specific energy consumption and total energy consumption parameters. Bottom arrangement within the scope of the study While a balanced drying method is recommended in terms of drying time and moisture diffusion in drying Göksulu pears, the rules of the D1 method, which is one of the perspective variable applications for quality and energy parameters. For Göksulu pear, it is recommended to pre-run with temperature or microwave powers at different fractures, where the subsequent drying kinetics, quality properties and bioactive properties are thought to be preserved together.

6 Yazar katkı beyanı

Gerçekleştirilen çalışmada Samet Kaya DURSUN verilerin toplanması, verilerin analizi, makale yazımı ve makalenin gönderimi ve revizyonu başlıklarında; Muhammed TAŞOVA fikrin oluşturulması, materyal ve yöntemin oluşturulması, elde edilen sonuçların değerlendirilmesi ve makalenin kontrol edilmesi başlıklarında katkı sunmuşlardır.

7 Etik kurul onayı ve çıkar çatışması beyanı

"Hazırlanan makalede etik kurul izni alınmasına gerek yoktur".
"Hazırlanan makalede herhangi bir kişi/kurum ile çıkar çatışması bulunmamaktadır".

8 Kaynaklar

- [1] Liu Y, Zeng Y, Wang Q, Sun C, Xi H. "Drying characteristics, microstructure, glass transition temperature, and quality of ultrasound-strengthened hot air drying on pear slices". *Journal of Food Preservation*, 43, e13899, 2019.
- [2] Doymaz İ. "Experimental study on drying of pear slices in a convective dryer". *International Journal of Food Science & Technology*, 48(9), 1909-1915, 2013.

- [3] Carol EO, Nicklas TA, Fulgoni VL. "Fresh pear consumption is associated with better nutrient intake, diet quality, and weight parameters in adults: National health and nutrition examination survey 2001–2010". *Journal of Nutrition & Food Sciences*, 5, 377, 2015.
- [4] Komes D, Lovric T, Ganic KK. "Aroma of dehydrated pear products". *LWT-Food Science and Technology*, 40(9), 1578–1586, 2007.
- [5] Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). "Energy-smart food for people and climate". <https://www.fao.org/sustainable-food-value-chains/library/details/jp/c/266092/> (02.03.2017).
- [6] Dias PGI, Sajiwanie JWA, Rathnayaka RMUSK. "Chemical composition, physicochemical and technological properties of selected fruit peels as a potential food source". *International Journal of Fruit Science*, 20(2), 240-251, 2020.
- [7] Galanakis CM. *Food Waste Recovery: Processing Technologies and Industrial Techniques*. 1st ed. Cambridge, UK, Academic Press, 2015.
- [8] Royte E. "How 'Ugly' Fruits and Vegetables Can Help Solve World Hunger". <https://www.nationalgeographic.com/magazine/2016/03/globalfoodwastestatistics/?user.testname=none>. (04.03.2016).
- [9] Polatçı H, Taşova M, Saraçoğlu O. "Armut (*Pirus communis* L.) posasının bazı kalite değerleri açısından uygun kurutma sıcaklığının belirlenmesi". *Academic Platform-Journal of Engineering and Science*, 8(39), 540-546, 2020.
- [10] Bonazzi C, Dumoulin E. *Quality Changes in Food Materials as Influenced by Drying Processes*. Editörler: Tsotsas E, Mujumdar AS. Modern Drying Technology, 1-20, Weinheim, Germany, Wiley-VCH, 2011.
- [11] Purohit P, Kumar A, Kandpal TC. "Solar drying vs. open sun drying: A framework for financial evaluation". *Solar Energy*, 80(12), 1568–1579, 2006.
- [12] Sharma A, Chen CR, Lan NV. "Solar-energy drying systems: A review". *Renewable Sustainable Energy Review*, 13(6-7), 1185–1210, 2009.
- [13] Taşkın O, İzli G, İzli N. "Physicochemical and morphological properties of european cranberrybush powder manufactured by freeze-drying". *International Journal of Fruit Science*, 21(1), 1008-1017, 2021.
- [14] Aksüt B, Dursun SK, Polatçı H, Taşova M. "Effects of microwave dryers on the properties of Jerusalem artichoke: physico-chemical, thermo-physical, energy consumption". *Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy*, 57(1), 28-43, 2023.
- [15] Yılmaz A, Alibaş İ. "The impact of drying methods on quality parameters of purple basil leaves". *Journal of Food Process Preservation*, 45, e15638, 2021.
- [16] Mujumdar AS, Law CL. "Drying technology: trends and applications in postharvest processing". *Food Bioprocess Technology*, 3, 843-852, 2010.
- [17] Liu T, Sun C, Lei Y, Yu H, Xi H, Duan X. "Contact ultrasound strengthened far-infrared radiation drying on pear slices: Effects on drying characteristics, microstructure, and quality attributes". *Drying Technology*, 37(6), 745-758, 2018.
- [18] Araujo MEV, Barbosa EG, Lopes RP, Correa PC, Barbosa EG. "Infrared drying of pear slices: Drying kinetics, energy, and exergy analysis". *Journal of Food Process Engineering*, 44(12), e13915, 2021.

- [19] Polat A, İzli N. "Drying characteristics and quality evaluation of 'Ankara' pear dried by electrohydrodynamic-hot air (EHD) method". *Food Control*, 134, 108774, 2022.
- [20] Kaveh M, Çetin N, Gilandeh YA, Sharifian F, Szymanek M. "Comparative evaluation of greenhouse gas emissions and specific energy consumption of different drying techniques in pear slices". *European Food Research and Technology*, 249(12), 3027-3041, 2023.
- [21] Pardeshi IL, Arora S, Borker PA. "Thin-layer drying of green peas and selection of a suitable thin-layer drying model". *Drying Technology*, 27(2), 288-295, 2009.
- [22] Pixton SW, Warburton S. "Determination of moisture content and equilibrium relative humidity of dried fruit-Sultanas". *Journal of Stored Products Research*, 8(4), 263-270, 1973.
- [23] Ramallo LA, Mascheroni RH. "Quality evaluation of pineapple fruit during drying process". *Food and Bioprocess Processing*, 99(2), 275-283, 2012.
- [24] Tan M, Chua KJ, Mujumdar AS, Chou SK. "Effect of osmotic pre-treatment and infrared radiation of drying rate and color changes during drying of potato and pineapple". *Drying Technology*, 19(9), 2193-2207, 2001.
- [25] Corzo O, Bracho N, Pereira A, Vasquez A. "Weibull distribution for modeling air drying of coroba slices". *LWT-Food Science and Technology*, 41(10), 2023-2028, 2008.
- [26] Surendhar A, Sivasubramanian V, Vidhyeswari D, Deepanraj B. "Energy and exergy analysis, drying kinetics, modeling and quality parameters of microwave-dried turmeric slices". *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 136, 185-197, 2019.
- [27] Motevali A, Abbaszadeh A, Minaei S, Khoshtaghaza MH, Ghobadian B. "Effective moisture diffusivity, activation energy and energy consumption in thin-layer drying of jujube (*Zizyphus jujube* Mill)". *Journal of Agricultural Science and Technology*, 14(3), 523-532, 2012.
- [28] Taşova M, Ergüneş G, Gerçekçiöğlu R, Karagül Ş. "Konvektif ve mikrodalga yöntemlerle kurutulan kuşburnu (*RosamontanaChaixsubsp. woronovii* (Lonacz) Ö. Nilsson) meyvelerinde kalite değişimleri". *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 34(3), 312-318, 2019.
- [29] Uysal MB, Özkal SG. "Limon kabuklarının sıcak hava, mikrodalga ve sıcak hava-mikrodalga kombinasyonu ile kurutulması". *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 12(4), 2223-2236, 2022.
- [30] Dursun SK, Aksüt B, Polatçı H, Toşava M. "Sıcaklık Kontrollü bir mikrodalga kurutucunun geliştirilmesi ve mantar kurutma işleminin enerji ve kalite değerlerine etkisi". *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 20(3), 561-573, 2023.
- [31] Li J, Li Z, Li L, Song C, Raghavan GSV, He F. "Microwave drying of balsam pear with online aroma detection and control". *Journal of Food Engineering*, 288, 110139, 2021.
- [32] Horuz E, Maskan M. "Hot air and microwave drying of pomegranate (*Punica granatum* L.) arils". *Journal of Food Science Technology*, 52, 285-293, 2013.
- [33] Marzec A, Kowalska H, Kowalska J, Domian E, Lenart A. "Influence of Pear Variety and Drying Methods on the Quality of Dried Fruit". *Molecules*, 25(21), 5146, 2020.
- [34] Zia S, Khan MR, Aadil RM. "Kinetic modeling of different drying techniques and their influence on color, bioactive compounds, antioxidant indices and phenolic profile of watermelon rind". *Journal of Food Measurement and Characterization*, 17(1), 1068-1081, 2023.
- [35] Önal B, Adiletta G, Di Matteo M, Russo P, Ramos IN, Silva CLM. "Microwave and ultrasound pre-treatments for drying of the 'Rocha' Pear: Impact on Phytochemical Parameters, Color Changes and Drying Kinetics". *Foods*, 10(4), 853, 2021.
- [36] Dominguez-Nino A, Salgado-Sandoval O, Lopez-Vidana EC, Cesar-Munguia AL, Pilatowsky-Figueroa I, Garcia-Valladares O. "Influence of process variables on the drying kinetics and color properties of pear slices (*Pyrus communis*)". *Color Research & Application*, 46(5), 1128-1141, 2021.
- [37] Yi J, Zhou L, Bi J, Chen Q, Liu X, Wu X. "Impacts of pre-drying methods on physicochemical characteristics, color, texture, volume ratio, microstructure and rehydration of explosion puffing dried pear chips". *Journal of Food Processing and Preservation*. 40(5), 863-873, 2021.
- [38] Dehghannya C, Hosseiniar SH, Heshmati MK. "Multi-stage continuous and intermittent microwave drying of quince fruit coupled with osmotic dehydration and low temperature hot air drying". *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 45, 132-151, 2018.
- [39] Kalantari D, Naji-Tabasi S, Kaveh M, Azadbakht M, Majnooni M, Khorshidi Y, Asghari A, Khalife E. "Drying kinetics and shrinkage rate of thin-sliced pears in different drying stages". *Journal of Food Process Engineering*, 46(3), e14264, 2022.
- [40] Taşova M, Polatçı H, Gökdoğan O. "Effect of osmotic dehydration pre-treatments on physicochemical and energy parameters of Kosia (Nashi) pear slices dried in a convective oven". *Journal of Food Processing and Preservation*, 46(11), e16945, 2022.
- [41] Taşova M, Polatçı H, Dursun SK. "Comparison of the performance of a modified temperature-controlled microwave dryer to improve heat-mass transfer, increase energy efficiency and preserve quality characteristics of shad (*Alosa fallax nilotica*)". *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 144, 106772, 2023.
- [42] Çetin N, Sağlam C. "Effects of ultrasound pretreatment assisted drying methods on drying characteristics, physical and bioactive properties of windfall apples". *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 103(2), 532-547, 2022.
- [43] Abbaspour-Gilandeh Y, Jahanbakhshi A, Kaveh M. "Prediction kinetic, energy and exergy of quince under hot air dryer using ANNs and ANFIS". *Food Science & Nutrition*, 8(1), 594-611, 2019.
- [44] Taghinezhad E, Kaveh M, Jahanbakhshi A, Golpour I. "Use of artificial intelligence for the estimation of effective moisture diffusivity, specific energy consumption, color and shrinkage in quince drying". *Journal of Food Process Engineering*, 43(4), e13358, 2020.
- [45] Sabancı S, Türkoğlu T, Dirim SN. "Determination of shrinkage characteristics of pumpkin discs during convection, microwave, and combined drying using computer-aided technique: Image processing application". *Journal of Food Process Engineering*, 46(8), e14391, 2023.