



Investigation of Drying Kinetics and Powder Product Properties of Dragon Fruit Powders Dried by Microwave Assisted Foam Drying Method

Kadriye Altay^{1,a,*}

¹Olive Research Institute, 35100 İzmir, Türkiye

*Corresponding author

ARTICLE INFO	ABSTRACT
<p><i>Research Article</i></p> <p>Received : 03/02/2022 Accepted : 31/08/2022</p> <p>Keywords: Dragon fruit Microwave-assisted foam drying Thin layer modeling Activation energy Drying kinetics</p>	<p>In this study, dragon fruit was dried by a microwave-assisted foam drying method and the effect of different microwave powers (350, 460 and 700W) on the drying kinetics and powder product properties were investigated. The properties (foam stability, expansion and density) of the foams obtained by adding egg white to dragon fruit puree were examined. The highest R² and lowest RMSE and χ^2 values of foam dried samples obtained from the Silva models. The effective moisture diffusion coefficient values of the samples (5.93×10^{-8}-1.16×10^{-7} m²/s) increased due to the increase of microwave power. Activation energy values were calculated as 74.77 W/g. The effects of different microwave powers on moisture, water activity, color and powder product properties of dragon fruit powders dried by foam drying method were determined. In addition, in all conditions where microwave foam drying is performed, dragon fruit powders showed very good flowability and low stickiness.</p>

Türk Tarım – Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi, 10(9): 1627-1637, 2022

Mikrodalga Destekli Köpük Kurutma Yöntemi ile Kurutulan Ejder Meyvesi Tozlarının Kuruma Kinetiği ve Toz Ürün Özelliklerinin İncelenmesi

MAKALE BİLGİSİ	ÖZ
<p><i>Araştırma Makalesi</i></p> <p>Geliş : 03/02/2022 Kabul : 31/08/2022</p> <p>Anahtar Kelimeler: Ejder meyvesi Mikrodalga destekli köpük kurutma İnce tabaka modelleme Aktivasyon enerjisi Kurutma kinetiği</p>	<p>Bu çalışmada, mikrodalga destekli köpük kurutma yöntemi ile ejder meyvesi kurutulmuş ve farklı mikrodalga güçlerinin (350, 460 ve 700W) ürünün kuruma kinetiği ve toz ürün özelliklerine etkisi incelenmiştir. Ejder meyvesi püresine yumurta akı ilave edilerek elde edilen köpüklerin özellikleri (köpük stabilitesi, genleşmesi ve yoğunluğu) incelenmiştir. Köpük kurutma ile kurutulan örnekler için en yüksek R² ve en düşük RMSE ve χ^2 değerleri Silva ve ark. modelinden elde edilmiştir. Örneklerin etkin nem difüzyon katsayısı değerleri ($5,93 \times 10^{-8}$- $1,16 \times 10^{-7}$ m²/s) mikrodalga gücünün artmasına bağlı olarak artmıştır. Aktivasyon enerjisi değerleri 74,77 W/g olarak hesaplanmıştır. Farklı mikrodalga güçlerinin köpük kurutma yöntemi ile kurutulmuş ejder meyvesi tozlarının nem, su aktivitesi, renk ve toz ürün özellikleri üzerine etkileri belirlenmiştir. Ayrıca mikrodalga ile köpük kurutma yapılan tüm koşullarda ejder meyvesi tozlarının çok iyi akabilirlik özelliği ve düşük yapışkanlık özelliği gösterdiği görülmüştür.</p>

^a kadriye_ergun555@hotmail.com <https://orcid.org/0000-0002-3907-3608>



This work is licensed under Creative Commons Attribution 4.0 International License

Giriş

Ejder meyvesi (*Hylocereus undatus*), diğer adıyla pitaya, kaktüsçiller familyasına ait tropikal bir meyvedir. Meyve kabuğu kalın, kırmızı, pembe veya sarı renkte olup, meyve eti beyazdan eflatuna kadar değişebilen ve küçük siyah tohumlar içeren bir meyvedir (Jiang ve Yang, 2015). Dünyada en çok Meksika, Orta ve Güney Amerika, Endonezya, Avustralya, Karayipler, Malezya ve Tayvan'da yetiştirilirken, meyvenin sıcak iklim koşullarını sevmesi sebebiyle, Türkiye'de Mersin, Antalya, Adana ve Muğla gibi sıcak yerlerde yetiştirilmektedir. Pitaya, İngilizce'de 'Dragon fruit' adıyla da anıldığı için, Türkçe'de bu meyveye 'Ejder meyvesi' denilmiştir. Tadı, kavun, armut ve kivi karışımına benzemektedir. (Uğuz ve Gezici, 2021). Ejder meyvesi, A, B1, B2, B3, C ve E vitaminlerini, çinko, demir, fosfor, kalsiyum, magnezyum, potasyum ve sodyum minerallerini içermektedir (Mercado-Silva, 2018). Ejder meyvesinin, vitamin, antosiyanin, flavonol, betalain ve fenolik bileşen içeriğine bağlı olarak plazmada serbest radikallerin temizlenmesine yardımcı olduğu ve lipid peroksidasyonunu azaltarak antioksidan etki gösterdiği bildirilmiştir (Parmar ve ark., 2019). Ejder meyvesinin zengin biyoaktif bileşen içeriğine bağlı olarak antioksidan, antikanserijen, antiinflamatuvar, antihiperlipidemik, antimikrobiyal ve hepatoprotektif özelliklerine ek olarak, kardiyovasküler hastalıklara karşı koruyucu ve tedavi edici etkiye sahip olduğu belirtilmiştir (Hossain ve ark., 2021, Joshi ve Prabhakar, 2020). Ejder meyvesi, daha çok taze olarak tüketilmekte olup bunun yanı sıra gıda endüstrisinde meyve suyu, pasta, dondurma ve doğal gıda boyası üretiminde kullanılmaktadır. Taze meyve sebzeler yüksek nem içeriğinden dolayı, mikroorganizmaların ve bakterilerin çoğalmasıyla bozulmalara neden olmaktadır. Gıda maddesinden nemin uzaklaştırılıp uzun süre bozulmadan depolanması için kurutulması gerekmektedir (Uğuz ve Gezici, 2021).

Kurutma, bilinen en eski gıda muhafaza yöntemlerinden birisidir. Gıdaların kurutulmasındaki temel amaç, suyun uzaklaştırılarak gıdada oluşabilecek kimyasal, mikrobiyolojik ve kimyasal reaksiyonların yavaşlatılması ya da durdurulmasıdır. Kurutma doğal ve yapay yöntemler ile yapılmaktadır. Doğal koşullarda, gölgede veya güneş ışığı altında yapılan kurutma ile yüksek kalite ve standartlarda ürünün elde edilmesi zorlaşmakta ve ürünlerin raf ömrü olumsuz etkilenmektedir. Bu sebeple günümüzde, gelişen teknoloji ile beraber gıdaların kurutulmasında endüstriyel kurutma sistemleri kullanılmaktadır. Endüstriyel kurutma sistemleri ile yüksek kalite ve standardizasyon sağlanabilmektedir (Altay, 2019). Kurutma, gıdaların raf ömrünü atıran bir proses olmasına rağmen, gıdalarda bulunan askorbik asit, fenolik bileşikler ve karotenoidler gibi biyoaktif bileşiklerin stabilitesi, renk, tat ve doku özellikleri olumsuz yönde etkilenmektedir (Bulut, 2021). Bu sebeple, biyoaktif bileşikler muhafaza eden veya bu maddelerin kaybını en aza indiren alternatif kurutma yöntemlerinin geliştirilmesi gereklidir.

Köpük kurutma, meyve suları, sebze püresi veya tahıl bulamaçları gibi sıvıların veya yarı sıvı/katı gıda ürünlerinin, ince tabaka kurutma koşullarında stabil köpüğe dönüştürüldüğü işlemdir. Bu işlem, kontrollü koşullar altında, yenilebilir köpük ajanı ve/veya köpük

stabilizatörü varlığında bir karıştırıcı yardımı ile karışımın çirpılmasıyla başlamaktadır (Mounir, 2017; Kara, 2021). Kararlı formdaki köpürtülmüş ürün, ince bir tabaka halinde, nispeten sıcak hava akımına maruz bırakılmak üzere farklı tip kurutucularda istenen neme kadar kurutulur. Kurutma, sıcak havayla kurutma, dondurarak kurutma, püskürtmeli kurutma ve mikrodalga ile gerçekleştirilebilir. Köpük kurutma ile diğer kurutma yöntemleri arasında fark bulunmaktadır. Köpük kurutma yönteminde, gıdanın hücre duvarlarının parçalanmakta ve gıdaya gaz (hava) katılmasıyla ham gıda maddesinin fiziksel yapısının değişmesi söz konusudur. Diğer kurutma yöntemlerinde ise; ön işlemler haricinde, kuruma öncesinde gıdanın yapısı, herhangi bir değişikliğe uğramamaktadır (Mounir, 2017). Köpük kurutmada köpürtme ajanı olarak, yumurta albümini, ovalbümin, peynir altı suyu proteini izolatu, jelatin, soya proteini izolatu, guar köpürtme albümini, ticari köpük stabilizatörleri (pektin, jelatin, nişasta, gliserin monostearat, arap zımkı, metil selüloz, karboksimetil selüloz, sorbitan monostearat, vb.) ve diğer kurutma maddeleri (maltodekstrin) kullanılmaktadır (Mounir, 2017; Çakmak, 2020). Köpük kurutma yöntemi ile toz haline getirilen gıdalar, mikrobiyal, kimyasal ve biyokimyasal reaksiyonlar açısından yüksek stabilizeye ve oldukça gözenekli bir yapıya sahiptirler. Köpük kurutma işleminin avantajları arasında, diğer yöntemlere göre her türlü sıvı gıda için uygunluk göstermesi, yüksek kurutma hızı, kolay rekonstitüsyon ve ekonomik olma özelliği sayılabilir. Kuruma hızı, ısı transferinin köpüklü küttele bulunan büyük miktardaki gaz tarafından engellenmesine rağmen, sıvı-gaz ara yüzeyindeki artışa bağlı olarak daha hızlı gerçekleşmekte ve bu durum da kuruma süresini kısaltmaktadır. Ayrıca, köpük kurutma, kurutulması zor malzemelerin homojen ve hızlı bir şekilde kurutulmasını sağlamaktadır. Bu sebeple köpük kurutma, özellikle küçük ölçekli kurutma endüstrisi için alternatif ve uygun bir yöntemdir (Koç ve Çabuk, 2019; Daştan ve İşleroğlu, 2020). Bu çalışmada, kuruma süresini kısaltması, kolay rekonstitüsyon, kararlı form ve ekonomik olma özelliklerinin olması sebebiyle, ejder meyvesinin kurutulmasında mikrodalga destekli köpük kurutma yöntemi kullanılmıştır.

Mikrodalga uygulaması ile bir maddenin yüzeyine gelen elektromanyetik dalgalar absorbe edilmektedir. Ürün bünyesine alınan elektromanyetik enerjinin etkisi ile polar moleküller arasında oluşan titreşim ve sürtünmeler sonucunda sıcaklık artışı meydana gelerek, üründe yer alan su, buharlaşmaktadır. Literatür incelendiğinde, elma (Jakubczyk ve ark., 2011), domates pulpu (Qadri ve Srivastava, 2014) guava meyvesi (Qadri ve Srivastava, 2017), incir (Koç ve ark., 2019), yumurta beyazı (Koç ve Çabuk, 2019), süs elması suyu (Çakmak, 2020) ve papayanın (Qadri ve ark., 2020) mikrodalga destekli köpük kurutma yöntemi ile kurutulduğu çalışmalarla karşılaştırılırken, ejder meyvesinin farklı mikrodalga güçlerinde köpük kurutma yöntemi ile kurutulduğu bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Bu amaçla, farklı mikrodalga güçlerinde köpük kurutma yöntemi ile kurutulmuş ejder meyvesi köpüğünün kuruma kinetiği ve kurutulmuş ürünün toz ürün özellikleri incelenmiştir.

Materyal ve Yöntem

Materyal

Çalışmada kullanılan ejder meyvesi İzmir’de bulunan yerel bir pazardan satın alındıktan sonra, kurutma işlemleri tamamlanmaya kadar buzdolabı koşullarında (+4 °C) saklanmıştır.

Köpük Oluşturma

Yıkayıp kabukları soyulan ejder meyveleri 2 dakika boyunca parçalayıcıda (Beko, Türkiye) püre haline getirilerek homojen bir karışım elde edilmiştir. Köpürtme ajanı olarak karışımın %40’ı kadar yumurta akı kullanılmış ve yüksek hızda 3 dakika süre ile ev tipi mikser (Beko, Türkiye) kullanılarak köpük oluşturulana kadar çırpılmıştır. Ejder meyvesinin mikrodalga fırında köpük kurutma yöntemine ait akış diyagramı Şekil 1’de gösterilmiştir.

Mikrodalga Kurutma

Elde edilen köpükler petrilere 3 mm ($\pm 0,1$ mm) kalınlığında dökülüp 350, 460 ve 700W güç ile mikrodalga fırında (Beko MD 16410-S, Türkiye) kurutulmuştur. Kurutma süresince, köpük karışımını içeren plaka düzenli aralıklarla (10-60s) $\pm 0,01$ g hassasiyete sahip elektronik terazide (Radwag AS 220/C/2, Polonya) tartılmıştır. Mikrodalga fırından çıkarılan kurutulmuş köpükler öğütücüde (PremierPRG259, Türkiye) toz haline getirilmiş ve çeşitli analizlere tabi tutulmuştur.

Kurutma Kinetiği ve Matematik Modelleme

Ejder meyvesi püresinin zamana bağlı olarak ağırlığındaki değişim takip edilerek boyutsuz nem oranı (MR) Eşitlik 1 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_i - M_e} \quad (1)$$

M_t , M_i , M_e sırasıyla herhangi bir t anındaki, başlangıç ve denge durumundaki nem içeriğini (g su/g kuru madde (KM)) ifade etmektedir. t , kuruma zamanıdır (s).

Ejder meyvesi püresinin kuruma davranışını karakterize etmek amacıyla, deneysel veriler ile elde edilen MR-zaman değerlerinin, Çizelge 1’de verilen 4 farklı ince tabaka modeline uyumlulukları incelenmiştir

Etkin Difüzyon Katsayısı ve Aktivasyon Enerjisi

Etkin nem difüzyon katsayısı (D_{eff}) Fick’in ikinci yasasına göre hesaplanmıştır.

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

L ; kuruma tek yönden gerçekleştiği için kalınlığı ($m=3mm$) temsil etmektedir. Uzun kuruma süreleri için ($MR < 0.6$) Eşitlik 5’te gösterilen seri basitleştirilmiş ve Eşitlik 3’te belirtilen ilk terim kullanılmıştır (Bennamoun ve ark., 2013).

$$MR = \frac{8}{\pi^2} \exp \left[\frac{D_{eff} t \pi^2}{4 L^2} \right] \quad (3)$$

Etkin nem difüzyon katsayısı ve mikrodalga gücü arasındaki ilişkinin Arrhenius fonksiyonu olduğu varsayılmış ve Eşitlik 4 kullanılarak aktivasyon enerjisi hesaplanmıştır (Dadali ve ark., 2007; Onwude ve ark., 2016).

$$D_{eff} = D_0 \exp \left(-E_a \frac{m}{P} \right) \quad (4)$$

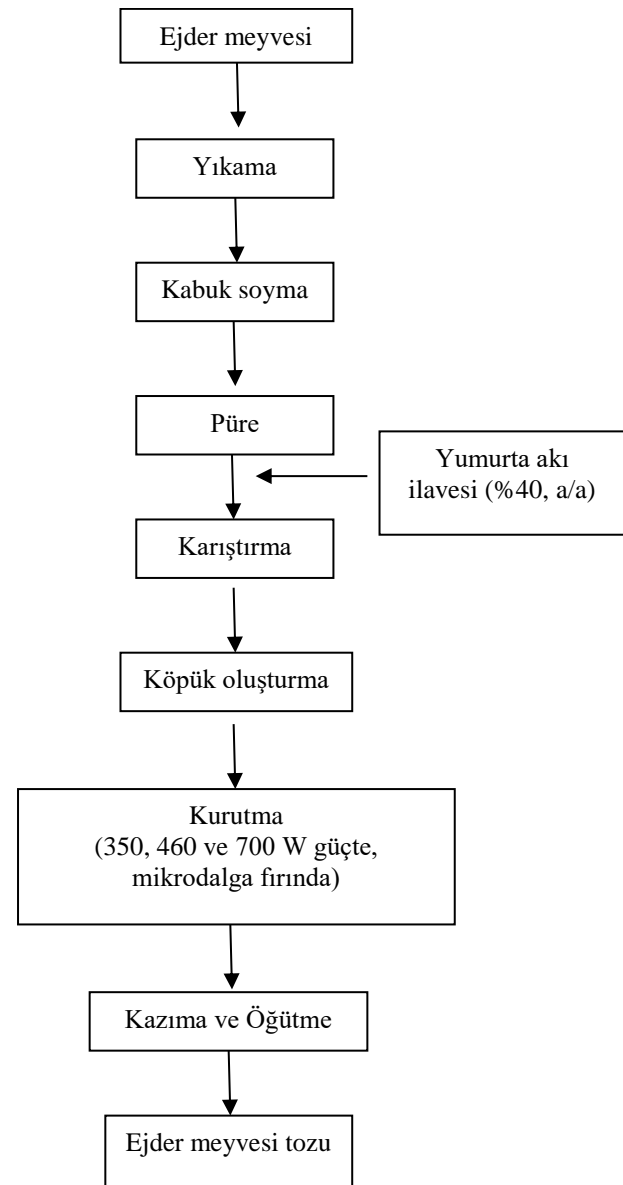
D_0 ; pre ekponensiyel faktör (m^2/s), E_a ; aktivasyon enerjisi (W/g), P ; mikrodalga gücü (W) ve m ; örnek miktarını (g) ifade etmektedir.

Nem Tayini

Taze ejder meyvesinin ve meyve tozlarının nem tayini, örneklerin sabit tartıma gelinceye kadar 105°C’de etüvde (Memmert UN110, Almanya) tutulması ile gerçekleştirilmiştir. Nem miktarı yüzde olarak hesaplanmıştır (yb, yaş bazlı) (Altay, 2019).

Su Aktivitesi Tayini

Taze ejder meyvesinin ve meyve tozlarının su aktivitesi değeri ± 0.001 hassasiyete sahip su aktivitesi ölçüm cihazı (PreAquaLab, ABD) kullanılarak belirlenmiştir.



Şekil 1. Ejder meyvesinin köpük kurutma yöntemi ile kurutulmasına ait akış diyagramı
Figure 1. Flow chart of foam-mat drying of dragon fruit

Çizelge 1. Deneysel kurutma verilerini tanımlayan ince tabaka modelleri

Table 1. Thin layer models describing experimental drying data

Model	Model Eşitliği	Referans
Lewis	$MR = \exp(-kt)$	Lewis, 1921
Wang and Singh	$MR = 1 + at + bt^2$	Wang and Singh, 1978
Peleg	$MR = 1 - t/(a + bt)$	Peleg, 1988
Silva ve ark.	$MR = \exp(-at - b\sqrt{t})$	Silva ve ark., 2008

Renk Analizi

Taze ejder meyvesinin ve meyve tozlarının renk değerleri ölçüm cihazı (Konica Minolta Colorimeter CR-5, Japonya) kullanılarak belirlenmiştir. Ölçümlerde CIE L^* , a^* ve b^* renk skalası kullanılmıştır. Renk ölçümleri için aynı bölgeden 6 farklı ölçüm alınarak ortalama değerler hesaplanmıştır. Taze meyve ve tozların L^* (parlaklık), a^* (+ kırmızı,- yeşil) ve b^* (+ sarı, - mavi) renk değerleri ölçülmüştür. Toplam renk değişimi (ΔE), Kroma, Hue Açısı (H°) ve Kahverengileşme İndeksi (BI) değerleri eşitlik 5, 6, 7 8 ve 9 kullanılarak hesaplanmıştır. L_0, a_0 ve b_0 değerleri taze ejder meyvesine ait referans değerleridir.

$$\Delta E = \sqrt{(L^* - L_0)^2 + (a^* - a_0)^2 + (b^* - b_0)^2} \quad (5)$$

$$Kroma = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad (6)$$

$$H^\circ = \tan^{-1} \left(\frac{b^*}{a^*} \right) \quad (7)$$

$$BI = \frac{100 \times (x - 0,31)}{0,17} \quad (8)$$

$$x = \frac{(a^* + 1,75L^*)}{(5,645L^* + a^* - 3,012b^*)} \quad (9)$$

Köpük Analizleri

Elde edilen köpüklerin stabilitesi, genleşmesi ve yoğunluğu aşağıda belirtilen yöntemlere göre yapılmıştır.

Köpük Stabilitesi (%)

Behere sıkıştırılmadan yerleştirilen belirli hacimdeki köpüğün, belirli süre sonraki oransal hacim azalması köpük stabilitesi olarak ifade edilmektedir (Ng ve Sulaiman, 2018). Eşitlik 10'a göre hesaplanmıştır.

$$\text{Köpük stabilitesi (\%)} = \frac{V_{\text{köpük}}}{V_0} \times 100 \quad (10)$$

$V_{\text{köpük}}$: 30 dakika sonundaki köpük hacmi (mL)

V_0 : İlk köpük hacmi (mL)

Köpük Genleşmesi

Köpürtme boyunca sıvıda hapsedilen hava, köpük genleşmesi olarak adlandırılır. Köpüğün ilk ve son hacmi arasındaki farkın ilk hacme bölünmesi ile Eşitlik 11'e göre hesaplanmıştır (Sangamithra ve ark., 2015).

$$\text{Köpük genleşmesi (\%)} = \frac{V_1 - V_0}{V_0} \quad (11)$$

V_1 : Köpük oluşturulduktan sonraki hacmi (mL)

V_0 : Köpük oluşturulmadan önceki hacmi (mL)

Köpük yoğunluğu

Belirli ağırlıktaki köpüğün, köpük hacmine oranı köpük yoğunluğu olarak ifade edilir (Sangamithra ve ark., 2015). Eşitlik 12'ye göre hesaplanmıştır.

$$\text{Köpük yoğunluğu (g/cm}^3\text{)} = \frac{\text{Köpük ağırlığı}}{\text{Köpük hacmi}} \quad (12)$$

Toz Ürün Analizleri

10 ml 25°C'deki saf su konulan beherin üzerine 1g ejder meyvesi tozu yayıldıktan sonra tamamen ıslanması için geçen sürenin kaydedilmesi ile tozun ıslanabilirliği süre (saniye) olarak belirlenmiştir (Dirim ve ark., 2015).

Ejder meyvesi tozunun suda çözünme süresi, beherin içindeki iki gram tozun 50 ml 30±1°C'deki sabit hızda (250 rpm) karıştırılan saf su üzerine yayılmış ve toz örneğin tamamen çözünmesi için geçen sürenin çözünürlük süresi (saniye) olarak kaydedilmesi ile belirlenmiştir (Dirim ve ark., 2015).

20g ejder meyvesi tozunun, 100 ml'lik mezüre konularak kapladığı hacme (V_1) bölünmesi ile yığın yoğunluğu ($\rho_{\text{yığın}}$ (kg/m³)) ve 15 cm yükseklikten 10 defa yumuşak bir yüzeye düşürüldükten sonra kapladığı hacme (V_2) bölünmesi ile ise sıkıştırılmış yoğunluğu ($\rho_{\text{sıkıştırılmış}}$ (kg/m³)) hesaplanmıştır (Dirim ve ark., 2015).

Ejder meyvesi tozunun akabilirlik ve yapışkanlık değerleri Carr İndeks (CI) ve Hausner Ratio (HR) değerleri Eşitlik 13 ve 14'e göre hesaplanmıştır (Jinapong ve ark., 2008). CI değerleri için, çok iyi (<15), iyi (15-20), orta (20-35), kötü (35-45), ve çok kötü (>45); HR değerleri için düşük (<1.2), orta (1.2-1.4) ve yüksek (>1.4) olarak sınıflandırma yapılmaktadır (Jinapong ve ark., 2008).

$$CI = \frac{(\rho_{\text{sıkıştırılmış}} - \rho_{\text{yığın}})}{\rho_{\text{sıkıştırılmış}}} \times 100 \quad (13)$$

$$HR = \frac{\rho_{\text{sıkıştırılmış}}}{\rho_{\text{yığın}}} \quad (14)$$

İstatistiksel analiz

Deneysel sonuçlar ortalama ± standart sapma olacak şekilde kaydedilerek SPSS 20.0 paket programı (SPSS Inc., ABD) ile %95 güven aralığında varyans analizi (ANOVA) ile test edilmiş ve ortalamalar Duncan testi ile karşılaştırılmıştır.

Model parametrelerini belirlemek amacıyla doğrusal olmayan regresyon analizi kullanılmıştır (SPSS 20.0, SPSS Inc., Chicago, IL, ABD). Deneysel verilerin model eşitliği tarafından açıklanabilirliğinin belirlenmesinde belirleme katsayısı (R^2), en düşük hata kareler ortalamasının karekökü ($RMSE$) ve indirgenmiş ki-kare (χ^2) değerleri kullanılmış ve aşağıdaki eşitliklerde gösterilmiştir (Erbay ve Icier, 2009).

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (MR_i - MR_{pre,i}) \times \sum_{i=1}^N (MR_i - MR_{exp,i})}{\sqrt{[\sum_{i=1}^N (MR_i - MR_{pre,i})^2] \times [\sum_{i=1}^N (MR_i - MR_{exp,i})^2]}} \quad (15)$$

$$RMSE = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (MR_{exp,i} - MR_{pre,i})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (16)$$

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{exp,i} - MR_{pre,i})^2}{N-n} \quad (17)$$

$MR_{pre,i}$; hesaplanan boyutsuz nem oranı, $MR_{exp,i}$; deneysel boyutsuz nem oranı N ; gözlem sayısı, n ; sabit sayısını ifade etmektedir.

Bulgular ve Tartışma

Köpük Analizleri

Köpük kurutma yönteminde; köpük stabilitesi, köpük genişmesi (ekspansiyon), köpük yoğunluğu ve köpük drenaj hacmi, köpük özelliklerini belirleyen önemli parametrelerdendir (Çınar ve Erafşar, 2018). Bu çalışmada, ejder meyvesi köpüğünün yoğunluğu $0,394 \text{ g/cm}^3$ olarak bulunmuştur. Köpük yoğunluğunun yüksek olması, köpük içerisinde daha az havanın bulunduğunu göstermektedir. Düşük yoğunluklu köpük, kuruyan havaya geniş yüzey alanı sağladığı için kurutma sırasında suyun uzaklaştırma sürecini hızlandırır (Huwapanichayanan ve ark., 2012). Yapılan bu çalışmaya yakın sonuç olarak, Shaari ve ark. (2017), ananas suyuna %5, 10 ve 20 oranında yumurta albümini ve %5 oranında maltodekstrin ilave edip, karışımı 10, 20 ve 30 dakika süre ile çırparak elde edilen köpüklerin yoğunluklarını $0.28-0.40 \text{ g/cm}^3$ aralığında bulmuşlardır. Köpürtme ajanı olarak yumurta albümini (%5-15) ve köpük stabilizatörü olarak karboksimetilselüloz (%0-1) kullanılarak kavunun köpük kurutma yöntemi ile kurutulduğu bir çalışmada, köpük yoğunluğunun $0.352-0.614 \text{ g/cm}^3$ aralığında değişen değerler aldığı ifade edilmiştir (Sangamithra ve ark., 2015).

Yapılan bu çalışmada köpük genişmesi oranı %110 olarak bulunmuştur. Chandrasekar ve ark. (2015), karışık sebze (acı kabak, domates ve salatalık) suyuna değişen oranlarda (%10-30) yumurta albümini ilave ederek karışımı köpük kurutma yöntemi ile kurutmuşlar ve köpük genişmesinin protein konsantrasyonunun artmasına bağlı olarak %78,2-104 aralığında değiştiğini bildirmişlerdir. Sangamithra ve ark. (2015), kavunu yumurta albümini (%5-15) ve köpük stabilizatörü olarak karboksimetilselüloz (%0-1) kullanarak köpük kurutma yöntemi ile kurutmuşlar ve köpük genişmesinin %10'dan 90'a kadar değişen değerler aldığı belirtilmiştir. Aynı çalışmada, bu geniş aralığın, köpüğün genişleme hacmi üzerinde diğer faktörlerle karşılaştırıldığında, albümin konsantrasyonunun önemli bir etkiye sahip olduğu belirtilmiş ve köpük hacmindeki bu artış, albümin içindeki proteinlerin varlığı ile ifade edilmiştir. Ananas suyuna %5, 10, ve 20 oranında yumurta albümini ve %5 oranında maltodekstrin ilave edilen bir çalışmada, karışım 10, 20 ve 30 dakika süre ile çırpılmış ve elde edilen köpüklerin genişmesinin, yumurta albümininin konsantrasyonunun artmasına bağlı olarak %60'tan %79,20'lere kadar yükseldiği belirtilmiştir (Shaari ve ark., 2017).

Başarılı bir köpük kurutma için, köpüğün mekanik ve termal stabilitesi gereklidir. Stabil köpükler, uygun köpürtücü maddeler ve stabilizatörler kullanılarak

yapılmaktadır (Mounir, 2017). Yapılan bu çalışmada köpük stabilitesi %93,10 olarak bulunmuştur. Alphonso mango püresinin %5, 10 ve 15 yumurta albümini ve %0,5 metilselüloz ilavesi ile köpük kurutulduğu bir çalışmada, köpük stabilitesinin 30 dakika sonunda %98-100 arasında değiştiği, 180. dakika sonunda köpük stabilitesinin %92-98 arasında değiştiği ifade edilmiştir (Rajkumar ve ark., 2007). Karışık sebze (acı kabak, domates ve salatalık) suyuna değişen oranlarda (%10-30) yumurta albümini ilave edilip farklı sıcaklıklarda köpük kurutma uygulanan başka bir çalışmada, köpük stabilitesinin protein konsantrasyonunun artmasına bağlı olarak %67,7'den 82'ye çıktığı bildirilmiştir (Chandrasekar ve ark., 2015). Ejder meyvesinin köpük kurutma yöntemi ile kurutulduğu bu çalışma ve literatürde incelenen diğer meyveler ile yapılan köpük kurutma çalışmalarında köpük özellikleri arasında farklılıklar görülmüştür. Yapılan çalışmaların köpük yoğunluğu, genişmesi ve stabilitesi farklılıklarının, meyve çeşidi farklılığı, kullanılan kurutma ajanı ve stabilizatör çeşitlerinin ve oranlarının farklılığından kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

Kurutma Kinetiği ve Matematiksel Modelleme

Ejder meyvesinin köpük oluşturularak mikrodalga ile kurutulmasındaki zamana bağlı nem oranındaki değişimler sırası ile Şekil 2 ve 3'te gösterilmiştir. Mikrodalga gücündeki artışa bağlı olarak ejder meyvesi köpüğünün kuruma süresi azalmış ve 190-420 saniye arasında değişim göstermiştir. Mikrodalga gücü arttıkça gıdada oluşan ısı jenerasyonu ve nem uzaklaşma hızı artmakta ve ürünün kuruma süresini kısalmaktadır (Torki-Harchegani ve ark., 2018). Şekil 2'de örneklerin MR değerinin zamana bağlı olarak azaldığı görülmektedir. Bu durum, kütle transfer ana mekanizmasının difüzyon üzerinden gerçekleşmesi, gıdanın mikrodalga enerjisini absorbe etmesinin nem içeriğine bağlı olması ve zamana bağlı olarak su buharı evaporasyonu ile kuruma hızının azalmasıyla açıklanabilir (Altay, 2019). 350W mikrodalga gücünde kurutulan örneklerin 300 saniyeden sonra MR değerindeki değişim büyük ölçüde azalırken, 460W mikrodalga gücünde kurutulan örneklerin 210 saniyeden sonra, 700W mikrodalga gücünde kurutulan örneklerin ise 150 saniyeden sonra değerindeki değişim büyük ölçüde azalmıştır. Örneklerin kuruma davranışının birbirine benzerlik gösterdiği gözlenmiştir. Beyaz (*Hylocereus undatus*) ve kırmızı ejder (*Hylocereus polyrhizu*) meyvelerinin tünel kurutucuda köpük kurutma yöntemi ile kurutulduğu bir çalışmada, 50°C sıcaklıkta 2m/s hava hızında kurutulan örneklerin kuruma süresi 180 dakika, 70°C sıcaklıkta 2m/s hava hızında kurutulan örneklerin kuruma süresi ise 120 dakika olarak belirlenmiştir (Silva Araújo ve ark., 2020). Beyaz ve kırmızı ejder meyvelerinin tünel kurutucuda (1.5m/s hava hızında, 50 ve 70°C sıcaklıkta, etanolla ön işlem görmüş ve ön işlem görmemiş) köpük kurutma yöntemi ile kurutulduğu diğer bir çalışmada ise kuruma süresinin beyaz ejder meyveleri için 180 ve 720 dakika arasında, kırmızı ejder meyveleri için ise 180 ile 600 dakika arasında değiştiği gözlenmiştir (Macedo ve ark., 2021). Sıcak havada kurutmaya kıyasla mikrodalga kurutma yönteminin ejder meyvelerinin kuruma süresini önemli ölçüde kısalttığı söylenebilir. Düşük kuruma süreleri enerji veriminin yanı sıra daha yüksek kalitede ürün eldesini sağlayacaktır.

Farklı mikrodalga güçlerinin ejder meyvesi köpüğünün kurutma davranışı üzerindeki etkisini matematiksel olarak açıklamak için Lewis, Wang and Singh, Peleg ve Silva ve ark. olmak üzere 4 (dört) farklı ince tabaka kuruma modeli seçilerek incelenmiştir. Model parametreleri ve R^2 , $RMSE$ ve χ^2 değerleri Çizelge 2’de verilmiştir. Seçilen modellerin R^2 değerleri 0,920’den büyük bulunmuştur. Seçilen ince tabaka kurutma modellerinin yüksek R^2 değerlerine dayanarak, tüm modellerin deneysel veriler için iyi bir uyum gösterdiği sonucuna varılabilir. Ejder meyvesi için genel olarak en yüksek R^2 , en düşük $RMSE$ ve χ^2 değerleri Silva ve ark. modelinden elde edilmiştir. 700W mikrodalga gücünde kurutulan örnekler için en yüksek R^2 değeri Wang and Singh modelden elde edilmiş olsa da $RMSE$ ve χ^2 değerleri diğer modellere kıyasla oldukça yüksek bulunmuştur. Ejder meyvesi çekirdeklerinin (*H. undatus*) konvektif kurutucuda (0,78 m/ s hava akış hızı, 45°C ± 1°C sıcaklık) kuruma kinetiğinin belirlenmesi için Henderson ve Pabis, Lewis ve

Page yarı empirik modellerinin kullanıldığı bir çalışmada, $R^2 > 0,9$, $RMSE < 0,07$, ve $\chi^2 < 0,006$ olarak bulunmuş ve Page modelin ejder meyvesi çekirdeklerinin kuruma kinetiğinin modellenmesinde en iyi sonucu verdiği belirtilmiştir (Santana ve ark., 2022). Avokado püresinin köpük kurutma yöntemiyle kurutulduğu (60-80°C hava sıcaklığında) bir çalışmada, avokado püresinin kuruma kinetiğini belirlemek amacıyla Page, İki terimli, Midilli ve ark., Peleg ve Silva ve ark. modellerinin uyumu incelenmiş ve Silva ve ark. modelinin avokado köpüğünün kuruma davranışını en iyi şekilde açıkladığı sonucuna varılmıştır (Yüksel ve Çalışkan Koç, 2020). Ejder meyvesinin köpük kurutma yöntemi ile kurutulduğu bu çalışmada, Silva ve ark. modelinin deneysel kurutma verileri ile uyumluluğunu göstermek için, deneysel nem oranının tahmin edilen nem oranı ile karşılaştırılmış ve Şekil 3’te gösterilmiştir. Model kullanılarak tahminlenen değerler, seçilen modelin uygunluğunun güçlü bir kanıtı olan düz bir çizgi etrafında toplanmıştır.

Çizelge 2. Ejder meyvesinin köpük kurutma yöntemi ile kurutulmasına ilişkin model katsayıları ve istatistiksel değerlendirme sonuçları

Table 2. Mathematical model coefficients and statistical evaluation results regarding the drying of dragon fruit by foam drying method

Mikrodalga Gücü	Modeller	Katsayılar	R^2	$RMSE$	χ^2
350W	Lewis	k=0,07	0,935	0,356	0,145
	Wang and Singh	a=-0.005 b=6,22×10 ⁻⁶	0,982	0,530	0,374
	Peleg	a=172,750 b=0,508	0,963	0,072	0,007
	Silva ve ark.	a=0.014 b=-0,086	0,983	0,048	0,003
460W	Lewis	k=0,10	0,956	0,352	0,135
	Wang and Singh	a=-0.007 b=1,18×10 ⁻⁵	0,994	0,625	0,468
	Peleg	a=115,135 b=0,574	0,974	0,055	0,004
	Silva ve ark.	a=0.016 b=-0,068	0,985	0,042	0,002
700W	Lewis	k=0,13	0,922	0,415	0,181
	Wang and Singh	a=-0.009 b=2,01×10 ⁻⁵	0,982	0,297	0,098
	Peleg	a=101,206 b=0,378	0,974	0,055	0,003
	Silva ve ark.	a=0.023 b=-0,081	0,975	0,050	0,004

Çizelge 3. Etkin nem difüzyon katsayısı ve aktivasyon enerjisi

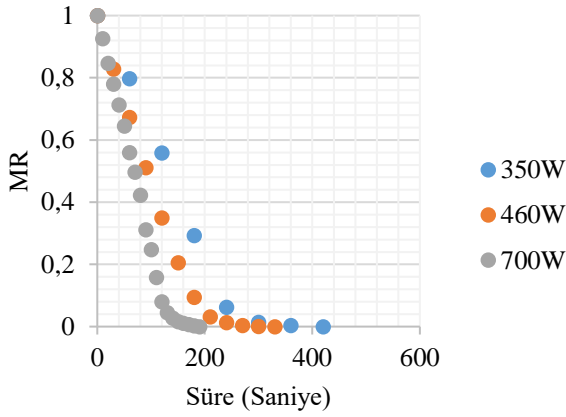
Table 3. Effective diffusion coefficient and activation energy

Mikrodalga Gücü (W)	Etkin Nem Difüzyon Katsayısı (m ² /s)	R^2	Aktivasyon Enerjisi (W/g)	R^2
350	5,93×10 ⁻⁸ ±1,80×10 ⁻⁹	0,9503		
460	8,29×10 ⁻⁸ ±5,16×10 ⁻¹⁰	0,9461	74,77	0,9918
700	1,16×10 ⁻⁷ ±5,68×10 ⁻⁹	0,9173		

Ejder meyvesi köpüğünün farklı mikrodalga güçlerinde kurutulmasına ilişkin nem içeriğine karşılık kurutma hızı eğrisi Şekil 4’te verilmiştir. Şekil 4 incelendiğinde kurumanın ilk aşamalarında hızlı bir nem kaybı olduğu ve kurumanın son aşamalarında nem kaybının daha yavaş olduğu görülmektedir. Örneklerin kuruması, sabit hızda kuruma periyodu ve azalan hızda kuruma periyodunda gerçekleşmiştir. Ortalama 2,5 kgsu/kgkm değerinden sonra azalan hız periyodunun başladığı görülmektedir. Köpük kurutma yönteminin, sıvı-gaz ara yüzeyini artırması sebebiyle, köpürtülen materyalin içinde nem hareketi yoluyla genel olarak kuruma hızlarının daha yüksek olmasını sağladığı literatürde belirtilmiştir (Kadam and Balasubramanian, 2011). Ayrıca Şekil 4’te yüksek mikrodalga gücü ile daha yüksek kuruma hızı değerlerinin elde edildiği gözlenmiştir. Literatürde, benzer sonuçlara mikrodalga destekli köpük kurutulan avokado (Yüksel ve Çalışkan-Koç, 2020) ve taro ununda (Çalışkan-Koç ve ark., 2020) rastlanmıştır.

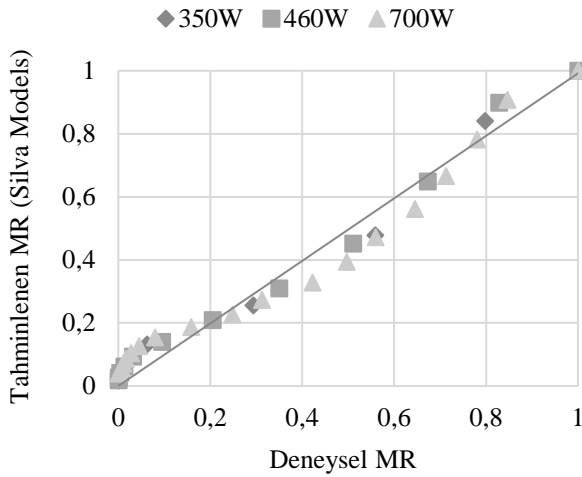
Etkin Difüzyon Katsayısı ve Aktivasyon Enerjisinin Hesaplanması

Ejder meyvesi köpüğünün efektif nem difüzyon katsayısı ve aktivasyon enerjisi değerleri hesaplanmış ve sonuçlar Çizelge 3’te verilmiştir. Etkin nem difüzyon katsayısı değerleri 5,93×10⁻⁸ ve 1,16×10⁻⁷m²/s arasında değişim göstermiş ve mikrodalga gücüne bağlı olarak artmıştır. Bu durumun yüksek mikrodalga gücündeki yüksek nem uzaklaşma hızından kaynaklandığı düşünülmektedir. Ejder meyvesi çekirdeklerinin (*H. undatus*) konvektif kurutucuda (0,78 m/ s hava akış hızı, 45°C ± 1°C sıcaklık) kurutulduğu bir çalışmada etkin nem difüzyon katsayısı asidik, termal ve enzimatik olarak mumamele edilen örnekler için sırasıyla 2,80×10⁻¹¹; 4,84×10⁻¹¹ ve 4,97×10⁻¹¹ m²/s olarak hesaplanmıştır (Santana ve ark., 2022).

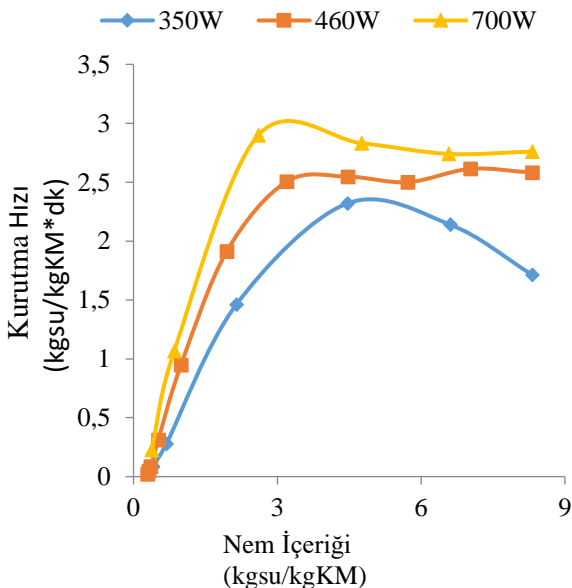


Şekil 2. Nem Oranının (MR) kuruma süresine bağlı değişimi

Figure 2. Changes in the moisture ratio depending on the drying time



Şekil 3. Deneysel ve tahminlenen MR değerleri
Figure 3. Experimental moisture ratio versus predicted MR values



Şekil 4. Nem içeriğine karşı kuruma hızı eğrisi
Figure 4. Moisture content values versus drying rate

Beyaz ve kırmızı ejder meyvelerinin tünel kurutucuda (1.5m/s hava hızında, 50 ve 70°C' de, etanolle ön işlem görmüş ve ön işlem görmemiş) köpük kurutma yöntemi ile kurutulduğu bir çalışmada, etkin nem difüzyon katsayısı değerlerinin 0.323×10^{-8} ile 1.482×10^{-8} arasında değiştiği gözlenmiştir (Macedo ve ark., 2021). Ejder meyvesi köpüğü için hesaplanan etkin nem difüzyon katsayısı değerleri Macedo ve ark. (2021) tarafından bulunan sonuçlar ile uyum içerisindedir. Erbay ve Icier (2009) gıdaların etkin nem difüzyon katsayısı değerlerinin 10^{-12} ile 10^{-6} m²/s arasında değiştiğini belirtmişlerdir. Bu çalışma kapsamında ejder meyvesi püresi için hesaplanan etkin nem difüzyon değerlerinin belirtilen aralık içinde olduğu görülmektedir. Aktivasyon enerjisi değeri 74.77 W/g olarak hesaplanmıştır.

Nem ve Su Aktivitesi

Ejder meyvesinin ortalama nem içeriği yaş baza (yb) göre %83,27 olarak bulunmuştur. Başka bir çalışmada, bu çalışmaya çok yakın bir değer olarak ejder meyvesinin başlangıç nem içeriğinin %83,86 olarak bulunduğu belirtilmiştir (Uğuz ve Gezici, 2021). Mikrodalga kurutma sonucunda meyvelerin nem içeriği %2,43-4,19 (yb) aralığında bulunmuştur. Mikrodalga gücünün, köpük kurutma yöntemi ile kurutulan örneklerin nem içeriğine etkisi istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($P < 0,05$). En düşük nem içeriğinin, 700W mikrodalga gücü ile kurutulan ejder meyvesi tozlarına ve en yüksek nem içeriğinin ise 350W mikrodalga gücünde kurutulan ejder meyvesi tozlarına ait olduğu bulunmuştur. Artan mikrodalga gücü örneklerin nem içeriğini düşürmüştür. Yapılan bu çalışmaya yakın sonuç olarak, elma püresinin 4 mm kalınlığında 180W mikrodalga gücünde konvektif-mikrodalga kurutucuda köpük kurutma yöntemi ile kurutulduğu bir çalışmada elma püresi tozlarının nem içeriğinin $3,10 \pm 0,09$ olarak bulunduğu belirtilmiştir (Jakubczyk ve ark., 2011). Papaya meyvesinin 480-600W mikrodalga gücünde 2-4 mm kalınlığında değişen aralıklarda mikrodalga kullanılarak köpük kurutma yöntemi ile kurutulduğu bir çalışmada, değişen tüm koşullarda meyvenin son nem içeriğinin %6 olarak bulunduğu belirtilmiştir (Qadri ve ark., 2020). Kurutulan materyalin çeşidi, başlangıç nem içeriği, kurutma koşulları, köpük kurutmada kullanılan kurutma ajanlarının farklılığı ve daha birçok değişken son ürünün nem içeriğini etkilemektedir. Ejder meyvesinin mikrodalga kullanılarak köpük kurutma yöntemi ile kurutulduğu bu çalışmada, mikrodalga gücünün artması ile meyvenin nem içeriğinde düşüş gözlenmiştir. Ayrıca, artan mikrodalga gücü meyvenin kuruma süresini kısaltmıştır. Mikrodalga gücünün yüksek olması gıdalarda daha fazla ısı jenerasyonuna sebep olduğundan, gıdadan nem uzaklaşması hızlanmakta ve kuruma süresi kısalmaktadır (Torki-Harchegani ve ark., 2018). Literatürde, bu durumu destekleyen çalışmalar bulunmaktadır. Sıcaklık kontrollü mikrodalga kullanarak elmaların kurutulduğu ve elmaların sıcaklığın artması ile kuruma sürelerinin azaldığı ifade edilmiştir (Taşova, 2016). Polatçı ve Taşova (2018) yenidoğru meyvesini 360, 540, 720 ve 900W mikrodalga gücünde kurutmuşlar ve mikrodalga gücünün artması ile meyvelerin kuruma süresinin kısaltıldığını ifade etmişlerdir. Koç ve ark. (2019) inciri, sıcak hava (40-50°C) ve mikrodalga destekli (100, 300 ve 600W) köpük kurutma

yöntemi ile kurutmuşlar ve artan mikrodalga gücü ve tepsili kurutucu sıcaklığının incirlerin kuruma sürelerini kısalttığını gözlemlemişlerdir. Mikrodalga kurutma yönteminde, enerji gıdaya elektromanyetik dalgalar ile iletilmekte ve gıdalar hacimsel olarak ısınmaktadır. Bu nedenle, ısıtma hızı sınırlı olmadığından, ısı homojen olarak büyük ölçüde dağılmaktadır. Ek olarak, bipolar moleküllerin dönüş hareketi mikrodalga alanı içinde üretilen ısı için önemli olmaktadır. Bu çalışmada materyal olarak kullanılan ejder meyvesi püresinin yüksek nem içeriği, ürünün içinde üretilen ısının dışa doğru nem difüzyonunu hızlandırmakta ve ürünün kuruma hızını artırarak kuruma zamanını kısaltmaktadır (Torki-Harchegani ve ark., 2018). Kuruma süresinin kısaltılmasının, enerji sarfiyatını azaltarak endüstriyel olarak büyük ölçüde maddi bir kazanç sağlayacağı belirtilmiştir. (Kutlu ve İşçi, 2016) Kuruma işleminin kısa sürede gerçekleşmesi enerji sarfiyatının azaltılmasının yanında üründe istenmeyen reaksiyonların ortaya çıkmasını da engellemektedir. Bu kapsamda, ejder meyvesi püresinin mikrodalga fırın ile köpük kurutma yöntemi ile kurutulmasının hem kuruma süresi bakımından hem de enerji tüketimi açısından avantajlı olduğu sonucu çıkarılabilir.

Nem ve su aktivitesinin kontrolü gıdanın işlenmesi ve depolanması açısından önemlidir. Mikrodalga gücü, köpük kurutma yöntemi ile kurutulmuş toz örneklerin su aktivitesi değerleri üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir fark yaratmıştır ($P<0,05$). Ejder meyvesi tozlarının su aktivitesi değeri 0,238'in altında bulunmuştur. En düşük su aktivitesi değerinin (0,198) 700W mikrodalga gücünde kurutulmuş ejder meyvesi tozlarına ait olduğu bulunmuştur. Artan mikrodalga gücü, köpük kurutma yöntemi ile kurutulan ejder meyvesi tozlarının su aktivitesi değerlerini azaltmıştır. Jakubczyk ve ark. (2011), elma püresini 4 mm kalınlığında 180W mikrodalga gücünde konvektif-mikrodalga kurutucuda köpük kurutma yöntemi ile kurutmuşlar ve elma püresi tozlarının su aktivitesi değerini 0,122 olarak bulmuşlardır. Köpük oluşumu, gıdanın yüzey alanı ve gözeneklerini artırarak nemin iç yüzeyden dış yüzeye hızlı bir geçişini sağlamaktadır (Varhan ve ark., 2019). Genellikle gıdalar, yüksek sıcaklıklarda daha gözenekli yapıda olurlar ve bu da nem kaybını hızlandırır. Ayrıca yüksek sıcaklıklarda proteinler daha çok denatüre olduğundan gıdanın su bağlama yeteneğini azaltmakta ve bu da toz ürünün su aktivitesini azaltmaktadır (Azizpour ve ark., 2016). Su aktivitesi değeri $\leq 0,4$ 'ün altında olan gıdaların mikrobiyal açıdan güvenli olduğu ve patojen gelişiminin bu gıdalarda gözlenmediği ileri sürülmektedir (Darniadi ve ark., 2018). Buna göre, bu çalışmadan elde edilen ejder meyvesi tozlarının mikrobiyal açıdan güvenli olduğu sonucuna varılabilir.

Renk Analizi

En temel ölçüt olarak tüketiciler tarafından gıdaların renk özellikleri değerlendirilmektedir. Çizelge 4'te taze ve kurutulmuş örneklerin renk değerleri verilmiştir. Taze ejder meyvesinin renk değerleri (L^* , a^* ve b^*) $26,88\pm 1,06$, $5,23\pm 0,48$ ve $-2,28\pm 0,26$ olarak ölçülmüştür. Başka bir çalışmada, taze ejder meyvesinin L^* , a^* ve b^* değerlerinin sırasıyla 40,51, 0,12 ve 2,74 olarak bulunduğu belirtilmiştir (Uğuz ve Gezici, 2021). Renk özelliklerindeki bu farklılığın, meyvenin yetiştiği iklim özelliklerine ve hasat zamanına bağlı olarak değişebilmesinden kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Mikrodalga gücünün, köpük kurutma ile kurutulan örneklerin renk değerlerini istatistiksel olarak önemli ölçüde etkilediği gözlenmiştir ($P<0,05$) (Çizelge 4). En yüksek parlaklık ve sarılık değerlerinin 700W mikrodalga gücünde kurutulmuş meyve tozuna ait olduğu bulunmuştur. 350 ve 460W mikrodalga gücünde kurutulmuş meyve tozlarının parlaklık ve sarılık değerlerinin birbirine yakın olduğu görülmektedir (Çizelge 4).

Çizelge 4 incelendiğinde taze ve meyve tozlarının ΔE değerlerinin 0,00-27,67 arasında, Hue açısı (H°) değerlerinin 36,58-336,23, kroma değerlerinin 5,72-15,09 arasında ve esmerleşme indeksi (BI) değerlerinin 5,26-38,12 arasında olduğu görülmektedir. Mikrodalga gücünün, köpük kurutma ile kurutulan meyve tozlarının ΔE , Hue açısı (H°), kroma ve BI değerleri üzerinde istatistiksel olarak önemli bir etkisi olduğu belirlenmiştir ($P<0,05$).

Kroma değeri, ürünlerin renginin şiddetini ifade etmektedir (Quek ve ark., 2007). Esmerleşme indeksi (BI) ise, genellikle ısısal işlem uygulamalarında karamanın belirlenmesi için kullanılmakta ve L^* değerindeki değişimlerden yüksek oranda etkilendiği için genel olarak işlem ve katkıların etkisinin değerlendirilmesi amacıyla da kullanılmaktadır (Dirim ve Talih, 2018). En yüksek ΔE (27,67), kroma (15,09) ve BI (38,12) değerlerinin, 700W mikrodalga gücünde köpük kurutma yöntemi ile kurutulan ejder meyvesi tozlarına ait olduğu bulunmuştur. Kroma değerlerinin donuk renklerde düştüğü, canlı renklerde ise bu değerlerin yükseldiği bilinmektedir. En yüksek BI değerinin, 700W mikrodalga gücünde kurutulmuş meyve tozlarına ait olması, yüksek mikrodalga gücünün tozların esmerleşme derecesini artırması ile açıklanabilir.

Hue açısı (H°) renk dairesi olarak tanımlanmakta ve kırmızı- mor renkleri 0° ve 360° açı değerlerinde, sarı rengi 90° açı değerinde ve mavimsi yeşil rengini de 180° ve 270° açı değerlerinde göstermektedir (İnan, 2010). Taze ejder meyvesinin H° değeri $336,23^\circ$ bulunurken, kurutma sonrası tozların H° değeri değerleri daha düşük bulunmuştur. Bu durum, taze ejder meyvesinin kendine has mor renginin kurutma sonrası koyu kahve renk almasından kaynaklanmaktadır.

Çizelge 4. Taze ejder meyvesi ve ejder meyvesi tozlarının renk değerleri

Table 4. Color values of fresh dragon fruit and dragon fruit powders

Örnekler	L^*	a^*	b^*	ΔE	Hue Açısı($^\circ$)	Kroma	BI (Esmerleşme İndeksi)
Taze	$26,88\pm 1,06$	$5,23\pm 0,48$	$-2,28\pm 0,26$	$0,00\pm 0,00$	$336,23\pm 4,83$	$5,72\pm 0,50$	$5,26\pm 0,40$
350W	$48,96\pm 0,12^a$	$11,31\pm 0,10^b$	$8,39\pm 0,08^a$	$25,29\pm 1,11^a$	$36,58\pm 0,34^a$	$14,08\pm 0,10^b$	$35,06\pm 0,31^b$
460W	$48,63\pm 0,67^a$	$9,29\pm 1,33^a$	$7,70\pm 0,98^a$	$24,34\pm 1,09^a$	$39,67\pm 1,34^b$	$12,07\pm 1,62^a$	$30,68\pm 3,94^a$
700W	$50,76\pm 0,44^b$	$10,95\pm 0,77^b$	$10,38\pm 0,45^b$	$27,67\pm 1,56^b$	$43,50\pm 1,01^c$	$15,09\pm 0,86^b$	$38,12\pm 2,02^b$

^{a-c} Farklı mikrodalga güçlerinde köpük kurutma yöntemi ile kurutulan örnekler arasındaki farkı gösterir ($P<0,05$).

Çizelge 5. Ejder meyvesi tozlarının yığın ve sıkıştırılmış yığın yoğunluğu ve CI ve HR değerleri

Table 5. Bulk and tapped density, CI and HR values of dragon fruit powder

Örnekler	Yığın Yoğunluğu (kg/m ³)	Sıkıştırılmış Yığın Yoğunluğu (kg/m ³)	CI	HR
350W	494,17±15,32 ^c	562,50±14,10 ^c	12,14±0,96 ^a	1,14±0,04 ^a
460W	471,22±16,16 ^b	526,10±10,40 ^b	10,44±0,41 ^a	1,12±0,02 ^a
700W	433,34±3,34 ^a	486,06±9,62 ^a	10,78±0,40 ^a	1,12±0,04 ^a

^{a-b} Farklı mikrodalga güçlerinde köpük kurutma yöntemi ile kurutulan örnekler arasındaki farkı gösterir (P<0,05).

Toz Ürün Analizleri

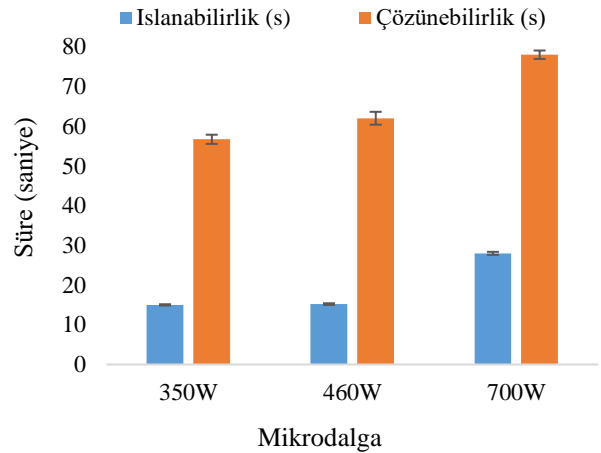
Toz ürünlerin ıslanabilirlik süresinin bilinmesi, toz tanecikleri ile su yüzeyi arasında oluşan yüzey gerilimini yenerek sıvıyı emebilme yeteneğine ilişkin bilgi sağlamaktadır. Toz ürünlerin nem içeriğinin; yığın yoğunluğu, ıslanabilirlik, akabilirlik ve çözünürlük gibi toz ürün özelliklerini etkilediği bildirilmiştir (Koç ve ark., 2011). Çözünürlük, toz ürünün suyla homojen olarak karıştırılma yeteneğinin, yani sıvı içinde çözülmüş halde bulunan parçacıklardan oluşan karışımın stabilitesinin önemli bir göstergesidir (Franco ve ark., 2016).

Şekil 5'te köpük kurutma yöntemi ile farklı mikrodalga güçlerinde kurutulan örneklerin ıslanabilirlik ve çözünebilirlik sürelerinin sırasıyla; 15-27,98 s ve 56,7-78 s aralığında değiştiği gözlenmiştir. Mikrodalga gücü, köpük kurutma yöntemi ile kurutulan örneklerin ıslanabilirlik ve çözünürlük sürelerini istatistiksel olarak önemli ölçüde etkilemiştir (P<0,05). Artan mikrodalga gücü örneklerin ıslanabilirlik ve çözünürlük sürelerini artırmıştır. Çözünürlük problemleri ile gıdaların yüksek sıcaklıklara maruz kalması ve özellikle içerdikleri katı miktarının yüksek olması durumunda karşılaştığı bildirilmiştir (Cano-Chauca ve ark., 2005). Yapılan bu çalışmada, yüksek mikrodalga gücünden dolayı yüksek sıcaklığa maruz kalan ve daha fazla kuru madde içeriğine sahip 700W mikrodalga gücünde köpük kurutma yöntemi ile kurutulan örneklerin çözünürlük süresinin daha uzun olması bu durumu desteklemektedir. Benzer durum, düşük mikrodalga gücünde çözünürlük süresinin kısaldığı bir çalışmada gözlenmiş ve %2 yumurta albümini ve %0,5 metilselüloz kullanarak köpük kurutulan elma tozlarının ıslanabilirlik ve çözünürlük sürelerinin sırasıyla yaklaşık, 25 saniye ve 6 saniye olarak bulunduğu bildirilmiştir (Jakubczyk ve ark., 2011). Ayrıca köpük kurutma yöntemi ile kurutulmuş ejder meyvesi tozları için, çözünürlük süresi uzun olan tozların, daha uzun sürede ıslandığı yorumu yapılabilir.

Toz ürünlerin yığın özellikleri (yığın ve sıkıştırılmış yoğunluğu, porozite ve akabilirlik) ürünün partikül çapı ve partikül boyut dağılımına göre değişmektedir (Barbosa-Canovas ve ark., 2005). Düşük yığın yoğunluğu, paket hacmini artırması sebebiyle istenmeyen bir özelliktir. Ayrıca düşük yığın yoğunluğuna sahip ürünler boşlukları arasında daha fazla hava barındırması sebebiyle ürünün depolama stabilitesini azaltan oksidasyon riski daha yüksek olmaktadır (Koç ve ark., 2011). Ejder meyvesi tozlarının yığın ve sıkıştırılmış yığın yoğunluğu, CI ve HR değerleri Çizelge 4'te gösterilmiştir. En yüksek yığın ve sıkıştırılmış yığın yoğunluğu, CI ve HR değerlerinin 350W mikrodalga gücünde köpük kurutma yöntemi ile kurutulan örneklere ait olduğu görülmektedir. Artan mikrodalga gücü, köpük kurutma yöntemi ile kurutulan örneklerin yığın ve sıkıştırılmış yığın yoğunluğu değerlerini istatistiksel olarak önemli düzeyde azaltmıştır (P<0,05). Yapılan bu çalışmada, en düşük mikrodalga gücünde

(350W) köpük kurutma yöntemi ile kurutulan örneklerin yığın ve sıkıştırılmış yoğunluğu değerlerinin yüksek olması, öğütme işlemi ile daha küçük partikül boyutuna sahip toz ürün elde edilmesi ile açıklanabilir.

Toz ürünlerin akabilirlik ve yapışkanlık özelliklerinin bilinmesinin, depolama, paketleme, ölçme, doz ayarlama, karıştırma ve taşıma işlemlerinde kolaylık sağladığı bildirilmiştir (Altay, 2019). Ejder meyvesi tozlarının akabilirlik özelliği Carr İndeks değerine ve yapışkanlık özelliği ise Hausner oranına göre belirlenmiştir. Çizelge 5'te ejder meyvesi tozlarının Carr İndeks değerlerinin 10,44-12,14 arasında değiştiği ve Hausner oranlarının 1,12-1,14 arasında değiştiği görülmektedir. Mikrodalga gücünün, köpük kurutma yöntemi ile kurutulan ejder meyvesi tozlarının akabilirlik ve yapışkanlık değerlerini istatistiksel olarak önemli ölçüde etkilemediği görülmüştür (P>0,05). Jinapong ve ark. (2008), Carr İndeks değerlerinin çok iyi (<15), iyi (15-20), orta (20-35), kötü (35-45) ve çok kötü (>45) olması ile akabilirlik özelliği, Hausner oranlarının düşük (<1,2), orta (1,2-1,4) ve yüksek (>1,4) olması ile yapışkanlık özelliği ifade edilmiştir. Buna göre, 350, 460 ve 700 W mikrodalga gücünde köpük kurutma yöntemi ile kurutulan tozların hepsi çok iyi akabilirlik özelliği ve düşük yapışkanlık özelliği göstermiştir.



Şekil 5. Farklı mikrodalga güçlerinde köpük kurutma yöntemi ile kurutulan örneklerin ıslanabilirlik ve çözünürlük süreleri (s).

Figure 5. Wettability and solubility times (s) of samples dried by foam drying method at different microwave powers.

Tartışma

Bu çalışma kapsamında ejder meyvesi farklı mikrodalga güçlerinde köpük kurutma yöntemi ile kurularak, ürünün kuruma davranışı, kuruma kinetiği, fizikokimyasal, köpük ve toz ürün özellikleri belirlenmiştir. Mikrodalga gücünün artması ile kuruma süresinin kısaldığı ve ürün nem ve su aktivitesi değerlerinin

düştüğü belirlenmiştir. Ejder meyvesinin kuruma kinetiğini en iyi açıklayan matematiksel modelin Silva ve ark. modeli olduğu belirlenmiştir. Etkin nem difüzyon katsayısı değerlerinin $5,93 \times 10^{-8}$ ve $1,16 \times 10^{-7} \text{m}^2/\text{s}$ arasında değiştiği ve literatür ile uyum içinde olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca 700W mikrodalga gücünde köpük kurutma yöntemi ile kurutulan örneklerin en yüksek etkin difüzyon katsayısına sahip olduğu ve diğer örneklere kıyasla kurutma zamanından tasarruf sağladığı görülmüştür. Farklı kurutma işlemlerinin ve köpürtme ajanlarının ejder meyvesinin kuruma kinetiği, fiziksel, kimyasal ve duyuşal özelliklerinde meydana getirdiği değişim ileri çalışmaları kapsamında incelenebilir.

Teşekkür

Değerli katkı ve görüşleri için Doç. Dr. Gülşah Çalışkan Koç'a teşekkür ederim.

Kaynaklar

- Altay K. 2019. Farklı Yöntemlerle Kurutulan Arapgir Mor Reyhanının (*Ocimum basilicum* L.) Kuruma Davranışlarının İncelenmesi ve Kuru Ürünün Bazı Kalite Özelliklerinin Belirlenmesi, Doktora Tezi. Fen Bilimleri Enstitüsü, Ege Üniversitesi İzmir, Türkiye
- Azizpour M, Mohebbi M, Khodaparast MHH. 2016. Effects of foam-mat drying temperature on physico-chemical and microstructural properties of shrimp powder. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 34: 122–126. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2016.01.002>
- Barbosa-Canovas GV, Ortega-Rivas E, Juliano P, Yan H. 2005. *Food Powders: Physical Properties, Processing, and Functionality*. Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York
- Bennamoun L, Kahlerras L, Michel F, Courard L, Salmon T, Fraikin L. 2013. Determination of moisture diffusivity during drying of mortar cement: Experimental and modeling study. *International Journal of Energy Engineering*, 3: 1–6. doi: 10.5923/j.ijee.20130301.01
- Bulut M. 2021. Kurutma İşleminin Meyve ve Sebzelerin Biyoaktif Bileşenleri Üzerine Etkisi. ISBN: 978-625-8007- 58-9
- Cano-Chauca M, Stringheta PC, Ramos AM, Cal-Vidal J. 2005. Effect of the carriers on the microstructure of mango powder obtained by spray drying and its functional characterization. *Innovative Food Science and Engineering Technologies*, 6: 420-428. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2005.05.003>
- Chandrasekar V, Gabriela J, Kannan K, Sangamithra A. 2015. Effect of foaming agent concentration and drying temperature on physicochemical and antimicrobial properties of foam mat dried powder. *Asian Journal of Dairy and Food Research*, 34: 39–43. doi: 10.5958/0976-0563.2015.00008.1
- Çakmak H. 2020. Evaluation of foam-mat drying behaviour of crab apple (*Malus floribunda*) fruit juice and powder quality. *The Journal of Food*, 45(3): 530-543. <https://doi.org/10.15237/gida.GD20010>
- Çalışkan-Koç G, Yüksel AN, Baş E, Erdoğan, SL. 2020. Foam mat drying of taro (*Colocasia esculenta*): The effect of ultrasonic pretreatment and drying techniques on the drying behavior, flow, and reconstitution properties of taro flour. *Journal of Food Process Engineering*, 43: 1–9. <https://doi.org/10.1111/jfpe.13516>
- Çınar İ, Erafşar FK. 2018. Köpük kurutma tekniğinin meyve ve sebze işlemede kullanımı. *Trakya Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 19(2): 89-100
- Dadali G, Demirhan E, Özbek B. 2007. Color change kinetics of spinach undergoing microwave drying. *Drying Technology*. 25: 1713–1723. <https://doi.org/10.1080/07373930701590988>
- Darniadi S, Ho P, Murray BS. 2018. Comparison of blueberry powder produced via foam-mat freeze-drying versus spray-drying: Evaluation of foam and powder properties. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 98(5): 2002–2010. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8685>
- Daştan S, İşleröğlü H. 2020. Köpük kurutma işlemi ve son ürün üzerine kurutma koşullarının etkisi. *Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi (GBAD)*, 9(2): 63-76.
- Dirim SN, Çalışkan G, Ergun K. 2015. Dondurularak kurutulmuş bazı meyve tozlarının toz ürün özelliklerinin belirlenmesi. *GIDA*, 40(2): 85–92. <https://doi.org/10.15237/gida.GD.14059>
- Dirim SN, Talih M. 2018. Kurutma yardımcı maddelerinin dondurularak kurutulmuş taflan tozlarının özellikleri üzerine etkisi. *GIDA*, 43(3): 461-475.
- Erbay Z, Icier F. 2009. A review of thin layer drying of foods: theory, modeling, and experimental results *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 4: 441–464. <https://doi.org/10.1080/10408390802437063>
- Franco TS, Perussello CA, Ellenderse LN, Masson ML. 2016. Effects of foam mat drying on physicochemical and microstructural properties of yacon juice powder. *LWT-Food Science Technology*, 66: 503-513. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.11.009>
- Hossain F, Numan S, Akhtar S. 2021. Cultivation, Nutritional value and health benefits of dragon fruit (*Hylocereus* spp.): A Review. *International Journal of Horticultural Science and Technology*, 8(3): 259-269.
- Huwapanichayanan R, Prachayawarakorn S, Soponronnarit S. 2012. Effects of foaming agents and foam density on drying characteristics and textural property of banana foams. *LWT-Food Science and Technology*, 47: 348–357.
- Jakubczyk E, Gondeka E, Tamborb K. 2011. Characteristics of selected functional properties of apple powders obtained by the foam-mat drying method. *Food Process Engineering in a changing world. Proceedings of the 11th International Congress on Engineering and Food*, 2011, 1385–1386.
- Jiang Y, Yang W. 2015. The effects of heavy shading and flowering thinning in summer on off-season production in red pitaya (*Hylocereus* sp.). *Journal of The Taiwan Society for Horticultural Science*, 61: 69-77.
- Jinapong N, Suphantharika M, Jamnong P. 2008. Production of instant soymilk powders by ultrafiltration, spray drying and fluidized bed agglomeration. *Journal of Food Engineering*, 84(2): 194–205.
- Joshi M, Prabhakar B. 2020. Phytoconstituents and pharmacotherapeutic benefits of pitaya: A wonder fruit. *Journal of Food Biochemistry*, 44(7): e13260. <https://doi.org/10.1111/jfbc.13260>
- Kadam DM, Balasubramanian S. 2011. Foam mat drying of tomato juice. *Journal of food processing and preservation*, 35(4): 488-495. doi:10.1111/j.1745-4549.2010.00492.x
- Kandasamy P, Varadharaju N, Kalemullah S, Moitra R. 2012. Production of papaya powder under foam-mat drying using methyl cellulose as foaming agent. *Asian Journal of Food and Agro-Industry*, 5(5): 374-387.
- Kara RN. 2021. Köpük Kurutma Yöntemiyle Nar Suyu Tozu Üretiminde Saponinlerin Kullanılabilirliğinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 67s.
- Koç G, Çabuk B. 2019. The effect of different microwave powers on the drying kinetics and powder properties of foam-mat dried egg white powder. *The Journal of Food*, 44(2): 328-339. <https://doi.org/10.15237/gida.GD18126>
- Koç M, Elmas F, Varhan E. 2019. İncir sıcak hava ve mikrodalga destekli köpük kurutma yöntemi ile kurutulması. *Türk Tarım–Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 7(2): 291-300, DOI: <https://doi.org/10.24925/turjaf.v7i2.291-300.2272>
- Lewis WK. 1921. The rate of drying of solid materials. *I&EC-Symposium of Drying*, 3(5): 42

- Macedo LL, Corrêa JLG, Araújo CS, Vimercati WC, Pio LAS. 2021. Process optimization and ethanol use for obtaining white and red dragon fruit powder by foam mat drying. *Journal of Food Science*, 86: 426–433. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/1750-3841.15585>
- Mercado-Silva EM. 2018. Pitaya—*Hylocereus undatus* (Haw). In *Exotic fruits*, Academic Press, 339-349.
- Mounir S. 2017. Foam mat drying. *Drying Technologies for Foods-Fundamentals and Applications*, 169-191.
- Ng ML, Sulaiman R. 2018. Development of beetroot (*Beta vulgaris*) powder using foam mat drying. *LWT – Food Science and Technology*, 88: 80–86
- Onwude DI, Hashim N, Janius RB, Nawi NM, Abdan K. 2016. Modeling the thin-layer drying of fruits and vegetables: A Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 15: 599–618. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12196>
- Parmar MY, Pore D, Sharma SK, Singh T, Pandya N. 2019. Health benefits of dragon fruit. *Nutrition and Food Science International Journal*, 8(4): 1-3.
- Polatçı H, Taşova M. 2018. Mikrodalgı fırın ile kurutulan yenidoğnya (*Eriobotrya japonica* L.) meyvesinin kuruma kinetiği ve kalitesinin belirlenmesi. *Anadolu Tarım Bilim Dergisi*, 33(2): 124 – 130, doi: 10.7161/omuanajas.342904
- Qadri OS, Srivastava AK. 2014. Effect of microwave power on foammı drying of tomato pulp. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 16(3): 238- 244.
- Qadri OS, Srivastava AK. 2017. Microwave-assisted foam mat drying of guava pulp: Drying kinetics and effect on quality attributes. *Journal of Food Process Engineering*, 40(1): e12295. <https://doi.org/10.1111/jfpe.12295>
- Qadri OS, Osama K, Srivastava AK. 2020. Foam mat drying of papaya using microwaves: Machine learning modeling. *Journal of Food Process Engineering*, 43(6): e13394, doi: 10.1111/jfpe.13394
- Quek SY, Chok NK, Swedlund P. 2007. The physicochemical properties of spray-dried watermelon powders. *Chemical Engineering and Processing*, 46: 386–392.
- Peleg M.1988. An empirical model for the description of moisture sorption curves. *Journal of Food Science*, 53: 1216-1217
- Rajkumar P, Kailappan R, Viswanathan R, Raghavan GS, Ratti C. 2007. Foam mat drying of Alphonso mango pulp. *Drying Technology*, 25: 357–365. doi:10.1016/j.jfoodeng.2006.04.027
- Sangamithra A, Sivakumar V, Kannan K, Swamy GJ. 2015. Foam-mat drying of muskmelon. *International Journal of Food Engineering*, 11(1): 127-137.
- Santana FCO, Panato K, Angonese M, Müller CMO. 2022. Effect of separation methods on the drying kinetics of organic pitaya (*Hylocereus undatus* [Haw.] Britton and Rose) seed. *LWT-Food Science and Technology*, 153, 112353. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112353>
- Shaari NA, Sulaiman R, Rahman RA, Bakar J. 2017. Production of pineapple fruit (*Ananas comosus*) powder using foam mat drying: Effect of whipping time and egg albumen concentration. *Journal of Food processing and Preservation*, 42(2): e13467
- Silva AS, Gurjao KCO, Almeida FCA, Bruno RLA, Pereira WE. 2008. Dehydration of tamarind pulp through the foam-mat drying method. *Ciencia e Agrotecnologia*, 32: 1899– 1905
- Silva Araújo C, Corrêa JLG, Dev S, Macedo LL, Vimercati WC, Oliveira CR, Pio LAS. 2020. Influence of pretreatment with ethanol and drying temperature on physicochemical and antioxidant properties of white and red pulp pitayas dried in foam mat. *Drying Technology*, 1–10. <https://doi.org/10.1080/07373937.2020.1809446>
- Taşova M. 2016. Sıcaklık kontrollü bir mikrodalgı kurutucu geliştirilmesi ve performansının belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi. Fen Bilimleri Enstitüsü, Gaziosmanpaşa Üniversitesi Tokat, Türkiye.
- Torki-Harchegani M, Pirbalouti AG, Ghanbarian D. 2018. Influence of microwave power on drying kinetic, chemical composition and antioxidant capacity of peppermint leaves. *Journal of Essential Oil-Bearing Plants*, 21: 430–439. <https://doi.org/10.1080/0972060X.2018.1444512>
- Uğuz MT, Gezici A. 2021. Ejder meyvesinin ozmotik dehidrasyonu ve kuruma özelliklerinin değerlendirilmesi. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 4(2):149-157. <https://doi.org/10.47495/okufbed.894470>
- Varhan E, Elmas F, Koç M. 2019. Foam mat drying of fig fruit: Optimization of foam composition and physicochemical properties of fig powder. *Journal of Food Process Engineering*, 42(4): e13022. <https://doi.org/10.1111/jfpe.13022>
- Wang, CY, Singh, RP. 1978. A single layer drying equation for rough rice. *ASAE Paper No. 3001*.
- Yüksel AN, Çalışkan Koç G. 2020. Hot-Air and Microwave-Assisted Foam-Mat Drying of Avocado (Chapter 20). In: Hayalođlu A (editor). *Theory and Research in Engineering*, Gece Yayınları, Ankara, Türkiye, pp 367-382. ISBN: 978-625-7884-54-9 (Online).