

Farklı kurutma yöntemi ve taşıyıcı ajan oranlarıyla üretilen kavun tozunun kinetik, enerji tüketimi ve renk değerleri açısından kıyaslanması

Comparison of melon powder produced with different drying methods and carrier agent ratios in terms of kinetics, energy consumption and color values

Samet Kaya DURSUN¹ , Muhammed TAŞOVA¹ 

¹Tokat Gaziosmanapaşa Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, Merkez, Tokat.

ARTICLE INFO	ÖZET
Article history: Received / Geliş : 20.10.2025 Accepted / Kabul: 06.01.2026 Anahtar Kelimeler: Kavun tozu Kurutma Enerji parametreleri Renk Matematiksel modelleme Keywords: Melon powder Drying Energy parameters Color Mathematical modelling ✉Corresponding author/Sorumlu yazar: Samet Kaya DURSUN kayadrsn44@gmail.com Makale Uluslararası Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 Lisansı kapsamında yayınlanmaktadır. Bu, orijinal makaleye uygun şekilde atıf yapılması şartıyla, eserin herhangi bir ortam veya formatta kopyalanmasını ve dağıtılmasını sağlar. Ancak, eserler ticari amaçlar için kullanılamaz. © Copyright 2022 by Mustafa Kemal University. Available on-line at https://dergipark.org.tr/pub/mkutbd This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.  	Kurutma, kısaca taze üründen fazla nemi uzaklaştırma işlemi olarak tanımlanabilir. Bu çalışmada, kavun püreleri tozu üretmek için konvektif ve sıcaklık kontrollü mikrodalga kurutucuda 70 °C sıcaklıkta farklı oranlarda (%5 ve %10) taşıyıcı ajan (sorbitol) ekleyerek kurutulmuştur. Üretilen kavun tozlarının kuruma kinetiği, enerji analizleri ve renk parametreleri araştırılmıştır. Kurutma işlemleri arasında en kısa kuruma süresi 38 dakika ile %10 oranında sorbitol eklenerek sıcaklık kontrollü mikrodalga kurutucuda kurutulan örneklerde tespit edilmiştir. Kavun kurutma işlemlerinin kuruma oranları 0.0142-0.1754 g nem g kuru madde⁻¹.dakika arasında değiştiği belirlenmiştir. Efektif difüzyon değerleri 7.05×10⁻⁸ ile 7.12×10⁻⁷ m² s⁻¹ arasında değişken değerler aldığı tespit edilmiştir. Kurutma işlemlerine ait ortalama özgül nem çekme oranı ve özgül enerji tüketim değerleri sırasıyla 0.0048-0.0144 kg kWh⁻¹ ve 69.55-210.19 kWh kg⁻¹ aralıklarında değiştiği belirlenmiştir. Üretilen kavun tozlarının sarı/mavi (b) ve kroma (C) renk değerleri açısından istatistiksel olarak anlamlı (p<0.05) bir fark bulunmamıştır. En düşük toplam renk değişim değerleri sıcaklık kontrollü mikrodalga kurutucuda %5 oranında sorbitol eklenerek kurutulan örneklerde belirlenmiştir. Kuruma verilerini en iyi Wang-Sing modelinin tahmin ettiği tespit edilmiştir. Kuruma kinetikleri (kuruma oranı, nem oranı ve efektif difüzyon) ve enerji parametreleri (özgül nem çekme oranı ve özgül enerji tüketimi) açısından sıcaklık kontrollü mikrodalga kurutucuda %5 oranında sorbitol kullanılarak kavun tozu üretimi yapılması önerilmektedir. ABSTRACT Drying is the process of removing excess moisture from fresh produce. In this study, melon puree powder was produced using a convective and temperature-controlled microwave dryer at 70 °C with two different ratios of the carrier agent sorbitol (5% and 10%). The effects of drying conditions on drying kinetics, energy parameters, and color properties were evaluated. The shortest drying time (38 minutes) was achieved in samples dried with 10% sorbitol in the temperature-controlled microwave dryer. Drying rates ranged from 0.0142 to 0.1754 g moisture g dry matter⁻¹ min⁻¹, while effective moisture diffusivity values varied between 7.05 × 10⁻⁸ and 7.12 × 10⁻⁷ m² s⁻¹. Energy analysis showed that specific moisture extraction rates ranged from 0.0048 to 0.0144 kg kWh⁻¹, and specific energy consumption values ranged from 69.55 to 210.19 kWh kg⁻¹. In terms of color properties, no statistically significant differences (p < 0.05) were observed in yellow/blue (b) and chroma (C) values. However, the lowest total color change was obtained in samples dried with 5% sorbitol using the temperature-controlled microwave system. Among the tested mathematical models, the Wang-Sing model provided the best fit for predicting drying behavior. Considering both drying kinetics and energy efficiency, the use of 5% sorbitol in a temperature-controlled microwave dryer is recommended for producing high-quality melon powder.
Cite/Atıf	Dursun, S. K., & Taşova, M. (2026). Farklı kurutma yöntemi ve taşıyıcı ajan oranlarıyla üretilen kavun tozunun kinetik, enerji tüketimi ve renk değerleri açısından kıyaslanması. <i>Mustafa Kemal Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi</i> , 31(2), 259-270. https://doi.org/10.37908/mkutbd.1807420

GİRİŞ

Dünya’da en çok yetiştirilen ve tüketilen meyvelerden biri olan kavun, lezzetli ve sağlık açısından yararları nedeniyle hem tercih edilen hem de ekonomik değere sahiptir (Laur & Tian, 2011). Kavun meyvesi besin açısından önemi yüksek olup β -karoten, provitamin A ve C vitamini kaynağıdır (Salahi ve ark., 2017). Antioksidan özelliğine sahip olmasından dolayı kavun, hastalıkların önlenmesine yardımcı olabilecek bazı fitokimyasal olan karotenoidleri içerir (Solval ve ark., 2012). İnsan sağlığı açısından öneme sahip olan kavun mevsimlik bir üründür. Yüksek nem içeriğine sahip olmasından dolayı kolay deforme olabilir ve raf ömrü azalabilir. Hasat sonrası ürünlerde, soğuk zincir koşulları sağlansa dahi çeşitli morfolojik ve fizyolojik değişimlerin meydana gelmesi olasıdır. Bununla birlikte, soğuk muhafaza sistemlerinin yüksek ilk yatırım maliyetleri ve enerji tüketimi gibi işletme giderleri, bu yöntemin ekonomik sürdürülebilirliğini sınırlandırmaktadır (Dursun ve ark., 2023). Bu nedenle kurutularak meyve cipsi, kuru meyve ve meyve tozuna dönüştürülerek her mevsim ulaşılabilir hale getirilmesi sağlanmaktadır (Taşova & Dursun, 2024).

Kurutma, kısaca taze üründen fazla nemi uzaklaştırma işlemidir. Bu işlem sırasında enzimatik ve enzimatik olmayan reaksiyonlar sonucu oluşabilecek bozulmaları engellemek, ürünün tat ve renk özelliklerini korumaktır (Bonazzi & Dumoulin, 2011). Tarımsal ürünlerin kurutulması işlemlerinde uygulanan en eski yöntemlerden birisi güneşte-gölgede açığa serilerek yapılan doğal kurutmadır. Açıkta kurutma yöntemi, enerji tüketiminin olmaması ve teknik bilgi gerektirmemesinden dolayı avantajlı bir metottur. Bu yöntem hava koşullarının hızlı değişmesinden dolayı her zaman kurutma imkanı sağlamamaktadır. Bununla birlikte kuruma süresinin uzun olması, istenilen nem seviyesine ulaşamaması ve hijyenik olmayan kurutma şartlarından dolayı da bazı dezavantajları vardır (Purohit ve ark., 2006; Sharma ve ark., 2009; Taşkın ve ark., 2021). Ürünlerin kurutma işlemlerinde tercih edilen diğer bir yöntem ise yapay kurutma metodudur. Açık kurutma metoduna göre bu yöntem kurutma şartlarının kontrol edilebilmesinden dolayı ürünler daha kaliteli ve daha hızlı istenilen nem seviyesine düşürülmektedir (Morais ve ark., 2018; Yan ve ark., 2019; Boateng & Yang, 2020). Konvektif kurutma metodu, açıkta kurutmaya göre daha homojen bir ısı dağılımı sağlamaktadır (Taşova & Dursun, 2023). Ancak bu yöntemde ısı ürünün dışından içeriye doğru difüze olmasından dolayı daha fazla enerji tüketmesine neden olmaktadır (Aksüt ve ark., 2023). Son zamanlarda daha popüler hale gelen diğer bir yöntem ise mikrodalga kurutmadır. Bu yöntemde kurutucunun ürettiği ışınlar ürünün içerisine girer ve materyalin bünyesinde barındırdığı nemi dışarıya doğru difüze eder. Dolayısıyla bu durum kuruma süresinde azalmaya ve daha az enerji tüketmesine neden olmaktadır (Yılmaz & Alibaş, 2021). Tarımsal ürünlerin üretim-tüketim zinciri arasında harcanan enerji miktarı toplam üretilen enerji miktarının yaklaşık %30’una karşılık geldiği bildirilmektedir (FAO, 2011; Jha & Tripathy, 2017; Jha & Tripathy, 2021). Tüketilen bu enerji miktarının ortalama %10-25’i ise sadece kurutma işlemlerinde harcandığı (Mujumdar & Law, 2010) ve sanayisi gelişmiş ülkelerde ise bu oran ortalama %7-15 arasında değiştiği bildirilmektedir (Akpınar ve ark., 2005). Kavun meyvesinin kurutulması ile ilgili literatürde bazı çalışmalar yapılmıştır. Salahi ve ark. (2014), konvektif kurutucuda farklı sıcaklıklarda (40, 55 ve 70 °C) ve farklı kalınlıklarda (3 ve 5 mm) hazırladıkları kavun pürelerine Arap Sakızı ekleyerek kurutmuşlardır. Çalışma sonucunda Weibull modeli kuruma davranışlarını en iyi tahmin eden model olurken hava sıcaklığının ve köpük kalınlığının artması ile efektif nem yayılımının arttığını gösterdiğini ifade etmişlerdir. Li ve ark. (2021), kavun pürelerine farklı oranlarda Arap Sakızı (%0, 5, 10 ve 15) ekleyerek 55 °C sıcaklıkta konvektif kurutucuda kurutmuşlardır. Çalışma sonucunda Page modeli kuruma davranışlarını en iyi tahmin eden model olduğunu tespit etmişlerdir. Taşova & Dursun (2024), mikrodalga kurutucuda (360, 540, 720 ve 900 W) köpük kurutma yöntemiyle %5 oranında maltodekstrin ekleyerek ürettikleri kavun tozlarının kalite ve enerji parametrelerine olan etkisini araştırmışlardır. Çalışma sonucunda mikrodalga güç seviyelerinin artması kuruma süresini azalttığını ve dolaylı olarak da enerji tüketim değerlerinin azaldığını tespit etmişlerdir.

Bu çalışmanın amacı, toz çalışmalarında sprey kurutucular yaygın olarak kullanılmaktadır fakat ilk yatırım ve yedek parça maliyetlerinin yüksek olması gibi dezavantajları vardır. Bu nedenle toz üretimi konusunda alternatif yöntemlerden konvektif kurutucuda ve sıcaklık kontrollü mikrodalgada farklı oranlarda (%5 ve %10) taşıyıcı ajan

(sorbitol) kullanarak kavun meyvesini toza dönüştürmektir. Kurutma işlemleri sabit 70 °C sıcaklıkta gerçekleştirilmiştir. Kurutma işlemlerinin kinetiklerine (kuruma oranı, nem oranı, efektif difüzyon), enerji tüketimi (özgül nem ekme oranı ve özgül enerji tüketimi), tozun renk özellikleri üzerine olan etkisini araştırmaktır.

MATERYAL ve YÖNTEM

Püre hazırlama

Taze kavun Tokat ilindeki bulunana yerel bir marketten satın alınarak kurutma işlemleri sonlana kadar 4±0.5 °C' de buzdolabı koşullarında muhafaza edilmiştir. Pürelerin kapsüllenmesi için taşıyıcı ajan olarak sorbitol (C6H14O6) kullanılmıştır. Kavun meyvesi Beko marka 2166 model (700 W) mutfak robotu kullanılarak yaklaşık 1 dakika boyunca işlenerek püre haline getirildi. Püre içerisine %5 ve %10 oranlarında sorbitol eklenerek püre örnekleri hazırlandı. Hazırlanan karışımlar mutfak robotundan geçirilerek homojen hale getirildi.

Kurutma yöntemi

Kurutma işlemleri geliştirilen sıcaklık kontrollü mikrodalga kurutucuda ve konvektif kurutucuda 70 °C sıcaklıklarında üç paralel olarak yürütülmüştür. Ürünler <%5 nem seviyesi veya daha düşük nem seviyelerine kadar kurutulmuştur. Kurutulan örneklerin ağırlık değişimi ANDGF300 model hassas terazi (0.01 g) ile takip edilmiştir. Ürünlerin kurutulması için daha önceden geliştirilen sıcaklık kontrollü bir mikrodalga fırın (Şekil 1) içerisindeki ürünlerin yüzey sıcaklığını ölçmek için mikrodalga üzerindeki temassız kızılötesi sıcaklık sensörü kullanılmıştır (1). Ürün yüzeyinden ölçülen sıcaklık değeri önceden kontrol paneline önceden girilen kurutma sıcaklığına göre kontrol edilmiştir (2). Kontrol paneli, ürünün yüzey sıcaklığı girilen kurutma sıcaklığına ulaştığında mikrodalga fırını otomatik olarak durdurmaktadır. Ürün sıcaklığı girilen kurutma sıcaklığının altına düştüğünde ise mikrodalga fırını otomatik olarak çalıştırmaktadır (3). Mikrodalga fırının dinlenme süresi ise 15 saniye olarak belirlenmiştir. (Polatçı & Taşova, 2017).



Şekil 1. Sıcaklık kontrollü mikrodalga kurutucu (SKMW)
Figure 1. Temperature controlled microwave dryer (SKMW)

Nem tayini

Örneklerin başlangıç nem içeriğini belirlemek için 70 °C sıcaklığa ayarlanmış, bir fırında (Simşek Laborteknik marka ST-055 model) ağırlık değişimleri sabitlenene kadar kurutulmuştur. (Yağcıoğlu, 1999). Örneklerin yaş baza göre nem içeriğini belirlemek için 1 ve 2 numaralı eşitlik kullanılmıştır.

$$N_y = \frac{W_i - W_s}{W_i} \times 100 \quad (1)$$

$$N_k = \frac{W_i - W_s}{W_s} \times 100 \quad (2)$$

Burada; Ny: Yaş baza göre nem (%), Nk: Kuru baza göre nem (%), Wi: Yaş örneğin ağırlığı, Ws: Kuru örneğin ağırlığı (g).

Kuruma oranı KO

Ürünlerin kuruma oranlarını hesaplanmak için 3 numaralı eşitlik kullanılmıştır (Doymaz ve ark., 2006).

$$KO = \frac{M_t - M_{(t+dt)}}{dt} \quad (3)$$

Burada: Mt; t anındaki nem içeriği (g su g kuru madde⁻¹), dt; dakika, DR; Kuruma oranı (g su g kuru madde⁻¹.dakika).

Nem oranı NO

Kurutma işlemlerinin nem oranlarını belirlemek için 4 numaralı eşitlik kullanılmıştır (Maskan, 2000).

$$NO = \frac{M - M_e}{M_0 - M_e} \quad (4)$$

Burada: NO; Nem oranı, M; Ürünün anlık nem içeriği (g su g kuru madde⁻¹), Me; Ürünün denge nem içeriği (g su g kuru madde⁻¹), Mo; Ürünün ilk nem içeriğini (g su g kuru madde⁻¹) temsil etmektedir.

Özgül nem çekme oranı SMER

Kurutma işlemlerinin özgül nem çekme oranlarını SMER, hesaplamak için 5 numaralı eşitlik kullanılmıştır (Surendhar ve ark., 2019).

$$SMER = \frac{\text{Kurutma işleminde uzaklaşan nem (kg)}}{\text{Kurutucunun tükettiği enerji (kWh)}} \quad (5)$$

Burada: SMER; Özgül nem uzaklaştırma oranı (kg kWh⁻¹).

Özgül enerji tüketimi SEC

Kurutma işlemlerinin özgül enerji tüketim SEC, değerlerini hesaplamak için 6 numaralı eşitlik kullanılmıştır (Motevali ve ark., 2012).

$$SEC = \frac{E_t}{m_w} \quad (6)$$

Burada: SEC; özgül enerji tüketimi (kWh kg su⁻¹), Et; toplam tüketilen enerji (kWh), mw; uzaklaşan su miktarı (kg).

Efektif difüzyon D_{eff}

Kavun püresi örneklerinden uzaklaşan nemin efektif kütle difüzyon değerlerini hesaplamak için 7 numaralı eşitlik kullanılmıştır (Corzo ve ark., 2008).

$$\ln MR = \ln \frac{8}{\pi^2} - \frac{\pi^2 \cdot D_{eff} \cdot t}{4L^2} \quad (7)$$

Burada: D_{eff}; Efektif difüzyon değerini (m² s⁻¹), L; Ürünün kalınlık değerinin (m) yarısını, t; Süreyi- temsil etmektedir.

Renk değeri

Taze ve kurutulmuş kavun püresinin parlaklık L, kırmızı/yeşil a, ve sarı/mavi b, değerlerini ölçmek için CR400 model/Japan renk ölçüm cihazı kullanılmıştır. Ölçülen değerler laboratuvar ölçüm değerleridir. Bu değerler kullanılarak kroma ve toplam renk değişim değerleri hesaplanmıştır. Kroma (C) değeri ürünün renk tonunu belirtirken solgun ürünlerde düşük değerler hesaplanırken, rengi canlı ürünlerde ise yüksek değerler hesaplanmaktadır. Toplam renk değişim değeri, kurutma işlemlerinde ısıyla parçalanarak (enzimatik olmayan) renk pigmentlerinin toplam değişimini göstermektedir. Bu değerleri hesaplamak için 8 ve 9 eşitlikler kullanılmıştır.

Renk değeri	Eşitlik	Kaynak	No
Kroma	$C = (a^2 + b^2)^{1/2}$	Ramallo & Mascheroni (2012)	(8)

Toplam renk değişimi	$\Delta E = \sqrt{(L - L^*)^2 + (a - a^*)^2 + (b - b^*)^2}$	Tan ve ark. (2001)	(9)
----------------------	---	--------------------	-----

L^* , a^* ve b^* değerleri kavun tozlarının parlaklık, kırmızılık/yeşil ve sarılık/mavi renk değerlerini göstermektedir.

Matematiksel modelleme

Kuruma eğrilerini oluşturmak için literatürde yaygın olarak kullanılan Lewis, Wang-Sing ve Midilli-Küçük ince tabakalı matematiksel modeller (10-12) seçilmiştir. Modellere ait eşitlikler Çizelge 1' de verilmiştir.

Çizelge 1. Kurutma model eşitlikleri

Table 1. Drying model equations

Model	Eşitlik	Kaynak	No
Lewis	$MR = \exp(-k.t)$	Lewis (1921)	(10)
Wang-Sing	$MR = 1 + k.t + h.t^2$	Wang-Singh (1978)	(11)
Jena-Das	$MR = k.exp(-h.t + j(t^{0.5}) + m)$	Jena & Das (2007)	(12)

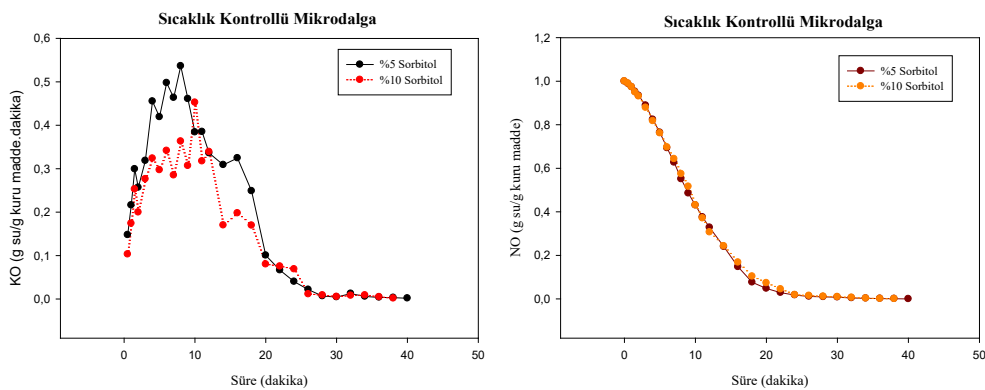
İstatistiksel analiz

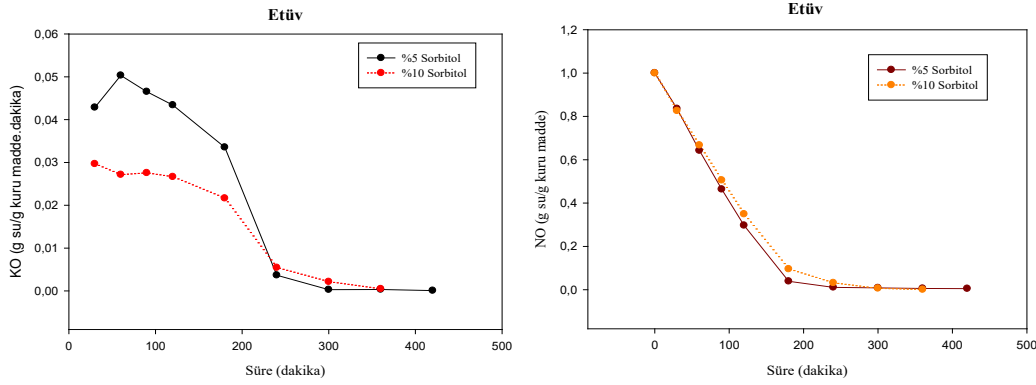
Kuruma verilerini modellemek ve kuruma eğrilerini çizmek için Sigma Plot 10. Programı kullanılmıştır. Kurutulmuş örnekler için istatistiksel farkı ($p < 0.05$) belirlemek için SPSS23 programında işlenerek çoklu karşılaştırma testi (Duncan) yapılmıştır.

ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Kuruma kinetiği

Kavun tozu üretimi için kurutma işleminden geçirilen örneklerin kuruma eğrileri Şekil 2' de verilmiştir.



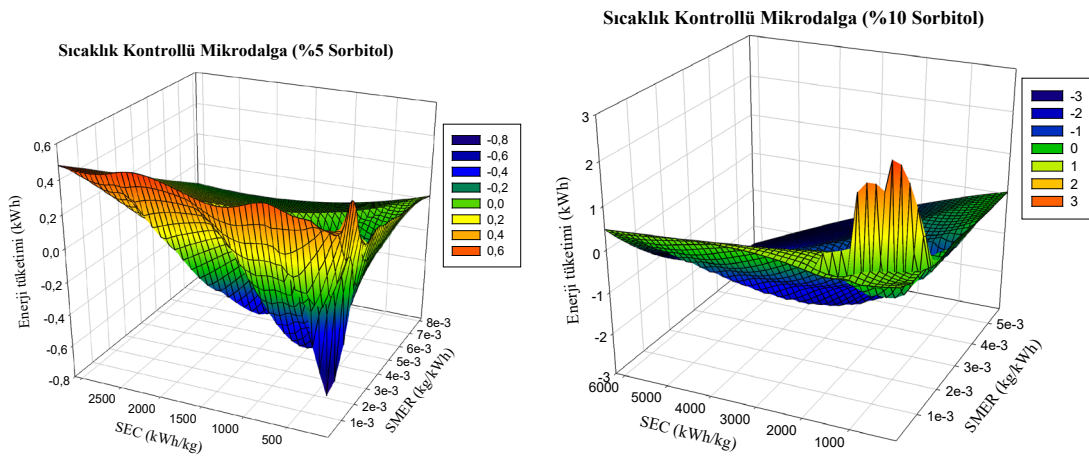


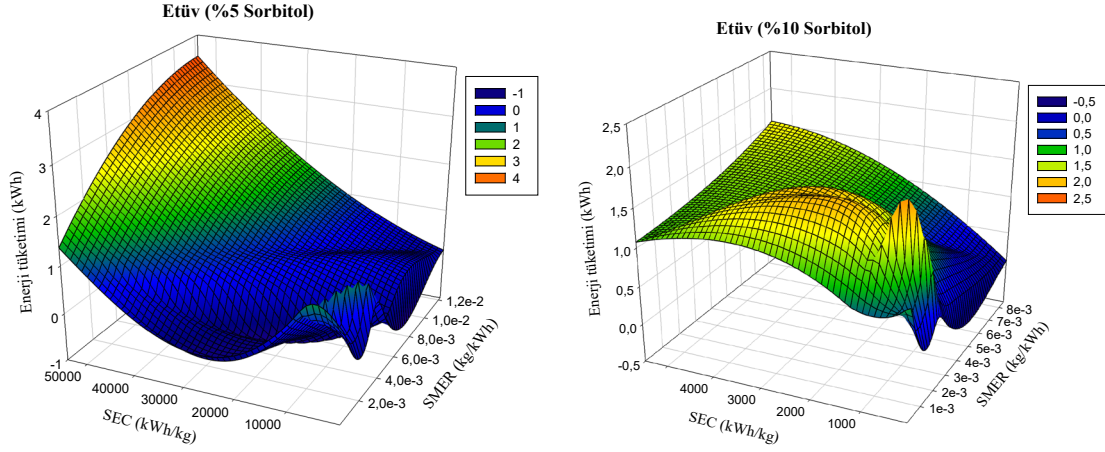
Şekil 2. Kurutulan kavun pürelirinin kuruma oranı ve nem oranı
Figure 2. Drying rate and moisture content of dried melon puree

Kurutma yöntemleri ve taşıyıcı ajanlar kavun püresi örneklerinin kuruma değerlerini etkilemiştir. Sıcaklık kontrollü mikrodalga kurutucu konvektif kurutucuya göre daha hızlı bir kuruma sağlamıştır. Bunun nedeninin ise kurutucuların çalışma prensibinden dolayı olduğu düşünülmektedir. Aksüt ve ark. (2023), sıcak havalı kurutucularda kurutma işlemleri ürünün dışından içeriye doğru olduğunu, mikrodalga kurutucularda ise ürünün içinden dışarı olduğunu ve bu nedenle daha homojen bir sıcaklık dağılımı gösterdiğini ifade etmişlerdir. Mikrodalga kurutucuda %5 ve %10 oranında sorbitol kullanılan örneklerin ortalama kuruma oranları sırasıyla 0.1754 ve 0.1747 g nem g kuru madde⁻¹.dakika olarak tespit edilmiştir. Konvektif kurutucuda %5 ve %10 oranında sorbitol kullanılan örneklerin ortalama kuruma oranları sırasıyla 0.0185 ve 0.0142 g nem g kuru madde⁻¹.dakika olarak tespit edilmiştir. Çalışma sonucunda hesaplanan değerlere göre %10 oranında taşıyıcı ajan kullanılan örneklerin %5 oranına göre düşük çıkmıştır. Bunun nedeninin ise %10 oranında taşıyıcı ajan kullanılan örneklerin ürünün üst tabaka kısmında jelleştiği ve üründen nem uzaklaşmasını zorlaştıran bir etki oraya koyduğu düşünülmektedir. Dursun ve ark. (2024), yaptıkları böğürtlen tozu çalışmasında benzer sonuçlar elde etmişlerdir. Chang ve ark. (2022), kısa ve orta dalga kızılötesi kurutucuda kuruttıkları kavun dilimlerinin kuruma oranlarını 0.0103-0.0209 g nem g kuru madde⁻¹.dakika aralığında değiştiğini tespit etmişlerdir. Literatürdeki ve bu çalışmadaki bulguların uyumlu olduğu görülmüştür.

Enerji parametreleri

Kurutma yöntemleri ve taşıyıcı ajanlar kavun toz üretim işlemlerinin enerji tüketim değerlerine etki etmiştir. Kurutma işlemlerine ait SMER ve SEC enerji tüketim kinetiği Şekil 3' de verilmiştir.





Şekil 3. SMER ve SEC değerleri grafiği

Figure 3. SMER and SEC values graph

Şekil 3'e göre sıcaklık kontrollü mikrodalga kurutucuda %5 ve %10 oranında sorbitol kullanılan örneklerin ortalama SMER değerleri sırasıyla 0.0144 ve 0.0110 kg kWh⁻¹ olarak tespit edilmiştir. Konvektif kurutucuda %5 ve %10 oranında sorbitol kullanılan örneklerin ortalama SMER değerleri sırasıyla 0.0057 ve 0.0048 kg kWh⁻¹ olarak hesaplanmıştır. SEC enerji tüketim değerleri sıcaklık kontrollü mikrodalga kurutucuda %5 ve %10 oranında sorbitol kullanılan örneklerin ortalama değerleri sırasıyla 69.55 ve 90.61 kWh kg⁻¹ olarak belirlenmiştir. Konvektif kurutucuda %5 ve %10 oranında sorbitol kullanılan örneklerin ortalama SEC değerleri sırasıyla 176.05 ve 210.19 kWh kg⁻¹ olarak hesaplanmıştır. Taşova & Dursun (2024), mikrodalga kurutucuda köpük kurutma yöntemiyle ürettikleri kavun tozlarının SMER değerlerini 0.024-0.047 kg kWh⁻¹ arasında, SEC değerlerinin ise 21.12-40.93 kWh kg⁻¹ arasında değiştiği tespit etmişlerdir. Literatürde belirlenen SMER ve SEC değerlerinin bu çalışmadan daha iyi sonuçlar elde edilmesinin nedeni köpük kurutma yönteminden ve farklı taşıyıcı ajan kullanımından kaynaklı olduğu tahmin edilmektedir. Yamchi ve ark. (2024), farklı sürelerde (0, 10 ve 20 dakika) ultrason ön işlemi uygulayarak kızılotesi kurutucuda (50, 60 ve 70 °C) kuruttukları olgunlaşmış ve olgunlaşmamış acı kavunların SEC değerlerini 188.89-303.57 kWh kg⁻¹ arasında tespit etmişlerdir. Bu çalışmada literatürdeki çalışmadan daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Bu durum kurutucuların farklılığından ve kurutma materyalinin fiziksel şeklinden (kavun örnekleri bu çalışmada püre halindeyken literatürdeki çalışmada dilim halindedir) dolayı özgül enerji tüketim değerlerini etkilediği düşünülmektedir.

Efektif difüzyon değerleri

Kurutma işlemlerine ait efektif difüzyon değerleri Çizelge 2' de verilmiştir.

Çizelge 2. Efektif difüzyon değerleri

Table 2. Effective diffusion values

Yöntem	Sorbitol oranı	Efektif difüzyon (m ² s ⁻¹)	R ²
Konvektif	%5	5.40×10 ⁻⁸	0.93
	%10	7.05×10 ⁻⁸	0.96
SKMW	%5	7.12×10 ⁻⁷	0.97
	%10	6.77×10 ⁻⁷	0.97

Çizelge 2' ye göre kavun tozu üretiminin efektif difüzyon değerlerini kurutma yöntemleri ve taşıyıcı ajan yüzdeleri etkilemiştir. Konvektif kurutucuda %5 oranında sorbitol kullanılan örneklerin %10 oranında kullanılan örneklerle göre düşük değerler hesaplanmıştır. Bunun nedenin ise kuruma süresinin daha uzun sürmesi nem transfer sürecini uzatmasından dolayı olduğu tahmin edilmektedir. Sıcaklık kontrollü mikrodalga kurutucuda %5 oranında sorbitol kullanılan numunelerin efektif difüzyon değerleri %10 oranında kullanılan numunelere göre daha yüksek oldu tespit edilmiştir. Bu durum %10 sorbitol kullanılan örneklerde ürünün bünyesindeki nemi sorbitol hızla kendi bünyesine alarak nem difüzyonunu anominal bir şekilde dağılım gösterdiğini ve dolayısı ile efektif difüzyon değerlerini etkilemesinden kaynaklı olarak açıklanabilir. Sun ve ark. (2024), konvektif kurutucuda farklı hava sıcaklıklarında (60, 70, 80 ve 90 °C) ve farklı dilim kalınlıklarında (3 ve 5 mm) kuruttukları Hami Kavun çeşidinin efektif difüzyon değerlerini $4.72-15.96 \times 10^{-11} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ arasında değiştiğini tespit etmişlerdir. Yamchi ve ark. (2023) ultrason destekli kızılötesi kurutucuda ultrason ön işlemi uygulayarak kuruttukları acı kavunların efektif difüzyon değerlerini $1.14-3.60 \times 10^{-8} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ arasında değerler aldığını belirlemişlerdir. Bu çalışmadaki bulguların literatürdeki çalışmalara göre daha iyi sonuçlar elde edildiği tespit edilmiştir.

Renk verileri

Kavun tozuna ait elde edilen renk değerleri Çizelge 3' te verilmiştir.

Çizelge 3. Renk değerleri

Table 3. Color values

Yöntem	Sorbitol oranı	L	a	b	C	ΔE
Konvektif	%5	40.88±7.74 ^{ab}	2.12±0.18 ^b	7.32±3.33 ^a	7.67±3.19 ^a	41.67±7.89 ^{ab}
	%10	45.29±4.40 ^a	2.44±0.25 ^{ab}	10.40±2.32 ^a	10.70±2.28 ^a	46.57±4.54 ^a
SKMW	%5	36.50±3.42 ^b	3.78±1.54 ^{ab}	7.32±1.64 ^a	8.75±1.00 ^a	37.54±3.41 ^b
	%10	41.38±2.97 ^{ab}	3.97±1.87 ^a	9.73±1.47 ^a	10.58±1.93 ^a	42.75±2.91 ^{ab}

SKMW: Sıcaklık kontrollü Mikrodalga, **L:** Materyalin parlaklığı, **a:** kırmızı, **b:** sarı **C:** Kroma, **ΔE :** Toplam renk değişimi

Çizelge 3' e göre konvektif kurutucuda ve sıcaklık kontrollü mikrodalgada kurutularak üretilen kavun tozlarının L değerleri 36.50-45.29 arasında değişen değerlerle ($p<0.05$) anlamlı bir etkiye sahip olduğu görülmüştür. Bu durum kavun tozlarının daha az beyazımsı olduğunu düşündürmüştür. Benzer şekilde a değerinin 2.12-3.97 arasında değerlerle istatistiksel açıdan ($p<0.05$) anlamlı bir etki ettiği tespit edilmiştir. Bu durum üretilen tozların çok az bir kırmızımsı olduğu göstermiştir. Üretilen kavun tozlarının b ve kroma değerleri sırasıyla 7.32-10.40 ve 7.67-10.70 arasında değiştiği görülürken istatistiksel açıdan ($p>0.05$) anlamlı bir etkiye sahip olmadığını göstermiştir. Bununla birlikte kavun tozlarının daha sarımsı bir renkte görüldüğü belirlenmiştir. En yüksek ΔE %10 sorbitol eklenerek konvektif kurutucuda kurutulan örneklerde tespit edilirken en düşük ΔE değeri sıcaklık kontrollü mikrodalgada %5 oranında sorbitol eklenen örneklerde hesaplanmıştır. Yi ve ark. (2016), kurutulmuş ürünlerde daha düşük tespit edilen toplam renk değişimi değerlerinin taze renge daha yakın olduğu bildirmişlerdir. Solval ve ark. (2012), sprey kurutucuda farklı giriş havası sıcaklıkları (170, 180 ve 190 °C) %10 oranında maltodekstrin ekleyerek ürettikleri kavun tozlarının L, a, b ve C değerlerini sırasıyla 89.06-94.53, 3.35-6.16, 22.71-24.29 ve 22.96-25.06 aralığında değiştiğini tespit etmişlerdir. Salahi ve ark. (2017), konvektif kurutucuda ürettikleri kavun tozlarının L, a, b ve C değerlerini sırasıyla 71.58-74.38, 7.97-9.73, 30.08-33.19 ve 31.12-34.59 aralıklarında değiştiğini belirlemişlerdir. Literatürdeki ve bu çalışmadaki farklılıkların nedeni ise kurutucuların ve kullanılan taşıyıcı ajanların farklı olmasından kaynaklandığı tahmin edilmektedir.

Model vevrileri

Kurutulan kavun pürelerine ait matematiksel modelleme değerleri Çizelge 4’ de verilmiştir.

Çizelge 4. Matematiksel modellere ait hesaplanan değerler

Table 4. Calculated values of mathematical models

Yöntem	Sorbitol oranı	Model	<i>k</i>	<i>h</i>	<i>j</i>	<i>m</i>	<i>P</i>	<i>R</i> ²
Konvektif	%5	Lewis	0.0099	-	-	-	<0.0001	0.9656
		Wang-Sing	-0.0069	0.00001	-	-	<0.0001	0.9839
		Jena-Das	1.0378	0.4092	0.7971	0.0333	<0.0001	0.9714
	%10	Lewis	0.0091	-	-	-	<0.0001	0.9680
		Wang-Sing	-0.0067	0.00001	-	-	<0.0001	0.9953
		Jena-Das	1.0333	0.4087	0.7981	0.0294	<0.0001	0.9733
SKMW	%5	Lewis	0.0904	-	-	-	<0.0001	0.9573
		Wang-Sing	-0.0666	0.0011	-	-	<0.0001	0.9874
		Jena-Das	1.0591	0.4551	0.7053	0.0568	<0.0001	0.9729
	%10	Lewis	0.0886	-	-	-	<0.0001	0.9585
		Wang-Sing	-0.0661	0.0011	-	-	<0.0001	0.9889
		Jena-Das	1.0571	0.4539	0.7077	0.0540	<0.0001	0.9738

SKMW: Sıcaklık kontrollü Mikrodalga, **k, h, j, m:** Model katsayılarını belirtmektedir.

Tablo 4 incelendiğinde tüm kurutma modeller arasında kuruma verilerini en iyi Wang-Sing modeli (R^2 : 0.9953) tahmin etmiştir. Kuruma verilerini en iyi konvektif kurutucuda %10 oranında sorbitol kullanılan örneklerde modellemiştir.

SONUÇ ve ÖNERİLER

Üretilen kavun tozlarının kuruma kinetiği, efektif difüzyon, özgül nem çekme oranı, özgül enerji tüketim değerleri ve renk parametrelerine kurutma yöntemleri ve taşıyıcı ajan oranlarının etki ettiği görülmüştür. Kurutma yöntemleri kuruma sürelerini önemli bir şekilde etkilemiştir. Kuruma kinetikleri (kuruma oranı, nem oranı ve efektif difüzyon) ve enerji parametreleri (özgül nem çekme oranı ve özgül enerji tüketimi) açısından sıcaklık kontrollü mikrodalga kurutucuda %5 oranında sorbitol kullanılarak kavun tozu üretimi önerilmektedir. Renk parametleri açısından ise yöntemler arasında önemli bir fark ($p<0.05$) oluşmamıştır. Tüm kuruma verilerini en iyi Wang-Sing modeli (R^2 : 0.9953) modellemiştir. Kavun tozu üretimi için bundan sonraki çalışmalarda kalite özellikleri, biyoaktif özellikleri ve kuruma kinetiği gibi özelliklerin birlikte muhafaza edileceği düşünüldüğü farklı yöntemler, sıcaklıklar ve taşıyıcı ajanlar ile birlikte yapılması önerilmektedir.

ÇIKAR ÇATIŞMA BEYANI

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

ARAŞTIRMACILARIN KATKI ORANI BEYANI

Yazarlar çalışmaya eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan eder.

ETİK ONAY BEYANI

Bu makalede insan veya hayvan deneklerle herhangi bir çalışma bulunmaması nedeniyle etik onaya gerek duyulmamaktadır.

KAYNAKLAR

- Akpınar, E. K., Midilli, A., & Bicer, Y. (2005). Energy and exergy of potato drying process via cyclone type dryer. *Energy Conversion and Management*, 46(15-16), 2530-2552. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2004.12.008>.
- Aksüt, B., Dursun, S.K., Polatçı, H., & Taşova, M. (2023). 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. <https://doi.org/10.1080/08327823.2023.2166005>.
- Boateng, I.D., & Yang, X.M. (2020). Effect of different drying methods on product quality, bioactive and toxic components of *Ginkgo biloba* L. seed. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 101(8), 3290-3297. <https://doi.org/10.1002/jsfa.10958>.
- Bonazzi, C., & Dumoulin, E. (2011). Quality changes in food materials as influenced by drying processes. *Modern Drying Technology*, 3, 1-35. <https://doi.org/10.1002/9783527631667>.
- Chang, A., Zheng, X., Xiao, H., Yao, X., Liu, D., Li, X., & Li, Y. (2022). Short- and medium-wave infrared drying of cantaloupe (*Cucumis melon* L.) slices: drying kinetics and process parameter optimization. *Processes*, 10(1), 114. <https://doi.org/10.3390/pr10010114>.
- Corzo, O., Bracho, N., Pereira, A., & Vasquez, A. (2008). Weibull distribution for modeling air drying of coroba slices. *LWT-Food Science and Technology*, 41(10), 2023-2028. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2008.01.002>.
- Doymaz İ, Tugrul, N., & Pala. M. (2006). Drying characteristics of dill and parsley leaves. *Journal of Food Engineering*, 77, 559-565. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.06.070>.
- Dursun, S.K., Aksüt, B., Polatçı, H., & Taşova, M. (2023). Sıcaklık kontrollü bir mikrodalga kurutucunun geliştirilmesi ve mantar kurutma işleminin enerji ve kalite değerlerine etkisi. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 20(3), 561-573. <https://doi.org/10.33462/jotaf.1119197>.
- Dursun, S.K., Taşova, M., Dinçer, E., & İşbilir, M.E. (2024). Assessment of carrier agents in terms of physicochemical, energy analyses and bioactive constituents of blackberry (*Rubus fruticosus* L.) powder processed by convective and hybrid drying methods. *Heat and Mass Transfer*, 60, 1699-1712. <https://doi.org/10.1007/s00231-024-03516-6>.
- FAO. (2011). Energy-smart food for people and climate. (Erişim tarihi: 2.3.2017).
- Jena, S., & Das, H. (2007). Modeling for vacuum drying characteristics of coconut presscake. *Journal of Food Engineering*, 79, 92-99. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.01.032>.
- Jha, A., & Tripathy, P.P. (2017). Clean energy technologies for sustainable food security. In *The Water-Food-Energy Nexus* (pp. 197-220). CRC Press.
- Jha, A. & Tripathy, P.P. (2021). Recent advancements in design, application, and simulation studies of hybrid solar drying technology. *Food Engineering Reviews*, 13, 375–410. <https://doi.org/10.1007/s12393-020-09223-2>.
- Laur, L.M., & Tian, L. (2011). Provitamin A and vitamin C contents in selected California-grown cantaloupe and honeydew melons and imported melons. *Journal of Food Composition and Analysis*, 24(2), 194-201. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2010.07.009>.
- Lewis, W.K. (1921). The rate of drying of solid materials. *Industrial Engineering Chemistry*, 13, 427-443. <https://doi.org/10.1021/ie50137a021>.
- Li, T.S., Sulaiman, R., Rukayadi, Y., & Ramli, S. (2021). Effect of gum Arabic concentrations on foam properties, drying kinetics and physicochemical properties of foam mat drying of cantaloupe. *Food Hydrocolloids*, 116, 106492. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106492>.

- Maskan, M. (2000). Microwave/air and microwave finish drying of banana. *Journal of Food Engineering*, 44, 71-78. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(99\)00167-3](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(99)00167-3).
- Morais, R.M.S.C., Morais, A.M.M.B., Dammak, I., Bonilla, J., Sobral, P.J.A., Laguerre, J.C., Afonso, M.J., & Ramalhosa, E.C.D. (2018). Functional Dehydrated Foods for Health Preservation. *Journal of Food Quality*, 2018(1), 1739636. <https://doi.org/10.1155/2018/1739636>.
- Motevali, A., Abbaszadeh, A., Minaei, S., Khoshtaghaza, M.H., & Ghobadian, B. (2012). 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.
- Mujumdar, A.S., & Law, C.L. (2010). Drying technology: trends and applications in postharvest processing. *Food Bioprocess Technology*, 3, 843-852. <https://doi.org/10.1007/s11947-010-0353-1>.
- Polatçı, H., & Taşova, M. (2017). Sıcaklık Kontrollü Mikroalga Kurutma Yönteminin Alıç (*Crataegus* spp. L.) Meyvesinin Kuruma Karakteristikleri ve Renk Değerleri Üzerine Etkisi. *Türk Tarım – Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 5(10), 1130-1135.
- Purohit, P., Kumar, A., & Kandpa, T.C. (2006). Solar drying vs. open sun drying: A framework for financial evaluation. *Solar Energy*, 80(12), 1568-1579. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2005.12.009>.
- Ramallo, L.A., & Mascheroni, R.H. (2012). Quality evolution of pineapple fruit during drying process. *Food and Bioprocess Technology*, 99, 275-283. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2011.06.001>.
- Salahi, M.R., Mohebbi, M., & Taghizadeh, M. (2017). Development of cantaloupe (*Cucumis melo*) pulp powder using foam-mat drying method: Effects of drying conditions on microstructural of mat and physicochemical properties of powder. *Drying Technology*, 35(15), 1897–1908. <https://doi.org/10.1080/07373937.2017.1291518>.
- Salahi, R.M., Mohebbi, M., & Taghizadeh, M. (2014). Foam-Mat drying of cantaloupe (*Cucumis melo*): optimization of foaming parameters and investigating drying characteristics. *Journal of Food Processing and Preservation*, 39(6), 1798-1808. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12414>.
- Sharma, A., Chen C.R., & Lan, N.V. (2009). Solar-energy drying systems: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(6-7), 1185–1210. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2008.08.015>.
- Solval, K.M., Sundararajan, S., Alfaro, L., & Sathivel, S. (2012). Development of cantaloupe (*Cucumis melo*) juice powders using spray drying technology. *LWT-Food Sciences and Technology*, 46(1), 287-293. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2011.09.017>.
- Sun, T., Wang, N., & Wang, C. (2024). Effect of hot air temperature and slice thickness on the drying kinetics and quality of Hami melon (*Cantaloupe*) slices. *Scientific Reports*, 14, 29855. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-81053-2>.
- Surendhar, A., Sivasubramanian, V., Vidhyeswari, D., & Deepanraj, B. (2019). Energy and exergy analysis, drying kinetics, modeling and quality parameters of microwave-dried turmeric slices. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 136, 185–197. <https://doi.org/10.1007/s10973-018-7791-9>.
- Tan, M., Chua, K.J., Mujumdar, A.S., & Chou, S.K. (2001). 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. <https://doi.org/10.1081/DRT-100107494>.
- Taşkın, O., İzli, G., & İzli, N. (2021). Physicochemical and morphological properties of european cranberrybush powder manufactured by freeze drying. *International Journal of Fruit Science*, 21(1), 1008-1017. <https://doi.org/10.1080/15538362.2021.1971141>.
- Taşova, M., & Dursun, S.K. (2023). Golden delicious L. çeşidi elmanın kuruma özelliklerine ön işlemlerin etkisi. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 20(2), 374-386. <https://doi.org/10.33462/jotaf.1117872>.
- Taşova, M., & Dursun, S.K. (2024). Comparison of microwave assisted foam drying processes to improve the physicochemical properties and to reduce GHG values of the melon powder processes. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 15(6), 8419-8426. <https://doi.org/10.1007/s13399-024-05680-5>.

- Wang, C.Y., & Singh, R.P. (1978). A single layer drying equation for rough rice. ASAE Paper No: 78-3001, ASAE, St. Joseph, MI.
- Yağcıoğlu, A. (1999). Tarımsal Ürünleri Kurutma Tekniği. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No: 536. Bornova, İzmir.
- Yamchi, A.A., Hosainpour, A., Hassanpour, A., & Fanaei, A.R. (2023). Developing ultrasound-assisted infrared drying technology for bitter melon (*Momordica charantia*). *Journal of Food Process Engineering*, 47(1), e14516. <https://doi.org/10.1111/jfpe.14516>.
- Yamchi, A.A., Hosainpour, A., Hassanpour, A., & Fanaei, A.R. (2024). Drying kinetics and thermodynamic properties of ultrasound pretreatment bitter melon dried by infrared. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2024(1), 1987547. <https://doi.org/10.1155/2024/1987547>.
- Yan, J.K., Wu, L.X., Qiao, Z.R., Cai, W.D., & Ma, H.L. (2019). Effect of different drying methods on the product quality and bioactive polysaccharides of bitter gourd (*Momordica charantia* L.) slices. *Food Chemistry*, 27, 588– 596. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.08.012>.
- Yi, J., Zhou, L., Bi, J., Chen, Q., Liu, X., & Wu, X. (2016). 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. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12664>.
- Yılmaz, A., & Alibaş, İ. (2021). The impact of drying methods on quality parameters of purple basil leaves. *Journal of Food Process and Preservation*, 45(7), e15638. <https://doi.org/10.1111/jfpp.15638>.