

**Mikrodalga Kurutma Yöntemiyle Üretilen Karpuz Cipslerinde Güç değerlerinin Kuruma Kinetikleri, Enerji Tüketimi ve Renk Kriterleri Özelliklerine Etkisi**

Effect of Power Values on Drying Kinetics, Energy Consumption and Color Criteria Properties of Watermelon Chips Produced by Microwave Drying Method


Muhammed TAŞOVA<sup>1\*</sup>, Samet Kaya DURSUN<sup>1</sup>

**Öz**

Karpuz birçok besin değerini bünyesinde barındıran ve bol sulu kabakgillerden olan tarımsal bir üründür. Karpuz cipsi üretiminin gelişmesi hem ülke olarak hem de küresel boyutta taze ürünlere alternatif fonksiyonel bir gıda olması açısından önemlidir. Bu çalışmada, karpuz cipsi üretimi için mikrodalga tekniği kullanılarak 180, 360 ve 540 W güç değerlerinde taze karpuz dilimleri kurutulmuştur. Çalışmanın amacı, karpuz cipsi üretiminde kinetik, kalite özellikleri ve enerji tüketim parametreleri açısından en uygun mikrodalga güç seviyesini tespit etmektir. Kurutma işlemlerinde için kuruma süresi, kuruma oranı, nem oranı, renk parametreleri, efektif nem difüzyonu, özgül nem çekme oranı (SMER) ve özgül enerji tüketimi (SEC) değerleri belirlenmiştir. Karpuz cipsi üretiminde en kısa kuruma süresi 540 W güçte kurutulan örneklerde 11 dakika olarak belirlenmiştir. En uzun kuruma süresi ise 180 W güçte 48.50 dakika olarak belirlenmiştir. Kurutma işlemlerinde 180, 360 ve 540 W mikrodalga güç değerleri için tespit edilen kuruma oranları sırayla 0.200, 0.530 ve 0.939 g nem g kuru madde.dakika<sup>-1</sup> olarak tespit edilmiştir. Taze karpuz dilimlerin *L*, *a* ve *b* değerleri sırasıyla 43.17, 31.32 ve 20.59 olarak belirlenmiştir. Taze dilimlere en yakın renk değerleri 360 W güç değerinde kurutulan örneklerde belirlenmiştir. Mikrodalgada 360 W güç değerinde kurutulan örneklerin *L*, *a* ve *b* değerleri sırasıyla 41.35, 16.56 ve 12.07 olarak tespit edilmiştir. Kurutma işlemlerinin efektif nem difüzyon değerlerinin  $3.74 \times 10^{-11} - 2.27 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$  arasında değiştiği tespit edilmiştir. En yüksek özgül nem çekme oranı (SMER) 540 W güçte kurutulan örneklerde ortalama 0.0662 kg.kWh<sup>-1</sup> olarak belirlenmiştir. En düşük özgül enerji tüketim (SEC) değeri 540 W güçte kurutulan örneklerde 14.52 kW.kg<sup>-1</sup> olarak hesaplanmıştır. Bu çalışmada kuruma süresi, efektif nem difüzyonu ve enerji parametreleri açısından karpuz dilimlerinin mikrodalgada 540 W güç değerinde kurutulması önerilmektedir. Renk değerleri açısından karpuz cipsi üretiminde 360 W mikrodalga güç değerinde kurutulması önerilmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Karpuz cipsi, Kuruma kinetiği, Renk kalitesi, Enerji tüketimi, Mikrodalga enerji

<sup>1\*</sup>Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Muhammed Taşova, Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, Tokat, Türkiye. E-mail: [muhammed.tasova@gop.edu.tr](mailto:muhammed.tasova@gop.edu.tr)  OrCID: 0000-0001-5025-0807

<sup>2</sup>Samet Kaya Dursun, Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, Tokat, Türkiye. E-mail: [kayadrsn44@gmail.com](mailto:kayadrsn44@gmail.com)  OrCID: 0000-0002-8230-3560

**Atıf:** Taşova, M., Dursun, S. K. (2025). Mikrodalga Kurutma Yöntemiyle Üretilen Karpuz Cipslerinde Güç değerlerinin Kuruma Kinetikleri, Enerji Tüketimi ve Renk Kriterleri Özelliklerine Etkisi. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 22(1): 257-267.

**Citation:** Taşova, M., Dursun, S. K. (2025). Effect of Power Values on Drying Kinetics, Energy Consumption and Color Criteria Properties of Watermelon Chips Produced by Microwave Drying Method. *Journal of Tekirdag Agricultural Faculty*, 22(1): 257-267.

©Bu çalışma Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi tarafından Creative Commons Lisansı (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) kapsamında yayımlanmıştır. Tekirdağ 2025

## Abstract

Watermelon is an agricultural product belonging to the cucurbit family, known for its high water content and various nutritional values. The development of watermelon chip production is important as it serves as a functional food alternative to fresh products, both nationally and globally. In this study, fresh watermelon slices were dried using the microwave technique at power values of 180, 360, and 540 W. The aim of the study is to identify the optimal microwave power values in terms of drying kinetics, quality characteristics, and energy consumption parameters for watermelon chip production. During the drying processes, the drying time, drying rate, moisture content, color parameters, effective moisture diffusion, specific moisture extraction rate (*SMER*), and specific energy consumption (*SEC*) values were determined. The shortest drying time was found to be 11 minutes for samples dried at 540 W. The longest drying time was determined to be 48.50 minutes at 180 W. The drying rates for 180, 360, and 540 W microwave power values were found to be 0.200, 0.530, and 0.939 g moisture g.dry matter.minute<sup>-1</sup>, respectively. The *L*, *a*, and *b* values of fresh watermelon slices were determined as 43.17, 31.32, and 20.59, respectively. The closest color values to fresh slices were found in samples dried at 360 W, with *L*, *a*, and *b* values of 41.35, 16.56, and 12.07, respectively. The effective moisture diffusion values during the drying processes were found to range between  $3.74 \times 10^{-11}$  and  $2.27 \times 10^{-10}$  m<sup>2</sup>.s<sup>-1</sup>. The highest *SMER* was determined to be an average of 0.0662 kg.kWh<sup>-1</sup> for samples dried at 540 W. The lowest *SEC* value was calculated as 14.52 kW.kg<sup>-1</sup> for samples dried at 540 W. This study recommends drying watermelon slices in a microwave at a power level of 540 W in terms of drying time, effective moisture diffusion, and energy parameters. For color values, drying at 360 W microwave power is suggested for watermelon chip production.

**Keywords:** Watermelon chips, Drying kinetics, Color quality, Energy consumption, Microwave energy

## 1. Giriş

Kabakgiller familyasından olan karpuz (*Citrullus lanatus*) Afrika ülkelerine ait bir kültür bitkisidir (Doymaz, 2014). Yüksek nem içeriği ve tatlı aromasıyla birlikte özellikle yaz aylarında susuzluk giderici meyve olarak tüketilmektedir (Nakilcioğlu-Taş ve ark., 2021). Karpuz yüksek nem içeriği (~%90), antioksidan, fenolik bileşikler, karotenoidler ( $\beta$ -karoten ve likopen), vitaminler (A, B, C ve E) ve belirli aminoasitler (sitrullin) bünyesinde bulundurmaktadır (Akyıldız ve ark., 2017). Karpuz bünyesinde bulundurduğu maddeler sayesinde insanları kansere karşı ve DNA gibi molekülleri oksidatif hasara karşı korumakta bünyesinde bulundurduğu likopen sayesinde kırmızı rengi almaktadır (Oberoi ve Sogi, 2015a). Taze karpuz meyvesinin, mevsimlik bir ürün olmasından dolayı tüm yıl boyunca bulunması zordur. Meyvenin yüksek besin içeriği göz önünde bulundurulursa yıl boyunca tüketilmesi sağlık açısından yararlı olabilir (Nakilcioğlu-Taş ve ark., 2021). Dünya genelinde doğal gıda ve sağlıklı atıştırmalıklara artan talep yeni ürünleri ortaya çıkartmayı gerekli hale getirmiştir. Kurutulmuş ürünler bu talepleri karşılamak açısından tüketiciler için yenilikçi bir ürün alanı olarak büyük öneme sahiptir. Meyve cipsleri ağırlıkta ve hacimde sağladığı avantajlardan dolayı nakliye masraflarını en aza indirmekte ve bununla birlikte biyoaktif maddelerin daha yoğun hale gelmesinden dolayı insan diyetlerinde çok fazla tercih edilmektedir (Du ve ark., 2013; Zou ve ark., 2013). Meyve cipsi üretiminde uygulanan yağda kızartma yöntemi lezzet ve gevreklik açısından insanlar tarafından beğenilen bir yöntemdir. Ancak yağda kızartma yöntemiyle üretilen meyveler çok fazla yağ emmesinden dolayı sağlık açısından olumsuz yönler içermektedir vardır (Saxena ve ark., 2012; Taib ve ark., 2013). Kurutma işlemi, belirtilen olumsuz yöntemlerden uzak kalarak ve sunduğu bazı avantajlardan dolayı kurutma işlemi meyve cipsi üretiminde uygulanan en genel yöntemlerdendir.

Kurutma işlemi kısaca, nem içeriğinin taze üründen uzaklaştırılması olarak tanımlanabilir. Bu işlemdeki temel amaç enzimatik reaksiyonlar sonucunda oluşabilecek bozulmaları önlemek ve bu süreçte ürünlerin aroma, tat ve renk özelliklerini korumaktır (Bonazzi ve Dumoulin, 2011). Bilenen en eski kurutma yöntemi açık alanlara serilerek güneşte ve gölgede kurutmadır. Maliyet açısından önemli avantajlar sağlayan çevreci bir yöntem olsa da güneşte kurutma işleminin yılın her döneminde yapılamaması, geniş alanlara ihtiyaç duyulması, ürünün istenilen nem seviyesine düşürülememesi ve çevresel faktörlerden (toz, yağmur rüzgâr, böcekler, kuşlar vb.) olumsuz etkilenmesi gibi bazı dezavantajları vardır (Purohit ve ark., 2006; Sharma ve ark., 2009; Taşkın ve ark., 2021). Kurutma işlemlerinde yaygın olarak kullanılan diğer bir yöntem ise sıcak havayla kurutmadır. Sıcak havayla kurutma işleminde, ısı ürünün dışından içerisine doğru difüze olur. Bu yöntem kuruma süresinin uzamasına, daha fazla enerji tüketilmesine ve daha düşük kalite özelliklerinin meydana gelmesine neden olmaktadır (Aksüt ve ark., 2023). Günümüzde popüler hale gelen mikrodalga kurutma işleminde ısı sıcak havayla kurutma işleminden farklı olarak içerden dışarı doğru difüze olur. Bu durum kuruma süresinin azalmasına ve daha az enerji tüketilmesine neden olmaktadır (Yılmaz ve Alibaş, 2021). Kurutma işlemlerinde gerçekleşen enerji tüketimi değerlerinin yüksek olduğu bildirilmektedir. Ülkelerin toplam enerji tüketimlerinin ortalama %10-25 oranının yalnızca kurutma endüstrisi ve işlemlerinde tüketildiği bilinmektedir (Mujumdar ve Law, 2010). Bu nedenle hem üretim maliyetinin azalması hem de sürdürülebilir olması için kurutma işlemlerinde enerji tüketiminin azaltılmasına yönelik farklı tekniklerin geliştirilmesi önemlidir. Karpuz kurutma ile ilgili literatürde bazı çalışmalar vardır. Akyıldız ve ark. (2017), çalışmalarında karpuz dilimlerini konveksiyonel (70 °C) ve dondurarak (-66 °C, +5 mtorr) kurutmuş ve bazı kalite özelliklerini incelemişlerdir. Çalışma sonucunda dondurularak kurutulan ürünlerin *L* (parlaklık) ve hue değerleri artarken, kırmızılık (*a*) değerinin azaldığını ve en fazla toplam renk değişim ( $\Delta E$ ) değerlerinin gerçekleştiğini bildirmişlerdir. Chakraborty ve Mondal (2017), çalışmalarında karpuzun ozmotik dehidrasyonu ve kızılötesi destekli vakumlu kurutucuda kuruma hızını artırmak amacıyla aralıklı zorlanmış CO<sub>2</sub> konveksiyon yöntemiyle kurutmuşlardır. Çalışma sonucunda ozmotik dehidrasyonu ön işlem olarak önerdikleri, aralıklı taşıyıcı gazın (CO<sub>2</sub>) kontrol grubuna göre kuruma süresini 30 dakika kadar azalttığını daha düşük aktivasyon enerjisi ve yüksek enerji verimliliği sağladığını bildirmişlerdir. Tepe (2023), doktora tezi çalışmasında kavun ve karpuz cipsi üretmek için farklı kurutma yöntemlerinin ve ön işlemlerin kuruma ve bazı kalite parametrelerine olan etkilerini araştırmıştır. Karpuz örneklerini konvektif kurutucuda, mikrodalga kurutucuda ve hibrit (sıcak hava+mikrodalga) kurutucuda kurutmuştur. Çalışma sonucunda ön işlem, sıcaklık ve güç artışıyla kuruma sürelerinin azaldığını tespit ederken efektif kütle difüzyon değerlerinin arttığını belirtmiştir. En yüksek renk değişim değerlerinin mikrodalga ve hibrit kurutma yöntemlerinde meydana geldiğini bildirmiştir.

Bu çalışmada, karpuz cipsi üretiminde mikrodalga güç değerlerinin kuruma oranı, nem oranı, renk değerleri, efektif nem difüzyonu, özgül nem çekme oranı ve özgül enerji tüketimine olan etkilerini belirlemek amaçlanmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Ham materyal

Çalışmada kullanılan karpuz Tokat İli'nin deki yerel bir semt pazarından satın alınarak çalışma sonlanana kadar buzdolabı koşullarında  $+4\pm 0.5$  °C sıcaklıkta muhafaza edilmiştir. Kurutma işlemleri Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Biyosistem Mühendisliği bölümü kurutma laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

### 2.2. Kurutma işlemi

Kurutma işlemleri için Vestel Marka MD-GD23 model 2450 MHz (Türkiye) mikrodalga kurutma fırını kullanılmıştır ve ürünler yaş baza göre (y.b)  $< \% 7$  nem değerine kadar kurutulmuştur. Kurutma işlemleri mikrodalga kurutucuda 180, 360 ve 540 W güç değerlerinde yapılmıştır. Kurutulan örneklerin ağırlık değişimini takip etmek için AND marka GF-300 model hassas terazi (0.01 g) kullanılmıştır. Kurutma işlemleri sonlanana kadar karpuz örnekleri 30 saniye ve 1 dakika aralıklarla ağırlık ölçümleri yapılmıştır.

### 2.3. Kuruma oranı (KO)

Karpuz cips örneklerinin kuruma oranlarının hesaplanması için 1 numaralı eşitlik kullanılmıştır (Doymaz ve ark., 2006).

$$DR = \frac{M_t - M_{(t+dt)}}{dt} \quad (\text{Eş. 1})$$

Burada:  $M_t$ ; t anındaki nem içeriği (g nem.g kuru madde<sup>-1</sup>), dt; dakika, DR; kuruma oranı (g nem.g kuru madde dakika<sup>-1</sup>).

### 2.4. Nem oranı (NO)

Kurutma işlemi esnasında karpuz cips örneklerinden uzaklaşan nem miktarının süreye bağlı oranlarını belirlemek için 2 numaralı eşitlik kullanılmıştır (Maskan, 2000).

$$MR = \frac{M - M_e}{M_0 - M_e} \quad (\text{Eş. 2})$$

Burada: MR; Nem oranı, M; Ürünün anlık nem içeriği (g nem.g kuru madde<sup>-1</sup>),  $M_e$ ; Ürünün denge nem içeriği (g nem.g kuru madde<sup>-1</sup>),  $M_0$ ; Ürünün ilk nem içeriğidir (g nem.g kuru madde<sup>-1</sup>).

### 2.5. Efektif nem difüzyonu

Kurutma işlemlerinde karpuz cipslerinden uzaklaşan nemin efektif nem difüzyon değerlerini hesaplamak için 3 numaralı eşitlik kullanılmıştır (Corzo ve ark., 2008).

$$\ln MR = \ln \frac{8}{\pi^2} - \frac{\pi^2 \cdot D_{eff} \cdot t}{4L^2} \quad (\text{Eş. 3})$$

Burada:  $D_{eff}$ ; kütle difüzyon değerini (m<sup>2</sup> s<sup>-1</sup>), L; ürünün kalınlık değerinin (m) yarısı, t; ise ürünün kuruma süresini göstermektedir.

### 2.6. Özgül nem çekme oranı

Kurutma işlemlerinde birim enerji değerine karşılık uzaklaşan nem miktarını (SMER) hesaplamak için 4 numaralı eşitlik kullanılmıştır (Surendhar ve ark., 2019).

$$SMER = \frac{\text{Kurutma işleminde uzaklaşan nem (kg)}}{\text{Kurutucunun tükettiği enerji (kWh)}} \quad (\text{Eş. 4})$$

Burada: SMER; özgül nem çekme oranı (kg kWh<sup>-1</sup>).

### 2.7. Özgül enerji tüketimi

Kurutma işlemlerinde bir kilogram nemi uzaklaştırmak için harcanan enerji miktarını ise 5 numaralı eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır (Tan ve ark., 2012).

$$SEC = \frac{E_t}{m_w} \quad (\text{Eş. 5})$$

Burada:  $SEC$ ; özgül enerji tüketimi ( $\text{kWh.kg nem}^{-1}$ ),  $E_t$ ; toplam tüketilen enerji ( $\text{kWh}$ ),  $m_w$ ; uzaklaşan nem miktarı ( $\text{kg}$ ).

## 2.8. Renk değerleri

Taze ve cips haline gelen karpuz örneklerinin parlaklık ( $L$ ), kırmızı/yeşil ( $a$ ) ve sarı/mavi ( $b$ ) değerlerini ölçmek için CR400 model/Japan renk ölçüm cihazı kullanılmıştır. Ölçülen değerler laboratuvar ölçüm değerleri olup bunlar kullanılarak kroma, hue ve toplam renk değişim değerleri hesaplanmıştır. Kroma değeri ürünün renk tonunu belirtirken solgun renklerde düşük, canlı renklerde ise yüksek değerler hesaplanmaktadır. Hue değeri ürün renk değerlerinin  $360^\circ$ lik bir radyanttaki yerini belirtmektedir. Sınır açısı değerlerinden  $0^\circ$ ; kırmızı,  $180^\circ$ ; yeşil,  $90^\circ$ ; sarı ve  $270^\circ$ ; mavi ana renkleri temsil etmektedir. Toplam renk değişim değeri ise kurutma işlemlerinde ısıyla parçalanarak (enzimatik olmayan) renk pigmentlerinin toplam değişimini göstermektedir. Hesaplanan renk değerleri daha çok ürünün ticari değeri ve tüketici için karar verici olması açısından önemlidir. Bu değerleri hesaplamak için 6, 7 ve 8 numaralı eşitlikler kullanılmıştır.

Renk değeri	Eşitlik	Kaynak	No
Kroma	$C = (a^2 + b^2)^{1/2}$	Ramallo ve Mascheroni (2012)	(Eş. 6)
Hue	$h^\circ = \tan^{-1}\left(\frac{b}{a}\right)$	Alemrajabi ve ark. (2012)	(Eş. 7)
Toplam renk değişimi	$\Delta E = \sqrt{(L - L^*)^2 + (a - a^*)^2 + (b - b^*)^2}$	Tan ve ark. (2001)	(Eş. 8)

$L$ ,  $a$  ve  $b$  değerleri taze ürünlere ait parlaklık, kırmızılık ve sarılık renk değerlerini göstermektedir  $L^*$ ,  $a^*$  ve  $b^*$  değerleri kurutulan örneklere ait parlaklık, kırmızılık ve sarılık renk değerlerini göstermektedir.

## 2.10. İstatistiksel analiz

Üretilen karpuz cipslerinin renk, ve fiziko-kimyasal özelliklerini istatistiksel açıdan değerlendirmek için SPSS 22. programında Duncan çoklu karşılaştırma testi ( $P < 0.05$ ) yapılmıştır.

## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

### 3.1. Kuruma verileri

Karpuz örnekleri mikrodalga kurutucuda belirtilen nem seviyesine kadar (%7) kurutulmuştur. Kuruma süreleri 180, 360 ve 540 W güçte sırasıyla 48.5, 19.5 ve 11 dakika olarak belirlenmiştir. Mikrodalga kurutucuda kurutulan karpuz cipslerine ait kuruma eğrileri Şekil 1' de verilmiştir.

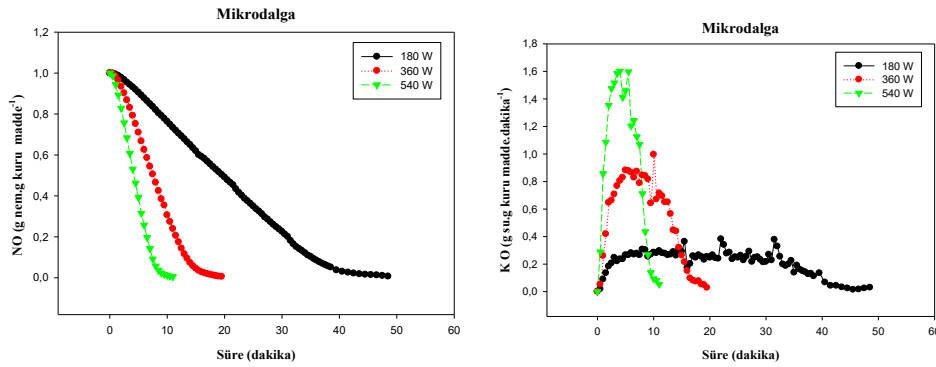


Figure 1. Drying kinetics curves

Şekil 1. Kuruma kinetiği eğrileri

Şekil 1' e göre karpuz dilimlerine uygulanan farklı mikrodalga güç değerleri ürünlerin kuruma ve nem oranlarını etkilemiştir. Güç değerlerindeki artış istenilen nem seviyesine daha kısa sürede ulaşmasını sağlamıştır. Mikrodalga güç değerlerindeki artışın karpuz dilimlerinin doku yapısındaki direnci daha iyi kırdığı ve üründen nem difüzyonunun daha yüksek olmasına sebep olduğu düşünülmektedir. Taşova ve ark. (2023a), çalışmalarında balkabağı cipslerinde benzer sonuçlar bulduklarını ifade etmişlerdir. Kurutma işlemlerinin 180, 360 ve 540 W mikrodalga güç değerlerine göre kuruma oranları sırayla 0.200, 0.530 ve 0.939 g nem g kuru madde.dakika<sup>-1</sup> olarak hesaplanmıştır. Bu durumda, mikrodalga güç artışının karpuz örneklerinin hücre yapısındaki basınç değerlerini yükselterek nemin daha hızlı uzaklaşmasına neden olduğu düşünülmektedir. Yıldız ve Reyhan (2023) çalışmasında mikrodalga güç değerinin limondan uzaklaşan nem miktarı arasında olumlu bir korelasyon olduğunu bildirmişlerdir. Arslan ve ark. (2021) infrared kurutma sistemiyle kurutulmuş geleneksel ve organik biber üretmişlerdir. Çalışmalarında infrared sıcaklık değerinin artmasıyla kurutma işlemlerin nem oranı ve kuruma oranı değerleri artmıştır. Literatürde Doymaz (2014) ve Dhurve ve ark. (2022), karpuz çekirdekleri için benzer sonuçlar elde ettiklerini ifade etmişlerdir.

### 3.2. Efektif nem difüzyon değerleri

Karpuz cipslerinin efektif nem difüzyon değerine mikrodalga güçlerinin etkisi Tablo 1' de verilmiştir.

**Tablo 1. Karpuz cipslerine ait efektif nem difüzyon değerleri**

Table 1. Effective moisture diffusion values of watermelon chips

Mikrodalga güç değerleri	Efektif nem difüzyon (m <sup>2</sup> s <sup>-1</sup> )	R <sup>2</sup>
180 W	3.74x10 <sup>-11</sup>	0.838
360 W	1.22x10 <sup>-10</sup>	0.910
540 W	2.27x10 <sup>-10</sup>	0.925

Tablo 1' e göre karpuz örneklerinin kütle difüzyon değerlerine mikrodalga güç değerlerinin etkili olduğu tespit edilmiştir. Mikrodalga güç değerlerinin artmasının karpuz dilimlerinin kütle difüzyon değerlerine artırıcı bir etki yaptığı tespit edilmiştir. Taşova ve ark. (2023b), mikrodalga (360 ve 720 W), sıcaklık kontrollü mikrodalga (50 ve 70 °C) ve hibrit (mikrodalga+sıcak hava (350 W+50 °C ve 350 W+70 °C)) kurutucular ile kuruttukları balıkların kurutma işlemlerinde sıcaklık ve mikrodalga güç değerlerinin artmasıyla efektif difüzyon değerlerinin de arttığını saptamışlardır. Literatürdeki ve bu çalışmadaki bulguların uyumlu olduğu görülmüştür. Oberoi ve Sogi (2015b), karpuz posasını akışkan yataklı kurutucuda ve konvektif kurutucuda farklı sıcaklıklarda (50, 60 ve 70 °C) ve farklı besleme hızlarında (2, 4 ve 6 kg/m<sup>2</sup>) kurutmuşlardır. Kurutma işlemlerinin kütle difüzyon değerlerinin 0.35-3.54x10<sup>-8</sup> m<sup>2</sup> s<sup>-1</sup> arasında değiştiğini bildirmişlerdir. Nguyen ve ark. (2022), çalışmalarında düşük sıcaklık (20, 25 ve 30 °C) ve düşük mikrodalga güçlerinde (1.5, 3.0 ve 4.5 W/g) çalışan hibrit bir kurutucu ile acı kavun kurutma çalışması yapmışlardır. Çalışma sonucunda ise kütle difüzyon değerlerini 1.14-2.59x10<sup>-8</sup> m<sup>2</sup> s<sup>-1</sup> aralığında değiştiğini tespit etmişlerdir. Literatürdeki çalışma kapsamında tespit edilen bulguların bu çalışmada elde edilen verilerden kısmen daha büyük olduğu görülmektedir. Bu noktada, kullanılan karpuz örneklerinin ilk nem içeriği, doku yapısı, ürünün yapısındaki besin maddelerinin (şeker, lif vb.) oranının, kütle difüzyonunun daha büyük olmasına neden olduğu düşünülmektedir.

### 3.3. Enerji tüketim parametreleri

Karpuz örneklerine ait kurutma işlemlerinin SMER, SEC ve toplam enerji tüketim değerleri Tablo 2' de verilmiştir.

**Tablo 2. Karpuz örneklerine ait enerji parametreleri**

Table 2. Energy parameters of watermelon samples

Yöntem	Mikrodalga güç değerleri	SMER (kg kWh <sup>-1</sup> )	SEC (kWh kg <sup>-1</sup> )	Toplam enerji tüketimi (kWh)
Mikrodalga	180 W	0.0429	23.30	0.226
	360 W	0.0587	17.04	0.176
	540 W	0.0662	14.52	0.156

Kurutma işlemleri esnasında zamana bağlı (anlık) tüketilen enerji değerleri Şekil 2' de verilmiştir.



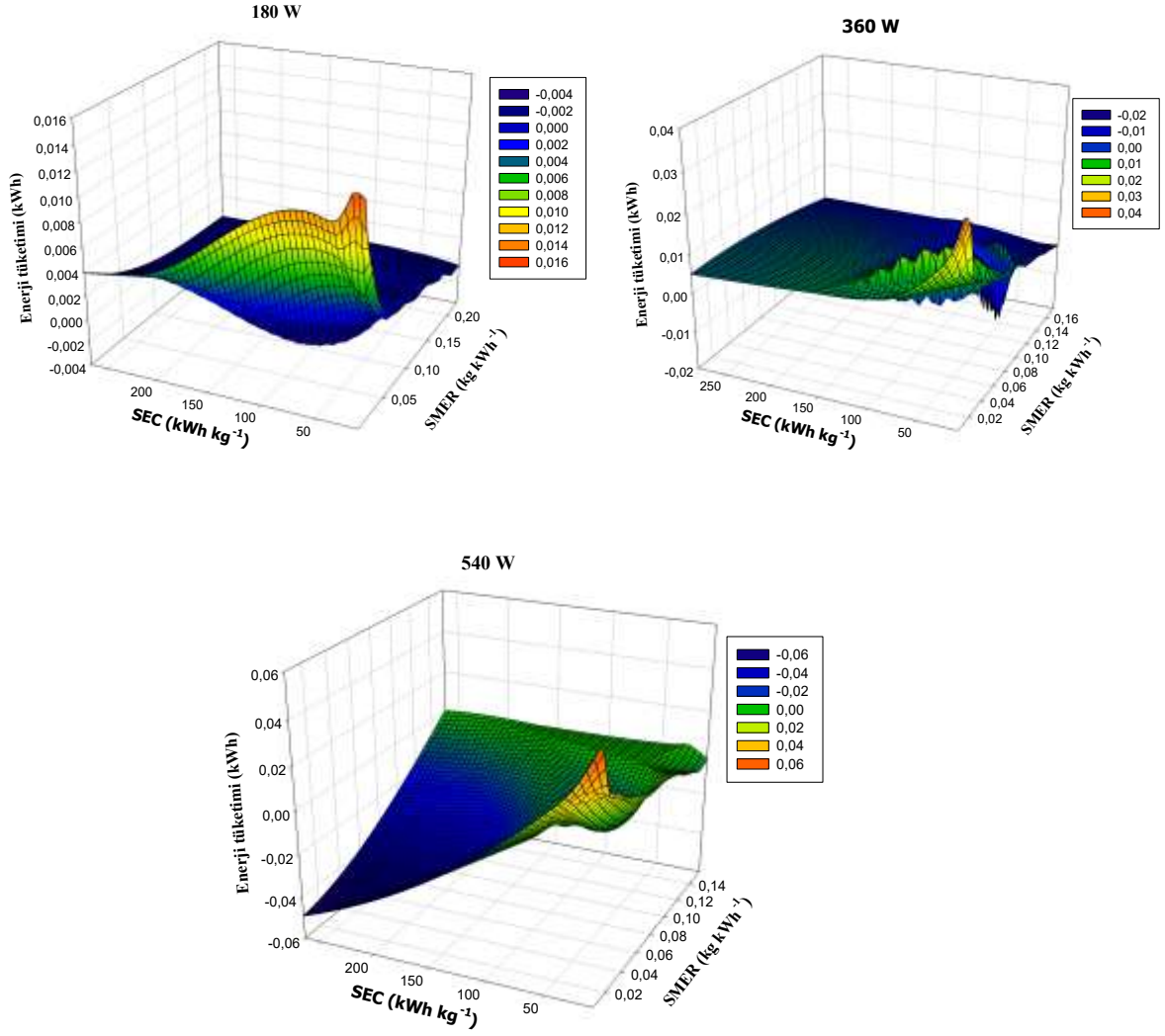


Figure 2. SMER, SEC and total energy consumption values

### Şekil 2. SMER, SEC ve toplam enerji tüketim değerleri

Tablo 2' ye göre mikrodalga güç değerleri kurutma işlemlerinin enerji parametrelerini etkilemiştir. Taşova ve Dursun (2024), çalışmalarında mikrodalga güç değerlerinin özgül nem çekme oranı ve özgül enerji tüketim değerlerini etkilediğini ifade etmişlerdir. Çalışmada mikrodalga güç değerlerinin artmasıyla işlemin kuruma süresi azalmıştır ve bu sebeple özgül nem çekme oranı (SMER) değerlerinin arttığı gözlemlenmiştir. Bu durum, yüksek mikrodalga güç değerlerinde yapılan kurutma işlemlerinde üründen daha fazla nem uzaklaştırdığı için kWh enerji tüketim değerine düşen nem miktarının da artmasından kaynaklanmaktadır. Tunçalp ve ark. (2022), ısı pompalı kurutucu ile kavun dilimlerini kurutma çalışması gerçekleştirmişlerdir. Çalışma sonucunda özgül nem çekme oranının (SMER) 0,125 ile 0,215 kg kWh<sup>-1</sup> arasında değiştiğini bildirmişlerdir. Bu çalışmada literatürdeki çalışmadan daha düşük değerler elde edilmesinin nedeni, çalışmalardaki kurutucuların farklılığından kaynaklandığı düşünülmektedir. Literatürdeki çalışmada kullanılan kurutucu ile bu çalışmadaki kurutucu karşılaştırıldığında literatürdeki çalışmada kullanılan ısı pompalı kurutucunun kuruma süresi ve enerji tüketiminin daha yüksek olması etkili olduğu düşünülmektedir. Taşova ve Dursun (2024), köpük kurutma yöntemiyle kavun tozu ürettikleri çalışmada hazırladıkları kavun pürelerini mikrodalga kurutucuda (360, 540, 720 ve 900 W) kurutmuşlardır. Çalışma sonucunda kurutma işlemlerinin SMER değerlerini 0.024-0.047 kg kWh<sup>-1</sup> arasında değiştiğini tespit etmişlerdir. Literatürdeki ve bu çalışmadaki farklılıkların kurutulacak olan ürünün fiziki (nem, doku yapısı ve hücre yapısı vb.) yapısından püre içerisine ekledikleri köpürtücü ve köpüğü stabilize etmek için kullandıkları maddelerden kaynaklı olduğu tahmin edilmektedir. Bu çalışmada, mikrodalga güç değerlerinin artmasıyla özgül enerji tüketim (SEC) değerleri azalmıştır. Bunun nedeni mikrodalga güç değerlerinin artmasıyla ürünün kuruma süresi azaldığı için tüketilen toplam enerji miktarları da azalmıştır. Bu

durum *SEC* değerlerinin azalmasına neden olmuştur. Zadhosein ve ark. (2021), çalışmalarında mikrodalga gücündeki bir artışın *SEC* değerlerini önemli ölçüde azaltabileceğini bildirmişlerdir. Çalışma kapsamında elde edilen bulguların literatürdeki bulgular ile uyumlu olduğu görülmektedir. Bu çalışmada elde edilen veriler doğrultusunda *SMER*, *SEC* ve toplam enerji tüketim değerlerinin birlikte olduğu 3D gösterimi Şekil 2' de verilmiştir.

### 3.4. Renk parametreleri

Taze ve kurutulmuş karpuz örneklerine ait ölçülen ve hesaplanan renk değerleri Tablo 3' te verilmiştir.

**Tablo 3. Renk değerleri**

Table 3. Color values

Yöntem	Mikrodalga güç değerleri	<i>L</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>C</i>	<i>h</i> <sup>o</sup>	$\Delta E$
Taze	-	43.17 <sup>a</sup>	31.32 <sup>a</sup>	20.59 <sup>a</sup>	37.72 <sup>a</sup>	33.71 <sup>a</sup>	-
	180 W	40.95 <sup>a</sup>	12.25 <sup>c</sup>	9.02 <sup>c</sup>	15.23 <sup>c</sup>	35.94 <sup>a</sup>	30.04 <sup>a</sup>
Mikrodalga	360 W	41.35 <sup>a</sup>	16.56 <sup>b</sup>	12.07 <sup>b</sup>	20.50 <sup>b</sup>	35.06 <sup>a</sup>	28.71 <sup>b</sup>
	540 W	36.09 <sup>b</sup>	10.90 <sup>c</sup>	8.20 <sup>c</sup>	13.64 <sup>c</sup>	36.61 <sup>a</sup>	25.95 <sup>b</sup>

Tablo 3' e göre kurutulmuş elde edilen karpuz cipsi ile taze karpuz örneği arasında kırmızı (*a*), sarı (*b*) ve kroma (*C*) değerleri açısından istatistiksel olarak ( $p < 0.05$ ) fark bulunmuştur. Üretilen karpuz cipslerinin tazeye göre *L* (540 W hariç) ve hue (*h*<sup>o</sup>) değerini koruduğu tespit edilmiştir. Üretilen karpuz cipslerinin *a* ve *b* değerlerini tazeye göre koruyamadığı belirlenmiştir. Bunun nedeninin güç değerleri ve ısı işleme maruz kalma süresi ile ilgili olduğu düşünülmektedir. Song ve ark. (2017), hibrit kurutucuda (mikrodalga+vakum) kabak kurutma çalışması gerçekleştirmişlerdir. Çalışma sonucunda *a* ve *b* değerlerindeki değişikliklerin karoten bozulmasına bağlı olabileceğini bildirmişlerdir. Mikrodalga kurutucuda kurutulan karpuz örneklerinin kroma değerlerinin tazeye göre azaldığı belirlenmiştir. Zia ve ark. (2023), yaptıkları karpuz kabuğu kurutma çalışmasında mikrodalga güç değerlerinin kroma değerlerini azalttığını tespit etmişlerdir. Bunun sebebinin ürünlerdeki proteinlerin, karbonhidratların ve karotenoidlerin termal bozulmaya karşı hassas olmasından kaynaklandığını ve bununla birlikte Maillard reaksiyonu gibi belirli reaksiyonların başladığını ifade etmişlerdir. Toplam renk değişimi ( $\Delta E$ ) en yüksek 180 W gücünde kurutulan örneklerde tespit edilmiştir. Bu durum kuruma süresinin uzaması sonucunda örneklerin daha fazla ısı işleme maruz kalmasından dolayı renk pigmentlerinin daha fazla kaybolmasından ileri gelmektedir. Bustos ve ark. (2018), yaptıkları çalışma sonucunda toplam renk değişimlerinin enzimatik ve enzimatik olmayan esmerleşme reaksiyonları ve uzun süreli kurutma işlemi sırasında renk pigmentlerinin bozulmasına neden olduğunu ifade etmişlerdir. Akyıldız ve ark. (2017), karpuz dilimlerini konveksiyonel (70 °C) ve dondurarak (-66 °C, +5 mtorr) kurutmuş ve bazı kalite özelliklerini incelemişlerdir. Çalışma sonucunda konveksiyonel yöntemle kuruttukları karpuz örneklerinin *L*, *a*, *b*, *C*, *h*<sup>o</sup> ve  $\Delta E$  değerleri sırasıyla 50.47, 26.27, 28.26, 38.62, 47.15 ve 12.03 olarak belirlemişlerdir. Dondurarak kuruttukları karpuz örneklerinin *L*, *a*, *b*, *C*, *h*<sup>o</sup> ve  $\Delta E$  değerlerini sırasıyla 72.50, 11.62, 20.10, 23.22, 59.99 ve 21.80 olarak tespit etmişler. Bu çalışma ve literatürdeki çalışmanın farklılığını nedeni farklı kurutucuların kullanılmasından dolayı olduğu düşünülmektedir. Çalışma sonucunda elde edilen bulgular doğrultusunda karpuz cipsi üretiminde mikrodalga kurutma yöntemi ile 360 W gücün uygulanması en uygun renk değerlerinin elde edilmesi açısından önerilmektedir.

### 4. Sonuç

Üretilen karpuz cipslerinin kuruma kinetiği, enerji parametreleri ve kalite özelliklerine mikrodalga güç değerlerinin etki ettiği gözlemlenmiştir. Mikrodalga güç değerlerinin artmasının karpuz dilimlerinin kuruma ve nem oranları, efektif nem difüzyonu ve *SMER* değerlerinde artırıcı bir etki yaptığı gözlemlenirken, *SEC* değerlerinde azaltıcı bir etki yaptığı saptanmıştır. Kuruma süresi, efektif nem difüzyonu ve enerji parametreleri açısından karpuz cipsi üretiminde 540 W güç değerinin seçilmesi önerilirken, renk değerleri açısından 360 W güç değerinde kurutulması önerilmektedir. Bundan sonraki çalışmalarda karpuz cipsi üretiminde enerji ve kalite parametrelerini iyileştirmek için ön işlem ve farklı kurutucular kullanılarak araştırma yapılmasının mevcut sayısal verilere daha olumlu etkiler yapacağı düşünülmektedir.



**Etik Kurul Onayı**

Bu çalışma için etik kuruldan izin alınmasına gerek yoktur.

**Çıkar Çatışması Beyanı**

Makale yazarları olarak aramızda herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederiz.

**Yazarlık Katkı Beyanı**

Planlama: Taşova, M., Dursun, S. K.; Materyal ve Metot: Dursun, S. K.; Veri Toplama ve İşleme: Dursun, S. K.; İstatistik Analiz: Dursun, S. K.; Literatür Tarama: Taşova, M., Dursun, S. K.; Makale Yazımı, İnceleme ve Düzenleme: Taşova, M., Dursun, S. K.

## Kaynakça

- Aksüt, B., Dursun, S. K., Polatçı, H. and 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>
- Akyıldız, A., Polat, S. ve Ağçam, E. (2017). Konveksiyonel ve dondurarak kurutma yöntemlerinin karpuzun bazı kalite özelliklerine etkisi. *Gıda*, 42(2): 169-176. <https://doi.org/10.15237/gida.GD16070>
- Alemrajabi, A. A., Rezaee, F., Mirhosseini, M. and Esehaghbeygi, A. (2012). Comparative evaluation of the effects of electrohydrodynamic, oven, and ambient air on carrot cylindrical slices during drying process. *Drying Technology*, 30: 88-96. <https://doi.org/10.1080/07373937.2011.608913>
- Arslan, A., Soysal, Y. and Keskin, M. (2021). Infrared drying kinetics and color qualities of organic and conventional sweet red peppers. *Journal of Tekirdag Agricultural Faculty*, 18(2): 260-272. <https://doi.org/10.33462/jotaf.750623>
- Bonazzi, C. and Dumoulin, E. (2011). Quality changes in food materials as influenced by drying processes. *Modern Drying Technology*, 3: 1-20. <https://doi.org/10.1002/9783527631667.ch1>
- Bustos, M. C., Rocha-Parra, D., Sampedro, I., Pascual-Teresa, S. and Leon, A. E. (2018). The Influence of different air-drying conditions on bioactive compounds and antioxidant activity of berries. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 66(11): 2714-2723. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.7b05395>
- Chakraborty, R. and Mondal, P. (2017). Effects of intermittent CO<sub>2</sub> convection under far-infrared radiation on vacuum drying of pre-osmodehydrated watermelon. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(11): 3822-3830. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8246>
- Corzo, O., Bracho, N., Pereira, A. and Vasquez, A. (2008). Weibull distribution for modeling air drying of coroba slices. *LWT - Food Science and Technology*, 41(10): 2023-2028.
- Dhurve, P., Arora, V. K., Yadav, D. K. and Malakar, S. (2022). Drying kinetics, mass transfer parameters, and specific energy consumption analysis of watermelon seeds dried using the convective dryer. *Materials Today: Proceedings*, 59(1): 926-932. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.02.008>
- Doymaz, İ. (2014). Experimental study and mathematical modeling of thin-layer infrared drying of watermelon seeds. *Journal of Food Processing and Preservation*, 38(3): 1377-1384. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12217>
- Doymaz, İ., Tugrul, N. and Pala, M. (2006). Drying characteristics of dill and parsley leaves. *Journal of Food Engineering*, 77: 559-565.
- Du, L. J., Gao, Q. H., Ji, X. L., Ma, Y. J., Xu, F. Y. and Wang, M. (2013). Comparison of flavonoids, phenolic acids, and antioxidant activity of explosion-puffed and sun-dried jujubes (*Ziziphus jujuba* mill.). *Journal of Agriculture Food Chemical*, 61: 11840-11847.
- Maskan, M. (2000). Microwave/air and microwave finish drying of banana. *Journal of Food Engineering*, 44: 71-78.
- Mujumdar, A. S. and Law, C. L. (2010). Drying technology: trends and applications in postharvest processing. *Food Bioprocess Technology*, 3: 843-852.
- Nakilcioğlu-Taş, E., Coşan, G. and Ötleş, S. (2021). Optimization of process conditions to improve the quality properties of healthy watermelon snacks developed by hot-air drying. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 15: 2146-2160. <https://doi.org/10.1007/s11694-020-00808-3>
- Nguyen, T. V. L., Nguyen, P. B. D., Tran, T. T. V., Tran, B. L. and Huynh, T. P. (2022). Low-temperature microwave-assisted drying of sliced bitter melon: Drying kinetics and rehydration characteristics. *Journal of Food Process Engineering*, 45(12): e14177. <https://doi.org/10.1111/jfpe.14177>
- Oberoi, D. P. S. and Sogi, D. S. (2015a). Effect of drying methods and maltodextrin concentration on pigment content of watermelon juice powder. *Journal of Food Engineering*, 165: 172-178. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.06.024>
- Oberoi, D. P. S. and Sogi, D. S. (2015b). Drying kinetics, moisture diffusivity and lycopene retention of watermelon pomace in different dryers. *Journal of Food Science and Technology*, 52: 7377-7384. <https://doi.org/10.1007/s13197-015-1863-7>
- Purohit, P., Kumar, A. and Kandpal, T. C. (2006). Solar drying vs. open sun drying: A framework for financial evaluation. *Solar Energy*, 80(12): 1568-1579.
- Ramallo, L. A. and Mascheroni, R. H. (2012). Quality evolution of pineapple fruit during drying process. *Food and Bioprocess Technology*, 99: 275-283.
- Saxena, A., Bawa, A. S. and Raju, P. S. (2012). Effect of minimal processing on quality of jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* L.) bulbs using response surface methodology. *Food and Bioprocess Technology*, 5(1): 348-358.
- Sharma, A., Chen, C. R. and Lan, N. V. (2009). Solar-energy drying systems: A review. *Renewable Sustainable Energy Review*, 13(6-7): 1185-1210.
- Song, J., Wang, X., Li, D. and Liu, C. (2017). Degradation kinetics of carotenoids and visual colour in pumpkin (*Cucurbita maxima* L.) slices during microwave-vacuum drying. *International Journal of Food Properties*, 20(sup1): 632-643. <https://doi.org/10.1080/10942912.2017.1306553>

- Surendhar, A., Sivasubramanian, V., Vidhyeswari, D. and 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.
- Taib, M. R., Muhamad, I. I., Ngo, C. L. and Ng, P. S. (2013). Drying kinetics, rehydration characteristics and sensory evaluation of microwave vacuum and convective hot air dehydrated jackfruit bulbs. *Jurnal Teknologi*, 65(1): 51-57.
- Tan, M., Chua, K. J., Mujumdar, A. S. and 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.
- Taşkın, O., İzli, G. and İzli, N. (2021). Physicochemical and morphological properties of European cranberry bush powder manufactured by freeze-drying. *International Journal of Fruit Science*, 21(1): 1008-1017.
- Taşova, M. and 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 Biorefinery*, 1-8. <https://doi.org/10.1007/s13399-024-05680-5>
- Taşova, M., Dursun, S. K., Özalan, O. N. and Çezik, F. (2023a). Effects of osmotic processes on the bio-active properties and physico-chemical of pumpkin chips produced by convective drying. *Iranian Journal of Chemistry and Chemical Engineering*, 43(4). <https://doi.org/10.30492/IJCCCE.2023.2001502.6008>
- Taşova, M., Polatçı, H. and Dursun, S. K. (2023b). Comparison of the performance of a modified temperature-controlled microwave dryer to improve heat-mass transfer, increase energy efficiency and preserve quality characteristics of shad (*Alosa fallax nilotica*). *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 144: 106772. <https://doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2023.106772>
- Tepe, T. K. (2023). *Kavun ve karpuz cipsi üretiminde farklı kurutma yöntemleri ve ön işlemlerin bazı kuruma ve kalite parametreleri üzerine etkisi*. (Doktora Tezi) Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli, Türkiye.
- Tunckal, C., Ozkan-Karabacak, A., Tamer, C.E., Yolcu-Omeroglu, P. and Goksel, Z. (2022). Mathematical modelling and optimization of melon slice drying with response surface methodology in a heat pump drying system. *Latin American Applied Research*, 52: 101–110. <https://doi.org/10.52292/j.laar.2022.851>
- Yıldız, Z. ve Reyhan, S. (2023). Osmotik dehidrasyon ve mikrodalga kurutma ile birlikte limon halkalarının kurutma koşullarının optimizasyonu. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 20(4): 845-856. <https://doi.org/10.33462/jotaf.1222365>
- Yılmaz, A. and Alibaş, İ. (2021). The impact of drying methods on quality parameters of purple basil leaves. *Journal of Food Process Preservation*, 45: e15638.
- Zadhossein, S., Abbaspour-Gilandeh, Y., Kaveh, M., Szymanek, M., Khalife, E. D. Samuel, O., Amiri, M. and Dziwulski, J. (2021). Exergy and energy analyses of microwave dryer for cantaloupe slice and prediction of thermodynamic parameters using ANN and ANFIS algorithms. *Energies*, 14(16): 4838. <https://doi.org/10.3390/en14164838>
- Zia, S., Khan, M. R. and Aadil, R. M. (2023). Kinetic modeling of different drying techniques and their influence on color, bioactive compounds, antioxidant indices and phenolic profile of watermelon rind. *Food Measure*, 17: 1068–1081. <https://doi.org/10.1007/s11694-022-01674-x>
- Zou, K., Teng, J., Huang, L., Dai, X. and Wei, B. (2013). Effect of osmotic pretreatment on quality of mango chips by explosion puffing drying. *LWT Food Science Technology*, 51: 253–259.