

Sıcak Suya Daldırma İşleminin Kalite Özellikleri ve Kuruma Kinetiği Parametrelerine Etkisi: Mor Havuç Örneği

Burcu AKSÜT^{1,a}, Samet Kaya DURSUN^{2,b}, Muhammed TAŞOVA^{2,*,c}

¹Gaziosman Paşa Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Tokat, Türkiye

²Gaziosman Paşa Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği, Tokat, Türkiye

*Sorumlu Yazar e-mail: muhammed.tasova@gop.edu.tr

^aORCID: (<https://orcid.org/0000-0002-2732-5388>), ^bORCID: (<https://orcid.org/0000-0002-8230-3560>), ^cORCID: (<https://orcid.org/0000-0001-5025-0807>)

Makale Bilgileri	ÖZ
<p>Makale Geçmişi Geliş: 21.02.2022 Kabul: 24.06.2022 Yayın: 30.06.2022</p> <p>Anahtar Kelimeler: Kurutma İşlemi, Etkatif Difüzyon, Mor Havuç, Matematiksel Modelleme.</p>	<p>Bu çalışmada, mor havuç Nüve ID 300 iklimlendirme test kabiniinde sabit 65 °C sıcaklıkta kurutulmuş kaynar suya daldırma ön işleminin etkisi araştırılmıştır. Kuruma süresi, kuruma oranı, rehidrasyon, renk, sertlik ve efektif difüzyon parametreleri açısından en uygun kurutma yöntemi araştırılmıştır. Uygulanan ön işlemin mor havucun kuruma süresini önemli düzeyde azalttığı tespit edilmiştir. Kaynar suya daldırma ön işleminin uygulanan örnekler 5.5 saatte, ön işlemsizler (kontrol) ise 6.5 saatte kurumuştur. Tazeye en yakın ($p<0.05$) renk değerleri kaynar suya daldırıldıktan sonra kurutulan örneklerde tespit edilmiştir. En yüksek su alma kapasitesi kaynar suya daldırılan ön işlemin uygulanan örneklerde belirlenmiştir. Kontrol örneklerinin efektif difüzyon değeri 4.10×10^{-10} m²/s ve kaynar suya daldırılan örneklerde ise 4.31×10^{-10} m²/s olarak hesaplanmıştır. Kurutma modelleri arasında kuruma verilerini en iyi Polinomial Cubic modeli ($R^2: 0.9999$) tahmin etmiştir. Uygulanan kaynar suya daldırma ön işleminin havuç örneklerinin kuruma süresini azalttığı, renk değerlerini kontrole göre daha iyi koruduğu ve efektif difüzyon değerlerini hızlandırdığı tespit edilmiştir. Elde edilen bulgulara göre mor havuç örneklerinin kurutulması işlemlerinde kaynar suya daldırma ön işleminin uygulanması hem kuruma kinetiği hem de kalite özellikleri açısından önerilmektedir.</p>

The Effect of Hot Water Soaking Process on Quality Characteristics and Drying Kinetics Parameters: The Example of Purple Carrot

Article Info	ABSTRACT
<p>Article History Received: 21.02.2022 Accepted: 24.06.2022 Published: 30.06.2022</p> <p>Keywords: Drying process, Effective diffusion, Purple carrot, Mathematical modelling.</p>	<p>In this study, the effect of pretreatment was investigated by drying purple carrots at a constant 65 °C temperature in a Nuve ID 300 air-conditioning test cabinet. The most suitable drying method was investigated in terms of drying time, drying rate, rehydration, color, hardness and effective diffusion parameters of the samples. It was determined that the pre-treatment application significantly reduced the drying time of the purple carrot. Carrot samples, which were pre-treated by dipping into boiled water before drying, dried in 5.5 hours, while control samples (without pre-treatment) dried in 6.5 hours. The color values closest to fresh ($p<0.05$) were determined in the dried samples after immersion in boiling water. The highest water absorption capacity was determined in the samples with pre-boiled water treatment. The effective diffusion value of the control samples was calculated as 4.10×10^{-10} m²/s and the samples dipped in boiling water as 4.31×10^{-10} m²/s. Among the drying models, the Polynomial Cubic model ($R^2: 0.9999$) estimated the drying data best. It has been determined that the pre-treatment of dipped in boiled water reduces the drying time of the carrot samples, protects the color values better and accelerates the effective diffusion values. According to the findings, it is recommended to apply dipping pre-treatment in boiled water in terms of both drying kinetics and quality properties in the drying processes of purple carrot samples.</p>



Atıf/Citation: Aksut, B., Dursun, S. K. & Tasova, M. (2022). The Effect of Hot Water Soaking Process on Quality Characteristics and Drying Kinetics Parameters: The Example of Purple Carrot, *Ereğli Tarım Bilimleri Dergisi*, 2(1), 32-40.

1. Giriş

Umbelliferae familyasına ait iki yıllık bir bitki türü olan havucun bilimsel adı *Daucus carota* olarak adlandırılmaktadır (Bülbül ve Haciseferoğulları, 2016). FAO'ya göre Dünya'da mor havucunda dahil olduğu Dünya'da toplam havuç üretimi miktarı 44.80 milyon tona ulaştığı bildirilmiştir (FAOSTAT, 2021; Polat ve ark., 2022). Mor havuç Türkiye'de özellikle İç Anadolu bölgesinde Konya ili Ereğli ve Karapınar ilçelerinde yetiştirilmektedir. Yüksek miktarlarda, fermente edilmiş içecek olarak tüketilmektedir. Üretimin yaklaşık %20'si şalgam ve %80'i ise konsantre sanayisinde kullanılmaktadır. Taze olarak tüketimi ise oldukça düşüktür. Mor havuç kumlu topraklarda iyi yetişmekte ve içerdiği antosiyanin içeriğinden dolayı koyu kırmızı-mor rengini almaktadır (Yılmaz, 2019).

Mor havuçta, kuru madde (142.3-159.6 g/kg), protein (7.0-13.8 g/kg), mineral olarak ise demir (4-5 mg/kg), kalsiyum (478-650 mg/kg), potasyum (1790-2220 mg/kg), fosfor (252-310 mg/kg) ve sodyum (298-447 mg/kg) gibi besin ve mineral maddeleri bulunmaktadır (Tatoğlu 2014; Yeşilören-Akal, 2019). Mor havuç ortalama %86-89 civarlarında nem içeriğine sahiptir.

Nem içeriği yüksek olan havuç hasattan sonra kısa bir sürede bozulmaya başlar. Bu nedenle hasattan sonra tüketilmeli ya da muhafaza edilerek raf ömrü uzatılmalıdır. Kurutma iyi bir muhafaza yöntemidir ve ürün içerisindeki yüksek nem miktarının bozulmadan korunabileceği kritik nem seviyesine düşürerek bu esnada ürünün kimyasal, fiziksel ve biyolojik özelliklerinde değişmelerin oluştuğu, kontrollü şartlarla gerçekleşen bir kütle ve ısı difüzyon olayıdır (Polatçı ve Taşova, 2020). Mor havucun kurutulması cips üretiminde, çorba, püre gibi gıdaların hazırlanmasında kullanılmaktadır (Santos ve ark., 2021). Kurutma işlemlerinde birçok farklı yöntem uygulanmaktadır. En eski yöntemler arasında açıkta (güneşte-gölgede) kurutma yöntemidir. Bu yöntemde sıcaklık kontrolü edilememekte ve çevre koşullarının dezavantajlarından dolayı kalite düşmekte ve hijyenik olmayan ürünler elde edilebilmektedir. Bu sebeple açıkta kurutma yöntemlerine alternatif olarak konvansiyonel sıcak havalı kurutma yöntemleri kullanılmaktadır. Kurutma işlemlerinde hemde ürünlerin fiziksel özelliklerini korumak hemde kuruma süresini azaltmak için tarımsal ürünlere bazı ön işlemler uygulanmaktadır. Bu ön işlemler kuruma esnasında meydana gelen olumsuz etkileri minimize etmeye veya durdurmaya yardımcı olmaktadır (Lewicki ve Gupta, 1995; Soomro ve ark., 2020). Ricce ve ark. (2016), çalışmalarında 4 mm kalınlığında dilimledikleri havuç örneklerine 25 kHz değerinde ultrason ön işlemi uygulanmıştır. Ultrason ön işlemi havuç örneklerinin kuruma ve rehidrasyon kinetiğini hızlandırdığını tespit etmişlerdir. Mierzwa ve ark. (2017), çalışmalarında ultrason destekli ve destekli olmak üzere fruktoz çözeltisine daldırma ön işleminin havuç kurutma işlemine olan etkisini araştırmışlardır. Yapılan ön işlemlerin kuruma kinetiğine istatistiksel açıdan önemli bir etki etmediği fakat kurutulan örneklerin kalite değerlerini koruması açısından önemli bir etkisinin olduğunu tespit etmişlerdir. Al-Amin ve ark. (2015), çalışmalarında havuç örneklerini %0.1, 0.2 ve 0.3'lük sodyum meta bi-sülfüt çözeltileri ve kaynar suya daldırma ön işlemlerinin etkisini araştırmışlardır. Ön işlemlerin kurutulan havuç dilimlerinin rehidrasyon, kuruma süresi ve efektif difüzyon değerlerini önemli düzeyde etkilediğini bildirmişlerdir.

Bu çalışmada; daire şeklinde 45±2 mm kalınlığında dilimlenen havuç örnekleri, Nüve ID 300 iklimlendirme test kabiniinde kaynar suya daldırma ön işlemi uygulanarak ve uygulanmayarak (kontrol) 65 °C sıcaklıkta kurutulmuştur. Kurutulan mor havuç örnekleri için en uygun ince tabakalı kuruma modeli, kuruma performansı, rehidrasyon özellikleri ve sertlik ve renk değerleri araştırılmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

Deneme Materyali

Çalışma materyali olarak mor havuç kullanılmıştır. Ürün Konya ilindeki bir semt pazarından satın alınmıştır. Nem tayini ve kurutma işlemleri için iyi muhafaza edilmiş paket içerisinde Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Biyosistem Mühendisliği kurutma laboratuvarına getirilmiştir. Ürünler +4±0.5 °C sıcaklıkta işlemler sonlanana kadar saklanmıştır.

Nem Tayini İşlemi

Kurutma işlemi öncesinde taze mor havucun yaş baza göre ilk nem içeriğinin belirlenmesi için ortalama 40±0.15 g örnek kullanılmıştır. Örnekler yıkanmış ve sağlam olanlar 45±2 mm kalınlığında daire şeklinde dilimlendikten sonra nem tayini için sabit 70 °C sıcaklıkta ağırlık değişimi sabitlenene kadar kurutulmuştur (Yağcıoğlu, 1999). Yaş ve kuru baza göre nem içeriği değerleri 1 ve 2 numaralı eşitlikler kullanılarak hesaplanmıştır.

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

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

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

Kurutma Yöntemi

Kurutma işlemi başlamadan önce ± 4 °C saklanan mor havuç ortam sıcaklığıyla dengelenene kadar oda ortamında bekletilmiştir. Homojen renkte olanlar seçilerek kurutma işlemi için 45 ± 2 mm kalınlığında daire şeklinde dilimlenmiştir. Kaynar suya daldırma ön işlemi için önce elektrikli su ısıtıcı su kaynatılmıştır. Kaynatılan su daha geniş ve derin bir tabağa dökülerek dilimlenen havuçlar su içerisine konulmuştur. Kaynar su içerisinde 15 dakika bekletildikten sonra örneklerin kaba suları kağıt havlu ile kurulanmıştır. Kontrol ve ön işlem uygulanmış örnekler daha sonra Nüve marka ID300 model iklimlendirme cihazında 65 °C sıcaklıkta kurutulmuştur. Kurutma işlemleri üçer paralel halinde yapılmış ve her paralelde ortalama 21 ± 2 g mor havuç kullanılmıştır. Kurutucu içerisindeki ürünler belirlenen zaman aralıklarında çıkartılıp 0.01 g hassasiyete sahip AND marka GF-3000 model bir terazi ile tartım işlemleri gerçekleştirilerek ürün nemi yaş baza göre %10-14 seviyesine kadar kurutulmuştur (Polatçı ve ark., 2020).

Renk Ölçümü

Taze ve kurutulmuş mor havuç örneklerinin L, a ve b değerleri Minolta marka CR300 model renk ölçer cihazı ölçülmüştür. Bu değerler kullanılarak kroma, hue, kahverengileşme indeksi ve toplam renk değişim değerleri hesaplanmıştır.

Kroma değeri, rengin doygunluğunu göstermektedir. Canlı renklerde yüksek değerler hesaplanırken solgun renklerde düşük değerler hesaplanmaktadır. Kroma değeri 3 numaralı eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır.

Hue değeri, ölçülen kırmızılık ve sarılık değerleri kullanılarak hesaplanan bir renk radyantını ifade etmektedir. Hue değeri 4 numaralı eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır.

$$C = (a^2 + b^2)^{1/2} \quad (3)$$

$$h^\circ = \tan^{-1} \left(\frac{b^*}{a^*} \right) \quad (4)$$

Toplam renk değişim değeri (ΔE): Taze mor havucun renk değerlerini kurutma işlemleriyle ne kadar değiştiğini belirlemektir. Toplam renk değişim değerini 8 numaralı eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır (Çelen ve ark., 2015).

$$\Delta L = L_{\text{taze}} - L^2 \quad (5)$$

$$\Delta a = a_{\text{taze}} - a \quad (6)$$

$$\Delta b = b_{\text{taze}} - b \quad (7)$$

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2} \quad (8)$$

Kahverengileşme indeksi değeri (BI): Kurutulan tüm meyvelerin kahverengileşme indeksi değeri 9 ve 10 numaralı eşitlikler kullanılarak hesaplanmaktadır (Plou ve ark., 1999). Bu eşitlik tüm kurutma işlemlerinde biyolojik materyal yüzeyinde gerçekleşebilen kahverengileşme değerini belirtir. Bu değer mor havuca uygulanan kurutma işlemi sonunda gerçekleşen kahverengilik değerini belirtmektedir.

$$X = \frac{a + (1,75 \times L)}{[(5,645 \times L) + (a - (3,012 \times b))]} \quad (9)$$

$$BI = \frac{[100(x - 0,31)]}{0,17} \quad (10)$$

Rehidrasyon Değerleri

Çalışma kapsamında kurutma işlemi sonrası mor havuçlar 25 ml'lik beherlerde bekletilmiştir. Yapılan ön işlemin rehidrasyon oranı ve kapasite parametrelerine etkisi araştırılmıştır. Kurutulan mor havuç örneklerinin rehidrasyon oranı (RO) 11 numaralı eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır (Ertekin ve Yıldız, 2004). Kurutulan mor havuç örneklerinin rehidrasyon kapasiteleri (RK) ise 12 numaralı eşitlik kullanılarak belirlenmiştir (Chen ve ark., 2017).

$$RO = \frac{M_2}{M_1} \quad (11)$$

$$RK = \frac{(M_2 - M_1)}{M_1} \times 100 \quad (12)$$

Bu eşitliklerde; M_2 herhangi bir t süresi anındaki nemli ürünün ağırlığını, M_1 kuru ürünün ilk ağırlığını temsil etmektedir. M_2 nemlendirilmiş ürünün ağırlığını, M_1 ise kuru ürünün ilk ağırlığını belirtmektedir.

Efektif Difüzyon Değerlerinin Belirlenmesi

Kurutma işlemlerinde ürünlerden nemin uzaklaşması Fick yasasının ikinci kanunu ile açıklanmaktadır. Bu kanun süreye bağlı olarak uzaklaşan nemin birim zamanda yayılan alan miktarını belirtmektedir. Efektif difüzyon değeri hesaplanırken ürün doku yapısının korunduğu ve nemin sadece difüzyon yoluyla ortamdaki uzaklaştığı varsayımı kabul edilmektedir. Bu değer 14 numaralı eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır (Crank, 1979; Türker ve İşleroğlu, 2017).

$$MR = \frac{M - M_e}{M_0 - M_e} = \frac{8}{\pi} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp \left[(2n+1)^2 \frac{\pi^2 D_{eff} t}{4 L^2} \right] \quad (13)$$

$$\ln MR = \ln \frac{8}{\pi^2} - \frac{\pi^2 D_{eff} t}{4 L^2} \quad (14)$$

Burada; D_{eff} efektif difüzyonu (m^2/s), L ürün dilim kalınlığının (m) yarısını ifade etmektedir. t ise ürünün kuruma süresini göstermektedir.

Kuruma Modeli

Kurutulan mor havuç örneklerinin süreyle bağlantılı olarak uzaklaşan nem oranı değeri 15 numaralı eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır.

$$ANO = \frac{M - M_e}{M_0 - M_e} \quad (15)$$

ANO: Ayrılabilir nem oranı

M: Kurutulan materyalin anlık nem içeriği (g nem/g kurumadde)

Me: Kurutulan materyalin verilen durumdaki denge nemi (g nem/g kurumadde)

M₀: Kurutulan materyalin ilk nem içeriği (g nem/g kurumadde)

Kuruma eğrilerini oluşturmak için literatürde yaygın olarak kullanılan Lewis, Yağcıoğlu, Wang-Singh, Midilli-Küçük, Page, Modified Page ve Polynomial Cubic-Quadratic-Linear ince tabakalı matematiksel modeller seçilmiştir. Modelleri oluşturmak için SigmaPlot10.0 paket programı kullanılmıştır. Modellere ait eşitlikler aşağıda verilmiştir.

$$\text{Lewis} = ANO = \exp(-k \cdot t) \quad (\text{Lewis, 1921}) \quad (16)$$

$$\text{Yağcıoğlu} = ANO = k \cdot \exp(-h \cdot t) + j \quad (\text{Yağcıoğlu, 1999}) \quad (17)$$

$$\text{Wang-Singh} = ANO = 1 + k \cdot t + h \cdot t^2 \quad (\text{Wang ve Singh, 1978}) \quad (18)$$

$$\text{Midilli-Küçük} = ANO = h \cdot \exp(-j \cdot t^k) + (m \cdot t) \quad (\text{Midilli ve ark., 2002}) \quad (19)$$

$$\text{Page} = ANO = \exp(-k \cdot (h^t)) \quad (\text{Page, 1949}) \quad (20)$$

$$\text{Modified Page} = ANO = \exp(-(k \cdot t)^h) \quad (\text{Overhults ve ark., 1973}) \quad (21)$$

$$\text{Polynomial Cubic} = ANO = y_0 + a \cdot x + b \cdot x^2 + c \cdot x^3 \quad (\text{SigmaPlot 10.0}) \quad (22)$$

$$\text{Polynomial Quadratic} = ANO = y_0 + a \cdot x + b \cdot x^2 \quad (\text{SigmaPlot 10.0}) \quad (23)$$

$$\text{Polynomial Linear} = ANO = y_0 + a \cdot x \quad (\text{SigmaPlot 10.0}) \quad (24)$$

Kuruma Hızı

Mor havuç örneklerinin kuruma hız değerlerine sıcaklıkların etkisi belirlenmiştir. Kuruma hız değerlerini hesaplamak için 25 numaralı eşitlik kullanılmıştır.

$$KH = M_t - M_{t+dt} / dt \quad (25)$$

Burada: M_t ; t anındaki nem içeriği (g nem/g kuru madde), dt ; dakika, KH ; kuruma hızı (g nem/g kuru madde. dakika).

İstatistiksel Analiz

Kurutulmuş örneklerle tazeleri arasındaki istatistiksel farkı ($p < 0.05$) belirlemek için SPSS23 programı kullanılarak çoklu karşılaştırma testi (Duncan) yapılmıştır.

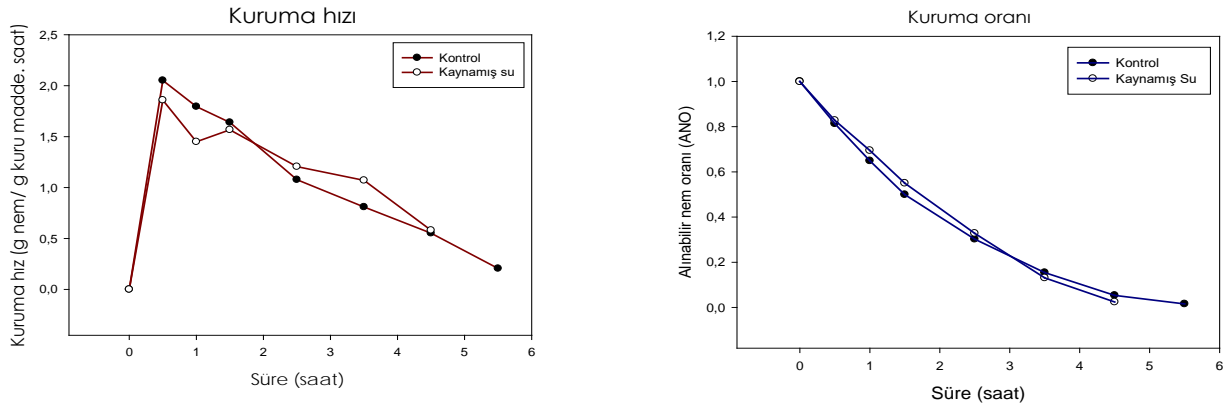
3. Bulgular ve Tartışma

Kuruma Verileri

Kurutulmuş mor havucun toplam nem içeriği %84.52 olarak belirlenmiştir. İsmail, (2017) yaptığı kurutma çalışmasında havuç dilimlerinin ortalama nem içeriği ortalamasını %87.50 olarak tespit etmiştir. Bu değer hasat sonrasında bozulmadan uzun süre muhafaza edilebilmesi için güvenli olmayıp ortalama %10 nem seviyelerine kadar kurutulması gerekmektedir (Keskin ve ark. 2021). Yapılan kurutma işleminde kuruma süresinin azaltmak ve bazı kalite değerlerini artırmak için mor havuç örneklerine ön işlem uygulanmıştır. Ön işlem uygulanmış (kaynar suya daldırma) ve ön işlemsiz (kontrol) örneklerin kuruma süreleri incelendiğinde ön işlemin kuruma süresini azalttığı tespit edilmiştir. Kontrol ve ön işlem uygulanmış mor havuç örneklerin kuruma süreleri sırasıyla; 5.5, 4.5 saat olarak bulunmuştur.

Kurutma Parametrelerine Ait Değerler

Kurutulan mor havuç örneklerine ait havucun kuruma hızı ve kuruma oranları Şekil 1' de verilmiştir.



1a, Kuruma hız eğrileri

1b, Kuruma oran eğrileri

Şekil 1. Mor havuç örneklerine ait kuruma hızı eğrileri ve kuruma kinetiği

Şekil 1'e göre kurutma sıcaklıklarının kuruma hız değerlerine etkisinin önemli olduğu görülmüştür. Kaynar su ($95\pm 2^\circ\text{C}$) (Yapılan işlem sırasında sıcaklık kaç derece idi? Sıcaklıkta düşme olmadı mı? parametreler metot kısmında detaylı açıklanmalı). Bu ön işleminde yapılan kurutma işleminin kuruma hız değerleri 0.0310-0.0097 g nem/g kuru madde.dakika arasında değiştiği belirlenmiştir. Ön işlemsiz (kontrol) olarak yapılan kurutma işleminde ise bu değer 0.0342-0.0034 g nem/g kuru madde.dakika arasında değiştiği tespit edilmiştir. İsmail (2017), yaptığı çalışmada havuç örneklerine farklı ön işlem uygulayarak kurutma işlemi yapmıştır.

Renk Değerleri

"L" değeri örneklerin parlaklık değerini ifade ederken 0-100 arasında değerler almaktadır. "a" değeri kırmızı-yeşil ve "b" değeri ise sarı-mavi renkleri temsil etmektedir. Bu değerler (+) işaretli ise "a" değeri kırmızı "b" değeride sarı renkte olduğunu (-) işaretli değerler alırsa "a" yeşil ve "b" mavi renkte olduğunu göstermektedir (McGuire, 1992). Taze ve kurutulmuş mor havuç örneklerinin ölçülen ve hesaplanarak belirlenen renk değerleri Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Mor Havuç Örneklerine Ait Ölçülen ve Hesaplanan Renk Değerleri

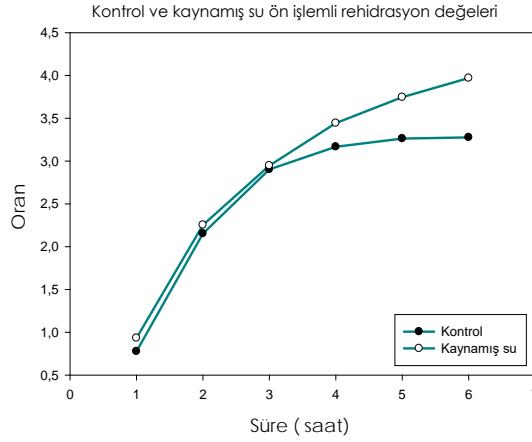
Kurutma Yöntemi	L	a	b	C	Hue	ΔE	BI
Taze	18.42 \pm 1.77 ^c	14.70 \pm 1.47 ^a	-3.40 \pm 0.86 ^b	15.10 \pm 1.57 ^a	-12.91 \pm 2.44 ^b	-	-
Kontrol	30.32 \pm 2.05 ^a	13.35 \pm 2.55 ^{ab}	-1.00 \pm 1.18 ^a	13.43 \pm 2.56 ^b	-4.13 \pm 5.07 ^a	21.82 \pm 1.39 ^a	25.81 \pm 4.85 ^b
Ön işlem	22.28 \pm 1.30 ^b	11.91 \pm 2.50 ^b	-4.76 \pm 0.76 ^c	12.87 \pm 2.45 ^b	-22.49 \pm 5.08 ^c	16.40 \pm 1.04 ^b	14.45 \pm 6.94 ^c

Çizelge 1'e göre kurutulmuş örneklerin L, a ve b değerlerinde taze havuçlara göre istatistiksel açıdan bir fark ($p<0.05$) bulunmuştur. Ön işlem uygulandıktan sonra kurutulmuş örneklerin parlaklık değerleri tazeye göre istatistiksel açıdan daha yakın olarak bulunmuştur. Kurutulmuş örneklerin tazeye göre parlaklık değerlerini yükselttiği tespit edilmiştir. Demiray (2015), yaptığı tez çalışmasında farklı kurutucular ile havuç ve kapa biberi kurutmuştur. Sıcak hava ile kuruttuğu havuç örneklerinin renk değerleri incelendiğinde L parlaklık değerini 65°C kurutma sıcaklığında 32.84 ± 1.64 olarak bulmuştur. Bu değer çalışmadakki değerle istatistiksel açıdan en yakın olarak tespit edilmiştir. Kurutulmuş örneklerin kroma değerleri kendi aralarında incelendiğinde istatistiksel açıdan ($p<0.05$) bir fark olmadığı tespit edilmiştir. Kaynar su ön işleminin hue değerlerini artırdığı tespit edilmiştir. Toplam renk değişimi değerleri incelendiğinde en fazla renk değişimi kontrol uygulamasında belirlenmiştir. En düşük BI (kahverengileşme indeksi) değeri kaynar su ön işleminde hesaplanmıştır. Sonuçlara göre hesaplanan ve ölçülen parlaklık renk değerleri açısından ön işlem uygulandıktan kurutulmalarının istatistiksel ($p<0.05$) açıdan daha uygun olduğu belirlenmiştir.

Rehidrasyon Parametreleri ve Sertlik Değerleri

Kurutulan tarımsal ürünlerin tekrardan su alma miktarlarının yüksek düzeylerde olması istenir. Bu durum kuru ürünün kullanıldığı gıda ortamına tadını ve aromasını bırakması için arzu edilen bir sebeptir. Kurutulmuş gıdaların rehidrasyon kinetiğinin araştırıldığı çalışmalarda rehidre olayında kullanılan suyun sıcaklığı da

rehidrasyon parametrelerini (rehidrasyon oranı, kapasitesi ve hızı) önemli düzeyde etkilediği belirtilmektedir. Kurutulan mor havuç örneklerine ait rehidrasyon ağırlık değişim değerleri Şekil 2 'de verilmiştir. Çalışmada uygulanan ön işlemin kurutulan mor havuç örneklerinin rehidrasyon değerlerine etkisinin önemli olduğu tespit edilmiştir. En yüksek su alma kapasitesi ön işlem uygulandıktan sonra kurutulan örneklerde tespit edilmiştir.



Şekil 2. Kurutulan mor havuç örneklerine ait rehidrasyon kinetiği

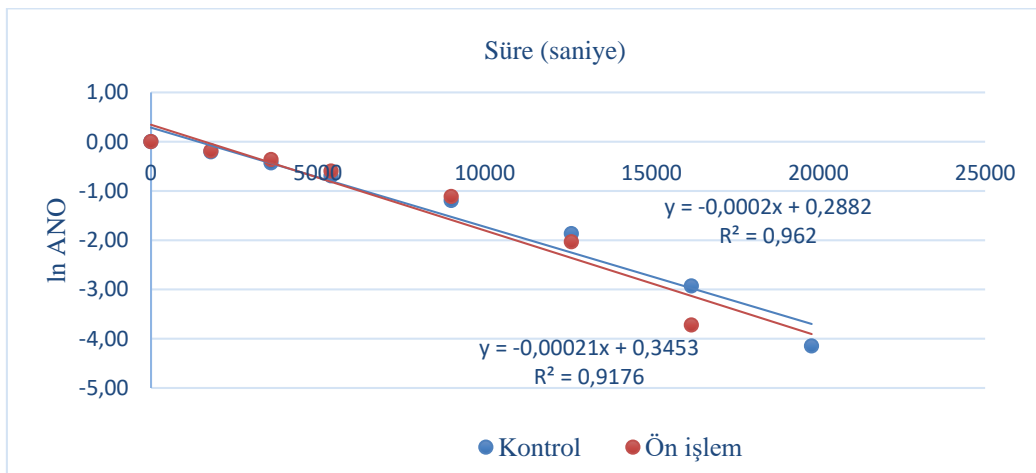
Kurutulan mor havuç örneklerine ait sertlik rehidrasyon oranı ve rehidrasyon kapasite değerleri Çizelge 2 'de verilmiştir. Çizelge 2 'ye göre sertlik değerleri açısından kıyaslandığında tazeye en yakın ($p < 0.005$) kuru örneklerin ön işlem uygulananlarda tespit edilmiştir. Rehidrasyon oranı açısından her iki yöntemde kurutulan örneklerin birbirine oldukça yakın değerler aldığı belirlenmiştir. Rehidrasyon kapasitesi açısından ise kurutulan ön işlemsiz örneklerin kaynar suya bandırılan örneklere göre daha yüksek olduğu bulunmuştur.

Çizelge 2. Mor Havuç Örneklerine Ait Sertlik, Rehidrasyon Oranı ve Kapasitesi Değerleri

	S	RO	RK
Taze	57.87±3.80 ^b	-	-
Kontrol	63.30±7.39 ^a	4.20±0.53	76.04±3.22
Daldırma ön işlemi	59.50±6.74 ^{ab}	4.20±0.47	75.97±2.84

Efektif difüzyon değerleri

Kurutulan mor havuç örneklerine ait süreye bağlı alınabilir nem oranlarının (ANO) ln ANO değerleri Şekil 3 'de verilmiştir.



Şekil 3. ln ANO değerleri

Ön işlemin efektif difüzyon parametrelerine etkisi Çizelge 3 'de verilmiştir.

Çizelge 3. Efektif Difüzyon Değerleri

Kurutma Yöntemi	Efektif Difüzyon (m ² /s)
Kontrol	4.10x10 ⁻¹⁰
Kaynar suya daldırma ön işlemi	4.31x10 ⁻¹⁰

Çizelge 3'e göre kaynar su ön işlemi efektif difüzyon değerlerini etkilemiştir. Kurutulan mor havuç kontrol örneklerinin efektif difüzyon değeri 4.10x10⁻¹⁰ m²/s ve kaynar su ön işlem örneklerinin efektif difüzyon değeri ise 4.31x10⁻¹⁰ m²/s olarak hesaplanmıştır. Ön işlem uygulaması efektif difüzyon değerini artırmıştır. Doymaz (2018) siyah havuca ön işlem uygulaması yaparak kurutma işlemi gerçekleştirmiştir. Çalışmasında efektif difüzyon katsayı değerlerini 1.41x10⁻⁸ m²/s ile 7.41x10⁻⁸ m²/s arasında değiştiğini tespit etmiştir. Bu çalışmadaki bulguyla kıyaslandığında farklı bir ön işlem uygulanarak efektif difüzyonun daha fazla hızlanmasına katkı sağlanmıştır. Kılıç ve Tabanlıgil-Calan (2020), yaptıkları çalışmada 50-60 °C kurutma sıcaklıklarında ön işlem uygulanarak kırmızı kapyra biber kurutmuşlardır. Ön işlemin efektif difüzyon katsayısının ön işlemsiz (kontrol) uygulamaya kıyasla daha yüksek olduğunu tespit etmişlerdir. Bu durum, ön işlemin materyalin kurumaya karşı gösterdiği direnci azalttığı ve kuruma kinetiğini hızlandırdığı düşünülmektedir.

Matematiksel Modelleme Verileri

Kurutulan mor havuç örneklerine ait matematiksel modelleme değerleri Çizelge 4 ve Çizelge 5'te verilmiştir.

Çizelge 4. Ön İşlemsiz (kontrol) Modelleme Eşitliklerine Ait Veriler

Model eşitlikleri	R ²	p	k	h	j	M	Y ⁰	a	b	C
Midilli-Küçük	0.9998	<0.0001	1.0899	0.9999	0.4193	-0.0109	-	-	-	-
Yağcıoğlu	0.9997	<0.0001	1.1399	0.3888	-0.1319	-	-	-	-	-
Page	0.9990	<0.0001	0.4290	1.1909	-	-	-	-	-	-
Wang-Singh	0.9991	<0.0001	-0.3708	0.0353	-	-	-	-	-	-
Modified Page	0.9990	<0.0001	0.4913	1.1909	-	-	-	-	-	-
Lewis	0.9950	<0.0001	0.4933	-	-	-	-	-	-	-
Polynomial Cubic	0.9999	<0.0001	-	-	-	-	1.0002	-0.4044	0.0554	-0.0026
Polynomial Quadratic	0.9993	<0.0001	-	-	-	-	0.9857	-0.3600	0.0337	-
Polynomial Linear	0.9621	<0.0001	-	-	-	-	0.8575	-0.1774	-	-

Çizelge 4'e göre, en yüksek R² değeri Polynomial Cubic model eşitliğinde 0.9999 olarak bulunurken, en düşük R² değeri ise Polynomial Linear model eşitliğinde 0.9621 olarak belirlenmiştir. Belirlenen tüm modellerin kullanımının istatistiksel açıdan güvenli (p<0.05) olduğu bulunmuştur.

Çizelge 5. Ön İşlemlili (kaynar su) Modelleme Eşitliklerine Ait Veriler

Model eşitlikleri	R ²	p	k	h	j	m	Y ⁰	a	b	C
Midilli-Küçük	0.9996	<0.0001	1.1042	0.9955	0.3175	-0.0380	-	-	-	-
Yağcıoğlu	0.9996	<0.0001	1.4983	0.2400	-0.4962	-	-	-	-	-
Page	0.9968	<0.0001	0.3615	1.3361	-	-	-	-	-	-
Wang-Singh	0.9998	<0.0001	-0.3396	0.0270	-	-	-	-	-	-
Modified Page	0.9968	<0.0001	0.4670	1.3361	-	-	-	-	-	-
Lewis	0.9855	<0.0001	0.4625	-	-	-	-	-	-	-
Polynomial Cubic	0.9998	<0.0001	-	-	-	-	0.9946	-0.3247	0.0188	-0.0012
Polynomial Quadratic	0.9998	<0.0001	-	-	-	-	0.9979	-0.3376	0.0267	-
Polynomial Linear	0.9885	<0.0001	-	-	-	-	0.9283	-0.2180	-	-

Çizelge 5'e göre, en yüksek R² değeri Polynomial Cubic-Quadratic ve Wang Sing model eşitliğinde 0.9998 olarak bulunurken, en düşük R² değeri ise Lewis model eşitliğinde 0.9855 olarak belirlenmiştir. Ön işlem uygulanan örneklere ait tüm kuruma modellerinin kullanımının istatistiksel açıdan güvenli (p<0.05) olduğu bulunmuştur.

4. Sonuç

Kaynar suya daldırma ön işlemi mor havuç dilimlerinin kuruma sürelerini azalttığı belirlenmiştir. Bununla birlikte kaynar su ön işlemi mor havucun efektif difüzyon değerini de artırıcı bir etki yaptığı tespit edilmiştir. Bu durum daha erken kuru ürün elde etme imkanı sunması açısından önemlidir. Taze mor havucun renk değerlerine istatistiksel açıdan (p<0.05) en yakın kaynar su ön işlemi yapıldıktan sonra kurutulan örneklerde tespit edilmiştir. Özellikle kurutulan örnekler parlaklık, toplam renk değişimi ve kahverengileşme indeks değerleri açısından kontrol örneklerine göre daha iyi olduğu tespit edilmiştir. Bu durum tüketici açısından ürünün beğenirliğini (albeniliğini) katkı sağlayacaktır. Ön işlem uygulanan mor havuç örnekleri tazeye göre istatistiksel açıdan renk değerlerini daha iyi muhafaza etmiştir. Uygulanan kaynar su ön işlemi kurutulan kontrol örneklerinin rehidre olma yeteneğine olumsuz etkilemiştir. Rehidrasyon kapasitesi en yüksek ön işlemsiz (kontrol) kurutulan örneklerde belirlenmiştir. Bu mor havucun kullanılacağı işlemlerde materyalin aromasını gösterebilme yeteneği açısından olumsuz bir durum

oluşturmuştur.

Kaynakça

- Al-Amin, M., Hossain, M. S., & Iqbal, A. (2012). Effect of pre-treatments and drying methods on dehydration and rehydration characteristics of carrot. *Universal Journal of Food and Nutrition Science*, 3(2), 23-28.
- Bülbül, H., & Haciseferoğulları, H. (2016). Pnömatik hassas sebze ekim makinesinde kullanılan değişik baskı tekerlerinin siyah havucun çimlenmesine etkisi. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 12(2), 113-119.
- Chen, Q., Li, Z., Bi, J., Zhou, L., Yi, J., & Wu, X. (2017). Effect of hybrid drying methods on physicochemical, nutritional and antioxidant properties of dried black mulberry. *LWT*, 80, 178-184.
- Crank, J. (1979). *The mathematics of diffusion*. Oxford university press, London.
- Çelen, İ. H., Çelen, S., Moralar, A., Buluş, H. N., & Önler, E. (2015). Mikrodalga bantlı kurutucuda patatesin kurutulabilirliğinin deneysel olarak incelenmesi. *Electronic Journal of Vocational Colleges- Special Issue: The Latest Trends in Engineering*, 5(4), 242- 287.
- Demiray, E. (2015). *Havuç ve kırmızıbiberin farklı kurutma yöntemleri ile kurutulması, kuruma karakteristiklerinin ve bazı kalite özelliklerindeki değişimin modellenmesi* (Doktora Tezi). Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı Denizli.
- Doymaz, İ. (2018). Kara havucun kurutulmasında ön işlemlerin etkisi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 20(59), 322-335.
- Ertekin, C., & Yaldız, O. (2004). Drying of eggplant and selection of a suitable thin layer drying model. *Journal of Food Engineering*, 63, 349-359.
- FAOSTAT (2021). <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>. (Access date 15.01.2021).
- İsmail, O. (2017). Güneş altında kurutulmuş havuç dilimlerinin rehidrasyon kinetiğinin incelenmesi. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 32:2, 355-361.
- Keskin, M., Güçlü, G., Şekerli, Y. E., Soysal, Y., Selli, S., & Kelebek, H. (2021). Comparative assessment of volatile and phenolic profiles of fresh black carrot (*Daucus carota* L.) and powders prepared by three drying methods. *Scientia Horticulturae*, 287.
- Kılıç, F., & Tabanlıgil-Calan, T. (2020). Kırmızı kapy biberlerinin (*Capsicum annuum* L.) kurutma ve rehidrasyon kinetiklerinin belirlenmesi, kurutma işleminin termodinamik analizi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 22(65), 331-342.
- Lewicki, P. P., & Das- Gupta, D. K. (1995). Osmotic dehydration of fruits and vegetables in handbook of industrial drying, Vol. 1, 2nd Edition, Ed. A.S. Mujumdar, Marcel Dekker, New York, Pp. 691–713.
- Lewis, W. K. (1921). The rate of drying of solid materials. *Industrial Engineering Chemistry*, 13, 427-443.
- McGuire, R. G. (1992). Reporting of objective color measurements. *HortScience*, 27, 1254-1255.
- Midilli, A., Kucuk, H., & Yapar, Z. (2002). A new model for single later drying. *Drying Technology*, 20(7), 1503-1513.
- Mierzwa, D., Kowalski, S. J., & Kroehnke, J. (2017). Hybrid drying of carrot preliminary processed with ultrasonically assisted osmotic dehydration. *Food Technology and Biotechnology*, 55(2), 197-205.
- Overhults, D. D., White, G. M., Hamilton, M. E., & Ross, I. J. (1973). Drying soybeans with heated air. *Transactions of the ASAE*, 16, 195-200.
- Page, G. (1949). *Factors influencing the maximum rates of air drying shelled corn in thin layer*. (M.S. Thesis), Purdue University, Department of Mechanical Engineering, West Lafayette, IN, USA.
- Plou, E., Lopez-Malo, A., Barbosa-Canovas, G. V., Welti-Chanes, J., & Swanson, B. G. (1999). Polyphenoloxidase

- activity and color of blanched and high hydrostatic pressure treated banana puree. *Journal of Food Science*, 64, 42-45.
- Polat, S., Guclu, G., Kelebek, H., Keskin, M., & Selli, S. (2022). Comparative elucidation of colour, volatile and phenolic profiles of black carrot (*Daucus carota* L.) pomace and powders prepared by five different drying methods. *Food Chemistry*, 369.
- Polatçı, H., & Taşova, M. (2020). Sıcaklık kontrollü mikrodalga kurutucu geliştirilmesi ve portakal kurutma performansının belirlenmesi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 8(1), 131-138.
- Polatçı, H., Taşova, M., Ergüneş, G., & Kırmık, G. (2020). Mahlep (*Prunus mahaleb*) meyvesinin kuruma kinetiği ve renk değişimi. *Akademik Ziraat Dergisi*, 9(1), 23-32.
- Ricce, C., Rojas, M. L., Miano, A. C., Siche, R., & Augusto, P. E. D. (2016). Ultrasound pre-treatment enhances the carrot drying and rehydration. *Food Research International*, 89(1), 701-708.
- Santos, K. C., Guedes, J. S., Rojas, M. L., Carvalho, G. R., & Augusto, P. E. D. (2021). Enhancing carrot convective drying by combining ethanol and ultrasound as pre-treatments: Effect on product structure, quality, energy consumption, drying and rehydration kinetics. *Ultrasonics Sonochemistry*, 70.
- Soomro, A. H., Miano, T. F., Marri, A., Kumar, D., Khaskheli, G. S., Arain, U. F., & Baloch, A. B. (2020). Application of pretreatments on banana slices for improving drying characteristics. *Food Science and Quality Management*, 103, 35-41.
- Tatoğlu, Ö. (2014). *Siyah havuç posasının fermente siyah havuç suyu üretiminde kullanılabilirliğinin araştırılması*. (Yüksek Lisans Tezi), Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Konya.
- Türker, İ., & İşleroğlu H. (2017). Mahlep püresinin kızılötesi ışınlama ile kurutulması işleminde antosiyanin, fenolik madde ve antioksidan kapasite değişim kinetiği. *Gıda Dergisi*, 42(4), 422-430.
- 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.
- Yeşilören-Akal, G. (2019). *Siyah havuç posasından antosiyanin ekstraksiyonu*. Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara.
- Yılmaz, M. (2019). *Konya ili ereğli ve karapınar ilçelerinde siyah havuç üretimi yapan tarım işletmelerinin mekanizasyon özelliklerinin ve sorunlarının belirlenmesi*. Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya.