



Effects of Microwave Pretreatment on Color and Phenolic Component Profile of Orange Slices Dried Using the Vacuum Drying Method: Multivariate Analysis Approach

Büşra Acoğlu Çelik^{1,2,a}, Tuğba Özdal^{3,b}, Azime Özkan Karabacak^{2,4,c}, Perihan Yolcu Ömeroğlu^{1,2,d,*}

¹Bursa Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, 16059, Bursa, Türkiye.

²Bursa Uludağ Üniversitesi, Bilim ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi, 16059, Bursa, Türkiye.

³İstanbul Okan Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, 34959, İstanbul, Türkiye.

⁴Bursa Uludağ Üniversitesi, Gemlik Asım Kocabıyık Meslek Yüksek Okulu, 16059, Bursa, Türkiye.

*Corresponding author

ARTICLE INFO	ABSTRACT
<p><i>Research Article</i></p> <p>Received : 20.11.2024 Accepted : 28.11.2024</p> <p>Keywords: Orange (<i>Citrus sinensis</i> L.) Vacuum drying Polyphenolic compounds PCA HCA</p>	<p>This study investigates the effects of microwave pre-treatment (90 W, 30 min) on the quality characteristics of orange slices subjected to vacuum drying (VD) processes at various temperature (60, 70, and 80°C) and absolute pressure (15 and 30 kPa) combinations. The vacuum drying processes were carried out with (microwave-assisted vacuum drying, MAVD) and without (VD) the application of microwave pre-treatment under the same temperature and pressure conditions. The analysis encompassed polyphenolic compounds, including vanillic acid, chlorogenic acid, gallic acid, sinapic acid, <i>o</i>-coumaric acid, epicatechin, hesperidin, and naringenin. Additionally, visual quality attributes such as color parameters (L^*, a^*, b^*, and ΔE), browning index (BI), and whiteness index (WI) were evaluated. The vacuum drying conditions that best preserved the initial color characteristics and phenolic compound levels of fresh oranges as a result of the drying process were 80°C temperature and 15 kPa absolute pressure. Using principal component analysis (PCA) and hierarchical cluster analysis (HCA), the effects of drying conditions on color and polyphenolic component profiles were comprehensively evaluated. These analyses allowed the separation of chemical and polyphenolic profiles related to product quality.</p>

Türk Tarım – Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi, 13(3): 719-730, 2025

Mikrodalga Ön İşlemlenmiş Vakumlu Kurutma Yönteminin Portakal Dilimlerinin Renk ve Fenolik Bileşen Profili Üzerine Etkileri: Çok Değişkenli Analiz Yaklaşımı

MAKALE BİLGİSİ	ÖZ
<p><i>Araştırma Makalesi</i></p> <p>Geliş : 20.11.2024 Kabul : 28.11.2024</p> <p>Anahtar Kelimeler: Portakal (<i>Citrus sinensis</i> L.) Vakumlu kurutma Polifenolik bileşenler PCA HCA</p>	<p>Bu çalışmada, portakal dilimlerinin kalite özellikleri üzerine farklı sıcaklık (60, 70 ve 80°C) ve mutlak basınç (15 ve 30 kPa) kombinasyonlarında gerçekleştirilen vakumlu kurutma (VK) işlemlerinde mikrodalga ön işleminin (90 W, 30 dk) etkileri incelenmiştir. Vakumlu kurutma işlemleri, aynı sıcaklık ve basınç koşullarında mikrodalga ön işlemleri uygulanarak (MDVK) ve uygulanmadan (VK) gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında, polifenolik bileşikler (vanilik asit, klorojenik asit, galik asit, sinapik asit, <i>o</i>-kumarik asit, epikateşin, hesperidin ve naringenin) analiz edilmiştir. Ek olarak, renk parametreleri (L^*, a^*, b^* ve ΔE), esmerleşme indeksi (BI) ve beyazlatma indeksi (WI) gibi görsel kalite özellikleri de değerlendirilmiştir. Taze portakalların başlangıçta sahip olduğu renk özellikleri ve fenolik bileşen seviyelerini kurutma işlemi sonucunda en iyi koruyan vakumlu kurutma koşulları 80°C sıcaklık ve 15 kPa mutlak basınç olmuştur. Temel bileşen analizi (PCA) ve hiyerarşik kümeleme analizi (HCA) kullanılarak, kurutma koşullarının renk ve polifenolik bileşen profilleri üzerindeki etkileri kapsamlı bir şekilde değerlendirilmiştir. Bu analizler, ürün kalitesine ilişkin kimyasal ve polifenolik profillerin ayrıştırılmasına olanak sağlamıştır.</p>

^a busraacoglu@uludag.edu.tr

^b <https://orcid.org/0000-0002-6079-1970>

^c tugba.ozdal@okan.edu.tr

^d <https://orcid.org/0000-0001-8344-5336>

^c azimeozkan@uludag.edu.tr

^d <https://orcid.org/0000-0003-4175-4477>

^d pyomeroglu@uludag.edu.tr

^d <https://orcid.org/0000-0001-8254-3401>



Giriş

Portakal (*Citrus sinensis* L.), *Rutaceae* familyasına ait, dünya çapında yaygın olarak yetiştirilen, ticareti yapılan ve tüketilen önemli bir turunçgil meyvesidir (Özcan ve ark., 2021). Portakal, yüksek C vitamini içeriği ile güçlü antioksidan, antikanser ve antiinflamatuvar özellikler taşır; bu sayede bağışıklık sistemini destekleyerek viral enfeksiyonlara karşı koruma sağlamada önemli bir rol oynamaktadır (Oikeh ve ark., 2020; Pacheco ve ark., 2020). Ayrıca, çekici rengi, aroması, kendine özgü ekşi-tatlı ve ferahlatıcı lezzeti tadının yanı sıra askorbik asit, diyet lifi, fenolik bileşikler, mineraller ve karotenoidler açısından zengin olması nedeniyle küresel pazarda değerli bir ürün olarak öne çıkmaktadır (Zou ve ark., 2016; Deng ve ark., 2020; Alibas & Yılmaz, 2022). 2022 yılı itibarıyla FAO verilerine göre, turunçgil üretimi yaklaşık 158 milyon tona ulaşmış olup, bu üretimin yaklaşık %55-60'ını portakal temsil ederek küresel pazarda en çok talep gören turunçgil türü konumundadır (FAO, 2024). Portakalın yalnızca besin değerleri değil, aynı zamanda mevsimsel olarak sınırlı hasadı da çeşitli muhafaza tekniklerinin kullanılmasını gerektirmektedir (O'Shea ve ark., 2012). Özellikle kurutma işlemi, portakalın yanı sıra diğer turunçgillerin muhafazasında giderek yaygın bir tercih haline gelmiştir (Alibas & Yılmaz, 2022; Özcan ve ark., 2021; Özkan-Karabacak ve ark., 2023; Silva-Espinoza ve ark., 2021).

Kurutma, tarımsal ürünlerdeki suyun ısı ve kütle transferi yoluyla buharlaştırılması işlemidir (Fratianni ve ark., 2013). Bu işlem, ürünlerin mikrobiyolojik aktivitesini azaltarak uzun süre muhafaza edilmesini sağlar ve dolayısıyla gıda güvenliği açısından kritik bir rol oynar. Ayrıca, su içeriği azalmış ürünler, depolama ve nakliye süreçlerinde önemli avantajlar sunarak maliyet tasarrufuna yardımcı olmaktadır (Alibas & Yılmaz, 2022; Bozkir, 2020).

Kurutma işlemi çeşitli yöntemlerle gerçekleştirilebilir. Vakumlu kurutma, ürünlerin düşük sıcaklıklarda ve atmosfer basıncının azaltıldığı ortamlarda suyun buharlaştırılmasıdır. Bu yöntem, besin değerlerinin yanı sıra aroma ve renk gibi kalite parametrelerinin korunmasında etkili bir yöntem olarak öne çıkmaktadır. Düşük sıcaklıklarda gerçekleştirildiği için kurutma süresi, konvektif kurutmaya göre daha kısadır; ancak yüksek başlangıç maliyetleri ve özel ekipman gerektirmesi gibi dezavantajları bulunmaktadır (Boris ve ark., 2018; Bozkir, 2020). Mikrodalga kurutma, malzemenin içinden dışarıya ısı ve kütle transferi sağlayarak hızlı bir kurutma süreci sunmaktadır. Bu yöntem, yüksek enerji verimliliği ve rehidrasyon kapasitesi ile dikkat çekmektedir; ancak yüksek güç seviyelerinde polarizasyona yol açarak yerel yanıklara neden olma riski taşımaktadır (Shu ve ark., 2020; Zielinska & Michalska, 2016). Bunun yanı sıra, mikrodalga kurutma (MW) tekniğinin herhangi bir başka kurutma yöntemi veya ön işlem uygulanmaksızın tek başına kullanımı, nihai ürün kalitesinde ciddi bozulmalara yol açabileceği gibi, ürünün tamamen tahrip olmasına da neden olabilmektedir (Zielinska & Michalska, 2016; Zielinska ve ark., 2019).

Mikrodalga ön işlemlili vakumlu kurutma uygulaması, kurutma kinetiğinin yanı sıra nihai ürünün duyuusal ve besin kalitesi üzerinde olumlu bir etkiye sahiptir. Elma küpleri (Chong ve ark., 2014), domates (Orikasa ve ark., 2018), yaban mersini (Zielinska & Michalska, 2016) ve narenciye kabukları (Shu ve ark., 2020) gibi ürünlerde, mikrodalga ön işlemlili vakumlu kurutma sayesinde yüksek kaliteli kurutulmuş meyve ve sebze elde edilmesine yönelik araştırmalar yapılmıştır. Ancak, portakal dilimlerinin kurutulmasında mikrodalga ön işlemlili vakumlu kurutma yönteminin polifenol özellikler ve renk parametreleri üzerindeki çoklu değişken analizine dayalı etkisini inceleyen çalışmalar literatürde sınırlıdır. (Gómez-Mejía ve ark., 2023; Rafiq ve ark., 2019; Wang ve ark., 2023). Rafiq ve ark. (2019), innow kabuklarına uygulanan tepsili, vakumlu ve dondurarak kurutma yöntemlerinin renk ve fenolik bileşenler üzerine olan etkisini incelemiştir. Wang ve ark. (2023) portakal kabuklarına dondurarak kurutma, ısı pompalı kurutma, mikrodalga kurutma ve uzak kızılötesi kurutma yöntemlerini uygulayarak kurutulmuş ve kurutma yöntemlerinin nihai üründe renk, fenolik bileşen profili ve antioksidan kapasite gibi kritik kalite parametreleri üzerindeki etkilerini değerlendirmiştir. Bir diğer çalışmada, Gómez-Mejía ve ark. (2023) klementin ve limon kabuklarından elde edilen hidroetanol ekstraktlarının farklı kurutma tekniklerinin (fırın ve vakumlu kurutma dahil) fenolik bileşimleri ve antioksidan aktiviteleri üzerine olan etkilerini incelemiştir. Yapılan bu çalışmalar ürünlerin nihai özelliğini korunması için literatürde başarıyla uygulanan vakumlu kurutma yönteminin süre dezavantajını azaltılması için uygulanabilecek olan mikrodalga ön işlemlili içermemektedir. Ayrıca mikrodalga ön işlemlili destekli uygulanan vakumlu kurutma işleminin sıcaklık ve basınç kombinasyonunun fenolik bileşenler üzerindeki etkileri incelememiştir. ve renk parametresi ile kurutma koşulları arasında olan ilişki ortaya konulmamıştır. Diğer taraftan, yapılan çalışmalarda elde edilen bulgular korelasyon analizi, temel bileşen analizi (PCA) ve kümeleme analizi (HCA) gibi ileri düzey kemometrik veri analizi yöntemleriyle kapsamlı ve anlamlı bir şekilde yorumlanmamıştır. Bu çalışmada kullanılan yenilikçi mikrodalga ön işlemlili vakumlu kurutma (MDVK) yönteminin, özellikle fenolik bileşikler gibi çeşitli parametreler üzerindeki sinerjik etkilerinin araştırılması, tüketicilere yönelik yüksek kaliteli, besin açısından zenginleştirilmiş sağlıklı kurutulmuş portakal atıştırmalıkları formüle etmek ve üretmek için önemli bulgular sunacağı düşünülmektedir.

Bu çalışmanın amacı, mikrodalga ön işlemlinin (90 W, 30 dk) farklı kurutma sıcaklıkları ve mutlak basınç kombinasyonlarında (15 ve 30 kPa ile 60, 70 ve 80°C) gerçekleştirilen vakumlu kurutma üzerindeki etkilerini portakal dilimlerinin polifenol özellikleri ve bazı kalite nitelikleri açısından değerlendirmektir. Kurutulmuş portakal dilimlerinin polifenol özellikleri üzerindeki etkilerini değerlendirmek amacıyla gerçekleştirilen analizlerde, korelasyon analizi, temel bileşen analizi (PCA) ve kümeleme analizi yöntemlerinden yararlanılmıştır.

Materyal ve Metot

Materyal

Taze portakal örnekleri (*Citrus sinensis Valencia*), Antalya'da bir üretici tarafından hasat edilmiştir. Örnekler, plastik kutularda üç gün içerisinde laboratuvara ulaştırılmıştır. Nem ve kalite kaybını önlemek amacıyla, kurutma deneyleri tamamlanana kadar örnekler, $4 \pm 0,5^\circ\text{C}$ sıcaklık ve %90–95 bağıl nem koşullarında soğuk depoda muhafaza edilmiştir (Özkan-Karabacak ve ark., 2020). İlerideki kurutma deneyleri için ortalama çapı 80 ± 2 mm olan portakallar, kabukları soyulmadan uzunlamasına $4 \pm 0,5$ mm kalınlığında dilimlenmiştir. Portakal dilimlerinin başlangıç nem içeriği, numunelerin dijital nem tayin cihazı (MA150; Sartorius, Göttingen, Almanya) ile $5,33$ g $\text{H}_2\text{O/g}$ kuru madde olarak belirlenmiştir.

Metot

Kurutma İşlemleri

Mikrodalga ön işlemi uygulanmaksızın, vakumlu kurutma (VK) yöntemi kontrol olarak kullanılarak farklı sıcaklık ve basınç kombinasyonları ile gerçekleştirilmiştir. Önceki çalışmamızda kurutma prosedürü detaylı olarak verilmiştir (Özkan-Karabacak ve ark., 2020). Deneylerde $60, 70$ ve 80°C sıcaklıklar ile 15 ve 30 kPa mutlak basınç düzeyleri uygulanmış olup, bu işlemler 49 L hacme sahip bir vakumlu kurutucuda (Mettler VO400, Almanya) gerçekleştirilmiştir. Toplamda altı farklı proses kombinasyonu belirlenmiştir: $60^\circ\text{C}-15$ kPa, $60^\circ\text{C}-30$ kPa, $70^\circ\text{C}-15$ kPa, $70^\circ\text{C}-30$ kPa, $80^\circ\text{C}-15$ kPa ve $80^\circ\text{C}-30$ kPa. Deneysel çalışmalar kapsamında, yaklaşık 100 ± 5 g ağırlığındaki portakal dilimleri, yağlı kağıt üzerine düzenli bir şekilde yerleştirilmiştir. Kurutma süreci boyunca, dijital terazi (Mettler Toledo, MS3002S) kullanılarak her 30 dakikada bir portakal dilimlerinin ağırlıkları kaydedilmiştir. Bu ölçümler, ürünlerin kuruma süreçlerini izlemek amacıyla gerçekleştirilmiştir.

MDVK işlemi, vakumlu kurutma öncesinde 30 dakika boyunca 90 W gücünde bir mikrodalga ön işlem adımını içermektedir. Mikrodalga ön işlemi, 230 V, 50 Hz teknik özelliklere sahip bir ev tipi mikrodalga fırın (Bosch, HMT72G420, Münih, Almanya) ile uygulanmıştır. Literatürde yapılan çalışmalarla uyumlu bir şekilde bu çalışma kapsamında yapılan ön denemelerde, seçilen bu mikrodalga koşullarının üründe su salınmasına neden olmadığı, ve ürünün iç yapısını bozmayarak homojen bir kuruma sağladığı gözlemlenmiştir (Karabacak ve ark., 2018; Özkan-Karabacak ve ark., 2020; Özkan-Karabacak ve ark., 2023; Suna & Özkan-Karabacak, 2019). Ayrıca, 90 W gücü, portakal dilimlerinin en iyi kurutma özelliklerini elde etmek amacıyla belirlenmiştir. Bu güç düzeyi, ürünlerde yanma riskini en aza indirerek, kurutma sürecinin etkinliğini artırmıştır (Alibas & Yilmaz, 2022; Chen ve ark., 2021).

MDVK kurutulması sırasında taze portakal dilimleri, vakumlu kurutma uygulamaları sırasında olduğu gibi, eşit ağırlıkta yağlı kağıt üzerinde kurutulmuştur. Kurutma sürecinin izlenmesi amacıyla tartım aralıkları, sırasıyla mikrodalga ön işlem ve vakumlu kurutma için 5 dakika ve 30 dakika olarak belirlenmiştir. Deneysel tasarım, portakal dilimlerinin kuruma süreçlerini optimize etmek ve nihai ürün kalitesini artırmak amacıyla dikkatlice planlanmıştır. Farklı proses koşullarında, hem VK hem de MDVK

yöntemleri kullanılarak portakal dilimleri, nem içeriği $0,09$ g $\text{H}_2\text{O/g}$ kuru madde seviyesine düşene kadar kurutulmuştur (Senevirathne ve ark., 2009). Tüm kurutma deneyleri, her bir koşul için üç tekrarlı olarak gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma kapsamında gerçekleştirilecek analizler için portakal dilimi numuneleri, ışığa maruz kalmadan vakumlu poşetlerle paketlenmiş ve $-18 \pm 0,5^\circ\text{C}$ 'de dondurucuda muhafaza edilmiştir.

Renk Parametreleri, Esmerleşme İndeksi ve Beyazlatma İndeksi

Portakal dilimlerinin kolorimetrik değerleri, CR-5 Konica Minolta Chroma Meter (Osaka, Japonya) kullanılarak belirlenmiştir. Renk parametreleri olan L^* , a^* , b^* , Kroma (C^*) ve ton açısı (h°) için ölçümler daha önceki çalışmamızda belirtilmiştir (Özkan-Karabacak ve ark., 2020). Bu çalışmada, söz konusu ölçümlere ek olarak kahverengileşme indeksi (Browning Index, BI) ve beyazlık indeksi (Whiteness Index, WI) de hesaplanmıştır.

Aşağıdaki eşitlik ile BI tespit edilmiştir (Maskan, 2001).

$$C^*=(a^2+b^2)^{1/2} \quad h^\circ= \arctan (b/a) \quad (1)$$

$$BI = \left[100 \left(\frac{a^*+1,75L^*}{5,645L^*+a^*-0,3012b^*} - 0,31 \right) \right] \div 0,17 \quad (2)$$

Portakal dilimlerinin kurutma sonrasında yüzey renklerinde meydana gelen kahverengileşme, ölçülen Hunter renk parametrelerinin WI değerlerine dönüştürülerek analiz edilmiştir (Cuccurullo ve ark., 2018).

$$WI = 100 - \sqrt{(100 - L^*)^2 + a^{*2} + b^{*2}} \quad (3)$$

Bu indeksler, portakal dilimlerinin renk değişimini ve genel kalitesini değerlendirmek için önemli veriler sağlamaktadır.

Polifenollerin Ekstraksiyonu

Taze ve kurutulmuş portakal dilimlerindeki polifenolik bileşiklerin ve antioksidan aktivitenin ekstraksiyonu, Kamiloğlu & Capanoğlu (2013) tarafından daha önce açıklanan yöntem kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Numunenin $2 \pm 0,01$ g'ı, %75'lik su ile metanol karışımında $0,1\%$ formik asit içeren 5 mL'lik bir ekstraksiyon çözücüsü ile ekstrakte edilmiştir. Ekstraksiyon prosedürü, 15 dakika boyunca soğutulmuş bir ultrasonik su banyosunda uygulanmıştır. Elde edilen karışım 2700 g' de 10 dakika süreyle santrifüj edilmiştir. Santrifüj işlemi sonrasında elde edilen üstteki sıvı toplanmış ve ekstraksiyon işlemi, numunenin kalan kısmına taze ekstraksiyon çözücüsü eklenerek iki kez daha tekrarlanmıştır. Üç ayrı üstteki sıvı birleştirilmiş ve son hacim 15 mL' ye ayarlanmıştır. Elde edilen son ekstraktlar, analiz yapılmaya kadar -20°C 'de saklanmıştır.

HPLC ile Polifenolik Bileşiklerin Karakterizasyonu

Polifenol miktarı, Capanoğlu ve ark. (2008) tarafından tanımlandığı üzere yüksek performanslı sıvı kromatografi-fotodiyot dizisi dedektörü (HPLC-PDA) kullanılarak belirlenmiştir. Ekstrakte edilen örnekler, $0,45$ μm membran filtreler aracılığıyla süzülmuş ve yüksek basınçlı sıvı kromatografisi fotodiyot dizisi dedektörü (HPLC-

PDA) sistemine (Waters 2695, Amerika) enjekte edilmiştir. Analiz için, 25 cm uzunluğunda, 4,6 mm çapında ve 5 µm partikül boyutuna sahip bir C18 kolonu (Sigma-Aldrich, Almanya) kullanılmıştır. Spektral ölçümler, 280 nm, 312 nm ve 360 nm dalga boylarında gerçekleştirilmiş olup, akış hızı 1 mL/dakika ve enjeksiyon hacmi 10 µL olarak ayarlanmıştır. Mobil faz olarak, trifloroasetik asit (TFAA)/ultra saf su (1:1000, v/v; eluent A) ve TFAA/asetonitril (1:1000, v/v; eluent B) kullanılmıştır. Doğrusal gradyan akış profili řu şekilde belirlenmiştir: 0. dakikada %95 A ve %5 B; 45. dakikada %65 A ve %35 B; 47. dakikada %25 A ve %75 B; 49. dakikada %65 A ve %35 B; 50. dakikada ise %95 A ve %5 B. Kolon sıcaklığı 45°C'de sabitlenmiş, otomatik örnekleycinin sıcaklığı ise 10°C'de tutulmuştur. Polifenollerin tanımlanmasında, kolonun tutulma süreleri ve karakteristik UV spektrumları kullanılmıştır.

İstatistiksel Analiz

Tüm analizler üç tekrarlı olarak gerçekleştirilmiştir. İstatistiksel analizler IBM SPSS Statistics 28.0 yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiş ve sonuçlar ortalama ± standart sapma olarak ifade edilmiştir. Ölçümlerden elde edilen bulgular varyans analizine (tek yönlü ANOVA) tabi tutulmuştur. Ortalamalar arasında anlamlı farklılıkların ($p < 0,05$) varlığı Duncan'ın çoklu karşılaştırma testleri kullanılarak belirlenmiştir. Polifenolik profiller ve renk parametreleri arasındaki ilişkileri incelemek için Pearson korelasyon katsayıları belirlenmiştir. Bu çalışmada, incelenen çeşitli grupları farklılaştıran polifenolik profili ve renk parametrelerini belirlemek için temel bileşen analizi (PCA) ve hiyerarşik kümeleme analizi (HCA) olarak bilinen çok değişkenli bir analiz yaklaşımı kullanılmıştır. Tüm istatistiksel analizler IBM SPSS yazılımı (versiyon 28, şikago, IL, ABD) ve Minitab yazılımı (versiyon 21, Pensilvanya, ABD) kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Bulgular ve Tartışma

Kurutma Tekniklerinin Renk Özelliklerine Etkisi

Renk değişimi, kahverengileşme indeksi ve beyazlatma indeksi, ürünün ısı, sıcaklık, hava akışı gibi faktörlere maruz kalarak ne kadar renk kaybı yaşadığını anlamak açısından önemli göstergelerdir. Çizelge 1' de, taze portakal dilimlerine kıyasla VK ve MDVK yöntemleriyle kurutulan örneklerin renk parametreleri, kahverengileşme indeksi ve beyazlatma indeksi değerleri sunulmaktadır. Kurutma tekniklerinin, portakal dilimlerinin renk özellikleri üzerinde istatistiksel olarak anlamlı ($p < 0,05$) bir etki gösterdiği belirlenmiştir. Yapılan analizler sonucunda taze örneklerin renk parametreleri L^* , a^* ve b^* sırasıyla 56,49, 15,67 ve 46,99 olarak belirlenmiştir (izelge 1). Bu değerler, kurutma süreci boyunca meydana gelen renk değişimlerinin başlangıç noktasını göstermekte olup, taze örneklere göre kurutulmuş örneklerde renk parametrelerinde anlamlı farklılıklar gözlenmiştir. Önceki alışmada (Özkan-Karabacak ve ark., 2020) portakal örneklerinde kurutma işlemlerinin renk parametreleri üzerindeki etkileri detaylı bir şekilde ele alınmıştır. Ancak söz konusu çalışmada, kahverengileşme indeksi ve beyazlatma indeksi gibi bazı önemli parametrelere yer verilmemiştir. Ayrıca, renk parametreleri arasındaki

korelasyonun kapsamlı bir analizine de değinilmemiştir. Bu çalışmada, mevcut literatürde yer alan verilerle birlikte portakal dilimlerinin renk parametreleri arasındaki ilişkileri ve kurutma tekniklerinin bu parametreler üzerindeki etkilerini daha ayrıntılı incelenerek literatürdeki bu boşlukların doldurması amaçlanmaktadır. Yeni bulguların, kurutma yöntemlerinin renk kalitesi üzerindeki etkilerini daha iyi anlaşılmasına katkı sağlayacağı düşünölmektedir.

Bu alışmada, BI değerı kurutulmadan önceki taze numune 27,91 olarak tespit edilmiştir. VK yöntemi ile BI değerleri ise 28,88 ile 34,88 arasında; MDVK yöntemi ile 34,44 ile 37,94 arasında değişmiştir. İstatistiksel olarak, kurutma yöntemlerinin (VK ve MDVK) kahverengileşme indeksi (BI) üzerindeki istatistiksel olarak etkisi önemli bir bulgu ($p < 0,05$) olarak ortaya çıkmaktadır (izelge 1). Özellikle MDVK yönteminin, VK yöntemine kıyasla kahverengileşme indeksini artırırken beyazlatma indeksini (WI) azalttığı gözlemlenmiştir. Bu durum mikrodalga enerjisinin üründe kahverengi oluşumuna neden olmuştur. Ayrıca, kurutma işleminin genel olarak ürünün görünüm özelliklerini ve besin değerini etkileyebileceği düşünölmektedir; zira renk, tüketici kabulü ve algısı açısından kritik bir parametre olup, besin kalitesinin değerlendirilmesinde de ilk izlenim açısından önemli bir rol oynamaktadır (Pathare ve ark., 2013).

Beyazama indeksi (WI) incelendiğinde izelge 1' de, taze portakal dilimlerine ait WI değerı (34,07) ile en yakın değerler sırasıyla 80°C 15 kPa VK (34,96), 70°C 30 kPa VK (33,24) ve 60°C 30 kPa VK uygulamalarında elde edilmiştir. Taze ürünlere kıyasla en fazla renk kaybı ise 70°C 15 kPa MDVK (27,10), 70°C 15 kPa VK (29,58) ve 60°C 15 kPa MDVK (30,05) kurutma işlemlerinde gözlemlenmiştir. Bu kurutma işlemlerindeki renk kayıplarının, uzun kurutma süreleri nedeniyle üründe artan oksidasyondan kaynaklanabileceği düşünölmektedir (Alibas ve Yılmaz, 2022). WI ve BI değerleri açısından değerlendirildiğinde, 80°C 15 kPa VK tekniği, renk koruma açısından en etkili yöntem olarak öne çıkmaktadır.

Alibas & Yılmaz (2022) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, portakal kabukları mikrodalga ve konvektif kurutma yöntemleri kullanılarak kurutulmuş ve bu numunelerin renk parametreleri ile BI ve WI değerleri incelenmiştir. Söz konusu araştırmadan elde edilen sonuçlar, bu çalışmadaki bulgularla uyum göstermektedir. Başka bir çalışmada, kinnow kabukları farklı kurutma teknikleri (tepsi, vakum ve dondurarak kurutma) ile kurutulmuştur. Çalışmada, taze numunelerde BI değerinin daha yüksek olduğu tespit edilirken, WI değerinin ise kurutma sonrası daha yüksek olduğu rapor edilmiştir. Ayrıca, tepsi ve vakumlu kurutmanın esmerleşme indeksinde artışa ve beyazlatma indeksinde azalmaya yol açtığı gözlemlenmiş; bu durumun, kurutma sırasında kahverengi bileşiklerin oluşumundan kaynaklandığı belirtirmiştir (Rafiq ve ark., 2019). Alibas & Yılmaz (2023) araştırmasında kişniş yapraklarının renk parametreleri, doğal, konvektif ve mikrodalga kurutma teknikleri kullanılarak incelenmiştir. Kahverengileşme indeksi açısından en yüksek değerler, 50°C'de konvektif kurutma yöntemi ile kurutulan örneklerde kaydedilmiştir. Taze ürüne en yakın kahverengileşme indeksi, 200 W mikrodalga kurutma yöntemi ile kurutulan örneklerde ölçölmüş; en düşük değerler ise doğal kurutma yöntemiyle

kurutulan örneklerde elde edilmiştir. Taze örneklerde en yakın beyazlatma indeksi, 800 W'da mikrodalgalı kurutma yöntemi ile kurutulan örneklerde gözlenmiştir; bu örnekleri sırasıyla 200 W'da mikrodalgalı kurutma ve doğal kurutma yöntemleri takip etmiştir. En düşük beyazlatma indeksi, yani en yüksek kararım oranı, 50°C'deki konvektif kurutma yöntemi ile elde edilmiştir. Elde edilen bulgular, bu çalışmadaki sonuçlarla uyumlu niteliktedir.

Elde edilen sonuçlar, kurutma yöntemlerinin portakal dilimlerinin hem organoleptik özellikleri hem de besin değerleri üzerinde belirgin etkiler yarattığını göstermektedir. Özellikle düşük sıcaklık ve kontrollü vakum koşulları, renk kaybını minimize ederek üründe istenen renk kalitesini koruma açısından avantaj sağlamaktadır. Çalışmamız, farklı kurutma tekniklerinin renk kalitesi üzerindeki etkilerini ayrıntılı biçimde ortaya koyarak, gelecekteki uygulamalarda kurutma yönteminin seçiminde yol gösterici bir kaynak olma potansiyeli taşımaktadır. Bu doğrultuda, gıda teknolojisi alanında daha fazla araştırma yapılması, kurutma yöntemlerinin ürün kalitesi üzerindeki etkilerinin daha iyi anlaşılmasına katkı sağlayacaktır.

Kurutma Tekniklerinin Portakal Dilimlerinin Polifenol Profili Üzerindeki Etkisinin HPLC ile İncelenmesi

VK ve MDVK tekniklerinin portakal dilimlerinin polifenol profili üzerindeki etkisi Çizelge 2' de sunulmuştur. Kurutulmuş portakal dilimlerinden 5 adet fenolik asit (vanilik asit, klorojenik asit, gallik asit, sinapik asit ve o-kumarik asit) ve 3 adet flavonoid (epikateşin, hesperidin ve naringenin) olmak üzere 8 ana bileşiğin HPLC ile tanımlanması ve miktar tayini belirlenmiştir. Şekil 1, 80°C 15 kPa VK ile kurutulmuş numunenin 280 ve 312 nm'de ilgili HPLC kromatogramını göstermektedir. Tanımlanan 8 ana bileşen arasında, farklı kurutma yöntemlerinin her bir bileşenin içeriği üzerindeki etkileri istatistiksel olarak anlamlı farklılık göstermektedir ($p < 0,05$).

Bu çalışmada, farklı kurutma işlemlerinin taze portakal dilimlerindeki fenolik bileşikler üzerindeki etkileri

incelenmiştir. Taze örneklerde belirlenen yüksek fenolik bileşik seviyeleri, uygulanan kurutma işlemleri sonucunda kayda değer oranlarda azalmıştır. Bu sonuçlar önceki çalışmada sunulan aynı örneklerin toplam fenolik madde içeriği verileri ile uyumludur (Özkan Karabacak ve ark., 2020).

Sonuçlar, taze ve kurutulmuş portakal dilimlerinden elde edilen ekstraktların başlıca fenolik asit bileşeninin vanilik asit olduğunu göstermektedir; bu bileşiğin miktarı 77,50–503,63 mg/g kuru madde aralığında değişiklik göstermiştir. Taze örnekte 503,63 mg/g olarak belirlenen vanilik asit miktarı, kurutma işlemleri sonrasında özellikle 70°C ve 15 kPa MDVK koşullarında 77,50 mg/g seviyesine düşerek %84,6'lık bir azalma göstermiştir. Benzer şekilde, başlangıçta 187,22 mg/g olarak ölçülen klorojenik asit miktarı, kurutma işlemleri sonrasında en düşük seviyeyi 22,53 mg/g (70°C 15 kPa MDVK) olarak göstermiştir ve bu durum %84'lük bir azalmayı ifade etmektedir. Gallik asit miktarı taze örnekte 181,30 mg/g olarak tespit edilmiş olup, 70°C 15 kPa MDVK işleminde 23,78 mg/g seviyesine düşerek %86,9 oranında bir azalma kaydedilmiştir. Sinapik asit, taze örnekte 254,56 mg/g iken, kurutma işlemi sonrasında 80°C 30 kPa MDVK işleminde 22,13 mg/g seviyesine kadar azalmış ve %91,3 oranında bir düşüş gözlenmiştir. Benzer şekilde, o-kumarik asit içeriği taze örnekte 169,21 mg/g olarak belirlenmiş olup, kurutma işlemi sonrasında en düşük seviyeye (3,59 mg/g, 80°C 30 kPa MDVK) ulaşarak %97,9 oranında bir azalma göstermiştir.

Çalışmanın sonuçlarından başlıca flavonoid bileşeninin hesperidin olduğu saptanmıştır. Hesperidin miktarı 1022,98–5592,13 mg/g kuru madde aralığında belirlenmiş ve %78,7 oranında bir azalma göstermiştir. Epikateşin miktarı taze örnekte 930,75 mg/g olarak tespit edilmiş olup, kurutma işlemi sonrasında en düşük seviyeye 99,20 mg/g (80°C 30 kPa MDVK) olarak inmiş ve %89,3 oranında bir azalma kaydedilmiştir. Naringenin miktarı taze örnekte 236,86 mg/g olarak ölçülmüş olup, kurutma işlemleri sonrasında en düşük değeri 41,76 mg/g (80°C 30 kPa MDVK) olarak gözlemlenmiş ve %82,4 oranında bir azalma kaydedilmiştir.

Çizelge 1. Farklı tekniklerle kurutulan portakal dilimlerin renk parametreleri

Table 1. Color parameters of orange slices dried by different techniques

Kurutma İşlemleri	L^{*1}	a^{*1}	b^{*1}	ΔE^{*1}_{ab}	BI^2	WI^2
Taze	56,49 ± 0,07 ^a	15,67 ± 0,01 ^k	46,99 ± 0,08 ^c	—	27,91 ± 0,02 ⁱ	34,07 ± 0,02 ^{ab}
60°C 15 kPa VK	51,11 ± 0,05 ^c	18,82 ± 0,01 ^f	45,05 ± 0,01 ^f	6,52 ± 0,01 ^g	34,40 ± 0,04 ^e	30,94 ± 0,04 ^f
60°C 15 kPa MDVK	51,99 ± 0,03 ^c	19,93 ± 0,02 ^c	46,81 ± 0,04 ^d	6,19 ± 0,01 ⁱ	35,62 ± 0,03 ^c	30,05 ± 0,05 ^g
60°C 30 kPa VK	50,70 ± 0,23 ^f	18,18 ± 0,11 ^g	41,99 ± 0,19 ⁱ	8,05 ± 0,02 ^c	33,20 ± 0,05 ^f	32,74 ± 0,07 ^c
60°C 30 kPa MDVK	50,22 ± 0,06 ^g	18,87 ± 0,06 ^f	42,17 ± 0,09 ^h	8,53 ± 0,02 ^d	34,44 ± 0,04 ^e	32,09 ± 0,08 ^d
70°C 15 kPa VK	51,19 ± 0,01 ^{de}	18,15 ± 0,05 ^g	47,41 ± 0,08 ^b	5,87 ± 0,01 ^j	34,05 ± 0,03 ^e	29,58 ± 0,05 ^h
70°C 15 kPa MDVK	51,57 ± 0,01 ^d	20,94 ± 0,01 ^b	50,31 ± 0,06 ^a	7,93 ± 0,02 ^f	37,94 ± 0,06 ^a	27,10 ± 0,04 ⁱ
70°C 30 kPa VK	47,06 ± 0,07 ⁱ	17,82 ± 0,02 ^h	40,55 ± 0,08 ^k	11,62 ± 0,04 ^a	34,88 ± 0,05 ^d	33,24 ± 0,04 ^b
70°C 30 kPa MDVK	51,36 ± 0,02 ^d	21,07 ± 0,04 ^a	40,58 ± 0,02 ^k	9,82 ± 0,03 ^b	36,09 ± 0,06 ^b	30,97 ± 0,02 ^f
80°C 15 kPa VK	52,80 ± 0,06 ^b	15,76 ± 0,05 ^j	41,88 ± 0,06 ^{ij}	6,29 ± 0,01 ^h	28,88 ± 0,03 ^h	34,96 ± 0,07 ^a
80°C 15 kPa MDVK	52,10 ± 0,03 ^c	19,36 ± 0,03 ^d	46,14 ± 0,02 ^e	5,80 ± 0,01 ^k	34,70 ± 0,04 ^d	30,73 ± 0,05 ^f
80°C 30 kPa VK	49,20 ± 0,24 ^h	16,59 ± 0,11 ⁱ	41,74 ± 0,22 ^j	9,02 ± 0,03 ^c	32,04 ± 0,03 ^g	32,19 ± 0,03 ^d
80°C 30 kPa MDVK	50,29 ± 0,08 ^g	19,13 ± 0,01 ^e	43,43 ± 0,03 ^f	7,94 ± 0,02 ^f	35,01 ± 0,06 ^c	31,27 ± 0,06 ^e

*Sütünlardaki farklı harfler istatistiksel olarak önemli farklılıkları temsil etmektedir ($p < 0,05$); ¹Bu veriler bir önceki çalışmamızdan alıntılanmıştır (Ozkan-Karabacak ve ark., 2020); ²BI: Kahverengileşme indeksi; WI: Beyazlama indeksi

Çizelge 2. Farklı tekniklerle kurutulmuş portakal dilimlerinin bireysel polifenolik içerikler (mg/g kuru ağırlık)
Table 2. Individual polyphenolic contents of orange slices dried by different techniques (mg/g dry weight)

Kurutma İşlemleri	Fenolik asitler				
	Vanilik asit	Klorojenik asit	Gallik asit	Sinapik asit	o-kumarik asit
Taze	503,63±71,16 ^a	187,22±18,98 ^a	181,30±22,00 ^a	254,56±11,52 ^a	169,21±32,00 ^a
60°C 15 kPa VK	128,16±7,69 ^{bc}	37,70±1,84 ^{efg}	35,53±6,14 ^{bcde}	35,29±3,32 ^{def}	13,18±1,81 ^{bc}
60°C 15 kPa MDVK	111,38±11,80 ^{bc}	29,89±1,15 ^{fg}	32,12±1,72 ^{cde}	31,53±1,96 ^{efg}	15,10±2,40 ^{bc}
60°C 30 kPa VK	104,38±3,22 ^{bc}	64,56±6,33 ^{bc}	33,34±1,02 ^{cde}	56,16±2,61 ^b	27,77±1,08 ^b
60°C 30 kPa MDVK	112,70±1,79 ^{bc}	49,95±5,08 ^{cde}	39,53±2,73 ^{bcde}	33,65±3,24 ^{ef}	8,48±1,39 ^{bc}
70°C 15 kPa VK	86,55±3,49 ^{bc}	58,68±0,31 ^{bcd}	27,03±2,05 ^{de}	49,65±5,88 ^{bc}	10,59±2,94 ^{bc}
70°C 15 kPa MDVK	77,50±0,31 ^c	22,53±0,84 ^g	23,78±0,93 ^e	36,46±1,80 ^{def}	18,74±0,50 ^{bc}
70°C 30 kPa VK	92,15±3,79 ^{bc}	71,88±1,70 ^b	34,84±2,06 ^{cde}	38,42±6,15 ^{def}	11,37±0,76 ^{bc}
70°C 30 kPa MDVK	134,21±4,58 ^b	37,52±0,86 ^{efg}	26,08±1,72 ^{de}	42,15±0,79 ^{cde}	19,50±1,19 ^{bc}
80°C 15 kPa VK	80,69±0,64 ^c	41,47±13,25 ^{def}	33,07±3,74 ^{cde}	28,10±0,71 ^{fg}	12,61±1,11 ^{bc}
80°C 15 kPa MDVK	78,75±4,96 ^c	64,24±6,82 ^{bc}	51,99±4,44 ^b	45,86±2,60 ^{bcd}	19,23±2,07 ^{bc}
80°C 30 kPa VK	122,59±5,33 ^{bc}	60,70±3,10 ^{bc}	48,75±1,36 ^{bc}	38,73±1,59 ^{cdef}	11,51±1,54 ^{bc}
80°C 30 kPa MDVK	116,57±3,63 ^{bc}	35,08±0,87 ^{efg}	41,50±1,44 ^{bcd}	22,13±0,37 ^g	3,59±0,55 ^c
Kurutma İşlemleri	Flavonoidler				
	Epikateşin	Hesperidin	Naringenin		
Taze	930,75±39,44 ^a	5592,13±615,03 ^a	236,86±19,90 ^a		
60°C 15 kPa VK	275,80±25,92 ^{bc}	2255,99±149,65 ^c	81,25±13,71 ^{ef}		
60°C 15 kPa MDVK	129,92±14,49 ^{ef}	1091,93±144,63 ^e	67,15±2,87 ^{ef}		
60°C 30 kPa VK	141,67±23,27 ^{ef}	1280,88±48,02 ^{de}	65,95±1,75 ^{efg}		
60°C 30 kPa MDVK	167,59±12,92 ^{de}	2262,96±126,39 ^c	135,65±5,09 ^b		
70°C 15 kPa VK	181,17±21,15 ^{de}	1470,62±39,28 ^{de}	71,76±12,29 ^{ef}		
70°C 15 kPa MDVK	242,04±10,93 ^c	2468,07±56,17 ^{bc}	59,59±2,34 ^{fg}		
70°C 30 kPa VK	128,02±1,86 ^{ef}	1022,98±8,30 ^e	69,03±1,49 ^{ef}		
70°C 30 kPa MDVK	221,11±35,64 ^{cd}	2477,31±41,00 ^{bc}	143,40±3,03 ^b		
80°C 15 kPa VK	153,88±5,86 ^{ef}	1739,10±6,01 ^d	108,62±0,95 ^{cd}		
80°C 15 kPa MDVK	321,39±28,83 ^b	2837,76±159,08 ^b	127,12±2,45 ^{bc}		
80°C 30 kPa VK	167,57±10,73 ^{de}	1468,57±51,01 ^{de}	87,72±3,90 ^{de}		
80°C 30 kPa MDVK	99,20±20,93 ^f	1191,23±34,19 ^e	41,76±0,52 ^g		

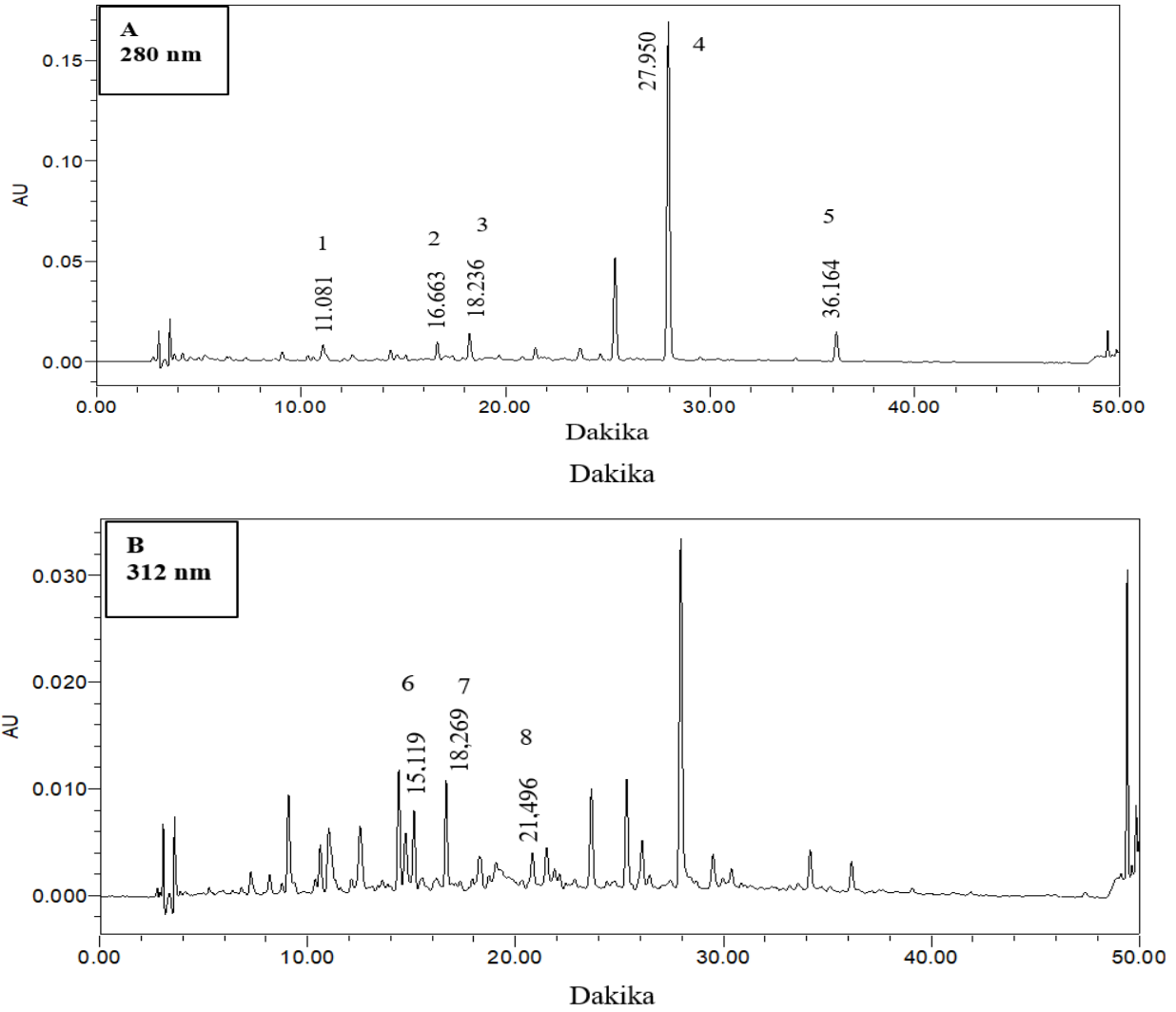
*Sütünlardaki farklı harfler istatistiksel olarak önemli farklılıkları temsil etmektedir (p<0,05)

Bu çalışma, yirmi bir çeşit turuncu meyvesinin flavado özütlerini inceleyen ve hesperidin tüm flavado özütlerinde en yüksek konsantrasyonlarda bulunduğunu bildiren Ramful ve ark. (2010)' un sonuçlarıyla güçlü bir şekilde korelasyon göstermektedir. Bir diğer çalışma, sıcak hava kurutma ve mikrodalga ön işlemleri uygulanarak gerçekleştirilen sıcak hava kurutma yöntemleriyle elde edilen örneklerin analizleri yapılmıştır. Bu çalışmada, taze ve kurutulmuş portakal dilimlerinden elde edilen ekstraktların temel flavonoid ve fenolik asit bileşenleri sırasıyla hesperidin (1370,10–5592,13 mg/g km) ve vanilik asit (49,36–503,63 mg/g km) olarak belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, hem sıcak hava kurutma hem de mikrodalga ön işlem uygulamalarının portakal dilimlerinin fenolik bileşen profilleri üzerindeki etkilerini net bir şekilde ortaya koymakta ve bu yöntemlerin ürün kalitesine olan etkisini vurgulamaktadır (Özkan-Karabacak ve ark., 2023). Bu çalışmanın bulguları, mevcut araştırmamızın sonuçlarıyla da uyum göstermektedir.

Safdar ve ark. (2017) HPLC yöntemini kullanarak gerçekleştirdikleri çalışmada, *Citrus reticulata* kabuğundaki en yüksek konsantrasyonlarda bulunan fenolik bileşikler (gallik asit, klorojenik asit, hesperidin ve naringenin) tespit etmiştir. Daha önce, Chun ve ark. (2007) flavonoidlerin bitkilerin antioksidan aktivitelerindeki rolüne dikkat çekmiştir. Portakalda bulunan başlıca flavanon bileşenleri hesperidin ve naringenin olup, bu bileşenler arasında hesperidin daha yüksek bir

konsantrasyona sahiptir (Wang ve ark., 2008). Khan ve ark. (2010) tarafından yapılan bir çalışmada, portakal kabuğu ekstraktlarındaki flavanon bileşenleri olan hesperidin ve naringenin HPLC yöntemi ile sırasıyla 205,20 mg/100 g ve 70,30 mg/100 g taze ağırlık olarak ölçüldüğü rapor edilmiştir.

Kurutulmuş portakal dilimlerinde, taze portakal dilimlerine kıyasla fenolik bileşiklerde belirgin bir azalma gözlenmiştir. Bu bulgular, literatürde bildirilen termal işlemlerin fenolik ve flavonoid bileşikler üzerindeki bozucu etkileriyle uyumlu olup, özellikle yüksek sıcaklıkta yapılan kurutma işlemlerinin biyoaktif bileşiklerde kayıplara yol açabileceğini göstermektedir (Ahmed ve ark., 2024; M'hiri ve ark., 2017; Özkan-Karabacak ve ark., 2020). Literatürde fenolik bileşiklerin stabilitesini korumak amacıyla düşük sıcaklık ve vakum destekli kurutma tekniklerinin tercih edilmesi önerilmekte olup, bu çalışmada da görüldüğü gibi mikrodalga destekli vakumlu kurutma yönteminin uygun koşullarda uygulanması biyoaktif bileşiklerin daha iyi korunmasını sağlamaktadır (ElGamal ve ark., 2023; López ve ark., 2017; Papoutsis ve ark., 2017). Bu azalmanın, kurutma işlemi sırasında uygulanan ısının fenolik bileşiklerin yapısını bozmasıyla ilişkili olduğu düşünülmektedir. Ayrıca, fenolik içeriği etkileyen bu değişim, materyalin türü, yetiştirme koşulları, hasat zamanı, hasattan sonra portakalın dilimlenme şekli, uygulanan kurutma yöntemi, sıcaklık ve süre gibi çeşitli faktörlere de bağlı olabilir (Ahmed ve ark., 2024).



Şekil 1. 80°C 15 kPa VK kromatogramı A-280 nm (1) vanilik asit; (2) gallik asit; (3) epikateşin; (4) hesperidin; (5) naringenin; B-312 nm (6) sinapik asit; (7) klorojenik asit; (8) o-kumarik asit

Figure 1. 80°C 15 kPa VK chromatogram A-280 nm (1) vanillic acid; (2) gallic acid; (3) epicatechin; (4) hesperidin; (5) naringenin; B-312 nm (6) sinapic acid; (7) chlorogenic acid; (8) o-coumaric acid

Portakal Dilimlerinin Kurutma Teknikleri ile Korelasyonunun, Temel Bileşen ve Hiyerarşik Kümeleme Analizleri Kullanılarak İncelenmesi

Korelasyon analizi, değişkenler arasındaki etkileşimleri anlamak ve dolaylı ilişkileri belirlemek açısından önemli bir rol oynamaktadır (Ratner, 2009). Elde edilen sonuçlar, kurutma yöntemlerinin portakal dilimlerinin renk özellikleri üzerindeki etkisini daha iyi kavramasına yardımcı olmaktadır.

Şekil 2, portakal dilimlerinin VK ve MDVK yöntemleriyle kurutulması sürecinde ölçülen ve hesaplanan parametreler arasındaki pozitif ve negatif doğrusal korelasyonları göstermektedir. Bu doğrultuda, renk parametreleri arasında birçok pozitif ve negatif anlamlı doğrusal korelasyonun varlığı saptanmıştır. En güçlü pozitif korelasyon, BI ile a^* ($R^2=0,93$) arasında gözlenmiştir; en güçlü negatif korelasyonlar ise L^* ile ΔE^* ($R^2=-0,92$), BI ile WI ($R^2=-0,82$) ve a^* ile WI ($R^2=-0,80$) arasında tespit edilmiştir. Ayrıca, L^* ile b^* ($R^2=0,51$) ve BI ile ΔE^* ($R^2=0,60$) arasında orta derecede pozitif korelasyon bulunurken, WI ile b^* ($R^2=-0,65$) ve L^* ile BI ($R^2=-0,52$) arasında orta derecede negatif korelasyon

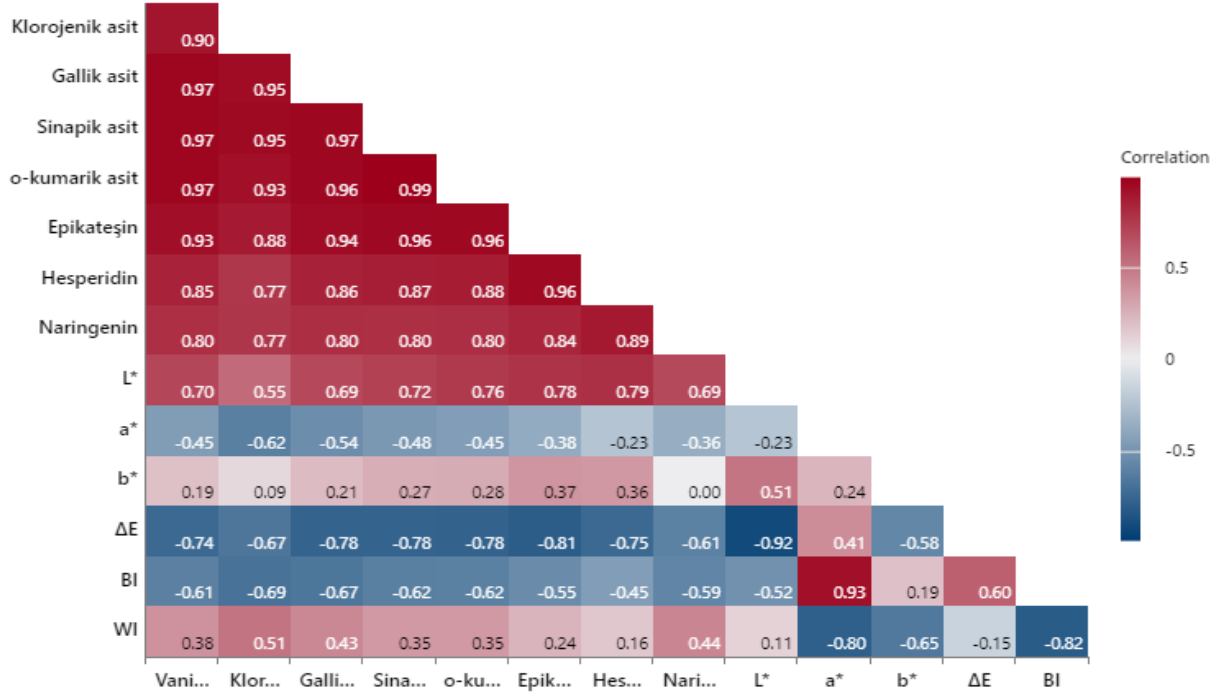
belirlenmiştir. Öte yandan, ΔE^* ile a^* ($R^2=0,41$) arasında zayıf pozitif bir korelasyon saptanırken, ΔE^* ile b^* ($R^2=-0,58$) arasında ise orta derecede negatif bir korelasyon saptanmıştır. Bu bulgular, Alibas & Yılmaz (2022) tarafından yapılan benzer bir çalışmada elde edilen sonuçlarla tutarlılık göstermektedir. Bir başka çalışmada ise; kinnow (*Citrus reticulata*) kabuklarının farklı kurutma teknikleri ile kurutulması sonucunda elde edilen renk parametreleri arasındaki korelasyon incelenmiştir. Elde edilen bulgular, beyazlatma indeksinin esmerleşme indeksi ile negatif bir korelasyon gösterdiğini ortaya koymaktadır. Ayrıca, a^* değeri ile b^* değeri arasında pozitif bir korelasyon gözlemlenirken, a^* değeri beyazlatma indeksi ile negatif bir korelasyon sergilemiştir (Rafiq ve ark., 2019). Bu sonuçlar, bu çalışmadan elde edilen bulgularla uyum göstermektedir.

Portakal dilimlerinin kurutulması sürecinde elde edilen veriler, polifenol bileşenleri ile renk parametreleri arasındaki ilişkilerin detaylı bir incelemesini sunmaktadır. Analiz sonuçlarına göre, L^* değeri ile polifenol bileşenleri arasında orta derecede pozitif korelasyon ($R^2=0,55-0,79$) bulunmuştur. Epikateşin bileşeni ile ΔE^* arasında yüksek

negatif korelasyon ($R^2=-0,81$) tespit edilmiştir. Diğer polifenol bileşenleri ile ΔE^* arasında ise orta derecede negatif korelasyon ($R^2=-0,61$ ila $-0,78$) saptanırken, BI ile polifenol bileşenleri arasında da benzer şekilde orta derecede negatif korelasyon ($R^2=-0,52$ ila $-0,69$) bulunmuştur. Çalışmalar, polifenol bileşenlerinin özellikle oksidatif reaksiyonlarla renk değişikliklerine katkıda bulunduğunu ve fenolik bileşenlerdeki azalmanın renk parametrelerini doğrudan etkilediğini göstermektedir (Pandey & Rizvi, 2009; Wojdylo ve ark., 2020). Örneğin, kurutma işlemi sırasında polifenollerin oksidasyonu, renk koyulaşmasına ve düşük L^* değerine yol açabilmektedir; bu durum, daha düşük parlaklık ile ilişkilendirilirken b^* ve

a^* değerlerinde artışa neden olabilmektedir (Wojdylo ve ark., 2020). Ayrıca, BI değerindeki düşüş, polifenoloksidaz enziminin etkisiyle enzimatik esmerleşme reaksiyonlarının artışıyla ilişkilendirilebilir; bu durum, genellikle biyoaktif bileşenlerin azalmasını ve renk koyulaşmasını yansıtmaktadır. Tüm polifenol bileşenleri kendi aralarında yüksek pozitif korelasyon ($R^2=0,77-0,99$) göstermiştir.

Temel bileşen analizi, büyük veri kümelerinin boyutluluğunu azaltmak ve sonuçların daha anlamlı bir şekilde yorumlanmasını kolaylaştırmak için kullanılmıştır. İstatistiksel analiz için tutulması gereken faktör sayısı, veri setinin yanı sıra açıklanan varyans miktarına da bağlıdır (Cozzolino ve ark., 2019).

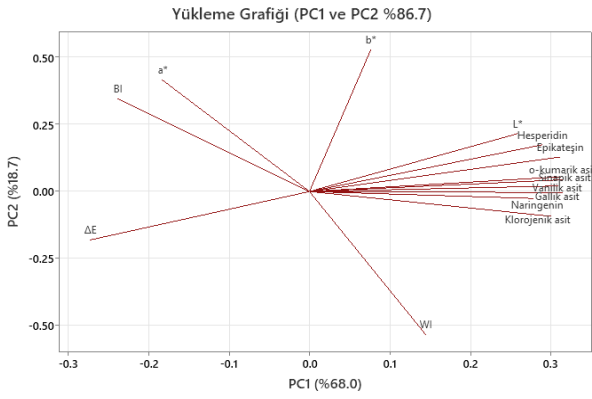


Şekil 2. Portakal dilimlerinin kurutma teknikleri ile korelasyonu
Figure 2. Correlation of orange slices with drying techniques

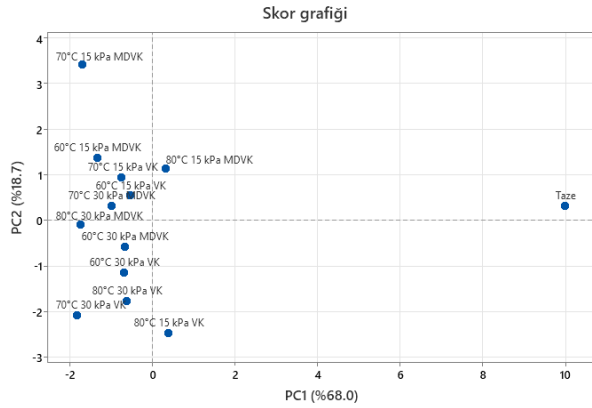
Çizelge 3. İki temel bileşene kadar açıklanan varyans oranları

Table 3. Variance ratios explained up to two principal components

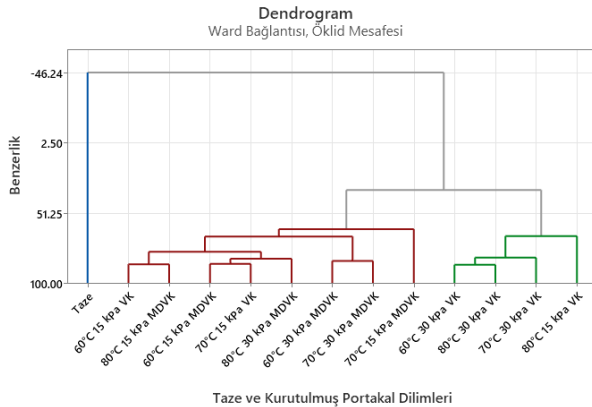
Değişken	PC1	PC2
Özdeğer	9,5211	2,6231
Yüzde (%)	68,0	18,7
Kümülatif	68,0	86,7
Vanilik asit	0,952	0,033
Klorojenik asit	0,929	-0,150
Gallik asit	0,972	-0,006
Sinapik asit	0,971	0,071
o-kumarik asit	0,971	0,089
Epikateşin	0,961	0,208
Hesperidin	0,893	0,282
Naringenin	0,857	-0,042
L^*	0,797	0,349
a^*	-0,567	0,675
b^*	0,236	0,857
ΔE^*_{ab}	-0,841	-0,292
BI	-0,737	0,561
WI	0,448	-0,866



Şekil 3. Portakal dilimlerin PCA-yükleme grafiği
Figure 3. PCA-loading plot of orange slices



Şekil 4. Portakal dilimlerin PCA-skor grafiği
Figure 4. PCA-score plot of orange slices



Şekil 5. Hiyerarşik kümeleme analizi
Figure 5. Hierarchical clustering analysis

Şekil 3'e göre, yüklem grafiğindeki her nokta, renk parametreleri ve polifenol bileşenleri gibi değişkenlerin skora katkısını temsil etmekte; skor grafiğindeki her nokta ise test edilen bir örneği ifade etmektedir. Temel bileşen analizinde, analizin güvenilirliğini sağlamak amacıyla özdeğerleri 1,00'den büyük olan bileşenler korunmuştur.

Çizelge 3'deki verilere göre, değişkenlerin PC1 ve PC2 bileşenlerine olan pozitif ve negatif katkıları, polifenolik bileşikler ve renk parametreleri açısından başlıca varyasyon kaynaklarını anlamaya yardımcı olmaktadır. PC1 bileşeni, toplam varyansın %68,0'ini açıklamakta olup, özellikle fenolik bileşiklerden vanilik asit (0,952), klorojenik asit (0,929), gallik asit (0,972), sinapik asit (0,971), o-kumarik asit (0,971), epikateşin (0,961),

hesperidin (0,893) ve naringenin (0,857) yüksek pozitif yük değerleriyle dikkat çekmektedir. Bu durum, PC1'in polifenolik bileşenlerin etkisini yansıttığını göstermektedir. Renk parametrelerinden ise L^* (0,797) pozitif katkıda bulunurken, ΔE^* (-0,841) ve BI (-0,737) negatif yüklerle PC1'e katkı sağlamaktadır. Bu sonuçlar, PC1'in fenolik bileşiklerin yanı sıra renk değişiklikleriyle de ilişkili olduğunu işaret etmektedir.

PC2 bileşeni, toplam varyansın %18,7'sini açıklamakta ve renk parametrelerinden b^* (0,857), a^* (0,675) ve BI (0,561) değişkenleri yüksek pozitif yüklerle katkı sağlamaktadır. Buna karşın, PC2 bileşeninde WI (-0,866) ve ΔE^* (-0,292) değişkenlerinin negatif yükleri, bu bileşenin renk parametreleri üzerinde farklı yönlere etkileri olduğunu göstermektedir.

Kümülatif olarak %86,7 oranında varyansı açıklayan bu iki bileşen, hem fenolik bileşiklerin hem de renk özelliklerinin değişiminde belirleyici olup, analiz edilen özelliklerin başlıca varyasyon kaynaklarını yeterince temsil etmektedir. Vektör yönünde ilerledikçe, ilgili niteliklerin değerlerinde bir artış gözlemlenmekte ve bu konumdaki örnekler söz konusu nitelikler ile tanımlanmaktadır. Vektörün ters yönü ise, bu nitelikler arasında negatif bir korelasyon bulunduğunu göstermektedir.

Şekil 4'te sunulan temel bileşen analizi (PCA) skor grafiği, portakal dilimlerinin PC1 ve PC2 eksenleri boyunca konumlanmalarını göstermektedir. Grafikteki verilere göre, PC1 boyunca taze portakal dilimleri yüksek bir korelasyon sergilemekte iken; 80°C 15 kPa MDVK örneği zayıf bir korelasyon göstermiştir. Polifenol bileşenleri ve L^* değeri, taze numunelerde yüksek değerlerle kümelmiştir. Bununla birlikte, 60°C 30 kPa VK, 60°C 30 kPa MDVK, 70°C 30 kPa VK, 80°C 30 kPa VK ve 80°C 30 kPa MDVK örnekleri PC1'e negatif katkı sağlarken, özellikle ΔE^* parametresinin yüksek bir etki yarattığı gözlemlenmiştir. Ayrıca, 60°C 15 kPa VK, 60°C 15 kPa MDVK, 70°C 15 kPa VK, 70°C 15 kPa MDVK ve 70°C 30 kPa MDVK örnekleri PC2 eksenini boyunca pozitif bir katkı yaparken, 80°C 15 kPa VK numaralı örnek negatif bir etki göstermiştir. Ek olarak, 80°C 15 kPa VK örneği WI parametresinde yüksek değerlere sahip olduğu belirlenmiştir. Bu açıdan (Özkan-Karabacak ve ark., 2023) çalışmasıyla uyum göstermektedir. Bu bağlamda, önceki araştırmalar, farklı kurutma yöntemleri ve sıcaklıkların kurutulmuş ürünlerdeki biyoaktif bileşen seviyeleri üzerinde önemli etkileri olan temel faktörler olduğunu ortaya koymuş ve kurutma sürecinde meyvelerdeki kimyasal değişimlerin gerçekleştiğini desteklemiştir (Rafiq ve ark., 2019; Wojdylo ve ark., 2020).

Bu bulgular, elde edilen tüm değişkenler için gözlemlenen sonuçlarla tutarlılık göstermekte olup, önceki bölümlerde tartışılan verilerle uyum içindedir. PCA analizi, portakal dilimi örneklerinin kimyasal ve polifenol profillerini belirgin bir şekilde ayırt etmiş ve çeşitli parametrelerin dağılımı hakkında kapsamlı bir perspektif sunmuştur.

Hiyerarşik Kümeleme Analizi (HCA), incelenen örneklerdeki doğal gruplamaları tanımlamak amacıyla ölçülen özellikleri kullanarak yapılan sistematik bir sınıflandırma yöntemidir. Bu teknikte, öncelikle veriler standardize edilir ve ardından hiyerarşik kümeleme yöntemiyle, örnekler arasındaki benzerlik ve farklılıkları

yansıtan bir dendrogram oluşturulmaktadır (Patras ve ark., 2011). Şekil 5' te sunulan dendrogramda, taze ve kurutulmuş portakal dilimlerinin polifenolik içerikleri ve renk parametreleri, Ward yöntemi kullanılarak üç farklı grupta kümelendirilmiştir. Bu gruplama, kurutma işlemlerinin polifenolik içerik ve renk üzerinde belirgin bir etkiye sahip olduğunu ve kurutulmuş örneklerin taze örneklerden ayrıştığını göstermektedir. Hiyerarşik kümeleme analizi (HCA), yalnızca mesafelere dayandığı için Temel Bileşen Analizi'ne (PCA) kıyasla daha az bilgi kullanmaktadır. Yalnızca mesafelere dayanarak yapılabilecek sınıflandırma türlerinin gözlemlenmesi oldukça ilgi çekicidir (Patras ve ark., 2011).

Taze örnek, yüksek polifenol içeriği ile ilişkili olarak ilk kümede yer almakta ve diğer örneklerden belirgin bir şekilde ayrılmaktadır (Çizelge 2). Bu sonuç, taze örneğin PCA analizinde diğer örneklerden uzak bir konumda yer almasıyla uyum göstermektedir. İkinci küme, mikrodalga ön işlem uygulanan vakumlu kurutma teknikleri ile oluşturulmuş olup, bu kümeyle ait 70°C 15 kPa MDVK uygulanan örnekler, renk parametreleri bakımından diğer örneklerden ayrılmaktadır (Çizelge 1). Bu farklılık, PCA analizinde de diğer örneklerden belirgin bir uzaklıkla konumlanan bu örnek için tutarlı sonuçlar sunmaktadır. Üçüncü küme ise yalnızca vakumlu kurutma teknikleri ile elde edilen örnekleri içermekte olup, kurutulmuş örneklerin polifenol içeriği ikinci kümeyle kıyasla daha yüksektir (Çizelge 2). Bu durum, örneklerin ortak analitik özelliklerine göre doğal gruplama eğilimlerinin dendrogram analizinde açıkça gözlemlenmesiyle desteklenmektedir. Şekil 4' teki skor grafiği ile dendrogram karşılaştırıldığında, taze ve kurutulmuş örneklerin ayrıştığı, taze örneğin diğer örneklerden farklı bir davranış sergilediği görülmektedir. Bu bulgular, polifenolik bileşiklerin analizinde kullanılan HCA ve PCA tekniklerinin, örneklerin işlem koşullarına göre sınıflandırılmasında etkin bir araç olduğunu göstermektedir.

Sonuç

Bu çalışma, belirli sıcaklık ve basınç koşullarında gerçekleştirilen vakumlu kurutma işlemi öncesinde uygulanan mikrodalga ön işleminin (90 W, 30 dk), portakal dilimlerinin kalite özellikleri üzerindeki etkisini ortaya koymaktadır. İncelenen koşullar arasında, 80°C ve 15 kPa vakumlu kurutma koşulu (mikrodalga ön işlem uygulanmadan) taze örneklerle en yakın esmerleşme indeksi (BI) ve beyazlatma indeksi (WI) değerlerini sağlayarak portakal dilimlerinin doğal renk özelliklerinin korunmasında daha etkili olmuştur. Ayrıca, bu sıcaklık ve basınç koşulunda elde edilen polifenolik bileşik seviyeleri (örneğin, vanilik asit, klorojenik asit ve hesperidin), ürünün besin değerlerinin korunmasına yönelik önemli bir avantaj sağlamıştır.

Renk parametreleri ve polifenolik profil arasındaki ilişkilerin değerlendirilmesi için uygulanan PCA ve HCA, örneklerin kimyasal ve fenolik bileşen profillerinin ayrıştırılmasına olanak sağlamış ve 80°C ile 15 kPa koşulunun kalite parametreleri açısından en uygun koşul olduğunu vurgulamıştır. Portakal dilimlerinin renk ve besin değerlerinin korunması açısından en ideal yaklaşım olduğunu göstermektedir. Çalışma, narenciye kurutma işlemlerinde

ürün kalitesini optimize etmeye yönelik önemli bulgular sunarak, endüstriyel işlem süreçleri ve tüketici sağlığı açısından önemli çıkarımlar sağlamaktadır. Gelecekte yapılacak araştırmalarda, farklı kurutma tekniklerinin (örneğin, ultrasonik veya osmotik ön işlemler) ve değişen sıcaklık ile basınç kombinasyonlarının çeşitli narenciye türlerinin yanısıra geniş bir ürün yelpazesinde biyokimyasal ve duyuşal özellikleri üzerindeki etkilerini karşılaştırmalı olarak incelenmelidir. Özellikle uzun süreli depolama koşulları altında bu tür kurutulmuş ürünlerin kalite parametrelerinde meydana gelen değişimlerin incelenmesi, ürünün raf ömrü ve tüketici kabulü açısından değerli bilgiler sunacaktır. Ayrıca, kurutma sürecinde polifenolik bileşiklerin stabilitesini artırmak amacıyla farklı ön işleme yöntemleri veya alternatif kurutma koşulları ile entegre yaklaşımlar geliştirmek, ürün kalitesini daha etkin koruma stratejilerine katkı sağlayacaktır.

Beyanlar

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

Kaynaklar

- Ahmed, I., Özcan, M., Uslu, N., Mohammed, B., & Adiamo, O. (2024). The Effects of Microwave and Oven Drying on Bioactive Compounds Individual Phenolic Constituents and the Fatty Acid Profiles of Bitter Orange, Mandarin and Grapefruit Peel and Oils. *Waste and Biomass Valorization*, 15, 4735-4746. <https://doi.org/10.1007/s12649-024-02488-2>
- Alibas, I., & Yilmaz, A. (2022). Microwave and convective drying kinetics and thermal properties of orange slices and effect of drying on some phytochemical parameters. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 147, 8301-8321. <https://doi.org/10.1007/s10973-021-11108-3>
- Alibas, I., & Yilmaz, A. (2023). Influence of Basic Drying Techniques on Color, Protein and Mineral Composition of Coriander Leaves. *Ksu Tarım ve Doga Dergisi-Ksu Journal of Agriculture and Nature*, 26, 1065-+. <https://doi.org/10.18016/ksutarimdoga.vi.1144982>
- Boris, H., Shriekha, D., & Sujata, J. (2018). Modelling of vacuum drying of cherry pepper. *Asian Journal of Dairy and Food Research*, 37(4), 316-320. DOI: 10.18805/ajdf.R-1265
- Bozkir, H. (2020). Effects of hot air, vacuum infrared, and vacuum microwave dryers on the drying kinetics and quality characteristics of orange slices. *Journal of Food Process Engineering*, 43, Article e13485. <https://doi.org/10.1111/jfpe.13485>
- Capanoglu, E., Beekwilder, J., Boyacioglu, D., Hall, R., & De Vos, R. (2008). Changes in antioxidant and metabolite profiles during production of tomato paste. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56, 964-973. <https://doi.org/10.1021/jf072990e>
- Chen, A., El Achkar, G., Liu, B., & Bennacer, R. (2021). Experimental study on moisture kinetics and microstructure evolution in apples during high power microwave drying process. *Journal of Food Engineering*, 292, Article 110362. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2020.110362>
- Chong, C., Figiel, A., Law, C., & Wojdylo, A. (2014). Combined Drying of Apple Cubes by Using of Heat Pump, Vacuum-Microwave, and Intermittent Techniques. *Food and Bioprocess Technology*, 7, 975-989. <https://doi.org/10.1007/s11947-013-1123-7>
- Chun, O., Chung, S., & Song, W. (2007). Estimated dietary flavonoid intake and major food sources of US adults. *Journal of Nutrition*, 137, 1244-1252. <https://doi.org/10.1093/jn/137.5.1244>

- Cozzolino, D., Power, A., & Chapman, J. (2019). Interpreting and Reporting Principal Component Analysis in Food Science Analysis and Beyond. *Food Analytical Methods*, 12, 2469-2473. <https://doi.org/10.1007/s12161-019-01605-5>
- Cuccurullo, G., Giordano, L., Metallo, A., & Cinquanta, L. (2018). Drying rate control in microwave assisted processing of sliced apples. *Biosystems Engineering*, 170, 24-30. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2018.03.010>
- Deng, L., Mujumdar, A., Yang, W., Zhang, Q., Zheng, Z., Wu, M., & Xiao, H. (2020). Hot air impingement drying kinetics and quality attributes of orange peel. *Journal of Food Processing and Preservation*, 44, Article e14294. <https://doi.org/10.1111/jfpp.14294>
- ElGamal, R., Song, C., Rayan, A., Liu, C., Al-Rejaie, S., & ElMasry, G. (2023). Thermal Degradation of Bioactive Compounds during Drying Process of Horticultural and Agronomic Products: A Comprehensive Overview. *Agronomy-Basel*, 13, Article 1580. <https://doi.org/10.3390/agronomy13061580>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (2024). FAOSTAT: Crops and livestock products. <https://www.fao.org/faostat/en/#data>
- Fratianne, A., Albanese, D., Mignogna, R., Cinquanta, L., Panfili, G., & Di Matteo, M. (2013). Degradation of Carotenoids in Apricot (*Prunus armeniaca* L.) During Drying Process. *Plant Foods For Human Nutrition*, 68, 241-246. <https://doi.org/10.1007/s11130-013-0369-6>
- Gómez-Mejía, E., Sacristán, I., Rosales-Conrado, N., León-González, M., & Madrid, Y. (2023). Effect of Storage and Drying Treatments on Antioxidant Activity and Phenolic Composition of Lemon and Clementine Peel Extracts. *Molecules*, 28, Article 1624. <https://doi.org/10.3390/molecules28041624>
- Jiang, N., Liu, C., Li, D., Zhang, Z., Liu, C., Wang, D.,...Zhang, M. (2017). Evaluation of freeze drying combined with microwave vacuum drying for functional okra snacks: Antioxidant properties, sensory quality, and energy consumption. *Lwt-Food Science and Technology*, 82, 216-226. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.04.015>
- Kamiloglu, S., & Capanoglu, E. (2013). Investigating the in vitro bioaccessibility of polyphenols in fresh and sun-dried figs (*Ficus carica* L.). *International Journal of Food Science and Technology*, 48, 2621-2629. <https://doi.org/10.1111/ijfs.12258>
- Karabacak, A. Ö., Suna, S., Tamer, C. E., & Çopur, Ö. U. (2018). Effects of oven, microwave and vacuum drying on drying characteristics, colour, total phenolic content and antioxidant capacity of celery slices. *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods*, 10(2), 193-205.
- Khan, M., Abert-Vian, M., Fabiano-Tixier, A., Dangles, O., & Chemat, F. (2010). Ultrasound-assisted extraction of polyphenols (flavanone glycosides) from orange (*Citrus sinensis* L.) peel. *Food Chemistry*, 119, 851-858. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.08.046>
- Khatun, P., Karmakar, A., & Chakraborty, I. (2024). Microwave-vacuum drying: Modeling validation of drying and rehydration kinetics, moisture diffusivity and physicochemical properties of dried dragon fruit slices. *Food and Humanity*, 2, 100292.
- López, J., Vega-Gálvez, A., Bilbao-Sainz, C., Chiou, B., Uribe, E., & Quispe-Fuentes, I. (2017). Influence of vacuum drying temperature on: Physico-chemical composition and antioxidant properties of murta berries. *Journal of Food Process Engineering*, 40, Article e12569. <https://doi.org/10.1111/jfpe.12569>
- Maskan, M. (2001). Kinetics of colour change of kiwifruits during hot air and microwave drying. *Journal of Food Engineering*, 48, 169-175. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(00\)00154-0](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(00)00154-0)
- M'hiri, N., Ioannou, I., Ghoul, M., & Boudhrioua, N. (2017). Phytochemical characteristics of citrus peel and effect of conventional and nonconventional processing on phenolic compounds: A review. *Food Reviews International*, 33, 587-619. <https://doi.org/10.1080/87559129.2016.1196489>
- Oikeh, E. I., Oviasogie, F. E., & Omoregie, E. S. (2020). Quantitative phytochemical analysis and antimicrobial activities of fresh and dry ethanol extracts of Citrus sinensis (L.) Osbeck (sweet Orange) peels. *Clinical Phytoscience*, 6, 1-6. <https://doi.org/10.1186/s40816-020-00193-w>
- Orikasa, T., Koide, S., Sugawara, H., Yoshida, M., Kato, K., Matsushima, U.,...Tagawa, A. (2018). Applicability of vacuum-microwave drying for tomato fruit based on evaluations of energy cost, color, functional components, and sensory qualities. *Journal Of Food Processing and Preservation*, 42, Article e13625. <https://doi.org/10.1111/jfpp.13625>
- O'Shea, N., Arendt, E. K., & Gallagher, E. (2012). Dietary fibre and phytochemical characteristics of fruit and vegetable by-products and their recent applications as novel ingredients in food products. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 16, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2012.06.002>
- Özcan, M., Ghafoor, K., Al Juhaimi, F., Uslu, N., Babiker, E., Ahmed, I., & Almusallam, I. (2021). Influence of drying techniques on bioactive properties, phenolic compounds and fatty acid compositions of dried lemon and orange peel powders. *Journal Of Food Science And Technology-Mysore*, 58. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04524-0>
- Özkan-Karabacak, A., Acoğlu, B., Ömeroglu, P., & Çopur, Ö. (2020). Microwave pre-treatment for vacuum drying of orange slices: Drying characteristics, rehydration capacity and quality properties. *Journal of Food Process Engineering*, 43, Article e13511. <https://doi.org/10.1111/jfpe.13511>
- Özkan-Karabacak, A., Acoğlu-Çelik, B., Özdal, T., Yolci-Ömeroglu, P., Çopur, Ö. U., Baştuğ-Koç, A., & Pandiselvam, R. (2023). Microwave-Assisted Hot Air Drying of Orange Snacks: Drying Kinetics, Thin Layer Modeling, Quality Attributes, and Phenolic Profiles. *Journal of Food Biochemistry*, 2023(1), 6531838. <https://doi.org/10.1155/2023/6531838>
- Pacheco, C., García-Martínez, E., Moraga, G., Piña, J., Nazareno, M., & Martínez-Navarrete, N. (2020). Development of dried functional foods: Stabilization of orange pulp powder by addition of biopolymers. *Powder Technology*, 362, 11-16. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2019.11.116>
- Pandey, K., & Rizvi, S. (2009). Plant polyphenols as dietary antioxidants in human health and disease. *Oxidative Medicine And Cellular Longevity*, 2, 270-278. doi: 10.4161/oxim.2.5.9498
- Papoutsis, K., Pristijono, P., Golding, J., Stathopoulos, C., Bowyer, M., Scarlett, C., & Vuong, Q. (2017). Effect of vacuum-drying, hot air-drying and freeze-drying on polyphenols and antioxidant capacity of lemon (*Citrus limon*) pomace aqueous extracts. *International Journal of Food Science and Technology*, 52, 880-887. <https://doi.org/10.1111/ijfs.13351>
- Pathare, P., Opara, U., & Al-Said, F. (2013). Colour Measurement and Analysis in Fresh and Processed Foods: A Review. *Food and Bioprocess Technology*, 6, 36-60. <https://doi.org/10.1007/s11947-012-0867-9>
- Patras, A., Brunton, N., Downey, G., Rawson, A., Warriner, K., & Gernigon, G. (2011). Application of principal component and hierarchical cluster analysis to classify fruits and vegetables commonly consumed in Ireland based on in vitro antioxidant activity. *Journal of Food Composition and Analysis*, 24, 250-256. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2010.09.012>

- Rafiq, S., Singh, B., & Gat, Y. (2019). Effect of different drying techniques on chemical composition, color and antioxidant properties of kinnow (*Citrus reticulata*) peel. *Journal of Food Science and Technology-Mysore*, *56*, 2458-2466. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-03722-9>
- Ramful, D., Bahorun, T., Bourdon, E., Tamus, E., & Aruoma, O. (2010). Bioactive phenolics and antioxidant propensity of flavedo extracts of Mauritian citrus fruits: Potential prophylactic ingredients for functional foods application. *Toxicology*, *278*, 75-87. <https://doi.org/10.1016/j.tox.2010.01.012>
- Ratner, B. (2009). The correlation coefficient: Its values range between+ 1/- 1, or do they? *Journal of Targeting, Measurement and Analysis for Marketing*, *17*(2), 139-142. <https://doi.org/10.1057/jt.2009.5>
- Safdar, M., Kausar, T., Jabbar, S., Mumtaz, A., Ahad, K., & Saddozai, A. (2017). Extraction and quantification of polyphenols from kinnow (*Citrus reticulata* L.) peel using ultrasound and maceration techniques. *Journal of Food and Drug Analysis*, *25*, 488-500. <https://doi.org/10.1016/j.jfda.2016.07.010>
- Senevirathne, M., Jeon, Y., Ha, J., & Kim, S. (2009). Effective drying of citrus by-product by high speed drying: A novel drying technique and their antioxidant activity. *Journal of Food Engineering*, *92*, 157-163. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.10.033>
- Shu, B., Wu, G., Wang, Z., Wang, J., Huang, F., Dong, L.,... & Su, D. (2020). The effect of microwave vacuum drying process on citrus: drying kinetics, physicochemical composition and antioxidant activity of dried citrus (*Citrus reticulata* Blanco) peel. *Journal of Food Measurement and Characterization*, *14*, 2443-2452. <https://doi.org/10.1007/s11694-020-00492-3>
- Silva-Espinoza, M., Salvador, A., Camacho, M., & Martínez-Navarrete, N. (2021). Impact of freeze-drying conditions on the sensory perception of a freeze-dried orange snack. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *101*, 4585-4590. <https://doi.org/10.1002/jsfa.11101>
- Suna, S., & Özkan-Karabacak, A. (2019). Investigation of drying kinetics and physicochemical properties of mulberry leather (pestil) dried with different methods. *Journal of Food Processing and Preservation*, *43*(8), Article e14051. <https://doi.org/10.1111/jfpp.14051>
- Wang, Y., Chuang, Y., & Hsu, H. (2008). The flavonoid, carotenoid and pectin content in peels of citrus cultivated in Taiwan. *Food Chemistry*, *106*, 277-284. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.05.086>
- Wang, Z., Zhong, T., Mei, X., Chen, X., Chen, G., Rao, S.,... & Yang, Z. (2023). Comparison of different drying technologies for brocade orange (*Citrus sinensis*) peels: Changes in color, phytochemical profile, volatile, and biological availability and activity of bioactive compounds. *Food Chemistry*, *425*, Article 136539. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.136539>
- Wojdylo, A., Lech, K., & Nowicka, P. (2020). Effects of Different Drying Methods on the Retention of Bioactive Compounds, On-Line Antioxidant Capacity and Color of the Novel Snack from Red-Fleshed Apples. *Molecules*, *25*, Article 5521. <https://doi.org/10.3390/molecules25235521>
- Zielinska, M., & Michalska, A. (2016). Microwave-assisted drying of blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) fruits: Drying kinetics, polyphenols, anthocyanins, antioxidant capacity, colour and texture. *Food Chemistry*, *212*, 671-680. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.06.003>
- Zielinska, M., Markowski, M., & Zielinska, D. (2019). The effect of freezing on the hot air and microwave vacuum drying kinetics and texture of whole cranberries. *Drying Technology*, *37*, 1714-1730. <https://doi.org/10.1080/07373937.2018.1543317>
- Zou, Z., Xi, W., Hu, Y., Nie, C., & Zhou, Z. (2016). Antioxidant activity of Citrus fruits. *Food Chemistry*, *196*, 885-896. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.09.072>