



Siyah Havuç Örneklerinde Farklı Kurutma Yöntemlerinin Antioksidan Aktivite, Antosiyanin Profili ve Renk Üzerindeki Etkisi

Muhammed Zahid KASAPOĞLU*

İstanbul Üniversitesi Cerrahpaşa, Nanoteknoloji ve Biyoteknoloji Enstitüsü, Nanoteknoloji Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye

Geliş Tarihi: 00.00.2024

Kabul Tarihi: 00.00.2024

Basım Tarihi: 30.09.2024

Atıf yapmak için: Kasapoğlu, M.Z. (2024). Siyah Havuç Örneklerinde Farklı Kurutma Yöntemlerinin Antioksidan Aktivite, Antosiyanin Profili ve Renk Üzerindeki Etkisi. *J. Anatolian Env. and Anim. Sciences*, 9(3), 341-347. <https://doi.org/10.35229/jaes.1486407>

How to cite: Kasapoğlu, M.Z. (2024). Effect of Different Drying Methods on Antioxidant Activity, Anthocyanin Profile and Color in Black Carrot Samples. *Anadolu Çev. ve Hay. Dergisi*, 9(3), 341-347. <https://doi.org/10.35229/jaes.1486407>

<https://orcid.org/0000-0002-2397-6984>

Abstract: Bu çalışma, siyah havuç örneklerinin kurutma süreçlerinde dondurarak kurutma (DK), 60°C'de ultrason destekli vakumlu kurutma (UVK), vakumlu kurutma (VK), ve sıcak hava kurutma (SHK) yöntemlerinin etkilerini araştırmıştır. Ayrıca, farklı kurutma yöntemlerinin siyah havuç örneklerinin antioksidan aktiviteleri ve renk özellikleri üzerindeki etkilerini değerlendirmiştir. Siyah havuçta bulunan en yaygın antosiyanin siyanidin-3-ksilozil-glukozil-galaktozid ferulik asidin kurutma sürecindeki değişimleri incelenmiştir. Farklı kurutma yöntemlerinin parametreleri önemli ölçüde etkilediği tespit edilmiştir ($P < 0.05$). Toplam fenolik içerik (TPC) ve antioksidan aktivite (DPPH ve ABTS yöntemi) analizleri, DK ve VK'nın diğer yöntemlere göre daha yüksek TPC'ye sahip olduğunu göstermiştir. Renk kalitesi açısından DK, diğer kurutulmuş örneklerle karşılaştırıldığında en yüksek performansı sergilerken, VK daha kısa kuruma süresiyle avantaj sağlamıştır. Ayrıca, VK'nın daha yüksek biyoaktif bileşen ve daha iyi renk ve yüzey kalitesi sağlayarak SHK tekniğine bir alternatif olabileceği öne sürülmüştür. Bu nedenle, siyah havuç örneklerini kurutmak için UVK ve VK'nın başarıyla kullanılabilirliği ve daha yüksek kurutma hızı ve biyoaktif bileşiklerin korunabileceği sonucuna varılmıştır. Bu çalışma, yenilikçi kurutma tekniklerinin siyah havuç ürünlerinin sağlığı teşvik eden özelliklerini nasıl artırabileceğini göstererek Tek Sağlık yaklaşımına katkıda bulunmaktadır. Bu ürünlerin besin değerini ve antioksidan aktivitesini artırarak insan ve hayvan sağlığını desteklemektedir. Ayrıca, bitkisel atıkların sürdürülebilir yollarla kullanılmasını çevresel etkiyi azaltmakta, böylece insan, hayvan ve çevre sağlığının birbirine bağlı ve iş birliği gerektiren bütüncül Tek Sağlık prensibiyle uyum sağlamaktadır.

*Sorumlu yazar:

Muhammed Zahid KASAPOĞLU
İstanbul Üniversitesi Cerrahpaşa,
Nanoteknoloji ve Biyoteknoloji Enstitüsü,
Nanoteknoloji Anabilim Dalı, İstanbul,
Türkiye.

muhammed.kasapoglu@iuc.edu.tr

Anahtar kelimeler: Antioksidan aktivitesi, kurutma yöntemleri, siyah havuç, tek sağlık yaklaşımı, toplam fenolik içerik (TPC).

Effect of Different Drying Methods on Antioxidant Activity, Anthocyanin Profile and Color in Black Carrot Samples

Öz: This study investigated the effects of freeze drying (DK), ultrasonically assisted vacuum drying at 60°C (UVK), vacuum drying (VK), and hot air drying (SHK) methods on the drying processes of black carrot samples. Additionally, the impact of various drying methods on the antioxidant activities and color properties of black carrot samples was evaluated. The study also observed the changes in the most common anthocyanin found in black carrots, Cyanidin 3-ferulic acid-xyloside-glucoside-galactoside, during the drying process. The results revealed that different drying methods significantly influenced all parameters of black carrot samples ($P < 0.05$). Total phenolic content (TPC) and antioxidant activity (evaluated by DPPH and ABTS methods) analyses indicated that DK and VK SHK higher TPC compared to other methods. In terms of color quality, DK exhibited the highest performance compared to other dried samples, while VK offered an advantage with shorter drying times. Furthermore, it was suggested that VK could serve as an alternative to SHK due to its higher levels of bioactive compounds and better color and surface quality. Therefore, it was concluded that UVK and VK could be successfully utilized for drying black carrot samples, resulting in higher drying rates and preservation of bioactive compounds. This study contributes to the One Health approach by demonstrating how innovative drying techniques can enhance the health-promoting properties of black carrot products. By improving the nutritional value and antioxidant activity of these products, it supports human and animal health. Furthermore, the utilization of plant-based waste in sustainable ways reduces environmental impact, aligning with the One Health principle of interconnected and collaborative health strategies across human, animal, and environmental domains.

*Corresponding author's:

Muhammed Zahid KASAPOĞLU
Istanbul University Cerrahpaşa, Institute of
Nanotechnology and Biotechnology,
Department of Nanotechnology, Istanbul,
Türkiye.

muhammed.kasapoglu@iuc.edu.tr

Keywords: Antioxidant activity, black carrot, drying methods, one health approach, total phenolic content (TPC).

GİRİŞ

Havuç (*Daucus carota L.*), Apiaceae familyasına ait ve önemli bir sebze olarak kabul edilir. Ayrıca çeşitli biyoaktif bileşiklerin iyi bir kaynağıdır; sindirimi iyileştirmek, kan dolaşımını düzenlemek ve göz görüşünü iyileştirmek gibi biyolojik ve tıbbi özelliklerin sağlanmasına yardımcı olan karotenoidler, flavonoidler, fenolik bileşikler, vitaminler (B1, B2, B6) ve mineraller içerir (Motegaonkar vd., 2024). Bu yüksek antioksidan bileşikler, antihipertansif, hepatoprotektif ve yara iyileştirici, anti-kanserojen ve bağışıklık artırıcı özellikler gösterirken, aynı zamanda diyabet, kolesterol ve kalp hastalıklarının kontrolüne yardımcı olur (Ahmad vd., 2019). Havuç, insan beslenmesinde yaygın bir besindir ve taze olarak tüketilebilir, çeşitli yemeklerde pişirilebilir veya püre, meyve suları veya kurutulmuş ürünler halinde işlenebilir. Ancak, havuç mevsimlik bir üründür ve hasat edildikten sonra biyoaktif bileşenlerinin azalması nedeniyle kalitesi bozulabilir. Taze havuçlar, kurutulmuş formu dönüştürülebilir ve kurutulmuş havuçlar, diyet takviyeleri, nutrasötikler ve kozmetikler gibi fonksiyonel ürünlerin formülasyonu ve geliştirilmesi için doğal bir içerik maddesi olarak ticari olarak kullanılabilir (Liu vd., 2020). Fonksiyonel gıdalar, çeşitli dejeneratif bozuklukların önlenmesine yardımcı olan yüksek nutrasötik özellikleri nedeniyle tanınmaktadır. Siyah havuç, önemli miktarda biyoaktif bileşik içermesi nedeniyle fonksiyonel gıda olarak değerlendirilmektedir. Bu tür ürünlerin imalatı, tüketicilere gelişmiş özelliklere sahip daha geniş bir yelpazede yenilikçi gıda seçenekleri sunar (Pandey & Grover 2020). Bu tür ürünlerin geliştirilmesi ve yaygınlaştırılması hem insan ve hayvan sağlığına hem de çevresel sürdürülebilirliğe önemli katkılar sunmaktadır. Havuçların besin değeri, içerdikleri karotenoidler, antosiyaninler, antioksidanlar, vitaminler, mineraller ve diyet lifi gibi faktörlere bağlıdır (Lutfunnahar vd., 2020; Que vd., 2019). Turuncu havuçlar en yaygın olanlardır, ancak sarı, mor/siyah, kırmızı ve beyaz gibi farklı renklere de sahiptirler. Siyah/mor havuçlar, sarı, beyaz ve turuncu havuçlara göre daha yüksek miktarda antioksidan içerir ve önemli kalite ve duyu özelliklere sahiptir (Alasalvar vd., 2001). Siyah havuç, diğerlerinden farklı olarak karotenoid açısından zengin bir kaynak olup antosiyanin içeriği oldukça yüksektir. Özellikle Türkiye’de yetiştirilen siyah havuçta başlıca antosiyaninler arasında asillenmiş siyanidin glikozitleri, peonidin glikozitleri ve peonidin glikozitleri bulunmaktadır. Siyah havuç, binlerce yıldan fazla bir süredir yetiştirilmiş ve dünya genelinde gıda endüstrisinde önemli bir yere sahiptir (Tanrıseven vd., 2020). Siyah havuçtaki toplam antosiyanin içeriği genellikle 11,45 ile 19,86 g/kg kuru madde arasında

değişir; bu değer, toplam β -karoten içeriğinden belirgin bir şekilde daha yüksektir (Gras, vd., 2015; Li vd., 2024). Bu farklılık, siyah havuçların normal havuçlardan renk açısından önemli ölçüde farklı olmasına neden olur. Ancak, siyah havuçlardaki antosiyaninlerin bozunması, hem işleme hem de depolama süreçlerinde kaçınılmaz bir durumdur (Perez vd., 2022). Bu nedenle, siyah havuçların kurutma işlemi sırasında antosiyaninlerin korunması ve kalitenin muhafaza edilmesi, endüstriyel uygulamalar ve tüketici talepleri açısından büyük önem taşır.

Kurutma, bir gıda işleme tekniği olarak su aktivitesini azaltarak ürünün raf ömrünü uzatırken bozulmayı ve kirlenmeyi azaltır. Ayrıca paketleme, taşıma ve depolama kolaylığı sağlar. Sıcak havayla kurutma, yaygın olarak kullanılan bir yöntem olsa da uzun kuruma süresi, oksidasyon riski, renk bozulması ve kötü koku oluşumu gibi dezavantajlarla karşılaşır (Marfil vd., 2008; Figiel, 2010). Diğer kurutma teknikleriyle karşılaştırıldığında, dondurarak kurutma daha yüksek kalitede ürünlerin elde edilmesini sağlar ancak uzun kuruma süresi ve yüksek maliyetler gibi zorluklarla karşılaşır. Bu nedenle, yeni alternatif kurutma teknikleri araştırılmaktadır. Vakumla kurutma, özellikle meyve ve sebzeler gibi ısıya hassas ürünler için uygun olan diğer bir alternatif yöntemdir (Giri & Prasad 2007). Ultrasonik destekli kurutma, uzun yıllardan beri dikkat çeken bir konudur. Ultrasonun, kurutma kinetiğini iyileştirmek ve enerji maliyetlerini azaltmak için kurutma öncesinde bir ön işlem olarak kullanılması yaygın bir uygulamadır. Son yıllarda, kurutma sürecinde ultrasonun doğrudan kullanımına yönelik birçok çalışma rapor edilmiştir (Nowacka vd., 2012; Chen vd., 2016).

Bu çalışmada, farklı kurutma yöntemlerinin (sıcak havayla kurutma, ultrason destekli vakumla kurutma ve dondurarak kurutma) siyah havuç üzerindeki etkisi incelenmiştir. Yapılan kurutma işlemlerinin havuçların kuruma kinetiği, fenolik içerik, antioksidan aktivite, mikroyapısal özellikler, antosiyanin içeriği ve renk özellikleri üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme, siyah havuçların işlenmesinde kullanılan kurutma yöntemlerinin seçimi ve optimize edilmesi sürecinde önemli adımları vurgulamaktadır. Antosiyanin açısından zengin gıdaların farklı kurutma teknikleriyle işlenmesi, Tek Sağlık yaklaşımına çeşitli katkılar sunmaktadır. Tek Sağlık, insan, hayvan ve çevre sağlığını bütüncül bir şekilde ele alan bir yaklaşımdır ve bu bağlamda gıdaların kurutulması süreci, sağlık, çevre ve antibiyotik direnci gibi önemli alanlarla kesişmektedir (Essack, 2018). İlk olarak, biyoaktif bileşenlerin korunması sağlanarak, gıdaların antioksidan özellikleri artırmaktadır. Antosiyaninlerin korunması, diyet takviyeleri veya sağlık ürünleri olarak kullanılmalarmı

mümkün kılarak toplumun genel sağlık düzeyinin yükseltilmesine katkıda bulunur. İkinci olarak, kurutma, gıdaların raf ömrünü uzatarak israfı azaltır ve bu da çevresel sürdürülebilirlik açısından önemlidir. Enerji verimliliği sağlayan kurutma teknikleri, çevresel etkileri azaltarak karbon ayak izini minimize etmektedir. Üçüncü olarak, güvenli kurutma teknikleri, patojenlerin yok edilmesini sağlayarak gıda güvenliğini artırmakta ve antibiyotik direncinin yayılmasını engellemektedir. Yüksek ısı ve vakum gibi faktörler, bakterilerin hayatta kalmasını zorlaştırır ve bu da gıda kaynaklı hastalıkların önlenmesine katkı sağlamaktadır.

Sonuç olarak, vakumlu kurutma (VK) ve ultrasonik vakumlu kurutma (UVK) yöntemlerinin, yüksek biyoaktif bileşen tutma, kısa kuruma süresi ve yüksek kaliteli kurutulmuş gıdalar elde etme gibi avantajlarla sıcak hava kurutma (SHK) ve dondurarak kurutma (DK) yöntemlerine alternatif olarak değerlendirilmelidir. Bu yeni kurutma tekniklerinin ve bunların kombinasyonlarının, gıdaların dokusunu, biyoaktif bileşenlerin korunmasını ve genel ürün kalitesini optimize etmek için daha fazla araştırma gerekmektedir. Özellikle iklim değişikliği, çevresel sürdürülebilirlik ve antibiyotik direnci gibi kritik sağlık sorunlarıyla uyumlu gıda işleme yöntemlerinin geliştirilmesi önem arz etmektedir.

MATERYAL VE METOT

Çalışma materyali olarak seçilen siyah havuç; geleneksel alışveriş mekanlarından taze temin edilmiştir. Siyah havuç örneklerinde başlangıç nem içeriği, 70 °C'de 6 saat boyunca vakumlu fırın kullanılarak $87,94 \pm 1,06$ olarak belirlenmiştir (AOAC, 1990). Her bir işlem için yaklaşık 5 adet taze siyah havuç (30 g) kullanılmıştır.

Kurutma Deneyleeri: Siyah havuç kurutma işlemi sıcak havayla kurutma (SHK), ultrason destekli kurutma (UVK), vakumla kurutma (VK) ve dondurarak kurutma (DK) olmak üzere dört ayrı yöntem kullanılarak gerçekleştirilmiştir. DK dışındaki her bir yöntem, 60 °C sıcaklıkta uygulanmıştır. SHK işlemi esnasında, sabit 1,3 m/s hava hızı kullanılmıştır. VK yöntemi, vakumlu kurutucu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. VK ve UVK yöntemlerinde vakum seviyesi, nihai basıncı 60 mbar ve pompa hızını 2 L/s olan bir vakum pompası ile kontrol edilmiştir. Ultrason destekli vakumlu kurutma (UVK) sistemi ile siyah havuç örnekleri, ultrasonik su banyosunda 40 khz frekansında sonikasyona tabi tutularak işlenmiştir (Akcicek vd., 2023). DK durumunda, siyah havuç öncelikle -80 °C'de 24 saat boyunca dondurulmuş ve ardından liyofilize edilmiştir. SHK, VK ve UVK yöntemlerinde, siyah havuç meyvesinin ağırlık kaybı her 30 dakikada bir izlenmiş ve meyvelerin nihai nem içeriği 0,2 kg su/kg kuru baz (db) olana kadar kurutma işlemine devam edilmiştir.

Ekstraksiyon: Metanol-su (1:1) karışımı kullanılarak biyoaktif bileşiklerin ekstraksiyonu gerçekleştirilmiştir. Örneğin 1 gramı, bir test tüpüne aktarılmıştır ve üzerine 10 mL metanol-su karışımı eklenerek homojenize edilmiştir. Daha sonra karışım, oda sıcaklığında 5000 rpm'de 1 saat boyunca çalkalanmıştır ve ardından 5000 rpm'de 10 dakika boyunca santrifüj edilerek ayrıştırılmıştır. Elde edilen süpernatant filtrelenerek -20 °C'de muhafaza edilmiştir.

Toplam Fenolik Miktarının Belirlenmesi: Örneklerin toplam fenolik miktarı, Singleton ve Rossi'nin belirttiği yöntem ile modifiye edilerek değerlendirilmiştir (Singleton vd., 1965). Bu analiz için 0,5 mL ekstrakt, 2,5 mL 10 kat seyreltilmiş Folin Ciocalteu fenol reaktifi ve 2 mL %7,5'lik Na_2CO_3 çözeltisi karıştırılmıştır. Karışım, oda sıcaklığında karanlık bir ortamda 30 dakika boyunca inkübe edildikten sonra 760 nm'de spektrofotometrik (Shimadzu UV-1800) ölçümler alınmıştır. Sonuçlar, gram kuru madde (DM) başına miligram gallik asit eşdeğeri (GAE) (mg GAE/g DM) olarak rapor edilmiştir.

Antioksidan Kapasitesinin Belirlenmesi (DPPH ve ABTS): DPPH analizi için, her bir numune 0,1 mL DPPH (1,1-difenil-2-pikrilhidrazil) çözeltisi ile karıştırılmıştır. 60 dakikalık bir inkübasyon süresinin ardından, numunelerin absorbansı 517 nm'de ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlar Troloks eşdeğeri olarak ifade edilmiştir.

ABTS radikal temizleme aktivitesi (Akcicek vd., 2023) yöntemine göre belirlenmiştir. Sonuçlar, Troloks eşdeğeri şeklinde ifade edilmiştir.

Antosiyenin Profili: Antosiyenin bileşikleri, literatürde tanımlanan HPLC prosedürüne göre analiz edilmiştir (Vagiri vd., 2012). Analizler için Shimadzu LC-20A HPLC sistemi kullanılmıştır. HPLC analizleri, 250 x 4,6 mm² boyutlarında 5 µm'lik bir Inertsil ODS-3 C18 kolonu (GL Sciences) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. HPLC-DAD'deki numunelerin enjeksiyon hacmi 20 µL şeklinde ayırma, solvent A (su/formik asit, 93/7) ve solvent B (asetonitril/su/metanol, 90/5/5) gradyan koşulları altında 1.2 mL/dakikada mobil bir faz ile gerçekleştirilmiştir. Kromatogramlar antosiyeninler için 520 nm'de ve diğer fenolik bileşikler için 320 nm'de kaydedilmiştir. Antosiyeninlere ilişkin sonuçlar, numunenin miligram siyanidin-3-O-glukozit eşdeğeri (mg C3GE)/L olarak ifade edilmiştir.

Renk Ölçümü: Siyah havuç örneklerinin renk analizi, kolorimetre (Konica Minolta CR-400, Japan) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Her bir örneğin parlaklık/koyuluk, kırmızılık/yeşillik ve sarılık/maviliği temsil eden L^* , a^* ve b^* parametreleri, standart bir aydınlatıcı altında kalibre edilerek ölçülmüştür. Örneklerin toplam renk değişimi, ΔE ile ifade edilmiştir.

İstatistiksel Değerlendirme: Veriler JMP 9 yazılımı (SAS, NC) ile istatistiksel analiz için incelenmiştir. İlgili değişkenlerin aritmetik ortalamaları ve standart sapmaları hesaplanmıştır. Değişkenler arasındaki anlamlı farklılıkları belirlemek için hem Tukey testi hem de tek yönlü varyans analizi (ANOVA) kullanılmıştır.

BULGULAR ve TARTIŞMA

Kurutma Yöntemlerinin Biyoaktif Bileşikler Üzerindeki Etkileri: Taze ve kurutulmuş siyah havuçların toplam fenolik içeriği (TPC) ve antioksidan kapasitesi Tablo 1'de sunulmuştur. Taze siyah havuçta TPC değeri 1384,93 mg GAE/100 g KM iken, kurutulmuş örneklerde TPC değeri 5818,29 ile 110327,58 mg GAE/100 g DM arasında değişkenlik göstermiştir. Kurutma yöntemlerinin TPC değeri üzerinde önemli bir etkisi olduğu belirlenmiştir ($p < 0,05$). Tüm kurutma yöntemlerinde ise TPC değerlerinde artış görülmüştür.

DK yöntemindeki düşük sıcaklık ve vakum koşulları, fenolik bileşiklerin korunmasını; UVK ve VK kullanımı ise diğer yöntemlere kıyasla fenolik bileşiklerin daha iyi korunmasını sağlamaktadır. UVK'nın nedeni, ultrasonik kaviteyonun bitki hücrelerini parçalayarak fenolik bileşiklerin daha hızlı çıkarılmasına ve bu da solventin daha etkili bir şekilde nüfuz etmesine olanak tanınmasıdır (Keskin vd., 2021; Murali vd., 2014).

Siyah havucun antioksidan kapasitesi DPPH ve ABTS yöntemleriyle belirlendi ve sırasıyla 32,55 ila 192 mg TE/100 g DM ve 40,99 ila 16,88 mg TE/100 g DM arasında değişen değerler elde edildi. FD siyah havuç, DPPH ve ABTS için en yüksek antioksidan kapasitesini sergiledi. Taze ve kurutulmuş siyah havuçlar arasında önemli farklılıklar gözlemlendi. UVK ve VK örnekleri, SHK'a kıyasla daha yüksek antioksidan aktivite gösterdiği belirlenmiştir.

Tablo 1 Taze ve kurutulmuş siyah havuçların biyoaktif özellikleri.

Table 1 Bioactive properties of fresh and dried black carrots.

Biyoaktif Özellikler	Kurutulmuş				
	Taze	SHK	VK	UVK	DK
TPC	1384,93±237,16 ^a	5818,29±243,75 ^c	8203,37±39,53 ^{ab}	8138,15±777,37 ^b	10327,58±1073,83 ^c
DPPH	32,55±0,76 ^c	58,81±0,98 ^d	74,36±0,59 ^e	90,75±0,20 ^b	192,00±0,01 ^a
ABTS	40,99±1,14 ^a	34,42±1,04 ^b	22,33±1,04 ^c	24,64±1,98 ^c	16,88±0,15 ^d

Aynı satırdaki farklı küçük harfler, farklı kurutma yöntemlerine tabi tutulan numuneler arasındaki farklılıkları gösterir ($p < 0,05$). DK:Dondurarak kurutma, SHK:Sıcak havayla kurutma, UVK:Ultrason destekli vakumlu kurutma, VK:Vakum kurutma.

TPC (mg GAE/100 g KM), DPPH (mg TE/100 g KM), ABTS (mg TE/100 g KM)

Benzer şekilde, UAVD'nin yaban mersini ve ahududu kurutması üzerinde de benzer sonuçlar gözlemlenmiştir (Akcicek vd., 2023; Tekin Cakmak vd., 2021). Ayrıca, çalışma TPC ile ABTS (0,96), TPC ile DPPH (0,82) ve DPPH ile ABTS (0,84) arasında güçlü korelasyonlar olduğu görülmüştür. Toplam fenolik içerikleri ve antioksidan aktivite değerlerindeki bu denge, konsantrasyonu artıran ve azaltan mekanizmaların etkileşimi yoluyla sağlanmıştır. Dolayısıyla, VK ve UVK'nın siyah havuç kurutma sürecinde fenolik bileşiklerin korunmasına olanak sağlayarak alternatif bir yöntem olarak değerlendirilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır.

Antosiyenin Profili: Kurutulmuş ve taze siyah havuç örneklerinin antosiyenin profilleri Tablo 2'de gösterilmiştir. Bu çalışmada, Siyanidin-3-ksilozil-glukozil-galaktozid ferulik asidin baskın

antosiyenin olarak tespit edildiği görüldü (Tablo 2). Her dört kurutma yönteminde de kurutma sonrasında siyanidin 3-ksilozil (feruloilglukozil) galaktosidinin arttığı gözlemlendi. Özellikle VK ile DK yöntemlerinde Siyanidin 3-ksilozil-galaktozid ve diğer bazı antosiyeninlerin artışı, daha kompleks bileşiklerin parçalanması ve hücrede fenoliklerin parçalanmasında etkili olan polifenoloksidaz dahil enzimlerin inaktivasyonu ve sonuçta artan aktiviteyle ilişkilendirilebilir; kurutmanın bileşiklerin ekstrakte edilebilirliği üzerindeki etkisi (Krishnamurthy vd., 2008) düşünülmektedir.

Siyah havuçlardan elde edilen antosiyeninlerin büyük çoğunluğu siyanidin bazlıdır. Havuçlarda rapor edilen başlıca antosiyeninler, siyanidin 3-(2-ksilozilgalaktosid), siyanidin 3-ksilozil-glukozil-galaktozid ve siyanidin 3-ferulik ksilozil glukozil galaktosid (Kamiloğlu vd., 2018). İçerdiği antosiyeninlerden sinapik, ferulik ve kumarik asitlerle açılmış asitler siyanidin bazlı bileşiklerin C-3 şekerine ester bağlantısı ile bağlanmıştır (Ingemann Berentzen vd., 2024). Bu çalışmada siyah havucun ana antosiyeninleri tespit edilmiş ve toplam antosiyenin içeriği 41,4 ile 529,6 mg/100g arasında değişkenlik göstermiştir. Siyanidin 3-ksilozil glukozil galaktosid içeriği 27,5 ile 260,1 mg/100 g arasında değişmiştir, bu da kurutma yöntemine bağlı olarak siyah havuçta farklı seviyelerde antosiyenin bulunduğunu göstermektedir. Kurutulmuş örneklerdeki antosiyenin içeriği, taze örnektekinden daha yüksek olduğu görülmüştür. Dondurarak kurutma (DK) işlemi vakum altında, düşük sıcaklıkta meydana geldiği için antosiyeninlerde termal ve oksidatif bozunmaya yol açmadığı çalışmalarda bildirilmiştir (Türkmen vd., 2020).

Siyah havuç ile ilgili taze ve toz numunelerde 12 antosiyenin belirlenen bir çalışmada sinapik, ferulik ve kumarik asitler ile açılmış veya açılmamış siyanidin bazlı şeker gruplarını içerdiğini göstermiştir (Keskin vd., 2021). Aynı çalışma, kurutma işlemlerinin siyah havuçlardaki antosiyenin bileşikleri üzerindeki etkisini inceleyerek taze örneklerdeki antosiyenin miktarının 181,7 mg/100 g olduğunu, kurutulmuş örneklerde ise bu miktarın 112,2 ile 283,4 mg/100 g arasında değiştiğini göstermiştir. Bu bulgular ile kıyaslandığında VK ve DK ile kurutulan siyah havuçların antosiyenin içeriğinin önceki çalışmalarda rapor edilen değerlerden daha yüksek olduğu ortaya konulmuştur. Ayrıca, farklı kurutma yöntemlerinin antosiyenin miktarı üzerinde farklı etkilere sahip olduğu ve 60 °C'de sıcak hava ile kurutulan örneklerin diğer yöntemlere kıyasla daha yüksek antosiyenin içeriğine sahip olduğu rapor edilmiştir (Garba vd., 2015).

Tablo 2 Taze ve kurutulmuş siyah havuçların antosiyenin profili.

Table 2 Anthocyanin profile of fresh and dried black carrots.

Antosiyenin	Bileşen (mg/100g)				
	Taze	SHK	VK	UVK	FD
Siyanidin-3-ksilozil-glukozil-galaktozid	7,4	1,3	31,3	3,0	76,4
Siyanidin-3-ksilozil - galaktozid	4,2	3,9	28,3	1,7	125,3
Siyanidin-3-sinapik asit- ksilozil-glukozil-galaktozid	1,1	3,8	11,0	8,8	14,6
Siyanidin-3-ksilozil-glukozil-galaktozid ferulik asit	27,5	46,3	121,6	51,1	260,1
Siyanidin-3-kumarik asit- ksilozil-glukozil-galaktozid	1,2	9,1	16,9	6,3	53,2
Toplam antosiyenin içeriği (mg C3GE*/L)	41,4	64,5	209,1	70,9	529,6

Bu sonuçlar, siyah havuçlardaki antosiyenin içeriğinin kurutma işlemiyle değişebileceğini ve farklı kurutma yöntemlerinin bu değişiklikte rol oynayabileceğini göstermektedir. Ayrıca önceki araştırmalarda, açılmış antosiyeninlerin nükleofilik su saldırısını engellediği ve bu nedenle asitlik, yüksek sıcaklıklar ve çevresel faktörlere karşı açılmamış antosiyeninlere göre daha dayanıklı olduğu bildirilmiştir (Tarriseven vd., 2020).

Renk Parametreleri Üzerine Etkisi: Kurutma yöntemlerinin siyah havucun renk parametreleri üzerindeki etkisi Tablo 3'te gösterilmiştir. Kurutma yöntemleri, örneklerin L*, a* ve b* değerlerini önemli derecede etkilemiştir ($p < 0,05$). Taze örneklerin L*, a* ve b*

değerleri sırasıyla 29,57, 16,30 ve -3,16 olarak bulunmuştur. Taze örneğe göre tüm kurutulan örneklerde L* değerleri artarken, a* sadece DK örneklerinde artış göstermiştir. Kurutulmuş örneklerin yüksek L* değerleri, taze örneklerden daha parlak renklere sahip olduklarını göstermektedir. Benzer sonuçlar, düşük sıcaklıkta dondurarak kurutma işleminde termal bozunma ve esmerleşme reaksiyonunun oluşmamasının yanı sıra suyun uzaklaştırılmasından sonra antosiyanin konsantrasyonundaki artışla açıklanabilir (Özay-Aracioğlu vd., 2021; Motegaonkar vd., 2024). Çalışmalarda siyah havuç suyunun dondurarak kurutulmasının en yüksek antosiyanin konsantrasyonu, antioksidan aktivitesi ve renk değişimi sağladığı belirlenmiştir (Murali vd., 2014). Yüksek antosiyanin konsantrasyonu, antioksidan aktivitesi ve renk değişimi sağladığı belirlenen bu ürünlerin beslenme düzenine dahil edilmesi, insan ve hayvan sağlığı üzerinde doğrudan olumlu etkileri bulunmaktadır. Bu ürünlerin kullanımı, hastalıkların önlenmesine ve genel sağlık durumunun iyileştirilmesine katkı sağlamaktadır. Ayrıca, farklı kullanım modelleri ve bitkisel atıkların geri dönüşümüyle çevre sağlığını desteklemektedir (Stoica vd., 2024).

Tablo 3 Taze ve kurutulmuş siyah havuçların renk parametreleri.

Table 3 Color parameters of fresh and dried black carrots.

Renk Parametreleri	Taze	Kurutulmuş			
		SHK	VK	UVK	DK
L*	29,57±1,28 ^a	35,95±0,14 ^b	37,73±0,08 ^b	41,27±1,06 ^c	44,51±0,71 ^c
a*	16,30±0,80 ^b	12,14±0,00 ^c	11,60±0,01 ^c	12,65±0,28 ^c	20,53±0,16 ^c
b*	-3,16±0,13 ^b	-4,89±0,01 ^d	-3,70±0,02 ^c	-1,89±0,03 ^c	-3,84±0,04 ^c
ΔE		7,81	9,43	12,32	15,54

Aynı satırdaki farklı küçük harfler, farklı kurutma yöntemlerine tabi tutulan numuneler arasındaki farklılıkları gösterir (p<0,05). DK:Dondurarak kurutma, SHK:Sıcak havayla kurutma, UVK:Ultrason destekli vakumlu kurutma, VK:Vakum kurutma.

Renk özellikleri açısından, 60°C kuruma sıcaklığı benzer çalışmalarda SHK için en iyi koşul olarak belirlenmiştir (Türkmen vd., 2020). Toplam renk farklılıkları incelendiğinde UVK kurutma koşulları ve FD benzer ΔE gösterdi. FD için ΔE değeri, renk parametrelerinin artan bir eğilim göstermesi nedeniyle pozitif kabul edilebilir. Kurutma yöntemlerindeki ΔE farklılıkları hücre yapısındaki farklı değişikliklere yol açması ile açıklanabilir (Akcicek vd., 2023). Havuç dilimlerinin 65 ve 75°C'de ultrasonik vakum (USV) kurutma ve vakumla kurutma yöntemleriyle kurutulduğu bir çalışmada havucun rehidrasyon potansiyeli, besin değeri, rengi ve dokusal özellikleri üzerinde önemli bir etki gösterdiği bildirilmiştir (Gang Chen vd., 2016).

SONUÇ

Bu çalışmada farklı kurutma yöntemlerinin siyah havuç üzerindeki etkisi incelenmiştir. Kurutma yöntemi, siyah havucun araştırılan tüm kalite parametrelerini önemli ölçüde etkilemiştir (p <0,05). Dondurarak kurutma (DK) ve vakumlu kurutma (VK) yöntemleri, diğer yöntemlere kıyasla daha olumlu sonuçlar vermiştir. Ultrason destekli

vakumlu kurutma (UVK) ise daha kısa kuruma süresi ve daha yüksek fenolik bileşen tutulumuyla dikkat çekmiştir. Bu bulgular, VK'nın SHK'a alternatif bir yöntem olarak değerlendirilebileceğini göstermektedir, çünkü VK daha düşük kuruma süresi, yüksek biyoaktif bileşen tutma ve artan antosiyanin değeri gibi özellikler sunmaktadır. VK ve UVK'nin kullanımı, daha kısa kuruma süresi ve yüksek kaliteli kurutulmuş gıdaların elde edilmesi açısından DK yöntemine alternatif bir seçenek olabilir. Sonuç olarak, bu yeni kurutma tekniklerinin ve bunların kombinasyonlarının dokuyu, değerli biyoaktif bileşiklerin tutulmasını, sağlığı teşvik eden özellikleri ve katma değerli havuç ürünü kalite parametrelerini iyileştirmek için alternatif yöntemler sunmaktadır.

Gıdanın besin değerini koruyarak, daha uzun süre muhafaza edilmesini sağlayan kurutma yöntemleri, gıda güvenliğiyle mücadelede kritik bir rol oynayabilir. Özellikle yüksek antioksidan aktivitesine sahip ürünler, bozulma ve mikrobiyal kontaminasyona karşı daha dirençli olabileceğinden, gıda güvenliğini artırarak daha uzun raf ömrü sağlar. Kronik hastalıklardan kaçınmak için gıdanın kalite ve güvenliğinin takip edilmesi yoluyla insan sağlığına olan ilginin artması, tüketicinin besin değeri yüksek ürünler elde etme konusundaki farkındalığının artmasına yol açtı. Bu nedenle, gıdaları yüksek kalitede muhafaza etmeye yönelik kurutma teknolojilerinde büyük ve hızlı bir gelişme yaşanmaktadır. Antioksidan aktivitesini artıran vakum ve ultrason destekli vakum kurutma teknikleri, sadece besin değerini korumakla kalmayıp, aynı zamanda tüketicilerin daha sağlıklı ve güvenli gıdalara erişimini de sağlamaktadır. Dolayısıyla, bu gelişmeler gıda güvenliği açısından büyük önem taşımaktadır ve sürdürülebilir gıda sistemlerinin kurulmasında önemli katkılar sunmaktadır.

KAYNAKLAR

- Ahmad, T., Cawood, M., Iqbal, Q., Ariño, A., Batool, A., Tariq, R.M.S. & Akhtar, S. (2019). Phytochemicals in *Daucus carota* and their health benefits. *Foods*, 8(9), 424.
- Alasalvar, C., Grigor, J.M., Zhang, D., Quantick, P.C. & Shahidi, F. (2001). Comparison of volatiles, phenolics, sugars, antioxidant vitamins, and sensory quality of different colored carrot varieties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49(3), 1410-1416.
- Akcicek, A., Avcı, E., Tekin-Cakmak, Z.H., Kasapoglu, M.Z., Sagdic, O. & Karasu, S. (2023). Influence of Different Drying Techniques on the Drying Kinetics, Total Bioactive Compounds, Anthocyanin Profile, Color, and Microstructural Properties of Blueberry Fruit. *ACS Omega*, 8(44), 41603-41611. DOI: 10.1021/acsomega.3c05749

- Chen, Z.G., Guo, X.Y. & Wu, T. (2016). A novel dehydration technique for carrot slices implementing ultrasound and vacuum drying methods. *Ultrasonics Sonochemistry*, **30**, 28-34. DOI: [10.1016/j.ultsonch.2015.11.026](https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2015.11.026)
- Essack, S.Y. (2018). Environment: the neglected component of the One Health triad. *The Lancet Planetary Health*, **2**(6), e238-e239.
- Figiel, A. (2010). Drying kinetics and quality of beetroots dehydrated by combination of convective and vacuum-microwave methods. *Journal of Food Engineering*, **98**(4), 461-470.
- Garba, U., Kaur, S., Gurumayum, S. & Rasane, P. (2015). Effect of hot water blanching time and drying temperature on the thin layer drying kinetics of and anthocyanin degradation in black carrot (*Daucus carota* L.) shreds. *Food Technology and Biotechnology*, **53**(3), 324-330.
- Giri, S.K. & Prasad, S. (2007). Drying kinetics and rehydration characteristics of microwave-vacuum and convective hot-air dried mushrooms. *Journal of food engineering*, **78**(2), 512-521.
- Gras, C.C., Carle, R. & Schweiggert, R.M. (2015). Determination of anthocyanins from black carrots by UHPLC-PDA after ultrasound-assisted extraction. *Journal of Food Composition and Analysis*, **44**, 170-177.
- Ingemann Berentzen, E., Hauer Møller, A., Danielsen, M., Jensen, M., Joernsgaard, B. & Kastrup Dalsgaard, T. (2024). Stability of individual anthocyanins from black carrots stored in light and darkness – Impact of acylation. *Food Research International*, **186**, 114382. DOI: [10.1016/j.foodres.2024.114382](https://doi.org/10.1016/j.foodres.2024.114382)
- Kamiloglu, S., Van Camp, J. & Capanoglu, E. (2018). Black carrot polyphenols: Effect of processing, storage and digestion-An overview. *Phytochemistry Reviews*, **17**, 379-395.
- Keskin, M., Guclu, G., Sekerli, 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**, 110256. DOI: [10.1016/j.scienta.2021.110256](https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110256)
- Krishnamurthy, K., Khurana, H.K., Soojin, J., Irudayaraj, J. & Demirci, A. (2008). Infrared heating in food processing: an overview. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, **7**(1), 2-13.
- Li, W., Yang, R., Xia, Y., Shao, X., Wang, Y. & Zhang, W. (2024). Image recognition technology provides insights into relationships between anthocyanin degradation and color variation during jet drying of black carrot. *Food Chemistry*, **450**, 139460.
- Liu, C., Pirozzi, A., Ferrari, G., Vorobiev, E. & Grimi, N. (2020). Effects of pulsed electric fields on vacuum drying and quality characteristics of dried carrot. *Food and Bioprocess Technology*, **13**, 45-52.
- Lutfunnahar, M.F., Hossain, M.A., Malek, R., Kamrunnahar, J.H. & Hossain, J. (2020). Planting time effect on quality seed production of three varieties of carrot (*Daucus carota* L.). *Bangladesh Agron. J.*, **23**(2), 23-34.
- Marfil, P.H.M., Santos, E.M. & Telis, V.R.N. (2008). Ascorbic acid degradation kinetics in tomatoes at different drying conditions. *LWT-Food Science and Technology*, **41**(9), 1642-1647.
- Motegaonkar, S., Shankar, A., Tazeen, H., Gunjal, M. & Payyanad, S. (2024). A comprehensive review on carrot (*Daucus carota* L.): the effect of different drying methods on nutritional properties and its processing as value-added foods. *Sustainable Food Technology*.
- Murali, S., Kar, A., Mohapatra, D. & Kalia, P. (2015). Encapsulation of black carrot juice using spray and freeze drying. *Food Science and Technology International*, **21**(8), 604-612.
- AOAC. (1990). Official Methods of Analysis, 15th ed.; Association of Official Analytical Chemists.
- Que, F., Hou, X.L., Wang, G.L., Xu, Z.S., Tan, G.F., Li, T., & Xiong, A.S. (2019). Advances in research on the carrot, an important root vegetable in the Apiaceae family. *Horticulture research*, **6**, 69.
- Ozay Arancioglu, I., Bekiroglu, H., Karadag, A., Saroglu, O., Tekin Çakmak, Z.H. & Karasu, S. (2021). Effect of different drying methods on the bioactive, microstructural, and in-vitro bioaccessibility of bioactive compounds of the pomegranate arils. *Food Science and Technology*, **42**, e06221.
- Pandey, P. & Grover, K. (2020). Characterization of black carrot (*Daucus carota* L.) polyphenols; role in health promotion and disease prevention: An overview. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, **9**(5), 2784-2792.
- Perez, M.B., Hamparsomian, M.J.D.P., Gonzalez, R.E., Denoya, G.I., Dominguez, D.L., Barboza, K. & Cavagnaro, P.F. (2022). Physicochemical properties, degradation kinetics, and antioxidant capacity of aqueous anthocyanin-based extracts from purple carrots compared to synthetic and natural food colorants. *Food Chemistry*, **387**, 132893.
- Singleton, V.L. & Rossi, J. A. (1965). Colorimetry of Total Phenolic Compounds with Phosphomolybdic-Phosphotungstic Acid Reagents. *Am. J. Enol. Vitic.* **16**, 144-158. DOI: [10.5344/ajev.1965.16.3.144](https://doi.org/10.5344/ajev.1965.16.3.144)
- Stoica, F., Rațu, R.N., Motrescu, I., Cara, I.G., Filip, M., Țopa, D. & Jităreanu, G. (2024). Application of Pomace Powder of Black Carrot as a Natural Food Ingredient in Yoghurt. *Foods*, **13**(7), 1130. DOI: [10.3390/foods13071130](https://doi.org/10.3390/foods13071130)
- Tanriseven, D., Kadiroglu, P., Selli, S. & Kelebek, H. (2020). LC-DAD-ESI-MS/MS-assisted elucidation of the phenolic compounds in shalgams: Comparison of traditional and direct methods. *Food chemistry*, **305**, 125505.

- Tekin Cakmak, Z.H., Cakmakoglu, S.K., Avcı, E., Sagdic, O. & Karasu, S. (2021).** Ultrasound-assisted vacuum drying as alternative drying method to increase drying rate and bioactive compounds retention of raspberry. *J. Food Process. Preserv.* **45**(12), e16044 DOI: [10.1111/jfpp.1604421](https://doi.org/10.1111/jfpp.1604421)
- Turkmen, F., Karasu, S. & Karadag, A. (2020).** Effects of different drying methods and temperature on the drying behavior and quality attributes of cherry laurel fruit. *Processes.* **8**(7), 761, DOI: [10.3390/pr807076153](https://doi.org/10.3390/pr807076153)
- Vagiri, M., Ekholm, A., Andersson, S.C., Johansson, E. & Rumpunen, K. (2012).** An optimized method for analysis of phenolic compounds in buds, leaves, and fruits of black currant (*Ribes nigrum* L.). *J. Agric. Food Chem* **60** (42), 10501-10510, DOI: [10.1021/jf303398z](https://doi.org/10.1021/jf303398z)