

FARKLI KURUTMA TEKNİKLERİNİN FINDIK OLEOZOMLARI ÜZERİNE ETKİLERİNİN BELİRLENMESİ

Hakan ERİNÇ*, Tuğçe ERKAYIRAN

Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Niğde, Türkiye

Geliş/Received: 26.09.2024; Kabul /Accepted: 06.11.2024; Online baskı /Published online: 15.11.2024

Erinç, H., Erkayran, T. (2024). Farklı kurutma tekniklerinin fındık oleozomları üzerine etkilerinin belirlenmesi. GIDA (2024) 46 (6) 1138-1147 doi: 10.15237/ gida.GD24101

Erinç, H., Erkayran, T. (2024). Determination of the effects of different drying techniques on hazelnut oleosomes. GIDA (2024) 46 (6) 1138-1147 doi: 10.15237/ gida.GD24101

ÖZ

Bu çalışmada, kavrulmamış fındıklardan elde edilen oleozomlar yağ ve protein içerikleri ile kremleşme stabilitesi (pH 2-11) açısından karakterize edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre, fındıktan elde edilen oleozomların yağ içeriği 87.45 ± 0.36 ve protein içeriği 1.65 ± 0.06 olarak belirlendi. Ayrıca oleozomların pH 7'de agregasyona/kremleşmeye karşı direnç gösterdikleri ancak daha yüksek ve daha düşük pH değerlerinde kararsız oldukları tespit edilmiştir. Çalışmanın ikinci aşamasında, oleozomlar maltodekstrin ile karıştırıldıktan sonra iki farklı yöntemle (püskürtülerek ve dondurularak) kurutulmuştur. Örnekler üzerinde yapılan sindirilebilirlik ve oksidatif stabilite analizleri, kurutulan örneklerin sindirilebilirlik açısından kontrol örneğinden daha iyi olduğunu göstermiştir. Dondurularak kurutulan oleozomlar, kontrol örneğiyle benzer oksidatif stabilite sonuçları sergilerken, püskürtülerek kurutulan örneklerin sıcaklık etkisiyle önemli ölçüde okside olduğu belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Oleozom, kremleşme, püskürtülerek kurutma, dondurularak kurutma, oksidatif stabilite, sindirilebilirlik

DETERMINATION OF THE EFFECTS OF DIFFERENT DRYING TECHNIQUES ON HAZELNUT OLEOSOMES

ABSTRACT

In this study, oleosomes obtained from raw hazelnuts were characterized for their fat-protein contents and creaming stability (pH 2-11). According to the analysis results, oleosomes obtained from hazelnuts had a fat content of $87.45\% \pm 0.36$ and a protein content of $1.65\% \pm 0.06$. On the other hand, it was found that they exhibited resistance to aggregation/creaming at pH 7, but were unstable at higher and lower pH values. In the second phase of the study, oleosomes were mixed with maltodextrin and then dried using two different methods (spray-drying and freeze-drying). Digestibility and oxidative stability analyses conducted on the samples revealed that the digestibility of the dried samples was superior to that of the control sample. Freeze-dried oleosomes exhibited oxidative stability results similar to the control sample, while it was determined that samples dried by spray-drying underwent significant oxidation due to the temperature effect.

Keywords: Oleosome, creaming, spray drying, freeze-drying, oxidative stability, digestibility

* Yazışmalardan sorumlu yazar / Corresponding author

✉: herinc@ohu.edu.tr

☎: (+90) 388 225 4005

☎: (+90) 388 225 0112

Hakan Erinç; ORCID no: 0000-0001-8858-4570

Tuğçe Erkayran; ORCID no: 0000-0002-0378-4678

GİRİŞ

Memeli sütündeki yağ globülleri, omurgalıların dolaşım sistemlerindeki lipoproteinler ve bitki tohumlarındaki oleozomlar gibi yapılar, yağı su içinde küçük damlacıklar halinde dağıtmak üzere oluşmuş (Waschatko vd., 2012), mikron büyüklüğündeki lipid depolanan yapılardır. Bu yapılar aynı zamanda badem, fıstık, kabak çekirdeği, pirinç kepeği, soya fasulyesi ve fındık gibi ürünlerde de bulunur (Abdullah vd., 2020; Dave vd., 2019; Iwanaga vd., 2007).

Oleozomlar, protein ve lipid içeriği açısından zengin olmaları nedeniyle bitkisel gıda kaynakları arasında en umut verici sürdürülebilir kaynaklardan birisi olarak ortaya çıkmaktadır (Lopez vd., 2021). Küresel nüfusun artmasıyla birlikte, oleozomların gıda endüstrisindeki endüstriyel kullanımı, tüketicilerin "tamamen doğal" ürün taleplerini karşılamak amacıyla sentetik olarak tasarlanmış yağ kullanımını yavaş yavaş değiştirmektedir (Nikiforidis vd., 2014). Oleozomların yüksek emülsiyon kapasitesi, düşük toksisite potansiyeli, biyolojik uyumluluk ve maliyet etkinliği gibi dikkate değer özellikleri, onları doğal ürün eldesi bağlamında önemli bir ilgi odağı haline getirmiştir (Abdullah vd., 2020; Ntone vd., 2023). Aynı zamanda oleozomların önümüzdeki dönemde bitki bazlı gıda ürünlerinin gelişimini yönlendirmede önemli bir potansiyele sahip olduğu vurgulanmıştır (Kara vd., 2024).

Fosfolipitleri ve bazı proteinleri (oleozinler, kaleozinler ve steroleozinler gibi) içeren oleozomlar, triaçilgliserol (TAG) çekirdeğini çevreleyen bir protein tabakasından oluşur (Abdullah vd., 2020). Bu proteinlerin oleozom arayüzündeki düzeni, onları hidrofilik hale getirir ve bu nedenle su kullanılarak ekstrakte edilebilirler (Nikiforidis ve Kiosseoglou, 2009). Ayrıca, bu protein yapılar, oleozomları çevresel etkilerden koruyarak çeşitli gıda uygulamaları için uygun hale getirir (Nikiforidis, 2019; Abdullah vd., 2020; Pereira vd., 2022). Bu anlamda oleozomların biyoaktif bileşenleri kapsülleme, lipid oksidasyonunu inhibe etme, taklit süt ürünleri hazırlama ve yenilebilir fonksiyonel filmler üretme gibi geniş uygulama alanlarının olması (Iwanaga vd., 2007; Maurer vd., 2016; Abdullah vd., 2020)

gıda sanayi için oldukça önemlidir. Nitekim, Shakerardekani vd. (2013), fıstık oleozomlarını çeşitli süt içeceklerinin formülasyonunda kullanarak, tuzsuz bir ortamda duyuşal açıdan en yüksek puanlı antep fıstığı sütünü elde etmiştir. Başka bir çalışmada, Mantzouridou vd. (2019), oleozom eklenmiş yoğurdun fizikokimyasal, mikrobiyolojik ve oksidatif özellikler açısından üstün stabilite sergilediğini belirlemiştir. Benzer şekilde, oleozomların soya sütü ve çikolata üretiminde kullanımı ile değerli besin profillerine ve yüksek stabiliteye sahip ürünler elde edilmiştir (Gallier vd., 2012; Nikiforidis vd., 2014).

Bazı koşullar altında oleozomlarda önemli ölçüde agregasyon ve flokülasyon görülebilir. Ayrıca oleozomlar, yapılarındaki çoklu doymamış yağ asitleri nedeniyle ışık, oksijen veya nemle temas ettiklerinde lipid oksidasyonuna karşı son derece duyarlı hale gelirler (Zaaboul vd., 2022). Bunu önlemek için, oleozomların mikrokapsüle edilmesi gerekmektedir (Bakry vd., 2016).

Yağın besin değerini ve oleozomların işlevini korumak için püskürtülerek kurutma yöntemiyle mikrokapsülleme umut vadeden bir tekniktir. Yapılan bir çalışmada saf oleozomların püskürtülerek kurutulmasının aşırı bileşen ayrışmasına ve dolayısıyla düşük bir kapsülleme verimliliğine neden olduğu belirlendikten sonra oleozomlara maltodekstrin (MD) eklenerek kurutulmasının yağ kapsülleme verimliliğini önemli ölçüde arttırdığı belirlenmiştir (Maurer vd., 2016).

MD, yüksek çözünürlüğü, yüksek katı konsantrasyonunda düşük viskozitesi, düşük maliyeti ve nötr tat ve renk özellikleri nedeniyle biyoaktif maddelerin mikrokapsülasyonunda yaygın olarak kullanılır. Ambalajlama sürecinde kaplama malzemesi, mikrokapsüllerin fiziksel ve fonksiyonel özelliklerini etkiler (Loi vd., 2020). MD, çekirdek malzemeleri dış ortamdan gelebilecek hasarlardan korumak ve çekirdek malzemelerin kapsülleme verimini maksimize etmek için kullanılabilir (Korma vd., 2019). Fongin vd. (2017), kuruma ve depolama sırasında MD eklemenin çekirdek malzemenin mikrokapsülasyon verimini ve oksidasyon

stabilitesini artırabileceğini açıklamıştır. Mohona ve Pradyuman (2022), MD'nin frenk üzümü tohum yağının kapsülasyonunda bozulmayı önlemek ve biyoaktif maddelerin raf ömrünü uzatmak için etkili bir şekilde kullanıldığını ortaya koymuştur. Zhu vd. (2022), farklı hidroliz derecelerine sahip maltodekstrinler kullanarak soya fasulyesi oleozomlarının kapsüllemesinin termal ve oksidatif stabilitesini önemli ölçüde artırdığını bildirmişlerdir. Li vd. (2022) yapmış oldukları çalışmada, soya fasulyesi oleozomlarının maltodekstrin kullanarak kapsüllemesinin, oleozom mikrokapsüllerinin stabilitesini artırdığını ve depolama sırasında lipit oksidasyon derecesini azalttığını belirlemişlerdir. Maurer vd. (2016), maltodekstrin ekleyerek oleozomların kapsülleme verimini ve oksidatif stabilitesini artırdığını tespit etmişlerdir.

Oleozomların çeşitli uygulamaları incelenmiş olsa da, püskürterek ve dondurarak kurutma işlemine tabi tutulması ve karşılaştırılması ile ilgili herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu çalışmada, çiğ fındıklardan su ekstraksiyon yöntemi ile elde edilen oleozomlar, karakterize edildikten sonra maltodekstrin ile karıştırılmış ve iki farklı yöntemle (püskürterek-dondurarak) kurutulmuştur. Bu çalışmanın temel amaçları, kurutulmuş oleozomların sindirilebilirliğini ve oksidatif stabilitesini değerlendirmek ve bu şekilde oleozomların gıda olarak çok yönlü kullanımına katkıda bulunmaktır.

MATERYAL VE METOT

Materyal

Bu çalışmada, yerel marketlerden temin edilen çiğ fındıklar kullanılmıştır. Analizlerde kullanılan tüm kimyasallar Sigma Aldrich (St. Louis, MO, ABD) firmasından temin edilmiştir.

Oleozom ekstraksiyonu

Fındıktan oleozom ekstraksiyonunda ilk olarak, 100 g fındık örneğine sodyum bi karbonat ile pH'sı 9.5'a ayarlanmış distile su (400 g) eklenerek 4 °C'de 16 saat süreyle bekletilmiş ve ardından bir 3mm delik çapına sahip kıyma makinasından geçirilmiştir. Daha sonra, saflaştırılma işlemi için 3000 g'de 15 dakika süreyle santrifüj edilerek üstteki oleozom tabakasının ayrılması

sağlanmıştır. Buradan izole edilen üst tabaka daha sonra sodyum bi karbonat ile pH 11'e ayarlanmış distile su ile (1:4 oranında) yeniden süspansiyon edilmiş ve 10.000 g'de 15 dakika süreyle santrifüj edilerek saflaştırılmıştır. Bu işlem oleozom saflığını artırmak için iki kez tekrarlanmıştır (Romero-Guzmán vd., 2020).

Oleozomlarda yapılan analizler

Yağ ve protein tayini

Fındık örneği ve oleozomlardaki yağ miktarı Soxhlet yöntemi ile petrol eteri kullanılarak, protein içeriği ise Kjeldahl yöntemi kullanılarak belirlenmiştir (AOAC, 2002).

Yağ asidi kompozisyon analizi

Örneklerin yağ asidi metil esterleri, Hartman ve Lago'nun (1973) yöntemi kullanılarak hazırlanmış ve yağ asidi kompozisyonları, DB23 kapiler kolon (60 m × 0.250 mm × 0.25 µm) ve alev iyonizasyon detektörü ile donatılmış Shimadzu GC-2010plus (Shimadzu, Japonya) gaz kromatografi yardımıyla belirlenmiştir. Taşıyıcı gaz olarak helyum kullanılmış (1 mL/dakika) ve split oranı 1:80 olarak belirlenmiştir. Analiz süresince enjektör, kolon ve detektör sıcaklıkları sırasıyla 230°C, 190°C ve 240°C'de tutulmuştur.

Oleozomların kremleşmeye karşı stabiliteeleri

Bu amaçla farklı pH değerlerinde tampon çözeltiler hazırlanmıştır. Hazırlanan bu çözeltiler içerisindeki oleozomlardan 10 mL alınmış ve 20 mL hacimli mezür içerisine yerleştirilmiştir. Oda sıcaklığında 14 gün depolamanın ardından krema ve serum olarak ayrılan katmanların ölçümü gerçekleştirilmiştir (Iwanaga vd., 2007; Qi vd., 2017). Oleozom süspansiyonunun toplam yüksekliği (HT), serum tabakasının yüksekliği (HSL) ve krem tabakasının yüksekliği (HCL) üç tekrarlı olarak belirlenmiş olup kremleşme indeksi, aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmıştır:

$$\text{Serum tabakası için Kremleşme İndeksi (CISL)} = 100 \times \text{HSL} / \text{HT}$$

$$\text{Krem tabakası için Kremleşme İndeksi (CICL)} = 100 \times \text{HCL} / \text{HT}$$

Oleozomların kurutulması

Dondurarak kurutma; oleozom örnekleri 2 katı oranında maltodekstrin ile karıştırıldıktan sonra -70 °C sıcaklıkta 24 saat dondurulmuş, ardından liofilizatör yardımıyla 4 gün süresince kurutulmuştur.

Püskürtürek kurutma; oleozom örnekleri 2 katı oranında maltodekstrin ile karıştırıldıktan sonra 140°C, %100 aspiration hızında, 8 mL/dakika besleme hızında püskürtmeli kurutucuya beslenerek kurutulmuştur.

Kurutulmuş örneklerde yapılan analizler*Taramalı elektron mikroskopu görüntüleri*

Kurutma işlemi sonrası örneklerin morfolojik yapıları Zeiss/Evo 40 model taramalı elektron mikroskopu yardımıyla belirlenmiştir.

FTIR

Elde edilen ürünlerin FTIR ölçümlerinde KBr ile hazırlanan pelletler kullanılmıştır. 4000-400 cm⁻¹ dalga boyları arasında spektrum taranmıştır. Bu analiz IR Affinity-1 Spectrometer (Shimadzu Corporation, Kyoto, Japonya) cihazı ile gerçekleştirilmiştir.

Sindirim uygulaması

Farklı yöntemlerle kurutulmuş oleozomlarda mide ve bağırsak sindirimi laboratuvar koşullarında simüle edilmiştir (Özgüven, 2014). Bu işlemde önce 37°C'de 5 dk α-amilaz sindirimi yapıldıktan sonra 37°C'de 2 saat pepsin/HCl sindirimi gerçekleştirilmiştir. Sonrasında ise yine 37°C'de 2 saat safratuzu/pankreatin ile sindirim işlemine devam edilmiş olup başlangıç örneklerinde ve sindirim uygulanan örneklerde serbest yağ asidi tayini yapılarak ürünlerin sindirilme düzeyi belirlenmiştir.

Oksidasyon parametrelerinin belirlenmesi

Peroksit sayısı analizi AOCS Cd 8-53 metodu ile, malonaldehit analizi (MAD) ise 2-Tiyobarbitürik asidin (TBA) MAD ile kalorimetrik tepkimesinin ölçme esasına dayanarak AOCS Cd 19-90 metodu ile belirlenmiştir (AOCS, 1998). Şahit çözeltiye karşı örneğin 538 nm'deki absorbansı okunmuş ve MAD standart eğrisini hazırlamak üzere 1x10⁻³ M Malonaldehit bis (dietyl asetal, %97) standart

çözeltisinden farklı oranlarda seyreltmeler hazırlanmıştır. Hazırlanan seyreltik çözeltilerden elde edilen absorbanslar kalibrasyon eğrisinin hazırlanmasında kullanılmıştır.

İstatistiksel Analizler

Varyans analizi (ANOVA) SPSS yazılım paketi kullanılarak gerçekleştirilmiş ve ortalamalar arasındaki farklılıklar Duncan çoklu aralık testi kullanılarak değerlendirilmiştir.

BULGULAR VE TARTIŞMA**Oleozomların yağ ve protein içeriği**

Kavrulmamış fındıkların yağ içeriği %47.83±1.23, oleozomların yağ içeriği ise %87.45±0.36 olarak belirlenmiştir. Kavrulmuş ve kavrulmamış fındıktan oleozom ekstraksiyonu üzerine yapılan bir çalışmada, kavrulmuş fındıktan elde edilen oleozomlardaki yağ içeriği %53.3 iken kavrulmamış fındıktan elde edilen oleozomdaki yağ içeriği %77.5 olarak bulunmuştur (Capuano vd., 2018). Yaptığımız çalışmada kavrulmamış fındık kullanılmış olup Capuano vd. (2018) tarafından belirlenen değere kıyasla oleozom içeriğindeki yağ miktarı daha yüksek bulunmuştur.

Fındıktan elde edilen oleozomların protein miktarı ise %1.65±0.06 olarak bulunmuştur. Yapılan bir çalışmada, soya fasulyesinin 4 °C'de 20 saat bekletmenin ardından tohum-su oranı (1:5w/v), filtreleme ardından 30 dakika boyunca 25000g'de santrifüjleme sonunda; oleozom bileşiminde bizim sonuçlarımızdan oldukça yüksek miktarda (%7.85) protein olduğu belirlenmiştir (Qi vd., 2017). Sonuçlardan anlaşıldığı oleozom kaynağı ve uygulanan ön işlemler oleozom bileşimini etkilemektedir.

Yağ asidi kompozisyonu

Fındık ve oleozom yağlarının yağ asidi kompozisyonları Çizelge 1'de detaylandırılmıştır. Beklendiği gibi, fındık ve oleozom yağı benzer yağ asidi içeriği sahip olmakla birlikte yaklaşık olarak %84 oleik asit, %7 linoleik asit ve %6 palmitik asit içerdiği tespit edilmiştir.

Çizelge 1. Fındık ve oleozom yağlarının yağ asidi kompozisyonları
 Table 1. Fatty acid compositions of hazelnut and oleosome oils

Yağ Asitleri (%) Fatty Acids (%)	Fındık Hazelnut	Oleozom Oleosome
Miristik asit <i>Myristic acid</i>	0.02±0.00	0.03±0.00
Palmitik asit <i>Palmitic acid</i>	5.77±0.12	5.74±0.10
Palmitoleik asit <i>Palmitoleic acid</i>	0.33±0.01	0.34±0.01
Stearik asit <i>Stearic acid</i>	2.48±0.13	2.42±0.11
Oleik asit <i>Oleic acid</i>	84.20±0.15	84.09±0.13
Linoleik asit <i>Linoleic acid</i>	7.17±0.20	7.29±0.15

Oleozomların kremleşme stabiliteleri

Oda sıcaklığında 14 gün süresince depolanan oleozom süspansiyonlarının kararlılığı üzerinde pH'nin etkisi, süspansiyon kararlılığını değerlendirmek için yaygın olarak kullanılan bir parametre olan kremleşme indeksi ile değerlendirilmiştir. Kremleşme indeksi, oleozom süspansiyonları içindeki damlacık birikiminin derecesi hakkında bilgi vermekte olup özellikle yüksek kremleşme indeksi değerleri, daha büyük parçacık agregasyonunu gösterir (Van Aken vd., 2003).

Çizelge 2'de görüldüğü üzere, fındıktan elde edilen oleozomlar pH 3-4 aralığında tamamen iki fazlı

(krem ve serum) olarak ayrılmış ve bu, süspansiyonun bozulmasına neden olmuştur. Bu sonuç, oleozom süspansiyonlarının asidik pH seviyelerinde serum oluşturma eğilimini bildiren Qi ve diğerlerinin (2017) bulguları ile uyumludur. Oleozomlarda serum ayrışması olmaksızın sadece krem tabakası oluşumunun gözlenmesi de kararsızlığın göstergesi olarak kabul edilmiş olup sunulan bu çalışmada elde edilen oleozomlar en yüksek kararlılığı pH 7-8 aralığında sergilemiştir. Bunun aksine, pH 2, 5-6 ve pH 9-11'de oleozomlar üç ayrı faz (krem, süspansiyon ve serum) halinde ayrılmıştır.

Çizelge 2. Farklı pH değerlerindeki oleozom süspansiyonlarının kremleşme ve serum stabilitesi
 Table 2. Creaming and serum stability of oleosome suspensions at different pH values

pH	Krem Stabilitesi <i>Creaming stability</i> (%) CI _{CL}	Serum Stabilitesi (%) <i>Serum stability</i> (%) CI _{SL}
	2	6.0±0.1 ^h
3	6.7±0.1 ⁱ	93.3±0.9 ^h
4	6.7±0.1 ⁱ	93.1±0.9 ^h
5	5.7±0.1 ^f	19.7±0.2 ^f
6	5.3±0.1 ^d	12.2±0.1 ^b
7	1.0±0.0 ^a	0.0±0.0 ^a
8	3.5±0.0 ^b	0.0±0.0 ^a
9	4.1±0.0 ^c	14.6±0.1 ^d
10	5.6±0.1 ^e	20.6±0.2 ^g
11	5.9±0.1 ^g	15.8±0.2 ^e

^a Farklı üst simgeler önemli farklılıkları göstermektedir ($P < 0.05$).

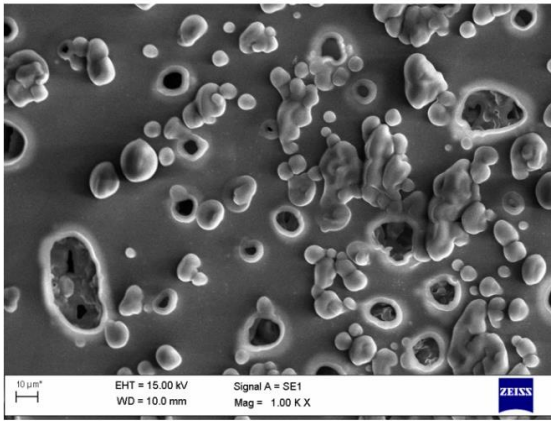
^a Different superscripts indicate significant differences ($P < 0.05$).

Bulgularımıza benzer olarak, Iwanaga vd. (2007), soya fasulyesi oleozomları için optimum kararlılığa uygun pH aralığının 7-8 olduğunu belirlemişler. Ancak Qi vd. (2017), en kararlı soya fasulyesi oleozom süspansiyonunun pH 9'da elde edildiğini bildirmiştir. Bu sonuçlardan anlaşıldığı üzere oleozom kaynağı fiziksel stabilite açısından da oldukça önemlidir.

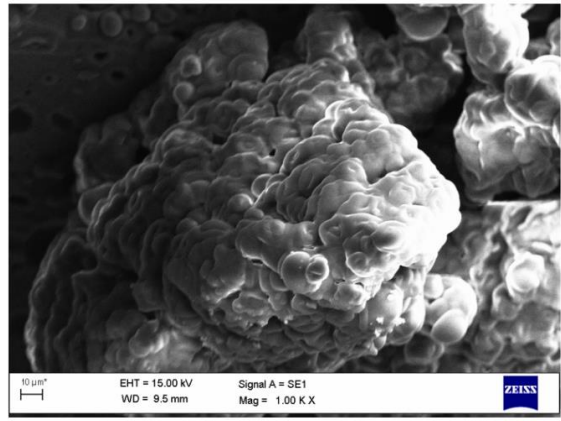
Kurutulmuş oleozomlarda yapılan analiz sonuçları

Taramalı elektron mikroskopu

Kurutulmuş oleozomların taramalı elektron mikroskopu görüntüleri Şekil 1'de verilmiş olup şekillerden görüldüğü üzere sprey kurutucu ile yapılan kurutma işlemi sonucunda maltodekstrinden kaynaklı olarak yapının aglomere olduğu gözlenmiştir. Yapıdaki bu farklılıklar son ürünün sindirilebilirliğinde önemli değişimlere neden olmuştur.



Donuk kurutulmuş, *Freeze-dried*



Püskürtülerek kurutulmuş, *Spray-dried*

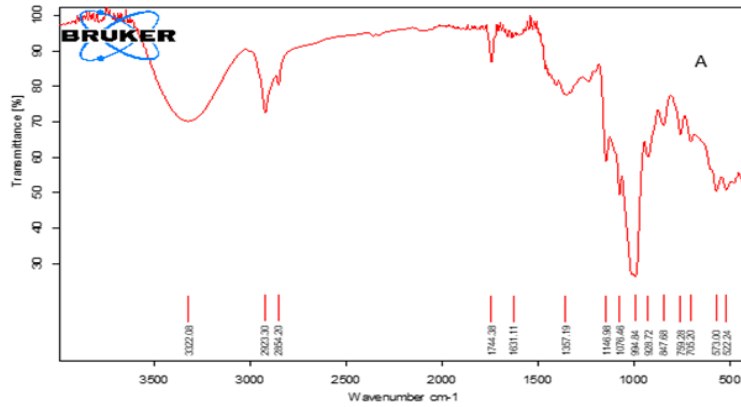
Şekil 1. Kurutulmuş oleozomların taramalı elektron mikroskopu görüntüleri

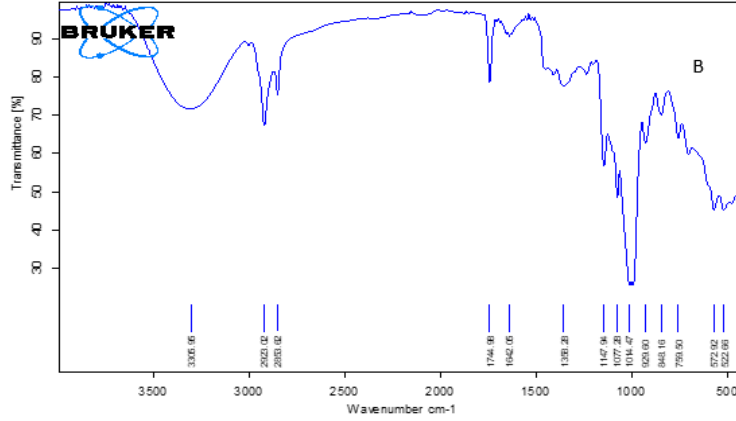
Figure 1. Scanning electron microscopy images of dried oleosomes

FT-IR

Şekil 2'de kurutulmuş fındık oleozomlarının FT-IR spektrumu verilmiş olup çeşitli karakteristik fonksiyonel grupların varlığını göstermektedir. Grafikte görülen 2923 ve 2854 cm^{-1} 'deki pikler, $-\text{CH}_2$ gruplarının gerilme titreşimlerine

atfedilebilir. Ayrıca, 1744 cm^{-1} 'deki belirgin pik, yağ bileşenindeki trigliseridlerin karbonil grubuna karşılık gelir. 1146 cm^{-1} 'deki pik ise C-O gerilme titreşimlerinden kaynaklanır (Matsakidou vd., 2019).





Şekil 2. Kurutulmuş oleozomların FT-IR spektrumları, A: Donuk kurutulmuş, B: Püskürtülerek kurutulmuş

Figure 2. FT-IR spectra of dried oleosomes, A: Freeze-dried, B: Spray dried

Sindirim analizi sonuçları

Yapılan sindirim analizleri sonuçları Çizelge 3'de verilmiş olup sonuçlardan da görüldüğü üzere kurutulmamış kontrol örneğine göre kurutma işlemi ile oleozomların sindirilebilirliği önemli düzeyde artış göstermiştir. Özellikle yüksek sıcaklık uygulanan sprey kurutma işlemi ile oleozomların %94.80 oranında sindirilebilir

olduğu gözlenmiştir. Bunun nedeni sprey kurutma işleminde uygulanan yüksek sıcaklık etkisi ile oleozomların yüzey proteinlerinde denatürasyonların gerçekleşmesine atfedilebilir. Dondurarak kurutma esnasında ise süblimleşen buz kristallerinin son üründe gözenekler oluşturarak sindirilebilirliğinin artmasına neden olduğu öngörülmüştür.

Çizelge 3. Kurutulmuş oleozomların sindirilebilirlik, peroksit sayısı ve TBA değerleri

Table 3. Digestibility, peroxide value, and TBA values of dried oleosomes.

Örnek Sample	Sindirilebilirlik Digestibility (%)	Peroksit sayısı Peroxide value (meq O ₂ /kg)	TBA değeri TBA value (µg MA/g)
Kontrol Control	29.66±2.34 ^a	0.31±0.05 ^a	0.37±0.30 ^a
Donuk kurutulmuş Freeze-dried	73.90±0.75 ^b	0.20±0.05 ^a	0.35±0.19 ^a
Püskürterek kurutulmuş Spray dried	94.80±0.76 ^c	0.71±0.11 ^b	0.51±0.17 ^a

^a Farklı üst simgeler önemli farklılıkları göstermektedir ($P < 0.05$).

^a Different superscripts indicate significant differences ($P < 0.05$).

Kurutulmuş oleozomların oksidasyon analizleri sonuçları

Kurutulmuş oleozomlarda gerçekleştirilen oksidasyon analizleri sonuçlarından (Çizelge 3) görüldüğü üzere püskürterek kurutma işlemindeki yüksek sıcaklık etkisinden dolayı peroksit sayısı ve TBA değerleri artarken dondurarak kurutma işlemi ile bu parametreler kontrole benzer

bulunmuştur. Ancak TBA değerlerinde istatistiki olarak farklılık bulunmamıştır. Bu sonuçlar oleozomların MD ile karıştırıldıktan sonra dondurarak ve püskürterek kurutma işlemlerine tabi tutulması sonucunda oksidasyondan çok fazla etkilenmediğini göstermektedir.

SONUÇ

Bu çalışmada, sodyum bikarbonat ile pH'sı 9.5'a ayarlanmış distile su kullanılarak fındıktan oleozomlar başarıyla elde edilmiştir. Gıda endüstrisindeki çeşitli pH koşulları göz önüne alındığında kritik bir parametre olan kremleşme stabilitesi, elde edilen oleozomlar için değerlendirilmiş olup özellikle pH 7-8 aralığında oleozomlar krema oluşumu ve agregasyona karşı güçlü bir stabilite sergilemiştir. Ek olarak, bulgularımız, oleozomların yağ fazını kimyasal veya fiziksel bozulmalara karşı etkili bir şekilde korunması ve sindirilebilirliğinin artırılması için püskürterek ve dondurarak kurutma işlemlerinin potansiyeline işaret etmektedir. Bu testlerin sonuçlarını doğrulamak için özellikle duyuşal değerlendirmeler ve ürün uygulamaları gibi daha fazla araştırmaların yapılması gerekmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Projeleri Birimi tarafından desteklenmiştir (Proje No: TGT 2020/8-BAGEP).

YAZAR KATKILARI

H.E. çalışmanın yürütülmesinden sorumluydu. H.E. ve T.E. çalışma için deneyleri gerçekleştirdi. Tüm yazarlar makalenin yazımına katkıda bulundular ve tüm yazarlar makaleyi okudu ve onayladı.

ÇIKAR ÇATIŞMASI

Yazarlar çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

KAYNAKLAR

Abdullah, Weiss, J., Zhang, H. (2020). Recent advances in the composition, extraction and food applications of plant-derived oleosomes. *Trends in Food Science & Technology*, 106, 322–332. <https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2020.10.029>

AOAC. (2002). Official Methods of Analysis of AOAC International. In G. W. Latimer (Ed.), AOAC International (21st ed., Issue 2019). AOAC International, Rockville, Md. <https://www.worldcat.org/title/1194484062>

AOCS. (1998). Official methods and recommended practices of the AOCS (D.

Firestone (ed.); 5th ed.). American Oil Chemists' Society.

Bakry, A.M., Abbas, S., Ali, B., Majeed, H., Abouelwafa, M.Y., Mousa, A., Liang, L. (2016). Microencapsulation of oils: A comprehensive review of benefits, techniques, and applications. *Comprehensive Reviews In Food Science And Food Safety*. 15:143–82. doi: 10.1111/1541- 4337.12179

Capuano, E., Pellegrini, N., Ntone, E., Nikiforidis, C. V. (2018). In vitro lipid digestion in raw and roasted hazelnut particles and oil bodies. *Food and Function*, 9(4), 2508–2516. <https://doi.org/10.1039/c8fo00389k>

Dave, A. C., Ye, A., Singh, H. (2019). Structural and interfacial characteristics of oil bodies in coconuts (*Cocos nucifera* L.). *Food Chemistry*, 276, 129–139. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2018.09.125>

Fongin, S., Kawai, K., Harnkarnsujarit, N., Hagura, Y. (2017). Effects of water and maltodextrin on the glass transition temperature of freeze-dried mango pulp and an empirical model to predict plasticizing effect of water on dried fruits. *Journal of Food Engineering*, 210:91–7. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2017.04.025

Gallier, S., Gordon, K. C., Singh, H. (2012). Chemical and structural characterisation of almond oil bodies and bovine milk fat globules. *Food Chemistry*, 132(4), 1996–2006. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2011.12.038>

Hartman, L., Lago, R. C. A. (1973). Rapid preparation of fatty acid methyl esters from lipids - PubMed. *Laboratory Practice*, 22, 475–476. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/4727126/>

Iwanaga, D., Gray, D. A., Fisk, I. D., Decker, E. A., Weiss, J., McClements, D. J. (2007). Extraction and characterization of oil bodies from soy beans: A natural source of pre-emulsified soybean oil. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(21), 8711–8716. https://doi.org/10.1021/JF071008W/ASSET/IMAGES/LARGE/JF-2007-01008W_0007.JPEG

Kara, H.H., Araiza-Calahorra, A., Rigby, N.M., Sarkar, A. (2024). Flaxseed oleosomes:

- Responsiveness to physicochemical stresses, tribological shear and storage. *Food Chemistry*, 431, 137160. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2023.137160>
- Korma, S.A., Wei, W., Ali, A.H., Abed, S.M., Zheng, L., Jin Q., Wang, X. (2019). Spray-dried novel structured lipids enriched with medium-and long-chain triacylglycerols encapsulated with different wall materials: characterization and stability. *Food Research International*, 116:538–47. doi: 10.1016/j.foodres.2018.08.071
- Li, Z., Sun, B., Zhu, Y., Liu, L., Huang, Y., Lu, M., Zhu, X., Gao, Y. (2022). Effect of maltodextrin on the oxidative stability of ultrasonically induced soybean oil bodies microcapsules. *Frontiers In Nutrition*, 9:1071462. doi:10.3389/fnut.2022.1071462.
- Loi, C.C., Eyres, G.T., Silcock, P., Birch, E.J. (2020). Preparation and characterisation of a novel emulsifier system based on glycerol monooleate by spray-drying. *Journal of Food Engineering*, 285:110100. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2020.110100
- Lopez, C., Novales, B., Rabesona, H., Weber, M., Chardot, T., Anton, M. (2021). Deciphering the properties of hemp seed oil bodies for food applications: Lipid composition, microstructure, surface properties and physical stability. *Food Research International*, 150, 110759. <https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2021.110759>
- Mantzouridou, F.T., Naziri, E., Kyriakidou, A., Paraskevopoulou, A., Tsimidou, M.Z., Kiosseoglou, V. (2019). Oil bodies from dry maize germ as an effective replacer of cow milk fat globules in yogurt-like product formulation. *LWT*, 105, 48–56. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2019.01.068>
- Matsakidou, A., Tsimidou, M. Z., Kiosseoglou, V. (2019). Storage behavior of caseinate-based films incorporating maize germ oil bodies. *Food Research International*, 116, 1031–1040. <https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2018.09.042>
- Maurer, S., Ghebremedhin, M., Zielbauer, B.I., Knorr, D., Vilgis, T.A. (2016). Microencapsulation of soybean oil by spray drying using oleosomes. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 49:054001. doi: 10.1088/0022-3727/49/5/054001
- Mohona, M., Pradyuman, K. (2022). Microencapsulation of fenugreek seed oil and oil load effect on maltodextrin and fenugreek seed mucilage as wall materials by spray drying. *Journal of Food Processing and Preservation*, 46:16294. doi: 10.1111/JFPP.16294
- Nikiforidis, C. V., Kiosseoglou, V. (2009). Aqueous extraction of oil bodies from maize germ (*Zea mays*) and characterization of the resulting natural oil-in-water emulsion. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(12), 5591–5596. <https://doi.org/10.1021/JF900771V>
- Nikiforidis, C.V. (2019). Structure and functions of oleosomes (oil bodies). *Advances in Colloid and Interface Science*, 274, 102039. <https://doi.org/10.1016/J.CIS.2019.102039>
- Nikiforidis, C.V., Matsakidou, A., Kiosseoglou, V. (2014). Composition, properties and potential food applications of natural emulsions and cream materials based on oil bodies. *RSC Advances*, 4(48), 25067–25078. <https://doi.org/10.1039/C4RA00903G>
- Ntone, E., Yang, J., Meinders, M. B. J., Bitter, J. H., Sagis, L. M. C., Nikiforidis, C. V. (2023). The emulsifying ability of oleosomes and their interfacial molecules. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 229, 113476. <https://doi.org/10.1016/J.COLSURFB.2023.113476>
- Özgülven, M. (2014). Functional chocolate development: enrichment of dark chocolate with nano-liposome encapsulated antioxidants, and/or pro- and pre-biotics, bioavailability studies, Ph. D. Thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
- Pereira, W.F.S., de Figueiredo Furtado, G., Feltre, G., Hubinger, M.D. (2022). Oleosomes from Buriti (*Mauritia flexuosa* L. f.): Extraction, characterization and stability study. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 82, 103183. <https://doi.org/10.1016/J.IFSET.2022.103183>
- Qi, B., Ding, J., Wang, Z., Li, Y., Ma, C., Chen, F., Sui, X., Jiang, L. (2017). Deciphering the

- characteristics of soybean oleosome-associated protein in maintaining the stability of oleosomes as affected by pH. *Food Research International*, 100(May), 551–557. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.07.053>
- Romero-Guzmán, M. J., Jung, L., Kyriakopoulou, K., Boom, R. M., Nikiforidis, C. V. (2020). Efficient single-step rapeseed oleosome extraction using twin-screw press. *Journal of Food Engineering*, 276, 109890. <https://doi.org/10.1016/J.JFOODENG.2019.109890>
- Shakerardekani, A., Karim, R., Vaseli, N. (2013). The effect of processing variables on the quality and acceptability of pistachio milk. *Journal of Food Processing and Preservation*, 37(5), 541–545. <https://doi.org/10.1111/J.1745-4549.2012.00676.X>
- Van Aken, G.A., Blijdenstein, T.B.J., Hotrum, N.E. (2003). Colloidal destabilisation mechanisms in protein-stabilised emulsions. *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, 8(4–5), 371–379. [https://doi.org/10.1016/S1359-0294\(03\)00098-0](https://doi.org/10.1016/S1359-0294(03)00098-0)
- Waschatko, G., Junghans, A., Vilgis, T. A. (2012). Soy milk oleosome behaviour at the air–water interface. *Faraday Discussions*, 158(0), 157–169. <https://doi.org/10.1039/C2FD20036H>
- Zaaboul, F., Zhao, Q., Xu, Y., Liu, Y. (2022). Soybean oil bodies: a review on composition, properties, food applications, and future research aspects. *Food Hydrocolloids*, 124:107296. doi: 10.1016/j.foodhyd.2021.107296
- Zhu, Z., Hu, J., Zhong, Z. (2022). Preparation and characterization of long-term antibacterial and pH-responsive Polylactic acid/Octenyl succinic anhydridechitosan @ tea tree oil microcapsules. *International Journal of Biological Macromolecules*, 220:1318–28. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2022.09.038