

DONDURARAK KURUTMA YÖNTEMİ İLE İNCİR ÇEKİRDEĞİ YAĞININ ENKAPSÜLASYONU VE TOZ ÜRÜNÜN KARAKTERİZASYONU**Tuğçe YORGANCI, Aslı ZUNGUR BASTIOĞLU, Aslı YORULMAZ***

Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Aydın, Türkiye

Geliş / Received 25.03.2025; Kabul / Accepted: 25.06.2025; Online baskı / Published online: 05.07.2025

Yorgancı, T., Zungur Bastioğlu, A., Yorulmaz, A. (2025). Dondurarak kurutma yöntemi ile incir çekirdeği yağının enkapsülasyonu ve toz ürünün karakterizasyonu. GIDA (2025) 50 (4) 519-536 doi: 10.15237/gida.GD25045

Yorgancı, T., Zungur Bastioğlu, A., Yorulmaz, A. (2025). Encapsulation of fig seed oil by freeze drying method and characterization of the powder product. GIDA (2025) 50 (4) 519-536 doi: 10.15237/gida.GD25045

ÖZ

Bu çalışmanın amacı, incir çekirdeği yağını dondurarak kurutma yöntemi kullanılarak uygun kaplama materyalleriyle enkapsüle etmektir. Bu amaçla, farklı oranlarda maltodekstrin ve peynir altı suyu protein izolatu ile enkapsüle edilen incir çekirdeği yağı tozlarına fiziksel analizler uygulanmış ve en uygun kaplama materyali oranı belirlenmiştir. Optimal kaplama materyali ile üretilen toz incir çekirdeği yağı 4, 25 ve 60°C'da sıcaklıkta üç ay süreyle depolanmıştır. Sonuçlar fiziksel özellikler, peroksit değerleri ile mikroenkapsülasyon verimi dikkate alındığında optimal kaplama materyali oranının %33 peynir altı suyu izolatu: %67 maltodekstrin olduğunu ortaya koymuştur. Optimal kaplama materyali ile enkapsüle edilen incir çekirdeği yağı tozu örneklerinin depolanmaları sırasında oksidatif stabilitelerinin düştüğü belirlenmiştir. Duyusal analiz sonuçları, incir çekirdeği yağı tozu ile hazırlanan salata sosunun kontrol örneğine kıyasla daha çok beğenildiğini göstermiştir.

Anahtar kelimeler: Dondurarak kurutma, enkapsülasyon, incir çekirdeği yağı, maltodekstrin, peynir altı suyu proteini

ENCAPSULATION OF FIG SEED OIL BY FREEZE DRYING METHOD AND CHARACTERIZATION OF THE POWDER PRODUCT**ABSTRACT**

The aim of this study is to encapsulate fig seed oil with suitable coating materials using the freeze-drying method. For this purpose, physical analyses were applied to fig seed oil powders encapsulated with different ratios of maltodextrin and whey protein isolates and the most suitable coating material ratio was determined. Powdered fig seed oil, produced with the optimal coating material, was stored at 4, 25 and 60°C for three months. The results revealed that the optimal coating material ratio was 33% whey protein isolate to 67% maltodextrin, considering the physical properties, peroxide values and microencapsulation efficiency. It was determined that the oxidative stability of fig seed oil powder samples encapsulated with optimal coating material decreased during storage. Sensory analysis results showed that the salad dressing prepared with fig seed oil powder was liked more than the control sample.

Keywords: Freeze drying, encapsulation, fig seed oil, maltodextrin, whey protein isolate

* Yazışmalardan sorumlu yazar / Corresponding author

✉: asliyorulmaz@adu.edu.tr

☎: (+90) 256 220 3700

☎: (+90) 256 220 3799

Tuğçe Yorgancı; ORCID no: 0009-0001-6860-1916

Aslı Zungur Bastioğlu; ORCID no: 0000-0003-0924-4645

Aslı Yorulmaz; ORCID no: 0000-0003-4446-6585

GİRİŞ

Sağlıklı ve uzun yaşamın simgesi olarak kabul edilen incir, yetiştiriciliği yapılan en eski meyvelerden biridir. Akdeniz ülkeleri dünya incir üretiminin yaklaşık %70'ini karşılamaktadır (Göçmez ve Seferoğlu, 2014). İncirin hem taze hem de kuru olarak tüketilebilmesi, incirin dünya çapında önemli bir hasat potansiyeline sahip olmasını sağlamıştır (Dueñas vd., 2008). İncir önemli miktarda lif içeriğiyle birlikte, potasyum, C vitamini, A vitamini, karbonhidrat ve çeşitli fenolik bileşikler içeren zengin bir meyvedir (Mawa vd., 2013). İncirin, proantosyanidinler gibi fenolik bileşiklerin üstün bir kaynağı olduğu ve kırmızı şarap ve çaydan daha yüksek fenolik madde içeriğine sahip olduğu rapor edilmiştir (Vinson vd., 1998).

İncir meyvesi, farklı büyüklüklerde ve sayıları 30 ile 1600 arasında değişebilen çekirdek içermektedir. Bir adet meyvede ortalama çekirdek sayısı 420 olup, Sarı Lop çeşidinde 1000 tohum ağırlığının 1.28 gram olduğu bulgulanmıştır (Çalışkan vd., 2012). İncir çekirdekleri %30'a varan düzeyde yağ içeriğine sahiptir (İçyer vd., 2017). İncir çekirdeklerinde yer alan yağın ekstrakte edilmesiyle elde edilen incir çekirdeği yağı son yıllarda popüler bir ürün haline gelmiştir. İncir çekirdeği yağı yüksek oranda linolenik asit ve bunun yanında daha düşük oranlarda oleik, linoleik, stearik ve palmitik asit içeriklerine sahiptir. İncir çekirdeği yağının ayrıca anlamlı düzeyde γ - tokoferol içerdiği ve zengin bir sterol kaynağı olduğu rapor edilmiştir (Şirinyıldız vd., 2023).

Enkapsülasyon, genel ifadeyle bir madde veya karışımın başka bir sistemle çevrenmesi sürecini tanımlamaktadır. Enfapsülasyon işlemi, gıda sektöründe yaygın olarak kullanılmakla birlikte; kimya, tarım, yem, tıp, eczacılık, biyoteknoloji gibi alanlarda da geniş bir şekilde yer almaktadır (Poncelet, 2006; Çakır, 2007). Enfapsülasyon teknolojisi gıda endüstrisinde gıdaları oluşturan bileşenlerin veya biyoaktif maddelerin korunması, stabilizasyonu ve/veya kontrollü salınımı için kullanılmakta ve bu sayede gıdalarda raf ömrünü uzatma, besin değerini artırma, sindirilebilirliği artırma ve olgunlaşma süresini azaltma gibi birçok fayda sağlamaktadır (Cho vd., 2003; Gökmen vd.,

2012). Enfapsüle edilen çekirdek malzemesi katı, sıvı veya gaz formda gıda bileşeni, enzim, hücre veya aktif bir bileşik; çevreleyen kaplama materyali ise protein ya da karbonhidrat esaslı bir kaplama malzemesi olabilmektedir. Enfapsülasyon işlemi sırasında nişasta, maltodekstrin, pullulan, sakkaroz, maltoz gibi karbonhidratlar; jelatin, peynir altı suyu proteinleri, kazein ve kazeinatlar gibi proteinler ve gam arabik gibi gıdalar kaplama malzemesi olarak kullanılabilmektedir.

Gıda bileşenlerinin enfapsülasyonu için yaygın olarak kullanılan yöntemler arasında püskürtme kurutma, dondurarak kurutma, akışkan yatak kaplama, ekstrüzyon, ko-kristalizasyon, moleküler enfapsülasyon ve kümelenme gibi çeşitli teknikler bulunmaktadır. Liyofilizasyon (dondurarak kurutma) işlemi temel olarak ürünün dondurulması ve buz kristallerinin süblimleşme yoluyla uzaklaştırılması prensibine dayanmaktadır. Bu yöntemde amaç, düşük sıcaklıklarda suyun uzaklaştırılmasını sağlayarak, yüksek sıcaklıkların neden olduğu değişimleri en aza indirmek ve kaliteli gıda ürünleri elde etmektir. Ancak, yüksek maliyet ve uzun işlem süresi bu yöntemin ticari uygulanabilirliğini sınırlamaktadır (Marques vd., 2006). Literatürde meyve (Hammami ve René, 1997; Krokida vd., 2001), kahve (Babic vd., 2009), yumurta (Jaekel vd., 2008) ve tavuk eti (Babic vd., 2009) gibi farklı gıda ürünlerinin liyofilizasyon tekniği ile kurutulduğu çalışmalar mevcuttur. Ratti (2001), dondurarak kurutma işleminin maliyeti yüksek hammaddelerin kurutulması için kullanılması durumunda ekonomik olarak daha uygun olacağını rapor etmiştir.

İncir çekirdeği yağı, her ne kadar yüksek biyoaktif bileşikler açısından zengin bir kaynak olarak öne çıksa da yüksek linolenik asit içeriği sebebiyle oksidasyon tepkimelerine oldukça duyarlıdır. Bu çalışmanın amacı oksidatif stabilitesi düşük olan incir çekirdeği yağının liyofilizasyon yöntemi kullanılarak farklı kaplama materyalleriyle enfapsülasyonunun sağlanması ve bu sayede farklı gıda uygulamaları için kullanılabilecek hale getirilmesidir. Bu amaçla uygun kaplama materyali seçilerek enfapsüle incir çekirdeği yağı üretilmiş ve üç farklı sıcaklıkta 3 ay süresince depolanarak,

depolama süresince toz ürünün özellikleri incelenmiştir.

MATERYAL VE YÖNTEM

Materyal

Çalışmada kullanılan incir çekirdeği yağı (üretim yılı: 2022) Egesia Natural Product firmasından temin edilmiştir. Peynir altı suyu protein izolatu (WPI) Ak Gıda San. Tic. A.Ş.'den, maltodekstrin (MD, DE<20) Qinhuangdao Starch Co Ltd. (Çin)'den temin edilmiştir. Emülsifiye edici ajan olarak ise PGPR (poligliserol polirisinolat ester) (Merck, Darmstadt, Almanya) kullanılmıştır.

Yöntem

Emülsiyon Hazırlama ve Liyofilizasyon Tekniği ile Kurutma

Dondurarak kurutma işlemine tabi tutulacak olan emülsiyonlar klasik homojenizasyon işlemi ile mekanik bir homojenizatör (Ultra Turrax T18-IKA, Germany) kullanılarak hazırlanmıştır. Emülsiyonların kuru madde miktarı ile yağ içeriği Güngör (2013)'e göre belirlenmiştir. Emülsiyonlar, kuru madde miktarı %40 (kaplama materyali, yağ ve emülsifiye edici ajan) ve kuru

maddenin %30'u yağ olacak şekilde hazırlanmıştır ve kaplama materyallerinin bileşimi Çizelge 1'de verildiği gibidir. Emülsiyonun stabilizasyonunu sağlamak ve arttırmak amacıyla yağ içerisine %1 oranında emülsifiye edici ajan kullanılmıştır. %100 WPI ile de örnek hazırlanmıştır ancak bu örnek kurumamıştır ve toz ürün özellikleri göstermemiştir. Homojenizasyon işleminde bir beherde kaplama materyali su ilavesiyle 10000 rpm'de 2 dk süresince homojenize edilmiştir. Elde edilen karışım, 30 g yağ ve 0.30 PGPR üzerine ilave edilerek 5 dk süresince 17500 rpm hızında homojenize edilmiştir. Elde edilen emülsiyon petrilere 1 cm kalınlığında dökülerek -18 °C'da 24 saat boyunca bekletilmiş, ardından laboratuvar tipi liyofilizatörde (Labconco, Freezone) kurutulmuştur. Dondurarak kurutma yöntemi ile gerçekleştirilen denemelerde kondenser sıcaklığı -50 °C olarak belirlenmiş olup tüm denemelerde bu sıcaklık sabit tutulmuştur. Dondurarak kurutma yöntemi ile enkapsüle edilen incir çekirdeği yağı örnekleri havan yardımı ile toz haline getirilmiş ve analizlere kadar -18 °C'de muhafaza edilmiştir.

Çizelge 1. Dondurarak kurutulan örneklerin kaplama materyali bileşimleri

Table 1. The wall material composition of freeze-dried samples

Deneme no <i>Experiment number</i>	KM (%) <i>DM (%)</i>	Yağ (%) <i>Oil (%)</i>	MD (%) <i>MD (%)</i>	WPI (%) <i>WPI (%)</i>
1	40	30	100	0
2	40	30	50	50
3	40	30	33	67
4	40	30	67	33
5	40	30	25	75
6	40	30	75	25

KM: Kuru madde, MD: Maltodekstrin, WPI: Peynir altı suyu protein izolatu

DM: Dry matter, MD: Maltodextrin, WPI: Whey protein isolate

Depolama Denemeleri

Dondurarak kurutma yöntemi ile kimyasal ve fiziksel özellikler bakımından en uygun özellikleri sergileyen kaplama materyali oranı kullanılarak enkapsüle edilen incir çekirdeği yağı mikropartikülleri; 4, 25 ve 60 °C'de 90 gün boyunca, alüminyum kaplı polietilen (ALPE) ambalaj malzemesi kullanılarak depolanmıştır. Depolama boyunca 15 günlük aralıklar ile toz ürün özellikleri incelenmiştir.

Model Gıda Uygulaması

Dondurarak kurutma yöntemi ile en uygun kaplama materyali oranı kullanılarak elde edilen incir çekirdeği yağı mikrokapsülleri üretimi sonrası salata sosuna işlenmiş ve ürünlerde duyu analizi gerçekleştirilmiştir. Formülasyona dahil edilen incir çekirdeği yağı oranı ön denemeler ile belirlenmiştir. Hazırlanan 2 farklı salata sosunun bileşimi Çizelge 2'de verildiği gibidir. İncir çekirdeği yağı ve incir çekirdeği yağı

tozu içeren salata sosları Çizelge 2’de sunulan içeriklerin eklenmesinin ardından ev tipi bir el mikseri yardımı (Homend Foodrunner 2036h, Türkiye) ile 1 dakika boyunca karıştırılarak elde edilmiştir.

Çizelge 2. Salata soslarının bileşimi
Table 2. The composition of salad dressings

İçerik (g) Content (g)	1.örnek 1.sample	2.örnek 2.sample
İncir çekirdeği yağı Fig seed oil	20	-
İncir çekirdeği yağı tozu Fig seed oil powder	-	20
Limon Suyu Lemon juice	15	15
Su Water	20	20

Analiz Yöntemleri

Nem ve su aktivitesi

Dondurarak kurutma yöntemi ile elde edilen incir çekirdeği yağı tozlarının nem içeriği etüvde (JEIO TECH, ON-11E, Republic of Korea) kurutma yöntemi ile; su aktivitesi değerleri ise su aktivitesi tayin cihazı (Testo-AG 400, Almanya) kullanılarak ölçülmüştür.

Yığın yoğunluğu ve sıkıştırılmış yoğunluk

Mikroenkapsüle incir çekirdeği yağı tozlarının yığın yoğunluğu, 10 ml hacme sahip silindirik bir kap içerisine hava boşluğu kalmayacak şekilde ancak herhangi bir basınç uygulamaksızın doldurulmasıyla, kütle/hacim oranından hesaplanmıştır (Bhandari vd., 1992). Yığın yoğunluğu, ρ_b olarak ifade edilmiş ve birim olarak kg/m^3 kullanılmıştır. Sıkıştırılmış yoğunluk ise, 2 gram toz örneğin 10 mililitre hacme sahip silindirik bir kabın içine doldurulup sert bir zemine vurularak sıkıştırılması yoluyla belirlenmiştir. Sıkıştırılmış yoğunluk ρ_t olarak ifade edilmiş ve birim olarak kg/m^3 kullanılmıştır.

Akabilirlik

Yığın yoğunluğu ve sıkıştırılmış yoğunluk değerlerinden hesaplanan Carr indeksi (CI), toz ürünlerin akıcılık derecesini belirtmektedir (Carr, 1965). Toz ürünlerin akıcılık seviyesi Eşitlik 1’e göre hesaplanmıştır.

$$CI = \left(\frac{\rho_t - \rho_b}{\rho_t} \right) \times 100 \quad (1)$$

Toz ürünlerin akabilirliği, Carr indeksi (CI) değerlerine göre; CI değerinin 15’ten küçükse çok iyi, 15-20 arasında iyi, 20- 35 arasında zayıf, 35-45 arasında kötü, 45’ten büyük ise çok kötü olarak tanımlanmıştır (Carr, 1965).

Islanabilirlik

Islanabilirlik analizi için, 25 °C (± 1 °C) sıcaklıkta, 100 mililitre saf su içeren 250 mililitrelik bir beher kullanılmıştır. Düzenek, bir beher ve bir cam huniden oluşmaktadır ve beher ile huni arasındaki uzaklık 10 santimetre olarak ayarlanmıştır. Huni içine bir cam test tüpü yerleştirilerek, test tüpünün etrafına 0.1 gram incir çekirdeği yağı tozu örneği yerleştirilmiş ve toz örneğin tamamen ıslanma süresi ölçülmüştür (Jinapong vd., 2008).

Dağılıbilirlik

Dağılıbilirlik analizi için 25 °C (± 1 °C) sıcaklıkta, 10 ml saf su üzerine 1 gram incir çekirdeği yağı tozu eklenmiştir. Kaşık kullanılarak, 15 saniye süresince saat yönünde ve tersinde 25 dairesel hareket yapıldıktan sonra karıştırma sonlandırılmıştır. Rekonstitüe edilmiş örnek, 500 μm ’lik bir elekten süzölmüş ve elde edilen süzöntüden 1 ml alınmış ve darası alınmış alüminyum bir kaba aktarılmıştır. Vakumlu kurutucuda 70 °C (± 1 °C) sıcaklıkta 8 saat boyunca bekletildikten sonra, % dağılıbilirlik aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanmıştır (Jinapong vd., 2008).

$$\% \text{Dağılıbilirlik} = \frac{(10+a) \times \%TS}{a \times \left(\frac{100-b}{100} \right)} \quad (2)$$

a: Toz miktarı (g)

b: Tozun nem içeriği (%)

%TS: Elekten geçen rekonstitüe örneğin yüzde kuru madde miktarı

Renk Tayini

Mikroenkapsüle incir çekirdeği yağı tozlarının L, a, b değerleri renk tayin cihazı (Minolta, CR-300) kullanılarak ölçülmüş, kroma ve Hue değerleri ise aşağıdaki eşitlikler yardımı ile hesaplanmıştır.

$$Kroma = \sqrt{a^2 + b^2} \quad (3)$$

$$Hue = \tan^{-1} \frac{b}{a} \quad (4)$$

Partikül Morfolojisi

Mikroenkapsüle incir çekirdeği yağı tozlarının partikül morfolojisi (x1650), taramalı elektron mikroskobu (SEM) (FEI, QUANTA 250 FEG) kullanılarak belirlenmiştir.

Toplam Yağ Miktarı

Toplam yağ miktarı, Folch vd. (1957) yöntemine göre gerçekleştirilmiştir. Mikroenkapsüle incir çekirdeği yağı tozu, 80 ml kloroform/metanol (50:50, v/v) karışımında çözölmüş ve çözgen döner buharlaştırıcıda uzaklaştırıldıktan sonra numune, 103±2 °C'de 1 saat boyunca sabit bir tartıma getirilmiştir.

Ekstrakte Edilebilir Yağ Miktarı (Yüzey Yağı)

Mikroenkapsüle incir çekirdeği yağı tozu (5 g), petrol eteri (25 ml) ile 25 °C'de 15 dk boyunca çalkalamalı su banyosunda 75 rpm çalkalama hızında karıştırılarak ekstrakte edilmiş ve sonrasında karışım filtre edilerek 102 °C'de 1 saat süresince kurutulmuştur. Elde edilen yağ miktarı gravimetrik yöntemle belirlenmiştir (Zungur, 2013).

Mikroenkapsülasyon Verimi

Mikroenkapsülasyon verimi (MV), Pauletti ve Amestoy (1999) tarafından önerilen yöntemle göre, aşağıda verilen eşitlikle hesaplanmıştır.

$$MV = \frac{\text{Toplam yağ içeriği} - \text{Ekstrakte Edilebilir Yağ İçeriği}}{\text{Toplam Yağ İçeriği}} \times 100 \quad (5)$$

Duyusal Analiz

İncir çekirdeği yağı ve incir çekirdeği yağı tozu kullanılarak 2 farklı formülasyon halinde hazırlanan salata sosu örnekleri tat, koku, görünüş, aroma, kıvam ve genel beğeni açısından yarı eğitilmiş 10 kişilik bir panel grubu tarafından her bir kriter için 5 puan üzerinden hedonik test uygulanarak değerlendirilmiştir.

İstatistik Analiz

Analizler sonucu elde edilen veriler SPSS v15.0 (IBM, ABD) paket programı kullanılarak varyans analizine (ANOVA) tabi tutulmuştur. Ortalamalar arası fark Duncan testi ile belirlenmiştir. İstatistik analizlerde 0.05 önem düzeyi kullanılmıştır.

BULGULAR VE TARTIŞMA**Farklı kaplama materyalleriyle üretilen incir çekirdeği yağı tozunun fiziksel özellikleri**

Farklı kaplama materyalleriyle üretilen incir çekirdeği yağı tozunun fiziksel özellikleri Çizelge 3'te verildiği gibidir.

Toz ürünlerin nem içerikleri depolanmaları sırasında önemli bir özellik olarak öne çıkmaktadır. Yüksek nem oranı, ürünün akıcılığını azalttığı gibi, üründe yer alan yağın oksidasyonuna yol açabilir (Botrel vd., 2011). İncir çekirdeği yağı toz örneklerinin nem içerikleri %0.73 (%100 MD) ile %1.99 (%33 MD: %67 WPI) ve %2.18 (%25 MD: %75 WPI) arasında değişen değerler almıştır. Bu değerler, gıda endüstrisinde kurutulmuş ürünler için belirlenen maksimum %3-4'lük nem sınırının altındadır (Klinkesorn vd., 2005).

Su aktivitesi (a_w), gıdalarda bulunan serbest su miktarının bir ifadesi olup, suyun gıda ürünlerine yapısal olarak ne kadar sıkı bağlandığının bir ölçüsüdür. Toz ürünlerin su aktivitesi; oksidasyon, enzimatik olmayan esmerleşme ve mikrobiyal gelişmenin önlenmesi ve gıda stabilitesinin korunması için genellikle 0.25'in altında olmalıdır (Zungur, 2013). Tüm incir çekirdeği yağı tozu örneklerinin su aktivitesi değerleri bu kritik sınırın altında tespit edilmiştir. Mikroenkapsüle edilmiş incir çekirdeği yağı tozunun en düşük a_w değeri 0.01 olarak %100 MD oranında elde edilmiştir.

Kurutulmuş gıdalarda renk, ürünün albenisini etkileyen önemli bir kriterdir. Gıda formülasyonlarına dahil edilen bileşenlerin, son ürünün rengini olumsuz yönde değiştirmesi arzu edilmeyen bir durumdur. Mikroenkapsüle incir çekirdeği yağı tozu için en düşük L değeri %25 MD: %75 WPI oranında 59.33 olarak kaydedilirken; en yüksek L değeri 81.07 (%100 MD) ve 79.32 (%75 MD: %25 WPI) olarak tespit edilmiştir. İncir çekirdeği yağı tozlarının L değerleri incelendiğinde, MD içeriği yüksek örneklerin daha yüksek bir L değerine sahip olduğu belirlenmiştir. Bu durumun nedeninin maltodekstrinin beyaz renkte olmasından kaynaklanabileceği değerlendirilmektedir. Mikroenkapsüle incir çekirdeği yağı tozu için en düşük a değeri %100 MD oranında 0.25 olarak

bulunurken; en yüksek a değeri %33 MD: %67 WPI oranında 8.56 olarak bulunmuştur. Örneklerin b değeri en düşük %100 MD oranında 16.58 olarak hesaplanırken; en yüksek b değeri %33 MD: %67 WPI oranında 26.19 ve %67 MD: %33 WPI oranında 21.48 olarak belirlenmiştir. En

düşük kroma değeri 16.58 %100 MD oranında elde edilirken; en yüksek kroma değeri olan 27.55 %33 MD: %67 WPI oranında tespit edilmiştir. En düşük Hue değeri olan 71.90 %33 MD: %67 WPI oranında elde edilirken; en yüksek Hue değeri olan 89.10 %100 MD oranında bulunmuştur.

Çizelge 3. Farklı kaplama materyalleriyle üretilen incir çekirdeği yağı tozunun fiziksel özellikleri
Table 3. Physical properties of fig seed oil powder produced by different coating materials

Fiziksel özellikler Physical properties	Deneme No Experiment Number					
	1	2	3	4	5	6
Nem (%) Moisture (%)	0.73±0.04 ^a	1.29±0.11 ^{bc}	1.99±0.11 ^d	1.12±0.18 ^b	2.18±0.10 ^d	1.53±0.01 ^c
Su aktivitesi Water activity	0.01±0.00 ^a	0.02±0.00 ^b	0.05±0.00 ^c	0.03±0.00 ^c	0.05±0.00 ^c	0.05±0.00 ^d
L değeri L value	81.07±1.45 ^d	73.26±0.16 ^c	74.21±0.51 ^c	70.82±0.96 ^b	59.33±1.32 ^a	79.32±0.72 ^d
a değeri a value	0.25±0.07 ^a	7.31±0.25 ^c	8.56±0.25 ^f	6.64±0.46 ^d	5.34±0.32 ^c	4.70±0.01 ^b
b değeri b value	16.58±0.90 ^a	24.72±0.15 ^d	26.19±0.51 ^c	21.48±0.13 ^c	17.90±0.28 ^b	22.39±0.09 ^c
Kroma Chrom	16.58±0.90 ^a	25.78±0.21 ^d	27.55±0.56 ^c	22.49±0.26 ^c	18.68±0.33 ^b	22.88±0.09 ^c
Hue Hue	89.10±0.28 ^d	73.52±0.45 ^b	71.90±0.17 ^a	72.83±1.03 ^{ab}	73.39±0.79 ^b	78.15±0.05 ^c
YY (kg/m ³) BD	0.26±0.01 ^d	0.23±0.01 ^{ab}	0.24±0.02 ^{abc}	0.21±0.00 ^a	0.25±0.01 ^{bc}	0.23±0.01 ^{ab}
SY (kg/m ³) TD (kg/m ³)	0.34±0.00 ^d	0.29±0.01 ^c	0.29±0.01 ^{bc}	0.26±0.01 ^a	0.30±0.00 ^c	0.27±0.01 ^{ab}
CI (%) CI (%)	22.40±3.40	19.03±3.59	17.18±4.08	17.03±1.22	18.24±2.03	15.89±4.95
Dağılılırlik (%) Dispersibility (%)	80.98±3.36 ^a	95.57±1.26 ^b	98.21±1.22 ^c	97.33±1.88 ^c	81.71±2.48 ^a	100.00±1.23 ^d
Islanabilirlik (s) Wettability (s)	12.33±2.05 ^a	64.67±2.05 ^c	57.67±2.05 ^d	32.00±1.63 ^b	73.67±2.62 ^f	42.33±2.05 ^c

Aynı satırdaki farklı küçük harfler uygulamalar arasındaki anlamlı farkı ifade etmektedir ($p<0.05$)

Different lowercase letters on the same line indicate significant differences between applications ($p<0.05$)

YY: Yığın Yoğunluğu, SY: Sıkıştırılmış Yoğunluk, CI: Carr İndeks

BD: Bulk Density, TD: Tapped Density, CI: Carr Index

Toz ürünlerin yığın özelliklerini ortaya koyan yığın yoğunluğu, sıkıştırılmış yığın yoğunluğu ve akabilirlik değerleri, ürünün parçacık çapı ve parçacık boyutu dağılımı ile ilişkilidir (Barbosa-Cánovas vd., 2005). Yığın yoğunluğunun düşük olması, ürünün paket hacmini artırarak istenmeyen bir duruma yol açabildiği gibi; ürün boşlukları arasında hava tutarak oksidasyon riskini artırır ve ürünün depolama stabilitesinin azalmasına yol açar (Koç vd., 2011). Mikroenkapsüle incir çekirdeği yağı tozu

örneklerinin ortalama yığın yoğunluğu değerleri 0.21 g/cm³ (%67 MD: %33 WPI) ve 0.26 g/cm³ (%100 MD) arasında değişmiştir. Nakilcioğlu-Taş ve Ötleş (2021), mikroenkapsüle zeytin çekirdeği tozunun yığın yoğunluğunun 0.26 g/cm³ düzeyinde olduğunu rapor etmişlerdir. İncir çekirdeği yağı tozunun sıkıştırılmış yoğunluk değerlerinin 0.26 g/cm³ (%67 MD: %33 WPI) ve 0.34 g/cm³ (%100 MD) arasında değiştiği belirlenmiştir. Yığın yoğunluğu ve sıkıştırılmış yoğunluğu arasındaki farkın yüksek olması ürünün

akabilirliğinin kötü olduğunun bir işaretidir (Koç vd., 2011). Carr Index değerlerinin 15 ile 20 arasında çıkması ürünlerin akabilirlik özelliklerinin iyi olduğunu göstermektedir. İncir çekirdeği yağı tozlarının Carr indeks değerleri 15.89 (%75 MD: %25 WPI) ve 22.40 (%100 MD) arasında değişen değerler almıştır ve değerler arasında istatistiki olarak anlamlı fark tespit edilmemiştir.

Toz ürünlerin dağılıbilirlik ve ıslanabilirlik özellikleri; partikül boyutu, yoğunluğu, gözenekli yapısı ve yüzey alanı gibi faktörlere bağlıdır. Toz ürünlerin ıslanabilirliği, sıvının tozun yüzeyi altında emilme yeteneğini ölçen bir parametredir ve genellikle temas açısıyla belirlenmektedir. Hidrofobik kaplama maddeleriyle kaplanmış yüzeylerde, çoğunlukla geniş bir temas açısı meydana gelir ve bu durum, zayıf ıslanma özelliğine işaret eder. Ancak, higroskopik kaplama maddeleriyle kaplanmış yüzeyler tam tersi etki gösterir ve iyi bir ıslanma özelliğine sahip olurlar. Yüzeydeki serbest yağlar, ıslanabilirliği azaltmaktadır ve emülsifiye edici maddelerin kullanılmasıyla, yağ içeren kurutulmuş tozların ıslanabilirliğinin arttığı belirtilmektedir. Büyük yığınlar, ıslanmayı zorlaştırabilir (Hui vd., 2008). Mikroenkapsüle incir çekirdeği yağı tozlarının en düşük ıslanabilirlik süresi 12.33 s olarak ölçülmüştür ve bu değer %100 MD oranında elde edilmiştir. En yüksek ıslanabilirlik süresi ise 73.67 s olarak bulunmuş ve bu oran %25 MD: %75 WPI koşulunda tespit edilmiştir. MD oranı azaldıkça ıslanabilirlik sürelerinde de artış olduğu belirlenmiştir.

Dağılıbilirlik, aglomere veya topaklanmış toz ürünün çözelti içinde hafif bir karıştırma ile homojen bir şekilde dağılabilme yeteneğini ifade etmektedir (Hui vd., 2008). Bu özellik, toz ürünün gıda endüstrisinde kullanılabilirliğini belirleyen önemli bir parametre olup, yüksek olması arzu edilir. İncir çekirdeği yağı tozlarının en düşük dağılıbilirlik değerleri %100 MD ile kaplanan (%80.98) ve %25 MD: %75 WPI ile kaplanan (%81.71) örneklerde tespit edilmiştir. En yüksek dağılıbilirlik değeri ise (%100) %75 MD: %25 WPI kaplama oranında tespit edilmiştir. Kaplama materyali içeriğine göre toz örneğinin dağılıbilirliğinin değişmesi yüzey özelliklerinin

değişmesi ile ilişkilendirilebilir. Kullanılan kaplama materyali içeriğine bağlı olarak kaplama performansı değişiklik göstermekte, yüzey yağında değişim olmaktadır ve bu durum da tozların su içerisinde dağılıbilirliğini etkilemektedir (Balasubramani vd., 2015).

Partikül morfolojisi

Dondurarak kurutma yöntemiyle elde edilen 6 farklı içeriğe sahip örneklerin mikroenkapsüle incir çekirdeği yağı tozlarına ait taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri Şekil 1’de verildiği gibidir. Görüntüler, ürünlerin partikül çaplarının homojen yapıda olmadığını ortaya koymaktadır. %100 MD içeren örneklerin partikül çapları çok küçük iken; %67 MD: %33 WPI dışındaki örneklerde partiküllerin şekillerini korumadığı ve küresel yapının bozulduğu gözlemlenmektedir. Partikül morfolojisi ve mikroenkapsüle örneklerin yüzey yağı arasında bir ilişki olduğu yapılan çalışmalarda sunulmaktadır (Bae ve Lee, 2008; Vega ve Roos, 2006). Yüzey yağın artışına bağlı olarak mikropartiküllerin şekillerinde aglomerasyona bağlı olarak deformasyonlar gözlemlenebilmektedir.

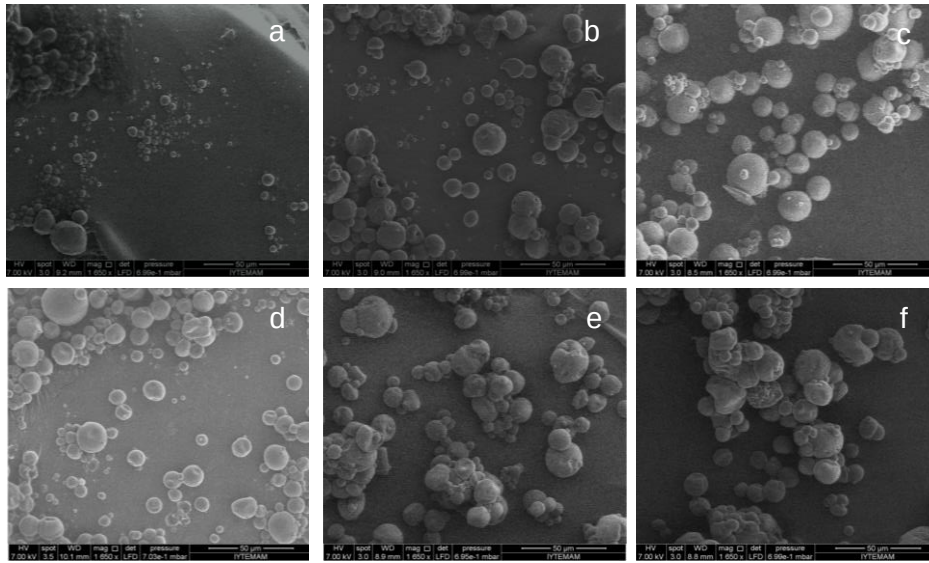
Farklı kaplama materyalleriyle üretilen incir çekirdeği yağı tozunun mikroenkapsülasyon verimi ve peroksit değerleri

Mikroenkapsüle edilmiş incir çekirdeği yağı tozlarının kaplama materyali değişimine bağlı olarak değişen mikroenkapsülasyon verimi ve peroksit değerleri Çizelge 4’te verilmiştir.

Toz ürünlerde mikroenkapsülasyon işleminin etkinliğini belirlemek için kullanılan önemli bir gösterge mikroenkapsülasyon verimidir. Mikroenkapsüle incir çekirdeği yağı tozu için en düşük mikroenkapsülasyon verimi değeri %63.52 ile %100 MD oranında elde edilirken, en yüksek mikroenkapsülasyon verimi değeri ise %80.28 ile %67 MD: %33 WPI oranında bulgulanmıştır. Genel bir yaklaşım olarak enkapsüle ürünlerde mikroenkapsülasyon verimlerinin %80 düzeyinde olması istenmektedir (Zungur, 2013). Bu duruma en uygun örneğin, en yüksek ekstraksiyon verimine sahip olan %33 WPI: %67 MD olduğu görülmüştür. Maltodekstrin, yüksek katı madde konsantrasyonunda düşük viskozite, iyi

çözünürlük, oksidasyona karşı iyi koruma nedeniyle mikroenkapsülasyonda duvar malzemesi olarak yaygın olarak kullanılan bir materyaldir. (Madene vd. 2006). Ancak zayıf emülsiyetme kapasitesine sahiptir, bu nedenle de mikroenkapsülasyon çalışmalarında başka bir kaplama materyali ile kombine edilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Hogan vd. (2001) tek bir duvar malzemesinin ideal bir kapsülleme maddesi için gereken tüm özelliklere sahip olmadığını, kapsülleme özelliklerini geliştirmeye yönelik yaklaşımların karbonhidrat ve protein

karışımlarına odaklandığını bildirmiştir. Peynir altı suyu proteinlerinin, emülsiyonun damlacık arayüzlerinde kalın viskoelastik filmler oluşturarak lipit oksidasyonunu engellemesi nedeniyle etkili bir duvar malzemesi olduğu bildirilmiştir (Hu vd. 2003). Kaplaması gerçekleştirilecek yağın özelliklerine ve kullanılan kurutma yöntemine ve kurutma işlem koşullarına bağlı olarak kaplama materyali içeriğinde meydana gelecek ufak değişimler son ürün özellikleri üzerinde etkili olabilmektedir.



Şekil 1. Dondurarak kurutma yöntemiyle elde edilen 6 örneğin incir çekirdeği yağı tozlarına ait taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri (x1650) (a: %100 MD; b: %50 MD: %50 WPI; c: %33 MD: %67 WPI; d: %67 MD: %33 WPI; e: %25 MD: %75 WPI; f: %75 MD: %25 WPI)

Figure 1. Scanning electron microscope (SEM) images of fig seed oil powders of 6 samples obtained by freeze drying method (x1650) (a: %100 MD; b: %50 MD: %50 WPI; c: %33 MD: %67 WPI; d: %67 MD: %33 WPI; e: %25 MD: %75 WPI; f: %75 MD: %25 WPI)

Çizelge 4. Farklı kaplama materyalleriyle üretilen incir çekirdeği yağı tozunun mikroenkapsülasyon verimleri ve peroksit değerleri

Table 4. Microencapsulation efficiencies and peroxide values of fig seed oil powders produced by different coating materials

Deneme No Experiment Number	Mikroenkapsülasyon verimi (%) Microencapsulation efficiency (%)	Peroksit Değeri (meq O ₂ /kg yağ) Peroxide Value (meq O ₂ / kg yağ)
1	63.52±5.84 ^a	13.58±0.20 ^b
2	72.29±1.12 ^{ab}	14.79±0.00 ^c
3	70.64±0.07 ^{ab}	7.98±0.17 ^a
4	80.28±0.53 ^b	18.20±0.23 ^d
5	68.09±1.25 ^{ab}	23.24±0.09 ^e
6	71.90±6.31 ^{ab}	8.23±0.12 ^a

Aynı sütundaki farklı küçük harfler uygulamalar arasındaki anlamlı farkı ifade etmektedir ($p < 0.05$)

Different lower case letters in the same column indicate significant differences between applications ($p < 0.05$)

Yağlardaki peroksit değeri, yağın bozulma seviyesi ve saklanabilme süresi hakkında fikir veren önemli bir parametredir (Göğüş vd., 2009). Mikroenkapsüle incir çekirdeği yağı tozu için en düşük peroksit değeri 7.98 meq O₂/kg yağ ile %33 MD: %67 WPI oranında elde edilirken; en yüksek peroksit değeri ise 23.24 meq O₂/kg yağ %25 MD: %75 WPI oranında bulgulanmıştır.

Farklı kaplama materyalleri kullanılarak üretilen mikroenkapsüle incir çekirdeği yağı tozlarının nem içeriği, su aktivitesi, yığın yoğunluk, sıkıştırılmış yoğunluk, akabilirlik, ıslanabilirlik, dağılıbilirlik, renk değerleri, mikroenkapsülasyon verimi ve peroksit değerleri incelendiğinde 6 örnekli deneme deseninden elde edilen MD: WPI oranına göre en uygun olan ve depolama analizlerinde kullanılacak örneğin %33 WPI: %67 MD örneği olmasına karar verilmiştir.

İncir çekirdeği yağı tozunun depolama stabilitesi

Mikroenkapsüle incir çekirdeği yağı tozunun (%33 WPI: %67 MD) 4, 25 ve 60 °C sıcaklıklarda 90 gün boyunca depolanması ile nem içeriği, su

aktivitesi, yığın yoğunluğu, sıkıştırılmış yoğunluk, akabilirlik, ıslanabilirlik, dağılıbilirlik analiz sonuçları ile renk değerleri Çizelge 5-14'te verildiği gibidir.

Toz ürünlerin muhafaza edilme sürecinde, nem içeriği ve su aktivitesi değerleri büyük öneme sahiptir (Botrel vd., 2011). Toz ürünlerin depolanması esnasında yüksek nem içeriği, yağ oksidasyonunu artırabilir ve ürünün akışkanlığını etkileyebilir. Bu nedenle, nem içeriği depolama süresince kontrol altında tutulması gereken kritik bir parametredir (Sims, 1989). Farklı sıcaklıklarda depolanmış incir çekirdeği yağı tozu örneklerinin nem içerikleri depolama süresince %1.24 ile %2.48 arasında değişim göstermiştir. Depolama süresinde her sıcaklık için nem değerlerinde dalgalanmalar gözlenirse de 60 °C'de başlangıca göre artış gözlenmiş olup; 25 °C'de ise bir düşüş görülmektedir. Bu durum depolama sıcaklığının artışına bağlı olarak mikrokapsül yapısında bozulmaların meydana gelmesi ile ilişkilendirilebilir.

Çizelge 5. Farklı sıcaklıklarda depolanan incir çekirdeği yağı tozunun nem içerikleri

Table 5. Water contents of fig seed oil powder stored at different temperatures

Depolama süresi (gün) Storage time (day)	Depolama sıcaklığı (°C) Storage temperature (°C)		
	4	25	60
0	1.83±0.10 ^{bc,A}	1.83±0.10 ^{bce,A}	1.83±0.10 ^{bc,A}
15	1.64±0.15 ^{ab,A}	1.55±0.16 ^{ab,A}	1.67±0.04 ^{b,A}
30	1.24±0.10 ^{a,A}	1.41±0.04 ^{a,A}	1.29±0.09 ^{a,A}
45	2.08±0.07 ^{c,A}	1.99±0.14 ^{cd,A}	2.02±0.11 ^{c,A}
60	2.18±0.18 ^{c,A}	2.17±0.05 ^{d,A}	1.88±0.00 ^{bc,A}
75	2.07±0.12 ^{c,A}	1.99±0.12 ^{cd,A}	2.00±0.06 ^{c,A}
90	1.85±0.06 ^{bc,A}	1.71±0.02 ^{abc,A}	2.48±0.09 ^{d,B}

Aynı sütundaki farklı küçük harfler depolama günlerini, aynı satırdaki büyük harfler depolama sıcaklıkları arasındaki anlamlı farkı ifade etmektedir ($p<0.05$)

Different lowercase letters in the same column indicate storage days, and capital letters in the same line indicate significant differences between storage temperatures ($p<0.05$)

Toz ürünlerde oksidasyon, enzimatik olmayan esmerleşme ve mikrobiyal gelişimi kontrol altında tutmak için ürünlerin su aktivitesi değeri 0.1 – 0.2 aralığında bir değer olmalıdır (Pala ve Saygı, 1983). Dondurarak kurutma yöntemiyle elde edilen mikroenkapsüle incir çekirdeği yağı tozlarının farklı depolama sıcaklıklarında her koşul için ölçülen su aktivitesi değerleri, bu kritik değer olan

0.1 - 0.2 değerlerinin aralığındadır (Çizelge 6). Farklı sıcaklıklarda depolanmış incir çekirdeği yağı tozu örneklerinin su aktivitesi değerleri depolama süresi boyunca 0.03 ile 0.06 arasında değişim göstermiştir. Depolama süresince her üç sıcaklık değeri için de su aktivitesi değerlerinde başlangıca göre sayısal bir artış gözlenmiştir.

Çizelge 6. Farklı sıcaklıklarda depolanan incir çekirdeği yağı tozunun su aktiviteleri
 Table 6. Water activities of fig seed oil powder stored at different temperatures

Depolama süresi (gün) Storage time (day)	Depolama sıcaklığı (°C) Storage temperature (°C)		
	4	25	60
0	0.03±0.00 ^{a,A}	0.03±0.00 ^{a,A}	0.03±0.00 ^{a,A}
15	0.03±0.00 ^{a,A}	0.03±0.00 ^{a,A}	0.03±0.00 ^{a,B}
30	0.04±0.00 ^{b,A}	0.04±0.00 ^{a,B}	0.04±0.00 ^{a,B}
45	0.04±0.00 ^{b,A}	0.04±0.00 ^{a,A}	0.05±0.00 ^{a,B}
60	0.05±0.00 ^{c,A}	0.05±0.00 ^{a,B}	0.06±0.00 ^{a,C}
75	0.05±0.00 ^{c,B}	0.05±0.00 ^{a,A}	0.06±0.00 ^{d,B}
90	0.06±0.00 ^{a,C}	0.05±0.00 ^{a,A}	0.06±0.00 ^{a,B}

Aynı sütundaki farklı küçük harfler depolama günlerini, aynı satırdaki büyük harfler depolama sıcaklıkları arasındaki anlamlı farkı ifade etmektedir ($p<0.05$)

Different lowercase letters in the same column indicate storage days, and capital letters in the same line indicate significant differences between storage temperatures ($p<0.05$)

Farklı sıcaklıklarda depolanmış incir çekirdeği yağı tozu örneklerinin ortalama yığın yoğunluğu değerlerinin depolama süresince 0.17 kg/m³ ile 0.21 kg/m³ arasında değiştiği görülmüştür. Örneklerin sıkıştırılmış yoğunluk değerleri ise 0.23 kg/m³ ile 0.27 kg/m³ aralığında değişmiştir. Sıkıştırılmış yoğunluk değerleri 4°C’de depolama süresinde başlangıca göre düşüş göstermişken; 25 ve 60°C’de depolama sırasında ise önemli bir değişim gözlenmemiştir. Örneklerin Carr indeks (akabilirlik) değerleri 11.88 ile 30.38 arasında değişmiştir ve bu değerler (<40) örneklerin kabul edilebilir düzeyde bir akışkanlığa sahip olduklarını göstermektedir. Akabilirlik, depolama, taşıma, formülasyon ve karıştırma işlemleri sırasında gıda tozları için önem taşıyan bir diğer özelliktir. Bu

nedenle, uygun depolama koşullarını belirlemek için bu değişkenlerin etkisinin farkında olmak gerekir (Zungur Bastıoğlu vd., 2017). Depolama esnasında akabilirlik değerlerinde dalgalanmalar gözlenmiş olsa da 90 günlük depolama sonunda 25 ve 60°C’de depolanan örneklerde değişim gözlenmemiştir. 4°C’de meydana gelen düşüş buzdolabı koşullarında depolama sırasında yüzey özelliklerinde meydana gelen değişim ile açıklanabilir. Zungur Bastıoğlu vd. (2017) tarafından yapılan mikroenkapsüle zeytinyağı tozunun farklı sıcaklıklarda depolanmasının ürünün fizikokimyasal özellikleri üzerine etkisinin incelendiği çalışmada da benzer şekilde 4°C’de depolanan örneklerin depolama sonu CI değerleri diğer sıcaklıklara göre daha düşük bulunmuştur.

Çizelge 7. Farklı sıcaklıklarda depolanan incir çekirdeği yağı tozunun yığın yoğunluğu değerleri
 Table 7. Bulk densities of fig seed oil powder stored at different temperatures

Depolama süresi (gün) Storage time (day)	Depolama sıcaklığı (°C) Storage temperature (°C)		
	4	25	60
0	0.21±0.00 ^{c,A}	0.21±0.00 ^{b,A}	0.21±0.00 ^{ab,A}
15	0.17±0.00 ^{a,A}	0.20±0.00 ^{a,B}	0.20±0.00 ^{a,B}
30	0.21±0.00 ^{bc,A}	0.20±0.00 ^{ab,A}	0.21±0.00 ^{ab,A}
45	0.21±0.00 ^{bc,A}	0.20±0.00 ^{ab,A}	0.23±0.01 ^{b,A}
60	0.20±0.00 ^{bc,A}	0.20±0.00 ^{ab,A}	0.21±0.00 ^{a,A}
75	0.20±0.00 ^{bc,A}	0.21±0.00 ^{b,A}	0.21±0.00 ^{a,A}
90	0.20±0.00 ^{b,A}	0.20±0.00 ^{a,A}	0.21±0.00 ^{a,A}

Aynı sütundaki farklı küçük harfler depolama günlerini, aynı satırdaki büyük harfler depolama sıcaklıkları arasındaki anlamlı farkı ifade etmektedir ($p<0.05$)

Different lowercase letters in the same column indicate storage days, and capital letters in the same line indicate significant differences between storage temperatures ($p<0.05$)

Çizelge 8. Farklı sıcaklıklarda depolanan incir çekirdeği yağı tozunun sıkıştırılmış yığın yoğunluğu değerleri

Table 8. Tapped densities of fig seed oil powder stored at different temperatures

Depolama süresi (gün) Storage time (day)	Depolama sıcaklığı (°C) Storage temperature (°C)		
	4	25	60
0	0.25±0.00 ^{cd,A}	0.25±0.00 ^{a,A}	0.25±0.00 ^{a,A}
15	0.24±0.01 ^{ab,AB}	0.23±0.00 ^{a,A}	0.26±0.00 ^{ab,B}
30	0.24±0.00 ^{ab,AB}	0.24±0.00 ^{a,A}	0.25±0.00 ^{a,B}
45	0.24±0.00 ^{bc,A}	0.24±0.00 ^{a,A}	0.27±0.01 ^{b,A}
60	0.25±0.00 ^{d,A}	0.25±0.02 ^{a,A}	0.25±0.00 ^{a,A}
75	0.24±0.00 ^{ab,A}	0.24±0.00 ^{a,A}	0.26±0.00 ^{ab,B}
90	0.23±0.00 ^{a,A}	0.24±0.00 ^{a,A}	0.25±0.00 ^{a,B}

Aynı sütundaki farklı küçük harfler depolama günlerini, aynı satırdaki büyük harfler depolama sıcaklıkları arasındaki anlamlı farkı ifade etmektedir ($p<0.05$)

Different lowercase letters in the same column indicate storage days, and capital letters in the same line indicate significant differences between storage temperatures ($p<0.05$)

Çizelge 9. Farklı sıcaklıklarda depolanan incir çekirdeği yağı tozunun Carr Index değerleri

Table 9. Carr Indices of fig seed oil powder stored at different temperatures

Depolama süresi (gün) Storage time (day)	Depolama sıcaklığı (°C) Storage temperature (°C)		
	4	25	60
0	16.16±0.16 ^{c,A}	16.16±0.16 ^{c,A}	16.16±0.16 ^{b,A}
15	30.38±0.38 ^{e,C}	15.71±0.65 ^{c,A}	20.01±0.40 ^{c,B}
30	13.12±0.88 ^{a,A}	13.12±0.88 ^{ab,A}	13.43±0.85 ^{a,A}
45	15.14±0.86 ^{b,A}	15.00±1.00 ^{bc,A}	15.94±0.39 ^{b,A}
60	20.00±0.22 ^{d,B}	21.78±0.22 ^{d,C}	16.16±0.16 ^{c,A}
75	14.14±0.12 ^{ab,B}	11.88±0.12 ^{a,A}	19.80±0.20 ^{c,C}
90	13.86±0.65 ^{ab,A}	16.65±0.65 ^{c,B}	17.50±0.50 ^{b,B}

Aynı sütundaki farklı küçük harfler depolama günlerini, aynı satırdaki büyük harfler depolama sıcaklıkları arasındaki anlamlı farkı ifade etmektedir ($p<0.05$)

Different lowercase letters in the same column indicate storage days, and capital letters in the same line indicate significant differences between storage temperatures ($p<0.05$)

Toz ürünlerde dağılılabilirlik ve ıslanabilirlik; partikülün boyutuna, yoğunluğuna, porozitesine ve yüzey alanına bağlı olarak değişim gösteren özelliklerdir (Kim vd. 2002). Toz ürünlerin sıvı emme yeteneğini ölçen ıslanabilirlik değerleri mikroenkapsüle incir çekirdeği yağı tozları için depolama süresince 34.5-57.5 s aralığında değişmiştir. Depolama süresinde tüm sıcaklıklarda ıslanabilirlik değerlerinde dalgalanmalar gözlenirse de, 90. gün sonunda başlangıca göre artış gözlenmiştir ve en fazla artış 60 °C'de tespit edilmiştir. Tozların ıslanabilirliği, genellikle tozun yüzeyi ve penetre olan su arasındaki açıyla belirlenir. Bu sebeple tozun yüzey kompozisyonu, tozun ıslanabilme sürecinde önemli bir işleve

sahiptir. Bunlara ek olarak büyük yığınlar da ıslanmayı zorlaştırabilmektedir (Hui vd., 2008). Depolama sıcaklığının artışına bağlı olarak yüzey yağının özelliklerinin değişimi ve buna bağlı olarak topaklanmanın artışına bağlı olarak ıslanabilirlik değerlerinde artış gözlenmiştir.

Toz ürünlerin sıvı ortama karıştırıldığında bireysel partiküllere ayrılma yeteneğini ölçen bir parametre olan dağılılabilirlik, incir çekirdeği yağı tozlarında 86.03 ile 100 arasında değişen değerler almıştır. Elde edilen sonuçlar literatür ile uyum içerisindedir (Zou vd., 2025). Örneklerin dağılılabilirlik değerlerinin 25 ve 60°C'de depolanan örneklerde depolama sonunda azaldığı

gözlemlenmiştir. Örneklerin yüzey yağı miktarının zamanla artması, toz ürünlerin etrafında bir yağ tabakası oluşturarak ürünün su içinde homojen bir şekilde dağılmasına engel oluşturmaktadır. Ayrıca ıslanabilirliğin tersine daha büyük

partiküller suda daha kolay dağılırken, daha küçük partiküller dağılma sırasında yüzerek rehidrasyon özelliklerini etkileme eğilimi göstermektedir (Goula and Adamopoulos, 2008).

Çizelge 10. Farklı sıcaklıklarda depolanan incir çekirdeği yağı tozunun ıslanabilirlik değerleri

Table 10. Wettability values of fig seed oil powder stored at different temperatures

Depolama süresi (gün) Storage time (day)	Depolama sıcaklığı (°C) Storage temperature (°C)		
	4	25	60
0	34.50±0.50 ^{a,A}	34.50±0.50 ^{a,A}	34.50±0.50 ^{a,A}
15	51.00±1.00 ^{c,B}	47.50±0.50 ^{c,AB}	46.00±1.00 ^{c,A}
30	42.50±2.50 ^{b,A}	51.00±1.00 ^{d,B}	53.50±1.50 ^{de,B}
45	56.50±1.50 ^{c,B}	46.50±1.50 ^{c,A}	52.50±2.50 ^{d,AB}
60	44.50±0.50 ^{b,A}	41.00±1.00 ^{b,A}	41.00±1.00 ^{b,A}
75	52.50±2.50 ^{c,A}	54.50±0.50 ^{d,A}	53.00±1.00 ^{de,A}
90	53.50±1.50 ^{c,AB}	49.00±1.00 ^{cd,A}	57.50±0.50 ^{e,B}

Aynı sütundaki farklı küçük harfler depolama günlerini, aynı satırdaki büyük harfler depolama sıcaklıkları arasındaki anlamlı farkı ifade etmektedir ($p<0.05$)

Different lowercase letters in the same column indicate storage days, and capital letters in the same line indicate significant differences between storage temperatures ($p<0.05$)

Çizelge 11. Farklı sıcaklıklarda depolanan incir çekirdeği yağı tozunun dağılıbilirlik değerleri

Table 11. Dispersibility values of fig seed oil powder stored at different temperatures

Depolama süresi (gün) Storage time (day)	Depolama sıcaklığı (°C) Storage temperature (°C)		
	4	25	60
0	94.24±2.39 ^{ab,A}	94.24±2.39 ^{b,A}	94.24±2.39 ^{cd,A}
15	95.25±0.69 ^{ab,A}	94.68±1.27 ^{b,A}	126.69±2.02 ^{e,B}
30	96.26±0.82 ^{b,A}	96.58±1.01 ^{b,A}	98.31±0.17 ^{d,A}
45	92.71±2.61 ^{ab,B}	86.42±2.98 ^{a,A}	86.03±0.30 ^{a,A}
60	92.04±1.24 ^{ab,A}	95.72±1.49 ^{b,A}	92.52±0.28 ^{bc,A}
75	90.39±0.85 ^{a,A}	94.07±1.94 ^{b,A}	93.29±1.33 ^{bcd,A}
90	90.87±1.47 ^{ab,A}	92.76±2.66 ^{ab,A}	88.40±2.01 ^{ab,A}

Aynı sütundaki farklı küçük harfler depolama günlerini, aynı satırdaki büyük harfler depolama sıcaklıkları arasındaki anlamlı farkı ifade etmektedir ($p<0.05$)

Different lowercase letters in the same column indicate storage days, and capital letters in the same line indicate significant differences between storage temperatures ($p<0.05$)

Farklı sıcaklıklarda gerçekleştirilen depolama sürecinde renk değerlerinde genel olarak bir dalgalanma gözlenmiştir. Örneklerin L değerleri 59.48-78.76; a değerleri 0.65-1.55; b değerleri ise 11.40-16.55 arasında değişim göstermiştir.

Mikroenkapsüle incir çekirdeği yağı tozu örneklerinin 4, 25 ve 60 °C sıcaklıklarda 90 gün boyunca depolanması sırasında

mikroenkapsülasyon verimleri ve peroksit değerleri Çizelge 15-16'da verildiği gibidir.

Mikroenkapsüle incir çekirdeği yağı tozlarının depolama süresince mikroenkapsülasyon verimleri %73.07 ile %82.79 arasında değişim göstermiştir. Depolama süresinde örneklerin mikroenkapsülasyon veriminde dalgalanmalar gözlenirse de tüm sıcaklık değerlerinde artış gözlenmiştir.

Çizelge 12. Farklı sıcaklıklarda depolanan incir çekirdeği yağı tozunun L değerleri
 Table 12. L values of fig seed oil powder stored at different temperatures

Depolama süresi (gün) Storage time (day)	Depolama sıcaklığı (°C) Storage temperature (°C)		
	4	25	60
0	70.43±0.16 ^{d,A}	70.43±0.16 ^{c,A}	70.43±0.16 ^{c,A}
15	70.41±0.86 ^{d,B}	71.18±0.34 ^{c,B}	66.85±0.13 ^{b,A}
30	67.22±0.90 ^{c,A}	72.71±1.37 ^{c,B}	69.91±0.51 ^{c,AB}
45	69.02±1.20 ^{cd,A}	67.34±0.04 ^{b,A}	78.76±0.93 ^{c,B}
60	64.51±0.23 ^{ab,B}	67.04±0.01 ^{b,B}	60.65±1.16 ^{a,A}
75	66.57±0.68 ^{bc,B}	71.23±1.10 ^{c,C}	59.48±0.79 ^{a,A}
90	62.40±0.29 ^{a,AB}	62.19±0.34 ^{a,A}	66.66±1.63 ^{b,B}

Aynı sütundaki farklı küçük harfler depolama günlerini, aynı satırdaki büyük harfler depolama sıcaklıkları arasındaki anlamlı farkı ifade etmektedir ($p<0.05$)

Different lowercase letters in the same column indicate storage days, and capital letters in the same line indicate significant differences between storage temperatures ($p<0.05$)

Çizelge 13. Farklı sıcaklıklarda depolanan incir çekirdeği yağı tozunun a değerleri
 Table 13. a values of fig seed oil powder stored at different temperatures

Depolama süresi (gün) Storage time (day)	Depolama sıcaklığı (°C) Storage temperature (°C)		
	4	25	60
0	1.05±0.16 ^{b,A}	1.05±0.16 ^{b,A}	1.05±0.16 ^{b,A}
15	1.06±0.06 ^{b,A}	1.06±0.11 ^{b,A}	1.32±0.05 ^{bc,A}
30	1.40±0.04 ^{c,A}	1.32±0.12 ^{b,A}	1.55±0.04 ^{c,A}
45	0.77±0.06 ^{a,A}	1.07±0.01 ^{b,B}	1.33±0.04 ^{bc,C}
60	0.73±0.06 ^{a,A}	1.07±0.05 ^{b,B}	0.74±0.11 ^{a,A}
75	0.84±0.03 ^{ab,A}	1.07±0.05 ^{b,AB}	1.25±0.09 ^{bc,B}
90	0.65±0.09 ^{a,A}	0.69±0.02 ^{a,A}	1.25±0.01 ^{b,B}

Aynı sütundaki farklı küçük harfler depolama günlerini, aynı satırdaki büyük harfler depolama sıcaklıkları arasındaki anlamlı farkı ifade etmektedir ($p<0.05$)

Different lowercase letters in the same column indicate storage days, and capital letters in the same line indicate significant differences between storage temperatures ($p<0.05$)

Çizelge 14. Farklı sıcaklıklarda depolanan incir çekirdeği yağı tozunun b değerleri
 Table 14. b values of fig seed oil powder stored at different temperatures

Depolama süresi (gün) Storage time (day)	Depolama sıcaklığı (°C) Storage temperature (°C)		
	4	25	60
0	13.71±0.53 ^{cd,A}	13.71±0.53 ^{bcd,A}	13.71±0.53 ^{b,A}
15	13.77±0.18 ^{d,A}	14.07±0.32 ^{bcd,A}	13.72±0.08 ^{b,A}
30	13.15±0.12 ^{bcd,A}	14.62±0.35 ^{cd,B}	15.17±0.19 ^{c,B}
45	12.83±0.86 ^{abcd,A}	13.27±0.01 ^{b,A}	16.55±0.14 ^{d,B}
60	11.87±0.48 ^{ab,A}	13.52±0.05 ^{bc,B}	12.08±0.63 ^{a,A}
75	12.19±0.07 ^{abc,A}	14.89±0.51 ^{d,B}	11.70±0.09 ^{a,A}
90	11.40±0.01 ^{a,A}	11.63±0.16 ^{a,A}	13.24±0.09 ^{b,B}

Aynı sütundaki farklı küçük harfler depolama günlerini, aynı satırdaki büyük harfler depolama sıcaklıkları arasındaki anlamlı farkı ifade etmektedir ($p<0.05$)

Different lowercase letters in the same column indicate storage days, and capital letters in the same line indicate significant differences between storage temperatures ($p<0.05$)

Çizelge 15. Farklı sıcaklıklarda depolanan incir çekirdeği yağı tozunun mikroenkapsülasyon verimleri
 Table 15. Microencapsulation efficiencies of fig seed oil powder stored at different temperatures

Depolama süresi (gün) Storage time (day)	Depolama sıcaklığı (°C) Storage temperature (°C)		
	4	25	60
0	76.87±0.04 ^{a,A}	76.87±0.04 ^{a,A}	76.87±0.03 ^{c,A}
15	76.32±0.47 ^{a,A}	79.42±0.96 ^{ab,B}	75.90±0.02 ^{b,A}
30	76.79±0.11 ^{a,B}	78.86±0.13 ^{ab,C}	73.07±0.08 ^{a,A}
45	80.47±0.03 ^{d,C}	75.96±0.00 ^{a,A}	78.28±0.01 ^{d,B}
60	77.68±0.01 ^{b,A}	80.09±0.00 ^{c,B}	82.79±0.04 ^{g,C}
75	79.70±0.01 ^{c,B}	78.56±0.01 ^{b,A}	80.50±0.02 ^{f,C}
90	77.90±0.02 ^{b,A}	82.08±0.01 ^{d,C}	78.53±0.01 ^{e,B}

Aynı sütundaki farklı küçük harfler depolama günlerini, aynı satırdaki büyük harfler depolama sıcaklıkları arasındaki anlamlı farkı ifade etmektedir ($p<0.05$)

Different lowercase letters in the same column indicate storage days, and capital letters in the same line indicate significant differences between storage temperatures ($p<0.05$)

Farklı sıcaklıklarda depolanmış incir çekirdeği yağı tozu örneklerinin peroksit değerleri depolama süresince 5.73-71.35 meq O₂/kg yağ arasında değişmiştir. Depolama süresince her sıcaklık için peroksit değerlerinde dalgalanmalar gözlenirse de tüm sıcaklıklarda başlangıca göre bir artış olduğu gözlenmektedir. Depolama sırasında en yüksek değer 60 °C'ta 75. günde elde edilmiştir. Bu

durumda sıcaklığın artmasına bağlı olarak peroksit değeri de artmaktadır. Her üç sıcaklık değeri için de 45 günden daha uzun depolamaların ürün kalitesinde düşüşe yol açtığı gözlemlenmiştir. Bu durum incir çekirdeği yağı tozunun çabuk tüketilecek ve raf ömrü kısa gıdaların formülasyonunda kullanımının daha uygun olacağına işaret etmektedir.

Çizelge 16. Farklı sıcaklıklarda depolanan incir çekirdeği yağı tozunun peroksit değeri
 Table 16. Peroxide values of fig seed oil powder stored at different temperatures

Depolama süresi (gün) Storage time (day)	Depolama sıcaklığı (°C) Storage temperature (°C)		
	4	25	60
0	5.73±0.03 ^{a,A}	5.73±0.03 ^{a,A}	5.73±0.03 ^{a,A}
15	5.82±0.04 ^{a,A}	5.92±0.02 ^{a,A}	16.70±0.09 ^{b,B}
30	29.52±0.48 ^{c,C}	17.58±0.42 ^{b,A}	24.51±0.43 ^{c,B}
45	11.88±0.09 ^{b,B}	6.13±0.00 ^{a,A}	16.65±0.00 ^{b,C}
60	33.67±0.00 ^{d,B}	44.44±0.00 ^{d,C}	24.48±0.00 ^{c,A}
75	41.04±0.00 ^{e,A}	58.36±0.02 ^{e,B}	71.35±0.00 ^{e,C}
90	52.09±0.00 ^{f,C}	41.11±0.00 ^{c,A}	28.87±0.00 ^{d,B}

Aynı sütundaki farklı küçük harfler depolama günlerini, aynı satırdaki büyük harfler depolama sıcaklıkları arasındaki anlamlı farkı ifade etmektedir ($p<0.05$)

Different lowercase letters in the same column indicate storage days, and capital letters in the same line indicate significant differences between storage temperatures ($p<0.05$)

Model gıda uygulaması

İncir çekirdeği yağı tozu duyuusal değerlendirme için salata sosu formülasyonuna ilave edilmiştir ve kontrol grubuyla kıyaslanmıştır. Sos örnekleri hedonik test ile 10 kişilik panelist grubunda duyuusal analize tabi tutulmuştur. Elde edilen sonuçlar Çizelge 17'de gösterildiği gibidir.

Duyusal analiz sonuçları tat, koku, görünüş, aroma, kıvam ve tat sonrası izlenim açısından panelistler tarafından en yüksek puanı alan örneğin salata sosunun içerisine incir çekirdeği yağı tozu eklenen örnek olduğunu ortaya koymuştur. İncir çekirdeği yağı tozu eklenerek hazırlanan salata sosunda en çok kararsız kalınan

özellik ise koku olmuştur. Genel kabul açısından değerlendirildiğinde, incir çekirdeği yağı tozu eklenerek hazırlanan salata sosu örneğinin, incir

çekirdeği yağı ile hazırlanan örneğe kıyasla daha çok beğenildiği bulgulanmıştır.

Çizelge 17. Salata sosu örneklerine ait duyu analizi sonuçları

Table 17. Sensory analysis results of salad dressings

Değerlendirme Parametreleri <i>Evaluation parameters</i>	1	2	3	4	5
Örnek 1 (İncir çekirdeği yağı) <i>Sample 1 (Fig seed oil)</i>					
Tat <i>Taste</i>	-	7	3	-	-
Koku <i>Smell</i>	-	5	2	3	-
Görünüş <i>Appearance</i>	-	2	5	3	-
Aroma <i>Aroma</i>	-	3	5	2	-
Kıvam <i>Thickness</i>	-	2	4	4	-
Tat sonrası izlenim <i>Overall acceptance</i>	1	6	3	-	-
Örnek 2 (Mikroenkapsüle incir çekirdeği yağı tozu) <i>Sample 2 (Microencapsulated fig seed oil powder)</i>					
Tat <i>Taste</i>	-	-	1	9	-
Koku <i>Smell</i>	-	-	7	3	-
Görünüş <i>Appearance</i>	-	-	3	7	-
Aroma <i>Aroma</i>	-	-	3	7	-
Kıvam <i>Thickness</i>	-	-	-	10	-
Tat sonrası izlenim <i>Overall acceptance</i>	-	-	1	9	-

(1: Hiç beğenmedim, 2: Beğenmedim, 3: Kararsızım, 4: Beğendim, 5: Çok beğendim)

(1: I didn't like it at all, 2: I didn't like it, 3: I'm undecided, 4: I liked it, 5: I liked it a lot)

SONUÇ

Yapılan çalışmada incir çekirdeği yağı dondurarak kurutma yöntemiyle farklı oranlarda maltodekstrin ve peynir altı suyu protein izolatu karışımları ile enkapsüle edilmiştir. Elde edilen incir çekirdeği yağı tozunun fizikokimyasal özellikleri belirlenerek en uygun kaplama materyalinin %33 peynir altı suyu izolatu: %67 maltodekstrin karışımı olduğu tespit edilmiş ve bu koşullarda üretilen incir çekirdeği yağı tozu 4, 25

ve 60 °C'de 90 gün süresince depolanmış ve depolama süresince değişiklikler incelenmiştir. Depolama süreci boyunca yapılan analizlerde, uygun kaplama materyali ile mikroenkapsüle edilen örneklerin hem fizikokimyasal stabilitesini hem de fonksiyonel bileşenlerini daha iyi koruduğu belirlenmiştir. Bu da, incir çekirdeği yağı gibi oksidasyona duyarlı bileşenlerin korunmasında mikroenkapsülasyonun etkili bir yöntem olduğunu göstermektedir.

Bulgular, uygun kaplama materyali ile elde edilen enkapsüle incir çekirdeği yağının, farklı sıcaklıklarda depolandığında fiziksel ve kimyasal özelliklerinin incelenmesi açısından özgün bir yaklaşım sunmaktadır. Literatürde, incir çekirdeğinin dondurarak enkapsülasyonu sırasında kullanılan kaplama materyalinin toz ürünün fiziksel ve kimyasal özellikleri üzerindeki etkisini ele alan bir çalışmaya rastlanmamıştır. Elde edilen enkapsüle ürünün, ambalajlı toz ürünlerde yağ kaynağı olarak kullanılabilme potansiyeli bulunmaktadır.

Sonuç olarak, bu çalışma incir çekirdeği yağının fonksiyonel gıdalarda kullanım potansiyelini artırmakta ve gıda sanayisinde değerlendirilebilecek atıkların katma değeri yüksek ürünlere dönüştürülmesine katkı sunmaktadır. Elde edilen veriler, ilerleyen çalışmalarda farklı kurutma tekniklerinin veya kaplama materyallerinin karşılaştırılması açısından da bir temel oluşturmaktadır.

ÇIKAR ÇATIŞMASI

Bu makalede yazarların, başka kişiler veya kurumlar ile çıkar çatışması bulunmamaktadır.

YAZAR KATKILARI

Tuğçe Yorgancı denemelerin ve analizlerin yapılmasından, Aslı Zungur Bastıoğlu sonuçların yorumlanması ve istatistiki değerlendirmelerin yapılmasından, Aslı Yorulmaz makale yazımından sorumludur.

KAYNAKLAR

- Babić, J., Cantalejo, M.J., Arroqui, C. (2009). The effects of freeze-drying process parameters on Broiler chicken breast meat. *Food Science and Technology*, 42(8):1325-1334, doi: 10.1016/j.lwt.2009.03.020.
- Bae, E.K., Lee, S.J. (2008). Microencapsulation of avocado oil by spray drying using whey protein and maltodextrin. *Journal of Microencapsulation*, 25(8): 549-560, doi: 10.1080/02652040802075682.
- Balasubramani, P., Palaniswamy, P.T., Visvanathan, R., Thirupathi, V., Subbarayan, A., Maran, J.P. (2015). Microencapsulation of garlic

oleoresin using maltodextrin as wall material by spray drying technology. *International Journal of Biological Macromolecules*, 72: 210-217, doi: 10.1016/j.ijbiomac.2014.08.011.

Barbosa-Cánovas, G.V., Ortega-Rivas, E., Juliano, P., Yan, H. (2005). *Food powders: Physical properties, processing, and functionality*. 86, New York: Kluwer Academic/Plenum Publishers, 372 p.

Bhandari, B.R., Dumoulin, E.D., Richard, H.M.J., Noleau, I., Lebert, A.M. (1992). Flavor encapsulation by spray drying: Application to citral and linalyl acetate. *Journal of Food Science*, 57(1): 217-221, doi: 10.1111/j.1365-2621.1992.tb05459.x.

Botrel, D.A., Borges, S.V., Fernandes, R.V., Viana, A.D., Costa J.M., Marques, G.R. (2011). Evaluation of spray drying conditions on properties of microencapsulated oregano essential oil. *International Journal of Food Science and Technology*, 47:2289–2296, doi: 10.1111/j.1365-2621.2012.03100.x.

Carr, R.L. (1965). Evaluating flow properties of solids. *Chemical Engineering*, 72:163–168, doi: 10.4236/pp.2014.512122.

Cho, Y.H., Shim, H.K., Park, J. (2003). Encapsulation of fish oil by an enzymatic gelation process using transglutaminase cross-linked proteins. *Journal of Food Science*, 68(9): 2717-2723, doi:10.1111/j.1365-2621.2003.tb05794.x.

Çakır, İ. (2007). Fonksiyonel gıda bileşenleri ve probiyotiklerde mikroenkapsülasyon uygulamaları. 5. *Gıda Mühendisliği Kongresi*, 08-10 Kasım, Ankara, Türkiye.

Çalışkan, O., Polat, A.A. (2012). Morphological diversity among fig (*Ficus carica* L.) accessions sampled from the Eastern Mediterranean Region of Turkey. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 36(2): 179-193, doi: 10.3906/tar-1102-33.

Dueñas, M., Pérez-Alonso, J.J., Santos-Buelga, C., Escribano-Bailón, T. (2008). Anthocyanin composition in fig (*Ficus carica* L.). *Journal of Food Composition and Analysis*, 21(2): 107-115, doi: 10.1016/j.jfca.2007.09.002.

Folch, J., Lees, M., Sloane S. (1957). A simple method for the isolation and purification of total

- lipides from animal tissues. *Biological Chemistry*, 26(1):497-509, doi: 10.1016/S0021-9258(18)64849-5.
- Goula, A.M., Adamopoulos, K.G. (2008). Effect of maltodextrin addition during spray drying of tomato pulp in dehumidified air: II. Powder properties. *Drying Technology*, 26(6): 726-737, doi: 10.1080/07373930802046377.
- Göçmez, A., Seferoğlu, H.G. (2014). Sofralık ve kurutmalık incir kalite kriterleri ve kaliteyi etkileyen faktörler. *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi*, 1:98-108, doi: 10.19159/tutad.29893.
- Göğüş, F., Özkaya, M.T., Ötles, S. (2009). *Zeytinyağı*. Eflatun Yayınevi, Ankara, 274s.
- Gökmen, S., Palamutoğlu, R., Sarıçoban, C. (2012). Gıda endüstrisinde enkapsülasyon uygulamaları. *Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 7(1): 36-50, doi: 10.38137/vftd.1096571.
- Güngör, Ö. (2013). Zeytinyağının püskürtmeli kurutma yöntemi ile mikroenkapsülasyonunun D-optimal dizayn ile optimizasyonu. Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek lisans tezi, İzmir, Türkiye, 173 s.
- Hammami, C., Rene, F. (1997). Determination of freeze-drying process variables for strawberries. *Journal of Food Engineering*, 32:133-154, doi: 10.1016/S0260-8774(97)00023-X.
- Hogan, S.A., McNamee, B.F., O'Riordan, E.D., O'Sullivan, M. (2001). Emulsification and microencapsulation properties of sodium caseinate/carbohydrate blends. *International Dairy Journal*, 11(3): 137-144, doi: 10.1016/S0958-6946(01)00091-7.
- Hui, Y., Clary, H., Farid, C., Fasina, M.M., Noomhorm, A., Welti – Chanes, J. (2008). *Food Drying Science and Technology: Microbiology, Chemistry, Applications*, DEStech Publications, Inc., USA, 791 p.
- Hu, M., McClements, D.J., Decker, E.A. (2003). Impact of whey protein emulsifiers on the oxidative stability of salmon oil-in-water emulsions. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(5): 1435-1439, doi: 10.1021/jf0203794.
- İçyer N.C., Tokar O.S., Karasu S., Tornuk F., Kahyaoglu T., Arici, M. (2017). Microencapsulation of fig seed oil rich in polyunsaturated fatty acids by spray drying. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 11:50–57, doi: 10.1007/s11694-016-9370-8.
- Jaekel, T., Dautel, K., Ternes, W. (2008). Preserving functional properties of hen's egg yolk during freeze-drying. *Journal of Food Engineering*, 87(4):522-526, doi: 10.1016/j.jfoodeng.2008.01.006.
- Jinapong, N., Supphantharika, M., Pimon Jamnong, P. (2008). Production of instant soymilk powders by ultrafiltration, spray drying and fluidized bed agglomeration. *Journal of Food Engineering*, 84:194–205, doi: 10.53333/6353226.
- Kim, E.H.J., Chen, X.D., Pearce, D. (2002). Surface characterization of four industrial spray-dried dairy powders in relation to chemical composition, structure and wetting property. *Colloids and surfaces B: Biointerfaces*, 26(3): 197-212, doi: 10.1016/S0927-7765(01)00334-4.
- Klinkesorn, U., Sophanodora, P., Chinachoti, P., McClements, D., Decker E.A. (2005). Stability of spray-dried tuna oil emulsion encapsulated with two-layered interfacial membranes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53: 8365-8371, doi: 10.1021/jf050761r.
- Koç, M., Koç, B., Sakin-Yılmaz, M., Kaymak-Ertekin, F., Susyal, G., Bağdathoğlu, N., (2011). Physicochemical characterization of whole egg powder microencapsulated by spray drying. *Drying Technology*, 29: 780- 788, doi: 10.1080/07373937.2010.538820.
- Krokida, M.K., Maroulis, Z.B., Saravacos, G.D. (2001). The effect of the method of drying on the colour of dehydrated products. *International Journal of Food Science Technology*, 36(1):53-59, doi: 10.1046/j.1365-2621.2001.00426.x.
- Madene, A., Jacquot, M., Scher, J., Desobry, S. (2006). Flavour encapsulation and controlled release—A review. *International Journal of Food Science and Technology*, 41(1): 1-21, doi: 10.1111/j.1365-2621.2005.00980.x.

- Marques, L.G., Silveira, A.M., Freire, J.T. (2006). Freeze-drying characteristics of tropical fruits. *Drying Technology*, 24(4): 457-463, doi: 10.1080/07373930600611919.
- Mawa, S., Husain, K., Jantan, I. (2013). Ficus carica L. Moraceae: Phytochemistry, traditional uses and biological activities. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2013 (1): 974256.
- Nakilcioğlu, E., Ötleş, S. (2021). Zeytin çekirdeği antioksidanlarının dondurarak kurutma tekniği ile mikroenkapsülasyonu: Toz ürünün fiziksel ve kimyasal karakterizasyonu. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 10(1): 140-149, doi: 10.28948/ngumuh.740797.
- Pala, M., Saygi, Y.B. (1983). Su aktivitesi ve gıda işletmedeki önemi. *Ege Üniversitesi Gıda Mühendisliği*, 8(1): 33-39.
- Pauletti, M.S., Amestoy, P.J.F.S. (1999). Butter microencapsulation as affected by composition of wall material and fat. *Journal of Food Science*, 64(2): 279-282, doi: 10.1111/j.1365-2621.1999.tb15882.x.
- Poncellet, D. (2006). Microencapsulation: fundamentals, methods and applications. In: *Surface Chemistry in Biomedical and Environmental Science*, Dordrecht: Springer Netherlands, pp. 23-34.
- Ratti, C. (2001). Hot air and freeze-drying of high-value foods: A review. *Journal of Food Engineering*, 49(4): 311-319, doi: 10.1016/S0260-8774(00)00228-4.
- Sims, R.J. (1989). Spray dried emulsion, *Develop Food Science*. 19:495-509
- Şirinyıldız, D.D., Vardin, A.Y., Yorulmaz, A. (2023). The influence of microwave roasting on bioactive components and chemical parameters of cold pressed fig seed oil. *Grasas y Aceites*, 74(1): e490, doi: 10.3989/gya.1011212.
- Vega, C.R.Y.H., Roos, Y.H. (2006). Invited review: Spray-dried dairy and dairy-like emulsions—compositional considerations. *Journal of Dairy Science*, 89(2): 383-401, doi: 10.3168/jds.S0022-0302(06)72103-8.
- Vinson, J.A., Zubik, L., Bose, P., Samman, N., Proch, J. (2005). Dried fruits: excellent in vitro and in vivo antioxidants. *Journal of the American College of Nutrition*, 24(1): 44- 50, doi: 10.1080/07315724.2005.10719442.
- Zou, X., Pan, Y., Hu, J., Zhang, K., Yang, X., Nwankwo, J.A., Liu, W. (2025). Effects of different soluble dietary fibers on oil encapsulation: Comparison of emulsion and microcapsule properties. *Food Chemistry*, 479: 143842, doi: 10.3390/foods14050754.
- Zungur, A. (2013). Mikroenkapsülasyon işleminin ekstra sızma zeytinyağı tozunun depolanması sırasında oksidatif stabilite, sorpsiyon ve fiziksel kalite kriterleri üzerine etkisi. Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek lisans tezi, İzmir, Türkiye, 169 s.
- Zungur Bastıoğlu, A., Koç, M., Yalçın, B., Kaymak Ertekin, F., Ötleş, S. (2017). Storage characteristics of microencapsulated extra virgin olive oil powder: Physical and chemical properties. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 11: 1210-1226, doi: 10.1007/s11694-017-9498-1.