



Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/yyufbed>



Derleme Makale

Balık Yağında Emülsiyon ve Enkapsülasyon Uygulamaları

Gülistan OKUTAN*, Gökhan BORAN

Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, 65080, Van, Türkiye
Gülistan OKUTAN, ORCID No: 0000-0002-1936-7633, Gökhan BORAN, ORCID No: 0000-0002-8871-8433

*Sorumlu yazar e-posta: gulistanokutan@outlook.com

Makale Bilgileri

Geliş: 10.06.2022
Kabul: 27.11.2022
Online Nisan 2023

DOI:10.53433/yyufbed.1128812

Anahtar Kelimeler

Balık yağı,
Emülsiyon,
Enkapsülasyon,
Muhafaza,
Omega yağ asitleri

Öz: Balık yağı, içerdiği uzun zincirli ve çoklu doymamış yağ asitleri nedeniyle oksidasyona karşı son derece hassastır. Söz konusu yağ asitleri içinde omega-3 (ω -3 veya n-3) yağ asitlerinin sağlık üzerine önemli etkileri olduğu görülmüştür. Bu nedenle, balık yağının yapısının korunması ve oksidasyona karşı dayanıklı hale getirilmesi önemlidir. Emülsiyon teknikleri ile yağların oksidasyona karşı dayanımı artırılmakta ve yağların çeşitli ürünlerin formülasyonunda kullanımı daha kolay hale gelebilmektedir. Enkapsülasyon tekniğinin ise yağlar, aroma bileşenleri, uçucu bileşenler ve vitaminler gibi biyoaktif bileşenleri koruduğu bilinmektedir. Balık yağının emülsiyon ve enkapsülasyon teknikleri ile işlenmesi ve gerek gıda ürünlerinde gerekse kozmetik ve ilaç ürünlerinde balık yağı emülsiyonları veya balık yağı kapsülleri olarak kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Bu derlemede, emülsiyon ve enkapsülasyon teknikleri hakkında genel bilgi verilerek, balık yağının emülsiyon ve enkapsülasyon teknikleri ile işlendiği mevcut çalışmalar incelenmiştir.

Emulsion and Encapsulation Applications in Fish Oil

Article Info

Received: 10.06.2022
Accepted: 27.11.2022
Online April 2023

DOI:10.53433/yyufbed.1128812

Keywords

Emulsion,
Encapsulation,
Fish oil,
Omega fatty acids,
Storage

Abstract: Fish oil is quite susceptible to oxidation due to its high content of long-chain polyunsaturated fatty acids. It is seen that omega-3 (ω -3 or n-3) fatty acids, among the others, show significant effects on human health. Therefore, it is important to preserve quality of fish oil and to make it resistant to oxidation. Fish oil may become more resistant to oxidation by emulsion methods and emulsified fish oil may be more convenient for use in formulations of different products. It is also known that encapsulation methods are useful in preservation of lipids, aroma compounds, volatiles and vitamins. Therefore, processing of fish oil by emulsion and encapsulation methods is getting increasingly common as well as their use in both food products, cosmetics and pharmaceuticals. In this review, brief information is given about emulsion and encapsulation methods and recent literature about fish oil emulsions and encapsulation is reviewed.

1. Giriş

Son yıllarda yapılan çalışmalar, balık yağının kalp-damar sağlığı, beyin ve sinir sisteminin işlevselliği ve çeşitli kanser türlerinin önlenmesi üzerine önemli etkileri olduğunu göstermiştir (Uysal ve ark., 2005; Botrel ve ark., 2014). n-3 yağ asitlerinin kalp-damar hastalıkları, hipertansiyon, depresyon, Alzheimer ve Parkinson hastalığı gibi çeşitli hastalıkları önlediği bilinmektedir (Tanskanen ve ark., 2001). Balık yağı, çoklu doymamış yağ asitleri olan n-3 ve n-6 yağ asitleri bakımından oldukça zengindir. Eikosapentaenoik asit (EPA) ve dokosaheksaenoik asit (DHA) miktarının en yüksek olduğu gıdalar balıklardır (Boran, 2004). Balık, EPA ve DHA'in yanısıra yağda eriyen A, D ve E vitaminleri açısından da zengindir. Çoklu doymamış yağ asitleri oksijen, enzim, ışık, metal iyonları, ısı gibi çevresel faktörlerin etkisiyle kolayca bozulur. Balık yağının oksidasyonu esnasında oluşan besin kaybı, acılaşma ve istenmeyen tat hidroperoksitlerin dekompozisyonu ile gelişir ve bu durum balık yağının raf ömrünü azaltır (Baek, 2012). Balık yağının zengin içeriği, yağ bazlı ürünlerin geliştirilmesi ve kullanımı, gıda ve tıp çevrelerinde büyük ilgi görmüştür. Bununla birlikte, balıksı tat, suda çözünmeme ve yapısında bulunan çok sayıda kararsız çift bağ nedeniyle balık yağının ön işlemlerden geçirilerek daha dayanıklı ve kullanımı kolay ara ürünlere dönüştürülmesi gerekir. Bu amaçla, balık yağının emülsiyonu ve enkapsülasyonu son yıllarda büyük ilgi görmüş ve önem kazanmıştır. Bu derlemede, emülsiyon ve enkapsülasyon yöntemleri hakkında kısaca bilgi verilmiş, balık yağının emülsiyonu ve enkapsülasyonu ile ilgili mevcut çalışmalar özetlenmiştir.

2. Emülsiyon

Emülsiyon, birbiri içinde çözünmeyen iki sıvının termodinamik olarak stabil olmayan karışımı olarak tanımlanabilir (Zheng ve ark., 2020). Emülsiyonlar, gıda, tarım ve tıp gibi farklı alanlarda geniş kullanım alanı bulmaktadır. Süt, krema, sıvı ve toz salata sosları, mayonez, hazır çorbalar, çözeltiler, tereyağı, margarin ve dondurma gibi ürünler gıda emülsiyonlarına örnektir (Güngör ve ark., 2013). Emülsiyonlar, su içinde yağ (Y/S), yağ içinde su (S/Y) veya çoklu emülsiyonlar olarak bulunabilmektedir (Tadros, 2013). Y/S emülsiyonunda su dış veya sürekli fazı oluştururken yağ ise iç veya dispers fazı oluşturur. Emülsiyonlar, dispers fazın damla boyutuna göre makroemülsiyonlar, mikroemülsiyonlar ve nanoemülsiyonlar olmak üzere sınıflandırılabilir. Makroemülsiyonlarda damla boyutu 100 nm ile 100 µm arasında olurken, mikroemülsiyonların ve nanoemülsiyonların damlacık boyutu 1 ile 100 nm arasında değişmektedir (Zhang, 2011; Kale & Deore, 2017). Mikroemülsiyonlar ve nanoemülsiyonlar birbirine benzemekle birlikte mikroemülsiyonlar kendiliğinden oluşabilirken nanoemülsiyonlar mekanik kuvvet ile elde edilebilmektedir (Serdaroğlu ve ark., 2015).

Emülsiyon tekniği ile üretilen gıdalarda yapının oluşması ve ürün stabilitesinin sağlanması için emülgatörler kullanılmaktadır. Emülgatörler, yüzey gerilimini azaltarak gıdaların dispers yapıya kavuşmalarını sağlayan maddelerdir (Göksel Saraç, 2018). Emülsiyonların formülasyonu ve stabilizasyonu için genel olarak düşük molekül ağırlıklı sürfaktanlar, amfilik polimerler, lipidler, proteinler ve polisakkaritler kullanılır ve bu yüzey aktif moleküller sıvı-sıvı ara yüzeyinde adsorbe olup damlacıkların birleşimine karşı sterik/elektrostatik bir bariyer oluşturur (Li ve ark., 2020). Bir uygulama için emülgatörün seçimi, başarılı ürünler oluşturmak için kritiktir ve bu seçim; ürün formülasyonu, işleme koşulları ve istenen nihai özelliklere bağlıdır (Chung & McClements, 2014). Genel olarak, proteinler, polisakkaritler, fosfolipidler ve yüzey aktif maddeler dahil olmak üzere gıda endüstrisinde kullanılacak çok sayıda sentetik ve doğal emülgatör bulunmaktadır (Ozturk & McClements, 2016). Proteinlerin çeşitli fonksiyonel özellikleri vardır. Bu fonksiyonel özelliklerinden biri de emülsifiye edici özellikleridir. Çeşitli proteinler kullanılarak emülsiyon stabilitesinin artırılması yönünde çalışmalar mevcuttur (Diaz ve ark., 2003; Hu ve ark., 2003). Emülsiyonlar özünde kararsız sistemlerdir ve farklı olaylar yoluyla fiziksel olarak bozulabilirler (McClements, 2015). Emülsiyonlar, zamana bağlı olarak faz ayrımı, Oswalt olgunlaşması, kremalaşma, flokülasyon, koalesens ve sedimentasyon süreçlerinden dolayı çeşitli değişiklikler gösterebilir (Urbina-Villalba, 2009). Bununla birlikte, kimyasal bozulma da söz konusu olabilir. Kimyasal bozulmaya genel olarak hidroliz ve oksidasyon sebep olur (McClements & Decker, 2000).

3. Enkapsülasyon

Enkapsülasyon, aktif bileşenlerin taşıyıcı maddelerin içine hapsedildiği bir işlemdir. Kaplanan malzemeye aktif veya çekirdek malzeme, kaplama malzemesine ise kabuk, duvar malzemesi, taşıyıcı veya enkapsülen denir (Madene ve ark., 2006). Enkapsülasyon, elde edilen ürün boyutuna göre makro, mikro veya nano ön ekleri olarak adlandırılmaktadır (Koç ve ark., 2010). Enkapsülasyon, biyoaktif moleküllerin (antioksidanlar, mineraller, vitaminler, fitosteroller, lutein, yağ asitleri, likopen, vb.) ve canlı hücrelerin (probiyotikler) gıdalarda salınımını iyileştirmek için yararlı bir araçtır (Wandrey ve ark., 2010; Vos ve ark., 2010). Bir enkapsülasyon malzemesinin seçimi için önem arz eden kriterler, enkapsülasyon işleminin nihai ürüne sağlaması gereken işlevsellik, kaplama malzemesi için potansiyel kısıtlamalar, kapsüllerin konsantrasyonu, salınım tipi, stabilite gereksinimleri ve maliyet kısıtlamalarıdır. Kapsüllerin koruyucu kabuğunun tasarımı için kullanılan malzemeler gıda sınıfında olmalı, biyolojik olarak parçalanabilir ve iç faz ile çevresi arasında bir bariyer oluşturabilmelidir. Gıda sektöründe enkapsülasyon için kullanılan malzemelerin çoğu biyomoleküllerdir. Malzemeler, doğal olmalarının dışında çevre koşullarına karşı maksimum koruma sağlamalı, çeşitli koşullar altında işleme veya depolama sırasında aktif maddeleri kapsül yapısı içinde tutmalı, kapsülünmüş malzeme ile reaksiyona girmemeli, ihtiyaç duyulursa yüksek konsantrasyonda iyi reolojik özelliklere ve enkapsülasyon sırasında kolay çalışma kabiliyetine sahip olmalıdır (Nedovic ve ark., 2011).

Enkapsülasyonda kullanılan yaygın duvar malzemeleri üç ana gruba ayrılabilir: Karbonhidratlar (maltodekstrin, nişasta, selüloz, Arap zankı, mesquite zankı, guar zankı, galaktomannanlar, siklodekstran, pektin gibi bitkisel kaynaklı karbonhidratlar; karragenan ve aljinat gibi su kaynaklı karbonhidratlar; ksantan, -jellan, dekstran, kitosan gibi mikrobiyal veya hayvansal kaynaklı karbonhidratlar), proteinler (soya proteini, bezelye proteini, arpa proteini, zein, glüten gibi bitkisel kaynaklı proteinler; kazein, peynir altı suyu proteini, jelatin gibi hayvansal kaynaklı proteinler) ve lipidler (süt yağı, fosfolipid, balmumu ve karnauba mumu gibi lipitler ve mumlar) (Augustin & Sanguansri, 2012; Wandrey ve ark., 2010). Doğru duvar malzemesi seçimi, kapsülün kapsülleme verimini ve stabilitesini etkilediği için çok önemlidir. İdeal duvar malzemesi çekirdekle tepkimeye girmemeli; çekirdeği kapsül içinde kapatma ve muhafaza etme ve olumsuz koşullara karşı maksimum koruma sağlama yeteneğine sahip olmalı, gıdalarda kullanımı durumunda hoş olmayan bir tada sahip olmamalıdır (Gharsallaoui ve ark., 2007; Nazzaro ve ark., 2012).

Enkapsülasyon uygulamasının avantajları aşağıda sıralanmıştır (Zuidam & Shimoni, 2010).

- Aktif maddenin üstün kullanımı (örneğin, sıvı aktif maddenin, serbest akışlı ve daha nötr bir kokuya sahip olabilen bir toza dönüştürülmesi)
- Gıda işleme sistemlerinde aktif maddenin hareketsizliği
- Nihai üründe ve işleme sırasında iyileştirilmiş stabilite (yani, uçucu aktif maddenin daha az buharlaşması ve/veya gıda ürünündeki oksijen veya su gibi diğer bileşenlerle reaksiyona girmemesi)
- İyileştirilmiş güvenlik (örneğin, aroma gibi uçucu maddelerin daha az yanma özelliği)
- Görünür ve dokusal efektlerin oluşturulması (görsel ipuçları)
- Aktif bileşenlerde ayarlanabilir özellikler (partikül boyutu, yapı, yağda veya suda çözünürlük, renk)
- Tat maskeleyme
- Kontrollü salınım

Enkapsülasyon işleminde fiziksel, kimyasal ve fizikokimyasal yöntemler kullanılmaktadır. Fiziksel yöntemler; püskürterek kurutma, püskürterek soğutma/dondurma, akışkan yatak kaplama, ekstrüzyon, kokristalizasyon, santrifüj ekstrüzyon, dondurarak kurutma yöntemleridir. Kimyasal yöntemler; moleküler inklüzyon ve polimerizasyon yöntemleridir. Fizikokimyasal yöntemler ise koaservasyon ve lipozom yöntemleridir (Shahidi & Han, 1993; Silva ve ark., 2014).

4. Balık Yağında Yapılan Emülsiyon Çalışmaları

Proteinlerin balık yağı emülsiyonlarında antioksidan madde olarak kullanılabileceği çeşitli araştırmacılar tarafından doğrulanmıştır (Faraji ve ark., 2004). Söz konusu emülsiyonlarda çoklu

doymamış yağ asitlerini proteinlerle korumak ve besleyici değerini artırmak mümkündür. Comunian ve ark. (2018), Ringa balığı yağından suda yağ emülsiyonu hazırlamışlardır. Emülgatör olarak farklı kombinasyonlarda jelatin, kazein, soya proteini ve peynir altı suyu proteinini kullanmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre %1.5 (w/w) jelatin-%0.5 kazein, %0.5 (w/w) jelatin, %1 jelatin ve %1 (w/w) peyniraltı suyu (PAS) proteini içeren kombinasyonun; morfoloji, partikül boyutu ve zeta potansiyeli olarak en iyi sonuçları sunduğu belirtilmiştir. Bununla birlikte %0.5 kazein ve %0.5 jelatin içeren formülasyon, diğer tüm formülasyonlar ile karşılaştırıldığında en iyi oksidatif korumayı sağladığı bildirilmiştir. Tong ve ark. (2000), somon balığı yağından tween 20 yardımı ile suda yağ emülsiyonu hazırlamışlardır. Hazırlanmış olan bu emülsiyona PAS proteini, PAS proteininin yüksek moleküler ağırlıklı fraksiyonu ve PAS proteininin düşük moleküler ağırlıklı fraksiyonunu eklemiştir. Bu maddelerin antioksidatif özelliklerini araştırmışlardır. Elde edilen verilere göre PAS proteininin yüksek fraksiyonu düşük fraksiyondan daha antioksidatif özellik gösterdiği ve PAS proteininin antioksidan olarak kullanılabilirliği belirlenmiştir.

Moayedzadeh ve ark. (2018), balık yağına farklı oranlarda tween 80 ve jellan gamı ekleyip emülsiyon hazırlamışlardır. Emülsiyonların özellikleri incelendiğinde tween 80'in tek başına balık yağını kendiliğinden emülsifiye etmede yetersiz olduğu fakat jellanın eklenmesi ile stabil emülsiyon oluşumunun sağlandığı ve jellanın eklenmesi ile surfaktan oranını azaldığı belirtilmiştir. Garcia Moreno ve ark. (2014), yaptıkları çalışmada morina balığı karaciğer yağından suda yağ emülsiyonu elde etmişlerdir. Bu emülsiyona 3 fosfolipid (lesitin, fosfatidkolin, fosfatidetanol amin) ve kazein ekleyip fiziksel stabilitesini ve antioksidan özelliklerini değerlendirmişlerdir. Sonuçlara göre, lesitin ile stabilize edilen emülsiyonlar en negatif zeta potansiyeline ve en düşük damlacık boyutuna sahip olup en iyi fiziksel stabiliteyi gösterdiği tespit edilmiştir. Ayrıca bu emülsiyonun, peroksit değeri ve uçucu oksidasyon ürünü konsantrasyonu açısından en az oksitlenen emülsiyon olduğu belirlenmiştir.

Walker ve ark. (2017), balık yağına orta zincirli trigliseritler, limon yağı ve kekik yağını ayrı ayrı ekleyip nanoemülsiyonlar hazırlamışlardır. Bu çalışma ile balık yağında orta zincirli trigliseritler, limon yağı ve kekik yağı kullanılarak stabil bir emülsiyon elde edileceği belirlenmiştir. Orta zincirli trigliseritler ve limon yağı ile hazırlanan nanoemülsiyonlar, depolanma esnasında fiziksel olarak daha kararlı olduğu belirlenmiştir. Ayrıca taşıyıcı yağ türünün, balık yağı nanoemülsiyonun lipid oksidasyonu stabilitesine karşı önemli bir etkiye sahip olduğu da belirlenmiştir. Kekik yağı, en yüksek antioksidan aktivitesine sahip iken bunu limon yağı takip ettiği bildirilmiştir Garcia-Moreno ve ark. (2016), küçük benekli kedi köpekbalığı ve sardalya balıklarından protein hidrolizatları elde etmiştir. %5 oranında balık yağı içeren emülsiyonlara, bu hidrolizatlar %6, 5, 4, ve 3 oranında ayrı ayrı eklenmiştir. Elde edilen verilere göre, %4 ve 3 oranında kullanılan sardalya hidrolizatlarının oksidatif stabilite olarak daha iyi sonuç verdiği belirlenmiştir. Küçük benekli kedi köpekbalığının hidrolizatlarının ise zayıf emülsifiye edici özellik gösterdiği belirlenmiştir.

Yapılan bir çalışmada (Uluata ve ark., 2016), balık yağı ile büyük ve küçük partikül boyutlarından suda yağ emülsiyonları elde edilip her iki boyuttaki emülsiyonlar farklı oranlarda karıştırılmıştır. Bu emülsiyonlara riboflavin eklenip oksidasyona karşı stabilitesi ölçülmüştür. Sonuçlara göre, emülsiyon bulanıklığı damlacık boyutunun artması ile arttığı tespit edilmiştir. Çalışmada ayrıca, Damlacık boyutunun, emülsiyonların 20 veya 37°C'de saklama sırasında riboflavin kaynaklı lipid oksidasyonuna karşı stabilitesi üzerindeki etkisi ölçülmüştür. 37°C'de, azalan damlacık çapı ile hidroperoksit oluşum hızının arttığını, ancak propanal konsantrasyonlarında önemli bir fark olmadığını belirlemişlerdir. 20 °C'de hem peroksit hem de propanal değerleri, oksidasyon hızının damlacık boyutunun azalmasıyla arttığını göstermiştir. Çalışma sonunda elde edilen veriler, riboflavinin, küçük damlacıklar içeren nanoemülsiyonlarda oksidasyonu teşvik etmede daha etkili olduğunu, çünkü ışığın daha kolay nüfuz edip reaktif oksijen türleri oluşturduğunu göstermektedir (Uluata ve ark., 2016).

Dey ve ark. (2012), balık yağından nano ve mikroemülsiyonlar oluşturmuştur. Emülsiyonda emülgatör olarak tween 20 ve span 80 kullanmış ve emülsiyonların sindirim özelliklerini araştırmışlardır. Araştırma sonucunda nanoemülsiyonların ince bağırsakta lipidlerin sindirimini önemli ölçüde artırdığı belirlenmiştir. Ayrıca nanoemülsiyonların damlacık boyutu sırasıyla 78.96 nm ile 94.20 nm arasında ve mikroemülsiyonların ortalama damlacık boyutunun ise $1.58 \pm 0.31 \mu\text{m}$ olduğu bulunmuştur. Klinkesorn & Geraldine (2012), orkinos balığı yağı ile lesitin ve kitosan kullanarak çok katmanlı emülsiyon üretilip farklı sıcaklıklarda (5, 10, 15 ve 25°C) depolanmışlardır. Araştırma sonucunda sıcaklığın oksidasyon hızı üzerinde önemli etkisi olduğu belirlenmiştir. Balık yağı emülsiyonunun oksidasyon hızının depolama sıcaklığının değiştirilmesi ile kontrol altına alınabileceği rapor edilmiştir.

Chang & McClements (2015), balık yağından emülsiyon hazırlamış ve fukoidan ekleyip emülsiyonun stabilizasyonu araştırmışlardır. Elde edilen verilere göre fukoidan'ın, emülsiyon damlacıklarını bir elektrostatik biriktirme mekanizması yoluyla topaklaşmaya karşı stabilize etmek için uygun bir fonksiyonel bileşen olabileceğini göstermiştir.

Qiu & ark. (2015), balık yağı deamide buğday gliadini, sodyum kazeinat, peynir altı suyu proteini izolatu olmak üzere üç yüzey aktif madde ile stabilize etmiştir. Yapılan araştırma sonucu gliadin ve peynir altı suyu proteini izolatu, su içinde balık yağı emülsiyonlarının lipid oksidasyonunu (hidroperoksitler ve TBARS) inhibe etmede sodyum kazeinattan daha etkili olduğu belirlenmiştir. Ayrıca in vitro sindirim sırasında, gliadin ile stabilize edilmiş emülsiyonların, üç protein arasında en düşük sindirim oranına sahip olduğu belirlenmiştir. Çizelge 1'de özetlenen çalışmalara ek olarak bazı diğer çalışmalar da verilmiştir.

Çizelge 1. Balık yağında yapılan diğer bazı emülsiyon çalışmaları.

Materyal	Emülsiyon türü	Emülgatör	Referans
Ringa balığı yağı	Geleneksel Emülsiyon	Pas	Faraji ve ark., 2004
Tuna balığı yağı	Mikroemülsiyon	Tween 80	Zheng ve ark., 2011
Balık yağı	Geleneksel Emülsiyon ve Nanoemülsiyon	Tween 20	Dey ve ark., 2012
Tuna balığı yağı	Çok Tabakalı Emülsiyon	Lesitin+Kitosan	Klinkesorn & Geraldine, 2012
Balık yağı	Çok Tabakalı Emülsiyon	Sodyum Kazeinat+Fukoidan	Chang & McClements, 2015
Balık yağı	Geleneksel Emülsiyon	Gluten, Sodyum Kazeinat ya da Pas	Qiu ve ark., 2015
Balık yağı	Pickering Emülsiyon	Çapraz Bağlı Jelatin Nanopartikülleri	Ding ve ark., 2019
Balık yağı	Geleneksel Emülsiyon ve Nanoemülsiyon	Tween 80	Costa ve ark., 2020
Morina balığı karaciğer yağı	Geleneksel Emülsiyon	Patates Proteini Peptidleri	Garcia-Moreno ve ark., 2020

Pas: Peyniraltı suyu proteinleri, Tween 80: Poligliserin polirisinolat, Tween 20: Polietilen sorbitan monolaurat.

5. Balık Yağında Yapılan Enkapsülasyon Çalışmaları

Balık yağının kapsüllemesi ile ilgili birçok araştırma vardır. Yapılan araştırmaların sonucunda görüldüğü gibi antioksidan madde eklenmesi ile oksidasyon seviyesi azaltılabilmektedir. Ayrıca su aktivitesinin düşmesi ile mikrobiyal reaksiyonların oluşumu da engellenebilmektedir. Bakry ve ark. (2017), ton balığı yağı ve ton balığı yağı + nane yağında suda yağ emülsiyonları hazırlayıp peynir altı suyu izolatu + inülin ile kapsüllemiştir. Elde edilen mikrokapsüllerin nem düzeyi %2'nin altında ve su aktivitesi 0.30'dan az olduğu belirlenmiştir. DHA ve EPA içerikleri, ton balığı + nane yağı mikrokapsüllerinde daha az seviyede azaldığı tespit edilmiştir. Ayrıca karışım yağındaki oksidasyon derecesi, ton balığı yağı emülsiyonuna göre daha az olduğu bildirilmiştir.

Chang & Nikerson (2017), kanola, balık ve keten tohumu yağını püskürterek kurutma yöntemi ile 1:4 duvar materyali oranında mercimek proteini izolatu + sodyum, aljinat + maltodekstrin karışımı ile kapsüllemiştir. Yağ asidi profilleri üzerindeki ihmal edilebilir etkisinden dolayı püskürterek kurutmanın bu yağlar için iyi bir mikrokapsülleme tekniği olduğunu kanıtlamışlardır. Mercimek proteini izolatu, sodyum aljinat, maltodekstrin kombinasyonu, 30 günlük depolama sonunda yağlarda hidrolitik ekşime ve oksidatif bozulmaya karşı büyük koruma gösterdiği ve balık yağında sentetik antioksidanlardan daha fazla antioksidan kapasite sunduğu belirtilmiştir. İn vitro salınım testi ile simüle mide sıvısı + simüle bağırsak sıvısı koşulları altında kapsüllemiş yağların salınımının, simüle mide sıvısında daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte simüle mide sıvısında, kapsüllemiş konola yağının daha fazla salındığı; simüle bağırsak sıvısında ise kapsüllemiş balık yağının daha fazla salındığı belirlenmiştir.

Gan ve ark. (2008), balık yağını soya proteini izolatu ve span 80 ile emülsifiye etmişlerdir. Elde edilen emülsiyona mikrobiyal transglutaminaz enzimi ekleyip liyofilizasyon (dondurarak kurutma) yöntemi ile enkapsüle etmişlerdir. Ardından elde edilen kapsülleri, riboz ve sükröz tozları ile karıştırıp, vakum paketleyip ısıtma uygulamışlardır. Elde ettikleri verilere göre, riboz içeren mikrokapsüllerin salınımının daha düşük olduğu ve riboz ile hazırlanan mikrokapsüllerin daha uzun raf ömrüne sahip

olduğu belirlenmiştir. Balık yağının kontrollü salınımı ve oksidatif stabilitesini arttırmak için mikrokapsüller geliştirmede soya proteini izolatının bir mikrokapsülleme ajanı olarak kullanılabilceği rapor edilmiştir.

Jiménez-Martín ve ark. (2015), yaptıkları bir çalışmada, tek katmanlı lesitin ve çok katmanlı lesitin-kitosan emülsiyonlarından kaplama malzemesi olarak maltodekstrin kullanarak püskürterek kurutma yoluyla mikrokapsüller elde etmişlerdir. Bu çalışmada tek tabakalı emülsiyon için; balık yağı, lesitin kullanılıp maltodekstrin ile enkapsülasyon işlemi uygulanmıştır. Çok tabakalı emülsiyon için; balık yağı, kitosan-lesitin kullanılıp maltodekstrin ile enkapsülasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Lesitin-kitosan emülsiyonları ile hazırlanan çok katmanlı mikrokapsüllerin, 30 ve 60°C’de depolama sırasında balık yağının lipid oksidasyonuna karşı büyük ölçüde koruduğu belirtilmiştir. Çok katmanlı mikrokapsüllerin balık yağında başarılı bir şekilde kullanılabilceği rapor edilmiştir.

Ghorbanzade ve ark. (2017), balık yağını nano lipozomlar ile nano enkapsüle etmiştir. Lipozomlar, soya lesitini ve ayçiçeği yağından oluşturulmuştur. Elde edilen nano enkapsüle balık yağları yoğurda eklenmiştir. Nano lipozom kapsüllemenin, yoğurda asitlik, sineresis ve peroksit değerinde düşüşe sebep olduğu belirtilmiştir. Depolama sonunda nano kapsüllemiş balık yağı ile zenginleştirilmiş yoğurda, serbest balık yağı içeren yoğurttan daha yüksek EPA ve DHA içeriklerine sahip olduğu belirlenmiştir. Genel olarak, yoğurda nano kapsüllemiş balık yağı eklenmesinin duysal özellikler açısından kontrol numunesine, serbest balık yağı ile zenginleştirilmiş yoğurttan daha yakın özellikler verdiği belirlenmiştir. Balık yağından elde edilen kapsüller bu çalışmada görüldüğü gibi bir ürünün formülasyonuna başarılı olarak eklenebilmektedir. Bu sayede balık yağından daha fazla yararlanabilmek mümkündür. Ayrıca enkapsülasyon işlemi ile balık yağının raf ömrü uzatılabilmektedir (Venugopalan ve ark., 2021).

Pourashouri ve ark. (2021), tavuk filetoları ile tavuk nugget üretip içerisine karragenan ve kitre zıncı ile kapsüllemiş balık yağı mikrokapsüllerini eklemiştir. Elde edilen nuggetlar, -18°C’de 3 ay boyunca depolanmıştır. %1 balık yağı içeren nugget örnekleri, kapsüllemiş balık yağı ile zenginleştirilmiş nugget örneklerinden daha yüksek TBARS ve konjuge dien değerleri vermiştir. Karragenan ve kitre zıncı ile kapsüllemiş örnekler ile kontrol örneği arasında duysal olarak bir fark gözlemlenmediği belirtilmiştir. Nuggetların EPA ve DHA miktarları artış gösterdiği yazarlar tarafından gözlemlenmiştir. Balık yağı yüksek oranda EPA ve DHA içermektedir ve enkapsülasyon işlemi ile koruyuculuğu artırılıp bazı ürünlere eklenmesi ile tüketicilerin bu değerli yağ asitlerinden daha fazla yararlanması sağlanabilmektedir (Gouin, 2004).

Jamshidi ve ark. (2018), balık proteini hidrolizati ve balık yağı kullanarak S/Y/S çoklu emülsiyonlarını elde etmişlerdir. Bu emülsiyonları duvar malzemeleri olarak inülin, fukoidan ve peynir altı suyu proteini ile enkapsüle etmişlerdir. Hazırladıkları mikrokapsülleri yoğurda eklemiştir. Sonuçlara göre çeper bileşiminde fukoidanın varlığı, çekirdek malzemelerini koruyarak mikrokapsüllerin besin kalitesi ve oksidatif stabilitesi üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu belirlenmiştir. İnülinin dahil edilmesi, mikrokapsüllerin özellikleri ve kuvvetlendirilmiş yoğurdun duysal özellikleri ile ilgili daha iyi sonuçlar ortaya çıkardığı belirtilmiştir. Çoklu emülsiyonların birçok avantajı vardır. Avantajlarından biri de tat ve koku maskeleyici özelliğidir. Balık yağının çoklu emülsiyonu ile balık yağında istenmeyen koku maskelenebilir ve tüketicilerin daha fazla tercih etmesi de sağlanabilir (Jamshidi ve ark., 2020).

Jafari ve ark. (2008), balık yağını modifiye nişasta, peynir altı suyu proteini ve maltodekstrin kullanarak püskürterek kurutma yöntemi ile kapsüllemiştir. Emülsiyon hazırlarken rotor-stator sistemi, ultrason ve mikroakışkanlaştırıcı sistemi olmak üzere 3 farklı yöntem kullanmışlardır. Elde ettikleri sonuçlara göre emülsifikasyon yönteminin; emülsiyon boyutu, emülsiyon kararlılığı, toz parçacık boyutu, boyut dağılımları ve yüzey yağı gibi diğer parametreler dahil olmak üzere bir dizi farklı yolla kapsüllemiş tozun nihai özelliklerini etkileyebileceğini ve belirleyebileceğini açıkça göstermiştir. Mikroakışkanlaştırmanın partiküllerin yüzeyinde minimum miktarda kapsüllememiş yağ ve maksimum kapsülleme verimliliği elde etmek için en iyi emülsifikasyon yöntemi olduğu belirlenmiştir.

Tamjidi ve ark. (2011), balık yağını, jelatin ve akasya gamı ile dondurarak kurutma yöntemi ile enkapsüle etmişlerdir. Elde ettikleri mikrokapsülleri, yoğurt üretip yoğurda eklemiştir. 5 ayrı yoğurt numunesi hazırlanmıştır. Bu numuneler; 0.8 g mikrokapsül içeren yoğurt, seyreltilmiş limon suyu (3.3 mL %20 (v/v)) ile işleme tutulan 0.8 g mikrokapsül içeren yoğurt, 0.4 g balık yağı içeren yoğurt, 0.4 g jelatin ve 3.3 mL seyreltilmiş limon suyu içeren yoğurt ve kontrol numunesi şeklinde hazırlanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre tüm analiz zamanlarında kontrol yoğurdu, mikrokapsüller ile

zenginleştirilmiş yoğurttan daha fazla peynir altı suyu ayırımına sahip olduğu belirtilmiştir. Su tutma kapasitesi sonuçlarının depolamanın tüm zamanlarında, zenginleştirilmiş yoğurt numunesinin kontrol numunesinden daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Kontrol örneğinin peroksit değeri zenginleştirilmiş yoğurt örneklerinden düşük bulunmuştur. Bununla birlikte mikrokapsülle zenginleştirilmiş yoğurt örneğinin, serbest balık yağı içeren yoğurt örneklerinden daha düşük peroksit değerine sahip olduğu belirlenmiştir.

Raeisi ve ark. (2019), balık yağı ve sarımsak uçucu yağını (sırasıyla %75-%25) İran sakızı (İR) ve kitosan (KİT) (2:1, 1:1 ve 1:2 duvar materyali oranında ve duvar/ çekirdek malzemesi oranı 10:2) ile nano-kapsüllemişlerdir. Bulgulara göre 2:1 İR: KİT oranının en iyi kombinasyon olduğu belirlenmiştir ve bu kombinasyon, iyi zeta potansiyeli (33.4 ± 1.6 mV), maksimum emülsiyon stabilitesi, yüzey gerilimi (56 ± 0.3 mN m⁻¹) ve viskozite (1.09 ± 0.04 Pa s), minimum damlacık boyutu (23.19 nm) ve polidispersidite (0.120 ± 0.002) değerleri sergilemiştir. Balık yağı-sarımsak uçucu yağı kapsüllemenin başarısı, diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC), X-Işını Kırınımı (XRD) ve Fourier-Transform Kızılötesi Spektroskopi (FTIR) analizlerinden elde edilen sonuçlarla doğrulanmıştır. Fizikokimyasal özellikler ve termal stabilite, bu tür nano kapsüllerin balık yağı-sarımsak uçucu yağının sağlanması için farmasötik ve gıda endüstrilerinde umut verici bir kullanıma sahip olduğunu göstermiştir.

Chen ve ark. (2013), fitosterol ester ve limonen içeren balık yağını duvar materyali olarak peynir altı suyu proteini izolatu ve çözünür mısır lifi kullanarak püskürterek ve dondurarak kurutmuşlardır. Sonuçlara göre püskürterek kurutmada daha yüksek enkapsülasyon verimliliği elde edilmiştir. Ayrıca limonen aromasının kaybı, dondurularak kurutulmuş numunelerde önemli ölçüde daha yüksek bulunmuştur. Duyusal değerlendirme sonucunda, limonen ilavesinin mikrokapsüllerdeki hoş olmayan balık kokusunu maskeleyebileceğini göstermiştir. Genel olarak, dondurarak kurutma, üstün özelliklere sahip tozlar üretmemiş ve çekirdek malzemelere karşı sprey kurutmadan daha iyi koruma göstermediği belirtilmiştir.

Liao ve ark. (2012), yaptıkları bir çalışmada balık yağı ve SDWG (succinic acid deamidated wheat gluten) ile S/Y/S ikili-emülsiyon oluşturarak ısı polimerizasyon yöntemi ile enkapsüle etmişlerdir. Bu yöntemde uygulanan ısı işlem, disülfid bağları, hidrojen bağları ve hidrofobik etkileşimler ile glutenin sıkı bir ağ yapısı oluşturmasına sebep olduğu belirtilmiştir. Çizelge 2'de özetlenen çalışmalara ek olarak bazı diğer çalışmalar da verilmiştir.

Çizelge 2. Balık yağında yapılan diğer bazı enkapsülasyon çalışmaları.

Materyal	Duvar malzemesi	Enkapsülasyon yöntemi	Referans
Balık yağı	Glukoz ya da Trehaloz	Püskürterek kurutma	Drusch ve ark., 2006
Balık yağı	Modifiye Nişata ve/veya PAS-MD	Püskürterek kurutma	Jafari ve ark., 2008
Balık yağı	Jelatin ve Akasya Gami	Dondurarak kurutma	Tamjidi ve ark., 2011
Balık yağı	Yağsız Süttozu+MD/Sükroz/Laktoz	Püskürterek kurutma	Aghbashlo ve ark., 2012
Balık yağı	Deamide Gluten	Püskürterek kurutma	Liao ve ark., 2012
Balık yağı	PAS ve Çözünür Mısır Lifi	Püskürterek ve dondurarak kurutma	Chen ve ark., 2013
Morina balığı karaciğer yağı	Jelatin-MD, Kitosan-MD, Jelatin-Kitosan-MD, Jelatin-MTgaz	Püskürterek kurutma	Pourashouri ve ark., 2014
Balık yağı	Soya Lesitini+Ayçiçeği Yağı	Lipozom tutuklama	Ghorbanzade ve ark., 2017
Balık yağı	Soya Fasulyesi Proteini İzolatı	Püskürterek kurutma	Giorgio ve ark., 2019
Balık karaciğer yağı	Kitosan+İran Sakızı	Dondurarak kurutma	Raeisi ve ark., 2019

PAS: Peyniraltı suyu proteini, MD: Maltodekstrin, MTgaz: Mikrobiyal transglutaminaz.

6. Sonuç

Emülsiyon ve enkapsülasyon teknikleri uzun zamandan beri kullanılan tekniklerdir. Gıda endüstrisinde geniş alanlarda uygulanmaktadır. Son zamanlarda balık yağının zengin besin içeriğinden dolayı gıda sistemlerinde kullanımının artması ve balık yağının raf ömrünün uzatılması önemli bir hedef haline gelmiştir. Yapılan çalışmalar, emülsiyon ve enkapsülasyon tekniklerinin balık yağında başarılı sonuçlar verdiğini göstermektedir. Emülsiyon tekniği, enkapsülasyon tekniğine göre daha düşük

maliyetli ve daha kolay uygulanabilir bir teknik olması nedeniyle öne çıkmaktadır. Diğer taraftan, enkapsülasyon tekniği ile daha uzun raf ömrü sağlanabilmektedir. Bununla birlikte, antioksidan eklenmesi ile emülsiyonların koruyuculuğunun önemli ölçüde artırıldığı çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Bu tekniklerin gıda endüstrisinde kullanımı; raf ömrü daha uzun, fonksiyonel özellikleri geliştirilmiş, besleyici değeri yüksek özelliklere sahip yeni ürünlerin geliştirilmesinde çeşitli imkanlar sunmaktadır.

Kaynakça

- Aghbashlo, M., Mobli, H., Madadlou, A., & Rafiee, S. (2012). The correlation of wall material composition with flow characteristics and encapsulation behaviour of fish oil emulsion. *Food Research International*, 49(1), 379-388. doi:10.1016/j.foodres.2012.07.031
- Augustin, M. A., & Sanguansri, L. (2012). Challenges in Developing Delivery Systems for Food Additives, Nutraceuticals and Dietary Supplements. In N. Garti, & D. J. McClements (Eds.), *Encapsulation Technologies and Delivery Systems for Food Ingredients and Nutraceuticals* (pp. 19-48). Victoria, AUSTRALIA: Woodhead Publishing Series. doi:10.1533/9780857095909.1.19
- Baek, N. (2012). *Effects of natural antioxidants on lipid oxidation of menhaden oil*. (MSc), Virginia Polytechnic Institute and State University, Food Science and Technology, Blacksburg-Virginia, USA.
- Bakry, A. M, Fang, Z., Khan, M. A, Chen, Y., Chen, Y. Q., & Liang, L. (2017). Tuna oil and mentha piperita oil emulsions and microcapsules stabilized by Whey Protein Isolate and Inulin: Characterization and stability. *International Journal of Food Science and Technology*, 52(2), 494-503. doi:10.1111/ijfs.13305
- Boran, G. 2004. *Balık yağı kalitesinin depolama sıcaklığına ve süresine bağlı değişimi*. (MSc), Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, Türkiye.
- Botrel, D. A., Barros Fernandes, R. V., Borges, S. V., & Yoshida, M. I. (2014). Influence of wall matrix systems on the properties of spray-dried microparticles containing fish oil. *Food Research International*, 62, 344-352. doi:10.1016/j.foodres.2014.02.003
- Chang, Y., & McClements, D. J. (2015). Interfacial deposition of an anionic polysaccharide (fucoidan) on protein-coated lipid droplets: Impact on the stability of fish oil-in-water emulsions. *Food Hydrocolloids*, 51, 252-260. doi:10.1016/j.foodhyd.2015.05.014
- Chang, C., & Nickerson, M. T. (2017). Stability and in vitro release behaviour of encapsulated omega fatty acid-rich oils in lentil protein isolate-based microcapsules. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 69(1), 12-23. doi:10.1080/09637486.2017.1336513
- Chen, Q., Zhong, F., Wen, J., McGillivray, D., & Quek, S. Y. (2013). Properties and stability of spray-dried and freeze dried microcapsules co-encapsulated with fish oil, phytosterol esters, and limonene. *Drying Technology*, 31(6), 707-716. doi:10.1080/07373937.2012.755541
- Chung, C., & McClements, D. J. (2014). Structure–function relationships in food emulsions: Improving food quality and sensory perception. *Food Structure*, 1(2), 106-126. doi:10.1016/j.foostr.2013.11.002
- Comunian, T. A., Ravanfar, R., Selig, M. J., & Abbaspourrad, A. (2018). Influence of the protein type on the stability of fish oil in water emulsion obtained by glass microfluidic device. *Food Hydrocolloids*, 77, 96-106. doi:10.1016/j.foodhyd.2017.09.025
- Costa, M., Losada-Barreiro, S., Bravo-Díaz, C., Monteiro, L. S., Paiva-Martins, F. (2020). Interfacial concentrations of hydroxytyrosol derivatives in fish oil-in-water emulsions and nanoemulsions and its influence on their lipid oxidation: Droplet size effects. *Foods*, 9(12), 1897. doi:10.3390/foods9121897
- Dey, T. K., Ghosh, S., Ghosh, M., Koley, H., & Dhar, P. (2012). Comparative study of gastrointestinal absorption of EPA & DHA rich fish oil from nano and conventional emulsion formulation in rats. *Food Research International*, 49(1), 72-79. doi:10.1016/j.foodres.2012.07.056
- Diaz, M., Dunn, C. M., McClements, D. J., & Decker, E. A. (2003) Use of caseinophosphopeptides as natural antioxidants in oil-in-water emulsions. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 51(8), 2365-2370. doi:10.1021/jf0259841

- Ding, M., Zhang, T., Zhang, H., Tao, N., Wang, X., & Zhong, J. (2019). Effect of preparation factors and storage temperature on fish oil-loaded crosslinked gelatin nanoparticle pickering emulsions in liquid forms. *Food Hydrocolloids*, 95, 326-335. doi:10.1016/j.foodhyd.2019.04.052
- Drusch, S., Serfert, Y., Den Heuvel, A. V., & Schwarz, K. (2006). Physicochemical characterization and oxidative stability of fish oil encapsulated in an amorphous matrix containing trehalose. *Food Research International*, 39(7), 807-815. doi:10.1016/j.foodres.2006.03.003
- Faraji, H., McClements, D. J., & Decker, E. A. (2004). Role of continuous phase protein on the oxidative stability of fish oil-in-water emulsions. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 52(14), 4558-4564. doi:10.1021/jf035346i
- Gan, C. Y., Chen, L. H., & Easa, A. M. (2008). Evaluation of microbial transglutaminase and ribose cross-linked soy protein isolate-based microcapsules containing fish oil. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 9(4), 563-569. doi:10.1016/j.ifset.2008.04.004
- García-Moreno P. J., Horn, A. F., & Jacobsen, C. (2014). Influence of casein-phospholipid combinations as emulsifier on the physical and oxidative stability of fish oil-in-water emulsions. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 62(5), 1142-1152. doi:10.1021/jf405073x
- García-Moreno, P. J., Guadix, A., Guadix, E. M., & Jacobsen, C. (2016). Physical and oxidative stability of fish oil-in-water emulsions stabilized with fish protein hydrolysates. *Food Chemistry*, 203, 124-135. doi:10.1016/j.foodchem.2016.02.073
- García-Moreno, P. J., Gregersen, S., Nedamani, E. R., Olsen, T. H., Marcatili, P., Overgaard, M. T., Andersen, M. L., Hansen, E. B., & Jacobsen, C. (2020). Identification of emulsifier potato peptides by bioinformatics: Application to omega-3 delivery emulsions and release from potato industry side streams. *Scientific Reports*, 10, 1-22. doi:10.1038/s41598-019-57229-6
- Gharsallaoui, A., Roudaut, G., Chambin, O., Voilley, A., & Saurel, R. (2007). Application of spray drying in microencapsulation of food ingredients: An overview. *Food Research International*, 40(9), 1107-1121. doi:10.1016/j.foodres.2007.07.004
- Ghorbanzade, T., Jafari, S. M., Akhavan, S., & Hadavi, R. (2017). Nano-encapsulation of fish oil in nano-liposomes and its application in fortification of yogurt. *Food Chemistry*, 216, 146-152. doi:10.1016/j.foodchem.2016.08.022
- Giorgio, L. D., Salgado, P. R., & Mauri, A. N. (2019). Encapsulation of fish oil in soybean protein particles by emulsification and spray drying. *Food Hydrocolloids*, 87, 891-901. doi:10.1016/j.foodhyd.2018.09.024
- Gouin, S. (2004). Microencapsulation: Industrial appraisal of existing technologies and trends. *Trends in Food Science and Technology*, 15(7-8), 330-347. doi:10.1016/j.tifs.2003.10.005
- Göksel Saraç, M. 2018. *Rendering artık yağlarından emülgatör üretimi ve model gıdalarda arayüzey (interfacial) reolojik uygulamaları*. (PhD), Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri, Türkiye.
- Güngör, Ö., Zungur, A., Koç, M., & Kaymak Ertekin, F. (2013). Emülsiyonların özellikleri ve emülsifikasyon koşullarının aroma ve yağların mikroenkapsülasyonu üzerine etkisi. *Akademik Gıda*, 11(2), 116-124.
- Hu, M., McClements, D. J., & Decker, E. A. (2003) Lipid oxidation in corn oil-in-water emulsions stabilized by casein, whey protein isolate and soy protein isolate. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 51(6), 1696-1700. doi:10.1021/jf020952j
- Jafari, S. M., Assadpoor, E., Bhandari, B., & He, Y. (2008). Nano-particle encapsulation of fish oil by spray drying. *Food Research International*, 41(2), 172-183. doi:10.1016/j.foodres.2007.11.002
- Jamshidi, A., Shabanpour, B., Pourashouri, P., & Raeisi, M. (2018). Using WPC-inulin-fucoidan complexes for encapsulation of fish protein hydrolysate and fish oil in W1/O/W2 emulsion: Characterization and nutritional quality. *Food Research International*, 114, 240-250. doi:10.1016/j.foodres.2018.07.066
- Jamshidi, A., Cao, H., Xiao, J., & Simal-Gandara, J. (2020). Advantages of techniques to fortify food products with the benefits of fish oil. *Food Research International*, 137, 109353. doi:10.1016/j.foodres.2020.109353
- Jiménez-Martín, E., Gharsallaoui, A., Pérez-Palacios, T., Carrascal, J. R., & Rojas, T. A. (2015). Suitability of using monolayered and multilayered emulsions for microencapsulation of ω -3 fatty acids by spray drying: Effect of storage at different temperatures. *Food Bioprocess Technology*, 8, 100-111. doi:10.1007/s11947-014-1382-y

- Kale, S. N., & Deore, S. L. (2017). Emulsion micro emulsion and nano emulsion: A review. *Systematic Reviews in Pharmacy*, 8(1), 39-47.
- Klinkesorn, U., & Geraldine, P. L. (2012). Effect of temperature on lipid oxidation kinetics of tuna oil two-layers emulsions during storage. *Italian Journal of Food Science*, 24(4), 22-25.
- Koç, M., Sakin, M., & Ertekin, F. K. (2010). Mikroenkapsülasyon ve gıda teknolojisinde kullanımı. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 16(1), 77-86.
- Li, Q., He, Q., Xu, M., Li, J., Liu X., Wan, Z., & Yang, X. (2020). Food-grade emulsions and emulsion gels prepared by soy protein–pectin complex nanoparticles and glycyrrhizic acid nanofibrils. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 68(4), 1051-106. doi:10.1021/acs.jafc.9b04957
- Liao, L., Luo, Y., Zhao, M., & Wang, Q. (2012). Preparation and characterization of succinic acid deamidated wheat gluten microspheres for encapsulation of fish oil. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 92, 305-314. doi:10.1016/j.colsurfb.2011.12.003
- 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
- McClements, D. J. (2015). *Food Emulsions: Principles, Practices, and Techniques*. Florida, USA: CRC.
- McClements, D. J., & Decker, E. A. (2000). Lipid oxidation in oil-in-water emulsions: Impact of molecular environment on chemical reactions in heterogeneous food systems. *Journal of Food Science*, 65(8), 1270-1282. doi:10.1111/j.1365-2621.2000.tb10596.x
- Moayedzadeh, S., Khosrowshahi, A., Gunasekaran, S., & Madadlou, A. (2018). Spontaneous emulsification of fish oil at a substantially low surfactant-to-oil ratio: Emulsion characterization and filled hydrogel formation. *Food Hydrocolloids*, 82, 11-18. doi:10.1016/j.foodhyd.2018.03.042
- Nazzaro, F., Orlando, P., Fratianni, F., & Coppola, R. (2012). Microencapsulation in food science and biotechnology. *Current Opinion in Biotechnology*, 23(2), 182-186. doi:10.1016/j.copbio.2011.10.001
- Nedovic, V., Kalusevic, A., Manojlovic, V., Levic, S., & Bugarski, B. (2011). An overview of encapsulation technologies for food applications. *Procedia Food Science*, 1, 1806 - 1815. doi:10.1016/j.profoo.2011.09.265
- Ozturk, B., & McClements, D. J. (2016). Progress in natural emulsifiers for utilization in food emulsions. *Current Opinion in Food Science*, 7, 1-6. doi:10.1016/j.cofs.2015.07.008
- Pourashouri, P., Shabanpour, B., Razavi, S. H., Jafari, S. M., Shabani, A., & Aubourg, S. P. (2014). Oxidative stability of spray-dried microencapsulated fish oils with different wall materials. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 23(6), 567-578. doi:10.1080/10498850.2012.738357
- Pourashouri, P., Shabanpour, B., Heydari, S., & Raeisi, S. (2021). Encapsulation of fish oil by carrageenan and gum tragacanth as wall materials and its application to the enrichment of chicken nuggets. *LWT-Food Science and Technology*, 137, 110-334. doi:10.1016/j.lwt.2020.110334
- Qiu, C., Zhao, M., Decker, E. A., & McClements, D. J. (2015). Influence of protein type on oxidation and digestibility of fish oil-in-water emulsions: Gliadin, caseinate, and whey protein. *Food Chemistry*, 175, 249-257. doi:10.1016/j.foodchem.2014.11.112
- Raeisi, S., Ojagh, S. M., Quek, S. Y., Pourashouri, P., & Salaün, F. (2019). Nano-encapsulation of fish oil and garlic essential oil by a novel composition of wall material: Persian gum-chitosan. *LWT-Food Science and Technology*, 116, 108494. doi:10.1016/j.lwt.2019.108494
- Serdaroğlu, M., Öztürk, B., & Kara, A. (2015). An overview of food emulsions: Description, classification and recent potential applications. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*, 3(6), 430-438. doi:10.24925/turjaf.v3i6.430-438.336
- Shahidi, F., & Han, X. Q. (1993). Encapsulation of food ingredients. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 33(6), 501-547. doi:10.1080/10408399309527645
- Silva, P. T. D., Fries, L. L. M., Menezes, C. R. D., Holkem, A. T., Schwan, C. L., Wigmann, É. F. Bastos, J. D. O., & Silva, C. D. B. D. (2014). Microencapsulation: Concepts, mechanisms, methods and some applications in food technology. *Ciência Rural*, 44(7), 1304-1311. doi:10.1590/0103-8478cr20130971

- Tadros, T. F. (2013). Emulsion Formation, Stability, and Rheology. In T. F. Tadros (Ed.), *Emulsion Formation and Stability* (pp. 1-75). Weinheim, Germany: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. doi:10.1002/9783527647941.ch1
- Tamjidi, F., Nasirpour, A., & Shahedi, M. (2011). Physicochemical and sensory properties of yogurt enriched with microencapsulated fish oil. *Food Science and Technology International*, 18(4), 381-390. doi:10.1177/1082013211428212
- Tanskanen, A., Hibbeln, J. R., Tuomilehto, J., Uutela, A., Haukkala, A., Viinamäki, H., Lehtonen, J. & Vartiainen, E. (2001). Fish consumption and depressive symptoms in the general population in Finland. *Psychiatric Services*, 52(4), 529-531. doi:10.1176/appi.ps.52.4.529
- Tong, L. M., Sasaki, S., McClements, D. J., & Decker, E. A. (2000). Antioxidant activity of whey in a salmon oil emulsion. *Journal of Food Science*, 65(8), 1325-1329. doi:10.1111/j.1365-2621.2000.tb10606.x
- Uluata, S., McClements, D. J., & Decker, E. A. (2016). Riboflavin-induced oxidation in fish oil-in-water emulsions: Impact of particle size and optical transparency. *Food Chemistry*, 213, 457-461. doi:10.1016/j.foodchem.2016.06.103
- Urbina-Villalba, G. (2009). An algorithm for emulsion stability simulations: account of flocculation, coalescence, surfactant adsorption and the process of ostwald ripening. *International Journal of Molecular Sciences*, 10(3), 761-804. doi:10.3390/ijms10030761
- Uysal, K., Yöntem, M., & Dönmez, M. (2005). Balık yağının koroner kalp hastalıkları üzerine etkisi. *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 8, 179-198.
- Venugopalan, V. K., Gopakumar, L. R., Kumaran, A. K., Chatterjee, N. S., Soman, V., Peeralil, S., Mathew, S., McClements, D. J., & Nagarajarao, R. C. (2021). Encapsulation and protection of omega-3-rich fish oils using food grade delivery systems. *Foods*, 10(7), 1566. doi:10.3390/foods10071566
- Vos P., Faas, M. M., Spasojevic, M., & Sikkema, J. (2010). Review: Encapsulation for preservation of functionality and targeted delivery of bioactive food components. *International Dairy Journal*, 20(4), 292-302. doi:10.1016/j.idairyj.2009.11.008
- Walker, R. M., Gumuş, C. E., Decker, E. A., & McClements, D. J. (2017). Improvements in the formation and stability of fish oil-in-water nanoemulsions using carrier oils: MCT, thyme oil, & lemon oil. *Journal of Food Engineering*, 211, 60-68. doi:10.1016/j.jfoodeng.2017.05.004
- Wandrey, C., Bartkowiak, A., & Harding, S. E. (2010). Materials For Encapsulation. In N. J. Zuidam, & V. Nedović (Eds.), *Encapsulation Technologies for Active Food Ingredients and Food Processing* (pp. 31-100). New York, USA: Springer-Verlag Press.
- Zhang, J. (2011). *Novel emulsion-based delivery systems*. (PhD), Minnesota University, The Faculty of The Graduate School, Minnesota, USA.
- Zheng, M. Y., Liu, F., Wang, Z. W., & Baoyindugurong, J. H. (2011). Formation and characterization of self-assembling fish oil microemulsions. *Colloid Journal*, 73(3), 319-326. doi:10.1134/S1061933X11030197
- Zheng, L., Cao, C., Chen, Z., Cao, L., Huang, Q., & Song, B. (2020). Evaluation of emulsion stability by monitoring the interaction between droplets. *LWT-Food Science and Technology*, 132, 109804. doi:10.1016/j.lwt.2020.109804
- Zuidam, N. J. & Shimoni, E. (2010). Overview of Microencapsulates for Use in Food Products or Processes and Methods to Make Them. In N. J. Zuidam, & V. Nedovic (Eds), *Encapsulation Technologies for Active Food Ingredients and Food Processing* (pp. 3-29). New York, USA, Springer-Verlag Press.