



Yüzüncü Yıl Üniversitesi  
Tarım Bilimleri Dergisi  
(YYU Journal of Agricultural Sciences)



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

Araştırma Makalesi (Research Article)

**Farklı Oranlarda Adaçayı Esansiyel Yağı ile Hazırlanan Mikroenkapsüle Balık Yağlarının Depolama Süresi Boyunca Yağ Asitlerindeki Değişimlerin Belirlenmesi**

**Mustafa DURMUŞ<sup>1\*</sup>**

<sup>1</sup>Çukurova Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Avlama ve İşleme Teknolojisi Bölümü, 01330, Adana, Türkiye

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0002-2836-5154>

\*Sorumlu yazar e-posta: mdurmus@cu.edu.tr

**Makale Bilgileri**

Geliş: 13.04.2021

Kabul: 08.11.2021

Online Yayınlanma: 15.12.2021

DOI: 10.29133/yyutbd.914996

**Anahtar Kelimeler**

Adaçayı,  
Hamsi yağı,  
Mikroenkapsülasyon,  
Yağ asitleri.

**Öz:** Yapılan bu çalışmada, adaçayı esansiyel yağı ilave edilen balık yağının mikroenkapsülasyonu yoluyla elde edilen balık yağı tozunda yağ asitleri içeriği değişimlerinin araştırılması amaçlanmıştır. Hamsi yağları % 1, 2 ve 3 konsantrasyonlarda adaçayı esansiyel yağı ile karıştırılarak spray-dryer cihazı kullanılarak mikroenkapsüle edilmiş ve sonuç olarak balık yağı tozu elde edilmiştir. Elde edilen toz balık yağları oda sıcaklığında (24±1 °C) depolanmış ve 12 haftalık yağ asitleri parametreleri belirlenmiştir. Böylece, depolama süresince, farklı konsantrasyonlarda kullanılan adaçayı esansiyel yağının antioksidan etkisi gözlenmiştir. Mikrokapsüllerdeki toplam doymuş yağ asitleri (SFA) ve toplam tekli doymamış yağ asitleri (MUFA) oranının arttığı, çoklu doymuş yağ asitleri (PUFA) oranının ise depolama süresi ile birlikte azaldığı belirlenmiştir. Muamele grupları arasında en yüksek artış ve azalış ADA1 grubunda gözlenmesine karşın artan adaçayı esansiyel yağ konsantrasyonuna bağlı olarak bu değişim daha yavaş olmuştur. Adaçayı uçucu yağı ile mikrokapsülenmiş balık yağlarının kontrol grubuna göre daha iyi sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Ayrıca adaçayı uçucu yağının çalışmada kullanılan balık yağının kokusunu maskeleyiği belirlenmiştir.

**Determination of Fatty Acids Changes During Storage of Microencapsulated Fish Oils Prepared with Sage Essential Oil in Different Proportions**

**Article Info**

Received: 13.04.2021

Accepted: 08.11.2021

Online Published: 15.12.2021

DOI: 10.29133/yyutbd.914996

**Keywords**

Sage tea,  
Anchovy oil,  
Microencapsulation,  
Fatty acid,

**Abstract:** In this study, the determining of changes in the fatty acid composition of fish oil powder which was enabled by the microencapsulation method of fish oil prepared by adding sage essential oil was aimed. Anchovy oils were mixed with sage essential oil in concentrations of 1, 2, and 3%, and these mixings were microencapsulated using a spray-dryer, and as a result, fish oil powder was obtained. The fish oil powders were stored at room temperature (24±1 °C) and their oxidation levels and fatty acid parameters were investigated for 12 weeks. Thus, the antioxidant effect of sage essential oil used in different concentrations was observed during storage. It was determined that saturated fatty acids (SFA) and monounsaturated fatty acids (MUFA) in microcapsules increased and polyunsaturated fatty acids (PUFA) decreased with the storage period. Among the treatment groups, the highest increase and decrease were observed in the ADA1 group, although this change was slower due to the increased concentration of sage essential oil. It was determined that fish oils microencapsulated with sage essential oil gave better results than the control group. In addition, it was determined that sage essential oil mask the smell of fish oil used in the study.

## 1. Giriş

Balık yağının insan sağlığı ve beslenmesindeki önemi dünya genelinde bilinmekte ve sıklıkla uzmanlar tarafından önerilmektedir. Bunun en önemli nedeni balık yağı içerisinde EPA ve DHA gibi uzun zincirli çoklu doymamış yağ asitlerinin bulunmasıdır. Esansiyel yağ asitlerini yüksek oranlarda içermesinden dolayı balık yağları beyin gelişimi ve kalp damar sağlığı ile bağlantılıdır ve özellikle kardiyovasküler hastalıklarda mortalite risklerini azaltmanın bir yolu olarak tanımlanmıştır (Durmus, 2018; Raatz ve Bibus, 2016; Fung ve ark., 2009; Mol, 2008). Bu faydalarından dolayı balık yağı ve ürünleri piyasada önemli bir paya sahiptir. Balık yağının birçok faydasının olmasının yanı sıra yapılarında bulunan omega-3 yağ asitlerinden dolayı oksidasyona oldukça duyarlıdır. Özellikle depolama ve işleme gibi aşamalarda lipit oksidasyonu balığın kalite kaybına ve bozulmasına neden olmaktadır. Bunun sonucu olarak da yağların oksidasyonu gıdalarda arzu edilmeyen acı tada sebep olması nedeniyle gıdaların besin kalitesini ve güvenilirliğini azaltmaktadır. Bu yüzden özellikle balık yağındaki oksidasyonun engellenmesine ve bunun sonucu olarak raf ömrünün artırılmasına yönelik çalışmaların yapılmasına ihtiyaç duyulmaktadır.

Tüketicilerin bir kısmı deniz ürünlerini tüketerek gerekli omega-3 ihtiyacını karşılarken, doğrudan balık yağı alımı özellikle çocuklar ve hamile kadınlar için dünya çapında büyük ve önemli bir pazar sağlamıştır. Bununla birlikte, balık yağlarının güçlü bir kokusu vardır ve korunmadıkları sürece kolayca oksitlenirler. Doymamış yağ asitlerinin balık yağındaki oksidatif bozunması, besin değeri kaybına ve istenmeyen tatlara neden olmaktadır (Jeyakumari ve ark., 2017). Bu nedenle antioksidanlar ve işleme teknolojileri kullanılarak balık yağlarının kalitesinin korunması sağlanmaktadır. Bu teknolojilerin en önemlilerinden biri mikrokapsüllemedir.

Mikrokapsüllemiş gıda bileşenleri sayesinde teknik olarak imkânsız olduğu düşünülen birçok fonksiyonel ürün artık üretilebilir ve bir gıda bileşeni olarak kullanılabilir. Bu bileşenler tamamen bir kaplama malzemesi ile kapatılır, böylece orijinal bileşenden gereksiz özellikler ortadan kaldırılır. Mikrokapsülleme, kapsüllenen gıda bileşenlerine çok sayıda fayda sağlayabilir. Örneğin, kapsüllemiş malzemeler, lipit oksidasyonu, üretim, kullanım ve depolama boyunca beslenmede bozulma gibi olumsuz reaksiyonlara karşı korunur (Hogan ve ark., 2003; Kagami ve ark., 2003; Chen ve ark., 2013). Mikrokapsüllemenin bir diğer önemli özelliği de uçucu kayba karşı koruma sağlamasıdır (Bangs ve Reineccius 1988; Kim ve Morr, 1996).

Gıda bileşenlerinin mikrokapsüllemesi için birçok teknik geliştirilmiş olmasına rağmen, düşük maliyetli ve esnek süreci nedeniyle gıda endüstrisinde en yaygın kullanılan teknik sprey kurutma (spray drying) yöntemidir (Heinzelmann ve ark., 2000; Gouin, 2004). Püskürtmeli kurutma, sıvı bir ürünü sıcak gaz akımında atomize ederek toz elde etmek için kullanılan bir işlemdir. Bu işlemde yüksek sıcaklıkların kullanılması gerekir ancak temas süresi çok kısadır (birkaç saniye). Yani enerji, toz partiküllerinin sıcaklığını arttırmak için değil sadece buharlaştırma için kullanılır. Bu durum söz konusu teknolojinin ısıya duyarlı malzemeleri düşük termal bozunma ile kapsüllemek için uygulanmasını mümkün kılar. Bu nedenle, genellikle ısıya duyarlı olan omega 3 ve fitosteroller gibi biyoaktif bileşiklerin kapsüllemesi için de uygulanabilir. Mikrokapsülleme, balık yağlarının stabilizasyonu için önemli bir teknik olmasına rağmen, mikrokapsüllü biyoaktif bileşenlerin işlenmesi ve ardından depolanması sırasında maksimum koruma sağlamak için uçucu yağlar gibi antioksidanlarla ek stabilizasyon gereklidir (Jeyakumari ve ark., 2018). Bu nedenle, dünyanın her yerinden araştırmacılar, antimikrobiyal, antioksidan, antiviral, antikanser, antiinflamatuvar, antimutajenik, immünomodülatör ve antiprotozoal aktiviteler dahil olmak üzere uçucu yağların bir dizi biyolojik özelliğini karakterize etmeye çalışmaktadırlar (Bakkali ve ark., 2008; Ozogul ve ark., 2017; Durmus, 2020; Ucar, 2020).

Son yıllarda en dikkat çekici uçucu yağ gruplarından biri adaçayı esansiyel yağıdır. Bunlar fenolik bileşik gruplarından flavonoidlerin doğal bir kaynağı olarak kabul edilir. Adaçayı esansiyel yağı ilave edilmiş balık yağının mikroenkapsülasyonu üzerine yapılan çalışmalar oldukça sınırlıdır. Bu çalışmada ülkemizde en fazla avcılığı yapılan hamsi (*Engraulis encrasicolus*)'den elde edilen balık yağları kullanılmıştır. Hamsi yağları % 1, % 2 ve % 3 konsantrasyonlarda adaçayı esansiyel yağı ile karıştırılarak spray-dryer cihazıyla mikroenkapsüle edilmiş ve sonuç olarak balık yağı tozu elde edilmiştir. Elde edilen balık yağı tozu oda sıcaklığında ( $\approx 24 \pm 1$  °C) 12 hafta depolanarak yağ asitlerindeki değişimler araştırılmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Materyal

#### 2.1.1. Balık Yağı, Adaçayı Esansiyel Yağı ve Kaplama Materyallerinin Temini

Çalışmada kullanılan hamsi yağı Trabzon'da bulunan balık yağı üreticisi bir firmadan (Kobyalar Grup, Trabzon, Türkiye) temin edilmiştir. Emülsiyonlar oluşturuluncaya kadar hamsi yağı derin dondurucuda (-18 °C) depolanmıştır. Mikroenkapsülasyonda kaplama materyalleri olarak Alfasol marka maltodekstrin ve sodyum kazeinat kullanılmıştır. Adaçayı esansiyel yağı ise Adana'da bulunan ticari üretim yapan BİOMESİ firmadan temin edilmiştir.

### 2.2. Metot

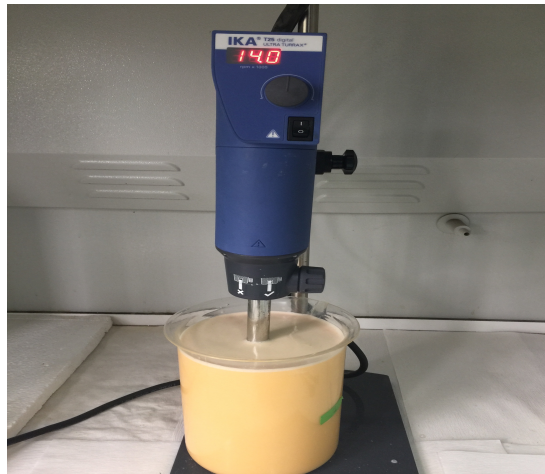
#### 2.2.1. Emülsiyonların Mikroenkapsülasyonu

Emülsiyon haline getirilmiş balık yağlarının mikroenkapsülasyonu ile ilgili yapılmış birçok bilimsel araştırmada kaplayıcı materyal olarak balık yağı emülsiyonu/kaplayıcı materyal oranı toplam solüsyonun % 10 ila % 40'ını kapsamaktadır. (Fernandes ve ark., 2013; Huang ve ark., 2014; Ton ve ark., 2016). Bu oranlar göz önünde bulundurularak, hazırlanan emülsiyonlarda kullanılan hamsi yağı, adaçayı ve kaplama materyallerinin oranları Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Mikroenkapsüle edilmek üzere hazırlanan emülsiyonların bileşimi ve oranları

Gruplar	Balık Yağı (%)	Sodyum Kazeinat (%)	Maltodekstrin (%)	Adaçayı Esansiyel Yağı (%)		
Kontrol	10	10	10	-	-	-
Adaçayı (ADA1)	10	10	10	1	-	-
Adaçayı (ADA2)	10	10	10	-	2	-
Adaçayı (ADA3)	10	10	10	-	-	3

Emülsiyonların hazırlanmasında maltodekstrin ve sodyum kazeinat 55 °C suda 60 dakika çözdürülmüş ve soğumaya bırakılarak hazırlanmıştır. Bu karışıma balık yağı ilave edilerek ultra-turrax (Şekil 2.1) ile soğuk ortamda 10 dakika 14.000 rpm'de homojenize edilmiş ve kontrol grubu oluşturulmuştur. Çizelge 1'de gösterilen oranlarda adaçayı esansiyel yağları ilave edilerek homojenize edilen muamele grupları püskürtmeli kurutucuda mikroenkapsüle edilmeye hazır hale getirilmiştir.



Şekil 1. Homojenizasyon işlemi.

### 2.2.2. Püskürtmeli Kurutma (Spray Dryer) İşlemi ve Ürünlerin Depolanması

Emülsiyonların mikroenkapsülasyonu 0.7 mm ağız çaplı Buchi B-290 mini spray-dryer cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 2.2). Emülsiyonlar, kurutma odasına kurutma öncesinde ve sırasında manyetik karıştırıcı altında sürekli homojen karıştırma ile 0.5 L/saatlik bir besleme akış hızı ayarlanarak bir peristaltik pompa ile beslenmiştir. Püskürtmeli kurutucu (SD) giriş sıcaklığı 160 °C ve çıkış sıcaklığı 90±5 °C olarak ayarlanmıştır. Aspiratör debisi 35 m<sup>3</sup>/h olup pompa hızı % 20 olarak ayarlanmıştır. Mikroenkapsülasyon işlemi sonrasında elde edilen toz ürünler koyu renkli cam şişelere konularak 12 hafta boyunca oda sıcaklığında (24±1 °C) depolanmıştır. Kimyasal analizler için 0, 6 ve 12. haftanın ilk gününde her grup için 3 şişe mikroenkapsüllü balık yağı tozu seçilerek tüm analizler 3 tekrarlı olacak şekilde gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2. Çalışmada kullanılan püskürtmeli kurutucu (spray-dryer) cihazı.

### 2.2.3. Lipit ve Yağ Asitleri Tayini

Lipit analizi Bligh ve Dyer (1959) yöntemine göre yapılmıştır. Ekstrakte edilmiş lipitten yağ asidi metil esterleri Ichihara ve ark. (1996) metoduna göre yapılmıştır. 25 mg ekstrakte edilmiş yağ örneği üzerine 4 mL 2 M'lık KOH ve 2 mL n-heptan ilave edilmiştir. Daha sonra oda sıcaklığında 2 dakika vortekste karıştırılmış ve 4000 rpm'de 10 dakika süreyle santrifüj edilerek heptan tabakası gaz kromatografisi (GC)'inde analiz edilmiştir.

### 2.2.4. İstatistiksel Analiz

Araştırmada elde edilen sonuçlar SPSS 22.0 paket programı kullanılarak (varyans analizine tabi tutulmuş ve gruplar arasındaki fark Duncan's New Multiple Range Test metoduna göre) değerlendirilmiştir (Duncan 1955). Önem seviyesi p<0.05 olarak alınmıştır.

## 3. Bulgular ve Tartışma

### 3.1. Yağ Asitleri Değişimleri

Mikroenkapsüle edilen balık yağlarının doymuş yağ asidi sonuçları Çizelge 2'de verilmiştir. Mikroenkapsülasyon işlemi sonrasında balık yağlarında doymamış yağ asitlerinin miktarının nispeten arttığı rapor edilmiştir (Wan ve ark., 2011; Czerniak ve ark., 2015). Buna ek olarak mikroenkapsülasyon işlemi sırasında lipid oksidasyonunun hızlandığı ve hidroperoksit içeriğinin arttığı da rapor edilmiştir.

(Serfert ve ark., 2009). Yapmış olduğumuz bu çalışmada da SFA oranının arttığı ve % 31.93 ile % 45.24 arasında değişim gösterdiği tespit edilmiştir. Hamsi yağında yüksek miktarda bulunan doymuş yağ asitlerinden biri olan palmitik asidin (C16:0) miktarı kontrol grubunda % 20.22 iken muamele gruplarında ise bu oran depolamanın başlangıcında %17.91 ile % 18.83 arasında değiştiği ve depolama süresi ile birlikte arttığı görülmüştür. Mikroenkapsüllerde en yüksek palmitik asit oranına (% 22.91) ADA1 grubunda ulaştığı belirlenmiştir. Benzer şekilde hamsi yağına en yakın palmitik asit içeriğinin de yine ADA1 grubunda olduğu tespit edilmiştir (% 18.83-% 22.91). En yüksek miktarda bulunan diğer doymuş asitleri miristik (C14:0) ve stearik asit (C18:0) olduğu sonucuna varılmıştır. Miristik asit miktarı tüm mikroenkapsüle edilmiş örneklerde % 5.68 ile %6.88 arasında değiştiği belirlenmiştir. Depolamanın sonunda en yüksek miristik asit miktarı ADA1 ve kontrol grubunda olduğu tespit edilmiştir. En yüksek stearik asit miktarı ise depolamanın başlangıcında % 5.53 ile kontrol grubunda belirlenmişken, en düşük bu değer ise % 4.79 ile ADA3 grubunda tespit edilmiştir. Stearik ve miristik asit değerleri açısından en yüksek değer ile ham hamsi yağına en yakın değerlere ADA1 grubunun ulaştığı belirlenmiştir.

Çizelge 2. Mikroenkapsülenmiş balık yağının depolama süresince doymuş yağ asitleri (SFA) içeriği (%) değişimleri

Yağ asitleri	Haftalar			Grup
	0	6	12	
C14:0	6.27±0.12 <sup>a</sup>	6.40±0.03 <sup>a</sup>	6.79±0.18 <sup>a</sup>	Kontrol
	6.14±0.26 <sup>a</sup>	6.34±0.08 <sup>ab</sup>	6.88±0.16 <sup>a</sup>	Ada 1
	5.68±0.01 <sup>b</sup>	6.01±0.12 <sup>b</sup>	6.07±0.18 <sup>b</sup>	Ada 2
	5.88±0.04 <sup>ab</sup>	6.16±0.20 <sup>ab</sup>	6.17±0.05 <sup>b</sup>	Ada 3
C15:0	1.21±0.01 <sup>a</sup>	1.29±0.01 <sup>a</sup>	1.37±0.02 <sup>a</sup>	Kontrol
	1.17±0.01 <sup>b</sup>	1.25±0.02 <sup>ab</sup>	1.34±0.05 <sup>a</sup>	Ada 1
	1.12±0.00 <sup>c</sup>	1.20±0.02 <sup>b</sup>	1.21±0.02 <sup>b</sup>	Ada 2
	1.12±0.02 <sup>c</sup>	1.23±0.03 <sup>ab</sup>	1.19±0.01 <sup>b</sup>	Ada 3
C16:0	20.22±0.47 <sup>a</sup>	23.22±0.19 <sup>a</sup>	24.64±0.33 <sup>a</sup>	Kontrol
	18.83±0.14 <sup>b</sup>	22.69±0.48 <sup>a</sup>	22.91±1.23 <sup>ab</sup>	Ada 1
	18.30±0.12 <sup>bc</sup>	21.79±0.24 <sup>b</sup>	21.47±0.64 <sup>bc</sup>	Ada 2
	17.91±0.33 <sup>c</sup>	21.14±0.08 <sup>b</sup>	19.85±0.19 <sup>c</sup>	Ada 3
C17:0	1.00±0.01 <sup>a</sup>	1.22±0.04 <sup>a</sup>	1.28±0.01 <sup>a</sup>	Kontrol
	0.93±0.01 <sup>b</sup>	1.16±0.04 <sup>ab</sup>	1.17±0.05 <sup>b</sup>	Ada 1
	0.91±0.01 <sup>bc</sup>	1.14±0.02 <sup>ab</sup>	1.09±0.01 <sup>bc</sup>	Ada 2
	0.88±0.01 <sup>c</sup>	1.07±0.02 <sup>b</sup>	1.01±0.01 <sup>c</sup>	Ada 3
C18:0	5.53±0.14 <sup>a</sup>	7.01±0.04 <sup>a</sup>	7.43±0.03 <sup>a</sup>	Kontrol
	5.08±0.01 <sup>b</sup>	6.69±0.13 <sup>b</sup>	6.47±0.44 <sup>b</sup>	Ada 1
	5.02±0.007 <sup>bc</sup>	6.44±0.02 <sup>bc</sup>	6.26±0.15 <sup>b</sup>	Ada 2
	4.79±0.07 <sup>c</sup>	6.22±0.16 <sup>c</sup>	5.50±0.04 <sup>c</sup>	Ada 3
C20:0	1.37±0.01 <sup>a</sup>	1.74±0.00 <sup>a</sup>	1.96±0.02 <sup>a</sup>	Kontrol
	1.26±0.00 <sup>b</sup>	1.70±0.01 <sup>ab</sup>	1.60±0.10 <sup>b</sup>	Ada 1
	1.25±0.02 <sup>b</sup>	1.63±0.02 <sup>b</sup>	1.58±0.02 <sup>b</sup>	Ada 2
	1.17±0.02 <sup>c</sup>	1.55±0.04 <sup>c</sup>	1.36±0.01 <sup>c</sup>	Ada 3
C22:0	0.28±0.01 <sup>a</sup>	0.35±0.00 <sup>a</sup>	0.43±0.01 <sup>a</sup>	Kontrol
	0.04±0.00 <sup>b</sup>	0.36±0.01 <sup>a</sup>	0.32±0.02 <sup>b</sup>	Ada 1
	0.05±0.00 <sup>b</sup>	0.32±0.01 <sup>b</sup>	0.32±0.01 <sup>b</sup>	Ada 2
	0.14±0.01 <sup>ab</sup>	0.31±0.01 <sup>b</sup>	0.27±0.00 <sup>c</sup>	Ada 3
C24:0	0.03±0.030 <sup>a</sup>	0.98±0.01 <sup>ab</sup>	1.32±0.04 <sup>a</sup>	Kontrol
	0.03±0.00 <sup>a</sup>	1.04±0.04 <sup>a</sup>	0.95±0.04 <sup>b</sup>	Ada 1
	0.02±0.01 <sup>a</sup>	0.95±0.02 <sup>ab</sup>	0.95±0.01 <sup>b</sup>	Ada 2
	0.02±0.01 <sup>a</sup>	0.90±0.03 <sup>b</sup>	0.82±0.01 <sup>c</sup>	Ada 3
ΣSFA	35.93±0.77 <sup>a</sup>	42.21±0.32 <sup>a</sup>	45.24±0.50 <sup>a</sup>	Kontrol
	33.49±0.44 <sup>b</sup>	41.24±0.72 <sup>a</sup>	41.66±2.14 <sup>b</sup>	Ada 1
	32.36±0.21 <sup>bc</sup>	39.51±0.38 <sup>b</sup>	38.97±1.06 <sup>c</sup>	Ada 2
	31.93±0.28 <sup>c</sup>	38.60±0.12 <sup>b</sup>	40.51±0.34 <sup>bc</sup>	Ada 3

<sup>a-d</sup> Her bir hafta için gruplar arası önemli farklılıkları (p<0.05) göstermektedir. C14:0 (Miristik Asit), C15:0 (Pentadekanoik Asit), C16:0 (Palmitik Asit), C17:0 (Heptadekanoik Asit), C18:0 (Stearik Asit), C20:0 (Araşidik Asit), C22:0 (Behenik Asit), C24:0 (Lignoserik Asit), ΣSFA (Toplam Doymuş Yağ Asitleri).

Mikroenkapsüle edilmiş hamsi yağındaki MUFA oranı depolama süresi boyunca % 21.50 ile % 27.31 arasında değişkenlik gösterdiği tespit edilmiştir. Adayı esansiyel yağı ile hazırlanan mikroenkapsüle balık yağlarında en yüksek toplam MUFA oranına sahip grubun ADA1 grubu (% 26.60)

olduğu gözlemlenmiştir. MUFA'ların en önemlilerinden olan oleik asit (C18:1n9) bakımından en zengin grupların ADA1 ile ADA2 gruplarının olduğu ve depolamanın başlangıcı ile 6. haftalarına kadar istatistiksel fark oluşturmadıkları gözlenmiştir ( $p<0,05$ ). Oleik asit miktarının depolama süresi boyunca % 13.38 ile % 17.63 arasında değiştiği belirlenmiştir. Oleik asit içeriği açısından hamsi yağına en yakın değere sahip olan grup ise yine ADA1 grubu olmuştur (Çizelge 3). Bir diğer önemli MUFA olan palmitoleik asit (C16:1) omega-7 tekli doymamış yağ asididir. Tüm dokularda bulunur, ancak genel olarak karaciğerde daha yüksek konsantrasyonlarda bulunur. Genel olarak hamsi yağında depolama ile birlikte palmitoleik asit azalma gösterse de depolama süresi boyunca kontrol grubu olan mikroenkapsüle hamsi yağının palmitoleik asit değerleri arasında benzer değerler gözlenmemiştir. En yüksek değerler % 5.36 ile kontrol grubunda depolamanın son haftasında gözlenmesine karşın ADA3 grubunda 6. haftada en yüksek palmitoleik asit değeri (% 5.11) gözlenmiştir.

Çizelge 3. Mikroenkapsülenmiş balık yağının depolama süresince tekli doymamış yağ asitleri (MUFA) içeriği (%) değişimleri

Yağ asitleri	Haftalar			Grup
	0	6	12	
C16:1	5.40±0.12 <sup>a</sup>	5.31±0.01 <sup>a</sup>	5.36±0.03 <sup>a</sup>	Kontrol
	5.13±0.03 <sup>b</sup>	5.26±0.06 <sup>ab</sup>	5.48±0.12 <sup>a</sup>	Ada 1
	4.91±0.01 <sup>c</sup>	5.05±0.07 <sup>b</sup>	5.06±0.11 <sup>b</sup>	Ada 2
	4.92±0.01 <sup>c</sup>	5.11±0.12 <sup>ab</sup>	4.99±0.06 <sup>b</sup>	Ada 3
C17:1	0.40±0.00 <sup>a</sup>	0.49±0.00 <sup>a</sup>	0.52±0.01 <sup>a</sup>	Kontrol
	0.37±0.00 <sup>b</sup>	0.46±0.01 <sup>b</sup>	0.45±0.02 <sup>b</sup>	Ada 1
	0.36±0.01 <sup>bc</sup>	0.45±0.01 <sup>bc</sup>	0.43±0.01 <sup>b</sup>	Ada 2
	0.35±0.01 <sup>c</sup>	0.44±0.01 <sup>c</sup>	0.37±0.01 <sup>c</sup>	Ada 3
C18:1n9	15.13±0.15 <sup>a</sup>	17.57±0.09 <sup>a</sup>	17.63±0.02 <sup>a</sup>	Kontrol
	14.27±0.04 <sup>b</sup>	17.04±0.24 <sup>b</sup>	16.73±0.76 <sup>ab</sup>	Ada 1
	13.88±0.11 <sup>b</sup>	16.47±0.14 <sup>c</sup>	16.12±0.28 <sup>b</sup>	Ada 2
	13.38±0.26 <sup>c</sup>	16.20±0.15 <sup>c</sup>	14.68±0.13 <sup>c</sup>	Ada 3
C18:1n7	1.92±0.04 <sup>a</sup>	2.40±0.01 <sup>a</sup>	2.16±0.01 <sup>ab</sup>	Kontrol
	1.86±0.09 <sup>ab</sup>	2.33±0.06 <sup>ab</sup>	2.32±0.10 <sup>a</sup>	Ada 1
	1.75±0.01 <sup>bc</sup>	2.27±0.01 <sup>bc</sup>	2.24±0.04 <sup>a</sup>	Ada 2
	1.70±0.02 <sup>c</sup>	2.23±0.02 <sup>c</sup>	2.07±0.01 <sup>b</sup>	Ada 3
C20:1n9	1.21±0.01 <sup>a</sup>	1.44±0.01 <sup>a</sup>	1.51±0.01 <sup>a</sup>	Kontrol
	1.12±0.00 <sup>b</sup>	1.40±0.01 <sup>ab</sup>	1.32±0.07 <sup>b</sup>	Ada 1
	1.11±0.01 <sup>b</sup>	1.35±0.01 <sup>bc</sup>	1.31±0.02 <sup>b</sup>	Ada 2
	1.04±0.02 <sup>c</sup>	1.30±0.04 <sup>c</sup>	1.15±0.01 <sup>c</sup>	Ada 3
C22:1n9	0.08±0.01 <sup>b</sup>	0.09±0.00 <sup>a</sup>	0.06±0.00 <sup>b</sup>	Kontrol
	0.10±0.00 <sup>a</sup>	0.09±0.00 <sup>a</sup>	0.09±0.01 <sup>a</sup>	Ada 1
	0.10±0.00 <sup>a</sup>	0.09±0.00 <sup>a</sup>	0.10±0.00 <sup>a</sup>	Ada 2
	0.10±0.00 <sup>a</sup>	0.09±0.00 <sup>a</sup>	0.10±0.00 <sup>a</sup>	Ada 3
ΣMUFA	24.15±0.34 <sup>a</sup>	27.31±0.12 <sup>a</sup>	27.26±0.04 <sup>a</sup>	Kontrol
	22.86±0.10 <sup>b</sup>	26.60±0.39 <sup>b</sup>	26.41±1.08 <sup>ab</sup>	Ada 1
	22.12±0.14 <sup>bc</sup>	25.69±0.22 <sup>c</sup>	25.27±0.47 <sup>b</sup>	Ada 2
	21.50±0.40 <sup>c</sup>	25.38±0.11 <sup>c</sup>	23.37±0.23 <sup>c</sup>	Ada 3

<sup>a-d</sup> Her bir hafta için gruplar arası önemli farklılıkları ( $p<0,05$ ) göstermektedir. C16:1 (Palmitoleik asit), C17:1 (Heptadekanoik asit), C18:1n9 (Oleik asit), C18:1n7 (Vaksenik asit), C20:1n9 (Eikosenoik asit), C22:1n9 (Erusik asit), ΣMUFA (Toplam tekli doymamış yağ asitleri).

Mikroenkapsüle edilmiş örneklerde toplam PUFA değerinin % 15.58 - % 29.82 oranında değiştiği tespit edilmiştir (Çizelge 4). Çoklu doymamış yağ asitleri arasında en yüksek miktarda bulunan yağ asitleri EPA ve DHA olarak belirlenmiştir. Mikroenkapsülasyon işlemi sırasında uygulanan ısıdan EPA+DHA açısından en fazla etkilenen grup ADA1 ve en az etkilenen grup ise ADA3 olarak tespit edilmiştir. Depolamanın başlangıcında en düşük EPA miktarı % 6.28 ile kontrol grubunda, en yüksek bu değer ise % 7.37 ile ADA3 grubunda tespit edilmiştir. Depolama süresi ile birlikte EPA miktarının

tüm mikroenkapsüle edilmiş balık yağlarında düştüğü belirlenmiştir. Depolamanın sonunda en düşük EPA miktarı % 3.75 ile kontrol grubunda en yüksek bu değer ise % 5.81 ile ADA3 grubunda olduğu tespit edilmiştir. DHA değeri ise mikroenkapsüle edilmiş balık yağında depolama süresi boyunca % 8.31 ile % 18.65 arasında değişmiştir. En düşük değer depolamanın sonunda kontrol grubunda % 8.31 olarak gözlenmişken, en yüksek değer ise % 11.61 ile ADA3 grubunda tespit edilmiştir. Kontrol grubuna kıyasla ise tüm muamele gruplarının EPA ve DHA'yı oksidasyona karşı koruduğu ancak ADA3 grubunun EPA+DHA oranını daha iyi muhafaza ettiği gözlenmiştir. Benzer şekilde toplam PUFA oranları bakımından ADA3 grubunun (% 21.23 ile % 29.82) diğer tüm gruplardan daha yüksek çoklu doymamış yağ asitleri içeriğine sahip olduğu bu grubu takiben sırasıyla ADA2 ve ADA1 gruplarının takip ettiği görülmüştür. Burada göze çarpan bir diğer nokta ADA1 grubuna ilave edilen adayı esansiyel yağının mikrokapsüllerdeki PUFA'ların korunması açısından yetersiz kaldığı, esansiyel yağ oranı % 3'e çıkarıldığında ise özellikle EPA+DHA oranının korunması açısından etkili bir koruma sağladığı görülmüştür.

Çizelge 4. Mikroenkapsülenmiş balık yağının depolama süresince çoklu doymamış yağ asitleri (PUFA) içeriği (%) değişimleri

Yağ asitleri	Haftalar			Grup
	0	6	12	
C18:2n6	2.11±0.05 <sup>a</sup>	2.05±0.01 <sup>b</sup>	1.77±0.01 <sup>d</sup>	Kontrol
	2.03±0.02 <sup>ab</sup>	2.15±0.03 <sup>a</sup>	1.99±0.02 <sup>b</sup>	Ada 1
	2.01±0.01 <sup>ab</sup>	2.07±0.00 <sup>b</sup>	2.22±0.01 <sup>a</sup>	Ada 2
	1.96±0.03 <sup>b</sup>	2.04±0.01 <sup>b</sup>	1.93±0.02 <sup>c</sup>	Ada 3
C18:3n6	0.02±0.00 <sup>b</sup>	0.22±0.00 <sup>a</sup>	0.20±0.00 <sup>a</sup>	Kontrol
	0.02±0.00 <sup>b</sup>	0.22±0.00 <sup>a</sup>	0.21±0.00 <sup>a</sup>	Ada 1
	0.02±0.00 <sup>b</sup>	0.22±0.00 <sup>a</sup>	0.22±0.00 <sup>a</sup>	Ada 2
	0.21±0.01 <sup>a</sup>	0.22±0.00 <sup>a</sup>	0.21±0.00 <sup>a</sup>	Ada 3
C18:3n3	1.11±0.02 <sup>b</sup>	0.89±0.00 <sup>c</sup>	0.69±0.01 <sup>c</sup>	Kontrol
	1.15±0.00 <sup>ab</sup>	0.93±0.00 <sup>b</sup>	0.88±0.01 <sup>b</sup>	Ada 1
	1.15±0.01 <sup>a</sup>	0.96±0.00 <sup>ab</sup>	0.98±0.01 <sup>ab</sup>	Ada 2
	1.15±0.01 <sup>a</sup>	0.98±0.02 <sup>a</sup>	1.01±0.01 <sup>a</sup>	Ada 3
C20:2 cis	0.12±0.01 <sup>a</sup>	0.38±0.00 <sup>a</sup>	0.36±0.01 <sup>a</sup>	Kontrol
	0.18±0.04 <sup>a</sup>	0.38±0.00 <sup>a</sup>	0.34±0.01 <sup>ab</sup>	Ada 1
	0.20±0.04 <sup>a</sup>	0.37±0.01 <sup>ab</sup>	0.36±0.01 <sup>a</sup>	Ada 2
	0.17±0.02 <sup>a</sup>	0.36±0.01 <sup>b</sup>	0.32±0.01 <sup>b</sup>	Ada 3
C20:3 n6	0.30±0.00 <sup>a</sup>	0.31±0.01 <sup>a</sup>	0.33±0.01 <sup>a</sup>	Kontrol
	0.28±0.00 <sup>b</sup>	0.30±0.01 <sup>ab</sup>	0.29±0.01 <sup>b</sup>	Ada 1
	0.28±0.00 <sup>b</sup>	0.29±0.01 <sup>bc</sup>	0.29±0.00 <sup>b</sup>	Ada 2
	0.27±0.01 <sup>b</sup>	0.28±0.00 <sup>c</sup>	0.26±0.00 <sup>c</sup>	Ada 3
C20:5n3	6.28±0.26 <sup>b</sup>	4.63±0.01 <sup>c</sup>	3.75±0.12 <sup>c</sup>	Kontrol
	7.04±0.04 <sup>a</sup>	4.76±0.16 <sup>c</sup>	4.69±0.71 <sup>bc</sup>	Ada 1
	7.32±0.10 <sup>a</sup>	5.22±0.04 <sup>b</sup>	5.40±0.24 <sup>ab</sup>	Ada 2
	7.37±0.07 <sup>a</sup>	5.55±0.13 <sup>a</sup>	5.81±0.05 <sup>a</sup>	Ada 3
C22:2 cis	0.02±0.00 <sup>a</sup>	0.12±0.00 <sup>a</sup>	0.14±0.01 <sup>a</sup>	Kontrol
	0.02±0.00 <sup>a</sup>	0.11±0.01 <sup>a</sup>	0.10±0.02 <sup>ab</sup>	Ada 1
	0.03±0.00 <sup>a</sup>	0.10±0.01 <sup>a</sup>	0.10±0.01 <sup>ab</sup>	Ada 2
	0.02±0.00 <sup>a</sup>	0.10±0.01 <sup>a</sup>	0.07±0.00 <sup>b</sup>	Ada 3
C22:6 n3	14.96±0.70 <sup>c</sup>	9.50±0.28 <sup>b</sup>	8.31±0.31 <sup>b</sup>	Kontrol
	17.12±0.12 <sup>b</sup>	9.96±0.74 <sup>b</sup>	8.93±0.12 <sup>b</sup>	Ada 1
	18.11±0.26 <sup>ab</sup>	11.69±0.16 <sup>a</sup>	11.15±0.16 <sup>a</sup>	Ada 2
	18.65±0.65 <sup>a</sup>	11.72±0.04 <sup>a</sup>	11.61±0.58 <sup>a</sup>	Ada 3
ΣPUFA	24.92±1.07 <sup>b</sup>	18.11±0.36 <sup>b</sup>	15.58±0.45 <sup>d</sup>	Kontrol
	27.86±0.23 <sup>a</sup>	18.83±0.94 <sup>b</sup>	17.44±0.82 <sup>c</sup>	Ada 1
	29.14±0.43 <sup>a</sup>	20.94±0.08 <sup>a</sup>	20.73±0.11 <sup>b</sup>	Ada 2
	29.82±0.72 <sup>a</sup>	21.26±0.14 <sup>a</sup>	21.23±0.48 <sup>a</sup>	Ada 3

<sup>a-d</sup> Her bir hafta için gruplar arası önemli farklılıkları (p<0.05) göstermektedir. C18:2n6 (Linoleik asit), C18:3n6 (γ-linolenik asit), C18:3n3 (Linolenik asit), C20:2 cis (Eikosenoik asit), C20:3 n6 (Eikosatrienoik asit), C20:5n3 (Eikosapentaenoik asit (EPA)), C22:2 cis (Dokosadienoik asit), C22:6n3 (Dokosaheksaenoik asit (DHA)), ΣPUFA (Toplam çoklu doymamış yağ asitleri).

Tatar ve ark. (2014)'nin yapmış olduğu çalışmada hamsi yağı ve mikrokapsüllü ürünleri karşılaştırıldığında, SFA'nın % 34.51'den % 50.33'e yükseldiği, MUFA'ların % 19.94'ten % 20.06'ya arttığı, PUFA'ların ise % 37.24'ten % 17.25'e düştüğü tespit edilmiştir. Czerniak ve ark. (2015)'de ringa

balığı yağını mikroenkapsüle etmiş ve enkapsülasyon işlemi sonrasında SFA oranının % 41.51'den % 44.31'e çıktığını, PUFA'ların da % 35.74'ten % 30,41'e düştüğünü rapor etmişlerdir. Yesilsu ve Ozyurt (2019), biberiye ve defne ekstraktlarının sprey kurutma ile mikroenkapsülleme oksidatif stabiliteyi arttırmak için hamsi yağına başarıyla uygulandığını ve sonuçlarımız ile benzer yağ asitleri ve oksidasyona neden olduklarını rapor etmişlerdir. Ozyurt ve ark. (2020) bütün olarak kullandıkları ıskarta *Equulites klunzingeri* türünden pH-shifting işlemi ile ekstrakte ettikleri balık proteini izolatını ve hamsi yağını mikroenkapsüle ettikleri çalışmalarında yağ asitleri arasında miristik asit (C14: 0), palmitik asit (C16: 0), stearik asit (C18: 0), palmitoleik asit (C16: 1 $\omega$ 7), oleik asit (C18: 1 $\omega$ 9), eikosapentaenoik asit (EPA, C20: 5 $\omega$ 3) ve dokosaheksaenoik asit (DHA, C22: 6 $\omega$ 3) ham balık yağında ve mikroenkapsülenmiş balık yağlarında baskın yağ asitleri oldukları, bu sonuçların da genellikle deniz lipitleri için bildirilen hamsi çalışmaları ile uyumlu olduklarını bildirmişlerdir (Bayır ve ark., 2006; Zlatanov ve Laskaridis, 2007). Li ve ark. (2015) % 1 yaban mersini ekstraktı kullandıkları alaska mezziti yağının mikroenkapsülasyon işlemi sonrasında PUFA oranlarında düşme meydana geldiğini rapor etmişlerdir. Annamalai ve ark. (2015), ham balık yağında % 49.79 oranında olan toplam PUFA'larının % 0.25 zencefil yağı bulunan gruplarda % 4.17 ile % 7.36 arasında değiştiğini bildirmişlerdir. Bakry ve ark. (2016) mikroenkapsüllerde nane yağının, ton balığı yağının yağ asitleri üzerine etkisini araştırmışlardır. Ham yağda % 33.36 miktarında olan EPA+DHA oranının mikroenkapsülasyon sonrası % 16.33'e azaldığını rapor etmişlerdir.

$\Sigma$ PUFA/ $\Sigma$ SFA,  $\Sigma\omega$ 3,  $\Sigma\omega$ 6,  $\omega$ 6/ $\omega$ 3 ve DHA/EPA'daki değişimler Çizelge 5'te verilmiştir. Bu çalışmada, en düşük  $\Sigma$ PUFA/ $\Sigma$ SFA oranı kontrol grubunda depolamanın son haftasında 0.34 olarak bulunmuştur.

Çizelge 5. Mikroenkapsülenmiş balık yağının depolama süresince yağ asitleri index değişimleri

Yağ asitleri	Haftalar			Grup
	0	6	12	
$\Sigma$ PUFA/SFA	0.69 $\pm$ 0.04 <sup>c</sup>	0.43 $\pm$ 0.01 <sup>b</sup>	0.34 $\pm$ 0.01 <sup>c</sup>	Kontrol
	0.83 $\pm$ 0.01 <sup>b</sup>	0.45 $\pm$ 0.03 <sup>b</sup>	0.42 $\pm$ 0.04 <sup>b</sup>	Ada 1
	0.90 $\pm$ 0.01 <sup>ab</sup>	0.53 $\pm$ 0.00 <sup>a</sup>	0.53 $\pm$ 0.01 <sup>a</sup>	Ada 2
	0.93 $\pm$ 0.03 <sup>a</sup>	0.55 $\pm$ 0.00 <sup>a</sup>	0.58 $\pm$ 0.02 <sup>a</sup>	Ada 3
$\Sigma\omega$ 3	22.35 $\pm$ 1.00 <sup>c</sup>	15.02 $\pm$ 0.36 <sup>b</sup>	12.76 $\pm$ 0.43 <sup>c</sup>	Kontrol
	25.32 $\pm$ 0.16 <sup>b</sup>	15.65 $\pm$ 0.91 <sup>b</sup>	14.51 $\pm$ 0.90 <sup>b</sup>	Ada 1
	26.59 $\pm$ 0.37 <sup>ab</sup>	17.88 $\pm$ 0.11 <sup>a</sup>	17.53 $\pm$ 0.09 <sup>a</sup>	Ada 2
	27.18 $\pm$ 0.72 <sup>a</sup>	18.25 $\pm$ 0.14 <sup>a</sup>	18.43 $\pm$ 0.51 <sup>a</sup>	Ada 3
$\Sigma\omega$ 6	2.43 $\pm$ 0.05 <sup>a</sup>	2.59 $\pm$ 0.00 <sup>b</sup>	2.31 $\pm$ 0.01 <sup>d</sup>	Kontrol
	2.33 $\pm$ 0.02 <sup>b</sup>	2.68 $\pm$ 0.04 <sup>a</sup>	2.49 $\pm$ 0.03 <sup>b</sup>	Ada 1
	2.31 $\pm$ 0.01 <sup>b</sup>	2.58 $\pm$ 0.01 <sup>b</sup>	2.73 $\pm$ 0.01 <sup>a</sup>	Ada 2
	2.45 $\pm$ 0.02 <sup>a</sup>	2.54 $\pm$ 0.01 <sup>b</sup>	2.40 $\pm$ 0.02 <sup>c</sup>	Ada 3
$\Sigma\omega$ 6/ $\omega$ 3	0.11 $\pm$ 0.00 <sup>a</sup>	0.18 $\pm$ 0.01 <sup>a</sup>	0.18 $\pm$ 0.00 <sup>a</sup>	Kontrol
	0.09 $\pm$ 0.00 <sup>a</sup>	0.18 $\pm$ 0.01 <sup>a</sup>	0.17 $\pm$ 0.01 <sup>a</sup>	Ada 1
	0.09 $\pm$ 0.00 <sup>a</sup>	0.15 $\pm$ 0.01 <sup>b</sup>	0.16 $\pm$ 0.00 <sup>a</sup>	Ada 2
	0.09 $\pm$ 0.00 <sup>a</sup>	0.14 $\pm$ 0.00 <sup>b</sup>	0.13 $\pm$ 0.00 <sup>b</sup>	Ada 3
DHA/EPA	2.38 $\pm$ 0.01 <sup>b</sup>	2.05 $\pm$ 0.02 <sup>b</sup>	2.21 $\pm$ 0.01 <sup>a</sup>	Kontrol
	2.43 $\pm$ 0.01 <sup>ab</sup>	2.09 $\pm$ 0.08 <sup>ab</sup>	1.92 $\pm$ 0.26 <sup>a</sup>	Ada 1
	2.47 $\pm$ 0.00 <sup>ab</sup>	2.24 $\pm$ 0.05 <sup>a</sup>	2.06 $\pm$ 0.12 <sup>a</sup>	Ada 2
	2.52 $\pm$ 0.06 <sup>a</sup>	2.11 $\pm$ 0.04 <sup>ab</sup>	1.99 $\pm$ 0.12 <sup>a</sup>	Ada 3

<sup>a-d</sup> Her bir hafta için gruplar arası önemli farklılıkları (p<0.05) göstermektedir.  $\Sigma\omega$ 3 (Toplam omega 3 yağ asitleri),  $\Sigma\omega$ 6 (Toplam omega 6 yağ asitleri).

HMSO (1994),  $\Sigma$ PUFA/ $\Sigma$ SFA oranının en az 0.45 olması gerektiğini bildirmiştir. Sonuçlarımıza göre bu oranın altı muamele grupları arasında sadece depolamanın son haftasında ADA1 grubunda gözlenmiştir. Diğer tüm gruplarda depolama süresince en düşük limit değer üzerinde olmuştur. Ozogul ve ark. (2009), Akdeniz'deki 34 farklı balık türü için  $\Sigma$ PUFA/ $\Sigma$ SFA oranının bu sınır değer üzerinde olduğunu bildirmiştir. Durmus (2017), *Neogobius melanostomus*'un (kaya balığı) mevsimsel  $\Sigma$ PUFA/ $\Sigma$ SFA oranının sınır değer üzerinde olduğunu bildirmiştir. Chávez-Mendoza ve ark. (2014) taze alabalık filetosunun PUFA/SFA oranını 1.87 olarak, donmuş alabalık filetosunun PUFA/SFA oranını % 44 azaldığını bildirmişlerdir.



Depolama süresi ile  $\Sigma\omega_3$  ve  $\Sigma\omega_6$  miktarında azalmalar gözlenmiştir. Depolama sonunda en düşük  $\Sigma\omega_3$  ve  $\Sigma\omega_6$  miktarları kontrol grubunda görülürken en yüksek seviyeler genel olarak yine ADA3 ve ADA2 gruplarında gözlenmiştir (Çizelge 5). Ozoğul ve ark. (2017), ticari yağlara dayalı nanoemülsiyonlu/nanoemülsiyonsuz muamele edilen levrek filetolarının  $\Sigma\omega_3$  ve  $\Sigma\omega_6$  seviyelerinin, kontrol grubunda daha yüksek düşüşler ile depolama sırasında azalmaya başladığını bildirmişlerdir.

Doymamış yağ asitlerinin  $\omega_6/\omega_3$  oranı, kanser ve kardiyovasküler hastalıkların ölüm nedenleri ile ilişkilidir (Hoz ve ark., 2004). Bu oranın aynı zamanda balık yağındaki besin değerlerini karşılaştırmak için kullanılan önemli bir gösterge olduğu (Pigott ve Tucker, 1990; Cengiz ve ark., 2010) ve diyetlerde 1:1 veya 2:1 kadar düşük tutulması gerektiği bildirilmiştir (Granados ve ark., 2006). HMSO (1994)'e göre bu oranın maksimum 4 olabileceği öne sürülmüştür. Cengiz ve ark. (2010), 0.2 ile 1.6 arasındaki bir oranın sağlıklı bir insan diyeti oluşturduğunu öne sürmektedir. İnsan diyetindeki  $\Sigma\omega_6 / \omega_3$  oranının azaltılması, koroner kalp hastalığını önlemeye yardımcı olmak ve kanser riskini azaltmak için çok önemlidir (Kinsella ve ark., 1990). Ozogul ve ark. (2009) Akdeniz'de bulunan 34 deniz balığı türünün  $\omega_6/\omega_3$  oranlarının önerilen sınır değerleri aşmadığını bildirmiştir. Ozogul ve ark. (2017), ticari yağlara dayalı nanoemülsiyonlarla muamele edilmiş vakumlu ambalajlı levrek filetolarının en yüksek  $\omega_6/\omega_3$  oranının kontrol grubunda (1.93) olduğunu, ardından depolama dönemi başında ayçiçeği (1.78) grubunun geldiğini gözlemlemişlerdir.  $\omega_6/\omega_3$ 'te en yüksek artış kontrol grubunda (2.73), depolama dönemi sonunda mısır (2.20) ve fındık (2.15) gruplarında görülmüştür. Durmus (2017), *Neogobius melanostomus*'un mevsimsel  $\omega_6/\omega_3$  oranının sınır değeri aşmadığını bildirmiştir. Chávez-Mendoza ve ark. (2014) taze alabalık filetosunun  $\omega_3/\omega_6$  oranının 1.60 olduğunu ve dondurulmuş alabalık filetosunun  $\omega_3/\omega_6$  oranının % 23.75 azaldığını bildirmişlerdir. Çalışmamızda depolama sırasında  $\Sigma\omega_6/\omega_3$  oranı sınır değeri aşmayan 0.09 ile 0.18 arasında bulunmuştur.

Mevcut çalışmada, DHA/EPA oranı depolama sırasında oldukça sabit kalmıştır. Bu oran başlangıçta kontrol, ADA1, ADA2 ve ADA3 grupları için sırasıyla 2.38, 2.43, 2.47 ve 2.52 olarak belirlenmiştir. Depolama sonunda en yüksek DHA/EPA kontrol grubunda (2.21), en düşük oran ADA1 grubunda (1.92) olmuştur. Türkiye denizlerinden ticari olarak önemli sekiz balık türünün etindeki yağ içeriği ve yağ asidi kompozisyonları araştırılmıştır (Ozogul ve Ozogul 2007). Araştırmada kullanılan tüm balık türlerinde EPA ve DHA'nın yüksek olması bu balık türlerinin değerini arttırmıştır. Araştırma sonucunda DHA/EPA oranının 0.73 ile 6.70 arasında değiştiği rapor edilmiştir. Aslan ve ark., (2007) yapmış olduğu çalışmada doğadan yakalanan ve yetiştiriciliği yapılan alabalığın DHA/EPA oranı sırasıyla 1.55 ve 5.00 olarak hesaplanmıştır. Yapmış olduğumuz çalışmada elde etmiş olduğumuz DHA/EPA oranının yukarıda belirtilen sonuçların arasında kaldığı tespit edilmiştir.

#### 4. Sonuç

Bu çalışmada ülkemiz için ekonomik değeri oldukça yüksek olan hamsiden elde edilen balık yağlarının farklı konsantrasyonlarda adaçayı kullanılarak hazırlanan karışımları mikroenkapsüle edilerek toz haline getirilmiştir. Ayrıca, mikroenkapsüle hamsi yağının farklı konsantrasyonlarda kullanılan adaçayı uçucu yağları ile oksidatif stabilite düzeyi araştırılmıştır. Sonuçlar, son derece hassas omega-3 yağ asitlerini lipid oksidasyonundan korumak için, püskürtmeyle kurutmadan önce, balık yağına adaçayı esansiyel yağlarının dahil edilmesinin tavsiye edilebileceğini göstermektedir. Yağ asitlerinin oksidasyonu göz önüne alındığında, adaçayı uçucu yağları ile mikrokapsüllenmiş balık yağlarının kontrol grubuna göre daha iyi sonuçlar verdiği belirlenmiştir. Ayrıca adaçayı uçucu yağının çalışmada kullanılan balık yağının kokusunu maskeleyiği belirlenmiştir.

#### Teşekkür

Bu çalışma Çukurova Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından FBA-2019-11949 no'lu proje kapsamında desteklenmiştir.

## Kaynakça

- Annamalai, J., Dushyant C, K., & Gudipati, V. (2015). Oxidative stability of microencapsulated fish oil during refrigerated storage. *Journal of food processing and preservation*, 39(6), 1944-1955.
- Aslan, S. S., Guven, K. C., Gezgin, T., Alpaslan, M., & Tekinay, A. (2007). Comparison of fatty acid contents of wild and cultured rainbow trout *Onchorhynchus mykiss* in Turkey. *Fisheries science*, 73(5), 1195-1198.
- Bakkali, F., Averbeck, S., Averbeck, D., & Idaomar, M., (2008). Biological effects of essential oils—a review. *Food and Chemical Toxicology*, 46(2), 446-475.
- Bakry, A. M., Fang, Z., Ni, Y., Cheng, H., Chen, Y. Q., & Liang, L. (2016). Stability of tuna oil and tuna oil/peppermint oil blend microencapsulated using whey protein isolate in combination with carboxymethyl cellulose or pullulan. *Food Hydrocolloids*, 60, 559-571.
- Bangs, W. E., & Reineccius, G. A., (1988). Corn starch derivatives: possible wall materials for spray-dried flavor manufacture.
- Bayır, A., Haliloğlu, H. İ., Sirkecioğlu, A. N., & Aras, N. M. (2006). Fatty acid composition in some selected marine fish species living in Turkish waters. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 86(1), 163-168.
- Bligh, E. C., & Dyer, W. J. (1959). “A rapid method of total lipid extraction and purification”, *Canadian Journal of Biochemistry and Physiology*, 37, 913–917.
- Cengiz, E. I., Unlu, E., & Bashan, M. (2010). Fatty acid composition of total lipids in muscle tissues of nine freshwater fish from the River Tigris (Turkey). *Turkish Journal of Biology*, 34(4), 433-438.
- Chávez-Mendoza, C., García-Macías, J. A., Alarcón-Rojo, A. D., Ortega-Gutiérrez, J. Á., Holguín-Licón, C., & Corral-Flores, G. (2014). Comparison of fatty acid content of fresh and frozen fillets of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) Walbaum. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 57(1), 103-109.
- Chen, Q., McGillivray, D., Wen, J., Zhong, F., & Quek, S. Y. (2013). Co-encapsulation of fish oil with phytosterol esters and limonene by milk proteins. *Journal of Food Engineering*, 117(4), 505-512.
- Czerniak, A., Kubiak, P., Białas, W. & Jankowski, T. (2015). Improvement of oxidative stability of menhaden fish oil by microencapsulation within biocapsules formed of yeast cells. *Journal of Food Engineering*, 167:2-11.
- Duncan, D. B., (1955). Multiple Range ,Multiple F.Test. *Biometrics*, 11: 1-42
- Durmuş, M., (2020). The effects of nanoemulsions based on citrus essential oils (orange, mandarin, grapefruit, and lemon) on the shelf life of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fillets at 4±2°C. *Journal of Food Safety*, 40(1), e12718.
- Durmuş, M. (2017). Nutritional composition and fatty acids content of Neogobius melanostomus caught in Central Black Sea. *Aquaculture Studies*, 17, 485-499.
- Durmuş, M. (2018). Fish oil for human health: omega-3 fatty acid profiles of marine seafood species. *Food Science and Technology*, AHEAD
- Fernandes, R. V. D. B., Borges, S. V., Botrel, D. A. (2013). Influence of spray drying operating conditions on microencapsulated rosemary essential oil properties. *Food Science and Technology (Campinas)*, 33, 171-178.
- Fung, T., Rexrode, K. M., Mantzoros, C. S., Manson, J. E., Willett, W. C., & Hu, F. B. (2009). Mediterranean diet and incidence of and mortality from coronary heart disease and stroke in women. *Circulation*, 119(8), 1093-1100.
- Gouin, S. (2004). Microencapsulation: industrial appraisal of existing technologies and trends. *Trends in Food Science & Technology*, 15(7-8), 330-347.
- Granados, S., Quiles, J. L., Gil, A., & Ramírez-Tortosa, M. C. (2006). Lípidos de la dieta y cáncer. *Nutrición hospitalaria*, 21, 44-54.
- Heinzelmann, K. & Franke, K. (1999). Using freezing and drying techniques of emulsions for the microencapsulation of fish oil to improve oxidation stability. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 12: 223–229.
- Heinzelmann, K., Franke, K., Jensen, B., & Haahr, A. M. (2000). Protection of fish oil from oxidation by microencapsulation using freeze-drying techniques. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 102(2), 114-121.

- Hogan, S.A., O'riordan, E. D., & O'sullivan, M., (2003). Microencapsulation and oxidative stability of spray-dried fish oil emulsions. *Journal of Microencapsulation*, 20(5), 675-688.
- Hoz, L., D'arrigo, M., Cambero, I., & Ordóñez, J. A. (2004). Development of an n-3 fatty acid and  $\alpha$ -tocopherol enriched dry fermented sausage. *Meat Science*, 67(3), 485-495.
- Huang, H., Hao, S., Li, L., Yang, X., Cen, J., Lin, W., & Wei, Y. (2014). "Influence of emulsion composition and spray-drying conditions on microencapsulation of tilapia oil". *Journal of Food Science and Technology*, 51(9), 2148-2154.
- Ichihara, K., Shibahara, A., Yamamoto, K., & Nakayama, T. (1996). "An Improved Method for Rapid Analysis of the Fatty Acids of Glycerolipids. *Lipids*, 31, 535-539.
- Jeyakumari, A., Zynudheen, A. A., Parvathy, U., & Binsi, P. K. (2018). Impact of chitosan and oregano extract on the physicochemical properties of microencapsulated fish oil stored at different temperature. *International Journal of Food Properties*, 21(1), 942-955.
- Kagami, Y., Sugimura, S., Fujishima, N., Matsuda, K., Kometani, T., & Matsumura, Y. (2003). Oxidative stability, structure, and physical characteristics of microcapsules formed by spray drying of fish oil with protein and dextrin wall materials. *Journal of Food Science*, 68(7), 2248-2255.
- Kim, Y. D., & Morr, C. V. (1996). Microencapsulation properties of gum arabic and several food proteins: spray-dried orange oil emulsion particles. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 44(5), 1314-1320.
- Kinsella, J. E. (1987). Seafoods and fish oils in human health and disease. M. Dekker.
- Kinsella, J. E., Lokesh, B., & Stone, R. A. (1990). Dietary n-3 polyunsaturated fatty acids and amelioration of cardiovascular disease: possible mechanisms. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 52(1), 1-28.
- Li, J., Solval, K. M., Alfaro, L., Zhang, J., Chotiko, A., Delgado, J.L.B., Chouljenko, A., Bankston, D., Bechtel, P.J., & Sathivel, S. (2015). Effect of blueberry extract from blueberry pomace on the microencapsulated fish oil. *Journal of Food Processing and Preservation*, 39(2), 199-206.
- Mol, S. (2008). Balık Yağı Tüketimi ve İnsan Sağlığı Üzerine Etkileri. *Journal of Fisheries Sciences*, 2(4), 601-607.
- Ozogul, Y., Durmus, M., Ucar, Y., Kosker, A. R., & Ozogul, F. (2017). The combined impact of nanoemulsion based on commercial oils and vacuum packing on the fatty acid profiles of sea bass fillets. *Journal of Food Processing and Preservation*, 41(6), e13222.
- Ozogul, Y., Yuvka, I., Ucar, Y., Durmus, M., Kosker, A. R., Oz, M., & Ozogul, F. (2017). Evaluation of effects of nanoemulsion based on herb essential oils (rosemary, laurel, thyme and sage) on sensory, chemical and microbiological quality of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fillets during ice storage. *LWT- Food Science and Technology*, 75, 677-684.
- Ozogul, Y., & Ozogul, F. (2007). Fatty acid profiles of commercially important fish species from the Mediterranean, Aegean and Black Seas. *Food Chemistry*, 100(4), 1634-1638.
- Ozogul, Y., Ozogul, F. H., Cicek, E., Polat, A., & Kuley, E. (2009). Fat content and fatty acid compositions of 34 marine water fish species from the Mediterranean Sea. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 60(6), 464-475
- Pigott, G. M., & Tucker, B. (1990). Seafood: effects of technology on nutrition (Vol. 39). CRC press.
- Raatz, S., & Bibus, D. (2016). Fish and fish oil in health and disease prevention. USA: Academic Press.
- Ton, N. M. N., Tran, T. T. T., & Le, V. V. M. (2016). Microencapsulation of rambutan seed oil by spray-drying using different protein preparations. *International Food Research Journal* 23(1), 123-128
- Serfert, Y., Drusch, S., & Schwarz, K. (2009). Chemical stabilisation of oils rich in long-chain polyunsaturated fatty acids during homogenisation, microencapsulation and storage. *Food Chemistry*, 113(4), 1106-1112.
- Tatar, F., Tunç, M. T., Dervisoglu, M., Cekmecelioglu, D. & Kahyaoglu, T. (2014). Evaluation of hemicellulose as a coating material with gum arabic for food microencapsulation. *Food Research International*, 57:168-175.
- Ucar, Y. (2020). Antioxidant effect of nanoemulsions based on citrus peel essential oils: Prevention of lipid oxidation in trout. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 122(5), 1900405.

- Wan, Y., Bankston Jr, J. D., Bechtel, P. J. & Sathivel, S. (2011). Microencapsulation of menhaden fish oil containing soluble rice bran fiber using spray drying technology. *Journal of Food Science*, 76(4): 348-356
- Yesilsu, A. F., & Ozyurt, G., (2019). Oxidative stability of microencapsulated fish oil with rosemary, thyme and laurel extracts: A kinetic assessment. *Journal of Food Engineering*, 240, 171-182
- Zlatanov, S., & Laskaridis, K. (2007). Seasonal variation in the fatty acid composition of three Mediterranean fish—sardine (*Sardina pilchardus*), anchovy (*Engraulis encrasicolus*) and picarel (*Spicara smaris*). *Food Chemistry*, 103(3), 725-728.