



Balıklarda Lipidler ve Lipid Oksidasyonu

Dr. İlknur MERİÇ
Prof. Dr. Nilsun DEMİR

Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Su Ürünleri Mühendisliği
Bölümü, 06110, Dışkapı, ANKARA

Özet

Lipid balığın temel bileşenlerinden biri olup, miktarı protein, su ve mineral madde miktarına oranla oldukça değişkendir. Balık lipidlerinin miktarındaki değişim, lipidlerin içerdiği çoklu doymamış yağ asidi miktarında ve bileşiminde de değişimlere yol açmaktadır. Bu bağlamda, balığın bileşimini ve oksidatif bozulmalara karşı hassasiyetini, balığın yaşadığı coğrafik bölge, avlanma şekli, mevsim, tür, cinsiyet, yaş ve beslenme gibi faktörler etkilemektedir. Balıklarda kaliteye etki eden en önemli etmenlerden olan lipid oksidasyonu, çoklu doymamış yağ asitlerinin oksijen, ışık, metal iyonları gibi bazı faktörler altında oksidasyona uğraması sonucu meydana gelen malonaldehitin oluşumudur. Oksidasyon, antioksidan madde kullanımı, glaze ve vakum paket uygulaması ile önlenmekte veya kontrol edilmektedir.

1. Giriş

Balık içerdiği besin bileşenleri yönünden en değerli gıdalardan biridir. Balık etini değerli kılan unsurların başında enerji veren besin ögesi olan lipid gelmektedir. Balığın yenilebilir dokusundaki lipid miktarı %0,5 ile %25 arasında değişmektedir (1). Balıklar içerdikleri lipid oranına göre; lipid oranı %2' den az olanlar **YAĞSIZ**, %2 ile 4 arasında olanlar **AZ YAĞLI**, %4 ile 8 arasında olanlar **YAĞLI** ve %8' in üzerinde olanlar ise **ÇOK YAĞLI** olarak 4 grup altında sınıflandırılmaktadır (2).

2. Lipidlerin Sınıflandırılması

Lipidler suda çözünmeyen, fakat hidrokarbon ve dietiler gibi polar olmayan organik çözücülerde çözünen doğal organik bileşiklerdir. Lipidlerin çoğu fiziksel özellik bakımından birbirlerine benzeselerde, biyolojik işlev, kimyasal özellik ve yapı bakımından farklıdırlar (3). Balıklarda lipidler polar ve

nötral olmak üzere iki ana grup altında toplanmaktadır. Polar lipidler bünyelerinde fosfolipidleri içermektedir. Fosfolipidlerin yapısında gliserol, yağ asitleri ve anahtar bileşen olarak nitrojenli veya diğer bir organik bileşik bulunmaktadır (4). Lesitin ve sefalin fosfolipidlerin iki ayrı türü olup, başlıca buldukları yerler beyin, sinir hücreleri ve karaciğerdir (5). Diğer lipid grubu olan nötral lipidleri ise trigliseritler, steroidler ve yağ asitleri oluşturmaktadır. Trigliseritler, gliserol ve yağ asitlerinin meydana getirdiği bir bileşik olup, toplam lipid içindeki oranı %80 ile %90 arasındadır. Metabolik enerjiyi depolayan başlıca etkili formdur. Bu bağlamda trigliseritler, karbonhidratlar ve proteinlere oranla daha az okside olurlar ve oksidasyon sırasında belirgin bir şekilde daha az enerji verirler (6). Trigliseritler, genellikle alabalıklarda bulunan adipoz yüzgeci yapısında ve inaktif dokularda yer almaktadır (7). Steroidler, hayvansal dokularda bol miktarda bulunur. En önemli steroidler, steroller ve vitamin D grubu maddelerdir. En önemli sterol ise kolestroldür. Kolestrol, bütün hücrelerde ve kanda, serbest yağ asitleri ile birleşmiş ester olarak bulunur (4). Yağ asitleri uzun zincirli hidrokarbona sahip karboksilik asit gruplarıdır. Balık lipidlerinin içinde yer alan yağ asitlerinin dağılımı, bitkisel ve hayvansal lipidlerdeki yağ asitleri dağılımından daha karmaşıktır. Yağ asitleri içerdikleri karbon sayısına göre sınıflandırılırlar. Karbon sayısı 6 dan az olan yağ asitlerine kısa, 6 - 12 karbonlu yağ asitlerine orta, 13 ve daha büyük sayıda karbon içeren yağ asitlerine ise uzun zincirli yağ asitleri denir. Uzun zincirli yağ asitleri (özellikle C_{20} ve C_{22}) balık lipidlerindeki tüm yağ asitlerinin 1/3 veya 1/4'nü oluşturmaktadır. Karbon zinciri üzerindeki hidrojen atomları tam olan yağ asitlerine doymuş yağ asitleri, eksik olanlara ise doymamış yağ asitleri denir (8). Balık yağı %20 oranında doymuş yağ asitlerini, %80 oranında ise doymamış yağ asitlerini içermektedir (9). Doymuş yağ asitlerinden palmitik asit %13-19, miristik asit %4-8 ve stearik asit %5-8 oranındadır. Balıkların yoğun olarak içerdikleri çoklu doymamış yağ asitleri karbon zincirinin metil grubundan itibaren çift bağın bulunduğu karbona göre ayrılır. İlk çift bağı metil grubundan itibaren üçüncü karbondan olanlara omega - 3 ($n - 3$), altıncı karbondan olanlara omega - 6 ($n - 6$) yağ asiti denilmektedir. En önemli çoklu doymamış yağ asitleri 22 karbon atomlu ve 6 çift bağı dekozaheksaenoik asit (DHA; $C_{22}: 6 n - 3$) ve 20 karbon atomlu 5 çift bağı eikosapentaenoik asitdir (EPA; $C_{20}: 5 n - 3$) (10,5). Bu yağ asitlerinin her ikisinde insanlar tarafından sentezlenemediğinden gıdalar ile alınmaları zorunludur. Bunlar esansiyel olarak kabul edilmekte ve gıda ile alınmaları sağlıklı beslenme açısından büyük önem taşımaktadır (11). Diğer önemli lipid sınıflarından biride

sphingolipidlerdir. Sphingolipid molekülleri sinir hücrelerinin membranında bulunurlar ve karbonhidrat veya fosfolipidler ile baş bölgelerinden bağlıdırlar (6).

3. Lipidlerin Dağılımı

Balık vücudunun her bölgesinde lipid oranı homojen bir dağılım göstermez. Balıklarda lipidler, özellikle kas içerisinde, deri altında, karnın bölgesinde ve karaciğerde depolanmaktadır (12). Yağlı balıklarda, yağ kas fibrilleri arasında kürecikler şeklinde depolanmıştır. Özellikle karnın bölgesinin alt kısımları, yüzgeçler ve kırmızı kaslarda lipid miktarı fazladır (9). Beyaz kasa sahip yağsız balıklar genellikle mevsimsel değişimlerden etkilenen yağlı bir karaciğere sahiptirler (2). Karnın bölgesi bilindiği üzere birçok balık türünde vücudun en yağlı bölümüdür. Bununla beraber, deri altında bulunan lipid oranında azımsanmayacak düzeydedir (13). Genellikle kas yapısında lipid oranı düşük olan köpekbalığı ve mürekkep balığı gibi türlerin lipidleri karaciğerde depolanmıştır (12).

3.1 Lipidlerin Dağılımını Etkileyen Faktörler

Balıklarda lipidlerin dağılımı ve miktarı türlere göre büyük değişim gösterdiği gibi, aynı türün kendi içinde yaşa, cinsiyete ve mevsimlere göre de önemli farklılıklar göstermektedir (2).

□ Üreme göçleri ve mevsimler:

Göç yapan balıkların lipid miktarı mevsimlere bağlı olarak değişmektedir. Sardalya, uskumru ve çaça balıklarında mevsimsel lipid değişimi çok geniş sınırlar içindedir. Yayın balığı, Cyprinidae ve Salmonidae familyasına ait bazı balıklar üreme mevsiminde nehirlerin yukarı bölgesine göç ederler. Bu göç sırasında suyun akış yönünün tersine hareket ettiklerinden büyük enerji harcarlar, bu durumda etlerindeki lipid oranı oldukça azalır. Üreme göçü yapan anadrom ve katadrom balıklarda göç öncesi çok yüksek olan lipid miktarı göç sırasında büyük oranda harcanarak azalır (14).

□ Cinsiyet ve yaş:

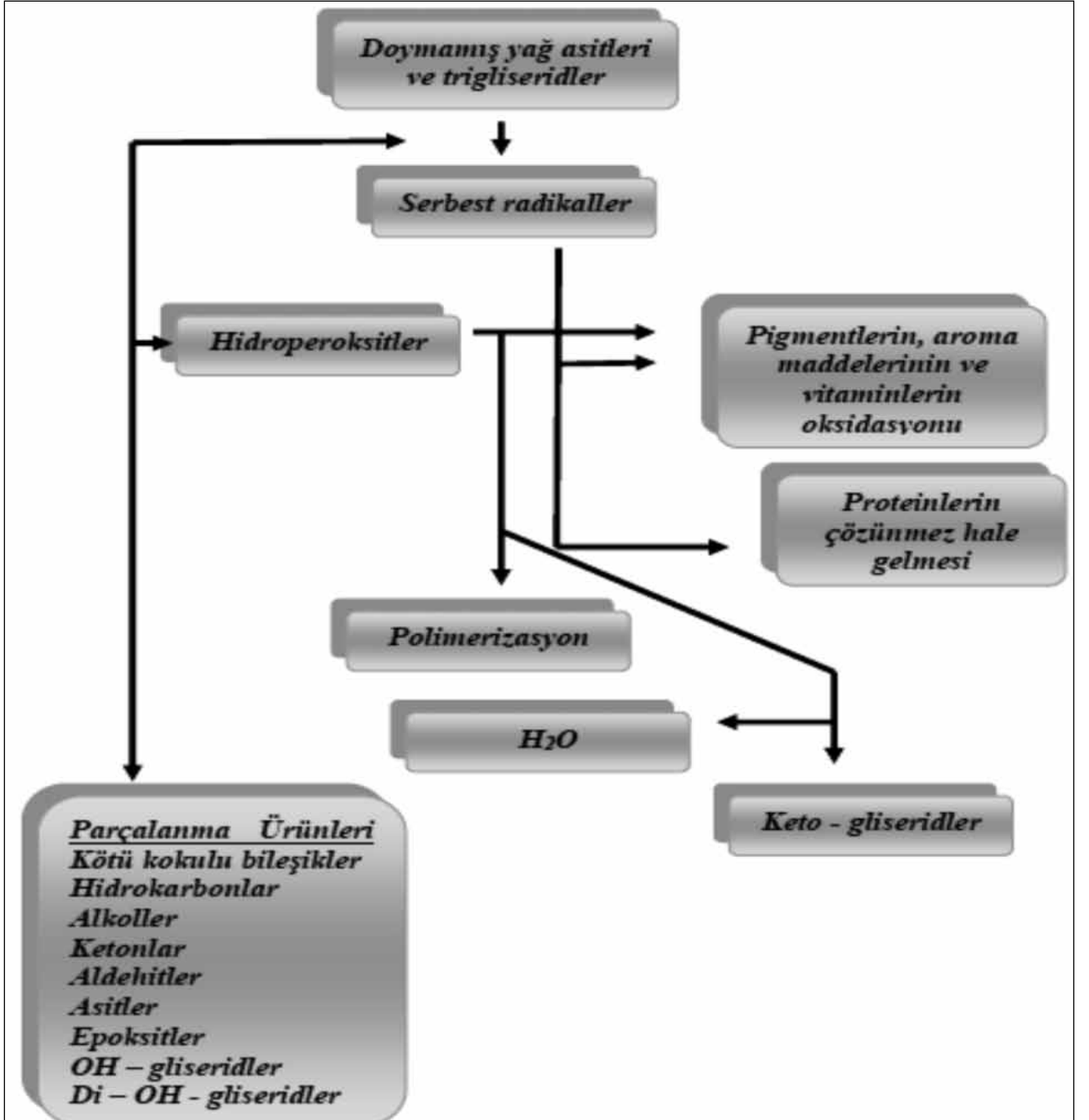
Dişi balıklarda yumurtlama öncesi lipid oranı çok yüksektir. Yumurtlama sırasında gerekli olan enerjiyi vücudundaki lipidten sağlar ve lipidlerde büyük bir yıkım olur. Yavru ve genç balıklarda lipid oranı düşük olup, balığın yaşı ilerledikçe lipid oranında bir artış gözlenmektedir (14).

4. Lipid Oksidasyonu

Lipid oksidasyonu, balıklarda kalite kaybına neden olan en önemli faktördür. Bu, farklı birçok tip gıdada başlıca bozulma reaksiyonu olmasına karşın, özellikle balıkta oldukça fazla miktarda çoklu doymamış yağ asiti içermesi nedeni ile daha etkin olarak görülmektedir

(15). Oksidasyon; hidroliz ve polimerizasyonu içeren pek çok kimyasal reaksiyon ve parçalanmaya bağlı olarak oluşmaktadır. Bu oksidatif değişim, ürünün muhafaza koşullarına, yağ içeriğine ve yağ asitleri kompozisyonuna göre hızlı ve yavaş olarak şekillenmektedir. Yağ asitlerinin doymamışlık derecesi, oksijen, sıcaklık, ışık, zaman ve bünyesindeki antioksidan ve prooksidan (oksidasyonu artırıcı) varlığı yağların oksidasyon hızı ve büyüklüğünü etkileyen başlıca faktörlerdir (16, 5, 9). Balıkta bulunan lipaz ve lipoksidaz enzimleri düşük sıcaklık derecelerine

dayanıklı olup, donmuş balıkta bile aktif durumdadırlar. Bu enzimler yağ yıkım ürünlerinin oluşumuna (Aldehit, keton, asit, peroksit vb.) ve fosfolipidlerin parçalanmasına sebep olurlar. Parçalanma ürünlerinden asit ve karboniller hoş olmayan koku ve tattan sorumludur. Aldehitler ve doymamış yağ asitleri trimetilamin ile birleşirler ve kırmızı kahverengi renk değişimlerine neden olurlar. Dondurularak depolanan balıklarda yağların oksidasyonunun genelde enzimatik olmadığı belirtilirken, lipoksidazların ve mikrozomal enzimlerin lipid oksidasyonunda rol aldığı bildirilmektedir



Şekil 1. Lipid oksidasyonunda oluşan parçalanma ürünleri (19).

(17). İçerdiği yüksek oranda koyu renkli kas içeriği ile özellikle yağlı balıklar oksidasyona beyaz etli, yağsız balıklardan daha hassastırlar. Koyu renkli kaslarda bulunan miyogloblin ve hemoglobin gibi heme pigmentleri, organik asitler ve aminoasitler gibi bileşikler özellikle bazı iz metallerle birleştiklerinde lipid oksidasyonunu katalizleyen en güçlü prooksidanlardır (18, 19, 16).

Lipid oksidasyonunda, balıkta bulunan iki değerli metal iyonları olan Fe^{+2} ve Cu^{+2} , moleküler oksijeni aktif hale getirerek serbest radikal oluşumunda rol oynayan O_2 ve OH' ın oluşumuna neden olarak oksidasyonu katalize etmektedir (19, 17, 15). Bu metal prooksidanlar, hidroperoksitlerin parçalanmasına neden olarak yeni radikallerin oluşumuna yardım etmektedirler (20). Metallerin bu katalitik aktivitesi, indirgenen veya okside olan bir elektronun transferi ile gerçekleşmektedir. Bu reaksiyon, indirgenme yolu ile hidroperoksitlerin aktivasyonu, metallerin oksijen ile doğrudan reaksiyonu ve metal bileşiklerinin oksijen ile kompleks bir yapı oluşturması ve HO radikalının oluşumu olmak üzere üç tipten oluşmaktadır. Deride bulunan yağların oksidasyonu 10 ppm altındaki Fe^{+2} ve Cu^{+2} metallerinin artışı ile oldukça hızlı bir şekilde artmaktadır (16). Ayrıca oksidasyon, karsinojenik ve mutajenik maddelerin ve çoklu doymamış yağ asitlerinin oksidasyonu sonucu meydana gelen malonaldehitin oluşmasına neden olarak gıda güvenilirliğini etkilerken (21), balık etinde bulunan proteinler, karbonhidratlar ve vitaminlerle reaksiyona giren yağlar besin kalitesini de azaltmaktadır. Yağ asitlerinin oksidasyonu, karbon zincirinde bulunan C - H bağına bir molekül oksijenin bağlanması ile hidroperoksit oluşumu ile gerçekleşmektedir. Çoklu doymamış yağ asitlerinin parçalanması ile stabil olmayan hidroperoksit bileşikleri oluşmaktadır.

Oksidasyon sırasında oluşan serbest radikal zincir mekanizması başlangıç, gelişme ve sonuç aşamalarını içermektedir (22). Tepkimenin başlangıç aşamasında, doymamış yağ asidi radikal oluşturabilmek için kararsız yapıdaki bir hidrojenini kaybeder ve diradikal oluşturmak için çift bağa oksijen eklenir. Tek durumdaki (singlet) oksijen doğrudan hidroperoksit oluşturmak için kararsız yapıdaki hidrojenin arasına girer. Her başlangıç işlemi, her biri zincir reaksiyon mekanizmasına katılan iki adet serbest radikal üretmektedir. Gelişme aşamasında, zincir reaksiyonu ile peroksit radikalleri, hidroperoksitler ve yeni hidrokarbon radikalleri oluşturmak üzere devam etmektedir. Oluşan yeni radikal, başka bir oksijen molekülü ile reaksiyona girerek zincire dahil olmaktadır (19). Sonuç mekanizmasında, kararlı bileşikler olmayan hidroperoksitler, pigment, tad, aroma ve

vitaminlerin oksidasyonuna neden olmaktadır. Oksidasyonun ileri aşamasında peroksitler parçalanarak, asitler, ketonlar, aldehitler, alkoller, esterler, laktonlar, epoksitler, aromatik maddeler ve hidrokarbonlar oluşmaktadır (Şekil 1) (19, 23, 5).

Lipidlerin oksidasyon hızı öncelikle yağ asidi dağılımına bağlıdır. Yağ asidindeki çift bağ sayısı arttıkça, lipid oksidasyonu için indüksiyon süresi kısalmakta, buna karşılık bağlı oksidasyon hızı artmaktadır. Hidroperoksit yıkımının başladığı durumda, peroksit değerinin ölçülmesi, lipid oksidasyon derecesinin belirlenmesinde faydalıdır. Ancak uçucu bileşiklerin miktarı artmaya başladığında, bu bileşiklerin derişimini yansıtan TBA sayısı gibi değerlerin belirlenmesi, analitik açıdan daha yararlıdır (24).

4.1 Lipid oksidasyonuna etki eden faktörler

Balıkta meydana gelen lipid oksidasyonu balık türü, yaş, cinsiyet, avlama mevsimi (14), balığın yağ asidi kompozisyonu, yağ asitlerinin doymamışlık derecesi ve fosfolipidlerin miktarı, lipidlerin dağılımı, dokudaki aktivatörlerin ve inhibitörlerin varlığı veya yokluğu (heme pigmenti, metal iyonları, pH değeri, oksidatif enzimler, tokoferol, karetenoid gibi doğal maddeler), ışık, oksijen basıncı, su aktivitesi gibi (19) etmenlerin yanında işleme, dondurma ve donmuş depolama koşulları gibi faktörlerden etkilenmektedir (14).

4.2 Lipid oksidasyonunun kontrolü ve önlenmesinde kullanılan metotlar

Balıkta lipid oksidasyonunun önlenmesinde veya geciktirilmesinde, depolama sıcaklığının düşürülmesi, oksijenin ortamdaki uzaklaştırılması amacıyla glazele uygulaması, vakum paketleme veya antioksidanların ilavesi gibi işlemlerin tek yada birlikte kullanımı etkili olmaktadır (25).

* Antioksidanlar:

Gıdalardaki lipid oksidasyonunun kontrol edilmesinde antioksidan maddelerin kullanımı uzun yıllardır başvurulan yöntemlerden bir tanesidir. A.B.D.'de Gıda ve İlaç Kurumu (Food and Drug Administration) tarafından antioksidanlar; **acılaşmayı, bozulmayı ve renk bozukluğunu geciktirerek gıdanın korunması amacıyla kullanılmasına izin verilen maddeler** olarak tanımlanmış ve 1947 yılından itibaren lipidleri stabilize etmek amacıyla kullanılmıştır (26). Lipidlerin oksidasyonunu önlemek amacıyla kullanılan antioksidanlar, etki mekanizmalarına göre iki farklı gruba ayrılmaktadırlar. Bunlardan ilki lipidin veya yağ asidinin parçalanması ile meydana gelecek radikal oluşumunu engelleyerek işlev gören antioksidanlar, ikincisi ise oluşan

radikallerle birleşerek işlev gören antioksidanlardır. Bu antioksidanlar birlikte kullanılmaları durumunda sinerjetik etki göstererek antioksidan etkiyi arttırmaktadırlar (27).

* **Antioksidanların sınıflandırılması:**

Antioksidan maddeleri temel olarak dört grupta incelemek mümkündür. Birincisi, lipid oksidasyonunda serbest radikal zincirini sonlandıran antioksidanlar (fenolik yapıdaki maddeler); ikincisi, kapalı sistemde oksijenle reaksiyona giren antioksidanlar; üçüncüsü, lipid oksidasyonunu katalize ettiği bilinen demir ve bakır gibi metal iyonlarını bağlayan antioksidanlar ve dördüncüsü, hidroperoksitleri parçalayarak etki gösteren sekonder antioksidanlardır (Çizelge 1) (26).

Çizelge 1. Antioksidanların sınıflandırılması (26).

Antioksidan Grupları*			
A	B	C	D
BHA (Butillendirilmiş hidroksianizol)	L-Askorbil plamitat	Sitrik asit	Dilauril tiyodipropiyonat
BHT (Butillendirilmiş hidroksitoluen)	L-Askorbik asit	EDTA	Tiyodipropiyonik asit
TBHQ (Tert-butil hidroksikinin)	Erithorbik asit		
PG (Propil gallat)	Sodyum erithorbat		
Tokoferol			

***Antioksidan Grupları**

- A: Serbest radikal oluşumunu önleyen antioksidanlar
- B: Oksijenle reaksiyona giren antioksidanlar
- C: Metal iyonlarını bağlayan antioksidanlar
- D: Hidroperoksitleri parçalayan antioksidanlar

• **Glaze uygulaması:**

Özellikle yağlı balıklarda donmuş depolama sırasında oksidasyonu ve acılaşmayı geciktirmede en etkili ve en çok başvurulan yöntemlerden biri glaze uygulamasıdır. Glazelendirme bütün haldeki balığın ince bir buz tabakası ile kaplanması işlemidir (28). Balık dondurulduktan sonra çoğunlukla bir kez, nadiren birkaç kez 10-20 sn süre ile soğuk suya daldırılır veya balığın üzerine soğuk su püskürtülür (9). Dondurularak depolanan balıklarda glaze, ürünü oksidasyona karşı korumasının yanında üründen su kaybını (dehidrasyonu) azaltır. Donmuş üründe dehidrasyon, hidroperoksitlerle metal katalizatörler arasındaki interaksiyonu kolaylaştırmakta ve metaller oksidasyonu katalize ederek hidroperoksitlerin yıkımını arttırmaktadırlar (29).

* **Vakum paketlenme ve MAP (Modifiye atmosfer ile paketlenme):**

Balık gibi çabuk bozunabilen gıdaların soğukta depolanması sırasında mikroorganizmaların gelişimini kontrol altında tutarak raf ömrünü artırmak için vakum paketlenme, modifiye atmosferde paketlenme (MAP) ve sous-vide gibi ambalajlama teknikleri ile ilgili araştırmalar ve uygulamalar son yıllarda öne çıkmaktadır. Vakum paketlenmede ambalaj içindeki oksijenin uzaklaştırılması ile aerobik mikroorganizma gelişimi ve oksidasyon problemi en aza indirilmekte, modifiye atmosferle paketlenmede ise ürün etrafındaki oksijen miktarının azaltılmasının yanı sıra pakete karbondioksit de ilave edilerek mikroorganizma gelişimi daha da sınırlandırılmaktadır. Bu ambalajlama

sistemleri sayesinde soğukta depolanan balıkların daha uzun raf ömrüne sahip olmalarını sağlamak mümkün olabilmektedir (30).

5.Sonuç

Balık içerdiği zengin besin bileşenleri ile insan beslenmesinde önemli rol oynamaktadır. Özellikle bünyesinde bulunan çoklu doymamış yağ asitleri başta kalp damar rahatsızlıkları olmak üzere depresyon, migren, eklem romatizmaları, şeker hastalığı, yüksek kolesterol ve tansiyon, bazı alerji türleri ile kanser gibi bir çok hastalıktan korunmada önemli etkiye sahiptir. Bu bağlamda, balıkta bulunan lipidlerin yapısal özellikleri, balık etinde kaliteyi önemli ölçüde etkileyen lipid oksidasyonunun oluşumu ile oksidasyonu etkileyen faktörler ve oksidasyondan korunma yöntemlerinin anlaşılması insan beslenmesi açısından oldukça önemlidir.

KAYNAKLAR

1. Stansby, M. E. 1982. Properties of Fish Oils and Their Application to Handling of Fish and to Nutritional and Industrial Use. In: Chemistry and Biochemistry of Marine Food Products, (Ed. R. E. Martin, G. J. Flick, C. E. Hebard and D. R. Ward), AVI Publ., p. 474. Westport, Connecticut.
2. Ackman, R. G. 1989. Nutritional Composition of Fats in Seafoods. *Progress in Food and Nutrition Science*, 13; 161-241.
3. Fessenden, R. J. and Fessenden, J. S. 1990. Organic Chemistry. Brooks / Cole Publishing Company, p. 1226, United States of America.
4. Akyurt, İ. 1993. Balık Besleme. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, s. 219, Erzurum.
5. Yıldız, M. 1995. Soğuk Depolamanın Gökkuşluğu Alabalığının (*Oncorhynchus mykiss*) Protein ve Yağ Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi. Yüksek lisans tezi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul.
6. De Silva, S. S. and Anderson, A. T. 1995. Fish Nutrition in Aquaculture. St. Edmundsbury Press, p. 319, Great Britain.
7. Hoşsu, B. ve Korkut, Y. 1996. Balık Besleme ve Yem Teknolojisi (I) (Balık Besleme Fizyolojisi ve Biyokimyası). E. Ü. Su Ürünleri Fakültesi Yayınları: 50; s.157, Bornova, İzmir.
8. Norman, O. V. S. 1979. Structure and Composition of Fat and Oils. Bailey's Industrial Oil and Fat Products (Ed. Swern, D.), Fourth Edition, 1; 1-98.
9. Vartık, C., Erkan, N., Özden, Ö., Mol, S. and Baygar, T. 2004. Su Ürünleri İşleme Teknolojisi. İstanbul Üniversitesi Yayın No: 4465, Su Ürünleri Fakültesi No:7; s.491, İstanbul.
10. Kinsella, J. E. 1988. Fish and Seafoods: Nutritional Implications and Quality Issues. *Food Technology*, May; 146-150.
11. Mol, S. 2008. Balık Yağı Tüketimi ve İnsan Sağlığı Üzerine Etkileri. *Journal of Fisheries Sciences*, 2 (4); 601-607.
12. Gülyavuz, H. ve Ünlüsayın, M. 1999. Su Ürünleri İşleme Teknolojisi. Süleyman Demirel Üniversitesi Eğirdir Su Ürünleri Fakültesi, s.366, Isparta.
13. Anonymous. 1980. *Advances in Fish Science and Technology*, Farnham, Fishing Books, p.1200, England.
14. Göğüş, A. K. ve Kolsarıcı, N. 1992. Su Ürünleri İşleme Teknolojisi. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları: 1243, Ders Kitabı: 358; s.260, Ankara.
15. Hultin, H. O. 1994. Oxidation of Lipids in Seafoods. In: *Seafoods: Chemistry, Processing, Technology and Quality* (Ed. Shahidi, F., Botta, R.), Chapman & Hall, p.335, London.
16. Hsieh, R. J. and Kinsella, J. E. 1989. Oxidation of Polyunsaturated Fatty Acids: Mechanisms, Products and Inhibition with Emphasis on Fish. *Advances in Food and Nutrition Research*, 33; 233-241.
17. Sikorski, Z.E. 1990. *Seafood: Resources, Nutritional Composition, and Preservation*. CRC Press, Inc., Boca Raton, p.288, Florida.
18. Ke, P. J. and Ackman, R. G. 1976. Metal Catalyzed Oxidation in Mackerel Skin Meat Lipids. *Journal of American Oil Chemists Society*, 53; 636-638.
19. Khayat, A. and Schwall, D. 1983. Lipid Oxidation in Seafood. *Food Technology*, July; 130-140.
20. Fennema, O. R. 1976. *Principles of Food Science. Part I. Food Chemistry*, Marcel Dekker, Inc., p.792, New York and Basel.
21. Shamberger, R. J., Shamberger, B. A. and Willis, C. E. 1974. Antioxidants and Cancer. IV. Initiating Activity of Malonaldehyde as a Carcinogen. *Journal of National Cancer Institute*, 53; 177.
22. Gray, J. I. 1978. Measurement of Lipid Oxidation: A Review. *Journal of American Oil Chemists Society*, 55; 539-545.
23. Ostendorf, J. P. 1987. Antioxidants in The Food Industry. The First International Symposium on The Food Industry. *Food Additives*, 383-397.
24. Belitz, H. D. and Grosch, W. 1982. *W. Lehrbuch Der Lebensmittelchemie*, Springer-Verlag, Berlin.
25. Hwang, K. T. and Regenstein, J. M. 1988. Protection of Menhaden Mince Lipids from Rancidity During Frozen Storage. *J. Food Sci.*, 54; 1120-1124.
26. Dziejak, J. D. 1986. Preservatives: Antioxidants. *Food Technol.*, September; 94-102.
27. Sherwin, E. R. 1976. Antioxidants for Vegetable Oils. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 53; 430-436.
28. Freeman, K. 1992. Frozen Seafood. *Meat and Poultry*, March; 14-17.
29. Labuza, T. P. 1971. Kinetics of Lipid Oxidation in Foods. *Crit. Rev. Food Technol.*, 2; 355.
30. Mol, S. and Özturan, S. 2009. Sous-vide Teknolojisi ve Su Ürünlerindeki Uygulamalar. *Journal of Fisheries Sciences*, 3(1); 68-75.