

T.C.
YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
KİMYA ANABİLİM DALI

**VAN İLİ ÇATAK İLÇESİNDE YETİŞTİRİLEN ALABALIKLARDA
(*Oncorhynchus Mykiss*) BAZI ANTİOKSİDANLAR VE YAĞ ASİTLERİ
DÜZEYLERİNİN MEVSİMSEL DEĞİŞİMİNİN İNCELENMESİ**

DOKTORA TEZİ

HAZIRLAYAN: Aslı ÇİLİNGİR YELTEKİN
DANIŞMAN: Doç. Dr. İbrahim Hakkı YÖRÜK

VAN-2012

T.C.
YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
KİMYA ANABİLİM DALI

**VAN İLİ ÇATAK İLÇESİNDE YETİŞTİRİLEN ALABALIKLARDA
(*Oncorhynchus Mykiss*) BAZI ANTİOKSİDANLAR VE YAĞ ASİTLERİ
DÜZEYLERİNİN MEVSİMSEL DEĞİŞİMİNİN İNCELENMESİ**

DOKTORA TEZİ

HAZIRLAYAN: Aşlı ÇİLİNGİR YELTEKİN

VAN-2012

Bu çalışma YYÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Başkanlığı'nın 2010-FBE D045 no'lu projesiyle desteklenmiştir.

KABUL VE ONAY SAYFASI

Kimya Anabilim Dalı'nda Doç. Dr. İbrahim Hakkı YÖRÜK danışmanlığında, Aslı ÇİLİNGİR YELTEKİN tarafından hazırlanan “**Van İli Çatak İlçesinde Yetiştirilen Alabalıklarda (*Oncorhynchus Mykiss*) Bazı Antioksidanlar ve Yağ Asitleri Düzeylerinin Mevsimsel Değişiminin İncelenmesi**” isimli bu çalışma Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği'nin ilgili hükümleri gereğince 21/06/2012 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile başarılı bulunmuş ve doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan: Prof.Dr. Nihat MERT

İmza:

Üye: Prof.Dr. Arif EYNULLAYEV

İmza:

Üye: Prof.Dr. Halit DEMİR

İmza:

Üye: Doç.Dr. İbrahim Hakkı YÖRÜK

İmza:

Üye: Yrd.Doç.Dr. Semih YAŞAR

İmza:

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun .../.../..... tarih ve sayılı kararı ile onaylanmıştır.

İmza

Enstitü Müdürü

ÖZET

VAN İLİ ÇATAK İLÇESİNDE YETİŞTİRİLEN ALABALIKLARDA (*Oncorhynchus Mykiss*) BAZI ANTIOKSİDANLAR VE YAĞ ASİTLERİ DÜZEYLERİNİN MEVSİMSEL DEĞİŞİMİNİN İNCELENMESİ

ÇİLİNGİR YELTEKİN, Aslı
Doktora Tezi, Kimya Anabilim Dalı
Tez Danışmanı: Doç. Dr. İbrahim Hakkı YÖRÜK
21. 06. 2012, 108 Sayfa

Bu çalışmada, alabalıklarda antioksidan ve yağ asitlerinin mevsimsel değişimlerinin incelenmesi amacıyla 2010 yılı mevsimlerinin ikinci aylarının ikinci hafta sonlarında Van'ın Çatak ilçesinde bulunan EL-FA alabalık üretim tesisinden balık numunesi temin edilmiştir. Her mevsimde 15'er adet 200-250 g'lık porsiyon balık olmak üzere toplamda 60 adet Gökkuşaağı alabalığı alınmıştır. Balıklardan aynı şekilde kan ve kas dokusu alındıktan sonra plazma ve eritrosit paketleri elde edilip derin dondurucuda dondurulmuştur. Alabalık kas dokusunda retinol, α - tokoferol, vitamin C, MDA ve yağ asidi, plazma örneklerinde retinol, α - tokoferol, vitamin C ve MDA, eritrosit paketlerinde ise SOD, GSH-Px ve CAT düzeyleri tespit edilmiştir. Kas dokusunda bulunan retinol, α - tokoferol, vitamin C ve MDA istatistiksel olarak ($p<0.0001$) düzeyinde. Plazma α - tokoferol, vitamin C ve MDA değişimleri istatistiksel olarak ($p<0.0001$) düzeyinde, retinol seviyesi ($p<0.005$) düzeyinde önem göstermiştir. SOD, CAT ve GSH-Px seviyeleri arasındaki farklılık ($p<0.0001$) düzeyinde önem göstermiştir. Yağ asitleri analizlerinde 20 adet yağ asidi tespit edilmiş olup mevsimlere göre C22:1n9 yağ asidi ($p<0.05$) düzeyinde, C12:0, C16:0, C22:6n3 yağ asitleri ($p<0.01$) düzeyinde ve geriye kalan C14:0, C15:0, C16:1, C18:0, C18:1n9, C18:2n6c, C20:0, C18:3n6, C20:1, C18:3n3, C20:2n9, C20:3n6, C20:3n3, C20:5n3, C20:4n6, C22:5n3 yağ asitleri ise ($p<0.001$) düzeyinde değişim göstermiştir.

Sonuç olarak vitamin A, C, E, MDA, SOD, CAT, GSH-Px, ve yağ asitleri düzeylerinin mevsimler arasında önemli farklılıklar gösterdiği ve özellikle sonbahar mevsiminde gözlenen değişimlerin dikkat çeker nitelikte olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Sözcük: Alabalık, antioksidan enzimler, antioksidan vitaminler, yağ asiti.

ABSTRACT

THE INVESTIGATION OF THE SEASONAL CHANGES IN THE SOME ANTIOXIDANT AND FATTY ACID LEVELS OF RAINBOW TROUTS (*Oncorhynchus Mykiss*) BREEDDED IN ÇATAK DISTRICT OF VAN COUNTRY

ÇİLİNGİR YELTEKİN, Aslı

PhD, Chemistry Science

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. İbrahim Hakkı YÖRÜK

21. 06. 2012, 108 pages

In this study, during the year 2010, second months of each four seasons and second weeks of the respective months fish samples were obtained from EL-FA trout production facility in Çatak, the district of Van. For this aim, 15 pieces, each of them with 200-250 g portions, were taken in each season making a total of 60 rainbow trout. In each season, after blood and muscle tissues were collected from the fishes, plasma and erythrocyte packages were obtained, and freezed in the deep freezer. In muscle tissues: retinol, α - tocopherol, vitamin C, MDA and fatty acids; in plasma: retinol, α - tocopherol, vitamin C, MDA; and in erythrocytes: SOD, GSH-Px and CAT levels were detected. Retinol, α - tocopherol, vitamin C and MDA available in muscle tissues changed statistically ($p<0.0001$) level. While α - tocopherol, vitamin C and MDA available in plasma changed statistically ($p<0.0001$) level, retinol exhibited change at ($p<0.005$) level. SOD, CAT ve GSH-Px exhibited change at ($p<0.0001$) level. As for fatty acids, total of 20 fatty acids were detected, which were exhibited change levels of ($p<0.05$) for C22:1n9 fatty acid, ($p<0.01$) for C12:0, C16:0, C22:6n3 fatty acids and ($p<0.001$) the rest of C14:0, C15:0, C16:1, C18:0, C18:1n9, C18:2n6c, C20:0, C18:3n6, C20:1, C18:3n3, C20:2n9, C20:3n6, C20:3n3, C20:5n3, C20:4n6, C22:5n3 fatty acids.

In conclusion, vitamin A, C, E, MDA, SOD, CAT, GSH-Px and fatty acid levels showed significant differences between seasons, and in particular, the changes observed during autumn was found to be remarkable.

Keywords: Antioxidant enzymes, antioxidant vitamins, fatty acid, trout

ÖNSÖZ

İnsan sağlığı için büyük öneme sahip olan antioksidanlar ve yağ asitleri özellikle balıklarda omega -3 yağ asitlerinin gerekliliği üzerine olan çalışmalar her geçen gün daha da artmaktadır. Yüksek oranda protein, vitaminler, yağ asitleri ve diğer pek çok kıymetli besinleri içeren balıklar, insanlar tarafından sağlıklı gıda desteği olarak tüketilmektedir ve bu nedenle dünya pazarlarında önemli bir yere sahiptir.

Günümüzde, özellikle gelişmiş ülkelerde insanlar, beslenmelerine çok dikkat etmekte ve beslenme rejimlerinde sağlık açısından uygun gıdaları seçmeye özen göstermektedirler. Bu gıdalar içerisinde de ilk sırayı çoklu doymamış yağ asitleri yönünden zengin olan balık ve diğer su ürünleri almaktadır.

Besin bileşenlerinin incelenmesi ve besin maddelerinin sağlığımız üzerindeki etkisinin bilinmesi ile balık, önemli bir protein kaynağı olarak da değerlendirilmektedir. Antioksidan bileşikler bakımından, karasal kaynaklı gıdaların yanı sıra su ürünleri de önemli yere sahiptir. Balıklar içerdikleri çeşitli antioksidan vitaminler bakımından oldukça zengindir.

Bu amaçla tezde hem besin değeri bakımından ve hem de ticari üretimi bakımından her geçen gün önemi artan bir balık türü olan Gökkuşaağı alabalığı seçilmiştir. Gökkuşaağı alabalığının tüketilmesinin antioksidanlar, vitaminler ve yağ asitleri bakımından oldukça önemli olduğu ve bunların mevsimsel değişimden nasıl etkilendikleri ortaya konmuştur. Ayrıca tez çalışmasında kullanılan Gökkuşaağı alabalıkları Van ili için üretim ve yetiştiriciliğinde önemli bir yeri olan Çatak ilçesinden sağlanmıştır. Bu doktora tezi, Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Anabilim Dalı, Biyokimya Bilim Dalı doktora programında yapılmıştır.

Doktora tezimi yöneten, tez konumun belirlenmesinden başlayarak çalışmamın her aşamasında yakın ilgi ve yardımlarını gördüğüm, hoşgörü ve ilgisiyle bana her zaman destek veren, saygıdeğer danışman hocam sayın Doç. Dr. İbrahim Hakkı YÖRÜK' e, tez süresince çalışmalarımı izleyen, yönlendiren ve çalışmalarım ile ilgili bilgi ve önerileriyle hep olumlu katkılar sağlayan çok değerli hocam sayın Prof. Dr. Nihat MERT' e, Prof. Dr. Halit DEMİR' e ve çalışmalarım da manevi desteğini de hiç esirgemeyen muhterem hocam sayın Prof. Dr. Arif EYNULLAYEV' e sonsuz şükranlarımı sunarım. Yağ asiti analizlerinin yapılmasını sağlayan Gıda Mühendisliği

Bölümü öğretim üyesi sayın Doç. Dr. İsa CAVİDOĞLU' na, bölümümüz laboratuvarlarını ve imkânlarını kullanmamızı sağlayan bölüm başkanımıza, Ana Bilim Dalı Öğretim üyelerine ve mali destek sağlayan Yüzüncü Yıl Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Başkanlığına, doktora süresince yardımlarını ve dostluklarını hiç esirgemeyen arkadaşım Arş. Gör. Metin ÇELEBİ' ye ölçüm ve analiz çalışmalarında yardımlarını esirgemeyen Uzm. Yunus GÜLTAKTI' ya, teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

Çalışmalarım esnasında daima yanımda olan ve beni her zaman destekleyen değerli eşime, kızıma ve aileme çok teşekkür ederim.

Ashı ÇİLİNGİR YELTEKİN

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	iii
ÖNSÖZ	v
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiii
1.GİRİŞ	1
1.1. Gökkuşuğu Alabalığı ve Alabalıkgillerin Özellikleri	1
1.2. Serbest Radikaller	3
1.2.1. Serbest oksijen radikallerinin tanımı	3
1.2.2. Reaktif oksijen türleri (ROS)	5
1.2.2.1. Hidrojen peroksit (H_2O_2)	5
1.2.2.2. Süperoksit radikali ($O_2^{\cdot -}$)	6
1.2.2.3. Hidroksil radikali ($\cdot OH$) ve Haber-Weiss tepkimesi	7
1.2.2.4. Nitrit (NO_2) ve Nitrat (NO_3)	8
1.2.2.5. Singlet oksijen (1O_2)	10
1.2.2.6. Lipid peroksidasyonu (MDA)	10
1.2.3. Oksidatif stres ve etkileri	11
1.2.4. Hücredeki reaktif oksijen türlerinin (ROS) kaynakları	12
1.2.5. Serbest radikallerin metabolizmaya etkileri	15
1.2.5.1. Serbest radikallerin metabolizmaya zararlı etkileri	15
1.2.5.2. Serbest radikallerin metabolizmaya yararlı etkileri	18
1.3. Antioksidanlar	19
1.3.1. Antioksidanların tanımı	19
1.3.2. Antioksidanların sınıflandırılması	19
1.3.2.1. Enzimatik antioksidanlar	20
1.4. Vitaminler	24

1.4.1. Vitamin A	24
1.4.2. Vitamin C (askorbik asit)	25
1.4.3. Vitamin E	26
1.5. Lipidler ve Genel Özellikleri	28
1.5.1. Yağlar	29
1.5.2. Yağ asitleri	30
1.5.3. Yağ asitlerinin isimlendirilmesi	31
1.5.4. Yağ asitlerinin sınıflandırılması	32
1.5.5. Yağ asitlerinin insan sağlığına etkisi	36
1.5.6. Balık yağlarının özellikleri	39
2. KAYNAK BİLDİRİŞLERİ	42
3. MATERYAL VE YÖNTEM	52
3.1. Materyal	52
3.1.1. Kullanılan alet ve malzemeler	52
3.1.2. Kimyasal Maddeler	53
3.2. Yöntem	54
3.2.1. Eritrosit paketlerinin hazırlanması	54
3.2.2. Vitamin A ve E ölçümü	54
3.2.3. Vitamin C ve MDA tayini	55
3.2.4. SOD Enzim aktivitesi tayini	56
3.2.5. CAT enzim aktivitesi tayini	57
3.2.6. GSH-Px Enzim aktivitesi tayini	59
3.2.7. Yağ asidi bileşiminin belirlenmesi	60
3.3. Verilerin istatistiksel analizi	61
4. BULGULAR	62
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	85
KAYNAKLAR	95
ÖZGEÇMİŞ	108

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1. Serbest radikal oluşumu, antioksidant metabolizma ve lipid peroksidasyonu.	15
Şekil 1.2. Radikallerin yol açtığı hücre hasarı.	17
Şekil 1.3. Serbest radikal aracılı oksidatif DNA hasarı.	18
Şekil 1.4. Glutatyonun okside ve redükte formları arasında dönüşümü.	22
Şekil 1.5. Okside glutatyonun (GSSG) tekrar indirgenmiş glutatyona (GSH) dönüşümü.	23
Şekil 1.6. Vitamin A'nın yapısı.	25
Şekil 1.7. L- Askorbik asitin yapısı.	26
Şekil 1.8. Vitamin E'nin (α -Tokoferol) yapısı.	27
Şekil 1.9. Omega-6 ve omega-3 yağ asitlerinin biyosentezi.	35
Şekil 4.1. Gökkuşaağı alabalığının kasındaki retinol düzeylerinin mevsimlere göre değişimi.	63
Şekil 4.2. Gökkuşaağı alabalığının plazmasındaki retinol düzeylerinin mevsimlere göre değişimi.	64
Şekil 4.3. Gökkuşaağı alabalığının kasındaki α -tokoferol düzeylerinin mevsimlere göre değişimi	65
Şekil 4.4. Gökkuşaağı alabalığının plazmasındaki α -tokoferol düzeylerinin mevsimlere göre değişimi.	66
Şekil 4.5. Gökkuşaağı alabalığının kası vitamin C düzeylerinin mevsimlere göre değişimi.	67
Şekil 4.6. Gökkuşaağı alabalığının plazma vitamin C düzeylerinin mevsimlere göre değişimi.	68
Şekil 4.7. Gökkuşaağı alabalığının kası MDA düzeylerinin mevsimlere göre değişimi.	69
Şekil 4.8. Gökkuşaağı alabalığının plazma MDA düzeylerinin mevsimlere göre değişimi.	70
Şekil 4.9. Gökkuşaağı alabalığının eritrosit SOD düzeylerinin mevsimlere	

göre değişimi.	71
şekil 4.10. Gökkuşağı alabalığının eritrosit CAT düzeylerinin mevsimlere göre değişimi.	72
şekil4.11. Gökkuşağı alabalığının eritrosit GSH-Px düzeylerinin mevsimlere göre değişimi.	73
şekil 4.12. Vitamin A (retinol) standardına ait HPLC kromatogramı.	77
şekil 4.13. Gökkuşağı alabalığı Vitamin A HPLC kromatogramından bir örnek.	78
şekil 4.14. α -tokoferol standardına ait HPLC kromatogramı.	79
şekil 4.15. Gökkuşağı alabalığı α -tokoferol HPLC kromatogramından bir örnek.	80
şekil 4.16. Vitamin C ve MDA standartlarına ait HPLC kromatogramı.	81
şekil 4.17. Gökkuşağı alabalığı Vitamin C ve MDA HPLC kromatogramından bir örnek.	82
şekil 4.18. Yağ asitleri standartlarına ait GC kromatogramı.	83
şekil 4.19. Gökkuşağı alabalığı örneklerinden birine ait yağ asitlerinin GC kromatogramı.	84

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 1.1. Serbest radikallerin oluşum kaynakları	13
Çizelge 1.2. Antioksidanların sınıflandırılması	20
Çizelge 1.3. Bazı gıda örneklerinin yağ miktarları	30
Çizelge 1.4. Bazı yağ asitlerinin isimlendirilmesi	31
Çizelge 1.5. Doymamış yağ asitleri	33
Çizelge 1.6. Yağ asitlerinin erime noktaları ve kaynakları	34
Çizelge 2.1. Bazı balık etlerinin besin madde içeriği yönünden diğer bazı çiftlik hayvanlarıyla karşılaştırılmaları	42
Çizelge 3.1. Balıkların bulunduğu havuzların ortam şartları	52
Çizelge 3.2. Kullanılan gaz kromatografisi cihazının çalışma şartları	61
Çizelge 4.1. Gökkuşaağı alabalığının kasındaki retinol düzeylerinin mevsimlere göre değişimi	62
Çizelge 4.2. Gökkuşaağı alabalığının plazmasındaki retinol düzeylerinin mevsimlere göre değişimi	63
Çizelge 4.3. Gökkuşaağı alabalığının kasındaki α - tokoferol düzeylerinin mevsimlere göre değişimi	64
Çizelge 4.4. Gökkuşaağı alabalığının plazmasındaki α - tokoferol düzeylerinin mevsimlere göre değişimi	65
Çizelge 4.5. Gökkuşaağı alabalığının kasındaki vitamin C düzeylerinin mevsimlere göre değişimi	66
Çizelge 4.6. Gökkuşaağı alabalığının plazmasındaki vitamin C düzeylerinin mevsimlere göre değişimi	67
Çizelge 4.7. Gökkuşaağı alabalığının kasındaki MDA düzeylerinin mevsimlere göre değişimi	68
Çizelge 4.8. Gökkuşaağı alabalığının plazmasındaki MDA düzeylerinin mevsimlere göre değişimi	69
Çizelge 4.9. Gökkuşaağı alabalığının eritrositlerindeki SOD düzeylerinin mevsimlere göre değişimi	70
Çizelge 4.10. Gökkuşaağı alabalığının eritrositlerindeki CAT düzeylerinin	

mevsimlere göre değişimi	71
Çizelge 4.11. Gökkuşağı alabalığının eritrositlerindeki GSH-Px düzeylerinin mevsimlere göre değişimi	72
Çizelge 4.12. Gökkuşağı alabalığının kas dokusunda bulunan yağ asiti düzeylerinin mevsimlere göre değişimi (%)	74

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

α	:Alfa
β	:Beta
ATP	: Adenozin trifosfat
$^{\circ}\text{C}$	: Santigrat derece
CAT	: Katalaz
DHA	:Dokosaheksaenoik asit
DNA	: Deoksiribonükleik asit
Δ	: Delta
EPA	: Ekosapentanoit asit
GR	: Glutasyon redüktaz
GSH	: Redükte glutasyon
GSH-Px	: Glutasyon peroksidaz
GSSG	: Okside glutasyon
GST	:Glutasyon S- transferazlar
Hb	:Hemoglobin
HDL	:Yüksek yoğunluklu lipoprotein
HUFA	:Yüksek doymamış yağ asitleri
8OHdG	:8-Hidroksideoksiguanozin
4-HNE	:4-Hidroksinonenal
H_2O_2	:Hidrojen peroksit
$\text{HO}\cdot$	: Hidroksil radikali
$\text{HO}\cdot_2$	: Hiperoksil radikali
IU	: İnternational unit
l	: Litre
LDL	: Düşük yoğunluklu lipoprotein
MDA	: Malondialdehit
MUFA	:Tekli doymamış yağ asitleri
mg	: Miligram

μg	:Mikrogram
μmol	:Mikromol
ml	:Mililitre
mmol	:Milimol
$\text{NO}\cdot$	:Nitrik oksit
nmol	:Nanomol
NO_3	:Nitrat
NO_2	:Nitrit
ω	:Omega
ONOO^-	:Peroksinitrit
$\text{O}_2\cdot^-$	:Süperoksit
PUFA	:Çoklu doymamış yağ asitler
ROOONO	:Alkil peroksinitrit
$\text{RO}\cdot$	:Alkoksil
$\text{RO}\cdot_2$	:Peroksil
ROM	:Reaktif oksijen molekülleri
ROP	:Reaktif oksijen partikülleri
ROS	:Reaktif oksijen türleri
SFA	:Doymuş yağ asitleri
SOD	:Süperoksit dismutaz
U	:Ünite
VLDL	:Çok düşük yoğunluklu lipoprotein

1. GİRİŞ

Türkiye iç su potansiyeli yönünden oldukça zengin olup, 906.118 hektar tabii göl, 300.000 hektar baraj gölü ve gölet ile 145.000 km uzunluğunda akarsu şebekesine sahiptir (Aras ve ark., 2000). Bu su potansiyelinin 1/3'ü Doğu Anadolu Bölgesinde bulunmaktadır. Burada Fırat, Aras, Çoruh, Van Gölü olmak üzere dört büyük havza yer almaktadır (Akyurt ve ark., 1990). Bölgenin iç sularında 40'ın üzerinde balık türü bulunmakta, bunların hemen hemen tamamını *Cyprinidae*, *Salmonidae*, *Siluridae* familyaları oluşturmaktadır (Kuru, 1975). Kuru (1971), Doğu Anadolu Bölgesi'nin yüksek yaylalarından çıkan Fırat-Dicle, Kura-Aras ve Çoruh nehirlerinde incelenen balık faunasında 34 tür olduğunu belirtmiştir.

Balık üretiminde önemli bir yere sahip olan Gökkuşığı alabalıklarının biyolojisi üzerine yabancı ve yerli araştırmacılar tarafından birçok çalışma yapılmıştır. (Aras ve ark., 2000).

Van ili Çatak ilçesi iki çayın birleştiği bir vadide yer almaktadır. Çevresi ormanlık olup Çatak çayları alabalığı ile ün yapmıştır. Bu nedenle sunulan çalışmada Van'ın Çatak ilçesinden numune alımı gerçekleştirilmiştir.

1.1. Gökkuşığı Alabalığı ve Alabalık gillerin Özellikleri

Atlantik salmon, pasifik salmon ve Gökkuşığı alabalığı genel olarak “salmonidler” ya da alabalık giller olarak isimlendirilmektedirler. Bu balıklar dünyada kültürü en fazla yapılan karnivor balıklardır. Salmon ve troutların (deniz alası ve alabalık) bazı türleri çok geniş çevre şartlarında, örneğin 0°C'den maksimum 28°C'ye kadar olan su sıcaklıklarında yaşamaktadırlar. Su sıcaklığı 2-15°C'de yumurtlayabilmekte 6-25°C'lerde ise başarılı bir şekilde gelişmektedirler. Gökkuşığı alabalığı salmonidae familyasında *Oncorhynchus mykiss* olarak bilinir ve pasifik salmon cinsine tabidir. Familyası. Bu familyada Atlantik salmon (*Salmo salar*), alp alaları (*Salvelinus* spp), buzul alası (*S. alpinus*), buzul tymalusu (*Thymallus arcticus*) ve beyaz balıklar (*Coregonus* sp.) da bulunmaktadır.

Gökkuşığı alabalıkları genellikle tatlı sularda yaşamakta olup pek çok türü post juvenil dönemlerinde tuzluluk derecesi azar azar arttırıldığında denizdeki hayata adapte olmaktadır (75-100 g). Bu da kültürü yapılan diğer alabalıklarla karşılaştırıldığında Gökkuşığı alabalığının üstün yönüdür. Gökkuşığı alabalığı dünyada yüzlerce yıldır kültürü yapılan en yaygın alabalıktır. Çok geniş sıcaklık derecelerini tolere etmektedir. Su kalitesi bakımından yüksek derecede oksijenli su ister ve en iyi 13-18°C'ler arasında büyür. Gıda olarak oldukça kalitelidir, eti diyetlerine bağlı olarak kırmızı (pigmentli) veya beyaz (pigmentsiz) olabilir.

Gökkuşığı alabalıkları göllerde, nehirlerde ve derelerde yaşamaktadırlar. Alabalıklar üreme döneminde yumurtaları akarsu yatağının beş on santim altına, çakılların arasına yarı gömülü vaziyette bırakır. Kuluçka sürecinde larva (alevin) ve yavru (Fry) dönemlerinde midelerinde protein depolanan keseler tükeninceye kadar çakıllar arasındaki boşluklardan çıkmazlar. Taki midelerinde protein depolanan keseler tükenince çakıllar arasından çıkıp gerçek dünyada önce zooplanktonları, sonrada balıklar yetişkin olduğunda böcekleri, kabukluları ve diğer balıkları yem olarak tüketmektedirler. Yumurtlamaları bulunduğu yetiştirme suyu sıcaklık şartlarına bağlı olarak geniş bir zamana yayılsada genellikle suyun sıcaklığına bağlı olarak değişmektedir. Bir balık her seferinde yaklaşık 10.000 civarında yumurta bırakabilir. Bu yumurtalar erkek balık tarafından döllendikten sonra çukur hafif olarak çakıllarla örtülür. Üreme periyotları Eylül ve Ekim ayında başlayıp, Aralık ve Ocak ayına kadar devam etmektedir (Slastenenko, 1955). Çatak çayında, 4 yaştaki fertlerin % 50'den fazlasının cinsel olgunluğa ulaştığı belirlenmiş, 2 ve 3 yaşındaki balıklarda da cinsel olgunluğa ulaşan fertler görülmüştür (Çetinkaya, 1996).

Yumurtaların gelişmeleri ve açılmaları için gerekli süre çevre suyu sıcaklığıyla doğrudan ilişkilidir. Gökkuşığı alabalık yumurtaları 4-5°C'de 80 günde, 10°C'de 31 günde ve 15°C'de ise sadece 19 günde açılmaktadırlar (Leitritz ve Lewis, 1980).

Gökkuşığı alabalığının büyüme oranları su sıcaklığına ve ortamdaki besinin varlığına bağlı olarak değişmektedir. Yabani olanları genellikle 3-4 yaşlarında cinsel olgunluğa ulaşmaktadırlar. Yumurtlamada en fazla ilk kez yumurtlayan balıklar görülmektedir. Yalnızca dişilerin çok az bir kısmı yeniden yumurtlamak için hayatta kalmayı başarabilmektedirler. Gökkuşığı alabalıklarında büyüme ve maturasyon oldukça belirsizdir yani belli bir verim oranı ya da yaşı yoktur. Büyüme ve olgunlaşma

çevre şartları tarafından etkilenmekte, soğuk bölgelerdeki sulara yaşayan balıklar sıcak bölgelerdeki durgun sulardakinden daha uzun yaşamaktadırlar.

İlk balık yetiştiricilik denemeleri 1763 yılında alabalıklardan suni döl almış olmasından dolayı Avrupada Jacobi'ye atfedilse de Livingston Stone 1872 yılında Amerika'da ilk defa gökkuşağı alabalığı yetiştiriciliğini tanımlamıştır. Gökkuşağı alabalığının pek çok özellikleri de kültürünün artmasına yol açmıştır. Bunlardan bazılarını sıralayacak olursak;

- Gökkuşağı alabalığı çok kolay sağılır ve bunların yavruları (fry) diğer tatlı su balıklarının yavrularıyla karşılaştırıldıklarında iridirler ve dolayısıyla ilk yemlenmeleri için yem hazırlamak kolaydır.
- Bu balıklar oldukça hızlı gelişmektedirler ve gıda olarak ta bunlara talep oldukça fazladır.
- Geniş sıcaklık sınırlarında yaşayabilmektedirler ve ılıman bölgelerde kültür için çok sayıda uygun yer bulunmaktadır.
- Balıkların sağım zamanları fotoperiyot ve ayarlaması yapılarak değiştirilebilmekte ve Balıkların yıl boyu pazarlarda taze olarak bulunmasına imkân sağlanmaktadır (Yanık, 2009).

1.2. Serbest Radikaller

1.2.1. Serbest oksijen radikallerinin tanımı

Serbest radikal, atomik yada moleküler yapılarda çiftlenmemiş tek elektron bölümlerine verilen isimdir. Başka moleküller ile çok kolayca elektron alışverişine giren bu moleküllere "oksidan moleküller (ROM) " veya "reaktif oksijen partükülleri (ROP)"de denmektedir (Halliwell, 1991).

Moleküler oksijen, biradikal doğasının bir sonucu olarak yüksek derecede reaktif oksijen türleri (ROS) oluşturma eğilimindedir. Biyolojik sistemlerde serbest radikal reaksiyonları önemli bir yer tutar. Serbest radikaller; son yörüngelerinde bir ya da daha fazla eşleşmemiş elektron taşıyan, kimyasal olarak çok aktif, zararlı moleküllerdir (Maxwell, 1995; Gümüştas ve Atukeren, 2008). Radikal olmayan bir atom veya molekülden bir elektron çıkmasıyla veya radikal olmayan bir atom veya moleküle bir

elektron ilavesiyle oluşurlar. Bu bileşikler organizmada normal metabolik yolların işleyişi sırasında oluşabildiği gibi, dış etkenlerin etkisiyle de oluşmaktadır. Çok kısa yaşam süreli, ancak yapılarındaki dengesizlik nedeniyle çok reaktif olan serbest radikaller, tüm hücre bileşenleri ile etkileşebilme özelliği göstermekte ve yararlı biyomoleküllerin fonksiyonlarını yitirmesine neden olmaktadır (Gümüştas ve Atukeren, 2008).

Biyolojik sistemlerdeki en önemli serbest radikaller, oksijenden oluşan radikallerdir. Serbest oksijen radikali biyokimyasında anahtar rolü oynayan maddeler; oksijenin kendisi, süperoksit, hidrojen peroksit, geçiş metallerinin iyonları, nitrik oksit (NO) ve hidroksil radikalidir. Bunlardan ilk dördünün çeşitli reaksiyonları sonucu serbest oksijen radikali meydana gelir. Hatta bu radikaller içinde süperoksit ve NO temel radikaller sayılabilir. Çünkü süperoksit ve NO enzimatik mekanizmalarla, devamlı olarak ve önemli derişimde üretilen radikal türleridirler. Ayrıca bu iki radikal, biyolojik sistemlerde tanınan diğer bütün radikaller ile radikal yapıda olmayan reaktif türlerin oluşumunu başlatabilecek özelliktedirler (Bozdemir, 2007).

Moleküllerin oksidasyon ve redüksiyonunu içeren kimyasal reaksiyonlar her hücrede olur. Bu reaksiyonlar serbest radikallerin üretilmesine yol açabilir. Serbest radikaller; lipitler, proteinler ve DNA gibi organik substratlarla reaksiyona girer. Oksidasyon yoluyla normal fonksiyonlarını bozarak, bu moleküllerde hasar ve hastalıkların bir çeşit sebebi olabilirler. Enzimatik ve enzimatik olmayan antioksidanlardan teşekkül eden antioksidasyon sistemi metabolizmayı oksidatif strese karşı korur (Somogyi ve ark., 2007).

Yaşlanma ile ilgili öne sürülen teorilerden en çok dikkat çeken “serbest radikaller” teorisidir. Bu teori ilk olarak Harman (1956) tarafından ileri sürülmüştür. Serbest radikaller moleküle saldırdığında onun elektronunu çalarak okside eder ve bu yeni molekülün kendisi bir serbest radikal haline dönüşür. Bu şekilde başlayan bir zincir reaksiyonlar dizisi, canlı hücrenin zarar görmesi ile sonuçlanır. Serbest radikallerin yarattığı en büyük zarar, hücre zarları üzerinedir. Bunlar hücre zarlarından elektron çalarak eşlenir, hücre zarı ve sonuç olarak hücre yapısını bozar (Gökpınar ve ark., 2006).

Hücreler tarafından metabolize edilen pek çok bileşik, hidrojen peroksit (H_2O_2), singlet-oksijen (1O_2), hidroksil radikali ($\cdot OH$) veya peroksinitrit gibi serbest radikallerin

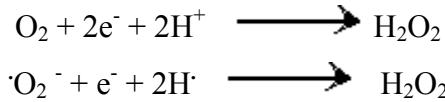
artışına yol açan oksijen ile reaksiyona girebilen elektrofilik radikallerin düzeyinde artışlara neden olmaktadır (Aitken ve Clarkson, 1987; De Lamirande ve ark., 1997).

1.2.2. Reaktif oksijen türleri (ROS)

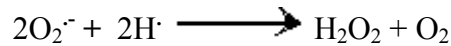
Reaktif oksijen türlerini; normal oksijen metabolizması sırasında az miktarda oluşan radikaller (süperoksit (O_2^-), hidroksil ($\text{OH}^\cdot$), peroksil ($\text{RO}_2^\cdot$), alkoksil ($\text{RO}^\cdot$), hidroperoksil ($\text{HO}_2^\cdot$), nitrik oksit ($\text{NO}^\cdot$), nitrojen dioksit ($\text{NO}_2^\cdot$)) ve non-radikaller (hidrojen peroksit (H_2O_2), hipoklorik asit (HOCl), ozon (O_3), singlet oksijen ($^1\text{O}_2$), peroksinitrit (ONOO^-), alkilperoksinitrit (ROONO)) olarak sınıflandırılır (Akkuş, 1995; Halliwell, 1996; Finaud ve ark., 2006; Özgöçmen, 2007).

1.2.2.1. Hidrojen peroksit (H_2O_2)

Moleküler oksijenin çevresindeki moleküllerden 2 elektron alınması veya süperoksidin bir elektron alması sonucu peroksit oluşur. Peroksit molekülü 2 hidrojen atomu ile birleşerek hidrojen peroksidi (H_2O_2) meydana getirir. Hidrojen peroksit (H_2O_2) membranlardan kolayca geçebilen, uzun ömürlü bir oksidandır (Akkuş, 1995).



Biyolojik sistemlerde hidrojen peroksidin asıl üretimi süperoksidin dismutasyonu ile olur. İki süperoksit molekülü iki proton alarak hidrojen peroksit ve moleküler oksijeni oluştururlar. Reaksiyon sonucu radikal olmayan ürünler meydana geldiğinden bu bir dismutasyon reaksiyonu olarak bilinir (Akkuş, 1995).

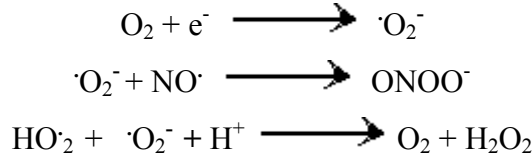


Ürat oksidaz, glukoz oksidaz, d-aminoasit oksidaz gibi birçok enzim oksijene iki elektron transfer ederek direk hidrojen peroksit oluşturabilirler (Halliwell ve Gutteridge, 1984). Hidrojen peroksit serbest radikal olmamasına karşın, biyolojik zarlara nüfuz edebilmesi ve daha reaktif oksijen türlerinin yapım aşamasında aldığı rolden dolayı

önemlidir. Diğer bir önemli işlevi ise hücre içi sinyal molekülü olarak görev yapmasıdır (Nordberg ve Arner, 2001).

1.2.2.2. Süperoksit radikali ($O_2^{\cdot -}$)

Süperoksit radikali ($O_2^{\cdot -}$) hemen tüm aerobik hücrelerde moleküler oksijenin bir elektron alarak indirgenmesi sonucu oluşur. Süperoksit, bir serbest radikal olmakla birlikte kendisi direkt olarak fazla zarar vermez. Asıl önemi, hidrojen peroksit kaynağı olması ve geçiş metalleri iyonlarının indirgeyicisi olmasıdır. Süperoksitin fizyolojik bir serbest radikal olan nitrik oksit ile birleşmesi sonucu, reaktif bir oksijen türevi olan peroksinitrit meydana gelir. Böylece nitrik oksitin normal etkisi inhibe edilir. Ayrıca peroksinitritlerin doğrudan proteinlere zararlı etkileri vardır ve azot dioksit ($NO_2^{\cdot}$), hidroksil radikali ($OH^{\cdot}$) ve nitronyum iyonu (NO_2^+) gibi daha başka toksik ürünlere dönüşürler (Akkuş, 1995).



Süperoksit radikali, uzun bir yarı ömre sahip olup, lipofilik özellik gösterir. Bu özelliğinden dolayı da oluştuğu yerden uzak bölgelere difüzyonla yayılabilmektedir. Ancak doğrudan doğruya hasar yapıcı etkisi çok fazla değildir. En çok mitokondri, endoplazmik retikulum ve kloroplast gibi hücresel organellerde, elektron transport zincirinin çeşitli komponentlerinden O_2 'e elektron sızması ile oluşur Süperoksit radikali hem oksitleyici hem indirgeyici özelliğe sahiptir (Ünal, 1999; Dikici, 1999).

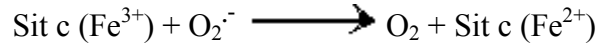
Canlılarda oluşan ilk ve temel oksijen radikali, süperoksit radikalidir (süperoksit anyonu $O_2^{\cdot -}$). Süperoksit radikalleri başlıca şu mekanizmalarla üretilmektedir (Bozdemir, 2007):

1)İndirgeyici özellikteki biyomoleküler oksijene tek elektron verip kendileri oksitlenirken, süperoksit radikali oluşur. Hidrokinonlar, flavinler, tiyoller, ferrodoksinler, indirgenmiş nükleotitler gibi yüzlerce biyolojik molekül aerobik ortamda oksitlenirken süperoksit yapımına neden olurlar.

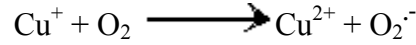
2)Başta çeşitli dehidrogenazlar ve oksidazlar olmak üzere, yüzlerce enzimin katalitik etkisi sırasında süperoksit radikali bir ürün olarak oluşabilir.

3)Mitokondrideki enerji metabolizması sırasında oksijen kullanılırken, tüketilen oksijenin % 1-5 kadarı süperoksit yapımı ile sonlanır. Buradaki radikal yapımının nedeni, NADH-dehidrogenaz ve koenzim-Q gibi elektron taşıyıcılardan oksijene elektron kaçağının olmasıdır.

4) Aktive edilen fagositik lökositler, bol miktarda süperoksit üreterek fagozom içine ve bulundukları ortama verirler. Hücresel koşullarda üretilen süperoksit, oksitleyici veya indirgeyici olarak davranabilir. Aldığı elektronu metal iyonuna, sitokrom-c ye veya bir radikale verirse tekrar oksijene oksitlenir.



İndirgenmiş geçiş metallerinin otooksidasyonu da süperoksit meydana getirebilir.



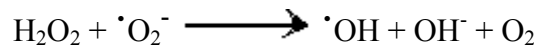
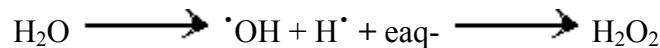
1.2.2.3. Hidroksil radikali ($\cdot\text{OH}$) ve Haber-Weiss tepkimesi

Hidroksil radikali ($\cdot\text{OH}$), Fenton reaksiyonu ve Haber-Weiss reaksiyonu sonucu hidrojen peroksidin geçiş metallerinin varlığında indirgenmesiyle meydana gelir. Ayrıca suyun yüksek enerjili iyonize edici radyasyona maruz kalması sonucunda da hidroksil radikali oluşur (Akkuş, 1995).

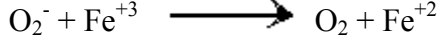


Serbest radikaller içinde hidroksil radikali biyokimyadaki en reaktif molekül olup, diğer kimyasal türlerle sıklıkla reaksiyona girer. Yüksek reaktivite hidroksil radikalının mobilitesini sınırladığı için hidroksil radikalının toksisitesini kısmen sınırlayıcı bir özellik gösterir. Herşeye rağmen hidroksil radikali daima tehlikeli ve çok toksik kabul edilir. Çünkü insan vücudundaki her molekülü okside edebilir (Halliwell ve Gutteridge, 1989).

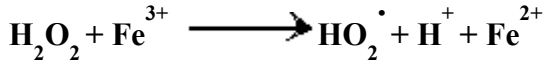
Hidroksil radikalının major oluşumu, suyun yüksek enerji ile iyonizasyonudur. Hidrojen peroksit ise süperoksit ile tepkimeye girerek en reaktif ve zarar verici serbest oksijen radikali olan hidroksil radikali oluşturmak üzere kolaylıkla yıkılabilir.



Bu tepkimeye Haber-Weiss tepkimesi denir ve tepkime katalizörsüz ortamda oldukça yavaşken, demirin katalizörlüğünde çok hızlıdır (Antmen, 2005).



“Fenton Kimyası” hipotezinde $\text{OH}^\cdot$ radikalleri DNA’ya saldırarak hasar oluşturur. O_2^- gibi H_2O_2 de doğrudan DNA’da hasar yapmaz. $\text{OH}^\cdot$ radikalinin DNA üzerine etkili olabilmesi için DNA’da veya çok yakınında oluşması gerekmektedir. Reaktivitesi çok yüksek olan $\text{OH}^\cdot$ radikalinin hücre içinde diffüze olarak nükleusa geçme olasılıkları azdır. Olası mekanizma membranı kolayca geçebilen H_2O_2 ’in nükleusda Fe-Cu iyonları ile reaksiyonlaşarak (Haber-Weiss ve Fenton reaksiyonları) hidroksil radikallerini oluşturmasıdır (Burçak ve Andican, 2004).



Birinci ve ikinci reaksiyonlar demir/bakır katalizli Haber-Weiss reaksiyonları; üçüncü ve dördüncü reaksiyonlar ise Fenton reaksiyonları olarak adlandırılmaktadır (Burçak ve Andican, 2004).

1.2.2.4. Nitrit (NO_2) ve Nitrat (NO_3)

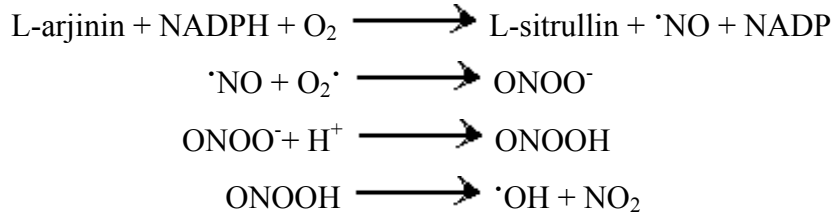
Nitrik oksit (NO); suda ve yağda çözünebilen, solüsyon içinde yarılanma ömrü 30 saniye olan, kolaylıkla nitrit (NO_2^-) ve nitrata (NO_3^-) okside olabilen renksiz, stabil bir gazdır (Kuyumcu ve ark., 2004). Nitrojenin yedi ve oksijenin sekiz elektronunun etkileşimi ile oluşan yüksüz NO molekülü üzerinde ortaklaşmamış bir adet elektron taşır

ve bu elektron NO molekülünün paramagnetik özellikli, yüksek reaktiviteye sahip bir radikal olmasına neden olur (Stamler ve ark., 1992).

Azot oksitler; azot elementinin oksitlenme durumuna göre beş farklı molekül olarak teşekkül edebilirler: NO, NO_2^- , NO_2 , NO_3^- , N_2O . Azot oksitler içinde en fazla biyolojik aktiviteye NO molekülü sahip olup, biyolojik ortamlarda NO· radikali halinde bulunmaz. Sulu sistemlerde NO· radikali yüksek reaktifliğinden dolayı hemen nitrit ve nitrat ürünlerine dönüşür (Stamler ve ark., 1992; Gao, 2003).

NO eşleşmemiş elektron bulundurmasına rağmen birçok biyomolekül ile kolayca tepkimeye giremez. Diğer yandan peroksil, alkil gibi diğer serbest radikallerle kolayca tepkimeye girerek, daha az reaktif moleküller oluşturur. Yüksek miktarlarda $\text{O}_2^{\cdot}$ yapımı NO ile paraleldir ve birbirlerini etkileyerek $\cdot\text{OH}$ ve $\cdot\text{NO}_2$ oluşumuna neden olurlar (Nordberg ve Arner, 2001).

NO enzimatik olarak nitrik oksit sentaz enzimi tarafından L-arjinin'den sentezlenir. NO, çok önemli biyolojik fonksiyonları yerine getirmek üzere üretilen nitrojen merkezli bir radikaldir. Paylaşılmamış elektron aslında nitrojen atomuna ait ise de, bu elektronun hem nitrojen hem de oksijen atomu üzerinde delokalize olması nedeniyle tam radikal özelliği taşımaz. Bunun sonucu bilinen diğer radikallere göre reaktivitesi baskılandığından oldukça uzun ömürlüdür. Vücudumuzda $\cdot\text{NO}$ sentezini sağlayan mekanizmalar son derece kısıtlıdır. Radikal olarak reaktivitesi düşük olan $\cdot\text{NO}$, metal içeren merkezler ve radikaller ile büyük bir hızla tepkimeye girer. Özellikle lipid radikaller ile tepkimeye girmesi, $\cdot\text{NO}$ 'e antioksidan bir etki kazandırır. Oksijen radikallerindeki durumun aksine, $\cdot\text{NO}$ 'i ortamdan temizleyen herhangi bir özel enzim yoktur. Aerobik ortamda $\cdot\text{NO}$ stabil değildir, derişiminin artması ile oksidasyonu hızlanır. Bu nedenle ortamdaki derişimi ile kendi ömrü arasında ters bir orantı vardır (Bozdemir, 2007).



NO radikal toplayıcısıdır. $\cdot\text{NO}$ radikali endotel türevi gevşetici faktörle eşdeştir ve damar düz kas hücrelerinin gevşemesi için temel sinyali oluşturur. Hiperkolesterolemi ve ateroskleroz gibi, $\cdot\text{NO}$ salınımının düşük olduğu durumlarda,

trombosit agregasyonuna cevap olarak oluşan endotel bağımlı gevşeme olmaz. 'NO'nun hem sitoprotektif hem de sitotoksik etkilerinden söz edilmektedir (Delibaş ve Özcankaya, 1995). NO fizyolojik bir serbest radikal olup, gevşetici bir ajan olarak damar endotelinde, fagositlerde ve beyinde yapılır (Bulkley, 1983; Busaua, 1990).

1.2.2.5. Singlet oksijen ($^1\text{O}_2$)

Singlet oksijen ($^1\text{O}_2$), ortaklanmamış elektronu olmadığı için radikal olmayan reaktif oksijen molekülüdür. Serbest radikal reaksiyonları sonucu meydana geldiği gibi, serbest radikal reaksiyonlarının başlamasına da sebep olur. Oksijenin elektronlarından birinin enerji alarak kendi spininin ters yönünde olan başka bir orbitale yer değiştirmesiyle oluşur. Delta ve sigma olmak üzere 2 şekli vardır (Akkuş, 1995).

Singlet oksijen eşleşmemiş elektron içermediği için serbest radikal değildir. Bununla birlikte dönme yönlerinin farklılığından dolayı oksijenin yüksek reaktif formudur (Gutteridge, 1995).

1.2.2.6. Lipid peroksidasyonu (MDA)

Serbest radikallerden en fazla etkilenen bileşik lipitlerdir. Membranlarda bulunan fosfolipitlerdeki doymamış bağlar ve kolesterol serbest radikallerle kolayca reaksiyona girerek peroksidasyon ürünlerini meydana getirir. Doymamış yağ asitleri (PUFA)'nin oksidatif yıkımı lipit peroksidasyonu olarak isimlendirilir ve oldukça zararlıdır. Lipit peroksidasyonu kendi kendini devam ettiren zincir reaksiyonları şeklinde oluşur. Lipit peroksidasyonu organizmada oluşan bir serbest radikal etkisi sonucu membran yapısında bulunan doymamış yağ asidi zincirlerinden bir hidrojen atomu uzaklaştırılmasıyla başlar. Bunun sonucunda yağ asidi zinciri bir lipit radikali niteliği kazanır. Oluşan lipit radikali dayanıksız bir bileşiktir ve bir dizi değişikliğe uğrar. Lipit peroksidasyonu ile meydana gelen membran hasarı geri dönüşümsüzdür. En önemli peroksidasyon ürünü malondialdehittir (MDA). Molekül içi çift bağların pozisyonlarının değişmesiyle diğer konjugantları (Bir alkilin iki çift bağı arasında bir tane tekli bağ varsa buna konjuge dien adı verilir), daha sonra lipit radikallerinin moleküler oksijenle etkileşmesi sonucu lipit peroksil radikali meydana gelir. Lipit peroksil radikalleri membran yapısındaki diğer doymamış yağ asitlerini etkileyerek yeni

lipit radikallerinin oluşumuna yol açarken, kendileri de açığa çıkan hidrojen atomlarını alarak lipit hidroperoksitlere dönüşürler ve olay kendi kendine katalizlenerek devam eder (Slater, 1984; Kavas, 1989; Moslen 1994; Akkuş, 1995).

Lipid peroksidasyonu sırasında oluşan bileşiklerden aldehitler, en toksik olanlarıdır ve diğer hücre bölümlerine de yayılarak hasara neden olurlar. Nonenzimatik oksidatif lipit peroksit dekompozisyonu sonucu, malondialdehit (MDA) ve 4-hidroksinonenal (4-HNE) oluşur. Malondialdehitin asıl kaynağı ikiden fazla çift bağ içeren yağ asitlerinin otooksidasyonunda ve eikozanoid sentezinde serbestleşen endoperoksitlerdir (Seven ve Candan, 1995).

Lipit peroksidasyonunun en önemli peroksidasyon ürünü olan malondialdehitin yanı sıra; lipit peroksil radikali (ROO[•]), lipit alkoksil radikali, alkil radikali, v.b gibi peroksidasyon ürünleri meydana gelir. Oluşan malondialdehit hücre membranlarından iyon alışverişine etki ederek membrandaki bileşiklerin, çapraz bağlanmasına yol açar ve iyon geçirgenliğinin ve enzim aktivitesinin değişimi gibi olumsuz sonuçlara neden olur. Malondialdehit bu özelliklerinden dolayı, DNA'nın nitrojen bazları ile de reaksiyona girebilir. Bundan dolayı malondialdehit, mutajenik, kültür hücreleri için genotoksik ve karsinojeniktir (Moslen, 1994; Niki, 1987; Porter, 1984).

Malondialdehit, protein amino gruplarına, fosfolipitlere ve nükleik asitlere bağlanarak toksik etkisini gösterir. Membran bileşenlerinde çapraz bağlanma ve polimerizasyona neden olur. Membranlardan kolaylıkla difüze olarak, DNA yapısında yer alan nitrojen bazlarla reaksiyona girer ve mutajen, genotoksik etkiler gösterir. Lipid peroksidasyonunun ölçümü doku hasarının iyi bir göstergesi kabul edildiğinden; peroksidasyon sırasında oluşan konjuge dienlerin ölçümü, in vivo lipit peroksit düzeyini yansıtabilecek önemli bir yöntemdir. Malondialdehit miktarının tiyobarbitürik asit testi ile ölçümü bu amaçla kullanılmaktadır (Gümüştas ve Atukeren, 2008).

1.2.3. Oksidatif stres ve etkileri

Serbest radikaller oldukça reaktif moleküller olup, elektronları hücredeki diğer moleküllerle etkileşime girerek oksidatif stres (hasar) meydana getirirler. Serbest radikaller normal hücresel metabolizma sırasında oluşabildiği gibi, çeşitli dış etkenler aracılığı ile de meydana gelebilir.

Oksidatif stres, organizmadaki pro-oksidan ve anti-oksidan dengenin bozulması olarak tanımlanmaktadır (Halliwell, 1994; Sies, 1997; Sakaç ve Sakaç, 2000; Bonnefoy ve ark., 2002; Yazıcı ve Köse, 2004; Kopáni ve ark., 2006; Zablocka ve Janusz, 2008). Organizma, orta derecede oksidatif stresi tolere edebilir. Şiddetli oksidatif stres lipid, protein ve DNA da sayısız hastalıklarla sonuçlanır (Sakaç ve Sakaç, 2000). Çoğunlukla hücrede fonksiyon bozukluğuna, ileriki aşamada ise hücre ölümüne yol açar (Bonnefoy ve ark., 2002). Oksidatif stres serbest radikallerin ve reaktif oksijen ürünlerinin artması ile oluşur ve biyolojik makromoleküllerde şiddetli hasar oluşturarak metabolizma ve fizyolojide bozukluklar meydana getirir (Toyokuni, 1999).

1.2.4. Hücredeki reaktif oksijen türlerinin (ROS) kaynakları

Hücrede normal metabolik yollardaki enzimatik reaksiyonlarda enzimlerin aktif yerlerinde ara ürünler olarak radikaller oluşabilir. Bazen bu serbest radikal ara ürünler enzimlerin aktif yerinden sızarlar, moleküler oksijenle kazara etkileşirler ve sonuçta serbest oksijen radikalleri oluşur.

Serbest oksijen radikaller üç temel mekanizma ile oluşurlar (Bozdemir, 2007) :

1. Kovalent bağların homolitik kırılması:

Yüksek enerjili elektromanyetik dalgalar ve yüksek sıcaklık, kimyasal bağların kırılmasına neden olur. Kırılma sırasında bağ yapısındaki iki elektronun her biri ayrı ayrı atomlar üzerinde kalıyorsa, bu tür kırılmaya homolitik kırılma denir ve her iki atom üzerinde de paylaşılmamış elektron kalır.

2. Normal bir molekülün elektron kaybetmesi:

Radikal özelliği olmayan bir molekülden elektron kaybı sırasında dış orbitalinde paylaşılmamış elektron kalıyorsa, radikal formu oluşur. Örneğin askorbik asit, glutatyon gibi hücresel antioksidanlar, radikal türlere tek elektron verip radikalleri indirgerken, kendilerinin radikal formu oluşur.

3. Normal bir moleküle elektron transferi:

Radikal özelliği olmayan bir moleküle tek elektron transferi ile dış orbitalin de paylaşılmamış elektron oluşuyorsa bu tür indirgenme, radikal oluşumuna neden olabilir. Örneğin moleküler oksijenin tek elektron ile indirgenmesi, radikal formu olan süperoksitin oluşumuna neden olur.

Organizmada serbest radikaller gerek normal metabolik faaliyetlerin bir yan ürünü olarak, gerekse radyasyon, ilaçlar, hava kirliliği, sigara dumanı, ağır egzersiz, aromatik hidrokarbonlar, antineoplastik ajanlar, metal iyonlarının ve enzimlerin katalize ettiği redoks reaksiyonu ve diğer zararlı kimyasalların etkisi ile oluşur ve süper oksit radikal düzeyini etkiler (Machlin ve Pendich, 1987; Busaua, 1990; Halliwell, 1994; Valentine ve ark., 1998; Wei ve Pang, 2005; Gökpınar ve ark. 2006). Yaşam için gereksinim duyulan oksijen, dolaylı olarak olumsuz etkilere maruz kalabilir. Bu zararlı etkiler, hücreler için toksik olan serbest radikallerin (süperoksit anyonları, hidroksil radikalleri, peroksil radikalleri, hidrojen peroksit, hidroperoksitler ve peroksinitritler) üretilmesine yol açabilir (Bonneyfoy ve ark., 2002). Serbest radikallerin oluşumu organizmada oksijen kullanımı sırasında ortaya çıkar. Eşlenmemiş elektron içeren atom veya moleküller hücrelerin zarar gördüğü reaksiyonlar dizisini başlatırlar (Gökpınar ve ark., 2006). Süperoksit radikalının oluşum basamaklarında, öncelikle tek elektron transferi ile moleküler oksijen süperoksit serbest radikale dönüşür. Süperoksitde iki elektron eklenmesi ile hidrojen peroksit oluşur. Hidrojen peroksit, univalan redüksiyon ile diğer bir protonun eklenmesi sonucu su ve hidroksil radikale dönüşür. Hidroksil radikal de univalan redüksiyon ile suya dönüşür (Bulkley, 1983; Busaua, 1990).

Serbest oksijen radikalleri endojen ve eksojen kaynaklardan oluşmaktadır (Çizelge1.1).

Çizelge 1.1. Serbest radikallerin oluşum kaynakları (Gümüştas ve Atukeren, 2008)

Endojen Kaynaklar	Eksojen Kaynaklar
• Mitokondrial elektron transport zinciri • Endoplazmik retikulum • Redoks döngüsü • Araşidonik asit metabolizması • Fagositik hücreler (monosit ve makrofajlar) ve endotelyal hücrelerdeki oksidatif reaksiyonlar) • Ksantin oksidaz, NADPH oksidaz vs. enzimler • Otooksidasyon reaksiyonları	• Diyet faktörleri • Çevresel faktörler (hava kirliliği) • İlaçlar, ksenobiyotikler • Zararlı ışınlar (x-ray, U.V.)

Yan ürünler olarak metabolizmada süperoksit anyonları (O_2^{-2} , $O_2^{\cdot-}$), hidrojen peroksit (H_2O_2) ve hidroksil radikali ($\cdot OH$) gibi mutajenler meydana gelir. Hücre içi süperoksit radikalının %90'dan fazlası aerobik solunum reaksiyonları zincirinde mitokondriumun iç membranında üretilir (Wei ve Pang, 2005).

Başta mitokondriyal solunum zinciri olmak üzere, fagositik hücrelerdeki solunum patlaması, mikrozomal sitokrom P450 sistemi, sitoplazmik, peroksizomal, lizozomal ya da membrana bağlı oksidaz aktiviteleri gibi fizyolojik şartlarda gerçekleşen pek çok hücresel süreç, süperoksit radikali oluşumuna yol açmaktadır (Halliwell ve Gutteridge, 1996). İntraselüler süperoksit radikali seviyesi, hücre tipine ve çevresel faktörlere bağlı olarak değişebilse de nötrofiller, monositler ve makrofajlar, süperoksit radikali üretimi bakımından yüksek aktiviteye sahip olan hücrelerdir (Witko Sarsat ve ark., 2000).

Radikallerin kimyasal reaktiviteleri değişmekle birlikte en reaktif olanlarından bir tanesi hidroksi radikalidir ($\cdot OH$). Hemen her molekülle in vivo hızlı bir şekilde reaksiyona girer. Dioksijen ise (O_2) biyolojik sistemlerde radikallerin major kaynağını oluşturur. Ksantin oksidaz sistemi süperoksit anyon radikali oluşumunda önemli bir enzimdir. Ksantin oksidaz molibdenyum içeren bir enzim olup özellikle post iskemik reperfüzyon hasarında önemli rol alır. İntraselüler major antioksidan enzimlerden en önemlisi süperoksit dismutazdır. Bakır-çinko SOD (Cu-Zn SOD) sitoplazmada, mangan SOD (Mn-SOD) ise mitokondriada süperoksit radikalini hidrojen peroksit (H_2O_2)'ye dönüştürür. Diğer önemli bir antioksidan enzim ise glutatyon peroksidazdır. Bu enzim oluşan H_2O_2 'yi suya dönüştürür. Hidrojen peroksit Fenton reaksiyonu ile hidroksi radikali oluşumuna neden olur (Şekil 1.1). Bu basamakta reaktif nitrojen bileşiklerinin de rolleri vardır. Arginin metabolizmasıyla oluşan peroksinitrit bir taraftan nitrite dönüşürken, hidroksi radikal de oluşturur (Özgöçmen, 2007).

hastalığı ve Parkinson gibi hastalıklarda artmaktadır. Mitokondrial reaktif oksijen metabolitlerinin oluşumunu ve DNA hasarını azaltan kalori kısıtlaması, yaşlanma hızını azaltan tek deneysel manipölasyondur (Burçak ve Andican, 2004).

Oksijenli ortamda, çeşitli fiziksel ve kimyasal etkenlerle oluşan reaktif oksijen türleri hücrel protein, karbonhidrat, nükleotid ve lipidlerin kimyasal modifikasyonu ile doku hasarına sebep olabilir ve kanser, ateroskleroz, artrit, yaşlanma, iskemi ve reperfüzyonu içeren Alzheimer ve Parkinson hastalıkları, gastrointestinal fonksiyon bozuklukları, tümör oluşumu, karsinogenezis ve AIDS gibi yüzlerce hastalığa yol açabilirler (Bagchi ve ark., 2000; Gümüştas ve Atukeren, 2008). Serbest radikaller, bağışıklık sistemini zayıflatarak çeşitli hastalıklara ve erken yaşlanmaya neden olurlar (Gökpınar ve ark. 2006). Reaktif oksijen türleri farklı tipte hücre hasarı, özellikle lipid peroksidasyonu ve membran zararına yol açabilir (Baud ve Ardaillou, 1986).

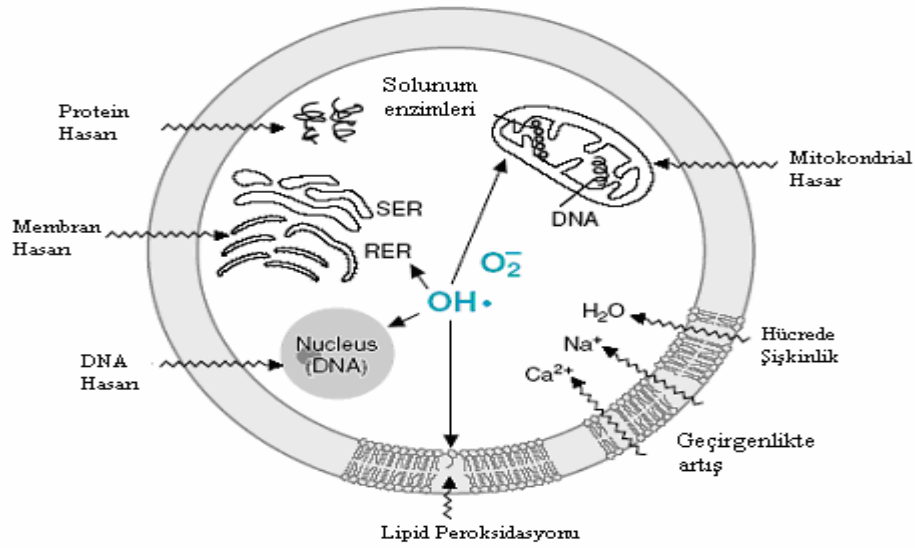
Reaktif oksijen bileşikleriyle ortamda oluşan radikaller yeterli derecede antioksidan enzimlerce atılmadığı takdirde, aşırı oluşan bu serbest radikaller membran lipidlerindeki çoklu doymamış yağ asitlerine zarar vererek lipid peroksidasyon ürünleri olan MDA ve 4-hidroksinoneal gibi moleküllerin oluşmasına neden olurlar. Membranların bütünlüğünü kaybetmesi hücre akışkanlığının bozulmasına, hücrenin organellerinin dağılmasına yol açar (Özgöçmen, 2007).

Düzgün çalışan bir metabolizmada mitokondrial sitokrom sistemi, sitozoldaki organelleri oksidanların zararlı etkilerinden korur. Bu sistemin yetersiz kaldığı durumlarda, doğal enzimler devreye girer. Enzimlerce etkisiz hale getirilemeyen oksidanlar, ilk olarak hücre membranındaki lipidleri etkileyerek lipid peroksidasyonunu başlatır. Lipid peroksidasyonu, membranlarda bulunan çoklu doymamış yağ asitlerinin (PUFA) serbest oksijen radikalleri tarafından peroksitler, alkoller, aldehytler gibi çeşitli ürünlere yıkılması reaksiyonudur ve sonuçta ortaya çıkan biyoaktif aldehytler hücre hasarına neden olur (Benzer ve Ozan, 2003).

İki tarafı keskin bir bıçak gibi kabul edilen reaktif oksijen türleri, düşük dozlarda çeşitli stres tepkilerinde arabulucu gibi rol oynarken, yüksek dozlarda (oksidatif stres gibi) hücrel zararlara yol açar (Martin ve Barret, 2002). Oksidan ve mutajen özellikte olan bu metabolizma yan ürünleri DNA, proteinler ve diğer makromoleküllerde tahribata neden olarak kronik hastalıkları başlatır (Kazanç, 1997).

Hücrelerde lipid preoksidasyonu; hücre membranlarında direk, diğer hücre yapıtaşlarında aldehidlerin oluşumu sebebiyle indirek etkiye yol açar. Bu kompleks reaksiyon, dokulardaki birçok hasardan ve bazı hastalıkların sürecinden sorumludur (Sakaç ve Sakaç, 2000).

Süperoksit ve hidroksil radikalleri hücresel, mitokondrial, nüklear ve endoplazmik zarlarda lipit peroksidasyonunu başlatırlar (Şekil 1.2). Geçirgenlikteki artış mitokondrial hasara neden olan Ca^{+2} 'un hücreye akın etmesine neden olur (Word ve Peters, 1996).



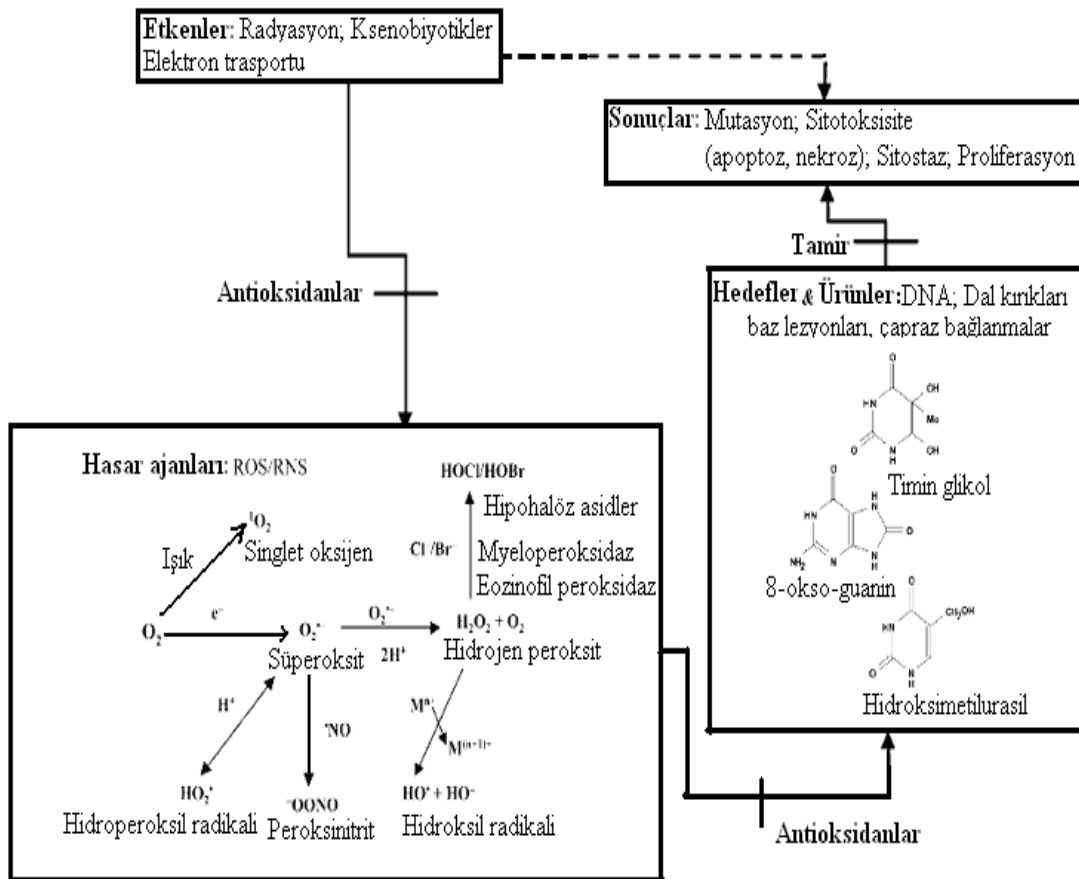
Şekil 1.2. Radikallerin yol açtığı hücre hasarı (Word ve Peters, 1996).

Lipoprotein partiküllerinin lipid peroksidasyonuna maruz kalmasıyla özellikle LDL (düşük yoğunluklu lipoprotein), lipid oksidasyon ürünleri ve okside LDL oluşur. Aterosklerozda köpük hücrelerinin oluşumunda, aterosklerotik sürecin gelişim ve hızlanmasında okside reaktif oksijen türlerinin neden olduğu lipid, protein ve DNA'nın oksidatif değişimi kanser, yangısal, nörodejeneratif, kardiyovasküler gibi hastalık ve yaşlanmada bir rol oynar (Borek, 2001). Son zamanlarda LDL oksidasyonunda reaktif azot ürünlerinden özellikle peroksinitrit ($OONO-$) üzerine artan bir ilgi vardır. Güçlü bir oksidan olan peroksinitrit, hücre membranlarından kolayca diffüze olarak hücresel proteinlere veya DNA gibi hedef moleküllere ulaşarak, LDL oksidasyonuna ve doku hasarına neden olabilir (Squadrito ve Pryor, 1998; Leeuwenburgh ve ark., 1997).

Reaktif oksijen partikülleri, hücre organelleri ve membrandaki lipid ve protein yapısını bozarlar, hücre içi yararlı enzimleri etkisizleştirirler, mitokondrilerdeki aerobik

solunumu bozarlar. Ayrıca hücrenin potasyum kaybı ve trombosit agregasyonunu artırırlar, dokulara fagosit toplanmasını kolaylaştırırlar ve hücre dışındaki kollagen doku komponentlerini, savunma enzimlerini yıkarlar (Halliwell, 1991).

Reaktif oksijen metabolitleri oluşumundaki artma, antioksidan enzim düzeylerindeki azalma ve/veya DNA onarım mekanizmalarında defekt olması oksidatif DNA hasarının artmasına yol açmaktadır (Şekil 1.3) (Cooke ve ark., 2003; Evans ve Cooke, 2004).



Şekil 1.3. Serbest radikal aracılı oksidatif DNA hasarı (Cooke ve ark., 2003; Evans ve Cooke, 2004).

1.2.5.2. Serbest radikallerin metabolizmaya yararlı etkileri

Nötrofiller tarafından kullanılan antibakteriyal savunma mekanizması myeloperoksidaz enzimidir. Süperoksit radikalının dismutasyonu sonucu oluşan hidrojen peroksit myeloperoksidaz enzimi aracılığıyla reaksiyona girerek güçlü bir

antibakteriyal ajan olan hipoklorik asidi oluşturur. İnfeksiyöz ajanlarla savaş için gerekli olan reaktif oksijen türleri kan hücreleri tarafından aşırı salgılanacak olurlarsa, bu kez yarar yerine zararlı olmaya başlarlar (Çavdar ve ark., 1997). Polimorfonükleer lökosit fagosite ettiği bakterileri öldürmek ve nekrotik dokuları temizlemek için proteazlarla birlikte oksijen radikallerini kullanır (Keusch, 1993).

1.3. Antioksidanlar

1.3.1. Antioksidanların tanımı

Hücrelerde bulunan protein, lipid, karbonhidrat ve DNA gibi okside olabilecek maddelerin oksidasyonunu önleyen veya geciktirebilen maddelere antioksidanlar ve bu olaya antioksidan savunma denir (Ertürk, 2006). Antioksidanlar; doğal antioksidanlar ve ilaçlar olmak üzere iki grupta toplanabilir. Organizmada serbest radikal reaksiyonları birçok antioksidan sistemi ile kontrol edilir. Antioksidanlar serbest radikal oluşumunu önleyen veya zincir kıran yapılar olarak işlev görürler. Yapılan araştırmalar, antioksidanların serbest radikalleri nötralize ederek hücrelerin zarar görmesine engel olduklarını ortaya koymuştur (Gökpınar ve ark. 2006).

Antioksidanlar serbest radikallerin potansiyel temizleyicisidirler ve neoplastik süreçlerin inhibitörleri olarak hizmet ederler. Çok sayıda sentetik ve doğal antioksidanın insan sağlığına yararlı etkide bulunduğu ve hastalık önleyici olduğu tartışılmaktadır (Bagchi ve ark., 2000). Organizmada serbest radikallere özellikle süperoksit, hidrojen peroksit ve hidroksil radikallerine karşı enzimatik savunma sistemi gelişmiştir. Antioksidan olarak bilinen maddeler, serbest radikal temizleme özelliğine sahiptir (Sert ve Çelik, 1996).

1.3.2. Antioksidanların sınıflandırılması

Antioksidanları, enzimatik ve enzimatik olmayanlar olarak sınıflandırabiliriz (Çizelge 1.2).

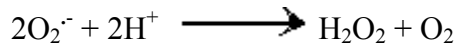
Çizelge 1.2. Antioksidanların sınıflandırılması (Gümüştas ve Atukeren, 2008)

Enzimatik Antioksidanlar	Enzimatik Olmayan Antioksidanlar		
Süperoksitdismutaz (SOD)	Glutasyon	Transferrin	Ferritin
Katalaz (CAT)	Vitamin C	Laktoferrin	Ürik asit
Glutasyonperoksidaz(GSHPx)	Vitamin A	Albumin	Hemopeksin
Glutasyon-S-Transferaz(GST)	Vitamin E	Haptoglobulin	Ubikinon
Glutasyon redüktaz (GR)	Flavonoidler	Sistein	Oksipurinol
	Melatonin	Srulo plazmin	Mannitol
	Selenyum	Bilirubin	Lipoik asit

1.3.2.1.Enzimatik antioksidanlar

Genel olarak enzimatik antioksidanlar hücre içinde, enzimatik olmayan antioksidanlar ise hücre dışında daha fazla etkilidir. İstisna olarak; GSH hücre içi güçlü antioksidandır (Gümüştas ve Atukeren, 2008).

Süperoksit dismutaz (SOD)(EC 1.15.1.1): İlk olarak 1968 yılında McCord ve Fridovich tarafından tanımlanan Süperoksit dismutaz enzimi, süperoksidin hidrojen peroksit ve moleküler oksijene dönüşümünü katalizler. Selüler bölmelerdeki süperoksit düzeylerini kontrol etmede önemli bir rol oynar. Süperoksit dismutaz enziminin fizyolojik fonksiyonu, oksijeni metabolize eden hücreleri süperoksit serbest radikallerinin zararlı etkilerine karşı korumaktır. Böylece lipid peroksidasyonunu inhibe eder (Akkuş, 1995).



Süperoksit dismutaz enzimi, süperoksidin hidrojen perokside dismutasyonunu katalize eden bir metalo enzimdir (Sert ve Çelik, 1996; Çavdar ve ark., 1997). Memeli hücrelerinde Cu-Zn Süperoksit dismutaz enzimi en fazla sitozol ve mitokondri membranı iç kesimde, manganez formu (Mn-SOD) ise mitokondrial matriks ve sitoplazmada bulunurlar (Sert ve Çelik, 1996).

Kofaktör olarak içerdiği metal iyonuna göre üç sınıf dismutaz enzimi vardır (Bozdemir, 2007):

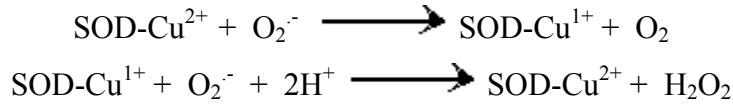
(1) Bakır ve çinko içeren dismutazlar (Cu, Zn SOD): Genel olarak ökaryotik hücrelerin sitozolünde ve kloroplastlarda bulunur. Tek disülfid bağı ile birbirine bağlı iki aynı alt

birimden oluşur ve alt birim başına birer çinko ile bakır içerirler. Enzimin etkinliği için bakır mutlaka gerekli iken çinko; Co^{2+} , Hg^{2+} , Ca^{2+} ile yer değiştirebilir. Dismutasyon bakır ile süperoksit radikali arasındaki etkileşimle başlar.

(2) Mangan içeren dismutazlar (Mn SOD): Prokaryotlarda ve mitokondri matriksinde bulunur. Birbirinin aynı iki alt birimden oluşan ve her alt birimde bir atom Mn içeren dismutazlardır.

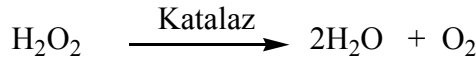
(3) Demir içeren dismutazlar (Fe SOD): Prokaryotlarda ve bazı bitkilerde bulunur. Mn-Süperoksit dismutaz enzimi ile benzer yapıdadır.

Süperoksit anyonu, Cu^{2+} ve bir arginin rezidüsünün guanido grubuna bağlanır. Bu bağlanma sonucunda süperoksitten bir elektron Cu^{2+} 'a transfer olurken Cu^{1+} ve moleküler oksijen meydana gelir. İkinci bir süperoksit anyonu Cu^{1+} 'dan bir elektron, bağlanma ortağından ise iki proton alarak hidrojen peroksidi oluştururken, enzim tekrar Cu^{2+} formuna dönmüş olur. SOD'un, süperoksit anyonuna olan etkisi bu şekildedir (Akkuş, 1995).



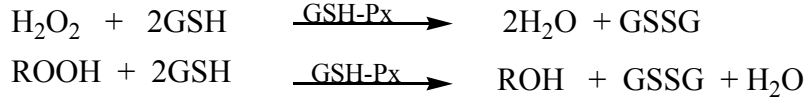
Katalaz (CAT): Katalaz ($\text{H}_2\text{O}_2:\text{H}_2\text{O}_2$ oksidoredüktaz, EC 1.11.1.6) yapısında dört tane hem grubu bulunan bir hemoproteindir. Katalaz esas olarak peroksizomlarda daha az olarak sitozolde ve mikrozomal fraksiyonda bulunur.

Katalaz hidrojen peroksidi (H_2O_2) suya ve oksijene parçalar.

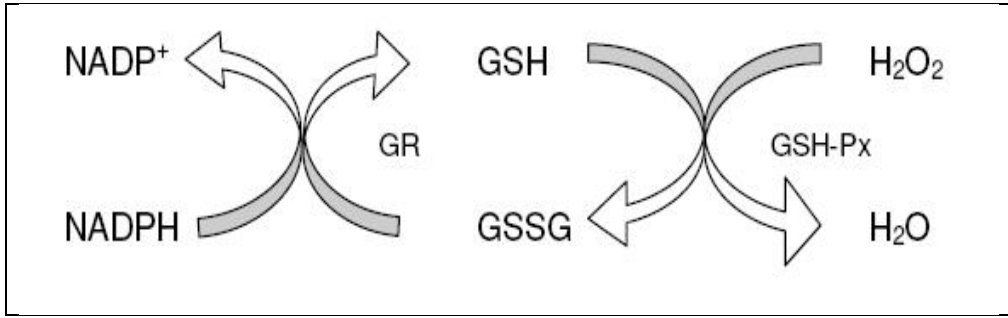


Granulomatöz hücrelerde katalaz, hücreyi kendi solunumsal patlamasına karşı koruma işlevini de görür. Hücrede oluşan hidrojen peroksidi (H_2O_2) hidroksil serbest radikali ($\text{OH}^\cdot$) oluşumunu önlemek için ortadan kaldırır.

Glutatyon peroksidaz (GSH-Px) (EC 1.11.1.9): GSH-Px, sitozolde bulunur hidroperoksitlerin indirgenmesinden sorumlu enzimdir. Bu enzimin molekül ağırlığı yaklaşık olarak 85.000 D'dur. Tetramerik, 4 selenyum atomu ihtiva eden sitozolik bir enzimdir. GSH-Px aktivitesindeki azalma, hidrojen peroksidin artmasına ve şiddetli hücre hasarına yol açar. GSH-Px aşağıdaki reaksiyonları katalizler (Akkuş, 1995).



Yapısında selenyum metalini bulundurur. Bu nedenle metalloenzim grubunda değerlendirilir. İn vitro ortamda GSH'ı GSSG'ye çevirir. Bu tepkimede H_2O_2 'yi yüksek özgülük ile katalizleyerek detoksifiye eder (Şekil 1.4). Tepkimede GSH, GSSG haline dönüşürken glutatyon peroksidaz enzimi H_2O_2 'yi suya indirger. GSSG ise glutatyon redüktaz (GR) enziminin katalizlediği tepkimeyle NADPH harcanarak tekrar redükte hale çevrilir (Urso ve Clarkson, 2003).



Şekil 1.4. Glutatyonun okside ve redükte formları arasında dönüşümü.

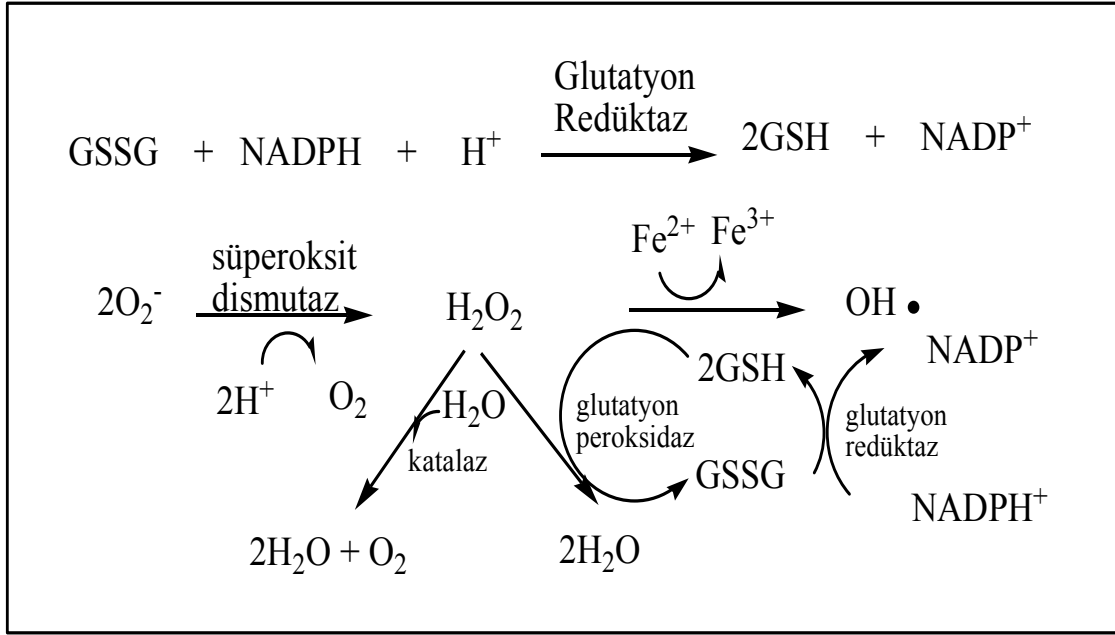
GSH-Px organik hidroperoksitlerin (lipit hidroperoksitler, DNA hidroperoksitler) veya hidrojen peroksidin GSH tarafından indirgenmesi tepkimesini katalizler (Knapen ve ark., 1999). GSH-Px enzimi, selenyum bağlı ve selenyum bağlı olmayan olmak üzere iki gruba ayrılabilir. Selenyum bağlı grupta hidrojen peroksit ve peroksitleri indirgeyen beş üye vardır. Selenyum bağımsız GSH-Px ise sadece organik hidroperoksitleri redükler (Cnubben ve ark., 2001).

Süperoksit radikallerinin dismutasyonu ya da direkt olarak oluşan hidrojen peroksit ise GSH-Px ve CAT enzimleri tarafından suya dönüştürülerek detoksifiye edilir. Normal koşullarda hücrede oluşan hidrojen peroksidin detoksifikasyonunda, esas olarak bir selenoenzim olan GSH-Px fonksiyona sahiptir. CAT'ın hidrojen peroksit oluşumunun arttığı durumlarda önemli etkinliğinin olduğu kabul edilmektedir (Çavdar ve ark., 1997).

GST enziminin teta ve alfa sınıfları selenyum bağlı olmayan glutatyon peroksidaz aktivitesi gösterirler. GST pi formu lipit hidroperoksitler, hidroksialkenler, malondialdehitler ve propenalleri inaktive eder. GST pi ayrıca hassas SH- grubu ve

ROS ile direkt reaksiyona girerek, disülfit yapımının inaktif olmasına neden olur (Cnubben ve ark., 2001).

Glutasyon (GSH): Glutasyon (GSH) karaciğerde genetik bilgiye ihtiyaç olmadan sentezlenebilen bir tripeptittir. Glutasyon (GSH) çok önemli bir antioksidandır, serbest radikaller ve peroksitlerle reaksiyona girerek hücreleri oksidatif hasara karşı korur. Hemoglobinin oksitlenerek methemoglobine dönüşümünün engellenmesinde rol alır. Ayrıca proteinlerdeki sülfhidril (-SH) gruplarını redükte halde tutar ve bu grupları oksidasyona karşı korur, böylece fonksiyonel proteinlerin ve enzimlerin inaktivasyonunu engeller. Glutasyon (GSH) yabancı bileşiklerin detoksifikasyonu ve amino asitlerin membranlardan transportunu da sağlar. Glutasyon (GSH) eritrositleri, lökositleri ve göz lensini oksidatif strese karşı korumada hayati öneme sahiptir.

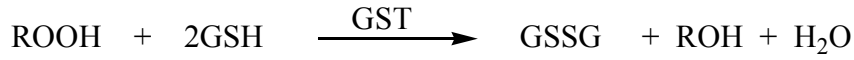


Şekil 1.5. Okside glutasyonun (GSSG) tekrar indirgenmiş glutatyona (GSH) dönüşümü.

Glutasyon redüktaz: Glutasyon redüktaz, GSH-Px vasıtasıyla hidroperoksitlerin indirgenmesi sonucu oluşan okside glutasyonun (GSSG) tekrar indirgenmiş glutatyona (GSH) dönüşümünü katalize eder (Şekil 1.5).

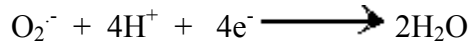
Glutasyon S-Transferazlar (GST): Glutasyon S-transferazlar (GST), EC 2.5.1.18 kodlu ve her biri iki alt birimden oluşmuş bir enzim ailesidir.

Glutasyon S-transferazlar (GST), başta araşidonik asit ve lineolat hidroperoksitleri olmak üzere lipid peroksitlerine karşı selenyum-bağımsız GSH-Px aktivitesi göstererek bir antioksidan savunma mekanizması oluştururlar.



Glutasyon S-transferazlar (GST) katalitik ve katalitik olmayan çok sayıda fonksiyona sahiptirler. Bunlar hem detoksifikasyon yaparlar hem de hücre içi bağlayıcı ve taşıyıcı rolleri vardır. GST'lar, karaciğerde sitokrom P450 enzim sistemi tarafından reaktif ara ürünlere dönüştürülen yabancı maddelerin daha az reaktif konjugatlara dönüşümünü katalizlerler. Serum GST konsantrasyon tayininin aminotransferazlardan (AST ve ALT) daha duyarlı bir hepatosellüler hasar indeksi sağladığı gösterilmiştir.

Mitokondriyal sitokrom oksidaz: Mitokondriyal sitokrom oksidaz solunum zincirinin son enzimidir ve süperoksidi (O_2^-) detoksifiye eder.



Bu reaksiyon fizyolojik şartlarda sürekli cereyan eden normal bir reaksiyondur, bu yolla yakıt maddelerinin oksidasyonu tamamlanır ve bol miktarda enerji üretimi (ATP) sağlanır. Ancak çoğu zaman süperoksit (O_2^-) üretimi mitokondriyal sitokrom oksidaz enziminin kapasitesini aşar ve bu durumda diğer antioksidan enzimler devreye girerek süperoksidin (O_2^-) zararlı etkilerine engel olurlar.

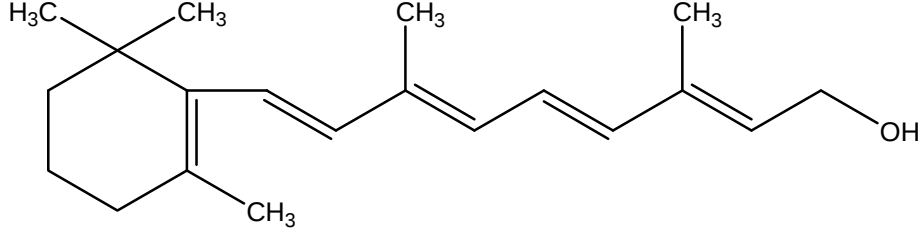
1.4. Vitaminler

1.4.1. Vitamin A

Vitamin A'nın ön maddesi olan β -karotenin singlet oksijeni bastırabildiği, süperoksit radikalini temizlediği ve peroksit radikalleriyle direkt olarak etkileşerek antioksidan görev gördüğü saptanmıştır (Akkuş, 1995).

Besinler içinde çeşitli vitamerler ve prekürsörler halinde bulunur. Vitaminlerin vücutta en yaygın olanı retinol (A1 vitamini)'dir. Bu madde kimyaca, izopren

birimlerinden oluşan doymamış bir alifatik zincirin ucunda β -iyon (sikloheksenil) halkası içeren ve yağda çözünen bir primer alkoldür (Şekil 1.6).



Şekil 1.6. Vitamin A'nın yapısı.

A vitamini insanda ve diğer memelilerde, birçok dokuların normal şekilde çalışabilmesi ve gelişebilmesi için gereklidir. Özellikle görme, üreme, epitelin farklılaşmış şekilde kalması, ekzokrin bez salgısı ve mukus salgılanması gibi fizyolojik fonksiyonlarda önemli rol oynar (Champe ve Harvey, 1997).

A vitamini eksikliğine en duyarlı hücreler, gözyaşı bezlerinin ve korneanın epitel hücreleridir. Bu vitaminin eksikliğinde adı geçen bu hücreler kururlar ve keratinize olurlar. Sonuçta kserofitalmi ve daha ileri dönemde korneanın yumuşaması (kseroftalmi) nedeniyle delinme olur, körlükle sonuçlanır.

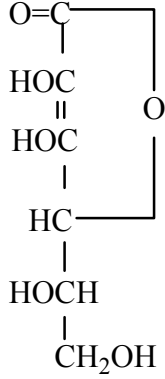
Yağda Çözünür olması nedeniyle bu etkisini sitoplazmadan daha çok lipid fazı antioksidanı olarak hücrenin ve subsellüler yapıların membranında gösterir. Singlet oksijeni inaktif oksijene indirger (Kayaalp, 2000).

1.4.2. Vitamin C (askorbik asit)

1790 yıllarından beri bilinen vitamin C izole edilmesinden hemen sonra kimyasal yapısı açıklanmıştır (Şekil 1.7).

Vitamin C (askorbik asit) organizmada birçok hidroksilasyon reaksiyonunda indirgeyici ajan olarak görev yapar. Kollajen sentezinde lizin ve prolinin hidroksilasyonu için gereklidir (Padayatty ve ark., 2003). Tirozinden epinefrin sentezinin dopamin 3-hidroksilaz basamağında görev alır. Tirozin yıkımında p-hidroksi fenil pirüvatın homogentizata oksidasyonunda rol alır. Safra asitlerinin sentezindeki 7-a-hidroksilaz başlangıç basamağında rol alır. Lizinden karnitin sentezinde rol alır.

Demirin emiliminde enzimatik olmayan bir yol ile indirgeyici olarak rol oynar, midede ferri demiri ferro demire indirger (Harris, 1996). İmmünite ve yara iyileşmesinde etkilidir. Askorbik asit, güçlü indirgeyici aktivitesinden dolayı aynı zamanda güçlü bir antioksidandır. Süperoksit radikali ($\cdot\text{O}_2^-$) ve hidroksil radikali ($\text{OH}\cdot$) ile reaksiyona girerek onları ortamdan temizler.



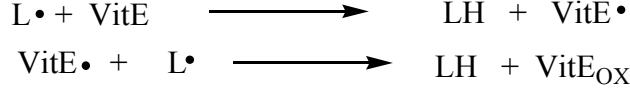
Şekil 1.7. L- Askorbik asitin yapısı (Kalaycıoğlu ve ark. 2006).

Askorbik asit antioksidan etkisinin yanında oksidan etki de gösterir. Askorbik asit proteine bağlı feri demiri uzaklaştırarak ya da doğrudan feri demiri indirgeyerek Fenton reaksiyonunda hidrojen peroksit ile etkileşmeye ve sonunda hidroksil radikali ($\text{OH}\cdot$) oluşturmaya uygun ferro demire dönüştürür. Bu özelliğinden dolayı vitamin C, serbest radikal reaksiyonlarının önemli bir katalisti veya bir prooksidan olarak değerlendirilir. Ancak bu tip etkisinin sadece düşük konsantrasyonlarda görüldüğü, yüksek konsantrasyonlarda güçlü bir antioksidan olarak etki ettiği kaydedilmiştir. Vitamin C'nin fagositoz için de önemli olduğu gösterilmiştir (Harris, 1996).

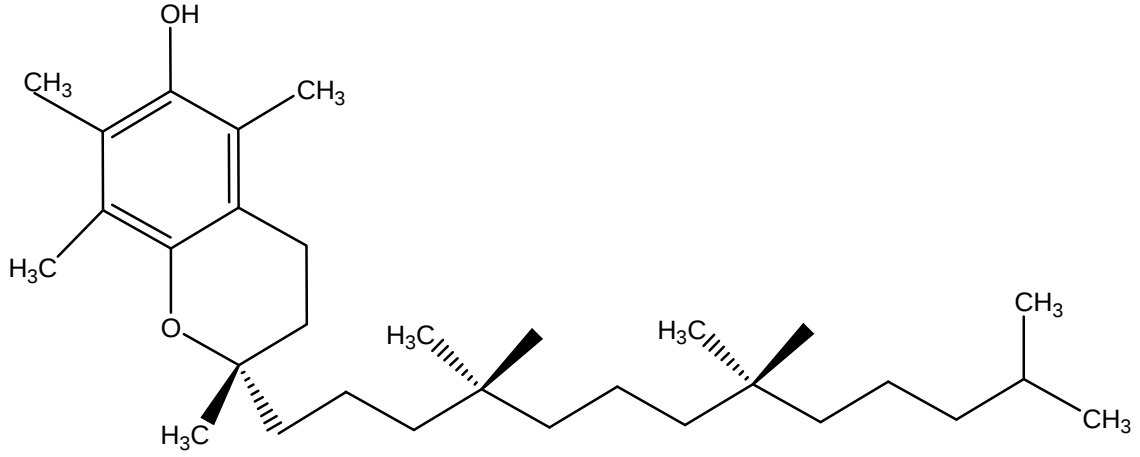
1.4.3. Vitamin E

Vitamin E (α -tokoferol) çok güçlü bir antioksidandır, hücre membran fosfolipidlerinde bulunan poliansatüre yağ asitlerini serbest radikallerin etkisinden koruyan ilk savunma hattını oluşturur. Vitamin E süperoksit ve hidroksil radikallerini, singlet oksijeni, lipid peroksit radikallerini ve diğer radikalleri indirger. Vitamin E zincir

kırıcı antioksidan olarak bilinir. Lipit peroksidasyonu zincir reaksiyonu, vitamin E vasıtasıyla sonlandırılabilir (Dogru Pekiner ve ark.2003).



Vitamin E okside olduktan sonra ve parçalanmadan önce askorbik asit ve glutatyon tarafından yeniden indirgenebilmektedir. Vitamin E ve C verilmesinin yaşlı kişilerde ortalama kan lipit peroksit konsantrasyonlarında bir azalma sağlandığı saptanmıştır (Smith ve ark., 2005).



Şekil 1.8. Vitamin E'nin (α -Tokoferol) yapısı.

Glutatyon peroksidaz ile vitamin E, serbest radikallere karşı birbirlerini tamamlayıcı etki gösterirler. Glutatyon peroksidaz oluşmuş peroksitleri ortadan kaldırırken vitamin E peroksitlerin sentezini engeller. Vitamin E selenyum metabolizmasında da önemli rol oynar. Vitamin E selenyumun organizmadan kaybını önleyerek veya onu aktif şekilde tutarak selenyum ihtiyacını azaltır. Serbest radikallerin kanserin başlamasında rol aldığı ve vitamin E ile diğer antioksidanların antikanserojen etki göstererek kanserin yayılmasını ve tümörün büyümesini önlediği kaydedilmiştir (Akkuş, 1995).

E vitamini bitkisel yağlarda bol miktarda bulunmaktadır. Karaciğer, yumurta, süt ve süt ürünleri vitamin E'nin bol bulunduğu besin öğeleridir. Bu besinlerin yetersiz alınması halinde noksanlık belirtileri ortaya çıkar. Doymamış yağ asitlerinin gıdalarla fazla alınması vitamin E ihtiyacını artırır. Yağda eriyen bir vitamin olduğu için lipit emilim bozukluklarında vitamin noksanlığı ortaya çıkabilir. Noksanlık durumunda

eritrositlerin peroksidasyona duyarlılığı artmakta ve bu nedenle anormal hücre membranı oluşmaktadır (Mert ve ark., 1999).

1.5. Lipidler ve Genel Özellikleri

Lipidler (yağlar), insan ve hayvanların beslenmesinde önemli bir yer tutmaktadır. Vücutta enerji kaynağı olarak kullanılmalarının yanı sıra yağda eriyen vitaminlerin emilmesi, esansiyel yağ asitleri kaynağı olması, hücre membranlarının yapısında yer alması ve eikosanoid sentezinde de ön madde olarak fonksiyon göstermeleri yağların organizmadaki önemini açıklamaktadır (Mayes, 1993). Yağlar, yağ asitleri ve gliserolden ibaret olup, yağ asitlerinin yapısındaki karbon sayısı ve doymuşluk derecesi yağların fiziksel ve kimyasal özelliklerini oluşturmaktadırlar. Yağ asitleri, doğal katı ve sıvı yağlarda esterler halinde, plazmada ise bir transport şekli olan serbest yağ asidi olarak esterleşmemiş formda bulunurlar. Doğal yağlarda bulunan yağ asitleri genelde düz zincir türevleri olup 2 karbonlu birimlerden sentezlendikleri için çift sayıda karbon atomları taşımaktadırlar. Bunlar doymuş yağ asitleri (saturated fatty acids=SFA), tek bağlı doymamış yağ asitleri (monounsaturated fatty acids=MUFA) ve çok bağlı doymamış yağ asitleri (polyunsaturated fatty acids=PUFA) olmak üzere 3 ana gruba ayrılırlar. SFA ve MUFA insan ve hayvan vücudunda sentezlenebilmelerine karşın bazı PUFA'lar (linoleik asit, α -linolenik asit) hayvan ve insanlardaki enzim eksikliği sebebiyle sentezlenemezler. Bitkilerle karşılaştırıldığında hayvan dokuları yağ asitlerini doymamış hale getirmede kısıtlı yeteneğe sahiptirler. Bu durum bitki kaynağından elde edilen belli PUFA'ların rasyonla alınımını zorunlu kılmaktadır. Söz konusu esansiyel yağ asitleri eikosanoid (C20) yağ asitlerinin oluşumunu başlatır ve eikosanoidler diye bilinen prostaglandinler linoleattan, tromboksanlar arakidonattan ve lökotrienler ise α -linolenattan sentezlenirler (Mayes, 1993; Burtis ve Ashwood, 1994; Nizamlioğlu, 2000).

İnsanoğlunun yaşadığı evrimle birlikte beslenme alışkanlıkları da köklü bir değişikliğe uğramıştır. Avustralya, Afrika ve Güney Amerika'da yapılan arkeolojik çalışmalar geçmişte yasayan insan diyeti ile bugünkü batı insanının diyetinin çok farklı olduğunu göstermiştir. Atalarımızın enerji ihtiyaçlarını lif oranının yüksek meyve ve sebzeler bakımından zengin diyetlerle, protein ihtiyaçlarını ise büyük kısmını et (av

hayvanları) ve balıktan sağladıkları bilinmektedir. Sonuç olarak bugünkü batı diyetine göre total yağ ve doymuş (sature) yağ oranının daha düşük, ω -3 ve ω -6 esansiyel yağ asitleri tüketiminin ise genellikle eşit olduğu görülmektedir (Uysal, 2002). Artan ölümler sonucunda son yüzyılın yarısından itibaren kalp hastalıklarını en aza indirmek amacıyla çok farklı diyet önerileri yapılmıştır.

Akdeniz ülkelerinde MUFA ağırlıklı beslenme alışkanlığından dolayı kalp hastalıkları oranının düşük olduğu bildirilmiştir (Zyriax ve Windler, 2000). Yüksek miktarda balık tüketimi ile artan ω -3 yağ asitleri Japon ve Eskimolarda kalp hastalıklarına yakalanma riskini düşürmüştür (Kimoto ve ark., 2002).

Günümüzde ise ω -6 ve ω -3 yağ asitlerinin dengeli alınmasının ne kadar önemli olduğunun farkına varılmış ve ω -3 bakımından zenginleştirilmiş ürünler dengeli ω -6/ ω -3 oranı ile piyasalarda baş göstermeye başlamıştır (Ayerza, 2002).

1.5.1. Yağlar

Yağlar, doğada çoğunlukla gliserin ve yağ asitlerinden oluşan eter, kloroform gibi maddelerde çözünebilen, suda çözünmeyen kimyasal bileşiklerdir. Tabiatta tüm canlıların yapısında bulunur ve genellikle yağlardan enerji kaynağı olarak yararlanılır. Bunun yanında özellikle hayvan beslemede yağda eriyen vitaminlerin ve esansiyel yağ asitlerinin ana kaynağı olarak da önem taşırlar. Yağların bileşimindeki gliseridlerin yapılarında aynı yağ asitleri bulunursa basit gliseridler, farklı yağ asitlerinden meydana gelmiş ise bileşik gliseridler olarak isimlendirirler.

Karbonhidratların yanında, yağlar en önemli enerji kaynağıdır. Karbonhidrat ve proteinlerden 2-2,5 kat daha fazla enerjiye sahiptir (Menke ve Huss 1980). Bitkisel gıdalar (findıklar hariç) et ürünlerine göre daha az yağ kapsamaktadır (Çizelge 1.3).

Yağların yapısında en çok bulunan yağ asitleri 16 karbonlu bir doymuş yağ asidi olan palmitik asit ve 18 karbonlu doymamış yağ asitlerinden oleik ve linoleik asitlerdir. Yağların kimyasal ve fiziksel özellikleri, kendilerini oluşturan yağ asitlerine göre farklılıklar gösterir. Dolayısıyla yapılarında bulunan yağ asitlerinin fiziksel özelliklerine bağlı olarak oda sıcaklığında sıvı ya da katı halde bulunurlar (Prabucki, 1973).

Çizelge 1.3. Bazı gıda örneklerinin yağ miktarları (Prabucki, 1973)

Gıda Maddesi	Yağ Miktarı (%)
Meyve-sebze karışımı	0.5-6.0
Tahıl	0.8-8.0
Sebze	0.7-10.0
Fındık	20.0-75.0
Süt ve süt ürünleri	1.0-96.0
Yumurta ve yumurta ürünleri	1.5-64.0
Balık ve balık ürünleri	1.0-60.0
Et ve et ürünleri	10.0-80.0

1.5.2.Yağ asitleri

Mikroorganizmalarda, bitki ve hayvanların yapılarında 100' ün üzerinde farklı yağ asitleri tespit edilmiştir. Bu yağ asitleri birbirinden farklı zincir uzunluğu, taşıdıkları tek veya çift bağ sayısı ve doymamışlık derecesine göre ayrılırlar. Yağların en önemli yapı taşı olan yağ asitlerinin çoğu 4-24 karbon zinciri arasında dağılım gösterirler.

Yağları oluşturan yağ asitleri çoğunlukla uzun karbon zincirlerinden ve sonuna bağlı bir karboksil grubundan oluşmaktadır. Yağ asitleri biyolojik membranların önemli yapı taşı olan glikolipit ve fosfolipidlerin yapısında bulunur. Enerji sağlamak için organizma tarafından kullanılır ve vücutta trigliserit olarak depo edilirler.

Yağ asitleri biyolojik sistem içinde çoğunlukla çift sayılı karbon atomlarından oluşurlar. En çok 16 ile 18 karbonlu atomlar şeklinde ortaya çıkarlar. Hayvansal yağ asitlerinin karbon zinciri genellikle dallanma göstermez. Bir alkil zinciri doymuş olarak bulunur ya da bir veya birçok çift bağ içerir. Cis-konfigurasyonu çoğunlukla doymamış yağ asitlerinde gözlenir. Cis formunda tüm zincir ekleri aynı taraftadır, trans-formunda ise tam tersi bir durum vardır. Bu konfigürasyonlar yağ asitlerinin oksidasyonunda önemli rol oynarlar. Trans-formundaki yağ asitleri Enol-CoA-hydrataz enziminin ortaya çıkmasıyla parçalanır. Dolayısıyla cis-konfigürasyonundaki yağ asitleri oksitlenmeye daha meyillidirler (Murray ve ark. 1993).

1.5.3. Yağ asitlerinin isimlendirilmesi

Doymamış yağ asitlerinin isimlendirilmesinde iki yöntem vardır: Delta (Δ) isimlendirilmesinde karbon atomlarının sayılması karboksil grubundan başlar. Omega isimlendirilmesinde ise karbon atomlarının sayımı en sondaki metil grubundan başlar. Çizelge1.4'te bazı yağ asitlerinin adlandırılması verilmiştir (Grashorn, 1995).

Linoleik asit bitki yapraklarında kısa zincirli ve doymuş yağ asitlerinden dehidrasyon ve zincir uzaması (eiongasyon) ile oluşmaktadır. Linoleik asit bitkisel lipidlerin depo formudur ve yüksek konsantrasyonlarda bitkinin tohumunda bulunmaktadır. Omega-6 yağ asitlerinin omega-3 yağ asitlerine desaturasyon basamağı sadece yosun ve yeşil yapraklarda şekillenmektedir. Yüksek oranda omega-3 doymamış yağ asitlerinden oluşan EPA ve DHA devam eden desaturasyonlar ve besin maddeleri zincirinin zenginleşmesi sonucunda, özellikle soğuk su balıklarında (uskumru, somon ve alabalık) yüksek konsantrasyonlarda bulunmaktadır. α -Linolenik asit ise yüksek miktarlarda keten tohumu ve soyada bulunur. Günümüzde kullanılan bitkisel yağlardaki omega-6 yağ asitleri bitki tohumlarındaki depo yağlardan elde edilmektedir (Zanni ve ark. 1987).

Çizelge1.4. Bazı yağ asitlerinin isimlendirilmesi (Grashorn, 1995)

İsim	Delta isimlendirilmesi	Omega isimlendirilmesi
Palmitik asit	C16:0	C16:0
Stearik asit	C18:0	C18:0
Linoleik asit	C18:2 $\Delta^{9, 12}$	C18:2 $\omega^{6, 9}$
α -linolenik asit	C18:3 $\Delta^{9, 12, 15}$	C18:3 $\omega^{3, 6, 9}$
Arachidonik asit	C20:4 $\Delta^{5, 8, 11, 14}$	C20:4 $\omega^{6, 9, 12, 15}$
Ekosapentanoik asit (EPA)	C20:5 $\Delta^{5, 8, 11, 14, 17}$	C20:5 $\omega^{3, 6, 9, 12, 15}$
Dokosaheksaenoik asit (DHA)	C22:6 $\Delta^{4, 7, 10, 13, 16, 19}$	C22:6 $\omega^{3, 6, 9, 12, 15, 18}$

1.5.4. Yağ asitlerinin sınıflandırılması

Yağ asitleri doymuş ve doymamış yağ asitleri olmak üzere ikiye ayrılırlar. Çizelge 1.4 ve Çizelge 1.5'te bu gruplar içinde incelenen ve sıkça karşılaşılan yağ asitlerine örnekler verilmiştir. Uzun hidrokarbon kuyruğuna sahip olan ve tek bağ içeren yağ asitleri doymuş yağ asitleridir. Doymamış yağ asitleri ise yapılarında bir ya da birden fazla çift bağ ihtiva ederler.

Genel olarak tabiatta doymamış yağ asitleri doymuşlara oranla iki kat daha fazla bulunur. Doymamış yağ asitleri yapılarında bir tane çift bağ ihtiva ederse tekli doymamış yağ asidi (monounsaturated fatty acid, MUFA), birden fazla çift bağ ihtiva ederse çoklu doymamış yağ asidi (polyunsaturated fatty acid, PUFA) adı verilir. Doymamış yağ asitlerinin çift bağ işaretinin yeri "n", "delta" ve "omega" işaretlerinden herhangi biri ile gösterilebilir. Doğal yağlarda çift bağ metil grubundan başlamak üzere çoğunlukla 3. ya da 6. karbon atomundan sonra meydana gelir ve bu yağ asitleri omega-3 ya da omega-6 olarak isimlendirilir (Horton ve ark., 1993).

Yağ asitlerinin özellikleri belirgin olarak zincir uzunluğuna ve çift bağların sayısına bağlıdır. Doymamış yağ asitleri daha düşük bir erime noktasına sahiptir. Zincir uzunluğu da erime noktasını etkiler. Zincir ne kadar kısa ise erime noktası o kadar düşüktür (Stryer, 1987).

Linolenik aside bitkilerin yeşil yapraklarında da rastlanır ve bitki kloroplastlarında linoleik asidin desature edilmesiyle arahidonik asit meydana getirilir. Linolenik asidin elongasyonu ve daha ileri düzeyde desaturasyonu ile hayvanlarda EPA ve DHA üretimi sağlanır (Leaf ve Weber, 1988). Karbon sayısı 10'a kadar olan bütün doymuş yağ asitleri ile doymamış yağ asitlerinin tamamı oda sıcaklığında sıvı, karbon sayısı 10'dan yukarı olan doymuş yağ asitleri ise katı haldedirler (Çizelge 1.6). Yağ asitlerinin karbon sayısı arttıkça yağ asidi sertleşmeye ve erime noktası yükselmeye başlar (Menke ve Huss, 1980).

Memelilerin sentez edemediği esansiyel yağ asitlerinden linoleik asit özellikle bitkisel yağlarda, linolenik asit ise balık yağında bol miktarda bulunur. Linoleik asit bitki tohumlarından elde edilen yağlarda en fazla bulunan poliansature yağ asididir. Linoleik asitten karbon zincirinin uzaması (elengasyon) ve çift bağ sayısının artması (desaturasyon) sonucu arahidonik asit meydana gelir (Watkins, 1991).

Çizelge 1.5. Doymamış yağ asitleri (Horton ve ark., 1993)

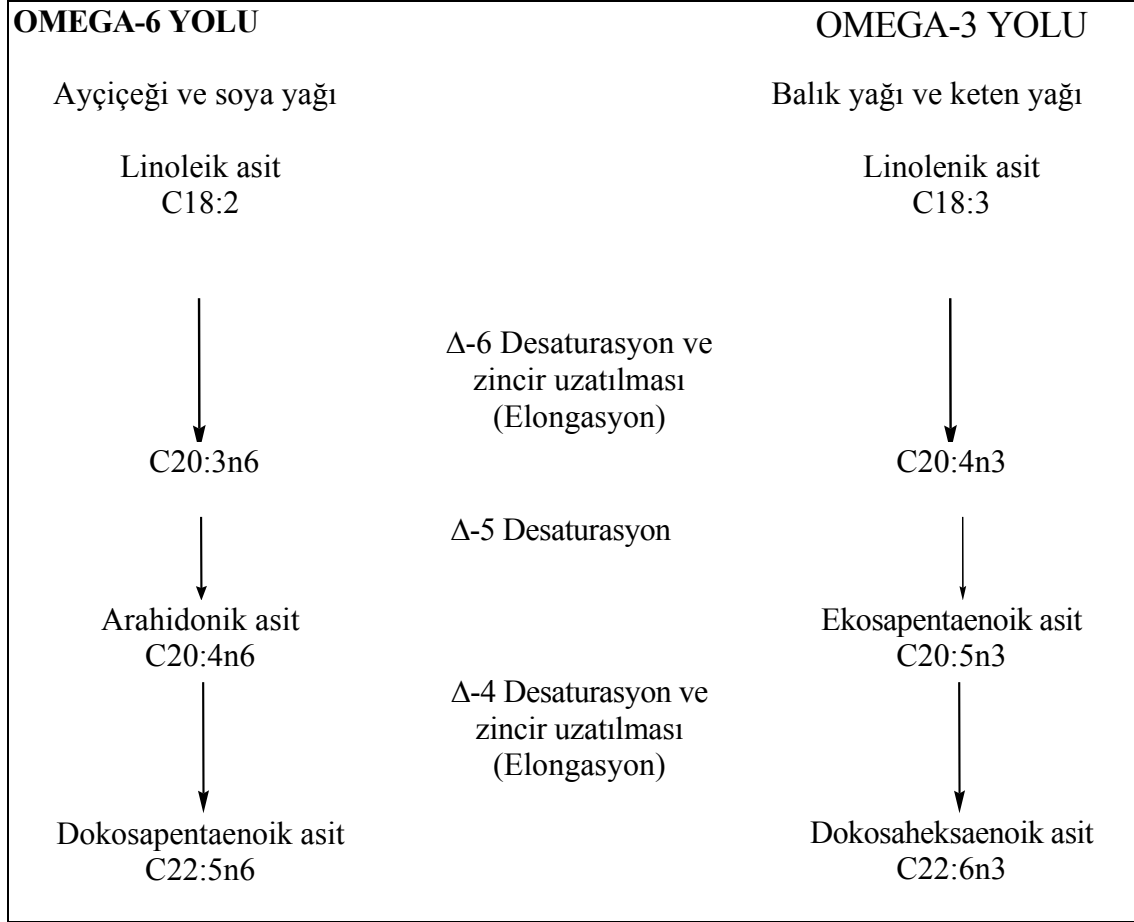
Karbon sayısı	Adı	Yapısal formülü
trans - MUFA, tekli doymamış yağ asitleri		
C 16:1 n7t	Palmitelaidik asit	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_5\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$
C 18:1 n9t	Elaidik asit	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$
cis - MUFA, tekli doymamış yağ asitleri		
C 14:1 n5	Miristoleik asit	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3\text{-CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$
C 16:1 n7	Palmitoleik asit	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_5\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$
C 17:1 n7	Heptadesenoik asit	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_5\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_8\text{COOH}$
C 18:1 n9	Oleik asit	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$
C20:1 n9	Ekosanoik asit	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_9\text{COOH}$
C 22:1 n9	Erusik asit	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_{11}\text{COOH}$
C 24:1 n9	Nervonik asit	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_{13}\text{COOH}$
n-6 PUFA, çoklu doymamış yağ asitleri		
C 18:2n6c	Linoleik asit	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4(\text{CH}=\text{CH-CH}_2)_2(\text{CH}_2)_6\text{COOH}$
C 18:3n6	γ -Linolenik asit	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4(\text{CH}=\text{CH-CH}_2)_3(\text{CH}_2)_3\text{COOH}$
C 20:2n6	Ekosadienoik asit	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4(\text{CH}=\text{CH-CH}_2)_2(\text{CH}_2)_8\text{COOH}$
C 20:3n6	Ekosatrienoik asit	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4(\text{CH}=\text{CH-CH}_2)_3(\text{CH}_2)_5\text{COOH}$
C 20:4 n6	Arahidonik asit	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4(\text{CH}=\text{CH-CH}_2)_4(\text{CH}_2)_2\text{COOH}$
C 22:4 n6	Dokosatetraenoik asit	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4(\text{CH}=\text{CH-CH}_2)_4(\text{CH}_2)_4\text{COOH}$
n-3 PUFA, çoklu doymamış yağ asitleri		
C 18:3n3	α -Linolenik asit	$\text{CH}_3\text{CH}_2(\text{CH}=\text{CH-CH}_2)_3(\text{CH}_2)_6\text{COOH}$
C 20:3n3	Ekosatrienoik asit	$\text{CH}_3\text{CH}_2(\text{CH}=\text{CH-CH}_2)_3(\text{CH}_2)_8\text{COOH}$
C 20:5 n3	Ekosapentaenoik asit	$\text{CH}_3\text{CH}_2(\text{CH}=\text{CH-CH}_2)_5(\text{CH}_2)_2\text{COOH}$
C 22:5 n3	Dokosapentaenoik asit	$\text{CH}_3\text{CH}_2(\text{CH}=\text{CH-CH}_2)_5(\text{CH}_2)_4\text{COOH}$
C 22:6 n3	Dokosaheksaenoik asit	$\text{CH}_3\text{CH}_2(\text{CH}=\text{CH-CH}_2)_6(\text{CH}_2)\text{COOH}$

Çizelge 1.6. Yağ asitlerinin erime noktaları ve kaynakları (Menke ve Huss 1980).

DOYMUŞ YAĞ ASİTLERİ	İsim	Kısa tanımlama	Erime noktası	Kaynak
	Butirik asit	C4:0	-8°C	Süt yağı
	Kaproik asit	C6:0	-2°C	Süt yağı Koko yağı
	Kaprilik asit	C8:0	16°C	Koko yağı Hindistan cevizi Süt yağı
	Kaprik asit	C10:0	31°C	Koko yağı Hindistan cevizi Süt yağı
	Laurik asit	C12:0	44°C	Domuz yağı Süt yağı
	Miristik asit	C14:0	54°C	Domuz yağı Süt yağı
	Palmitik asit	C16:0	63°C	Hayvansal yağ Bitkisel yağ
	Stearik asit	C18:0	70°C	Hayvansal yağ Bitkisel yağ
	Arahidik asit	C20:0	76°C	Fıstık yağı Süt yağı
	Behenik asit	C22:0	80°C	Serebrosid
	Lignoserik asit	C24:0	84°C	Serebrosid Fosfatid
DOYMAMIŞ YAĞ ASİTLERİ	Palmitoleik asit	C16:1	1°C	Balık yağı Hayvansal yağ
	Oleik asit	C18:1	13°C	Katı yağ Sıvı yağ
	Linoleik asit	C18:2	-6°C	Soya yağı Fosfatid
	Linolenik asit	C18:3	-11°C	Keten yağı Soya yağı Fosfatid
	Arahidonik asit	C20:4	-50°C	Keten yağı Soya yağı Fosfatid

Bitkilerin aksine hayvanlar ve insanlar omega-3 ve omega-6 grubu içeren doymamış yağ asitlerini sentezleyemezler. Hayvan organizmasında omega 1'in metil grubu ile omega 7 karbon atomu arasına çift bağ oluşturulamaz. Bu nedenle linoleik ve linolenik asitler esansiyeldir. Bu asitlerden hayvan organizmasında mitokondrilerde uzun zincirli ve çoğunlukla doymamış yağ asitleri sentezlenebilir. Burada değişen zincir uzunluğu ve bir çift bağın oluşmasıdır. EPA ve DHA yağ asitleri hem gıda maddelerinden hem de organizma tarafından sentezlenebilir (Grashorn, 1995).

Şekil 1.9’da görüldüğü gibi her iki yağ asidi ailesinin de her zaman aynı enzimle biyosentezi katalizlenir. Bu başlangıç yağ asidinden bağımsız olarak şekillenir. Yağ asitleri ve enzimler organizmada sürekli rekabet halindedir. Yüksek oranda omega-6 yağ asitleri varlığında linoleik asidin omega-6 desaturasyonu ve zincir uzaması ile EPA ve DHA’ya indirgenmektedir (Grashorn, 1995).



Şekil 1.9. Omega-6 ve omega-3 yağ asitlerinin biyosentezi (Grashorn, 1995).

Linoleik ve linolenik asit organizmada çift bağların şekillenmesi ve zincir uzaması ile birlikte dönüşüme uğramaktadır. Bunun sonucunda arahidonik ve EPA yağ asitleri oluşur. Bunlar doku hormonlarının ön maddeleridir. (Halle, 1997).

Balık yağı dışındaki hayvansal yağlar doymuş yağ asidi bakımından, bitkisel yağlar ise doymamış yağ asidi bakımından zengindir. Bitkisel yağlar sınıfında yer alan zeytin yağı oleik asit bakımından zengin iken, bir başka bitkisel yağ olan keten yağı linolenik asit bakımından zengindir (Huang ve ark., 1990; Padley ve ark., 1986).

1.5.5. Yağ asitlerinin insan sağlığına etkisi

Esansiyel yağ asitleri olarak doymamış yağ asitlerinden olan ve vitamin F adı da verilen linoleik, linolenik ve arahidonik asit bilinir. Bu yağ asitleri hayvan organizması tarafından sentez edilemedikleri için gıdalar ile dışarıdan alınmaları şarttır. Doymamış yağ asitleri çoğunlukla omega-3 ve omega-6 yağ asitleri formundadır. Aralarında linolenik asidin de bulunduğu bazı yağ asitleri omega-3 formundadır ve kolaylıkla aynı formdaki EPA ve DHA'ya dönüşebilir. (Balevi ve Coşkun, 1999; Lewis ve Seburg, 2000). Ayrıca diyetle n-3 yağ asidi katılmasının kalp-damar hastalıkları, hipertansiyon, bağışıklık, allerjik ve sinirsel bozukluklardaki önemi de vurgulanmıştır (Simopolous ve ark., 1999). Bunlara ilaveten omega-3 yağ asitlerinin prostaglandinlerin sentezinde görev almaları (Norum ve Drevon, 1986) ve beyin ile retinanın normal gelişmesi için de gerekli olmalarının (Watkins, 1991) yanı sıra kardiyovasküler bozukluklar ile ilişkili hastalıkların insidansını da azalttığı bildirilmektedir (Bayazit, 2003; Enslen ve ark., 1991; Farrell, 1992). Diğer yandan vücuttaki bağışıklık fonksiyonlarının kaybını geciktirici rol oynadığı da rapor edilmiştir (Lewis ve Seburg, 2000).

Omega-3 yağ asitlerinin, kırmızı hücrelerin dayanıklılığını arttırdığı, kanın viskozitesinde azalmaya yol açtığı ve böylece kılcal damarlarla beslenen dokulara oksijen teminini kolaylaştırdığı öne sürülmektedir. Ayrıca bu yağ asitlerinin antihipertansif etki gösterdikleri bildirilmektedir (Leaf ve Weber, 1988).

Vücuttaki omega-6 ve omega-3 yağ asitlerinin birbirine oranı (n-6/n-3) çok önemlidir. İdeal beslenmede gıdalarda bulunması istenilen n-6/n-3 oranı 5:1 ile 10:1 arasında olması istenilmektedir. Orta Avrupa ve Kuzey Amerika'nın beslenme alışkanlıklarında omega-6 yağ asidi özellikle de α -linoleik asit ön plandadır. Linoleik asit yıllar boyunca en önemli yağ asidi, linolenik asit ise önemsiz olarak kabul edilmiştir. Ancak sistematik olarak yapılan araştırmalarda organizmada omega-6 ve omega-3 yağ asitlerinin birbirine oranı araştırılmakta ve hangisinin vücut fonksiyonlarını optimum düzeyde sağladığı incelenmektedir (Singer, 1994).

Dyerberg (1986) tarafından yapılan bir araştırmada; omega-3 yağ asitleri bakımından zengin diyetlerle beslenen Eskimolarda uzun zincirli doymamış yağ asitlerinin, doymuş yağ asitlerine oranı 0,84 iken, omega-6 yağ asitleri bakımından zengin diyetle beslenen Danimarkalılarda bu oranın 0,24 olduğu, bunun sonucunda da

Eskimoların kan plazmasında LDL ve VLDL düzeylerinin daha düşük, HDL düzeylerinin ise daha yüksek olduğu bildirilmiştir.

Eskimolarda toplam kolesterol ve trigliserit seviyeleri önemli oranda daha düşük ve HDL seviyesinde önemli oranda daha yüksek olduğu bilinmektedir. Arterioskleroz oluşumunda kolesterolün üstlendiği rolden dolayı bu bulgu, diyetle balık veya balık yağı eklemenin plazma lipit seviyelerine etkileri üzerinde çeşitli çalışmaların yapılmasına neden olmuş ve balık yağının trigliserit, VLDL ve buna bağlı olarak LDL seviyelerinde önemli düşmelere sebep olduğu tespit edilmiştir. Balık yağı, plazma trigliserit ve VLDL seviyelerini düşüren en etkili yol olarak bilinmektedir. Yüksek trigliseridli hastalarda 1 aydan 3 aya kadar yapılan denemelerde günlük 4.5 g'dan 30 g'a kadar tüketilen yağ asitlerinin (EPA ve DHA) trigliserit ve VLDL seviyelerini düşürdüğü gözlenmiştir. Normal trigliserit seviyeli kimselerde bu konsantrasyonları düşürmek için çok daha az miktarlar yeterli olmaktadır (Dyerberg, 1986; Kromhout ve ark., 1985).

Rasyonun kolesterol ve doymuş yağ asidi düzeyinin plazma lipit, HDL ve LDL düzeylerine etkilerini belirlemek amacıyla yapılan bir çalışmada (Zanni ve ark., 1987), 22-37 yaşları arasında 9 kadın kullanılmıştır. Üç haftalık bir kontrol periyodundan sonra, dört farklı diyet 15'er günlük periyotlar halinde deneklere gönüllü olarak verilmiştir. Birincisi mısır yağı, doymamış yağ asitlerinin doymuş yağ asitlerine oranı (P/S) 2,14 olan ve 130 mg kolesterol içeren diyet, ikincisi mısır yağı + yumurta sarısı içeren ve 875 mg kolesterol içeren diyetlerdir. Deneme sonunda mısır yağı tüketen ve P/S oranı 2,14 olan grupta kolesterol, LDL ve HDL düzeyleri sırasıyla 136,2; 72,4 ve 39,4; mg/dl olarak bulunmuştur. P/S oranı 0,64 olan domuz yağı + yumurta sarısı içeren diyeti tüketen grupta ise kolesterol ve LDL düzeyleri önemli ölçüde yükselerek, sırasıyla 169 ve 101,4 mg/dl olarak bulunmuştur. Yapılan başka çalışmalarda da benzer sonuçlar gözlenmiştir (Grundy, 1986; Mattson ve Grundy, 1985).

Balık yağının özellikle serum trigliseridlerini ve lipoproteinlerini azalttığı bilinmektedir. Ayrıca kan koagülasyon profilini de olumlu olarak etkilediği, kanın serbestçe akmasını sağladığı, damar çeperindeki hücreleri modifiye ederek kolesterol oluşumunu önlediği bildirilmiştir (Ötleş, 1998). EPA ve DHA'ların günde 2 gramdan fazla alınması durumunda, vücutta çok düşük yoğunluklu lipoproteinlerin sentezlenmesini ve salgılanmasını azalttığı, iyi huylu kolesterol taşıyan HDL'nin konsantrasyonunu arttırdığı bildirilmiştir. Ancak balık yağları hipertrigliseridi olanlara

tavsiye edilmekle birlikte yine de hiperkolesterolü olan hastalara önerilmiştir (Özçelik ve Karaali, 2002).

Omega-3 yağ asitleri bakımından zengin olan balık yağlarının tüketimiyle, koroner kalp hastalıklarından dolayı meydana gelen ölümler arasında zıt bir ilişki olduğu Kromhout ve ark. (1985) tarafından yapılan ve 20 yılın üzerinde süren bir çalışmada gösterilmiştir. Leaf ve Weber (1988) tarafından yapılan bir değerlendirmede; günlük omega-3 yağ asitleri tüketiminin en az 4 g kadar olması gerektiği, fakat peroksidasyon tehlikesi nedeniyle diyetteki antioksidan miktarında buna bağlı olarak artırılması gerektiği vurgulanmıştır.

Kandaki omega-3 ve omega-6 yağ asitleri arasında bir rekabet vardır. Bu da kural olarak omega-6 yağ asitlerinin fazla olması ve bu sayede de omega-6 metabolizmasının daha güçlü bir şekilde oluşmasına sebep olmaktadır (Grashorn, 1995).

Esansiyel yağ asitleri vücutta doymamış yağ asitlerine, bunlarda önce ekosanoid isimli 20 karbonlu yağ asidine dönüştürülür. Daha sonra bunlardan prostanoid denilen prostaglandinler, tromboksanlar ve lökötrienler sentezlenir. Bunlar hormon benzeri bileşikler olup, hücrelerde membran geçirgenliği ile enzim ve reseptör aktivitesini etkilerler(Murray ve ark., 1993).

1960'lı yıllardan beri diyetteki yağ asitlerinin serum kolesterol seviyelerini farklı oranlarda etkiledikleri bilinmektedir (Anonymous, 1991). İnsanların kan plazmasındaki lipit düzeyinin yüksekliğiyle koroner kalp hastalıkları ve arterioskleroz arasında sıkı bir ilişki vardır. Serum lipitleri içerisinde yer alan kolesterol bu ilişkinin en büyük etkenidir (Leaf ve Weber, 1988). Doymuş yağ asitleri, serum kolesterol ve LDL seviyelerini yükselttiği için arterioskleroz ve dolaşım hastalıkları için risk faktörü olduğu kanaatine varılmıştır. Buna karşılık PUFA'lar serum kolesterol seviyelerini düşürdükleri, MUFA'ların da serum kolesterol seviyelerinin düşmesinde küçük de olsa etkilerinin olduğu bildirilmektedir (Mattson ve Grundy, 1985). Birçok araştırmacı tarafından onaylanan bu değişiklikler temel alınarak P/S oranının serum kolesterol seviyelerinde ana belirleyici faktör olduğu fikri ortaya çıkmıştır (Leaf ve Weber, 1988).

Kalp krizi ile ölümlerin bazıları kalıtsal olarak meydana gelmektedir. Bunun sebebi kişilerin kan plazmasında kalıtsal olarak endojen LDL seviyesinin daha yüksek ve hücre yüzeyindeki LDL reseptörlerinin yetersizliği sonucunda kolesterolün hücreye girmesi engellenmektedir. Hücreye girmeyen kolesterol yüzünden plazmada kolesterol

miktarı artarak, koroner kalp hastalıklarından dolayı ölümlerin insidansı artmaktadır (Leaf ve Weber, 1988).

Balık yağı kolesterolü yüksek hastalarda, lipoproteinlerin fiziksel durumunu değiştirip LDL'yi düşürerek, kolesterolün azalmasını sağlar(Leaf ve Weber, 1988.).

1.5.6. Balık yağlarının özellikleri

Deniz balıklarının yağ içerikleri balığın denizde yaşadığı yere göre farklılık göstermektedir. Ringa ve uskumru gibi balıklar "pelajik" balıklar olup, bunlar denizlerin yüzeye yakın kısımlarında yaşarlar. Morina ve mezigit gibi balıklar ise "demersal" balıklar olup, denizin dibinde yaşarlar. Pelajik balıklar %20 gibi yüksek düzeyde yağ içeriğine sahipken, demersal balıkların gövde yağ içeriği oldukça düşük, buna karşın karaciğerleri ise yağ deposudur. Balık gövde yağları genelde nötral trigliseridler halinde ve derinin alt kısımlarındaki dokularda depolanırlar (Sebedio, 1996). Ticari olarak elde edilen balık yağları genellikle %95 veya daha fazla oranda trigliserit içerirler. Yağın geri kalan kısmı ise fosfolipidler ve sabunlaşmayan maddelerden oluşur. Ham balık yağlarında kolesterol 5-8 mg kadar olup, serbest kolesterol ve bazı kolesterol esterleri kolesterol rafinasyon işlemi ile giderilir. Bunlara ek olarak balık yağlarında eser miktarlarda yağda çözünen A ve D vitaminleri gibi bazı diğer komponentler de bulunmaktadır. Bu vitaminler, balık karaciğerinden elde edilen yağlarda, balık gövdesinden elde edilenlere oranla daha fazla miktarlarda bulunmaktadır. Balık yağlarının iyot sayıları 99-211 arasında değişir ve erime noktaları da oldukça düşüktür (Opstvedt ve ark., 1990; Patterson, 1994).

Balık yağlarının bileşimlerinde çok çeşitli yağ asitleri bulunmakta olup, bazı türlerin 60-80 farklı yağ asidi içerebildiği analitik olarak saptanmıştır (Macrae ve ark., 1993). Genellikle, balık yağlarının toplam yağ asitlerinin %25-30'unu doymuş, %20~60'ını ise doymamış yağ asitleri oluşturur. Polietilenik yağ asitlerinden hiçbir konjuge asit balık yağlarında bulunmaz. Linoleik asit balık yağında en çok bulunan dienoik asit olup miktarı yalnızca %1'dir (Enser, 1991). Balık yağlarını, gerek kara hayvanlarının yağlarından, gerek bitkisel yağlardan ayıran en önemli fark, bunların yüksek oranda içerdikleri 20-22 karbonlu çoklu doymamış yağ asitleri (PUFA) içerikleridir (Opstvedt

ve ark., 1990). Balık yağlarındaki yağ asitlerinin %90'ından fazlası n-3 yapısındadır. Bunlar insan vücudunda sentezlenemediklerinden dışarıdan alınmaları zorunludur. Bunlardan en önemlileri olan EPA (20:5) ve DHA (22:6), balık yağlarındaki PUFA'ların %80'ini oluştururlar. EPA ve DHA α -linolenik asidin vücutta metabolize edilmesiyle oluşurlar, α -linolenik asitleri, pek çok sebze ve yağlı tohumlardan kolaylıkla alınabilirken, EPA ve DHA'nın ise ancak balık yağlarından direkt olarak alımı mümkündür. Balık yağları %5-30 civarında EPA + DHA içerirler (Özçelik ve Karaali, 2002).

Omega-3 yağ asitlerinin ham balık yağlarından konsantre edilmesinde, kromatografik, enzimatik yöntemler, distilasyon, düşük sıcaklıkta kristalizasyon, süperkritik ekstraksiyon ve üre bileşimi oluşturma teknikleri kullanılmaktadır.

PUFA bakımından zengin olan balık yağlarında oksidasyona duyarlılığın azaltılarak stabilitenin artırılması amacıyla, bunlara antioksidan ilavesi, kısmi veya tam hidrojenasyon ya da mikroenkapsülasyon işlemleri uygulanmaktadır. Ancak hidrojenasyon işlemi bir yandan yağların doymuşluk derecesini arttırırken, diğer yandan yağ asitlerinin trans izomerlerinin oluşumuna neden olduğundan, yağda bulunan PUFA'ların sağlığa olumlu etkilerini göreceli olarak azaltmaktadır (Özçelik ve Karaali, 2002).

Metabolizmada PUFA'ların kolay oksidasyonu nedeniyle vücutta E vitaminin azaltması, özellikle balık karaciğer yağlarının içerdiği yüksek A ve D vitaminlerinin duyarlı kişilerde "vitamin zehirlenmeleri"ne yol açabilecekleri veya kirli sularda yetişen balıkların yağlarında biriken toksik pestisidleri de içermeye olasıları mevcuttur (Özçelik ve Karaali, 2002).

Alternatif bir yöntem olan mikroenkapsülasyon yönteminde de balık yağları karbonhidratlar ve proteinler gibi doğal veya bazı sentetik polimerlerle kaplanır. Burada balık yağının keskin koku ve lezzetini maskeleyerek, uçucu bileşenlerinin kaybının önlenmesi, ürünü sıcaklık ve ışıktan koruyarak fizikokimyasal aktivitesini sürdürmesi amaçlanmıştır (Güven, 1987). Ancak kapsül maddesi ve kaplama yönteminin de balık yağının stabilitesini etkileyebileceği unutulmamalıdır (Heizelman ve Franke, 1999). Son yıllarda geliştirilen doymuş ve MUFA'lardan arındırılmış n-3 yağ asidi konsantreleri, doğrudan balık yağı alımına oranla vücutta alınan toplam yağ miktarını azalttıkları, kolesterol ve diğer doymuş yağ asitlerinin de uzaklaştırılmasıyla daha sağlıklı olmaları

gibi nedenlerle, balık yağı kapsüllerinin yerine tercih edilmektedirler (Shadidi ve Wanasundara, 1998).

2. KAYNAK BİLDİRİŞLERİ

Hoşsu ve ark. (2001) günümüzde ucuz protein ve enerji kaynağı gereksiniminin her geçen gün artarken balığın öneminin de buna paralel bir şekilde artış gösterdiğini belirtmişlerdir. Balık dünya gıda üretimine %1’lik bir katkı sağlarken, toplam protein üretiminin %5’ini, toplam hayvansal protein kaynağının da %14’ünü oluşturduğunu belirtmişlerdir. Dolayısıyla balığın dünyanın karşı karşıya kaldığı açlık problemi ve insan sağlığı üzerine yaptığı olumlu katkılar göz önüne alındığında insan gıdası olarak balığın daha fazla kullanılacağını bildirmişlerdir.

Wilhelm ve ark. (1993) diğer omurgalılarda olduğu gibi balıkların da enzimatik ve enzimatik olmayan antioksidan savunma sistemine sahip olduklarını söylemişlerdir.

Aras ve ark., (2000) balık etinin besin değeri bakımından çiftlik hayvanlarıyla karşılaştırıldığında, protein ve mineral yönünden yüksek, yağ miktarı bakımından düşük olduğunu belirtmişlerdir (Çizelge 2.1). Bu bakımdan balık etinin, çiftlik hayvanları etinden daha avantajlı durumda olduğunu ifade etmişlerdir.

Çizelge 2.1. Bazı balık etlerinin besin madde içeriği yönünden diğer bazı çiftlik hayvanlarıyla karşılaştırılmaları (Aras ve ark., 2000)

Etin Cinsi	Protein (%)	Yağ (%)	Mineral (%)
Turna Balığı	18	0.8	1.1
Sazan	19	7.0	1.3
Alabalık	19	2.0	1.2
Sığır Eti	18	20.0	0.9
Koyun Eti	16	30.0	0.9
Domuz Eti	16	27	0.8

Keleştemur (2009) oksijen stresi altındaki Gökkuşluğu alabalığı (*Oncorhynchus Mykiss* W. 1792) yavrularının büyüme, yem değerlendirme ve bazı dokularına A ve E vitaminlerinin etkileri üzerine bir çalışma yapmıştır. Bu çalışmada, gökkuşluğu alabalığı yavrularının yemlerine antioksidan vitaminler olan A ve E vitaminleri katılarak kontrol, D1, D2, D3, D4, rasyonları oluşturularak balıkları bu rasyonlarla 12 hafta süresince yemlemiştir. Bu rasyonlarla beslediği balıkların, 2 farklı çözünmüş oksijen

seviyelerindeki (4,4mg/l O₂ konsatrasyonu ve 7,6 mg/l O₂ konsantrasyonu) plazma süperoksit dismutaz (SOD) enzim aktivite düzeylerine, bazı dokularında (kas, karaciğer, böbrek) ve kan serumunda, A ve E vitaminlerinin etkilerini araştırmıştır. Numunelerin kontrol gruplarının A ve E vitamini için HPLC analizleri sonucunda; serumda (4,4mg/l çözülmüş oksijen düzeyinde) vitamin A 0.21 mg/l, vitamin E 9.45 mg/l ve (7,6 mg/l çözülmüş oksijen düzeyinde) vitamin A 0.61 mg/l vitamin E 16.23 mg/l değerlerini bulmuştur. Kas dokusunda ise vitamin A 0.87 mg/g, vitamin E 0.56 mg/g vitamin A 3.35 mg/g, vitamin E 3.72 mg/g olarak belirlemiştir. Plazma SOD enzim aktivite değerleri (4,4mg/l ve 7,6 mg/l çözülmüş oksijen düzeylerinde) 6.3 U/ml 12.3 U/ml düzeyinde olduğunu belirlemiştir.

White ve ark.(2003) Gökkuşaağı alabalığı (*Oncorhynchus mykiss*) ve Atlantik somonunun (*Salmo salar*, L.) bağırsak sistemi karotenoid çözeltisine maruz bırakılarak buradaki misellerde tutulan karotein düzeyini tespit etmişlerdir. Çalışmanın sonunda Gökkuşaağı alabalığının kontrol grubunun bağırsak sistemindeki vitamin A konsantrasyonunu 316.5 µg/g olarak belirtmişlerdir.

Köprücü ve Özdemir (2002) Gökkuşaağı alabalığı (*Oncorhynchus mykiss*) kas dokusunda bazı vitaminlerin (A₂, C, E) miktarlarını belirlemek amacıyla çalışma yapmışlardır. Balık kas dokusunun ortalama 12,26 µg/g vitamin A₂, 17,54 µg/g vitamin C, 8,73 µg/g vitamin E ve % 4,23 oranında ham yağ içerdiğini belirtmişlerdir. Gökkuşaağı alabalığı eti örneklerindeki A₂, C, E vitamin ve ham yağ düzeyleri arasındaki farklılıkların önemsiz olduğuna karar vermişlerdir (p>0,05). Sonuç olarak ta, bu çalışmada kullanılan Gökkuşaağı alabalığı kas dokuları diğer bir çok ticari su ürünü ile mukayese edildiğinde daha yüksek oranda A₂, C ve E vitaminlerini içerdiğini bildirmişlerdir..

Wahli ve ark. (1998) Gökkuşaağı alabalığından belirli gruplar oluşturarak bunları *Yersinia ruckeri* ve *Ichthyophthirius multifiliis* (VHS) ile enfekte etmişlerdir. Daha sonra bu balıkara belirli oranlarda vitamin C ve vitamin E uygulayarak (vitamin C/E 0/0, 0/800, 30/30, 30/800, 2000/0, 2000/30, 2000/800) balıkların bağışıklık sistemini ve bu belirli oranlarda ki vitaminlerle balıkların hastalığa karşı gösterdiği direnci incelemek üzere çalışma yapmışlardır. Çalışmada kontrol grubuna herhangi bir diyet uygulanmamıştır. Kontrol grubunun Askorbik asit düzeyini 7.1 µg/g, α-tokoferol düzeyini ise 18.3 µg/g olarak belirtmişlerdir. Çalışmanın sonucunda en fazla zarar gören

grup her iki vitamin düzeyide düşük olan grup, en fazla iyileşme görülen grup ise her iki vitaminden de yüksek seviyede uygulama yapılan grup olduğunu belirtmişlerdir.

Huang ve Huang (2004) oksidize yağ ile beslenen Tilapia balığı türlerinden melezleştirilen *Oreochromis niloticus* x *O. Aureus* hibrit balığının karaciğer glutatyon seviyesi ve doku lipid peroksidasyonun gelişimi üzerine E vitamini diyetinin etkisini araştırmışlardır. Çalışmada hibrit Tilapia balığına 14 hafta boyunca 0'dan 300 IU Vit.E/kg'a kadar vitamin E içeren lipid diyeti uygulamışlardır. Çalışmanın sonucunda 0 ve 40 IU Vit. E/kg vitamin E içeren diyetle beslenen balıkların karaciğer ve kaslarındaki lipid peroksidasyonunu (MDA kontrol 3.92 nmol/g ciğer dokusu, kas dokusu 2.16 nmol/g) daha yüksek seviyede vitamin E içeren diyetle beslenenden oldukça yüksek bulmuşlardır. Karaciğer glutatyon seviyesinin diyetteki vitamin E içeriği artışıyla arttığını tesbit etmişlerdir.

Jensen ve ark. (1998) Gökkuşuğu alabalığında 17 diyet grubu oluşturarak her bir gruba belirli oranlarda α -Tokoferol (100, 300 ve 600 mg), astaksantin (40, 70 ve 100 mg) ve yağ (%27 ve %32) içeren bir diyet uygulamışlardır. Bu diyeti uyguladıktan sonra bu gruplardaki balıkları tütsüleme ve dondurma yoluyla 12 ve 18 hafta saklamışlardır. Çalışmanın sonucunda kontrol gruplarının kas dokusunda α -Tokoferol düzeyini 12.1 mg/kg, MDA düzeyini 3.1 μ mol/kg ve astaksantin düzeyini 9.4 mg/kg olarak belirlemişlerdir.

Jiménez ve ark. (2009) Gökkuşuğu alabalığı içeren dört deney grubu oluşturarak her bir gruba farklı diyetler uygulamışlardır. Birinci gruba %43 oranında protein ve %28 oranında karbonhidrat, ikinci gruba %43 protein ve %24 lipid, üçüncü gruba %38 protein ve %28 karbonhidrat, dördüncü gruba ise %38 protein ve %24 lipid içeren yemler ile günde üç kez 13 hafta boyunca beslemişlerdir. Sürecin sonunda balıkların kas dokusunda MDA seviyesi birinci grupta en düşük (39.06 nmol/g), dördüncü grupta ise en yüksek (44.75 nmol/g) değeri aldığı bulunmuştur. Alabalığın ciğer dokusunda SOD düzeyini en yüksek ikinci grup balıklarda (141.9 U/mg protein) en düşük düzeyide (97.7 U/mg protein) birinci grup balıklarda gözlemişlerdir. Ciğer dokusunda GSH-Px düzeyleri en yüksek dördüncü grup balıklarda (106.49 mU/mg protein) en düşük düzeyi ise birinci grup balıkarda (80.72 mU/mg protein) gözlemişlerdir. CAT düzeylerini ise (ciğer dokusunda) birinci grupta en yüksek (226.7 U/mg protein) ikinci grupta ise en düşük (190.4 U/mg protein) olarak bulmuşlardır.

Yonar ve Sakin (2010) yaptıkları çalışmada likopenin Gökkuşaağı alabalığının (*Oncorhynchus mykiss*) bazı biyokimyasal parametrelere olan etkisini incelemişlerdir. Araştırmada; ortalama ağırlığı 218.23g olan toplam 60 adet gökkuşaağı alabalığı kullanmışlardır. Likopenin 5 mg ve 10 mg miktarları kg balık ağırlığına göre yemle karıştırmış ve balıklara 21 gün süreyle vermişlerdir. Kontrol ve deneme grubu balıklarından 7, 14 ve 21. gün sonunda karaciğer, böbrek ve dalak örneklerini almışlardır. Bu organlarda lipid peroksidasyon düzeyi (MDA) (kontrol grubu 45.71 nmol/g karaciğer, 67.08 nmol/g böbrek, 55.64 nmol/g dalak dokularında), katalaz aktivitesi (CAT) (kontrol grupları 191.63 k/g karaciğer, 55.46 k/g böbrek, 36.48 k/g dalak dokuları) ve redükte glutatyon (GSH) seviyelerini tespit etmişlerdir. Deneme sonunda likopen uygulanan balıklarda MDA düzeyinin düştüğü, katalaz aktivitesi ile GSH düzeylerinin arttığını saptamışlardır.

Kiron ve ark. (2010) Gökkuşaağı alabalığından iki farklı grup oluşturmuşlardır. Bu iki grubu iki ayrı tankta adaptasyon sürecinden sonra eşit miktarda mineral ve vitamin içeren keten tohumu yağı (KTY) ve safran yağı (SY) içeren yemlerle beslemişlerdir. 18 haftalık beslenme sürecinden sonra bu balıkların plazmasında, ciğerinde ve eritrositinde lipit hidroperoksit (LOOH), süperoksit dismutaz (SOD) (eritrositlerde (KTY) 2.4-1.7 (SY) $U\%10^8\text{cell}$), katalaz (CAT) (eritrositlerde (KTY) 224-219 (SY) nmol/min $\%10^8\text{cell}$), glutatyon peroksidaz (GSH-Px)(eritrositlerde (KTY) 1.3-1.2 (SY) $\mu\text{mol/min}\%10^8\text{cell}$) değerlerindeki değişimi incelemişlerdir. Çalışmada aynı mineral ve vitamin fakat farklı yağ kaynaklı yem ile beslenen alabalıkların SOD, CAT, GSH-Px, LOOH değerlerinde önemli bir değişme gözlenmediğini ortaya koymuşlardır.

Trenzado ve ark. (2006) Gökkuşaağı alabalığı (*Oncorhynchus mykiss*) ve mersin balığının (*Acipenser Naccarii*) lipit peroksidasyonunu ve antioksidan enzimlerini karşılaştırmak üzere bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada iki tür balığı aynı şartlarda aynı içerikli yem ile besleyip aynı süre bulundurduktan sonra balıkların kalp, ciğer, sindirim sistemi, kasları, solungaçları, plazma ve eritrositlerini alarak çalışmalarını gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada lipit peroksit (MDA) değerlerini genel olarak Gökkuşaağı alabalığında mersin alabalığından yüksek bulmakla birlikte en yüksek değeri de her iki türde sindirim sisteminde gösterdiklerini belirtmişlerdir. Antioksidan enzimlerde ise (SOD (eritrositte 12.92 U/mlHb), CAT (eritrositte 64.17 U/mlHb), GSH-

Px (eritrositte 100.27 U/mlHb)) ortalama olarak mersin balığında değerlerin daha yüksek olduğunu gözlemlemişlerdir.

Gülçin ve ark., (2009) Gökkuşağı alabalığına (*Oncorhynchus mykiss*) melatonin uygulaması yaparak Gökkuşağı alabalığının eritrositlerindeki antioksidan enzim aktivitelerinin değişimini incelemişlerdir. Çalışmada, melatoninin gökkuşağı alabalık eritrositlerindeki katalaz (CAT) (kontrol 462.8 EU/gHb), peroksidaz (POD) ve glutatyon redüktaz (GR) gibi antioksidan enzimler ile lipid peroksidasyonu göstergesi olan malondialdehit (MDA) (plazma kontrol 0.8-1.2 nmol/ml) zerine etkilerini araştırmışlardır. Sonuçta, melatonin uygulamasının CAT, POD ve GR aktivitelerini istatistiksel olarak artırdığını ($p<0,05$) göstermişlerdir. Ayrıca melatonin uygulamasının bir sonucu olarak MDA seviyesinin önemli derecede azaldığını ($p<0,01$) belirtmişlerdir.

Alak ve Hisar (2008) alışmada letal doz altı (1 ve 5 ppm) kadmiyum uygulanan Gkkusağı alabalığı (*Oncorhynchus mykiss*) ciğer ve böbrek dokularındaki bazı antioksidan enzim aktivitelerindeki değişimi incelemişlerdir. Bu amaç doğrultusunda üç grup halindeki balıklara 7 günlük deneme periyodu boyunca 0 (kontrol), 1 ve 5 ppm kadmiyum uygulamışlardır. Süperoksit dismutaz (SOD) (ciğer dokusunda) (0.74-1.23 U/mg protein), glutatyon peroksidaz (GSH-Px) (0.35-0.53 μ mol NADPH/mg protein) ve katalaz (CAT) (0.25-0.38 μ molH₂O₂/mg) enzim aktiviteleri denemenin 3. gününe kadar her iki dokuda da önemli derecede ($p<0,05$) artarken 5. günden itibaren aktivitelerde düşüşler gözlemlemişlerdir. Bu sonuçlardan, letal doz altında kadmiyumun gkkusağı alabalıklarında oksidatif strese sebep olduğu ve çalışmada yer alan antioksidan enzimlerin bu stresin önlenmesinde rol aldıklarını belirtmişlerdir.

Yonar ve Yonar (2010) Gökkuşağı alabalıklarını malahite maruz bırakarak antioksidan savunma sistemlerinde ve bağışıklık sistemlerindeki değişiklikleri araştıran bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada balıklar su tankı içerisine alınıp 15 günlük adaptasyon sürecinden sonra 5 gün iki farklı oranda (1/15 66.67mg/l, 1/150 6.67mg/l) malahit (CuCO₃Cu(OH)₂) uygulamasına tabi tutmuşlardır. Uygulamanın sonunda lipid peroksit ve katalaz seviyelerindeki değişimi araştırmışlardır. Sonuç olarak; MDA seviyeleri kan (kontrol 0.65 nmol/ml), ciğer (kontrol 0.74 nmol/g), böbrek (kontrol 8.21 nmol/g), dalak (kontrol 5.87 nmol/g) ve solungaç (kontrol 4.98 nmol/g) dokularında kontrol grubuna göre her iki grupta da yükselme göstermiş ve 6.67mg/l'lık malahit uygulamasında bu oran daha fazla bulunmuştur. CAT'da ise benzer sonuçlar alınmış

olup, kontrol grubuna (kan 78,91 k/ml, ciğer 182.11 k/g, böbrek 43.26 k/g, dalak 28.65 k/g ve solungaç da 8.54 k/g) göre her iki grupta yükselme gözlenmiş ve 66.7 mg/l 'lik malahit uygulamasında daha fazla yükselme gözlenmiştir.

Ritola ve ark. (2002) yavru alabalıkları oksijen ve ozona doyurulmuş sulara maruz bırakarak bunların antioksidan sistemlerindeki değişimi incelemişlerdir. Çalışmada iki grup balık tanklara konulup adaptasyonları sağlandıktan sonra balıklar 1, 5, 12, 24 ve 48 saatlik ozon ve oksijen uygulamasına tabi tutmuşlardır. Daha sonra bu balıkların solungaç ve ciğer dokularından alarak süperoksit dismutaz (SOD), katalaz (CAT), lipit peroksidaz (MDA) gibi antioksidan değerlerini incelemişlerdir. Çalışmalarında SOD aktivitesinin solungaçta 5-12 saate gösterdiği artışı ciğerde 24-48 saate gösterdiğini belirtmişlerdir. Katalazda ise bunun tersine hem ciğerde hem de solungaçta sadece 24. saate artış gözlemlendiğini belirtmişlerdir. Lipit peroksitte ise solungaçta belirgin bir artış ve azalış gözlenmezken ciğerde 24. saate hem ozon hem de oksijen uygulanan grubun değerlerinde düşme olduğunu belirtmişlerdir.

Özmen ve ark., (2004) yeniden kullanılabilir suların Gökkuşağı alabalığının glikoz-6-fosfat dehidrogenaz (G6PD), redükte glutatyon (GR), süperoksit dismutaz (SOD), glutatyon peroksidaz (GSH-Px) ve katalaz (CAT) antioksidan enzim sistemleri üzerine olan etkisini araştırmışlardır. Çalışmada oksik etkilere karşılık Gökkuşağı alabalığının eritrositlerindeki antioksidan savunma sistemlerinde şu şekilde bir değişim gözlemlenmiştir. Glikoz-6-fosfat dehidrogenaz (G6PD)(kontrol) 24.1 EU/gHb'den 20.4 EU/gHb değerine, redükte glutatyon (GR) (kontrol) 7.59 EU/gHb'den 4.8 EU/g Hb değerine, süperoksit dismutaz (SOD) (kontrol) 4.4 EU/gHb'den 3.34 EU/g Hb değerine, glutatyon peroksidaz (GSH-Px) (kontrol) 224 (EU/g Hb'den 298.5 EU/gHb değerine, katalaz (CAT) (kontrol) 141.2 EU/gHb' den 235.6 EU/gHb değerine değişim göstermiştir.

Ritola ve ark. (2002) Gökkuşağı alabalığının plazma ve kırmızı kan hücrelerinde lipit peroksit (MDA), okside glutatyon, redükte glutatyon, süperoksit dismutaz (SOD), katalaz (CAT) üzerine ozon ve hiperoksi maruziyetinin etkilerini incelemişlerdir. Çalışmada alabalığı 5dk süreyle ozon/hiperoksi yada hiperoksiye maruz bırakmışlardır. Maruziyetten sonra lipit peroksit (MDA) ve antioksidan savunma sistemlerindeki değişimleri ölçmüşlerdir. Ozon maruziyetinin kırmızı kan hücrelerinde çok az hasara sebep olduğunu, hem plazma hem kırmızı kan hücrelerinde lipit peroksidasyonunun

arttığını saptamışlardır. Hem ozon hem de hiperoksi maruziyetinden 3 ve 6 saat sonra kırmızı kan hücrelerinde süperoksit dismutaz (SOD) aktivitesinin arttığını tespit etmişlerdir. Katalaz aktivitesinin ise maruziyetten yalnızca 10 dk sonra arttığını saptamışlardır.

Hua Li ve ark., (2010) karbamazepin (PhACs) aşırı toksisitesinin yavru alabalıkların doku, karaciğer, solungaç, beyin gibi parametrelerde antioksidan sistemlerinin nasıl etkilendiğini araştırmışlardır. Çalışmada, SOD aktivitesinin solungaç ve beyin dokusunda azalma; bağırsak, ciğer ve kas dokusunda ise artış gösterdiğini tespit etmişlerdir. CAT aktivitesinin ise yine solungaç ve beyin dokusunda azalma; bağırsak, ciğer ve kas dokusunda artış gösterdiğini belirtmişlerdir.

Nakano ve ark., (1995) Gökkuşığı alabalığını içerisinde sentetik astaksantin (3,3-dihidroksi- β , β -caroten-4, 4-dion) bulunduran kırmızı maya ile besleyerek biyokimyasal özelliklerinin incelenmesi üzerine bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada Gökkuşığı alabalığının karaciğer ve kanında lipit peroksidasyonu ve glutamik-oksaloasetik trans-aminaz aktivitesindeki değişimi incelemişlerdir. Sonuçta Astaksantinli kırmızı maya ile beslenen balıkların lipit peroksit miktarlarında kontrol gruplarına göre önemli oranda farklılıklar gözlemlendiğini ortaya koymuşlardır.

Kolaylı ve Keha (1999) 14 ila 16 aylık 200-250 gramlık Gökkuşığı alabalığından iki grup oluşturarak bir grubu tatlı suda diğer grubu da deniz suyunda 5-6 ay kadar bir süre tutup adaptasyonlarını sağladıktan sonra bu balıkların süperoksit dismutaz SOD, glutatyon peroksidaz GSH-Px, katalaz CAT, lipit peroksit MDA gibi enzimlerin aktivitelerini kıyaslamışlardır. Çalışmada Gökkuşığı alabalığının ciğerinde SOD (U/g.w.t.w) tatlı suda 459 değerinde deniz suyunda ise 407 değerinde, kırmızı kan hücresinde SOD (U/g.Hb.) tatlı suda 1,50 değerinde deniz suyunda ise 1,40 değerinde, ciğerinde GSH-Px (U/g.w.t.w) tatlı suda 28.31 değerinde deniz suyunda ise 22.47 değerinde, kırmızı kan hücresinde GSH-Px (U/g.Hb.) tatlı suda 240 değerinde deniz suyunda ise 210 değerinde, katalaz ciğerde CAT (BU/g.w.t.w) tatlı suda 3.54 değerinde deniz suyunda ise 4.65 değerinde, kırmızı kan hücresinde CAT (BU/g.Hb) tatlı suda 8.44 değerinde deniz suyunda ise 12.53 değerinde, lipit peroksit ciğerde MDA (nmol/g.w.t.w) tatlı suda 31.25 değerinde deniz suyunda ise 41.64 değerinde, kırmızı kan hücresinde MDA (nmol/g.Hb) tatlı suda 1,00değerinde deniz suyunda ise 1,60 değerinde bulmuşlardır.

Trenzado ve ark. (2009) Gökkuşluğu abalığı ile beş farklı grup oluşturarak her bir gruba farklı oranlarda antioksidan vitamin ve farklı lipit kaynakları içeren yemlerle ve her bir grubu ayrı iki yoğunlukta balık bulunan havuzlarda beslemişlerdir (20-100kg/m³). (soya fasülyesi yağı -HUFA, balık yağı +HUFA). Beş farklı grup (-E-HUFA, -E+HUFA, +E-HUFA, +E+HUFA, -C+E+HUFA) şeklinde sınıflandırılmış olup balıklara vitamin E (25.6 ve 275.6 mg/kg), vitamin C (0 ve 1000 mg/kg) ve HUFA (12.5 ve 30.5 g/kg) belirtilen oranlarda verilmiştir.. Çalışmayı 42 gün sonra sonlandırarak SOD, CAT, MDA, GSH-Px, G6PDH düzeylerini ve yağ asiti değişimlerini incelemişlerdir. Çalışmaya göre SOD aktivitesini en fazla 20 kg/m³ yoğunluğundaki ikinci grupta (-E+HUFA) gözlemişlerdir. CAT aktivitesini en fazla 100kg/m³ yoğunluğundaki birinci grupta, GSH-Px aktivitesini en fazla 20 kg/m³ yoğunluğundaki beşinci grupta, MDA her iki yoğunluk içinde ikinci grupta belirgin bir artış gözlemişlerdir. Yağ asiti bileşimi ise yüzde olarak C14:0 için en yüksek 5.9 olarak ikinci grupta, C16:0 için en yüksek 18.1 olarak ikinci grupta, C16:1 için en yüksek 6.9 olarak ikinci grupta, C18:0 için en yüksek 4.1 olarak ikinci grupta, C18:1n9 için en yüksek 24.4 olarak üçüncü grupta, C18:2n6 için en yüksek 36.0 olarak birinci grupta, C18:3n3 için en yüksek 4.7 olarak birinci grupta, C20:1n9 için en yüksek 4.7 olarak dördüncü grupta, C20:4n6 için en yüksek 1.0 olarak dördüncü ve beşinci gruplarda, C20:5n3 için en yüksek 10.1 olarak dördüncü grupta, C22:1n9 için en yüksek 6.5 olarak beşinci grupda, C22:6n3 için en yüksek 10.0 olarak hem dördüncü hemde beşinci gruplarda gözlemişlerdir.

Boggio ve ark. (1985) balıkleri, özellikle de yetiştiriciliği yaygın olarak yapılan gökkuşluğu alabalığı (*Oncorhynchus mykiss*) etlerinin yüksek oranda doymamış yağ asitlerini içerdiğini belirtmiştir.

Shapiro (1999) balıklerinin kalitesini belirleyen esas bileşenlerin proteinler ve lipitler olduğunu, ayrıca kalp ve damar hastalıklarında, beyin, sinir sisteminde ve kansere karşı önemli farmakolojik etkileri yapılarındaki lipid ve doymamış yağ asitlerinden kaynaklandığını ortaya koymuştur.

Halver (1989) balık yağlarının kompozisyonunu oluşturan üç temel yağ asidi tipi olduğunu, bunların doymuş, tekli doymamış ve çoklu doymamış yağ asitleri olarak belirtmiştir. Balıklardaki doymuş yağ asitlerini yem kökenli olabileceğini, bağırsaktaki bakteriler tarafından oluşturulduğunu veya mevcut bakterilerden absorbe edileceğini

ortaya koymuştur. Başlıca doymuş yağ asitlerinin miristik (14:0), palmitik (16:0) ve stearik (18:0) asitler olduğunu ve tekli doymamış yağ asitlerinin ise besinlerden biyosentez yoluyla sağladıklarını belirtmiştir.

Caballero ve ark. (2002) farklı lipit kaynaklı diyet ile beslenen yavru Gökkuşluğu alabalıklarının gelişimi ve yağ asiti kompozisyonu üzerine bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada bitkisel yağ içeriği ile beslenen (soya fasülyesi yağı, kolza tohumu yağı, palmiye yağı ve zeytinyağı) dört grup bir grup da kontrol olacak şekilde beş grup oluşturmuşlardır. Gruplarda bir yaşında otuz adet alabalık 64 gün boyunca belirlenen içerikli yemlerle beslenmiştir. Çalışmanın sonucunda kontrol grubu yağ asiti değerlerini yüzde olarak şu şekilde bulmuşlardır. C14:0 %2.0, C16:0 %13.3, C16:1n-7 %6.3, C18:0 %5.1, C18:1n-9 %23.2, C18:1n-7 %2.7, C18:2n-6 %2.1, C18:3n-3 %0.4, C18:4n-3 %0.3, C20:1 %8.7, C20:2n-9 %0.1, C20:4n-6 %0.7, C22:4n-6 %0.4, C22:5n-6 %0.1, C20:4n-3 %0.6, C20:5n-3 %4.3, C22:1 %4.3, C22:5n-3 %1.6, C22:6n-3 %13.2, C24:1n-9 %0.9, C24:6n-3 %1.7.

Passi ve ark. (2004) belirli yaş dönemlerinde bulunan Gökkuşluğu alabalığı ve deniz levreğinin yağ asitlerini ve bazı antioksidan düzeylerini kıyaslamışlardır. Gökkuşluğu alabalığından dört grup (3 aylık, 1 yıllık, 2 yıllık ve 3 yıllık) deniz levreğinden ise üç grup (1 yıllık, 3 yıllık ve 5 yıllık) oluşturmuşlardır. Çalışmada Gökkuşluğu alabalığının 1 yıllık grubunun yağ asiti değerlerini şu şekilde belirlemişlerdir. C14:0 %0.2, C15:0 %0.3, C16:0 %14.1, C17:0 %0.2, C18:0 %6.2, C20:0 %0.1, C24:0 %0.1, C16:1n-7 %3.7, C17:1n-7 %0.2, C18:1n-9>n-7 %29.8, C20:1n-9>n-7 %3.5, C22:1n-11>n-9 %2.6, C18:2n-6 %3.5, C20:2n-6 %0.1, C20:3n-6 %0.1, C20:4n-6 %0.9, C18:3n-3 %0.2, C20:3n-3 %0.1, C20:4n-3 %0.2, C20:5n-3 %8.7, C22:5n-3 %1.6, C22:6n-3 %23.3. Antioksidan enzimlerde ise 1 yaş grubunun antioksidan değerlerini 0.13 (U/mg kas dokusu), SOD 7.13 (U/mg kas dokusu), vitamin C 12.9 µg/mg kas dokusu vitamin E 7.2.(µg/g kas dokusu), MDA 0.16 (µmol/g) kas dokusu olarak bulmuşlardır.

Konar ve Köprücü (2002) çalışmalarında ticari bir yemle 14.6°C su sıcaklığında 5 ay süreyle beslenmiş olan Gökkuşluğu alabalıkları (*Oncorhynchus mykiss*)'nın etindeki yağ asiti miktarını araştırmışlardır. Yağ asiti bileşenlerini yağ asiti metil esterleri olarak gaz kromatografisinde analiz etmişlerdir. Gökkuşluğu alabalığının etinde ve bu balıkların beslenmesinde kullanılan yemde; (doymuş C12:0, C14:0, C15:0, C16:0, C18:0,

C:20:0, C22:0) tekli doymamış (C14:1, C16:1, C18:1, C20:1, C22:1) ve çoklu doymamış (C16:2, C18:2, C18:3, C20:2, C20:3, C20:4, C20:5, C22:4, C22:5, C22:6) yağ asitlerini tespit etmişlerdir. Gökkuşığı alabalığının kas dokusu yağ asiti miktarları arasındaki farklılıkları istatistiksel olarak önemli bulmamışlardır ($p>0.05$ her bir yağ asiti için). Sonuç olarak bu araştırmada kullanılan yemle beslenmiş olan Gökkuşığı alabalığının etinde tespit edilen yağ asitlerinin, özellikle toplam doymuş ve toplam çoklu doymamış yağ asiti miktarlarının diğer ticari yemle beslenmiş olan *Oncorhynchus mykiss*’lerden daha yüksek olduğu sonucuna varmışlardır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Bu çalışmada 60 adet 200-250 g'lık porsiyon Gökkuşığı alabalığı kullanıldı. Balıklar Çatak Elmacı köyü EL-FA Su ve Su Ürünleri İth. İhr. Ltd. Şti alabalık üretim çiftliğinden 2010 yılı içerisinde Ocak, Nisan, Temmuz ve Ekim aylarında olmak üzere dört mevsimin 2. ayının 2. hafta sonunda alındı. İki yaşında olan balıkların bulunduğu havuzun mevcut şartları aşağıda Çizelge 3.1' de belirtildi. Balıklar, tesiste bulundukları havuzdan, ortamları değiştirilmeden sırayla çıkartılıp MS-222 (3-aminobenzoik asit etil ester metan sülfonat tuzu) anestezi maddenin bulunduğu (200 mg/l) kovaya aktarıldı. Daha sonra, anestezi etkisi altında bulunan balıkların kuyruk venasından kanları heparinli tüplere alınarak tüpler buz dolu termosla konuldu. Kas dokusu için ise balıklar temizlenerek paketlenildi, etiketlendi ve yine buz dolu termosla laboratuara getirildi. Balıklar derin dondurucuda donduruldu. Kanlar santrifüjlenerek plazmaları ayrıldı. Geri kalan kısımlara gerekli işlemler uygulanarak eritrosit paketleri halinde donduruldu.

Çizelge 3.1. Balıkların bulunduğu havuzların ortam şartları

Aylar	Sıcaklık (°C)	Çözünmüş oksijen (mg/l)	pH
Ocak	8.6	10.04	7.27
Nisan	11.0	9.45	7.35
Temmuz	15.8	8.98	6.01
Ekim	13.2	9.12	6.91

3.1.1. Kullanılan alet ve malzemeler

Yüksek performanslı sıvı kromatografisi (HPLC) (Terma Scientific Pinligan Surveyor)
HPLC kolonu (C-18, 250x4,6 mm, Supelco),
Boeco S-22 UV/Vis, spektrofotometre,

Gaz kromatografisi (GC)(Agilent 6890),
 GC kolonu (Fused silica capillary kolon DB-23-80, J&W Scientific)
 Homojenizatör (Wiggenhauser D-130)
 Boehringer-mannheim Precitherm PFV Otomatik Su Isıtıcısı,
 Vorteks (Mixer VM20)
 pH Metre (WTW Series inolab pH/ION 735),
 Hassas terazi (Sartorius),
 Derin dondurucu (Arçelik),
 Ayarlanabilir otomatik pipetler (Socorex, Swiss, Brand)
 Watman süzgeç kâğıdı No.54,
 Vial HPLC(Agilent)
 Heparinli tüp,
 Ependorf tüp,
 Santrüfjü (SED 6),
 Azot gazı tüpü,
 Serum saklama tüpleri,
 Plastik santrüfjü tüpleri,
 Parafilm.

3.1.2. Kimyasal Maddeler

Retinol standardı (Sigma)
 α -tokoferol standardı (Sigma)
 Yağ asiti standardı (Supelco)
 1.1.3.3-tetraetoksipropan (MDA)standardı (Sigma)
 Askorbik asit standardı (Merck)
 SOD enzim kiti (Randox-Ransod)
 GSH-Px enzim kiti (Randox-Ransod)
 Etanol (Merck)
 Metanol (HPLC Grade, Merck)
 n-Hekzan (Merck)

Kloroform (Merck)
 İzooktan (Merck)
 Disodyumhidrojenfosfat (Merck)
 Potasyumdihidrojenfosfat (Merck)
 Metiloranj (Merck)
 MS-222 (3-aminobenzoik asit etil ester metan sülfonat tuzu)(Merck)
 Sodyumklorür (Merck)
 Potasyum Hidroksit (Merck)
 Hidrojenperoksit (Merck)
 Hidroklorik asit (Merck)
 Perklorik asit (Merck)

3.2. Yöntem

3.2.1. Eritrosit paketlerinin hazırlanması

Alınan tüm kanların (antikoagulantlı) üzerindeki plazma santrifüj edilerek ayrıldı, kalan kısım %0.9'luk NaCl çözeltisi ile 3 defa santrifüj edilerek yıkandı ve analizler için gerekli miktarlar deney tüplerine konularak derin dondurucuda saklandı.

3.2.2. Vitamin A ve E ölçümü

Balık plazma ve kaslarındaki vitamin A ve E (retinol ve α - tokoferol) düzeyleri, Miller ve Yang (1985)'ın belirttiği ekstraksiyon metodu ile tayin edildi.

Bu amaçla 200 μ l plazma alınarak 200 μ l etanol eklendi ve 1 dakika süre ile vorteks edildi. Daha sonra 600 μ l hekzan eklenerek tekrar 1 dakika vortekslendi. Homojenat 2000 RPM'de 15 dakika süre ile santrifüj edilip oluşan lipofilik faz alındı. Hekzan uygulama işlemi iki kere yapılarak toplanan fazlar azot gazı akışı altında kurutuldu. Kalıntı 200 μ l metanolde çözündürülerek HPLC kolonuna enjekte edildi.

Vitamin A ve E düzeylerinin HPLC ile ayırımında C 18 kolonu, (25 cm x 4.6 mm) metanol-su (98:2) mobil fazı ile 1.5 ml/dak akış hızında kullanıldı. Ölçümler

diodearray detektörü ile 325 ve 290 nm dalga boyunda gerçekleştirildi (Zaspel ve Csallary, 1983).

Kas numunelerinin analizi için ise 1 g balık kası plastik tüplere alınıp üzerlerine proteinleri çöktürmek için 2 ml etanol ilave edildi ve 1 dakika süre ile vortekslendi. Daha sonra 3 ml hekzan eklenerek homojenize edildi ve tekrar 1 dakika vortekslendi. Homojenat 2000 RPM'de 15 dakika süre ile santrifüj edilip oluşan lipofilik faz alındı. Hekzan uygulama işlemi iki kere yapılarak toplanan fazlar azot gazı akışı altında kurutuldu. Kalıntı 200 µl metanolde çözündürülerek plazma numunelerine yapılan işlem gibi HPLC ile vitamin miktarları belirlendi.

Hesaplamalar vitamin A ve E standartlarının pik alan ve konsantrasyonlarına göre yapıldı.

3.2.3. Vitamin C ve MDA tayini

Balık plazma ve kaslarındaki vitamin C ve MDA düzeyleri, Karatepe (2004)'nin belirttiği HPLC-UV metodu ile tayin edildi.

Plazma analizi için 200 µl plazma üzerine 0.1 M'lık HClO_4 çözeltisinden 250 µl eklenerek birkaç saniye vortekslendi ve 550 µl distile su eklenerek tekrar vorteksleme işleminden sonra 4500 RPM'de 10 dk santrifüjleme yapıldı. Bu işlemlerden sonra üstte kalan faz dikkatlice alınıp vialer konularak HPLC ile vitamin C ve MDA düzeyleri belirlendi.

HPLC cihazında C 18 kolonu (25 cm x 4.6 mm), 30 µM KH_2PO_4 - metanol (82.5:17.5) mobil fazı ile 1.2 ml/dk akış hızında kullanıldı. Okumalar UV detektörüyle 250 nm dalga boyunda yapıldı.

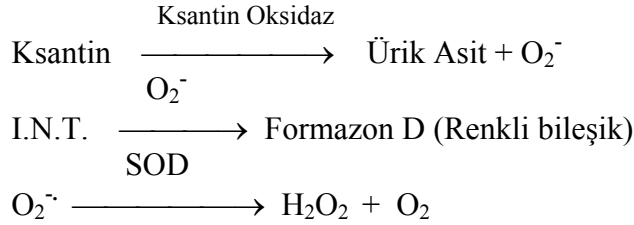
Doku analizleri için ise 1 g doku tartılarak üzerine 1250 ml 0.1M HClO_4 ilave edilerek homojenize edildi. Daha sonra 2750 ml distile su eklenerek tekrar vorteksleme işleminden sonra 4500 RPM'de 10 dk santrifüjleme yapıldı. Bu işlemlerden sonra üstte kalan faz alınıp vialer konularak HPLC ile vitamin C ve MDA düzeyleri belirlendi.

Hesaplamalar vitamin C ve MDA standartlarının pik alan ve konsantrasyonlarına göre yapıldı.

3.2.4. SOD enzim aktivitesi tayini

Prensip

SOD'un rolü, oksidatif enerji basamağında üretilen toksik süperoksit radikalının (O_2^-) hidrojen peroksit (H_2O_2) ve moleküler oksijene (O_2) dismutasyonunu hızlandırmaktır. Bu metotla aşağıdaki formülde görüldüğü gibi ksantin ve ksantin oksidaz kullanılarak süperoksit radikali, 2-(4-iodophenyl)-3-(4-nitrophenol)-5-phenyltetrazolium chloride (I.N.T.) ile kırmızı boya formuna dönüşür. SOD enzim aktivitesi, bu reaksiyonun inhibisyon derecesi ile ölçüldü (Xia ve ark., 1995, Flohe ve Ötting, 1984).



Ayırıcılar

<u>1. Substrat karışımı</u>	<u>Konsantrasyonları</u>
Ksantin	0.05 mmol/l
I.N.T.	0.025 mmol/l
<u>2. Tampon</u>	
CAPS	50 mmol/l pH 10.2
EDTA	0.94 mmol/l
<u>3. Ksanthin Oksidaz</u>	80 U/l
<u>4. Standart</u>	5.70/ml

Deneyin yapılışı

SOD enzim aktivitesi Randox -Ransod enzim kiti ile otoanalizörde 505 nm'de 37°C'de ölçüldü (Anonymous, 1996). Analiz materyali olarak daha önce hazırlanan ve analiz zamanına kadar -20°C'de derin dondurucuda muhafaza edilen eritrosit paketi kullanıldı. Eritrosit paketinden 10 µl alınarak 2500 µl 0.01 M fosfat tamponu (pH=7.0) ilave edilerek 251 katı sulandırıldı (F=251). İnhibisyonun %30–60 arası olması sağlandı. Küvete aşağıdaki ayırıcılar pipetlendi.

	<u>Ayıraç körü</u>	<u>Standart</u>	<u>Sulandırılmış örnek</u>
Sulandırılmış örnek	-----	-----	30 µl
Standart	-----	30 µl	-----
Fosfat Tamponu	30 µl	-----	-----
Karışık Substrat	1000 µl	1000 µl	1000 µl
Ksantin oksidaz	150 µl	150 µl	150 µl

İçerik karıştırıldı ve ilk absorbans A_1 , 30 saniye sonra okundu ve eş zamanlı olarak zaman başlatıldı. Son absorbans A_2 , 3 dakika sonra saptandı.

Hesaplama

Spektrofotometreden alınan optik dansite sonuçları aşağıdaki denklemde yerine konarak SOD enzimi % inhibisyonları hesaplandı.

$$100 - \frac{(\Delta A_{\text{StdDk}} \cdot x 100)}{(\Delta A_{\text{Blank Dk.}})} = \% \text{ İnhibisyon}$$

$$100 - \frac{(\Delta A_{\text{ÖrnekDk}} \cdot x 100)}{(\Delta A_{\text{Blank Dk.}})} = \% \text{ İnhibisyon}$$

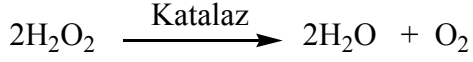
SOD enzim aktivitesinin hesaplanması için, standart grafiği elde edildi. Grafikten elde edilen $y=0.0016x^2 + 0.298 - 0.05x$ ($y=U/ml$, $x = \%inhibisyon$, $r=0.88$, $r^2=0.93$, $p<0.02$) formülü ile SOD aktivitesi U/ml tüm kanda hesaplanarak, sulandırma faktörü ile çarpıldı.

3.2.5. CAT enzim aktivitesi tayini

Prensip

Hidrojen peroksitin (H_2O_2) katalaz tarafından parçalanması esasına dayanarak Aebi (1984)'nin UV spektrofotometrik yöntem ile aktivite belirlenir.

Katalaz hidrojen peroksidi (H_2O_2) suya ve oksijene parçalar.



Ayır   lar

Fosfat tamponu:

a: 6.81 g KH_2PO_4 1000 ml'ye distile su ile tamamlandı.

b: 8.90 g $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 1000 ml'ye distile su ile tamamlandı.

Karışım olarak kullanıldı. (a/b=1/1.5)

H_2O_2 : %30 H_2O_2 'den 0.34 ml alınır. Karışım tampon solüsyonu ile 100 ml'ye tamamlandı.

Deneyin yapılışı

CAT enzim aktivitesi, Aebi (1984)'nin yöntemine göre otoanalizörde 240 nm'de     ld . Analiz materyali olarak, derin dondurucuda muhafaza edilen eritrosit paketi kullanıldı. Analiz için eritrosit paketinden 10  l alındı ve 80  l saf su ile seyreltilip 1/500 oranında da sulandırma ayıracı ile sulandırıldı.

Küvete aŗağıdaki ayır  lar pipetlendi:

<u>Numune</u>	<u>K�r</u>
2 ml numune	1 ml fosfat tamponu(tampon karışımı)
1 ml H_2O_2	

Katalaz peroksit reaksiyonunda zamanın bir fonksiyonu olarak azalan absorbands değerleri 0 sn ve 15 sn boyunca 240 nm'de okundu.

Hesaplama

A_1 :0 sn

A_2 :15 sn

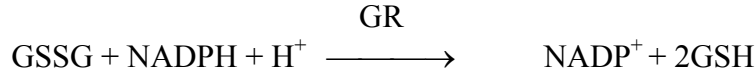
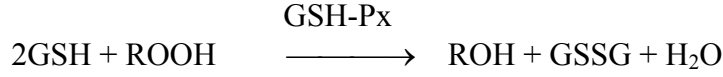
$K=(2.3/15)(\log A_1 / A_2)$

$K=0.153(\log A_1 / A_2)$ U/ml

3.2.6. GSH-Px enzim aktivitesi tayini

Prensip

GSH-Px, formülde görülen kümen hidroperoksit ile GSH'ı okside eden reaksiyonu katalizler. Ortamda GR ve nikotinamid adenin dinükleotid fosfat hidrojen (NADPH) var ise yükseltgenmiş glutatyon (GSSG), NADPH'ın NADP'ye oksidasyonu ile GSH'a indirgenir (Paglia ve Valentine, 1967; Flohe ve Gunzler, 1984).



Ayırıcılar

<u>1. Ayıraç</u> :	<u>Konsantrasyonları</u>
Glutatyon	4.0 mmol/l
G.Redüktaz	≥ 0.5 U/l
NADPH	0.28 mmol/l
<u>2. Tampon</u> :	
Fosfat	0.05 mol/l pH 7.2
EDTA	4.3 mmol/l
<u>3. Kümen Hidroperoksit:</u>	0.18 mmol/l
<u>4. Sulandırma Ayırıcı:</u>	

Deneyin yapılışı

GSH-Px enzim aktivitesi, Randox-Ransel enzim kitleri ile otoanalizörde 340 nm'de ultraviyole metotla 37°C'de ölçüldü (Anonymous, 1997). Analiz materyali olarak, derin dondurucuda muhafaza edilen eritrosit paketi kullanıldı. Analiz için eritrosit paketinden 10 µl alındı. 2 ml sulandırma ayırıcı ile sulandırıldı (F=201).

Küvete aşağıdaki ayırıcılar pipetlendi.

	<u>Ayıraç körü</u>	<u>Sulandırılmış örnek</u>
Sulandırılmış örnek	-----	20 µl
Distile Su	20 µl	-----
Ayıraç	1000 µl	1000 µl
Kümen	40 µl	40 µl

Küvetler karıştırıldı, örnek ve körün absorbensları 1 dakika sonra okundu. Zaman başlatıldı, 1 ve 2 dakika sonra absorbenslar tekrar okundu. Dakikadaki absorbens değişimi hesaplandı.

Hesaplama

$$U/l \text{ Hemolizat} = 8412 \times \Delta A_{340 \text{ nm}} / \text{dakika}.$$

Örnek ve körün U/l tüm kan sonuçları hesaplanarak, örnek değeri (U/l), kör değerden (U/l) çıkartıldı. Örnek sonuç değeri (U/l), sulandırma faktörü (F=201) ile çarpıldı. Sonuçlar ml'ye çevrildi. Örnek GSH-Px aktivitesi, U/ml tüm kan biriminden hesaplandı.

3.2.7. Yağ asidi bileşiminin belirlenmesi

Ocak, Nisan, Temmuz ve Ekim dönemlerine ait Gökkuşuğu alabalıklarından 25 g'lık kas dokusu örnekleri alınıp üzerlerine 2:1 oranında hazırlanan kloroform/metanol karışımından 300 ml eklenerek 3dk homojenize edildi. Elde edilen karışımlar filtre kâğıdından (Whatman süzgeç kağıdı No.54) süzüldü. Filtre kağıdında kalması muhtemel yağlar kloroform/metanol karışımı ile 2-3 kez yıkandıktan sonra üzerine de %0.9 NaCl çözeltisinden 40 ml eklenerek yıkama işlemi tamamlandı. Ayırma hunisinde yaklaşık 12 saatlik dinlenmeye bırakılan karışım fazlarına ayrıldıktan sonra altta kalan kloroform ve yağ karışımı alınıp evaporatörde kloroformun tamamı uçuruldu, geriye kalan yağ alabalığın kas dokusu yağı olarak alındı (Folch ve ark., 1957). Alınan yağ, yağ asitleri olarak gaz kromatografisi ile tanımlamadan önce metil esterlerine dönüştürüldü. Metil esterini oluşturmak için yağ örneklerinden 0.4'er g alınıp 4 ml izooktanda çözdükten sonra metanolde hazırlanmış 0.2 ml 2 M KOH ile metillendirildi.

Karışım 30 saniye çalkalanıp, 6 dakika karanlıkta bekletildi. Bekletme süresi sonunda karışıma 1-2 damla metil oranj ve 0.45 ml 0.1 N HCl konulduktan sonra karıştırıldı. Renksiz ve berrak olan üst tabaka, yağ asidi bileşiminin belirlenmesi için kullanıldı (Baştürk ve ark., 2007). Yağ asidi metil esterlerin belirlenmesinde aşağıda çalışma koşulları verilen Agilent 6890 model gaz kromatografisi cihazı kullanıldı.

Çizelge 3.2. Kullanılan gaz kromatografisi cihazının çalışma şartları

Gaz Kromatografi cihazı	: Agilent 6890N model
Dedektör	: FID (Flame Ionization Detector)
Kolon	: Fused silica capillary kolon DB-23-80, J&W Scientific, 60mX0.25mmX0.25µm
Gazlar	: He: 1,5 ml/dk. H ₂ : 35 ml/dk, Hava: 350 ml/dk.
Sıcaklıklar	
Kolon	: 250°C, 120°C (5dk), 15°C/dk, 240°C'ye;240°C(20dk)
Dedektör	: 260°C
Split Oranı	: 10:1 Enjeksiyon miktarı:1µl

3.3. Verilerin istatistiksel analizi

Gökkuşuğu alabalıklarından dört mevsimde alınan numunelerde vitamin A, E, C, MDA, SOD, CAT, GSH-Px ve yağ asiti analizleri yapıldıktan sonra elde edilen sonuçların standart sapmaları tespit edilip güven aralıkları oluşturuldu. Verilere tek yönlü Varyans analizi (One-way ANOVA) ve Duncan çoklu karşılaştırma testi (Duncan multiple comparison test) uygulanarak veriler arasında mevsimsel farklılıkların olup olmadığı belirlendi (Özdamar, 2004).

4. BULGULAR

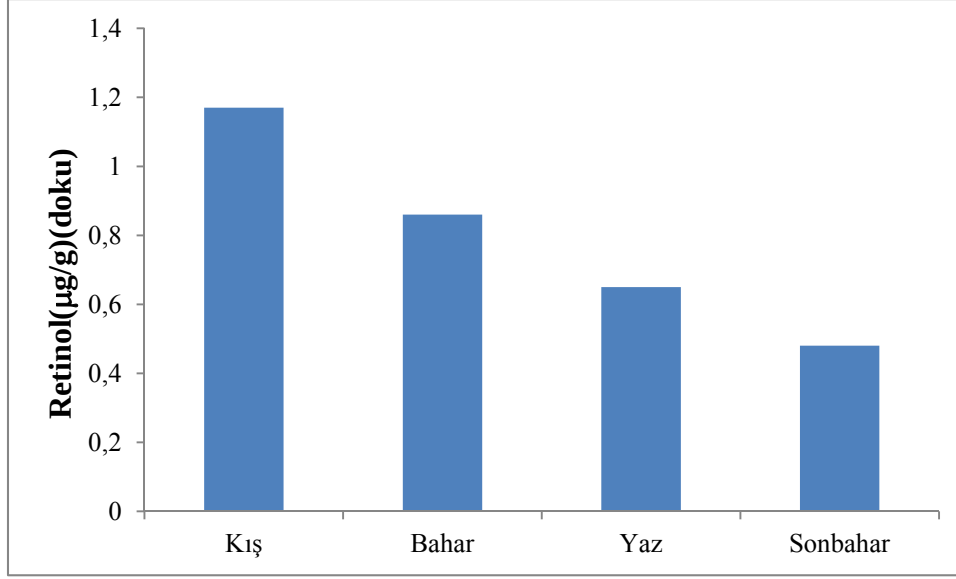
Çalışmada Van'nın Çatak ilçesi Elmacı köyü EL-FA alabalık tesisinden yılın dört mevsiminin Ocak, Nisan, Temmuz ve Ekim aylarının 2. hafta sonunda numune alımı gerçekleştirildi. Alınan Gökkuşığı alabalık numunelerinin kas dokularında retinol, α - tokoferol, vitamin C, MDA ve yağ asitleri, plazmasında retinol, α -tokoferol, vitamin C ve MDA, eritrositlerinde ise SOD, GSH-Px ve CAT düzeyleri tespit edildi.

Gökkuşığı alabalığının kas dokusundaki retinol düzeyleri kış, ilkbahar, yaz ve sonbahar mevsimlerinde sırasıyla 1.17 ± 0.06 , 0.86 ± 0.05 , 0.65 ± 0.06 ve 0.48 ± 0.03 $\mu\text{g/g}$ olarak belirlendi. Alabalığın kış, ilkbahar, yaz ve sonbahar mevsimlerinde kas dokusu retinol düzeyleri arasındaki farklılıkların istatistiksel olarak $p < 0.0001$ seviyesinde önemli olduğu tespit edildi (Çizelge 4.1). Balık numunelerinin kas dokusu retinol düzeyleri Şekil 4.1'de grafik olarak verildi.

Çizelge 4.1. Gökkuşığı alabalığının kasındaki retinol düzeylerinin mevsimlere göre değişimi

Mevsim	n	Retinol($\mu\text{g/g}$) ($\bar{X} \pm \text{SE}$)	Minimum	Maksimum
Kış	10	1.17 ± 0.06^a	1.05	1.45
İlkbahar	10	0.86 ± 0.05^b	0.66	1.09
Yaz	10	0.65 ± 0.06^c	0.45	0.85
Sonbahar	10	0.48 ± 0.03^d	0.32	0.56

*Aynı sütunda farklı harf taşıyan ortalamalar arasındaki fark istatistiksel olarak önemlidir ($p < 0.0001$).



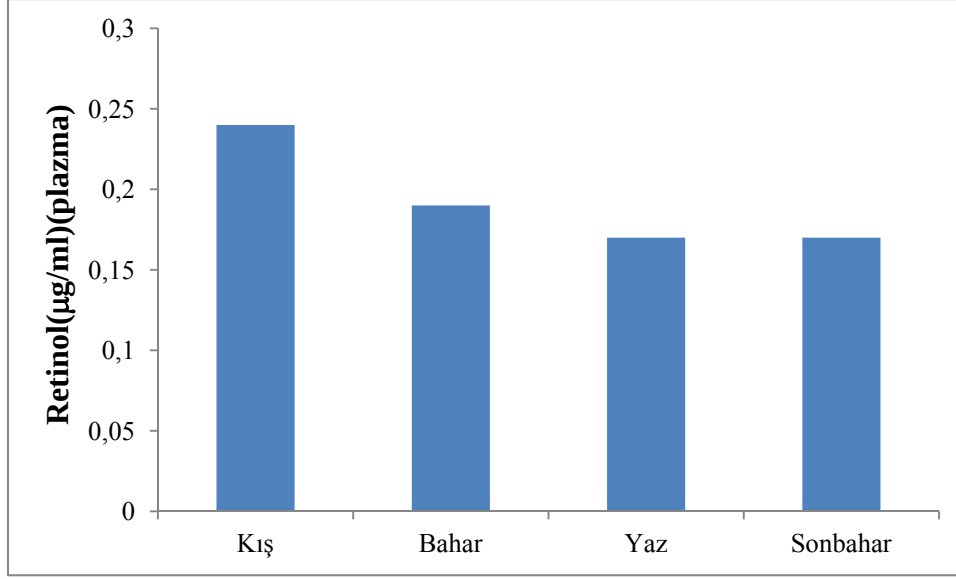
Şekil 4.1. Gökkuşığı alabalığının kasındaki retinol düzeylerinin mevsimlere göre değişimi.

Gökkuşığı alabalığının plazma retinol düzeyleri kış, ilkbahar, yaz ve sonbahar mevsimlerinde sırasıyla 0.24 ± 0.01 , 0.19 ± 0.01 , 0.17 ± 0.01 , 0.17 ± 0.01 µg/ml olarak bulunmuştur (Çizelge 4.2). Balık numuneleri kış, ilkbahar, yaz ve sonbahar mevsimleri arasındaki plazma, retinol düzeyleri arası farklılıkları istatistiksel olarak $p < 0.005$ seviyesinde önemli olduğu görülmüştür. Alabalık numunelerine ait plazma retinol düzeyleri Şekil 4.2’de verildi.

Çizelge 4.2. Gökkuşığı alabalığının plazmasındaki retinol düzeylerinin mevsimlere göre değişimi

Mevsim	n	Retinol (µg/ml) ($\bar{X} \pm SE$)	Minimum	Maksimum
Kış	10	0.24 ± 0.01^a	0.20	0.27
İlkbahar	10	0.19 ± 0.01^b	0.10	0.24
Yaz	10	0.17 ± 0.01^b	0.14	0.22
Sonbahar	10	0.17 ± 0.01^b	0.10	0.20

*Aynı sütunda farklı harf taşıyan ortalamalar arasındaki fark istatistiksel olarak önemlidir ($p < 0.005$).



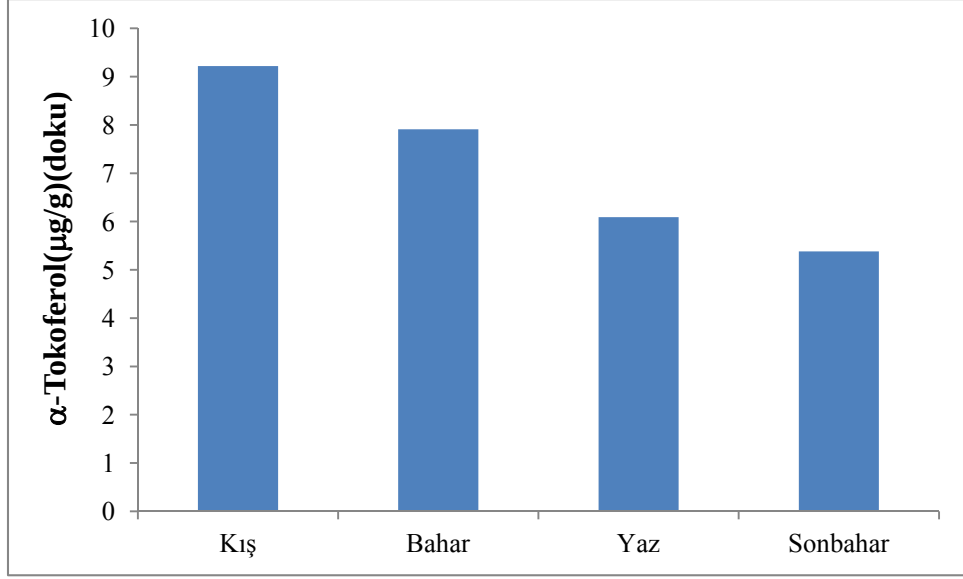
Şekil. 4.2. Gökkuşığı alabalığının plazmasındaki retinol düzeylerinin mevsimlere göre değişimi.

Alabalığın kas dokusundaki α -tokoferol düzeyleri kış, ilkbahar, yaz ve sonbahar mevsimlerinde sırasıyla 9.22 ± 0.27 , 7.91 ± 0.20 , 6.09 ± 0.25 ve 5.38 ± 0.15 $\mu\text{g/g}$ olarak saptandı. Gökkuşığı alabalığının mevsimlere göre α -tokoferol düzeyleri arasındaki farklılıkların istatistiksel olarak $p < 0.0001$ seviyesinde önemli olduğu belirlendi (Çizelge 4.3). Balık numuneleri kas dokusu α -tokoferol değerleri Şekil 4.3’de grafik olarak verildi.

Çizelge 4.3. Gökkuşığı alabalığının kasındaki α -tokoferol düzeylerinin mevsimlere göre değişimi

Mevsim	n	α -tokoferol ($\mu\text{g/g}$) ($X \pm SE$)	Minimum	Maksimum
Kış	10	9.22 ± 0.27^a	8.39	10.27
İlkbahar	10	7.91 ± 0.20^b	7.36	8.91
Yaz	10	6.09 ± 0.25^c	5.18	7.13
Sonbahar	10	5.38 ± 0.15^d	4.98	6.00

*Aynı sütunda farklı harf taşıyan ortalamalar arasındaki fark istatistiksel olarak önemlidir ($p < 0.0001$).



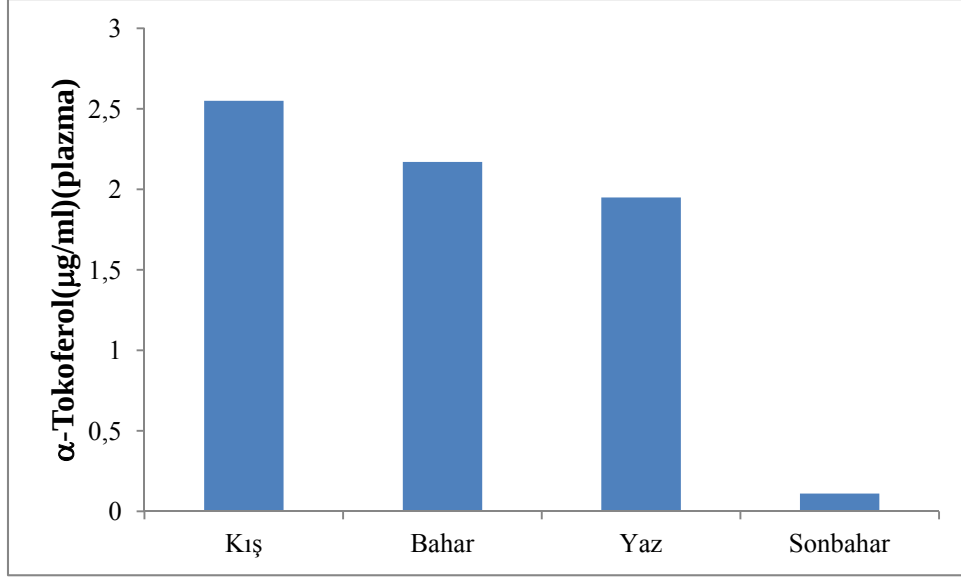
Şekil 4.3. Gökkuşığı alabalığının kasındaki α -tokoferol düzeylerinin mevsimlere göre değişimi.

Alabalık numunelerine ait plazma α -tokoferol düzeyi kış, ilkbahar, yaz ve sonbahar mevsimlerinde sırasıyla 2.55 ± 0.31 , 2.17 ± 0.29 , 1.95 ± 0.20 , 0.11 ± 0.01 $\mu\text{g/ml}$ olarak tayin edildi. Balıkların mevsimler arasındaki α -tokoferol düzeyi farklılıklarının istatistiksel olarak $p < 0.0001$ seviyesinde önemli olduğu belirlendi (Çizelge 4.4). Alabalık numunelerine ait α -tokoferol düzeyleri Şekil 4.4’ de grafik olarak verildi.

Çizelge 4.4. Gökkuşığı alabalığının plazmasındaki α -tokoferol düzeylerinin mevsimlere göre değişimi

Mevsim	n	α -tokoferol ($\mu\text{g/ml}$) ($X \pm SE$)	Minimum	Maksimum
Kış	10	2.55 ± 0.31^a	1.09	3.51
İlkbahar	10	2.17 ± 0.29^a	1.42	3.67
Yaz	10	1.95 ± 0.20^a	1.34	2.83
Sonbahar	10	0.11 ± 0.01^b	0.02	0.14

* Aynı sütunda farklı harf taşıyan ortalamalar arasındaki fark istatistiksel olarak önemlidir ($p < 0.0001$).



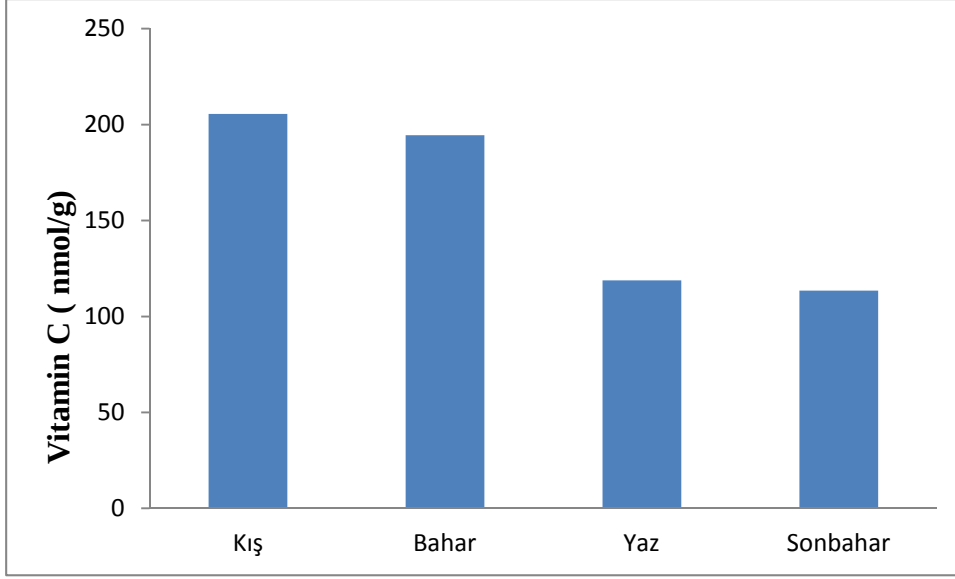
Şekil 4.4. Gökkuşığı alabalığının plazmasındaki α -tokoferol düzeylerinin mevsimlere göre değişimi.

Alabalık numunelerinin kas dokusundaki vitamin C düzeyleri kış, ilkbahar, yaz ve sonbahar mevsimlerinde sırasıyla 205.55 ± 1.53 , 194.42 ± 1.88 , 118.80 ± 3.80 ve 113.50 ± 2.38 nmol/g olarak tespit edilmiştir. Gökkuşığı alabalıklarının mevsimler arasındaki vitamin C seviyeleri arasındaki farklılıkların istatistiksel olarak $p < 0.0001$ düzeyinde önemli olduğu belirlendi (Çizelge 4.5). Alabalık numunelerine ait plazma vitamin C düzeyleri Şekil 4.5’de grafik olarak görülmektedir.

Çizelge 4.5. Gökkuşığı alabalığının kasındaki vitamin C düzeylerinin mevsimlere göre değişimi

Mevsim	n	Vitamin C(nmol/g) ($\bar{X} \pm \text{SE}$)	Minimum	Maksimum
Kış	10	205.55 ± 1.53^a	200.61	209.87
İlkbahar	10	194.42 ± 1.88^b	186.49	199.82
Yaz	10	118.80 ± 3.80^c	108.36	131.62
Sonbahar	10	113.50 ± 2.38^c	107.35	121.68

*Aynı sütunda farklı harf taşıyan ortalamalar arasındaki fark istatistiksel olarak önemlidir ($p < 0.0001$).



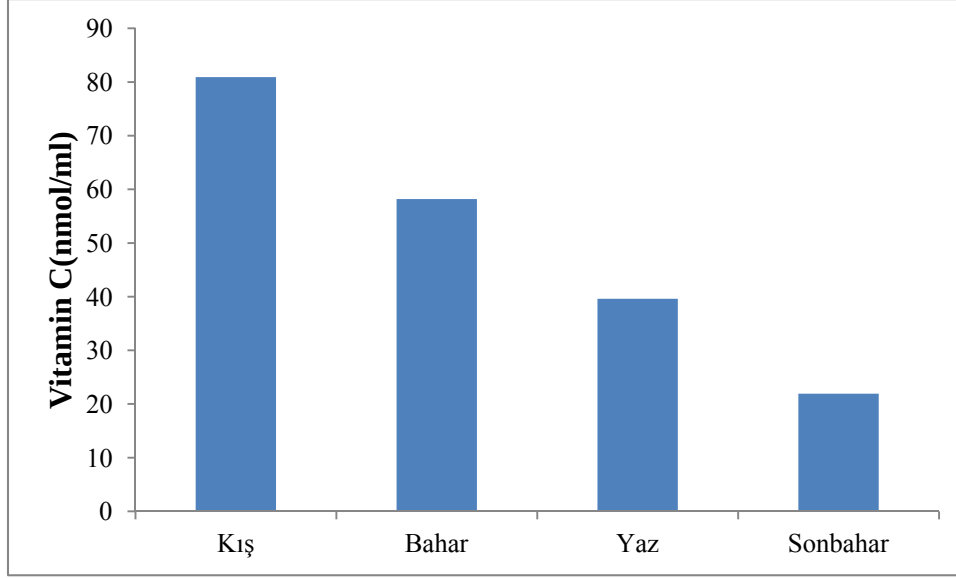
Şekil 4.5. Gökkuşığı alabalığının kası vitamin C düzeylerinin mevsimlere göre değişimi.

Balık numunelerinin plazmada vitamin C düzeyleri kış, ilkbahar, yaz ve sonbahar mevsimlerinde sırasıyla 80.92 ± 2.38 , 58.19 ± 1.67 , 39.61 ± 1.15 ve 21.92 ± 0.38 nmol/ml olarak tespit edilmiştir. Gökkuşığı alabalıklarının mevsimler arasındaki vitamin C seviyeleri arasındaki farklılıkların istatistiksel olarak $p < 0.0001$ düzeyinde önemli olduğu belirlendi (Çizelge 4.6). Alabalık numunelerine ait plazma vitamin C düzeyleri Şekil 4.6'da grafik olarak görülmektedir.

Çizelge 4.6. Gökkuşığı alabalığının plazmasındaki vitamin C düzeylerinin mevsimlere göre değişimi

Mevsim	n	Vitamin C(nmol/ml) (X $\pm$ SE)	Minimum	Maksimum
Kış	10	80.92 ± 2.38^a	69.01	89.22
İlkbahar	10	58.19 ± 1.67^b	50.47	66.87
Yaz	10	39.61 ± 1.15^c	35.83	44.59
Sonbahar	10	21.92 ± 0.38^d	20.81	24.54

*Aynı sütunda farklı harf taşıyan ortalamalar arasındaki fark istatistiksel olarak önemlidir ($p < 0.0001$).



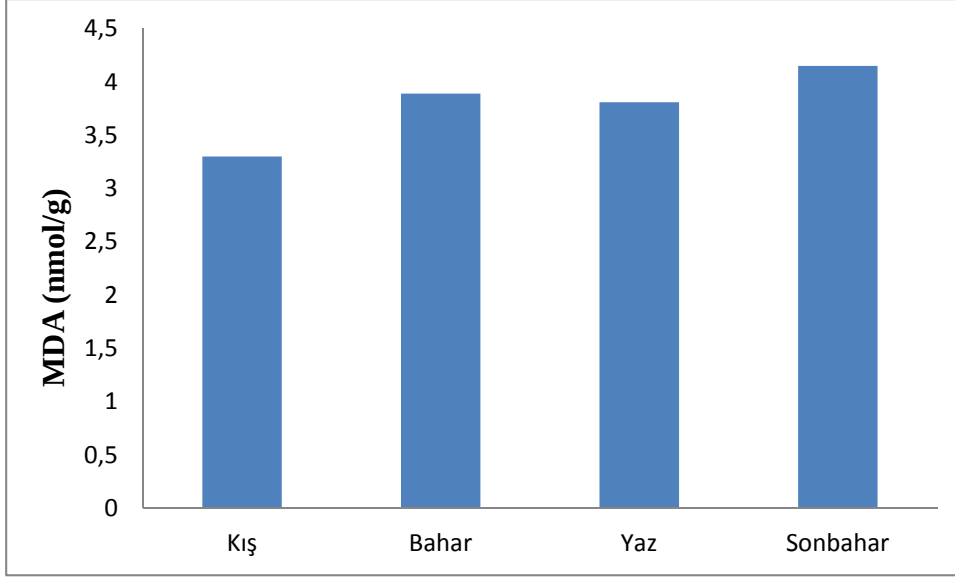
Şekil 4.6. Gökkuşáğı alabalığının plazma vitamin C düzeylerinin mevsimlere göre değişimi.

Balık numunelerinin kas dokusundaki MDA düzeyleri kış, ilkbahar, yaz ve sonbahar mevsimlerinde sırasıyla 3.30 ± 0.42 , 3.89 ± 1.10 , 3.81 ± 0.95 ve 4.15 ± 0.98 nmol/g olarak bulunmuştur. Balık numunelerindeki plazma MDA düzeylerinin kış, ilkbahar, yaz ve sonbaharda farklı olduğu bu farklılığın istatistiksel olarak ta $p < 0.0001$ düzeyinde önemli olduğu saptanmıştır (Çizelge 4.7). Balık numunelerine ait plazma MDA düzeyleri Şekil 4.7’de grafik olarak verildi.

Çizelge 4.7. Gökkuşáğı alabalığının kasındaki MDA düzeylerinin mevsimlere göre değişimi

Mevsim	n	MDA(nmol/g) ($\bar{X} \pm SE$)	Minimum	Maksimum
Kış	10	3.30 ± 0.42^c	3.15	3.43
İlkbahar	10	$3.89 \pm 1.10^{a,b}$	3.53	4.16
Yaz	10	3.81 ± 0.95^b	3.50	4.05
Sonbahar	10	4.15 ± 0.98^a	3.78	4.42

*Aynı sütunda farklı harf taşıyan ortalamalar arasındaki fark istatistiksel olarak önemlidir ($p < 0.0001$).



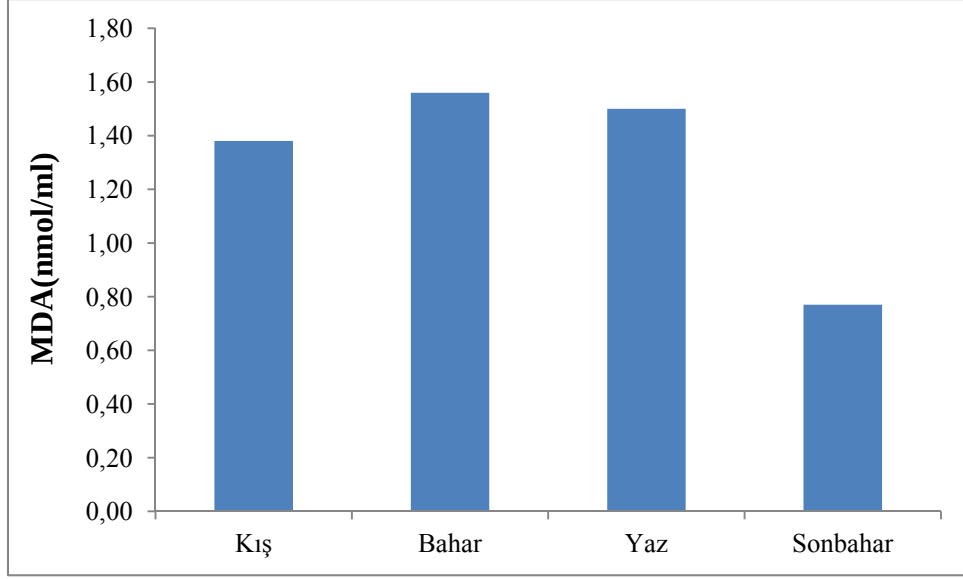
Şekil 4.7. Gökkuşığı alabalığının kası MDA düzeylerinin mevsimlere göre değişimi.

Gökkuşığı alabalığı numunelerinin plazma MDA düzeyleri kış, ilkbahar, yaz ve sonbahar mevsimlerinde sırasıyla 1.38 ± 0.04 , 1.56 ± 0.03 , 1.50 ± 0.02 ve 0.77 ± 0.02 nmol/ml olarak bulunmuştur. Balık numunelerindeki plazma MDA düzeylerinin kış, ilkbahar, yaz ve sonbaharda farklı olduğu bu farklılığın istatistiksel olarak $p < 0.0001$ düzeyinde önemli olduğu saptanmıştır (Çizelge 4.8). Balık numunelerine ait plazma MDA düzeyleri Şekil 4.8’de grafik olarak verilmiştir.

Çizelge 4.8. Gökkuşığı alabalığının plazmasındaki MDA düzeylerinin mevsimlere göre değişimi

Mevsim	n	MDA(nmol/ml) ($\bar{X} \pm SE$)	Minimum	Maksimum
Kış	10	1.38 ± 0.04^b	1.22	1.59
İlkbahar	10	1.56 ± 0.03^a	1.41	1.70
Yaz	10	1.50 ± 0.02^a	1.40	1.62
Sonbahar	10	0.77 ± 0.02^c	0.71	0.85

*Aynı sütunda farklı harf taşıyan ortalamalar arasındaki fark istatistiksel olarak önemlidir ($p < 0.0001$)



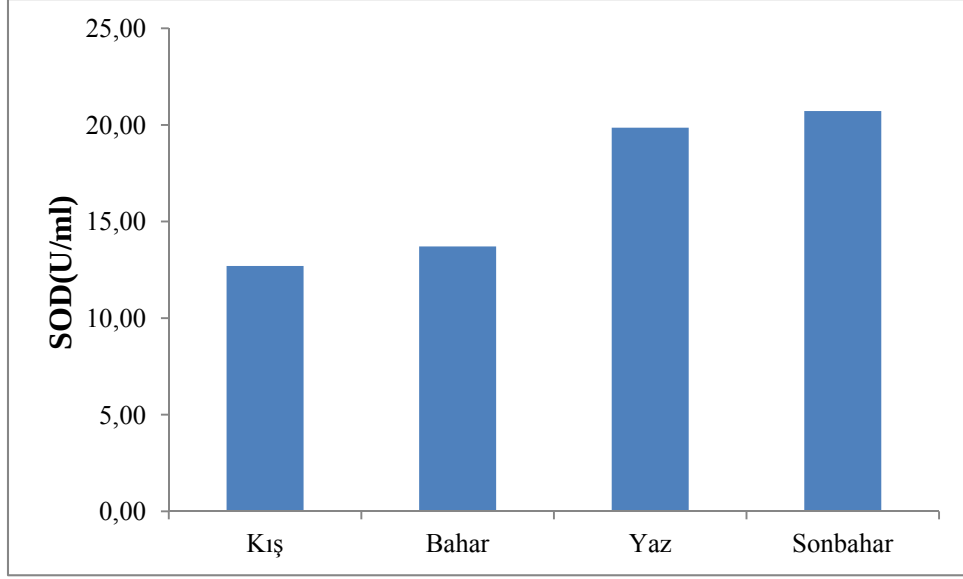
Şekil 4.8. Gökkuşığı alabalığının plazma MDA düzeylerinin mevsimlere göre değişimi.

Alabalığın eritrositlerde ki SOD düzeyleri kış, ilkbahar, yaz ve sonbahar mevsimlerinde sırasıyla 12.70 ± 0.28 , 13.71 ± 0.30 , 19.86 ± 0.29 ve 20.72 ± 0.31 U/ml olarak tespit edildi. Gökkuşığı alabalığının SOD seviyeleri arasındaki farklılıkların istatistiksel olarak $p < 0.0001$ düzeyinde önemli olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.9). Numunelerin eritrositlerindeki SOD düzeyleri Şekil 4.9'da grafik olarak görülmektedir.

Çizelge 4.9. Gökkuşığı alabalığının eritrositlerindeki SOD düzeylerinin mevsimlere göre değişimi

Mevsim	n	SOD (U/ml) ($\bar{X} \pm SE$)	Minimum	Maksimum
Kış	15	12.70 ± 0.28^c	11.21	14.84
İlkbahar	15	13.71 ± 0.30^b	11.33	16.16
Yaz	15	19.86 ± 0.29^a	18.05	21.58
Sonbahar	15	20.72 ± 0.31^a	19.03	22.65

*Aynı sütunda farklı harf taşıyan ortalamalar arasındaki fark istatistiksel olarak önemlidir ($p < 0.0001$).



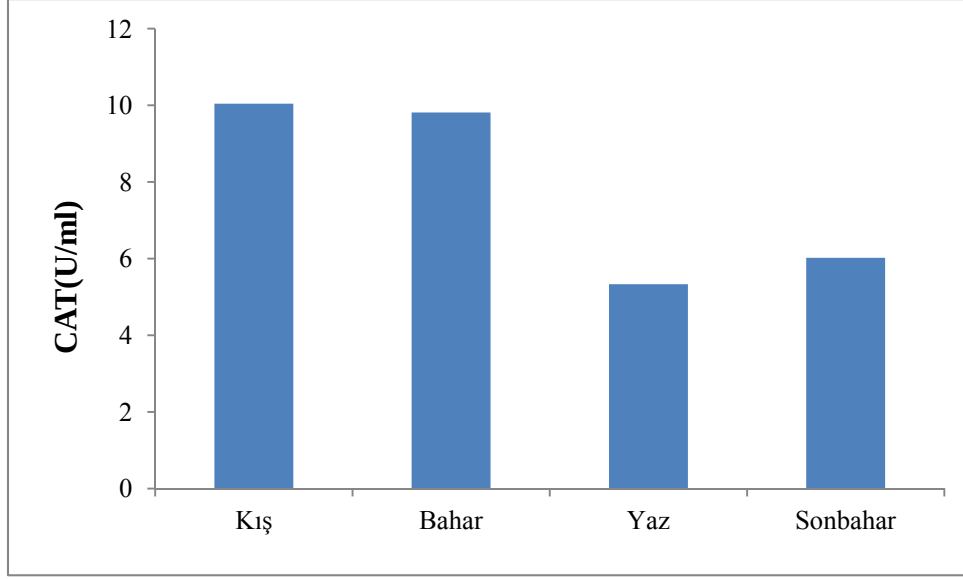
Şekil 4.9. Gökkuşığı alabalığının eritrosit SOD düzeylerinin mevsimlere göre değişimi.

Balık numunelerinin eritrositlerinde bulunan CAT düzeyleri kış, ilkbahar, yaz ve sonbahar mevsimlerinde sırasıyla 10.04 ± 0.47 , 9.81 ± 0.51 , 5.33 ± 0.32 ve 6.02 ± 0.30 U/ml olarak belirlendi. Alabalık numunelerinin eritrositinde CAT seviyeleri arasındaki farklılıkların istatistiksel olarak $p < 0.0001$ düzeyinde önemli olduğu saptandı (Çizelge 4.10). Balık numunelerinin eritrosit CAT düzeyleri Şekil 4.10'da grafik olarak verilmiştir.

Çizelge 4.10. Gökkuşığı alabalığının eritrositlerindeki CAT düzeylerinin mevsimlere göre değişimi

Mevsim	n	CAT(U/ml)	Minimum	Maksimum
Kış	15	10.04 ± 0.47^a	7.01	13.51
İlkbahar	15	9.81 ± 0.51^a	7.33	13.51
Yaz	15	5.33 ± 0.32^b	3.06	8.57
Sonbahar	15	6.02 ± 0.30^b	4.24	8.46

*Aynı sütunda farklı harf taşıyan ortalamalar arasındaki fark istatistiksel olarak önemlidir ($p < 0.0001$).



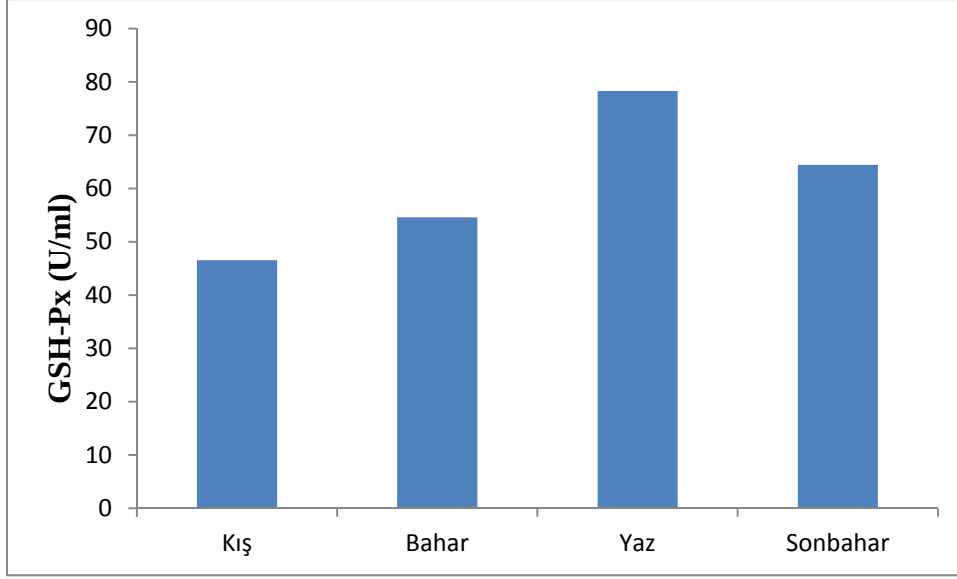
Şekil 4.10. Gökkuşáğı alabalığının eritrosit CAT düzeylerinin mevsimlere göre değişimi.

Gökkuşáğı alabalığının eritrositlerdeki GSH-Px düzeyleri kış, ilkbahar, yaz ve sonbahar mevsimlerinde 46.54 ± 3.42 , 54.59 ± 2.77 , 78.24 ± 3.74 ve 64.44 ± 4.35 U/ml olarak tespit edilmiştir. Numunelerin eritrosit GSH-Px düzeyleri arasında kış, ilkbahar, yaz ve sonbahar mevsimlerindeki farklılıkların istatistiksel olarak $p < 0.0001$ düzeyinde önemli olduğu belirlendi (Çizelge 4.11). Alabalık numunelerinin eritrosit GSH-Px düzeyleri Şekil 4.11’de grafik olarak verildi.

Çizelge 4.11. Gökkuşáğı alabalığının eritrositlerindeki GSH-Px düzeylerinin mevsimlere göre değişimi

Mevsim	n	GSH-Px(U/ml) ($\bar{X} \pm SE$)	Minimum	Maksimum
Kış	15	46.54 ± 3.42^c	27.05	71.01
İlkbahar	15	$54.59 \pm 2.77^{b,c}$	32.12	76.08
Yaz	15	78.24 ± 3.74^a	54.10	99.76
Sonbahar	15	64.44 ± 4.35^b	35.51	98.07

*Aynı sütunda farklı harf taşıyan ortalamalar arasındaki fark istatistiksel olarak önemlidir ($p < 0.0001$).



Şekil 4.11. Gökkuşığı alabalığının eritrosit GSH-Px düzeylerinin mevsimlere göre değişimi.

Gökkuşığı alabalığının kas dokusunda bulunan yağ asiti düzeylerinin mevsimlere göre yüzdelik değişimleri şu şekildedir.

Alabalıkta mevsimlere göre C12:0 yağ asidi düzeyi yüzdesi kış, ilkbahar, yaz ve sonbahar mevsimlerinde sırasıyla şu şekilde değişim göstermektedir 0.044 ± 0.006 , 0.034 ± 0.001 , 0.029 ± 0.005 ve 0.024 ± 0.002 (Çizelge 4.12). Balıkların kas dokusundaki yağ asiti seviyelerinin mevsimsel farklılıklarının istatistiksel olarak $p < 0.01$ düzeyinde önemli olduğu belirlendi.

Gökkuşığı alabalığının C14:0 yağ asidi düzeyleri kış, ilkbahar, yaz ve sonbahar mevsimlerinde sırasıyla 2.957 ± 0.059 , 2.959 ± 0.187 , 1.845 ± 0.091 ve 2.034 ± 0.048 olarak tespit edilmiştir. Balığın kas dokusu yağ asidi seviyelerinin kış, ilkbahar, yaz ve sonbahar mevsimleri arasındaki farklılıkların istatistiksel olarak $p < 0.001$ düzeyinde önemli olduğu saptanmıştır (Çizelge 4.12).

Numunelerdeki C15:0 yağ asidi düzeyi kış, ilkbahar, yaz ve sonbahar mevsimlerinde sırasıyla 0.301 ± 0.004 , 0.429 ± 0.006 , 0.300 ± 0.012 ve 0.272 ± 0.003 olarak tayin edildi. Alabalıkların kas dokusu yağ asitleri arasındaki farklılıkların istatistiksel olarak $p < 0.001$ düzeyinde önemli olduğu bulundu (Çizelge 4.12).

Balıkların kas dokusu C16:0 yağ asidi düzeyleri mevsimlere göre kış, ilkbahar, yaz ve sonbahar olarak sırasıyla 13.403 ± 0.120 , 14.428 ± 0.106 , 13.367 ± 0.553 ve 14.404 ± 0.099 şeklinde değişmektedir. Alabalıkların yağ asidi düzeyleri arasındaki farklılıkların istatistiksel olarak $p < 0.01$ düzeyinde önemli olduğu belirlendi (Çizelge 4.12).

Çizelge 4.12. Gökkuşuğu alabalığının kas dokusunda bulunan yağ asidi düzeylerinin mevsimlere göre değişimi (%)

Yağ asiti	n	Kış	İlkbahar	Yaz	Sonbahar	p
C12:0	15	0.044±0.006 ^a	0.034±0.001 ^{a,b}	0.029±0.005 ^b	0.024±0.002 ^b	**
C14:0	15	2.957±0.059 ^a	2.959±0.187 ^a	1.845±0.091 ^b	2.034±0.048 ^b	***
C15:0	15	0.301±0.004 ^b	0.429±0.006 ^a	0.300±0.012 ^b	0.272±0.003 ^c	***
C16:0	15	13.403±0.120 ^b	14.428±0.106 ^a	13.367±0.553 ^b	14.404±0.099 ^a	**
C16:1	15	4.991±0.099 ^a	4.841±0.300 ^a	3.074±0.159 ^b	3.259±0.070 ^b	***
C18:0	15	3.471±0.133 ^b	3.517±0.043 ^b	3.938±0.172 ^a	4.119±0.047 ^a	***
C18:1n9	15	28.276±0.377 ^a	27.537±0.213 ^a	23.641±1.055 ^b	23.732±0.303 ^b	***
C18:2n6c	15	10.273±0.109 ^c	8.951±0.139 ^c	19.724±0.904 ^b	21.178±0.316 ^a	***
C20:0	15	0.188±0.008 ^b	0.145±0.010 ^b	0.181±0.038 ^b	0.363±0.023 ^a	***
C18:3n6	15	2.829±0.028 ^b	2.515±0.039 ^c	3.043±0.129 ^a	3.067±0.033 ^a	***
C20:1	15	1.228±0.027 ^a	1.069±0.028 ^b	0.710±0.029 ^c	0.774±0.016 ^c	***
C18:3n3	15	3.640±0.058 ^a	3.004±0.049 ^b	2.104±0.098 ^c	2.024±0.030 ^c	***
C20:2n9	15	0.800±0.010 ^c	0.788±0.017 ^c	1.304±0.055 ^a	1.086±0.021 ^b	***
C20:3n6	15	0.364±0.008 ^c	0.346±0.012 ^c	0.795±0.046 ^a	0.668±0.029 ^b	***
C22:1n9	15	0.645±0.015 ^b	0.710±0.012 ^{a,b}	0.698±0.041 ^{a,b}	0.758±0.027 ^a	*
C20:3n3	15	1.055±0.027 ^b	1.139±0.017 ^a	0.759±0.036 ^c	0.746±0.008 ^c	***
C20:5n3	15	4.339±0.076 ^a	4.733±0.307 ^a	2.734±0.122 ^c	3.336±0.061 ^b	***
C20:4n6	15	0.066±0.003 ^c	0.089±0.008 ^{a,b}	0.098±0.005 ^a	0.076±0.002 ^{b,c}	***
C22:5n3	15	1.702±0.057 ^a	1.633±0.050 ^a	0.852±0.043 ^c	1.027±0.020 ^b	***
C22:6n3	15	16.182±0.527 ^b	18.229±0.213 ^a	15.032±1.113 ^b	15.013±0.615 ^b	**

Aynı satırda farklı harf taşıyan ortalamalar arasındaki fark istatistiksel olarak önemlidir.

*p<0.05

**p<0.01

***p<0.001

Gökkuşuğu alabalığının kas dokusu yağ asitlerinden C16:1 düzeyi kış, ilkbahar, yaz ve sonbahar mevsimlerinde sırasıyla 4.991±0.099, 4.841±0.300, 3.074±0.159 ve 3.259±0.070 şeklinde değişmiştir. Numunelerin kış, ilkbahar, yaz ve sonbahar mevsimleri arasındaki farklılıkların istatistiksel olarak p<0.001 düzeyinde önemli olduğu tespit edildi (Çizelge 4.12).

Alabalıkların C18:0 yağ asidi düzeyi mevsimlere göre kış, ilkbahar, yaz ve sonbahar sırasıyla 3.471±0.133, 3.517±0.043, 3.938±0.172 ve 4.119±0.047 olarak bulunmuştur.

Balıkların yüzdeleri arasındaki farklılıkların istatistiksel olarak $p<0.001$ düzeyinde önemli olduğu belirlendi (Çizelge 4. 12).

Balık numunelerinin kas dokusu C18:1n9 yağ asidi seviyeleri kış, ilkbahar, yaz ve sonbahar mevsimlerinde sırasıyla 28.276 ± 0.377 , 27.537 ± 0.213 , 23.641 ± 1.055 ve 23.732 ± 0.303 şeklinde değişim göstermektedir. Numunelerin her bir mevsimdeki yüzdeleri arasında bulunan farklılıkların istatistiksel olarak $p<0.001$ düzeyinde önemli olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4. 12).

Gökkuşığı alabalığının kas dokusunda bulunan C18:2n6c yağ asidi düzeyleri kış, ilkbahar, yaz ve sonbahar mevsimlerinde sırasıyla 10.273 ± 0.109 , 8.951 ± 0.139 , 19.724 ± 0.904 ve 21.178 ± 0.316 olarak saptandı. Balık numunelerinin mevsimsel değişimleri arasındaki farklılıkların istatistiksel olarak $p<0.001$ düzeyinde önemli olduğu görülmüştür (Çizelge 4. 12).

Numunelerin kas dokusunda bulunan C20:0 yağ asitleri kış, ilkbahar, yaz ve sonbahar mevsimlerinde sırasıyla 0.188 ± 0.008 , 0.145 ± 0.010 , 0.181 ± 0.038 ve 0.363 ± 0.023 düzeyinde bulunmuştur. Alabalık numuneleri arasındaki yağ asidi seviyeleri farklılıklarının istatistiksel olarak $p<0.001$ düzeyinde önemli olduğu saptanmıştır (Çizelge 4. 12).

Balıkların kas dokusunda bulunan C18:3n6 yağ asidi düzeyi kış, ilkbahar, yaz ve sonbahar mevsimlerinde sırasıyla 2.829 ± 0.028 , 2.515 ± 0.039 , 3.043 ± 0.129 ve 3.067 ± 0.033 olarak tayin edilmiştir. Numunelerin yüzdeleri arasındaki farklılıkların istatistiksel olarak $p<0.001$ düzeyinde önemli olduğu belirlendi (Çizelge 4. 12).

Alabalıkların kas dokusu C20:1 yağ asidi seviyeleri kış, ilkbahar, yaz ve sonbahar mevsimlerinde sırasıyla 1.228 ± 0.027 , 1.069 ± 0.028 , 0.710 ± 0.029 ve 0.774 ± 0.016 olarak bulunmuştur. Numuneler arasındaki yağ asidi yüzdelerinin mevsimsel farklılıklarının istatistiksel olarak $p<0.001$ düzeyinde önemli olduğu saptandı (Çizelge 4. 12).

Numunelerin kas dokusu C18:3n3 yağ asidi düzeyi sırasıyla kış, ilkbahar, yaz ve sonbahar mevsimlerinde 3.640 ± 0.058 , 3.004 ± 0.049 , 2.104 ± 0.098 ve 2.024 ± 0.030 olarak bulunmuştur. Numunelerde bulunan bu farklılıkların istatistiksel olarak $p<0.001$ düzeyinde önemli olduğu tespit edildi (Çizelge 4. 12).

Balıkların kas dokusu C20:2n9 yağ asidi düzeyi kış, ilkbahar, yaz ve sonbahar mevsimlerinde sırasıyla 0.800 ± 0.010 , 0.788 ± 0.017 , 1.304 ± 0.055 ve 1.086 ± 0.021 olarak saptandı. Alabalıkların kas dokusu yağ asidi yüzdelerinin mevsimsel farklılıklarının istatistiksel olarak $p<0.001$ düzeyinde önemli olduğu görüldü (Çizelge 4. 12).

Gökkuşığı alabalığının C20:3n6 yağ asidi düzeyi kış, ilkbahar, yaz ve sonbahar mevsimlerinde sırasıyla 0.364 ± 0.008 , 0.346 ± 0.012 , 0.795 ± 0.046 ve 0.668 ± 0.029 şeklinde değişmektedir. Numunelerin mevsimlere göre yağ asidi değerleri arasındaki farklılıklarının istatistiksel olarak $p < 0.001$ düzeyinde önemli olduğu bulundu (Çizelge 4. 12).

Numunelerin kas dokusu C22:1n9 yağ asidi seviyeleri kış, ilkbahar, yaz ve sonbahar mevsimlerinde sırasıyla 0.645 ± 0.015 , 0.710 ± 0.012 , 0.698 ± 0.041 ve 0.758 ± 0.027 olarak saptandı. Balıkların kas dokusu yağ asidi seviyeleri arasında bulunan farklılıkların istatistiksel olarak $p < 0.05$ düzeyinde önemli olduğu belirlendi (Çizelge 4.12).

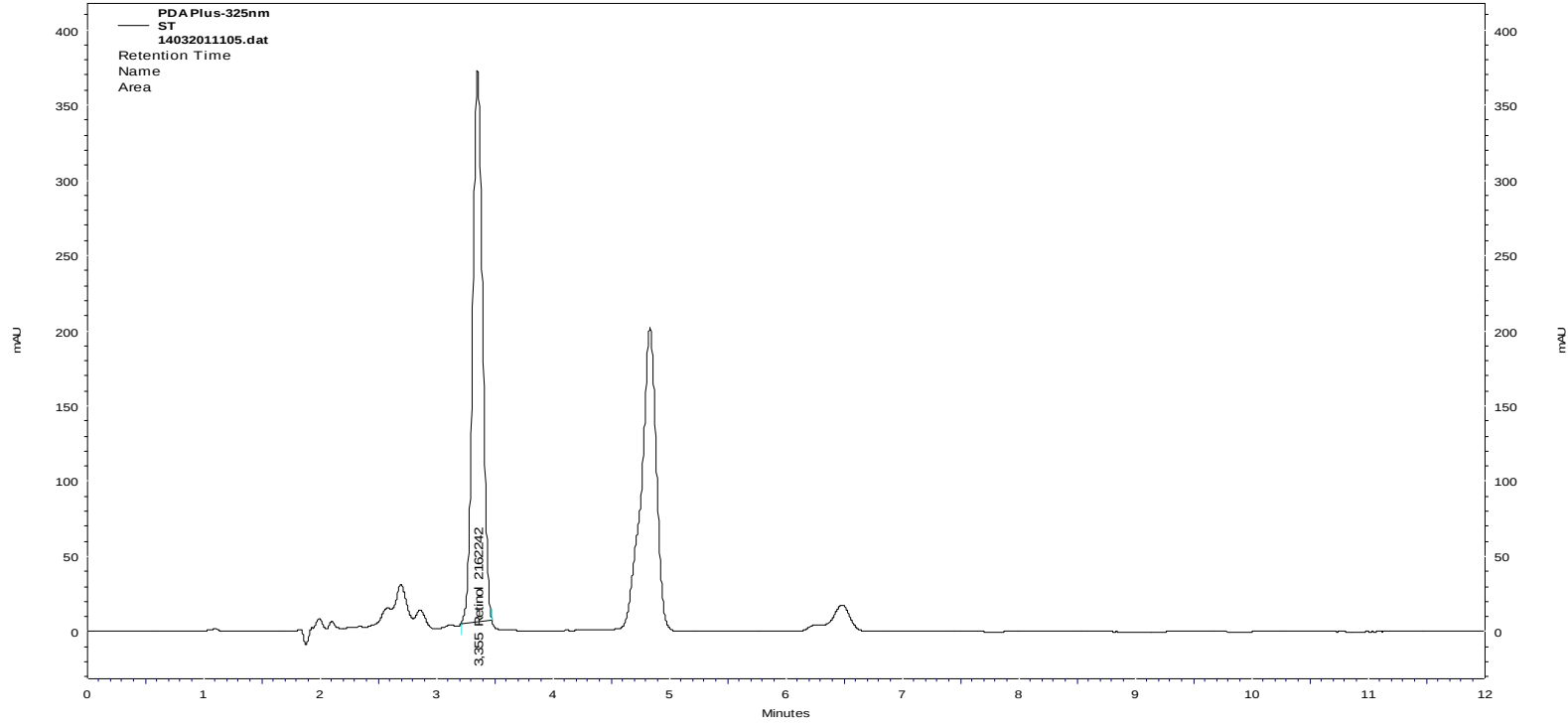
Alabalığın kas dokusunda C20:3n3 yağ asidi düzeyi kış, ilkbahar, yaz ve sonbahar mevsimlerinde sırasıyla 1.055 ± 0.027 , 1.139 ± 0.017 , 0.759 ± 0.036 ve 0.746 ± 0.008 şeklinde değişmektedir. Balık numunelerinin yağ asidi seviyelerinin mevsimlere göre farklılıklarının istatistiksel olarak $p < 0.001$ düzeyinde önemli olduğu saptanmıştır (Çizelge 4.12).

Balıkların C20:5n3 yağ asidi düzeyi kış, ilkbahar, yaz ve sonbahar mevsimlerinde sırasıyla 4.339 ± 0.076 , 4.733 ± 0.307 , 2.734 ± 0.122 ve 3.336 ± 0.061 olarak bulunmuştur. Balık numunelerinin kas dokusu yağ asidi seviyeleri farklılıklarının istatistiksel olarak $p < 0.001$ düzeyinde önemli olduğu belirlendi (Çizelge 4.12).

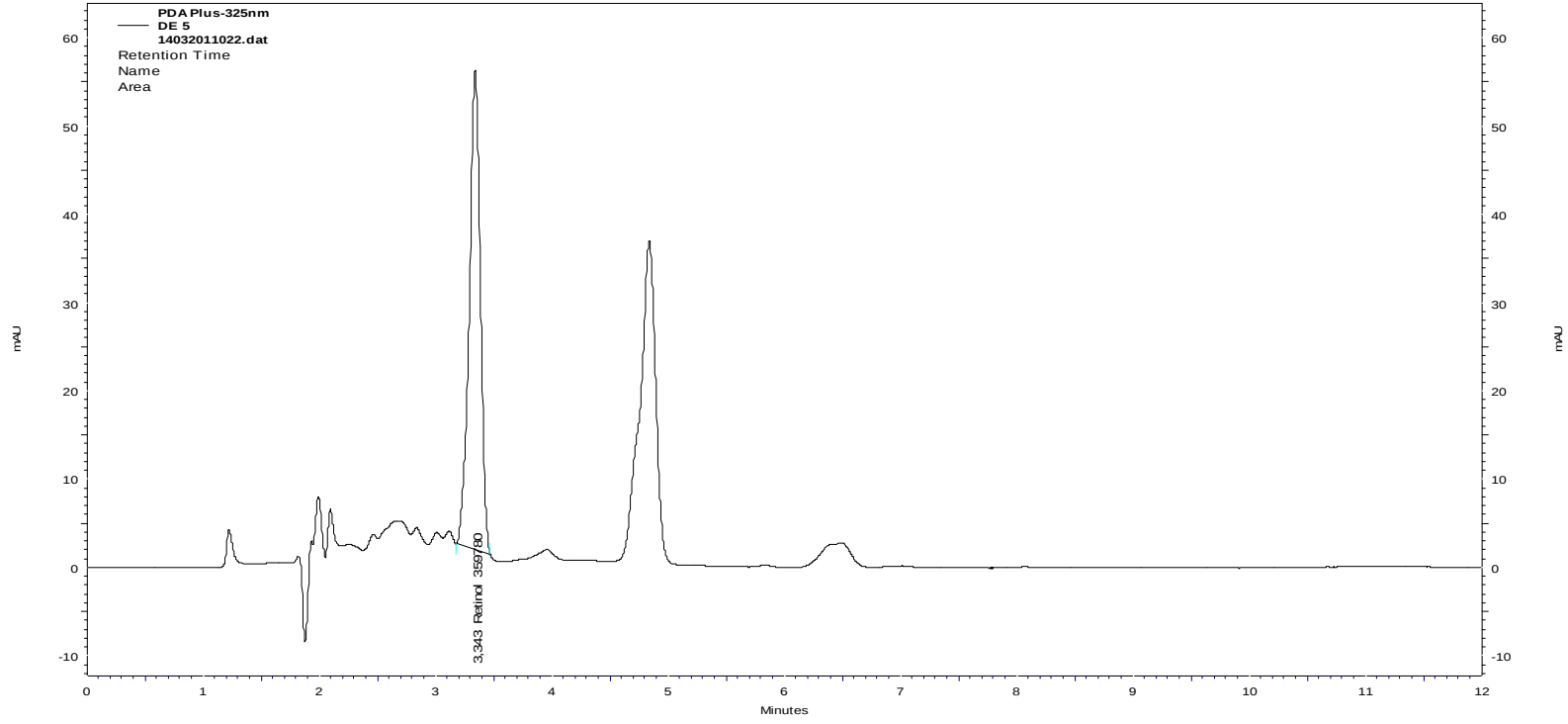
Gökkuşığı alabalığının kas dokusu C20:4n6 yağ asidi düzeyi kış, ilkbahar, yaz ve sonbahar mevsimlerinde sırasıyla 0.066 ± 0.003 , 0.089 ± 0.008 , 0.098 ± 0.005 ve 0.076 ± 0.002 olarak tespit edildi. Numunelerin yağ asidi seviyeleri arasındaki farklılıkların istatistiksel olarak $p < 0.001$ düzeyinde önemli olduğu saptandı (Çizelge 4.12).

Alabalığın kas dokusu C22:5n3 yağ asidi değerleri kış, ilkbahar, yaz ve sonbahar mevsimlerinde sırasıyla 1.702 ± 0.057 , 1.633 ± 0.050 , 0.852 ± 0.043 ve 1.027 ± 0.020 olarak tespit edilmiştir. Numunelerdeki yağ asidi seviyeleri arasında bulunan farklılıkların istatistiksel olarak $p < 0.001$ düzeyinde önemli olduğu belirlendi (Çizelge 4.12).

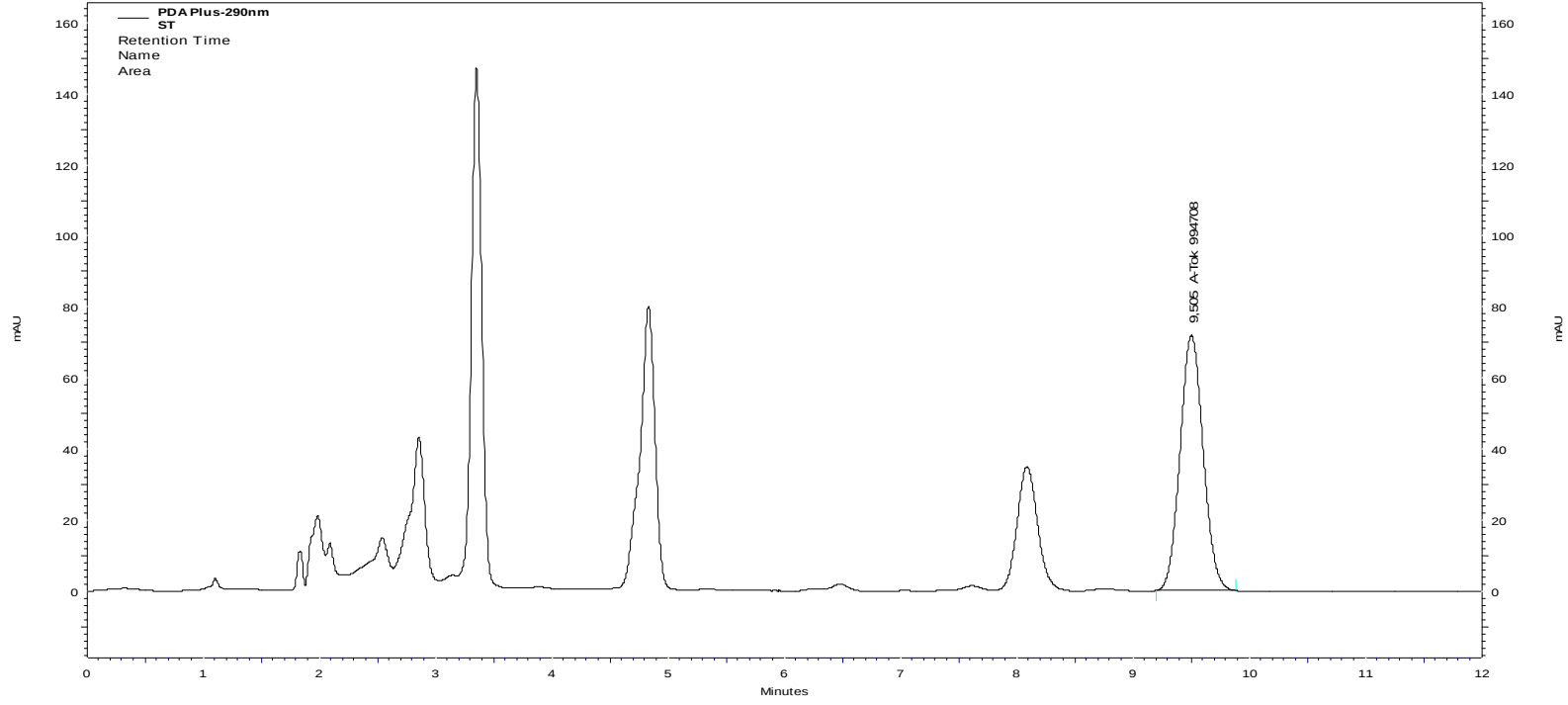
Gökkuşığı alabalığının kas dokusu C22:6n3 yağ asidi düzeyleri kış, ilkbahar, yaz ve sonbahar mevsimlerinde sırasıyla 16.182 ± 0.527 , 18.229 ± 0.213 , 15.032 ± 1.113 ve 15.013 ± 0.615 olarak bulunmuştur. Balık numuneleri arasında bulunan bu farklılıkların istatistiksel olarak $p < 0.01$ düzeyinde önemli olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.12).



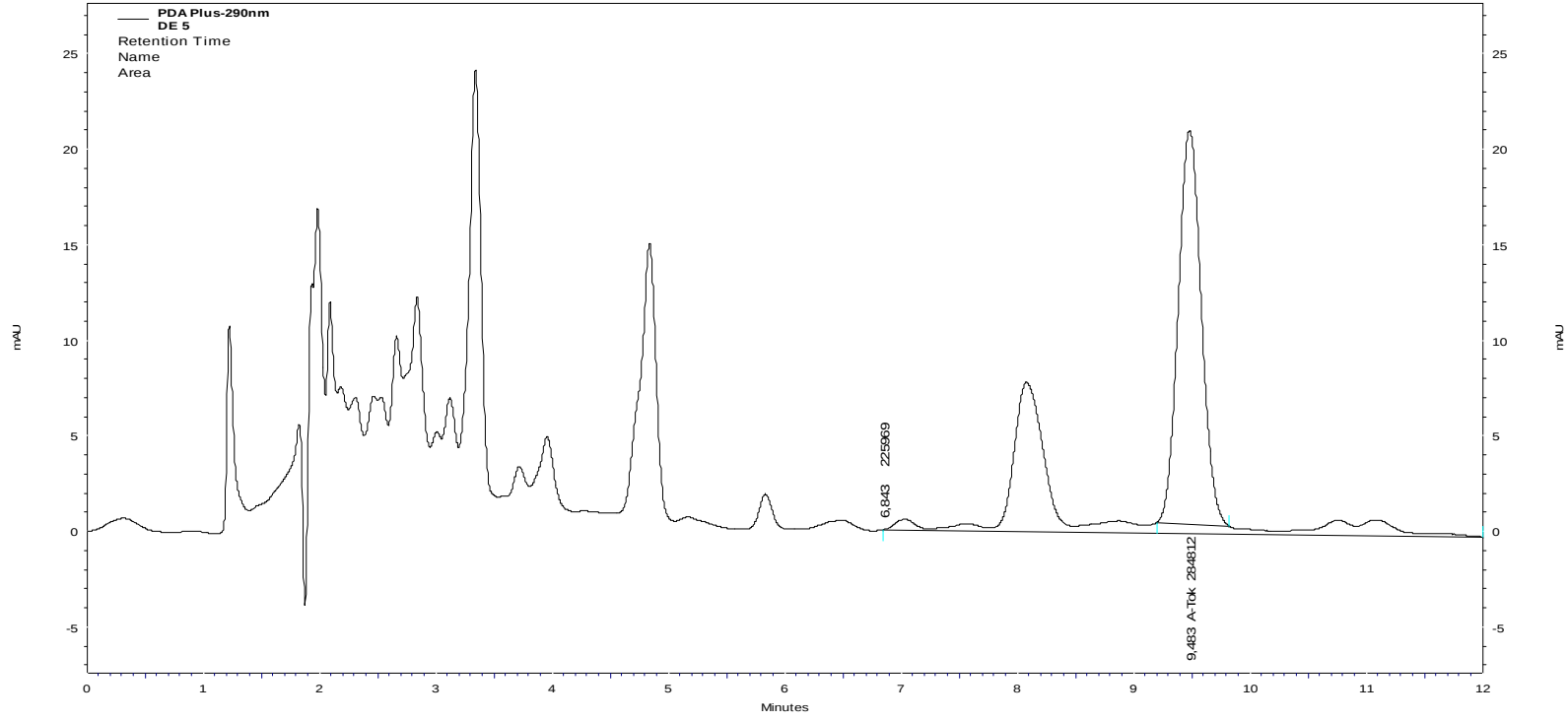
Şekil 4.12.Vitamin A (retinol) standardına ait HPLC kromatogramı.



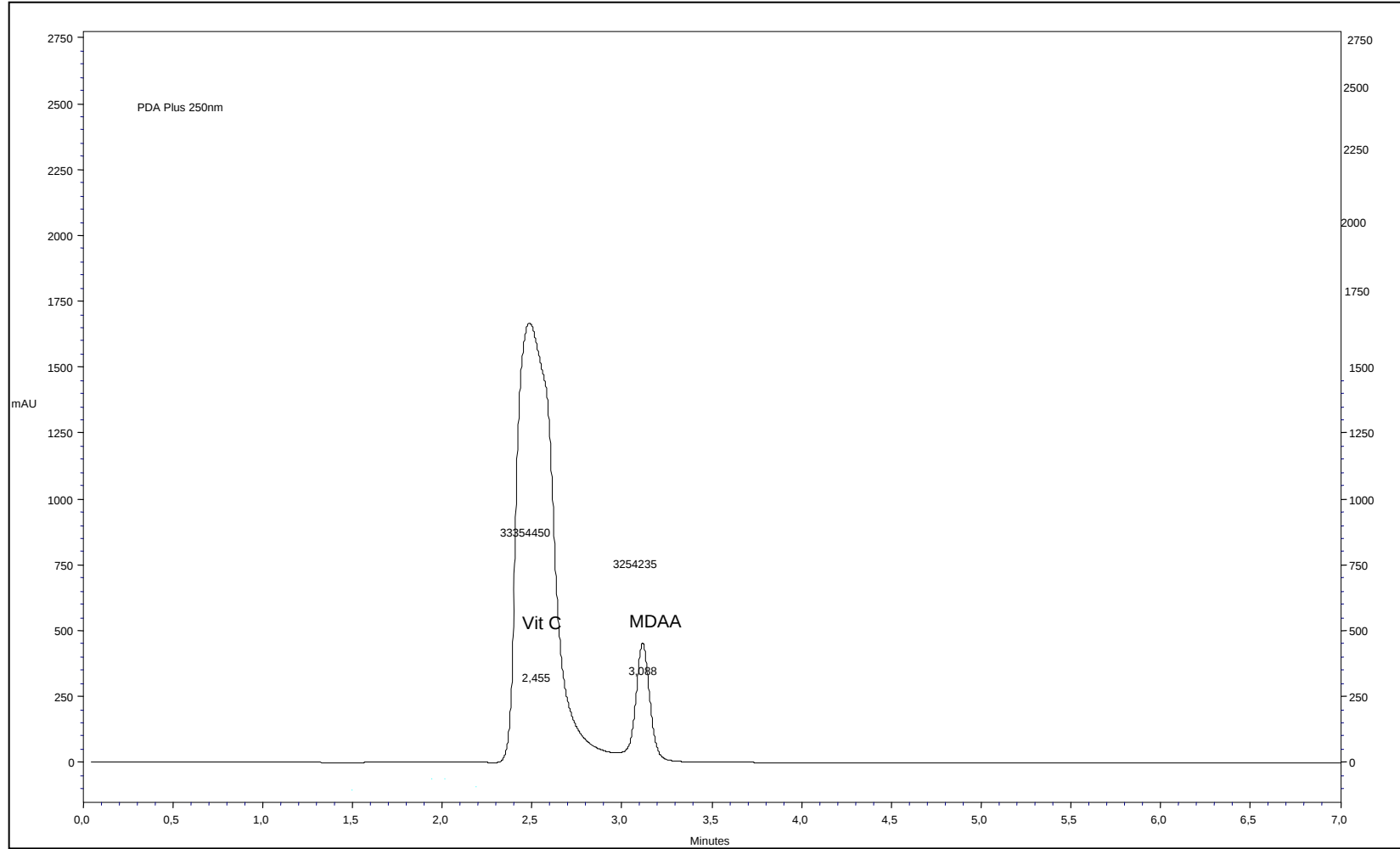
Şekil 4.13. Gökkuşağı alabalığı Vitamin A HPLC kromatogramından bir örnek.



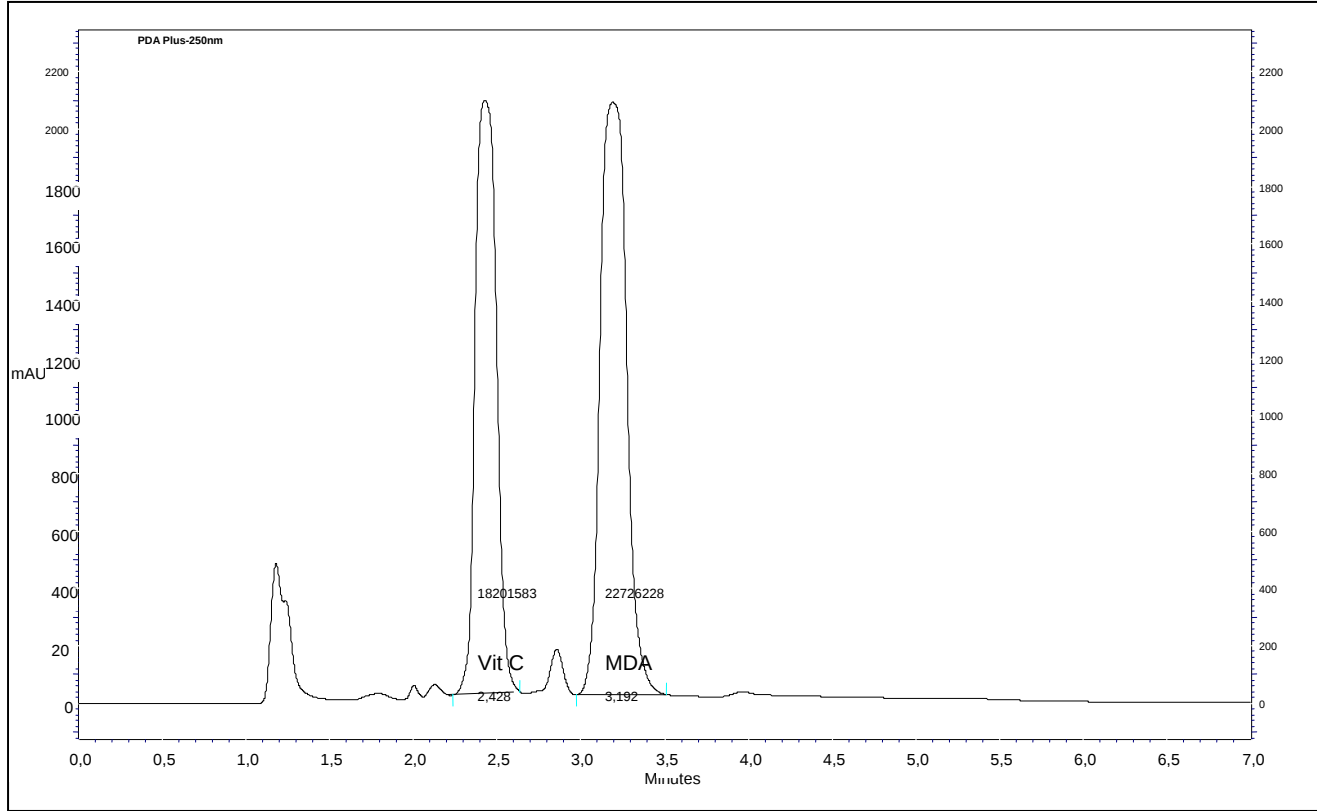
Şekil 4.14. α -tokoferol standardına ait HPLC kromatogramı.



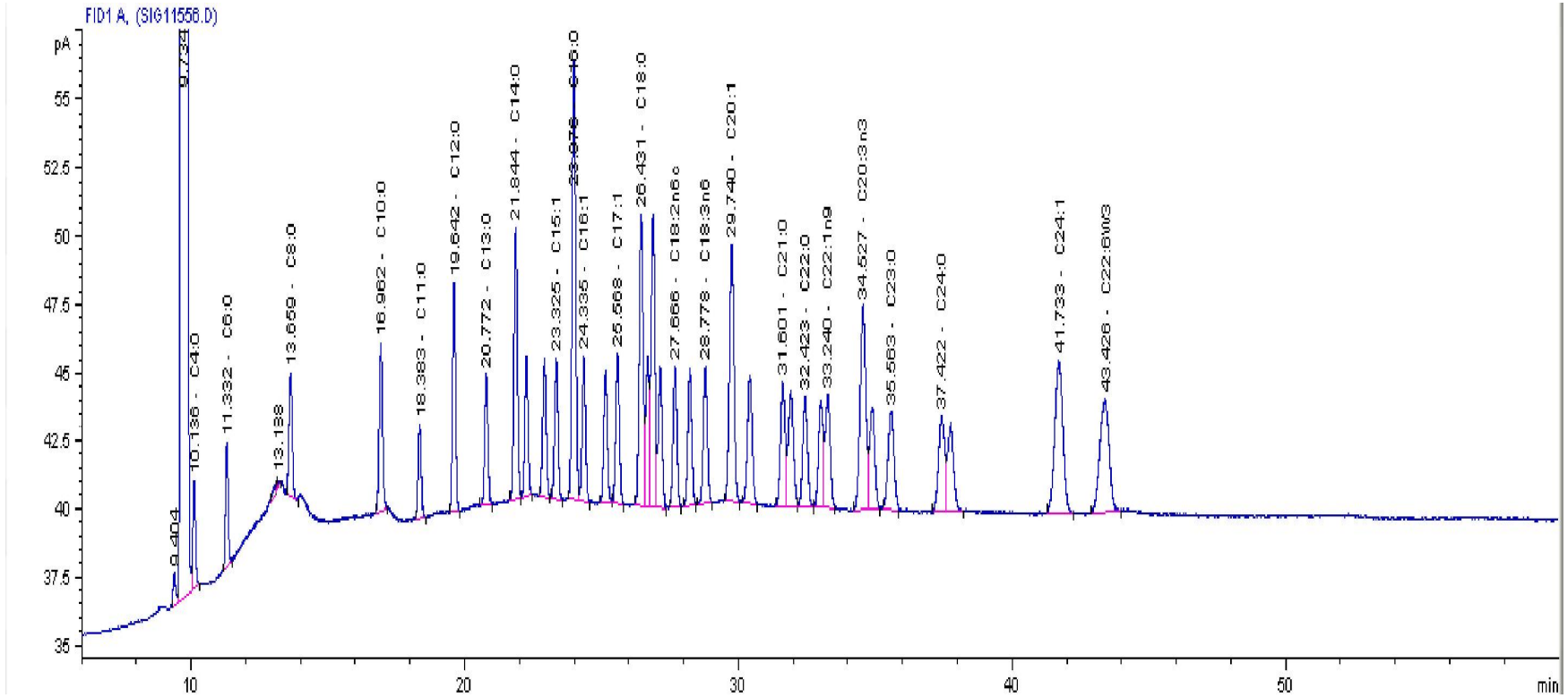
Şekil 4.15. Gökkuşağı alabalığı α -tokoferol HPLC kromatogramından bir örnek.



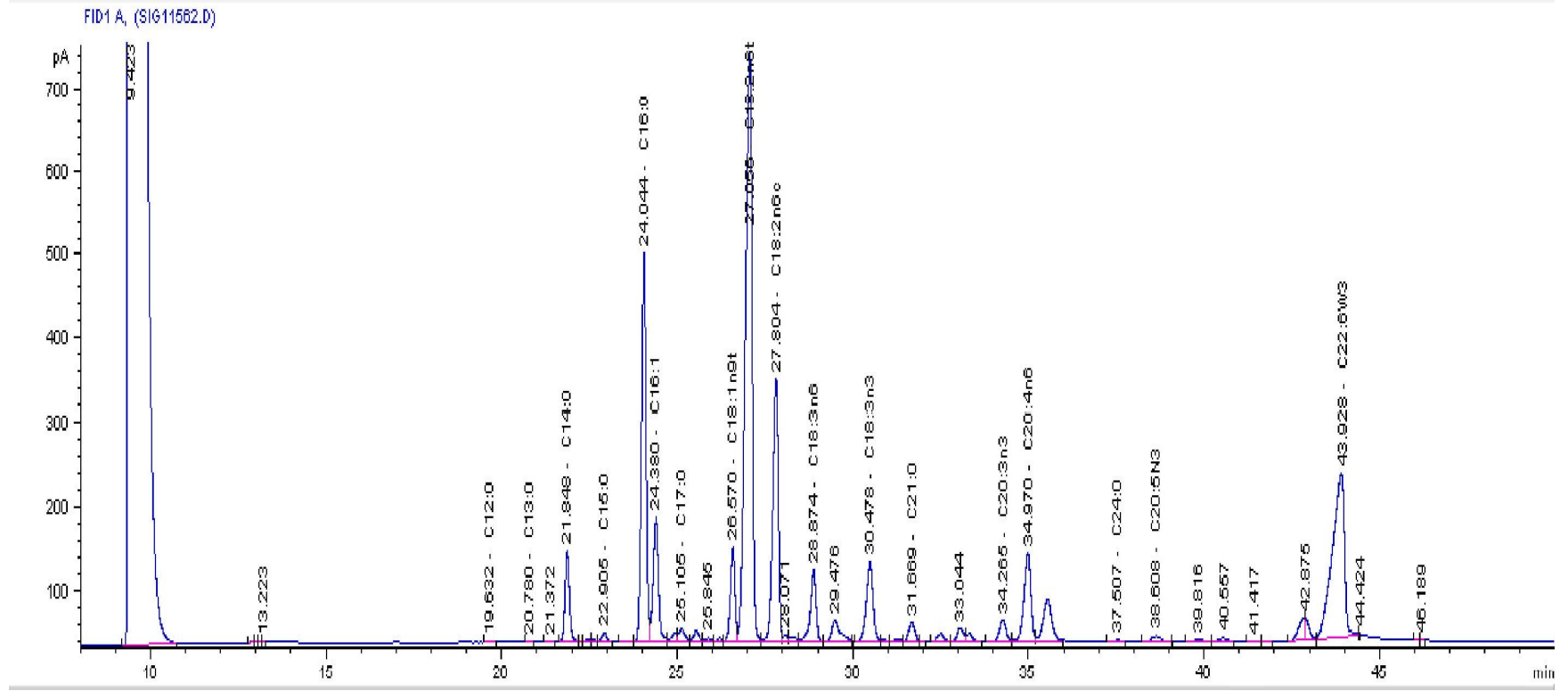
Şekil 4.16. Vitamin C ve MDA standartlarına ait HPLC kromatogramı.



Şekil 4.17. Gökkuşığı alabalığı Vitamin C ve MDA HPLC kromotogramından bir örnek.



Şekil 4.18.Yağ asitleri standartlarına ait GC kromatogramı.



Şekil 4.19. Gökkuşığı alabalığı örneklerinden birine ait yağ asitlerinin GC kromatogramı.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada her geçen gün önemi artan, yeterli ve dengeli beslenme için gerekli olan, kolay sindirilmesi ve yağ oranının düşük olması nedeniyle önemli bir besin kaynağı olan Gökkuşaağı alabalığının bazı antioksidan enzimleri, vitaminleri ve yağ asitleri incelenmiştir. Sunulan çalışmada Gökkuşaağı alabalığında vitamin A, E, C, MDA, SOD, CAT, GSH-Px, antioksidan düzeylerinin ve yağ asidi düzeylerinin mevsimsel değişimlerden nasıl etkilendiğini araştırmak amaçlanmıştır. Bu amaçla kas dokusunda vitamin A, E, C, MDA ve yağ asidi, plazmada vitamin A, E, C, MDA ve eritrositte SOD, CAT, GSH-Px düzeylerinin dört mevsimdeki değişimleri incelendi.

Araştırmada Gökkuşaağı alabalığı kas dokusunun dört mevsimdeki retinol düzeyleri arasında istatistiki olarak anlamlı farklılıklar bulunmuştur ($p<0.0001$). Sonuçlar sonbahardan kışa doğru artış göstererek kış mevsiminde en yüksek düzeye çıkmıştır. Bu artışların her mevsim için ayrı önem taşıyacak düzeyde olduğu görülmektedir (Çizelge 4.1, Şekil 4.1).

Gökkuşaağı alabalığının plazmasındaki retinol düzeylerinin mevsimlere göre değişimi istatistiksel olarak anlamlı farklılık göstermektedir ($p<0.005$). Sonbahar, yaz ve ilkbahar mevsimlerinde plazma retinol düzeyleri birbirine çok yakın iken kış mevsimindeki artışın daha da anlamlı olduğu saptanmıştır (Çizelge 4.2, Şekil 4.2). Yağda çözünen bir vitamin olan retinolün seviyesinin hem doku hem de plazmada kışa doğru artış göstermesi balığın yağ dokusunun kışa doğru arttığını ve bu sebepten retinol seviyesinde de artışın gözlemlendiği şeklinde düşünmemizi sağlayabilir.

White ve ark., (2003), Gökkuşaağı alabalığı (*Oncorhynchus mykiss*) ve Atlantik somonunun (*Salmo salar*, L.) bağırsak sistemi karotenoid çözeltisine maruz bırakılarak buradaki misellerde tutulan karotein düzeyini tesbit etmişlerdir. Çalışmanın sonunda Gökkuşaağı alabalığının ve Atlantik somonu değerleri arasında anlamlı bir farklılık gözlenmezken ($p>0.05$) Gökkuşaağı alabalığının kendi içinde değişimi kontrol grubuna göre anlamlı farklılıklar göstermiştir ($p<0.05$).

Gökkuşaağı alabalığının kas dokusundaki α -tokoferol düzeylerinin istatistiksel sonuçları mevsimler arasında anlamlı farklılıklar göstermiştir ($p<0.0001$). Sonuçlar

sonbahar, yaz, ilkbahar, kış sıralamasıyla artış göstermiştir. Artış kış mevsiminde en yüksek değere ulaşmıştır (Çizelge 4.3, Şekil 4.3).

Gökkuşaağı alabalığının plazmasındaki α -tokoferol düzeylerinin mevsimlere göre değişimi istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar göstermektedir ($p<0.0001$). Sonbaharda oldukça düşük olan α -tokoferol düzeyi yaz, ilkbahar ve kış mevsimlerinde yaklaşık aynı oranlarda artarak birbirlerine yakın seviyeye yükselmiştir (Çizelge 4.4, Şekil 4.4). Retinolde gözlenen durum α -tokoferolde de bulunmuştur. Yine yağda çözünen bir vitamin olan α -tokoferol hem dokuda hem de plazmada kışa doğru artış göstermiştir. Bu durum kışa doğru yağ dokusunun artmasından kaynaklandığı düşüncesini desteklemektedir.

Oksijen stresi altındaki Gökkuşaağı alabalığı yavrularının büyüme, yem değerlendirme ve bazı dokularında A ve E vitaminlerinin etkileri üzerine bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada, Gökkuşaağı alabalığı yavrularının yemlerine antioksidan vitaminler olan A ve E vitaminleri katılarak 12 hafta süresince yemlenmiştir. Bu rasyonlarla beslenen balıkların, 2 farklı çözünmüş oksijen seviyelerinde (4.4 mg/l O₂ konsantrasyonu ve 7.6 mg/l O₂ konsantrasyonu), bazı dokular (kas, karaciğer, böbrek) ve kan serumuna, A ve E vitaminlerinin etkileri tespit edilmiştir (Keleştemur, 2009). Bu çalışmada tespit edilen sonuçların çalışmada tespit edilen vitamin A ve E düzeyleriyle yakın değerler olduğu görülmektedir.

Alabalığının kas dokusunda vitamin C düzeylerinin mevsimlere göre değişimi istatistiksel olarak anlamlı farklılık göstermektedir ($p<0.0001$). Sonbaharda düşük olan vitamin C düzeyi yaz, ilkbahar, ve kış mevsimine doğru arttığı bulunmuştur. Her bir mevsim için gözlenen bu artış ayrı ayrı anlam ifade etmektedir (Çizelge 4.5, Şekil 4.5).

Gökkuşaağı alabalığının plazmasında vitamin C düzeylerinin mevsimlere göre değişimi istatistiksel olarak anlamlı farklılık göstermektedir ($p<0.0001$). Sonbaharda düşük olan vitamin C düzeyi ilkbahar, yaz ve kış mevsimine doğru artmıştır. Her bir mevsim için gözlenen bu artış ayrı ayrı anlam ifade etmektedir (Çizelge 4.6, Şekil 4.6).

Köprücü ve Özdemir (2002) Gökkuşaağı alabalığı kas dokusunda bazı vitaminlerin (A₂, C, E) miktarlarını belirlemek amacıyla yaptıkları çalışmada balık kas dokusunun ortalama 12,26 µg/g vitamin A₂, 17.54 µg/g vitamin C, 8.73 µg/g vitamin E ve %4.23 oranında ham yağ içerdiğini belirlemişlerdir. Gökkuşaağı alabalığı kas dokusu örneklerindeki A₂, C, E vitamin ve ham yağ düzeyleri arasındaki farklılıkların önemsiz

olduğuna, ($p>0.05$) kullanılan Gökkuşuğı alabalığı kas dokularının diğer birçok ticari su ürünü ile mukayese edildiğinde daha yüksek oranda A₂, C ve E vitaminlerini iğerdiğini bildirmişlerdir. Bu çalışmada belirlenen düzeyler ile çalışmadaki düzeyler arasında farklılıklar gözlenmektedir. Elde edilen farklılıklara göre balıkların bulunduğu ortam şartlarının, yem türünün ve yemlenme şeklinin, balık yaşının veya laboratuarda çalışma şartlarının sebep olabileceği düşünölmektedir.

Wahli ve ark. (1998) Gökkuşuğı alabalığından belirli gruplar oluşturarak bunları *Yersinia ruckeri* ve *Ichthyophthirius multifiliis* (VHS) ile enfekte etmişlerdir. Bu balıklara belirli oranlarda vitamin C ve vitamin E uygulayarak balıkların bağışıklık sistemini ve bu belirli oranlardaki vitaminlerle balıkların hastalığa karşı gösterdiği direnci incelemek üzere çalışma yapmışlardır. Çalışmada kontrol grubuna herhangi bir diyet uygulanmamıştır. Kontrol grubunun α -tokoferol düzeyi, çalışmadaki α - tokoferol düzeyine kıyasla daha yüksek seviyededir.

Jensen ve ark. (1998) Gökkuşuğı alabalığında 17 diyet grubu oluşturarak her bir gruba belirli oranlarda α -tokoferol, astaksantin ve yağ iğer bir diyet uygulamışlardır. Bu diyeti uyguladıktan sonra bu gruptaki balıkları tütsüleme ve dondurma yoluyla 12 ve 18 hafta saklamışlardır. Çalışmanın sonucunda kontrol gruplarının kas dokusunda α -tokoferol düzeyini 12.1 mg/kg ve MDA düzeyini 3.1 μ mol/kg olarak belirlemişlerdir. Elde edilen bu veriler çalışmadaki verileri desteklemektedir.

Gökkuşuğı alabalığının kas dokusundaki MDA düzeylerinin mevsimlere göre değişimi istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar göstermektedir ($p<0.0001$). Kış mevsiminde düşük düzeyde olan MDA seviyesi ilkbahar ve yaz mevsimlerinde artmıştır. Sonbahar mevsiminde ise diğer mevsimlere göre artış daha belirgindir (Çizelge 4.7, Şekil 4.7).

Gökkuşuğı alabalığının plazmasındaki MDA düzeylerinin mevsimlere göre değişimi istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar göstermektedir ($p<0.0001$). Sonbahar mevsiminde düşük düzeyde olan MDA seviyesi kış mevsiminde artığı bulunmuştur. İlkbahar ve yaz mevsimlerinde ise birbirine yakın düzeyde bulunan MDA seviyesi diğer mevsimlere göre daha belirgin olarak yükselmiştir (Çizelge 4.8, Şekil 4.8). Lipit peroksidasyonunu önleyen en önemli antioksidanlardan biri vitamin E'dir. Yapılan çalışmada buna paralellik göstererek α -tokoferol seviyesinin artığı mevsimlerde MDA seviyesinde düşüş, azaldığı mevsimlerde de artış olduğu gözlenmiştir.

Huang ve Huang (2004) oksidize yağ ile beslenen Tilapya balığı türlerinden melezleştirilen *Oreochromis niloticus* x *O. Aureus* hibrit balığının karaciğer glutatyon seviyesi ve doku lipid peroksidasyonun gelişimi üzerine E vitamini diyetinin etkisini araştırmışlardır. Çalışmada hibrit Tilapya balığına 14 hafta boyunca vitamin E içeren lipid diyeti uygulamışlardır. Çalışmanın sonucunda 0 ve 40 IU Vit. E/kg vitamin E içeren diyetle beslenen balıkların karaciğer ve kaslarındaki askorbat etkili lipid peroksidasyonunu (MDA kontrol kas dokusu 2.16 nmol/g, ciğer dokusu 3.92 nmol/g) daha yüksek seviyede vitamin E içeren diyetle beslenenden oldukça yüksek bulmuşlardır. Karaciğer glutatyon seviyesini diyetteki vitamin E içeriği artışıyla arttığını tespit etmişlerdir. Bulunan MDA sonuçları yapılan çalışmada bulunan plazma ve dokudaki MDA seviyeleri ile uygunluk göstermektedir.

Gökkuşığı alabalığına (*Oncorhynchus mykiss*) melatonin uygulaması yaparak Gökkuşığı alabalığının eritrositlerindeki antioksidan enzim aktivitelerinin değişimini incelemişlerdir. Çalışmada, lipid peroksidasyonun göstergesi olan malondialdehit (MDA) (plazma kontrol 0.8-1.2 nmol/ml) üzerine etkilerini araştırmışlardır. Sonuçta, melatonin uygulamasının bir sonucu olarak MDA seviyesinin önemli derecede azaldığını ($p<0.01$) belirlemişlerdir (Gülçin ve ark., 2009). Bu çalışmada elde edilen MDA sonuçları yapılan çalışmada elde edilen plazma MDA sonuçları ile yakınlık göstermektedir (Çizelge 4.8, Şekil 4.8).

Gökkuşığı alabalığının eritrositlerindeki SOD düzeylerinin mevsimlere göre değişimi istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar göstermektedir ($p<0.0001$). Kış mevsiminde düşük olan değer ilkbahar, yaz ve sonbahar mevsimlerine doğru artmıştır. Yaz ve sonbahar mevsimlerinde SOD düzeyleri kendi aralarında belirgin bir farklılık göstermemiştir (Çizelge 4.9, Şekil 4.9).

Çözünmüş oksijen düzeyi 4.4 mg/l ve 7.6 mg/l olan ortamlarda, önemli bir antioksidan enzim olan ve süperoksit iyonlarının dismutasyonunu sağlayarak potansiyel zararlı etkilerine karşı hücreleri korumada etkili olan SOD enzim aktivitesinin, oksidatif stres sonucu azalmasının önlenmesinde, balık rasyonlarına ilave edilen 30 mg/kg vitamin A ve 60 mg/kg vitamin E'nin etkili olduğu belirlenmiştir. Kontrol gruplarında belirlenen plazma SOD enzim aktivite düzeyleri (4,4mg/l ve 7,6 mg/l çözünmüş oksijen düzeylerinde) 6.3 U/ml 12.3 U/ml düzeyinde, olduğunu belirlemiştir (Keleştemur 2009).

Bu çalışmada elde edilen SOD düzeylerinin çalışmada elde ettiğim SOD düzeyleri ile oldukça yakın olduğu gözlenmektedir (Çizelge 4.9, Şekil 4.9).

Gökkuşluğu alabalığının eritrositlerindeki CAT düzeylerinin mevsimlere göre değişimi istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar göstermektedir ($p<0.0001$). CAT düzeyleri kış ve ilkbahar mevsimlerinde daha yüksek seviyelerde olup kendi aralarında birbirlerine oldukça yakın düzeydedir. Yaz ve sonbahar mevsimlerinde ise CAT düzeyleri birbirine yakın olup ilkbahar ve kış mevsimi düzeylerinden daha düşüktürler (Çizelge 4.10, Şekil 4.10).

Yonar ve Yonar (2010) Gökkuşluğu alabalıklarını malahite maruz bırakarak antioksidan savunma sistemlerinde ve bağışıklık sistemlerindeki değişiklikleri araştıran bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada balıkları iki farklı oranda (1/15 66.67 mg/l, 1/150 6.67 mg/l) malahit uygulamasına tabi tutmuşlardır. Uygulamanın sonunda lipid peroksit ve katalaz seviyelerindeki değişimi araştırmışlardır. Sonuç olarak MDA seviyeleri kan (kontrol 0.65 nmol/ml) dokularında kontrol grubuna göre her iki grupta yükselme olurken 6.67 mg/l'lık malahit uygulamasında daha fazla yükselme gözlemlenmiştir. CAT'da ise kontrol grubuna (kan 78.91 k/ml) göre her iki grupta yükselme bulurken 66.7 mg/l'lık malahit uygulamasında daha fazla yükselme gözlemlenmiştir. Bu çalışmadaki MDA düzeyi yapılan çalışmadaki MDA düzeyleri ile örtüşmektedir (Çizelge 4.7, Şekil 4.7 ve Çizelge 4.8, Şekil 4.8).

Gökkuşluğu alabalığının eritrositlerindeki GSH-Px düzeylerinin mevsimlere göre değişimi istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar göstermektedir ($p<0.0001$). Yaz mevsiminde yüksek olan değer sonbahar mevsiminde anlamlı olarak azalmıştır. Kış mevsiminde oldukça düşük düzeyde olan GSH-Px ilkbahar mevsiminde ise hem kış hem de sonbahar mevsimine yakın düzeyde bulunmuştur (Çizelge 4.11, Şekil 4.11). Sunulan çalışmada SOD, GSH-Px seviyesinin yaz ve sonbaharda artış göstermiştir aynı zamanda MDA kas dokusu da bu durumu desteklemektedir. Metabolizmadaki reaktif oksijen türlerinin artmasını gösteren bu durum ortam sıcaklığının artıp oksijen seviyesinin ve pH' nın düşmesinden kaynaklanabilir (Çizelge 3.1).

Kiron ve ark. (2010) Gökkuşluğu alabalığından iki farklı grup oluşturmuşlardır. Bu iki grubu iki miktarda mineral ve vitamin içeren keten tohumu yağı (KTY) ve safran yağı (SY) içeren yemlerle beslemişlerdir. Beslenme sürecinden sonra bu balıkların plazmasında, ciğerinde ve eritrositinde lipid hidroperoksit LOOH, süperoksit dismutaz

SOD değerlerindeki değişimi incelemişlerdir. Çalışmada aynı mineral ve vitamin fakat farklı yağ kaynaklı yem ile beslenen alabalıkların SOD, CAT, GSH-Px, LOOH değerlerinde önemli bir değişme gözlenmediğini ortaya koymuşlardır.

Trenzado ve ark. (2006) Gökkuşluğu alabalığı (*Oncorhynchus mykiss*) ve mersin balığının (*Acipenser Naccarii*) lipid peroksidasyonunu ve antioksidan enzimlerini karşılaştırmak üzere bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada iki tür balığı aynı şartlarda aynı içerikli yem ile aynı süre bulundurduktan sonra balıkların kalp, ciğer, sindirim sistemi, kasları, solungaçları, plazma ve eritrositlerini alarak çalışmalarını gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada lipid peroksit (MDA) değerlerini genel olarak Gökkuşluğu alabalığında mersin alabalığından yüksek bulmakla birlikte en yüksek değeri de her iki türde sindirim sisteminde gösterdiklerini belirtmişlerdir. Antioksidan enzimlerde ise SOD, CAT, GSH-Px ortalama olarak mersin balığında değerlerin daha yüksek olduğunu gözlemlemişlerdir.

Çalışmada Gökkuşluğu alabalığının kas dokusunda yapılan analizlerinin sonucunda yağ asitlerinin mevsimlere göre değişimi şu şekilde belirlenmiştir:

Gökkuşluğu alabalığının kas dokusunda bulunan Laurik asit (C12:0) düzeylerinin mevsimlere göre değişimi farklılıklar göstermektedir ($p<0.01$). Kış mevsiminde yüksek olan düzey ilkbahar, yaz ve sonbahara doğru azalmıştır. Bu azalış mevsimler arasında düşük seviyelerde seyretmektedir (Çizelge 4.12).

Gökkuşluğu alabalığının kas dokusunda bulunan Miristik asit (C14:0) düzeylerinin mevsimlere göre değişimi anlamlı farklılıklar göstermektedir ($p<0.001$). Yağ asidi düzeyleri kış ve ilkbahar mevsimlerinde birbirlerine yakın düzeyde olup seviyeleri diğer mevsimlerden daha yüksektir. Yaz ve sonbahar mevsimlerinde ise Miristik asit düzeyleri yaklaşık aynı oranlardadır (Çizelge 4.12).

Gökkuşluğu alabalığının kas dokusunda bulunan C15:0 yağ asidi düzeylerinin mevsimlere göre değişiminin anlamlı olduğu görülmektedir ($p<0.001$). Kış ve yaz mevsimlerinde birbirine yakın olan düzeyler ilkbaharda belirgin bir yükseliş, sonbaharda ise belirgin bir düşüş şeklinde seyretmiştir (Çizelge 4.12).

Gökkuşluğu alabalığının kas dokusunda bulunan Palmitik asit (C16:0) en çok bulunan yağ asitlerinde üçüncü sırada yer almaktadır. Palmitik asit düzeylerinin mevsimlere göre değişimi farklılıklar göstermektedir ($p<0.01$). İlkbahar ve sonbahar

mevsimlerinde yüksek olan düzeyler kış ve yaz mevsimlerinde yaklaşık aynı oranda azalmıştır (Çizelge 4.12).

Gökkuşuğu alabalığının kas dokusunda bulunan Palmitoleik asit (C16:1) düzeylerinin mevsimlere göre değişimi anlamlı farklılıklar göstermektedir ($p<0.001$). Kış ve ilkbahar mevsimlerinde yakın ve yüksek olan Palmitoleik asit düzeyleri yaz ile de sonbahar mevsimlerinde daha düşük ve yakın değerlerdedir (Çizelge 4.12).

Gökkuşuğu alabalığının kas dokusunda bulunan Stearik asit (C18:0) düzeylerinin mevsimlere göre değişimi anlamlı farklılıklar göstermektedir ($p<0.001$). Yaz ve sonbahar mevsimlerinde birbirine yakın olan Stearik asit düzeyleri kış ve ilkbahar mevsimlerinde yaklaşık aynı oranlarda düşüş göstererek birbirine yakın seviyelerde bulunmuştur (Çizelge 4.12).

Gökkuşuğu alabalığının kas dokusunda bulunan Oleik asit (C18:1n9) alabalıkta en çok bulunan yağ asitidir. Diğer mevsimlerdeki seviyesi de yine bu durumu desteklemektedir. Oleik asit düzeylerinin mevsimlere göre değişimi anlamlı farklılıklar göstermektedir ($p<0.001$). Oleik asitin kış ve ilkbahar mevsimlerinde seviyesinin yüksek, yaz ve sonbahar mevsimlerinde ise düşüş göstererek aynı düzeylerde bulunmuştur (Çizelge 4.12).

Gökkuşuğu alabalığının kas dokusunda bulunan Linoleik asit (C18:2n6c) düzeylerinin mevsimlere göre değişimi anlamlı farklılıklar göstermektedir ($p<0.001$). Sonbahar mevsiminde oldukça yüksek olan yağ asidi düzeyi yaz mevsiminde düşüş göstermiştir. Kış ve ilkbahar mevsimlerinde birbirine yakın olan Linoleik asit düzeylerinin diğer mevsimlere göre oldukça düşük seviyelerde olduğu saptanmıştır (Çizelge 4.12).

Gökkuşuğu alabalığının kas dokusunda bulunan Arahidik asit (C20:0) düzeylerinin mevsimlere göre değişimi anlamlı farklılıklar göstermektedir ($p<0.001$). Sonbahar mevsiminde yüksek olan Arahidik asit düzeyi kış, ilkbahar ve yaz mevsimlerinde yaklaşık olarak aynı seviyelerde ve birbirlerine oldukça yakın bulunmuştur (Çizelge 4.12).

Gökkuşuğu alabalığının kas dokusunda bulunan Linolenik asit (C18:3n6) düzeylerinin mevsimlere göre değişimi anlamlı farklılıklar göstermektedir ($p<0.001$). Yaz ve sonbahar mevsimlerinde birbirine yakın olan Linolenik asit düzeyleri, kış

mevsiminde düşüş gösterirken ilkbahar mevsiminde bu düşüş daha da belirginleşmektedir (Çizelge 4.12).

Gökkuşığı alabalığının kas dokusunda bulunan Ekosanoik asit (C20:1) düzeylerinin mevsimlere göre değişimi anlamlı farklılıklar göstermektedir ($p<0.001$). Kış mevsiminde yüksek olan Ekosanoik asit düzeyi ilkbahar mevsiminde düşüş gösterirken yaz ve sonbahar mevsimlerinde ise birbirine yakın ve daha da düşük seviyelerde oldukları saptanmıştır (Çizelge 4.12).

Gökkuşığı alabalığının kas dokusunda bulunan Linolenik asit (C18:3n3) düzeylerinin mevsimlere göre değişimindeki farklılıkların anlamlı olduğu görülmektedir ($p<0.001$). Kış mevsiminde yüksek olan Linolenik asit düzeyi ilkbahar mevsiminde belirgin bir şekilde azalmıştır. Yaz ve sonbahar mevsimlerinde birbirine yakın olan Linolenik asit düzeyleri diğer mevsimlere göre daha düşük düzeydedir (Çizelge 4.12).

Gökkuşığı alabalığının kas dokusunda bulunan Ekosadienoik asit (C20:2n9) düzeylerinin mevsimlere göre değişimi anlamlı farklılıklar göstermektedir ($p<0.001$). Yaz mevsiminde yüksek olan Ekosadienoik asit düzeyi sonbaharda azalmaktadır. Kış ve ilkbahar mevsimlerinde ise Ekosadienoik asit düzeyleri birbirine yakın ve daha düşük seviyelerde tespit edilmiştir (Çizelge 4.12).

Gökkuşığı alabalığının kas dokusunda bulunan Ekosatrienoik asit (C20:3n6) düzeylerinin mevsimlere göre değişimi anlamlı farklılıklar göstermektedir ($p<0.001$). Yaz mevsiminde yüksek düzeyde olan Ekosatrienoik asit seviyesi sonbaharda düşüş göstermiştir. Kış ve ilkbahar mevsimlerinde ise birbirine yakın olan Ekosatrienoik asit düzeyleri daha düşük seviyelerde bulunmaktadır (Çizelge 4.12).

Gökkuşığı alabalığının kas dokusunda bulunan Erusik asit (C22:1n9) düzeylerinin mevsimlere göre değişimi düşük seviyede farklılıklar göstermektedir ($p<0.05$). Sadece sonbahar ve kış mevsimleri arasında farklılık bulunmaktadır. Diğer mevsimlerde Erusik asit düzeyi yaklaşık olarak aynı seviyelerdedir (Çizelge 4.12).

Gökkuşığı alabalığının kas dokusunda bulunan Ekosatrienoik asit (C20:3n3) düzeylerinin mevsimlere göre değişimi anlamlı farklılıklar göstermektedir ($p<0.001$). İlkbahar mevsiminde yüksek olan Ekosatrienoik asit düzeyi kış mevsiminde azalmıştır. Yaz ve sonbahar mevsimlerinde yaklaşık olarak aynı olan Ekosatrienoik asit düzeyi aynı oranlarda da azalmıştır (Çizelge 4.12).

Gökkuşığı alabalığının kas dokusunda bulunan C20:5n3 yağ asidi düzeylerinin mevsimlere göre değişimi anlamlı farklılıklar göstermektedir ($p<0.001$). Kış ve ilkbahar mevsimlerinde birbirine yakın olan yağ asidi düzeyleri sonbahar mevsiminde azalmıştır, yaz mevsiminde ise bu azalış daha da belirginleşmiştir (Çizelge 4.12).

Gökkuşığı alabalığının kas dokusunda bulunan Arahidonik asit (C20:4n6) düzeylerinin mevsimlere göre değişimi anlamlı farklılıklar göstermektedir ($p<0.001$). Yaz, ilkbahar ve sonbahar mevsimlerinde birbirine yakın olan Arahidonik asit düzeyleri kış mevsiminde azalmıştır (Çizelge 4.12).

Gökkuşığı alabalığının kas dokusunda bulunan Dokosapentaenoik asit (C22:5n3) düzeylerinin mevsimlere göre değişimi anlamlı farklılıklar göstermektedir ($p<0.001$). Kış ve ilkbahar mevsimlerinde birbirine yakın olan Dokosapentaenoik asit düzeyleri sonbahar mevsiminde azalma göstermektedir, bu azalma yaz mevsiminde daha da belirginleşmektedir (Çizelge 4.12).

Gökkuşığı alabalığının kas dokusunda bulunan Dokosaheksaenoik asit (C22:6n3) düzeylerinin mevsimlere göre değişimi farklılıklar göstermektedir ($p<0.01$). Dokosaheksaenoik asit düzeyi ilkbahar mevsiminde yüksek, kış, yaz ve sonbahar mevsimlerinde birbirine yakın ve daha düşük seviyelerde gözlenmiştir (Çizelge 4.12).

Caballero ve ark. (2002) farklı lipit kaynaklı diyet ile beslenen yavru Gökkuşığı alabalıklarının gelişimi ve yağ asidi kompozisyonu üzerine bir çalışma yapmışlardır. Çalışmanın sonucunda kontrol grubu yağ asidi değerlerini yüzde olarak şu şekilde bulmuşlardır. C14:0 %2.0, C16:0 %13.3, C16:1n-7 %6.3, C18:0 %5.1, C18:1n-9 %23.2, C18:1n-7 %2.7, C18:2n-6 %2.1, C18:3n-3 %0.4, C18:4n-3 %0.3, C20:1 %8.7, C20:2n-9 %0.1, C20:4n-6 %0.7, C22:4n-6 %0.4, C22:5n-6 %0.1, C20:4n-3 %0.6, C20:5n-3 %4.3, C22:1 %4.3, C22:5n-3 %1.6, C22:6n-3 %13.2, C24:1n-9 %0.9, C24:6n-3 %1.7. Belirlenen bu yağ asidi düzeylerinin sunulan çalışmada belirlenen yağ asidi düzeyleri ile yakın olduğu görülmektedir (Çizelge 4.12).

Passi ve ark. (2004) belirli yaş dönemlerin de bulunan Gökkuşığı alabalığı ve deniz levreğinin yağ asitlerini ve bazı antioksidan düzeylerini kıyaslamışlardır. Çalışmada Gökkuşığı alabalığının 1 yıllık grubunun yağ asidi değerlerini şu şekilde belirlemişlerdir. C14:0 %0.2, C15:0 %0.3, C16:0 %14.1, C17:0 %0.2, C18:0 %6.2, C20:0 %0.1, C24:0 %0.1, C16:1n-7 %3.7, C17:1n-7 %0.2, C18:1n-9>n-7 %29.8, C20:1n-9>n-7 %3.5, C22:1n-11>n-9 %2.6, C18:2n-6 %3.5, C20:2n-6 %0.1, C20:3n-6

% 0.1, C20:4n-6 %0.9, C18:3n-3 %0.2, C20:3n-3 %0.1, C20:4n-3 %0.2, C20:5n-3 %8.7, C22:5n-3 %1.6, C22:6n-3 %23.3. Antioksidan enzimlerde ise 1 yaş grubunun antioksidan değerleri 0.13 (U/mg kas dokusu), SOD 7.13 (U/mg kas dokusu), vitamin C 12.9 µg/mg kas dokusu vitamin E 7.2.(µg/g kas dokusu), MDA 0.16 (µmol/g) kas dokusu olarak bulmuşlardır. Çalışmada belirtilen yağ asidi düzeylerinin yapılan çalışmadaki bazı yağ asidi düzeylerinden biraz daha yüksek olduğu görülmektedir. Bunun sebebinin faklı ortam şartları ve yem kaynaklı olabileceği dşnlmektedir. Antioksidan enzim düzeyleri ise sunulan çalışma ile örtüşmektedir.

Bu araştırmanın sonucunda:

Vitamin A, C, E, MDA, SOD, CAT, GSH-Px, ve yağ asitleri analizleri mevsimler arasında anlamlı farklılıklar göstermiştir. Gözlenen bu farklılıklara bulunan mevsimdeki suyun pH'sının, sıcaklığının ve buna bağlı olarak da znmş oksijen miktarının sebep olabileceği dşnlmektedir (izelge 3.1.1). Ayrıca yağda znen vitaminlerde kışa doğru artış gözlenmiştir. Bu duruma kış mevsimine doğru balığın yağ oranının artmasına bağlı olarak retinol ve α-tokoferol düzeylerinde artış gözlendiği düşünülebilir. MDA seviyelerindeki değişimin vitamin E düzeyi ile ters orantılı olduğu gözlenmiştir. Bu durumdan da lipid peroksidasyonunu önlemek için vitamin E' nin oldukça önemli görevi olduğu gerçeğini destekleyen bir sonuç çıkarılabilir. Özellikle sonbahar mevsiminde gözlenen değişimlere ise Gökkuşağı alabalığının üreme döneminin denk gelmesinden kaynaklandığı dşnlmektedir. İlkbahar mevsiminin değerlerinin kısmen kış mevsimi değerlerine yakın olması, bölgedeki dağlardan kaynaklı kar suyunun ilkbaharda eriyerek kaynak sularına karışması ve bu durumun ortam şartlarını daha az değiştirmesinden kaynaklandığı da düşünülebilir.

Diyetsel antioksidan ve doymamış yağ asitlerinin alınmasının çok önemli olduğu günümüzde, yapılan çalışma doğrultusunda Gökkuşağı alabalığının hem antioksidan olarak hem de doymamış yağ asidi kaynağı olarak tüketiminin artmasının özellikle de kış aylarında daha fazla tüketilmesinin faydalı olacağı kanısına varılabilir.

KAYNAKLAR

- Aebi, H., 1984. Catalase in vitro methods. *Enzymol*,(105):121-126.
- Aitken, R.J., Clarkson, J.S., 1987. Cellular basis of defective sperm function and its association with the genesis of reactive oxygen species by human spermatozoa. *J Reprod Fertil*, (81), 459-469.
- Akkuş, İ., 1995. *Serbest radikaller ve fizyopatolojik etkileri*, 1. Mimoza yayınları, Konya, 395.
- Akyurt, İ., Yanık, T. ve Tarım, S., 1990. Doğu anadolu bölgesi balık potansiyeli, problemleri ve çözüm yolları. *Milli Prodüktivite Merkezi Yayınları*, (431), Ankara, 51.
- Alak, G., Hisar, O., 2008. Kadmiyumun gökkuşuğu alabalığı (*Oncorhynchus mykiss*) karaciğer ve böbrek dokularındaki bazı antioksidan enzim aktiviteleri üzerine etkisi. *Fatih ünv. Üniversite Öğrencileri 3. Çevre kongresi (ÇESKO 2008)*. 453-456.
- Anonymous, 1991. Trans-fatty acids and serum cholesterol levels. *Nutrition Reviews*, 49, 2, 57-62.
- Anonymous, 1996. Superoxide dismutase kit, *Randox Lab.* Ltd., U.K.
- Anonymous, 1997. Glutathione peroxidase enzim kiti, *Randox Lab.* Ltd., U.K.
- Antmen, Ş.E., 2005. *Beta talasemide oksidatif stres*. Çukurova Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Biyokimya Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Adana.
- Aras, N.M., Kocaman, E.M., Aras, M.S., 2000. General fisheries and fundamental principals of aquaculture (in turkish). *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No:216*, Erzurum.
- Ayerza, R., 2002. Omega-3 fatty acid enriched eggs: advantage of chia over other raw materials. *Omega-3 fatty Acids, Evolution and Human Health Symposium*, 23-24 September 2002. Washington.
- Bagchi, D., Bagchi, M., Stohs, S.J., Das, D.K., Ray, S.D., Kuszynski, C.A., Joshi, S.S., Pruess, H.G., 2000. Free radicals and grape seed proanthocyanidin extract: importance in human health and disease prevention. *Toxicology*, 148 (2) 3, 187-197.

- Balevi, T., Coşkun, B., 1999. Rasyonlarda kullanılan bazı yağların etlik piliçlerde performans ve abdominal yağdaki yağ asidi kompozisyonları üzerine etkileri. VIV Poultry Yutav'99. *Uluslararası Tavukçuluk Fuarı ve Konferansı*. 3-6 Mayıs 1999, İstanbul, 336-347.
- Baştürk, A., Javidipour, I., Boyacı, I.H., 2007. Oxidative stability of natural and chemically interesterified cottonseed, palm and soybean oils. *Journal of Food Lipids*, (14): 170-188.
- Baud, L., Ardaillou, R., 1986. Reactive oxygen species. production and role in the kidney. *Am J Physiol*, (5) 2, 765-76.
- Bayazit, A.A., 2003. Doymamış yağ asitlerinin beslenme ve sağlık açısından önemi. *Gıda ve Yem Bilimi -Teknolojisi Dergisi*, (3): 28-31.
- Benzer, F., Ozan, S.T., 2003. Fasciola hepatica ile enfekte koyunlarda lipid peroksidasyonu, antioksidan enzimler ve nitrik oksit düzeyleri, *Türk J Vet Anim Sci*, (27): 657-661.
- Boggio, S.M., Hardy, R.W., Rabbitt, J.K., Brannon, E.L., 1985. *Aquaculture*, (51): 13-24.
- Bonnefoy, M., Draï, J., Kostka, T., 2002. Antioxidants to slow aging, facts and perspectives. *Presse Med*, (31): 1174-84.
- Borek, C., 2001. Antioxidant health effects of aged garlic extract. *J Nutr*, (3): 131,10-15.
- Bozdemir, Y., 2007. *Keten tohumu (Linum Usitatissimum) ekstratında katalaz ve süperoksit dismutaz enzim aktiviteleri*. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Adana.
- Bulkley, İ.B., 1983. The role of oxygen free radicals in human disease processes. *Surgery*, (94): 407-11.
- Burçak, G., Andican, G., 2004. Oksidatif DNA hasarı ve yaşlanma. *Cerrahpaşa J Med*, (35): 159-169.
- Burtis, C.A., Ashwood, E.R., 1994. Clinical chemistry, *Second Ed. WB. Saund. Comp.* USA.
- Busaui, F., 1990. Biochemical aspects of free radicals. *Biochem Cell Biol*, (68): 989-98.

- Caballero, M. J., Obach, A., Rosenlund, G., Montero, D., Gisvold, M., Izquierdo, M. S. 2002. Impact of different dietary lipid sources on growth, lipid digestibility, tissue fatty acid composition and histology of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Aquaculture*, (214): 253–271.
- Champe, P.C., Harvey, R.A., 1997. (Çeviri Ed. Tokullugil A, Dirican M, Ulukaya E). Lippincott's illustrated reviews, **Biyokimya: (2. Baskı)**, İstanbul. Nobel Tıp Kitabevleri. s.331-333.
- Cnubben, N.H.P., Rietjens, I.M.C.M., Wortelboer, H., Zanden, J., Bladeren, P.J., 2001. The interplay of glutathione-related processes in antioxidant defense. *Envorimental Toxicology and Pharmacology*, (10): 141-152.
- Cooke, M.S., Evans, M.D., Dizdaroglu, M., Lunec, J., 2003. Oxidative DNA damage mechanisms,: mutation and disease. *FASEB J*, (17): 1195-1214.
- Çavdar, C., Sifil, A., Çamsarı, T., 1997. Hastalıkların patogenezi ve tedavisinde reaktif oksijen partikülleri ve antioksidanlar. *Türk Nefroloji Diyaliz ve Transplantasyon Dergisi*, (4): 96-101.
- Çetinkaya, O., 1996, Çatak çayı (Dicle Nehri) dağ alabalıklarının (*Salmo trutta magrostigma* DUMMERIL, 1858) Bazı biyolojik özelliklerinin incelenmesi. *İstanbul Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Dergisi*.
- De Lamirande, E., Jiang H., Zini, A., 1997. Reactive oxygen species and sperm physiology. *Rev Reprod*, (2): 48-54.
- Delibaş N, Özçankaya R (1995). Serbest radikaller. *SDÜ Tıp Fakültesi Dergisi*, (3): 11-17.
- Dikici, İ., 1999. *Akut viral hepatitlerle interferon tedavisi görmüş kronik viral hepatitlerde oksidatif stresin araştırılması*. Selçuk Üniversitesi Tıp Fakültesi Biyokimya Anabilim Dalı, Uzmanlık Tezi, Konya.
- Dogru Pekiner, B., Daş Evcimen, N., Ulusu, N.N., Bali M, Karasu, C., 2003. Effect of vitamin E on microsomal Ca(2+) ATPase activity and calcium levels in streptozotocin-induced diabetic rat kidney. *Cell Biochem Funct*. (2):177-82.
- Dyerberg, J., 1986. Linolenate-derived polyunsaturated fatty acids and prevention of atherosclerosis. *Nutr. Rev.*, 44(4), 125-134.

- Enser, M., 1991. Animal carcass fats and fish oils. analysis of oilseeds, fats and fatty foods. J. B. Rossell ve J. L. R. *Pritchard (Edt), Elsevier Applied Science.*, 367-387.
- Enslen, M., Milon, H., Mainoe, A., 1991. Effect of low intake of omega-3 fatty acid during development on brain phospholipid fatty acid composition and exploratory behavior in rats. *Lipids*, **26 (3)**: 203-207.
- Ertürk, B., 2006. *Akciğer kanserli hastalarda malondialdehit (MDA) ve total antioksidan kapasite (TAOK) düzeyi ölçümü ile oksidan-antioksidan dengenin araştırılması*. T.C. Sağlık Bakanlığı Süreyyapaşa Göğüs ve Kalp-Damar Hastalıkları Eğitim ve Araştırma Hastanesi, Uzmanlık Tezi, İstanbul.
- Evans, M.D., Cooke, M.S., 2004. Factors contributing to the outcome of oxidative damage to nucleic acids. *BioEssays*, **(26)**: 533-542.
- Farrell, D.J., 1992. The hearty egg. *Poultry Digest*, **(4)**: 20-22.
- Finaud, J., Lac, G., Filaire, E., 2006. Oxidative stres relationship with exercise and training. *Sports Med*, **36 (4)**: 327-58.
- Flohe, L., Gunzler, W.A., 1984. Assays of glutathione peroxidase, *Methods in Enzymology*, **(105)**: 114-115.
- Flohe, L., Ötting, F. 1984. *Methods Enzymol.*, **105**, 93.
- Folch, J., Lees, M., Sloane-Stanley, G.H., 1957. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. *Journal of Biological Chemistry*, **(226)**: 497-509.
- Gao, Z., 2003. The anti-oxidant effect of nitric oxide. Iowa üniversty. *Free radical and radiation biology program, Iowa*, **(9)**.
- Gökpınar, Ş., Koray, T., Akçiçek, E., Göksan, T., Durmaz, Y., 2006. Algal antioksidanlar. *E.Ü. Su Ürünleri Dergisi*, **(23)**: 85-89.
- Grashorn, M.A., 1995. Blanch, emâhrungsphysiologische bedeutung der Omega-3-fettsâuren und möglichkeiten der anreicherung in eiern. *Arch. Geflügelk*, **60(2)**, 49-58.
- Grundy, S.M., 1986. Monoansatüre yağ asitleriyle karbonhidratların plazma kolesterolünü azaltıcı etkilerinin karşılaştırılması. *The New England Journal of Medicine*. (Türkçe baskı), **(12)**: 745-748

- Gutteridge, J.M.C., 1995. Lipid peroxidation and antioxidants as biomarkers of tissue damage. *Clin Chemistry*, (41): 1819-1828.
- Gümüştas, M.K., Atukeren, P., 2008. Oksidatif ve nitrozatif stresin psikiyatrik bozukluklarla ilişkisi. *İÜ Cerrahpaşa Tıp Fakültesi sürekli tıp eğitimi etkinlikleri, Türkiye’de sık karşılaşılan psikiyatrik hastalıklar, sempozyum dizisi*, (62): 329-340.
- Gülçin, İ., Beydemir, Ş., Hisar, O., Köksal, E., Reiter, R.J. 2009. Melatonin administration increases antioxidant enzymes activities and reduces lipid peroxidation in the rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*, Walbaum) erythrocytes. *Turk. J. Vet. Anim. Sci.* 33(3): 241-245.
- Güven, C, 1987. Modern prodüksiyon *Eczacılık Teknolojisi*, (Cilt 1): 290, İstanbul.
- Halle, I., 1997. Omega-Ei, einflup der hennenernahrung auf das eidotter fettsaurenmuster. *Lohmann Information*, (1): 3-6.
- Halver, J.E., 1989. Fish nutrition, *Academic Press Inc.*, Second Ed., New York, 798 p.,
- Halliwell, B., Gutteridge, J.M.C., 1984. Oxygen toxicity, oxygen radicals, transition metals and disease. *Biochem J*, (219): 1-14.
- Halliwell, B., Gutteridge, J.M.C., 1989. Free radicals in biology and medicine, *Oxford, Clarendon Pres*, 10-21.
- Halliwell, B., 1991. Reactive oxygen species in living system. source, biochemistry and role in human disease. *Am J Med*, (91): 14-21.
- Halliwell, B., 1994. Free radicals, antioxidants, and human disease. Curiosity, cause or consequence? *Lancet*, (344): 721-725.
- Halliwell, B., 1996. Cellular stress and protection mechanisms. *Biochem Soc Transac*, (24): 1023-1030.
- Halliwell, B., Gutteridge, J.M.C., 1996. Free radicals in biology and medicine 2nd ed. *Clarendon Press, Oxford* , (10): 86-130.
- Harman, D., 1956. Aging: A theory based on free radical and radiation chemistry. *J Gerontol*, (11): 298-300.
- Harris, R., 1996. Editor. Haris R., Ascorbic acid.: *Subcellular Biochemistry*, (25): Springer.

- Heizelman, K., Franke, K., 1999. Using freezing and drying techniques of emulsions for the micro-encapsulation of fish to improve oxidation stability. *Food and Food Chemistry, UK*, (3): 12. 223-229.
- Hoşsu, B., A.Y. Korkut, A. Fırat, 2001, Fish nutrition and food technology I (in Turkish). *Ege Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Yayınları* (50).
- Horton, H.R., Mora, L.A, Ochs, R.S., Rawn, J.D., Scrimgeour, K.G., 1993. Principles of biochemistry. *Neil Patterson Publishers Prentice Hall International, Inc.*, USA.
- Hua Li, Z., Zlabek, V., Velisek, J., Grabic, R., Machova, J., Kolarova, J., Li, P., Randak, T., 2010. Acute toxicity of carbamazepine to juvenile rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*): Effects on antioxidant responses, hematological parameters and hepatic EROD. *Ecotoxicology and Environmental Safety*.
- Huang, C.S., ve Huang S. L., 2004. Effect of dietary vitamin E on growth, tissue lipid peroxidation, and liver glutathione level of juvenile hybrid tilapia, *Oreochromis niloticus* x *O. aureus*, fed oxidized oil. *Aquaculture* (237), 381–389.
- Huang, Z., Leibovitz, H., Chong. M. and Millar, R. 1990. Effect of dietary fish oil on omega-3 fatty acid level in chicken eggs and thigh flesh. *American Chemical Soc*, 38(3):743-747.
- Jensen, C., Birk, E., Jokumsen, A., Skibsted, H.L., Bertelsen, G., 1998. Effect of dietary levels of fat, α -tocopherol and astaxanthin on colour and lipid oxidation during of frozen rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and during chill storage of smoked trout. *Z Lebensm Unters Forsch A* (207): 189–196
- Jiménez, A.P., Hidalgo, M.C., Morales, A.E., Arizcun, M., Abellán, E., Cardenete, G., 2009. Antioxidant enzymatic defenses and oxidative damage in dentex fed on different dietary macronutrient levels. *Comparative Biochemistry and Physiology, Part* (150): 537–545.
- Kalaycıoğlu, L., Serpek, B., Nizamlioğlu, M., Başpınar, N., Tiftik, A.M., 2006. *Biyokimya*, 3. Baskı, Nobel Yayın Dağıtım Ltd. Şti., Ankara.
- Karatepe, M., 2004. Simultaneous determination of ascorbic acid and free malondialdehyde in human serum by HPLC-UV. *LCGC North America*, (22): 362-365.

- Kavas, G.Ö., 1989. Serbest radikaller ve organizma üzerine etkileri, *Türkiye Klinikleri Derg*, **9 (1)**: 1-8.
- Kayaalp, O., 2000. *Rasyonel tedavi yönünden tıbbi farmakoloji* 1.cilt. 9.baskı. Ankara: Hacettepe TAŞ.s.718.
- Kazanç, M.B., 1997. *Antioksidan vitaminler*. Sendrom, Temmuz, 14-22.
- Keleştemur, G.T., 2009. *Oksijen stresi altındaki gökkuşağı alabalığı (Oncorhynchus Mykiss W. 1792) yavrularının büyüme, yem değerlendirme ve bazı dokularına "A" ve "E" vitaminlerinin etkileri* (Doktora Tezi). Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Keusch, G.T., 1993. Antioxidants in infection. *J Nutr Sci Vit*, **(39)**: 23-33.
- Kimoto, E., Shoji, T., Emoto, M., Miki, T., Tabata, T., 2002. Oxidative stability and sensory quality of stored eggs from hens fed %1.5 menhaden oil. *J of Food Science*, **(59)**: 561-563.
- Kiron, V., Thawonsuwan, J., Panigrahi, A., Scharsack, J.P., Satoh, S., 2010. Antioksidant and immune defences of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) offered plant oils differing in fatty acid profiles from early stages. *Aquaculture Nutrition*. **(10)**: 1365-2095.
- Knapen, M.F.C.M., Zusterzeel, P.L.M., Peters, W.H.M., Steegers, E.A.P., 1999. Glutathione and glutathione-related enzymes in reproduction. *European Journal of Obstetrics & Gynecology and Reproductive Biology*, **(82)**: 171-184.
- Kolaylı, S., Keha, E., 1999. A comparative study of antioxidant enzyme activities in fresh water and seawater-adapted rainbow trout. *J Biochem Molecular Toxicology* **(13)**: 6.
- Konar, V., Köprücü, K., 2002. Gökkuşağı alabalığı (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum, 1792) etindeki yağ asiti miktarlarının araştırılması. *F. Ü. Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, **14(1)**: 73-78
- Kopani, M., Celec, P., Danisovic, L., Michalka, P., Biro, C., 2006. Oxidative stress and electron spin resonance. *Clin Chim Acta*, **(364)**: 61-66.
- Köprücü, K., ve Özdemir, Y., 2002. Gökkuşağı alabalığı (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum, 1792) etindeki A₂, C ve E vitamin miktarları. *F. Ü. Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, **14(2)**: 227-232.

- Kromhout, D., Bosschieter, M.D., Coulander, L, 1985. The inverse relation between fish consumption and 20-year mortality from coronary heart disease. *The New Engl. J. of Med.*, **312 (19)**: 1205-1209.
- Kuru, M., 1975, *Dicle-Fırat, Kura-Aras, Van Gölü ve Karadeniz Havzası tatlı sularında yaşayan balıkların (Pisces) sistematik ve zoocoğrafik yönde incelenmesi*, Doçentlik Tezi, A.Ü. Fen Fak., Erzurum.
- Kuru, M., 1971, The fresh-water fish fauna of eastern anatolia, *İ.Ü. Fen Fak. Mec.*, **36, (4)**: 137-147.
- Kuyumcu, A., Düzgün, A.P., Özmen, M.M., Besler, H.T., 2004. Travma ve enfeksiyonda nitrik oksidin rolü. *Ulus Travma Dergisi*, **10 (3)** 149-159.
- Leaf, A., Weber P.C., 1988. Cardiovascuair effects of oo-3 fatty acids. *The New Engl.J.Of Med.*, **318 (9)** 549-557.
- Leeuwenburgh, C., Hardy, M.M., Hazen, S.L., 1997. Reactive nitrogen intermediates promote low density lipoprotein oxidation in human atherosclerotic intima. *J Biol Chem*, **(272)**: 1433-6.
- Leitritz, E., Lewis, R.C., 1980. Trout and salmon cult ure (Hatchery methods). Publ. *Div. Agri. Sci., U. of Cal.*, **(41)**: Berkeley. 197 p.
- Lewis, N.M., Seburg, S., 2000. Flanagan NL enriched eggs as a sourced of n-3 polyunsaturated fatty acids for humans. *Poult. Sci.*, **(79)** 971-974.
- Machlin, L.J., Pendich, A., 1987. Free radical tissue damage. Protective role of antioxidant nutrients. *FASEB J*, **1**, 441-445.
- Macrae, R., Robinson, R.K., Sadler, M.J., 1993. Encyclopedia of food science and technology and nutrition, *Academic Press*, **Vol 1**, 268-288.
- Martin, K.R., Barret, J.C., 2002. Reaktive oksijen species as double-edged swords in cellular processes: low-dose cell signaling versus high-dose toxicity. *Hum Exp Toxicol*, **(21)**: 71- 75.
- Mattson, F.H., Grundy, S.M., 1985. Comparison of effect of dietary saturated, monounsaturated and polyunsaturated fatty acids on plasma lipids and lipoproteins in man. *J. of Lipid Research*, **(26)** 194-202.
- Mayes, P.A., 1993. Lipidlerin fizyolojik önemi (Çeviren: Gülriz Menten) *Harper'ın Biyokimyası Bölüm 16*. (Ed: Murray, R.K., Mayes, P.A., Granner, D.K., Rodwell, V.W).

- Maxwell, S.R.J., 1995. Prospects for the use of antioxidant therapies. **Drugs**, (49): 315.
- Menke, K.H., Huss, W. 1980. Tieremâhrung und futtermittelkunde. 2. auflage, **UlmerVerlag** Stuttgart,
- Mert, N., Bildik, A., Ertekin, A., Dede, S., 1999. Biyokimya, **Y.Y.Ü. Veteriner Fakültesi Yayını**, Van.
- Miller, K.W., Yang, C.S., 1985. An Isocratic High-performance liquid chromatography method for the simultaneous analysis of plasma retinol, α -tocopherol and various carotenoids. **Analitical Biochemistry**, (145): 21-26.
- Moslen, M.T., 1994. Reactive oxygen species in normal physiology, cell injury and phagocytosis, free radicals in diagnostic medicine, **Ed D Armstrong Plenum Press**, NewYork, Pp, 1-15.
- Murray, R.K., Mayez, P.A., Granner, D.K., Rodwell, V.W_M 1993. **Harper'in biyokimyası** (Çevirenler: Menteş, G., Ersöz, B.), Barış kitabevi, istanbul,
- Nakano,T., Toss, M., Takeuchi, M., 1995. Improvement of biochemical features in fish health by red yeast and synthetic astaxanthin. **J. Agric. Food Chem.** (43):1570-1573.
- Niki, E., 1987. Antioksidant in relation to lipid peroxidation, **Chem Phy Lipids**, (44): 227-253.
- Nizamlioglu, M., 2000. **Lipidler "Biyokimya" ikinci baskı**, Selçuk Üniversitesi Veteriner Fakültesi Yayınevi Ünitesi, 216-264, Konya.
- Nordberg, J., Arner, E.S.J., 2001. Reactive oxygen species, antioxidants and the mammalian thioredoxin system. **Free Radical Biology and Medicine**, 31 (11) 1287-1317.
- Norum, K.R., Drevon, C.A. 1986. Dietary omega-3 fatty acids and cardiovascular diseases. **Arteriosclerosis**, (6) 352-355.
- Opstvedt, J., Urdah, I.N., Pattersen, J., 1990. Fish oils - an old fat source with new possibilities. "edible fats and oils processing basic principles and modern practices", **Ericson DR, ed. AOCS Press**, Champaign, Illinois, 250-259.
- Ötleş, S., 1998. Fish oils and food enrichment with omega-3 fatty acids. **Olaj Szappan Kozmetika**, (47) 4.
- Özçelik, B., Karaali, A., 2002. Omega-3 yağ asitleri ve sağlığımız. **Gıda 2000**, 27, 34-38.

- Özdamar, K., 2004. *Paket programlar ile istatistiksel veri analizi 1.5*. Baskı. Kaan Kitabevi, Eskişehir. 352.
- Özgöçmen, S., 2007. Romatizmal hastalıklarda oksidatif stresin rolü. *Türk Fiz Tıp Rehab Derg*, (53): 2, 33-35.
- Özmen, A., Bayır, M., Cengiz, M., Sirkecioğlu, A.N., Atamanalp, M., 2004. Effects of water reuse system on antioxidant enzymes of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* W., 1792). *Vet. Med. – Czech*, 49 (10): 373–378.
- Padayatty, S. J., Katz, A., Wang, Y., Eck, P., Kwon, O., Lee, J., 2003. Vitamin C as an antioxidant: evaluation of Its role in disease prevention. *J Am Coll Nutr*. 22(1): 18–35.
- Padley, F. B., Gunstone, F. D. and Harvood, J.L., 1986. Occurrence and characteristics of oil and fats. *The Lipid Handbook*. The University Press, Cambridge.
- Paglia, D.E., Valentine, W.N., 1967. Studies on the quantitative an qualitative characterization of erythrocyte glutathione peroxidase, *J. Lab. Clin. Med.*, V. 70 (1), 158-168.
- Passi, S., Ricci, P., Cataudella, S., Ferrante, I., Simone, F. D., Rastrelli, L., 2004. Fatty acid pattern, oxidation product development, and antioxidant loss in muscle tissue of rainbow trout and *dicentrarchus labrax* during growth. *J. Agric. Food Chem.*, 52, 2587-2592.
- Patterson, H.B.W., 1994. *Hydrogenation of fats and oils*, 1st Edt, AOCS Press. Champaign, Illinois, 40-43, 114-117, 172, 188.
- Porter, N.A., 1984. Chemistry of lipid peroxidation, *Methods in Enzymology*, (105): 273–283.
- Prabucki, A.L., 1973. *Aufbau und chemische zusammensetzung der fettfraktion von lebensmitteln. in: fette als funktionelle bestandteile von lebensmitteln*. Hrsg. J. Solms, Forster Verlag, Zürich.
- Ritola, O., Livingstone, D.R., Peters, L.D., Lindström-Seppa, P., 2002. Antioxidant processes are affected in juvenile rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) exposed to ozone and oxygen-supersaturated water. *Aquaculture* (210): 1 –19.
- Ritola, O., Petters, L.D., Livingstone D.R., Lindström P.S., 2002. Effects of in vitro exposure to ozone and/or hyperoxia on superoxide dismutase, catalase,

- glutathione and lipid peroxidation in red blood cells and plasma of rainbow trout, (*Oncorhynchus Walbaum*). *Aquaculture Research*, (33):, 165-175.
- Sakaç, V., Sakaç, M., 2000. Free oxygen radiacals and diseases, *Part I. Med Pregl*, (9): 10, 463-74.
- Sebedio, J. L., 1996. Sources of the main fats and relevant monographs. *Oils and Fats Manual. Vol 1. A. Karleskind (Edt)*, Intercept Limited, Andover. UK., 266-276.
- Sert, C., Çelik, M.S., 1996. Radyasyondan koruyucu ajanlar. *Türkiye Klinikleri J Med Sci*, (16): 292-298.
- Seven, A., Candan, G., 1995. Serbest radikaller ve lipid peroksidasyonu. *Klinik Gelişim*, (8): 3906-3911.
- Shadidi, F., Wanasundara, U.N., 1998. Omega-3 fatty acid concentrates:nutritional aspects and production technologies. *Trends in Food Sci. and Technol.* (9): 230-240.
- Shapiro, L., 1999. *Noteworthy nutrition papers*, (2): 1, 1-4,
- Sies, H., 1997. Oxidative stres. oxidants and antioxidants. *Exp Physiol*, (82): 291-295.
- Simopolous, A., Leaf, A., Salem, N.J., 1999., *VWorkshop on the essentiality of and RDIs for omega-6 and omega-3 fatty acids*. Cloisters National Institutes of Health in Bethesda Maryland-USA.
- Smith, C., Marks Allan, D., Lieberman, M., 2005. *Basic medical biochemistry*. Second Edition. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; s.441.
- Singer, P., 1994. Was sind, wie vvirken omega-3 fettsauren? Umschau Zeitschriften, *Verlag Breidenstein GmbH*, Frankfurt am Main, S. 20-23, 42-46.
- Slastenenko, E., 1955, *Karadeniz havzası balıkları. E.B.K.* Umum Müd. Yay. İstanbul, 11(3): 17-18.
- Slater, T.F., 1984. Overview of methods for detecting lipid peroxidation. *Methods in Enzymology*, (105): 283–305.
- Somogyi, A., Rosta, K., Pusztai, P., Tulassay, Z., Nagy, G., 2007. Antioxidant measurements. *Physiol Meas*, 28 (4): 41-55.
- Squadrito, G.L., Pryor, W.A., 1998. Oxidative chemistry of nitrite oxide. the roles of superoxide, peroxinitrite and carbon dioxide. *Free Rad Biol Med*, (25): 392-403.

- Stamler, J.S., Singel, D.J., Loscalzo, J., 1992. *Biochemistry of nitric oxide and its redox-activated forms*. Science, **(258)**: 1898-1902.
- Stryer, L., 1987. Biochemie. 3. auflage, *Spekturum Akademischer Verlag*, S. 302, 489-491.
- Toyokuni, S., 1999. Reactive oxygen species-induced molecular damage and its application in pathology. *Pathol Int*, **49**, 91-102.
- Trenzado, C., Hidalgo, M.C., García-Gallego, M., Morales, A.E., Furné, M., Domezain, A., Domezain, J., Sanz, A., 2006. Antioxidant enzymes and lipid peroxidation in sturgeon acipenser naccarii and trout (*Oncorhynchus mykiss*). A comparative study. *Aquaculture*, **(254)**: 758–767.
- Trenzado, E.C., Morales, E.A., Palma, M.J., Higuera, M., 2009. Blood antioxidant defenses and hematological adjustments in crowded/uncrowded rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed on diets with different levels of antioxidant vitamins and HUFA. *Comparative Biochemistry and Physiology, Part C* **(149)**: 440–447.
- Urso, M.L., Clarkson, P.M., 2003. Oxidative stress, exercise, and antioxidant supplementation. *Toxicology*, **189 (1)**: 2, 41-54.
- Uysal, M., 2002. Esansiyel yağ asitleri (Omega-3 ve Omega-6 Yağ Asitleri). <http://www.klinikbiyokimya.com/seminer/omega/omega.html>.
- Ünal, D., 1999. *Serbest radikaller*. Sendrom, 68-80.
- Valentine, J.S., Wertz, D.L., Lyons, T.J., 1998. The dark side of dioxygen biochemistry. *Curr Opin Chem Biol*, **(2)**: 253-262.
- Wahli, T., Verlhac, V., Gabaudan, J., Schüep, W., Meier, W., 1998. Influence of combined vitamins C and E on non-specific immunity and disease resistance of rainbow trout, (*Oncorhynchus mykiss*). *Journal of Fish Diseases*, **(21)**: 127-137.
- Watkins, B.A., 1991. Importance of essential fatty acids and their derivatives in poultry. *J. Nutr.*, **(121)** 1475-1485.
- Wei, Y.H., Pang, C.Y., 2005. The Role of mitochondria in human aging process. *Biotech International*, **(17)**: 8-13.
- White, D. A., Ørnsrud, R., Davies, S. J., 2003. Determination of carotenoid and vitamin A concentrations in everted salmonid intestine following exposure to

- solutions of carotenoid in vitro. *Comparative Biochemistry and Physiology, Part A (136)*: 683–69.
- Wilhelm, F.D., Giulivo, C., Boveris, A., 1993. “Antioxidant defences in marine fish I. teleosts”, *Comp. Biochem. Phys.*, (65): s409-413.
- Witko-Sarsat, V., Rieu, P., Descamps-Latscha, B., Lesavre, P., Mécarelli, L.H., 2000. Neutrophils: Molecules, functions and pathophysiological aspects. *Lab Invest*, (80): 617-635.
- Word, R.J., Peters, T.J., 1996. Free radicals. Kaplan LA, Pesce AJ editors. *Clinical Chemistry*. 3th Ed. Mosby Year Book, Inc, 765-777.
- Xia, E., Rao, G., Van Remmen, H., Heydari, A.R., Richardson, A., 1995. Activities of antioxidant enzymes in various tissues of male fischer 344 rats are altered by food restriction, *J. Nutr.*, 125(2), 195-201.
- Yanık, T., 2009. Gökkuşığı alabalığı ve alabalıkların morfolojik özellikleri arazi çalışmaları. *Doğal Alabalık Çalıştayı*.
- Yazıcı, C., Köse, K., 2004. Melatonin: karanlığın antioksidan gücü. *Erciyes Üniversitesi Sağlık Bilimleri Derg*, 13 (2): 56-65.
- Yonar, S.M., Sakin, F., 2010. Likopenin gökkuşığı alabalığı (*Oncorhynchus mykiss*, Walbaum, 1792)'nda oksidatif stres ve bazı antioksidan parametreler üzerine etkisinin araştırılması. *Ecological Life Sciences*, 5,(3).
- Yonar, M.E., Yonar, S.M., 2010. Changes in selected immunological parameters and antioxidant status of rainbow trout exposed to malachite green (*Oncorhynchus mykiss*, Walbaum, 1792). *Pesticide Biochemistry and Physiology*, (97): 19–23
- Zablocka, A., Janusz, M., 2008. The two faces of reactive oxygen species. *Postepy Hig Med Dosw (Online)*, 26 (62): 118-24.
- Zanni, E.E., Zannis, V.I., Blum, C.B., Herbert, P.N and Breslov, J.L., 1987. Effect of egg cholesterol and dietary fats on plasma lipids, lipoproteins and apoproteins of normal women consuming natural diets, *J. of Lipid Res.*, (28):518-527.
- Zaspel BJ, Csallary AS., 1983. Determination of alpha-tocopherol in tissues and plasma by high-performance liquid chromatography. *Analytical Biochemistry*, 130(1): 146–150.
- Zyriax BC, and Windler E, 2000. Dietary fat in the prevention of cardiovascular disease. *areview. Eur. J. Lipid Sci. Techn.*, (102): 355–365.

ÖZGEÇMİŞ

1979 yılında Van'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Van'da tamamladı. 1996 yılında girdiği Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Eğitim Fakültesi Kimya Öğretmenliği Bölümü'nü 2000 yılında tamamladı. Aynı yıl Yüzüncü Yıl Üniversitesi Eğitim Fakültesi Orta öğretim Fen ve Matematik alanlarında yüksek lisansa başladı ve 2003 yılında tamamladı. 2000-2005 yılları arasında Van'da özel bir dershanede Kimya öğretmeni olarak çalıştı. 2008 yılında Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyokimya Anabilim Dalı'nda doktora öğrenimine başladı. Halen aynı üniversitede araştırma görevlisi olarak görev yapmaktadır. Evli ve bir çocuk annesidir.