

T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
VETERİNERLİK BİYOKİMYASI ANA BİLİM DALI



**YETİŞKİN GÖKKUŞAĞI ALABALIKLARININ (*Oncorhynchus mykiss*) TRANSFERİNDE FARKLI OKSİJEN
KONSANTRASYONLARININ OKSİDATİF STRES VE BAZI
BİYOKİMYASAL PARAMETRELER ÜZERİNE ETKİSİ**

Doktora Tezi

Utku DURAN

Danışman

Prof. Dr. Sena ÇENESİZ

Bu çalışma Ondokuz Mayıs Üniversitesi tarafından PYO.VET.1904.21.013 proje numarası ile desteklenmiştir.

SAMSUN
2023

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI

Hazırladığım Doktora tezinin bütün aşamalarında bilimsel etiğe ve akademik kurallara riayet ettiğimi, çalışmada doğrudan veya dolaylı olarak kullandığım her alıntıya kaynak gösterdiğimi ve yararlandığım eserlerin Kaynaklar'da gösterilenlerden oluştuğunu, her unsurun enstitü yazım kılavuzuna uygun yazıldığını ve TÜBİTAK Araştırma ve Yayın Etiği Kurulu Yönetmeliği'nin 3. bölüm 9. maddesinde belirtilen durumlara aykırı davranılmadığını taahhüt ve beyan ederim.

Etik Kurul Gerekli mi ?

Evet ☒

Hayır ☐

02 / 06 / 2023

Utku DURAN

TEZ ÇALIŞMASI ÖZGÜNLÜK RAPORU BEYANI

Tez Başlığı : YETİŞKİN GÖKKUŞAĞI ALABALIKLARININ (*Oncorhynchus mykiss*) TRANSFERİNDE FARKLI OKSİJEN KONSANTRASYONLARININ OKSİDATİF STRES VE BAZI BİYOKİMYASAL PARAMETRELER ÜZERİNE ETKİSİ

Yukarıda başlığı belirtilen tez çalışması için şahsım tarafından 02.06.2023 tarihinde intihal tespit programından alınmış olan özgünlük raporu sonucunda;

Benzerlik oranı : % 12

Tek kaynak oranı : % 5 çıkmıştır.

02 / 06 / 2023

Prof. Dr. Sena ÇENESİZ

ÖZET

YETİŞKİN GÖKKUŞAĞI ALABALIKLARININ (*Oncorhynchus mykiss*) TRANSFERİNDE FARKLI OKSİJEN KONSANTRASYONLARININ OKSİDATİF STRES VE BAZI BİYOKİMYASAL PARAMETRELER ÜZERİNE ETKİSİ

Utku DURAN
Ondokuz Mayıs Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Veterinerlik Biyokimyası Ana Bilim Dalı
Doktora, Temmuz/2023
Danışman: Prof. Dr. Sena ÇENESİZ

Artan dünya nüfusunun gıda ihtiyacını karşılamak amacıyla kültür balıkçılığı, düşük emisyon ve kaliteli protein elde edilmesi için tercih edilen en uygun ve çevreci yöntemlerden biridir. Su kaynaklarını en efektif şekilde kullanarak verimi artırmak amacıyla canlı balık transferleri yapılmaktadır. Ancak transfer işlemleri balıklarda ölümlere neden olan stres kaynaklarındandır. Transfer sırasında optimum yaşam koşullarının sağlanmasıyla stresin zararlı etkilerinin azaltılması mümkündür. Balıklarda uygun yaşam koşulları için en önemli parametrelerden biri sudaki çözünmüş oksijen seviyesidir. Çalışmamızda yetişkin gökkuşağı alabalıklarının (*Oncorhynchus mykiss*) transferinde farklı çözünmüş oksijen konsantrasyonlarının oksidatif stres ve bazı biyokimyasal parametreler üzerine etkisi araştırılarak transfer sırasında en uygun çözünmüş oksijen konsantrasyonunun belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla oluşturulan kontrol ve 4 farklı çözünmüş oksijen konsantrasyonuna sahip gruplarda, serumda GSH-Px, SOD ve LDH enzim aktivitesi, MDA, Cp, TOK, TAK, OSİ, kortizol, glukoz, üre, ürik asit, kreatinin, Ca, Mg ve kas dokusunda MDA, Cp, TOK, TAK ve OSİ değerleri araştırıldı.

Analizler sonucunda elde edilen bulgulara göre, oksidatif parametreler ve doku hasarının bazı belirteçleri karşılaştırılması sonucu transferin ve transfere hazırlık işlemlerinin balıklarda oksidatif hasara neden olduğu görüldü. Transfer edilen gruplar kendi arasında karşılaştırıldığında ise hipoksik ve hiperoksik koşullarda yapılan transferin ROS'u artırdığı ve antioksidan mekanizmayı baskılayarak oksidatif stres oluşturduğu tespit edildi. Normoksik koşullar içerisinde 8 ve 10 mg/L çözünmüş oksijen transfer grupları kendi aralarında karşılaştırıldığında 10 mg/L çözünmüş oksijen konsantrasyonunda yapılan transfer işlemlerinin oksidatif stresi ve oluşan doku hasarını en aza indirdiği görüldü.

Anahtar Sözcükler: Canlı balık transferi, Doku hasarı, Gökkuşağı alabalığı (*Oncorhynchus mykiss*), Oksidatif stres

ABSTRACT

THE EFFECT OF DIFFERENT OXYGEN CONCENTRATIONS ON OXIDATIVE STRESS AND SOME BIOCHEMICAL PARAMETERS IN THE TRANSFER OF ADULT RAINBOW TROUT (*Oncorhynchus mykiss*)

Utku DURAN

Ondokuz Mayıs University
Institute of Graduate Studies

Department of Veterinary Biochemistry Programme

Ph.D., July/2023

Supervisor: Prof. Dr. Sena ÇENESİZ

In order to meet the food needs of the growing world population, aquaculture is one of the most suitable and environmentally friendly methods for obtaining quality protein with low emissions. Live fish transfers are made in order to increase the yield by using water resources in the most effective way. However, transfer operations are one of the stress sources that cause mortality in fish. It is possible to reduce the harmful effects of stress by providing optimum living conditions during the transfer. One of the most important parameters for optimum living conditions in fish is the dissolved oxygen level in water. In this study, the effects of different dissolved oxygen concentrations on oxidative stress and some biochemical parameters during the transfer of adult rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) were investigated to determine the optimum dissolved oxygen concentration during transfer. For this purpose, GSH-Px, SOD, and LDH enzyme activities, MDA, Cp, TOS, TAS, OSI, cortisol, glucose, urea, uric acid, creatinine, Ca, Mg and MDA, Cp, TOS, TAS and OSI values in serum and muscle tissue were investigated in control and groups with four different dissolved oxygen concentrations.

According to the results of the analyses, oxidative parameters and some markers of tissue damage were compared, and it was observed that transfer and preparation for transfer caused oxidative damage in fish. When the transferred groups were compared among themselves, it was found that transfer in hypoxic and hyperoxic conditions increased ROS and suppressed the antioxidant mechanism, and caused oxidative stress. When 8 and 10 mg/L dissolved oxygen transfer groups were compared among themselves in normoxic conditions, it was observed that transfer procedures performed at 10 mg/L dissolved oxygen concentration minimized oxidative stress and tissue damage.

Keywords: Live fish transfer, Tissue damage, Rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*), Oxidative stress

ÖN SÖZ VE TEŞEKKÜR

Doktora eğitimim boyunca bilgi ve tecrübesiyle bana ışık tutan çok değerli hocam Veteriner Biyokimya Ana Bilim Dalı Öğretim Üyesi Prof. Dr. Sena ÇENESİZ başta olmak üzere, eğitimim süresince yardım ve desteklerini hiçbir zaman eksik etmeyen Veteriner Biyokimya Anabilim Dalı Öğretim Üyeleri Sayın Prof. Dr. Ali ERTEKİN, Prof. Dr. Gül Fatma YARIM, Prof. Dr. Cevat NİSBET, Prof. Dr. Gülay ÇİFTÇİ'ye ve kürsümüzün değerli asistanları ve doktora arkadaşlarım Büşra ŞAHİN, Emine ALTIN, Esra KOÇAK, Esra KORKMAZ, Furkan ÜMİT ve Özüm ÇAKA'ya çok teşekkür ederim. Ayrıca doktora eğitimimi almamı ve bu yolda yılmadan devam etmemi teşvik eden Fizyoloji Anabilim Dalı Öğretim Üyesi Prof. Dr. Metin ÇENESİZ, Histoloji Anabilim Dalı Öğretim Üyesi Prof. Dr. Şerife TÜTÜNCÜ, Dr. Recai ACİ hocalarımıza ve projemizin gerçekleştirilmesi için çiftliğini bizlere açan Sayın İlker YILDIRIM ve tüm personeline teşekkürü bir borç bilirim. Bu yolda desteklerini bir an bile esirgemeyen sevgili eşim Sevtap DURAN, çocuklarım Umut Ege, Kuzey Kaan ve Ali Deniz iyi ki hayatımdasınız.

Bu tez PYO.VET.1904.21.013 nolu proje ile Ondokuz Mayıs Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeler (BAP) birimi tarafından desteklenmiştir.

Utku DURAN

İÇİNDEKİLER

TEZ KABUL VE ONAYI	iii
BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI	iv
TEZ ÇALIŞMASI ÖZGÜNLÜK RAPORU BEYANI	iv
ÖZET	v
ABSTRACT	vi
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER.....	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
TABLolar DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL BİLGİLER.....	3
2.1. Gökkuşuğu Alabalıklarının Yaşam Koşulları ve Üreme Özellikleri	3
2.2. Gökkuşuğu Alabalığı Üretiminde Önemli Faktörler	4
2.3. Alabalıkların Taksonomisi, Anatomisi ve Fizyolojisi	5
2.4. Canlı Balık Trasferinin Önemi ve Dikkat Edilmesi Gerekenler	7
2.4.1. Balığın Sağlık Durumu	8
2.4.2. Oksijen	8
2.4.3. pH, Karbondioksit ve Amonyak	9
2.4.4. Su Sıcaklığı.....	10
2.4.5. Taşıma Kapasitesi	10
2.5. Gökkuşuğu Alabalıklarında Solunum Mekanizması.....	11
2.6. Oksijen Seviyelerinin Gökkuşuğu Alabalığının Oksijen Alımı Üzerine Etkileri	12
2.6.1. Hipoksi.....	12
2.6.2. Hiperoksi.....	13
2.7. Serbest Radikaller.....	14
2.8. Antioksidan Savunma Sistemi ve Oksidatif Stres	16
2.8.1. Antioksidanların Genel Etki Mekanizmaları.....	17
2.9. Antioksidanların Sınıflandırılması	18
3. MATERYAL METOT.....	19
3.1. Materyal	19
3.1.1. Araştırma Yeri ve Çalışma Materyali.....	19
3.1.2. Kullanılan Kimyasallar ve Kitler	19
3.1.3. Kullanılan Cihazlar.....	20
3.1.4. Araştırma Düzeneği.....	20
3.1.5. Numunelerin Alınması.....	22
3.2. Metot.....	23
3.2.1. Serumda ve Dokuda MDA Analizi	23
3.2.2. Serumda ve Dokuda Seruloplazmin Analizi	24
3.2.3. Serumda Glutasyon Peroksidaz (GSH-Px) Analizi	24
3.2.4. Serumda Süperoksit Dismutaz (SOD) Analizi	25
3.2.5. Serumda ve Dokuda Total Oksidan Kapasitesi (TOK), Total Antioksidan Kapasitesi (TAK) Analizleri ve Oksidatif Stres İndeksi (OSİ) Hesaplaması.....	25
3.2.6. Serumda Glukoz, Üre, Ürik Asit, Ca, Mg, Kreatinin Değerleri ve LDH Aktivitesi Analizleri.....	26
3.3. İstatiksel Analiz.....	26
4. BULGULAR.....	28
4.1. Tüm Gruplarda Serumda GSH-Px, SOD ve LDH Enzim Aktivitesi, MDA, Cp, TOK, TAK, OSİ, Kortizol, Glukoz, Üre, Ürik Asit, Kreatinin, Ca, Mg ve Kas Dokusunda MDA, Cp, TOK, TAK ve OSİ Değerleri.....	28
4.1.1. Gruplara Ait Serum MDA Düzeyleri	28
4.1.2. Gruplara Ait Serum Seruloplazmin Düzeyleri.....	29
4.1.3. Gruplara Ait Serum SOD Aktiviteleri	30

4.1.4. Gruplara Ait Serum GSH-Px Aktiviteleri.....	31
4.1.5. Gruplara Ait Serum TOK Düzeyleri	32
4.1.6. Gruplara Ait Serum TAK Düzeyleri	33
4.1.7. Gruplara Ait Serum OSİ Analiz Bulguları.....	34
4.1.8. Gruplara Ait Serum Kortizol Düzeyleri.....	35
4.1.9. Gruplara Ait Serum Glukoz Düzeyleri.....	36
4.1.10. Gruplara Ait Serum Üre Düzeyleri.....	37
4.1.11. Gruplara Ait Serum Ürik Asit Düzeyleri	38
4.1.12. Gruplara Ait Serum Kreatinin Düzeyleri	39
4.1.13. Gruplara Ait Serum Kalsiyum Düzeyleri.....	40
4.1.14. Gruplara Ait Serum Magnezyum Düzeyleri.....	41
4.1.15. Gruplara Ait Serum LDH Aktivite Düzeyleri.....	42
4.2. Tüm Gruplarda Kas Dokuda MDA, Seruloplazmin, TOK, TAK ve OSİ Düzeyleri..	43
4.2.1. Gruplara Ait Kas Doku MDA Düzeyleri	43
4.2.2. Gruplara Ait Kas Doku Seruloplazmin Düzeyleri	44
4.2.3. Gruplara Ait Kas Doku TOK Düzeyleri	45
4.2.4. Gruplara Ait Kas Doku TAK Düzeyleri	46
4.2.5. Gruplara Ait Kas Doku OSİ Analiz Bulguları.....	47
5. TARTIŞMA.....	48
6. SONUÇ.....	62
KAYNAKLAR.....	64
ÖZGEÇMİŞ.....	75

SİMGELER VE KISALTMALAR

Ca	: Kalsiyum
Cp	: Seruloplazmin
Crea	: Kreatinin
GSH-Px	: Glutatyon Peroksidaz
LDH	: Laktat Dehidrogenaz
MDA	: Malondialdehit
Mg	: Magnezyum
Na	: Sodyum
OSİ	: Oksidatif Stres İndeksi
ROS	: Reaktif Oksijen Türleri
SOD	: Süperoksit Dismutaz
TAK	: Total Antioksidan Kapasitesi
TOK	: Total Oksidan Kapasitesi

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Karadeniz alabalığı (Salmo trutta labrax) popülasyonunun mevsimsel olarak akarsu ve denize göç mekanizması.....	3
Şekil 2.2. Gökkuşaağı alabalığı (Oncorhynchus mykiss) genel görünümü.....	6
Şekil 2.3. Balıklarda kalbin şematik yapısı.....	7
Şekil 2.4. Araç üstü canlı balık nakliye sistemi.....	8
Şekil 2.5. Amonyumun yüksek pH’da toksik amonyağa dönüşmesi.....	9
Şekil 2.6. Balıklarda oksijenin solungaçlardan geçişi.....	11
Şekil 2.7. Fenton reaksiyonu (A) ve Haber-Weiss reaksiyonu (B).....	14
Şekil 2.8. Elektron taşıma zincirinde süperoksit (O ₂ ⁻) üretme mekanizma şeması	15
Şekil 2.9. Antioksidanların hücrede etki ettikleri yerler.....	17
Şekil 2.10. Antioksidanların sınıflandırılması.....	18
Şekil 3.1. Kürtün baraj gölü 15 günlük çözünmüş oksijen ölçüm sonucu.....	21
Şekil 3.2. Gruplara göre sudaki çözünmüş oksijen miktarı ortalamaları.....	21
Şekil 3.3. MDA Kalibrasyon eğrisi.....	23
Şekil 4.1. Gruplara ait serum MDA ortalama değerleri ve değerlerinin grup içi dağılımı....	28
Şekil 4.2. Gruplara ait serum seruloplazmin ortalama değerleri ve değerlerinin grup içi dağılımı	29
Şekil 4.3. Gruplara ait serum SOD aktivite değerleri ve değerlerinin grup içi dağılımı.....	30
Şekil 4.4. Gruplara ait serum GSH-Px ortalama değerleri ve değerlerinin grup içi dağılımı	31
Şekil 4.5. Gruplara ait serum TOK ortalama değerleri ve değerlerinin grup içi dağılımı.....	32
Şekil 4.6. Gruplara ait serum TAK ortalama değerleri ve değerlerinin grup içi dağılımı.....	33
Şekil 4.7. Gruplara ait serum OSİ ortalama değerleri ve değerlerinin grup içi dağılımı.....	34
Şekil 4.8. Gruplara ait serum kortizol ortalama değerleri ve değerlerinin grup içi dağılımı.	35
Şekil 4.9. Gruplara ait serum glukoz ortalama değerleri ve değerlerinin grup içi dağılımı...	36
Şekil 4.10. Gruplara ait serum üre ortalama değerleri ve değerlerinin grup içi dağılımı.....	37
Şekil 4.11. Gruplara ait serum ürik asit ortalama değerleri ve değerlerinin grup içi dağılımı	38
Şekil 4.12. Gruplara ait serum kreatinin ortalama değerleri ve değerlerinin grup içi dağılımı	39
Şekil 4.13. Gruplara ait serum kalsiyum ortalama değerleri ve değerlerinin grup içi dağılımı	40
Şekil 4.14. Gruplara ait serum magnezyum ortalama değerleri ve değerlerinin grup içi dağılımı	41
Şekil 4.15. Gruplara ait serum LDH aktivite ortalama değerleri ve değerlerinin grup içi dağılımı	42
Şekil 4.16. Gruplara ait kas MDA ortalama değerleri ve değerlerinin grup içi dağılımı	43
Şekil 4.17. Gruplara ait kas seruloplazmin ortalama değerleri ve değerlerinin grup içi dağılımı	44

Şekil 4.18. Gruplara ait kas TOK ortalama değerleri ve değerlerinin grup içi dağılımı	45
Şekil 4.19. Gruplara ait kas TAK ortalama değerleri ve değerlerinin grup içi dağılımı	46
Şekil 4.20. Gruplara ait kas OSİ ortalama değerleri ve değerlerinin grup içi dağılımı.....	47



TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 2.1. Gökkuşığı alabalığı (<i>Oncorhynchus mykiss</i>) yetiştiricilik kriterleri	4
Tablo 2.2. Uluslararası Deniz Canlıları Kayıtlandırma Kuruluşuna (WoRMS) göre Gökkuşığı alabalığı taksonomisi.....	6
Tablo 3.1. Araştırma düzeneğini oluşturan gruplar	22
Tablo 4.1. Grupların serum MDA değerlerine ait deskriptif bilgiler.....	28
Tablo 4.2. Grupların serum seruloplazmin değerlerine ait deskriptif bilgiler.....	29
Tablo 4.3. Grupların serum SOD aktivite değerlerine ait deskriptif bilgiler	30
Tablo 4.4. Grupların serum GSH-Px aktivite değerlerine ait deskriptif bilgiler	31
Tablo 4.5. Grupların serum TOK değerlerine ait deskriptif bilgiler.....	32
Tablo 4.6. Grupların serum TAK değerlerine ait deskriptif bilgiler.....	33
Tablo 4.7. Grupların serum OSİ değerlerine ait deskriptif bilgiler.....	34
Tablo 4.8. Grupların serum kortizol değerlerine ait deskriptif bilgiler.....	35
Tablo 4.9. Grupların serum glukoz değerlerine ait deskriptif bilgiler.....	36
Tablo 4.10. Grupların serum üre değerlerine ait deskriptif bilgiler	37
Tablo 4.11. Grupların serum ürik asit değerlerine ait deskriptif bilgiler.....	38
Tablo 4.12. Grupların serum kreatinin değerlerine ait deskriptif bilgiler.....	39
Tablo 4.13. Grupların serum kalsiyum değerlerine ait deskriptif bilgiler	40
Tablo 4.14. Grupların serum magnezyum değerlerine ait deskriptif bilgiler.....	41
Tablo 4.15. Grupların serum LDH aktivite değerlerine ait deskriptif bilgiler	42
Tablo 4.16. Grupların kas MDA değerlerine ait deskriptif bilgiler	43
Tablo 4.17. Grupların kas seruloplazmin değerlerine ait deskriptif bilgiler.....	44
Tablo 4.18. Grupların kas TOK değerlerine ait deskriptif bilgiler	45
Tablo 4.19. Grupların kas TAK değerlerine ait deskriptif bilgiler	46
Tablo 4.20. Grupların kas OSİ değerlerine ait deskriptif bilgiler.....	47

1. GİRİŞ

Yüksek adaptasyon yeteneği ve üstün verim özellikleri sayesinde salmonidae familyasına bağlı türler içerisinde Gökkuşluğu alabalığı, dünyada en fazla üretimi yapılan ikinci tür ve ülkemizde en fazla üretimi yapılan türdür. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) 2021 verilerine göre 165.000 tonun üzerinde Gökkuşluğu alabalığı üretimi yapılmaktadır. Bu üretim miktarı ile ülkemiz dünya alabalık üretiminin % 14'ünü karşılamaktadır. Gökkuşluğu alabalığı yetiştiriciliğinde gerek yavru gerek erişkin balıkların canlı olarak transferleri çeşitli sebepler ile yapılabilmektedir. Canlı balıklar için kapalı ve açık olmak üzere iki temel taşıma sistemi vardır. Kapalı sistem, balıkların hayatta kalması için tüm gereksinimlerinin kendi içinde bulunduğu kısmen su ve hava ile doldurulmuş kapalı bir kaptır. Açık sistem ise, hayatta kalma gereksinimlerinin sürekli olarak dış kaynaklardan sağlandığı su dolu tanklardan oluşur. Bunların en basiti havalandırıcı taşı olan küçük bir tanktır. Gökkuşluğu alabalığı yetiştiriciliğinde kullanılan metot açık sistemdir. Kapalı sistemler daha çok akvaryum balıklarının kısa mesafe taşınmaları için kullanılmaktadır (Berka, 1986). Balıkların transferinde en önemli faktör taşıma sularında yeterli düzeyde çözünmüş oksijen bulunmasıdır. Ancak sadece çözünmüş oksijen seviyesinin yeterli olması balığın durumunun iyi olduğunu göstermemektedir. Balıkların oksijen kullanma yeteneği, stres, su sıcaklığı, pH, karbondioksit (CO₂) ve amonyak gibi metabolik ürünlerin konsantrasyonlarına ve balıkların bunlara olan toleranslarına bağlıdır. Bu nedenle balıkların transferi sırasında oluşan metabolik atıkların balıklara zarar vermemesi için doğru planlama yapılması çok önemlidir (Harper and Lawrence, 2011).

Sudaki çözünmüş CO₂ konsantrasyonunun artması balıklar için zararlıdır ve transfer işlemlerinde başlıca sınırlayıcı faktörlerden biridir. Sudaki çözünmüş CO₂ transfer suyunun pH'sının düşmesine neden olur. Bu da kandaki oksijen taşıma kapasitesini azaltan faktörlerden biridir. Kan pH'sının düşmesine neden olabilecek bir diğer faktör ise laktik asittir (Jeffries et al., 2011). Transfer amacıyla yapılan işlemler sırasında balıklar büyük kas aktivitesi gösterirler. Özellikle kafes işletmelerinde, kafeslerin transfer alanına taşınması sırasında balıklar uzun mesafe yüzmek zorunda kalırlar. Uzun mesafeli bu yüzmeye sırasında kaslar aktif olarak kullanıldığından, kasların ihtiyaçlarını karşılamak için yeterli oksijen alımı olmaz. Bununla birlikte transfer için tanklara yüklenme sırasında çırpınma ile yoğun kas aktivitesi görülür. Yoğun kas aktivitesi ve yetersiz oksijen sebebiyle dokularda laktik asit artışı olur

(Racicot et al., 1975). Kan yolu ile glukoneogenesis için karaciğere laktik asit taşınması kan pH'sının düşmesine neden olur ve bu da oksijen alımının azalmasına sebep olan bir diğer faktördür (Fagundes and Urbinati, 2008).

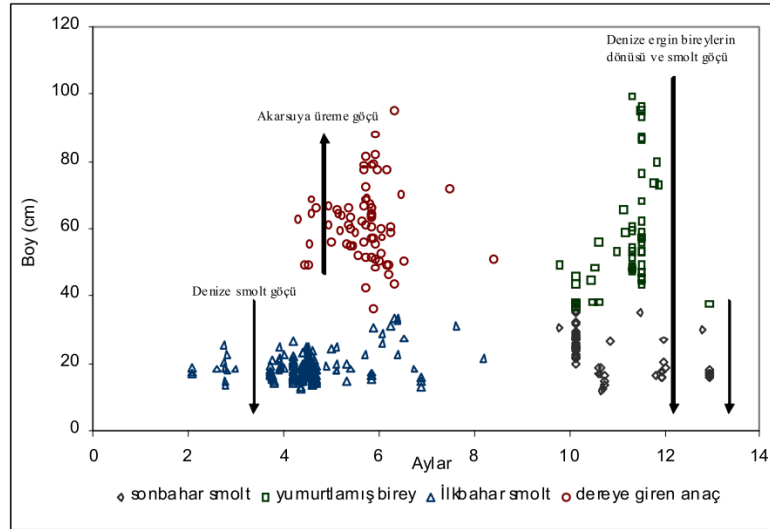
Normal koşullarda, hiperoksik bir suda olsa dahi, dinlenen bir balık minimum miktarda oksijen tüketir. Transfer sırasında balıklar dinlenme halinde olmadıkları için minimum miktardan daha fazla oksijene ihtiyaç duyar. Ayrıca yükleme veya transfer sırasında stres sebebiyle maksimuma yakın oksijen tüketimi yapabilirler. Balıklar ilk 15 dakika içinde, daha sonraki 15 dakikalık dönemlere kıyasla taşıma ünitesinde daha fazla oksijen tüketir (Dupree and Huner, 1984). Bu nedenle, yükleme ve ilk çekme saati sırasında normalde gereken akışın iki katı kadar ek oksijen sağlanmalıdır. Bu alışma döneminden sonra, balıklar yerleştğinde ve oksijen tüketimi stabil hale geldiğinde oksijen akışı normal seviyesine düşürülebilir (Piper et al., 1982). Bununla beraber, aerobik hücrelerde moleküler oksijenin (O_2) bir elektron alarak indirgenmesi sonucunda serbest radikal olan süperoksit (O_2^-) oluşur (Guderley, 2004).

Tez çalışmamız için yaptığımız saha araştırmasında, çiftliklerde transfer sırasında hiperoksik koşullar kullanıldığı görülmüştür. Bu amaçla çalışmamızda, transfer sırasında farklı çözünmüş oksijen konsantrasyonlarında transfer edilen balıkların serbest radikallerden veya diğer stres faktörlerinden dolayı oluşan oksidatif hasar ölçülmüştür. Çalışmamızda, transfer sırasında aynı stok yoğunluğu bulunan 4 tankta farklı oksijen satürasyonları oluşturularak, transfer sonrasında balıkların kan ve kas dokularındaki biyokimyasal değişimler belirlenmiştir. Bu değişikliklerin tespit edilmesi sayesinde alabalıkların transferi sırasında kullanılması gereken oksijen miktarı belirlendi. Ayrıca balıkların transferi sırasında tanklarda ve transfer sonrası çiftliklerde yaşanan ölümlerin önüne geçebilecek metodoloji geliştirilmesine öncülük edebilecektir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Gökkuşığı Alabalıklarının Yaşam Koşulları ve Üreme Özellikleri

Anavatanı Kuzey Amerika olan Gökkuşığı alabalığı, yüksek adaptasyon yeteneği, yemden yararlanma kabiliyeti, yapay yöntemlerle yumurta alımının kolaylığı, kuluçka süresinin kısıtlılığı ve hastalıklara karşı dayanıklılığı gibi özelliklerinden dolayı ülkemizde üretimi en fazla yapılan türdür (Çelikkale, 1994). Doğal ortamda ise Karadeniz alabalığı (*Salmo trutta labrax*), Abant alası (*Salmo trutta abanticus*), Aras alabalığı (*Salmo truttacaspus*) ve Çoruh nehrinde bulunan Dağ alabalığı (*Salmo trutta macrostigma*)'dır. Özellikle *Salmo trutta labrax*; Kuzeydoğu Karadeniz, Kırım ve Kafkasya bölgelerinde yayılım gösteren bazı bilim adamlarınca endemik, bazılarına göre de *Salmo salar* ya da *salmo trutta*'nın bir alt türü olarak kabul edilen, bölgeye özgü, çok önemli anadrom balıktır. Kafkaslar bölgesinde yaygın bir tür olan *Salmo trutta labrax* dere ve deniz ekotipine sahip bir balıktır. *Salmo trutta labrax* populasyonunun Doğu Karadeniz kıyılarımızdaki smoltifikasyon işlemi iki ayrı periyotta gerçekleşmektedir. Bunlardan ilki ve yoğun olanı ilkbahar dönemidir ve yaklaşık 3,5 ay sürmektedir. Diğeri ise Ekim ayının başlarından Ocak ayının ilk yarısına kadar yaklaşık 3,5 ay devam etmektedir (Şekil 2.1)(Zengin and Aksungur, 2009).



Şekil 2.1. Karadeniz alabalığı (*Salmo trutta labrax*) populasyonunun mevsimsel olarak akarsu ve denize göç mekanizması (Zengin ve Aksungur, 2009).

Alabalık yetiştiriciliğinde optimal su sıcaklığı 15-17 °C, pH 6,5-8,0, (Stevenson, 1980) çözünmüş oksijen seviyesi 7 mg/L'den daha düşük olmalıdır (Munro et al., 1987). Gökkuşığı alabalığının yetiştiricilik kriterleri Tablo 2.1'deki gibidir;

Tablo 2.1. Gökkuşığı alabalığı (*Oncorhynchus mykiss*) yetiştiricilik kriterleri (Duran, 2019)

Gökkuşığı Alabalığı (<i>Oncorhynchus mykiss</i>)		
Su Sıcaklığı	Yaşamı	1 – 24 °C
	Üreme	4 – 13 °C
	Optimum Büyüme	15 – 17 °C
	Larva ve Yavru Büyütme	8 – 13 °C
Oksijen		> 7 mg/L
Karbon dioksit		< 10 mg/L
pH		6,5 – 8 (Op. 7)
Amonyak (NH ₃)	Yetişkin Balık için	0,1 – 0,02 mg/L
	Yavrular için	0,005 mg/L
Nitrit (NO ₂)	Yumuşak Sularda	0,01 mg/L
	Sert Sularda	0,2 mg/L
Nitrat (NO ₃)		< 100 mg/L
Klor (Cl ₂)		0,01 – 0,03 mg/L
Sertlik (CaCO ₃)		100 – 150 mg/L
Tuzluluk Toleransı		< ‰ 20
Beslenme	Doğal	Zooplankton, balık larvaları, yavru balıklar, böcekler, sinekler, kabuklu hayvanlar ve yumuşakçalar
	Kültür	Yüksek oranlı hayvansal protein içeren yüksek yağlı pelet yemler

Bir gökkuşığı alabalığının tüm yetiştirilme dönemlerinde ve özellikle yoğun besleme yapılan dönemlerde, sudaki çözünmüş oksijen konsantrasyonlarının, yem alımını sınırlandırdığı ve ölümlere neden olabildiği için, sürekli takibi gerekmektedir. Su sıcaklığına göre çözünmüş oksijen konsantrasyonları alt sınırları değişkenlik gösterebilmektedir. Buna göre çözünmüş oksijen konsantrasyonları 5 °C su sıcaklığında 5.0 mg/L'den az, 10 °C'de 6.0 mg/L'den az, 15 °C'de 7.0 mg/L'den az ve 20 °C'de 8.0 mg/L'den az olmamalıdır (Soderberg, 2017).

2.2. Gökkuşığı Alabalığı Üretiminde Önemli Faktörler

Akuatik canlıların yaşadıkları ortam, doğal faktörler ve insan faaliyetleri nedeniyle önemli ölçüde değişebilen biyosferin bir parçasıdır. Modern toplumlar ve sürdürülebilir bir çevre için en etkili bilimsel, sosyal ve ekonomik sorun, çevrenin korunması olmalıdır (Dmitry, 2013; Savosin, 2010).

Yem kalitesi kafeslerde balıkların sağlığı için önemlidir. Alabalık üretim tesislerinde kullanılan yem, alabalığın fizyolojik gereksinimlerini karşılamalı ve temel vitamin ve mineralleri içermelidir. Beslemede kullanılacak olan yem, sadece balıkların hızlı büyümesini sağlamak için değil, aynı zamanda su kalitesini olumsuz etkilememesi için doğru seçilmelidir. Yaygın olarak kafeslerde veya havuzlarda

uygulanan yoğun su ürünleri yetiştiriciliği, yüksek kaliteli yapay yemlerin ve ilaçların tedarik edilmesini içerir. Bunun sonucunda, esas olarak organik ve inorganik besinlerin salınımı ve kullanılan kimyasalların salınımı nedeniyle çevre üzerinde olumsuz sonuçlar oluşturabilir (Arvanitoyannis and Kassaveti, 2008). Çiftliklerde yanlış yem seçimi, gereksiz ilaç kullanımı, gereğinden fazla veya az yemleme sonucunda oluşacak olan çevre kirliliği sonucunda yetiştirilen balıklar ve doğal balıklar üzerinde patolojik bozukluklar oluşabilir (H. Xu et al., 2022).

Su kalitesi, kültür balıklarının büyümesini ve refahını etkileyen kimyasal, fiziksel ve biyolojik parametrelerin bir kombinasyonudur. Ticari bir su ürünleri yetiştiriciliği faaliyetinin başarısı; kaynakların en düşük maliyet ile kullanımı ve optimal ortam koşullarına bağlıdır. Su kalitesi, akuakültür yetiştiriciliğinde sağlık ve büyüme koşullarını belirler. Bu nedenle su kalitesi, su ürünleri üretimi planlanırken dikkate alınması gereken önemli bir faktördür (Masser, 2012). Sudaki çözünmüş oksijen miktarı, tuzluluk ve sıcaklığa göre öngörülebilir bir şekilde değişir. Tamamen oksijenlendirilmiş ılık tuzlu su, tamamen oksijenlendirilmiş soğuk tatlı suya göre oksijenini daha çabuk kaybetme eğilimindedir. Çözünmüş oksijen miktarı mg/L olarak gösterilirken oksijen saturasyonu yüzde olarak gösterilmektedir. Suyun oksijen saturasyonu, sudaki oksijenin mutlak mevcudiyetini ayarlarken, oksijenin metabolik hızını korumak için sudan balık kanına ne kadar hızlı hareket edebileceğini belirleyen kısmi oksijen basıncının gradyanıdır. Bunun nedeni, oksijenin alabalık solungaçlarında hareket etmesidir. Fick'in difüzyon yasasına göre, oksijenin solungaçlardaki difüzyon hızı, solungaçların alanı, solungaç epitelyumu boyunca difüzyon mesafesi, difüzyon katsayısı ve hem sudaki hem de kandaki çözünmüş oksijenlerin kısmi basıncının farkı ile tanımlanır (Mallya et al., 2007).

Su ürünleri yetiştiriciliğinde balıklar için hayati öneme sahip parametreler; sıcaklık, suda çözünmüş organik maddeler, çözünmüş oksijen, nitrit, amonyak, pH ve karbondioksittir. Bununla birlikte çözünmüş oksijen su ürünleri yetiştiriciliğinde sürekli izleme gerektiren en önemli parametredir (Stickney and Treece, 2012).

2.3. Alabalıkların Taksonomisi, Anatomisi ve Fizyolojisi

Salmonidae familyasının bir üyesi olan Gökkuşluğu alabalığı, ilk defa 1836 yılında Richardson tarafından Colombia ırmağında saptanmış ve *Salmo gairdneri* olarak adlandırılmıştır (Çelikkale, 1994). Ancak 1988 yılında “Amerikan Balıkçılık Derneği Balık İsimlendirme Komitesi”, bütün Pasifik alabalık ve salmonları için *Oncorhynchus* cins ismi kullanarak, Atlantik alabalık ve salmonlarından ayırt

edilmelerini kararlaştırmıştır. Tr ismi olarak *Oncorhynchus mykiss* ismi bu isimlendirmeden sonra kullanılmaya başlanmış ve *Salmo gairdneri* ismi kullanımdan kaldırılmıştır. Gökkuşağı alabalığı (*Oncorhynchus mykiss*), Salmonidae familyasının *Oncorhynchus* cinsine bağlı “*Oncorhynchus mykiss* Walbaum, 1792” tür adına sahiptir (WoRMS, 2022).

Gökkuşağı alabalığının taksonomisi;

Tablo 2.2. Uluslararası Deniz Canlıları Kayıtlandırma Kuruluşuna (WoRMS) göre Gökkuşağı alabalığı taksonomisi (WoRMS, 2022)

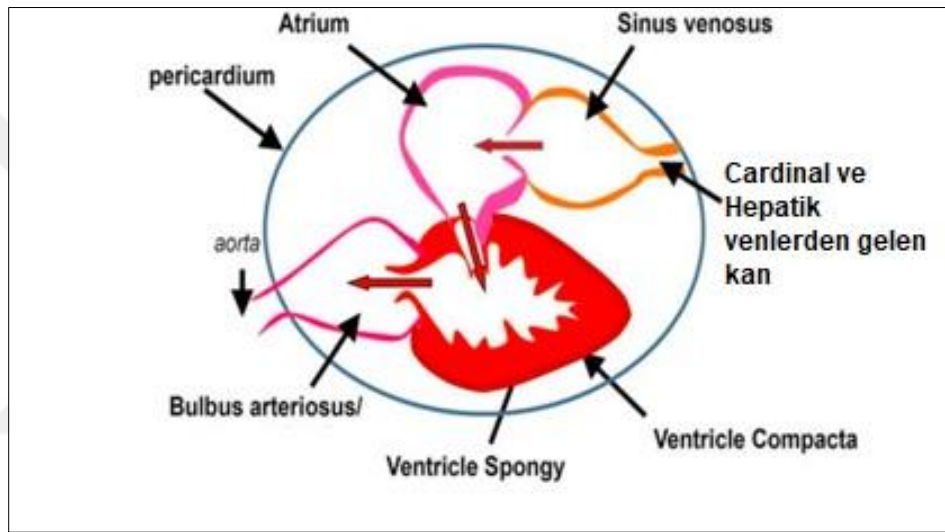
Regnum	<i>Animalia</i>
Phylum	<i>Chordata</i>
Subphylum	<i>Vertebrata</i>
Superclass	<i>Gnathostomata</i>
Classis	<i>Actinoptercgii</i>
Ordo	<i>Salmoniformes</i>
Familya	<i>Salmonidae</i>
Cins	<i>Oncorhynchus</i>
Tr	<i>Oncorhynchus mykiss</i>

Salmonidae familyasına ait balıklar genellikle ince uzun, iç şeklinde olup sırt yüzgeci ile kuyruk yüzgeci arasında bir yağ yüzgeci taşırlar. Salmonidae’ler karnivor olup, ağızlarında değişik sayıda diş yapısı mevcuttur. Yine türlere göre değişen, şeşitli renkleri vardır. Sırt yüzgeci 10-12, anal yüzgeci ise 8-12 yumuşak ışına sahiptir. Pulları sikloid ve küçüktür. Dorsalinde genelde üzerinde çok sayıda benek bulunan koyu gri bir renk olmasına rağmen bireyler arasında değişiklik göstermektedir. Ventrali ise gümüşü beyaz veya sarıdır. Bu balıklara Gökkuşağı alabalığı denmesinin sebebi ise yan tarafında gökkuşağı şeklinde bir bant bulunmasındandır (şekil 2.2.) (çelikkale, 1994; Stevenson, 1980).



şekil 2.2. Gökkuşağı alabalığı (*Oncorhynchus mykiss*) genel görünümü (Chytry, 2014)

Balık kalbi, seri olarak çalışan dört ana bölmeden oluşan kaslı bir organdır; *sinüs venosus*, *atriyum*, *ventrikül* ve *bulbus arteriosus* (Şekil 2.3.). Atriyum, vücudun ana damarlarından oksijenli kan alır ve bu kanı tekil bir valften ventriküle pompalar. Ventrikül, diyastol sırasında kan ile doldurulur ve kasılma sırasında kan pompalar. Bu şekilde yüksek basınçlarda çalışır. Daha yüksek bir çalışma basıncının bir sonucu olarak, ventrikül atriyumdan önemli ölçüde daha kaslıdır (Katz, 2008). Kas duvarlarını oluşturan kardiyomiyositler, çizgili tekrarlayan sarkomlardan oluşur (Li and Hwang, 2015). Kardiyomiyositler, bu hücre tipinin kardiyak fonksiyonda belirgin rolünü vurgulayan kalp kütlesinin yaklaşık dörtte üçüne tekabül eder (Katz, 2008; Xin et al., 2013).



Şekil 2.3. Balıklarda kalbin şematik yapısı (Keen et al., 2015).

2.4. Canlı Balık Trasferinin Önemi ve Dikkat Edilmesi Gerekenler

Gökkuşáğı alabalık üretiminde, özellikle kilo üstü balık hasat edilmek istenildiğinde, optimum büyüme şartlarının sağlanması amacıyla balıklar yumurtadan çıkıp hasat edilene kadar birden fazla kez canlı olarak taşınmaktadır. Gerek kuluçkahaneden, üretimin yapılacağı kara tesisi veya baraj tesislerine, gerekse Türk Somonu üretimi amacıyla barajlardan denizlere, balıklar ve yetiştiriciler için canlı balık transferi stresli ve yoğun tempo gerektiren bir iştir (Berka, 1986).

Balıklarda transfer amaçlı olarak kapalı ve açık sistemler kullanılabilmektedir. Bu sistemlerden kapalı olanı genellikle akvaryum balıkları için kullanılırken, açık sistemler kültür balıkçılığında yaygın olarak kullanılmaktadır. Kapalı sistem, balıkların hayatta kalma gereksinimlerinin bağımsız olduğu kapalı bir kaptır. Bunların en basiti, kapalı bir plastik torba şeklinde olmaktadır. Açık sistem ise hayatta kalma

gereksinimlerinin dış kaynaklardan sürekli olarak sağlandığı su dolu kaplardan oluşur (Shabani et al., 2016). Bunların en basiti, havalandırıcı taşlı fiberglas veya benzer bir malzemeden yapılmış tanktır. Kültür balıkçılığında bu tankların birden fazlası genellikle bir kamyon üzerine yerleştirilir ve dışarıdan suya oksijen verilerek taşıma gerçekleştirilir (Şekil 2.4.).



Şekil 2.4. Araç üstü canlı balık nakliye sistemi

Kültür balıkçılığında transfer sırasında önemli olan faktörler; balığın sağlık durumu, taşıma suyunun sıcaklığına göre ayarlanmış stok yoğunluğu ve çözünmüş oksijen miktarının takibi ve ayarlanmasıdır (Jones et al., 2019).

2.4.1. Balığın Sağlık Durumu

Taşınan balığın sağlık durumu ve kondüsyonu taşıma için önemli bir kriterdir. Taşınacak balıklar sağlıklı ve iyi durumda olmalıdır (Tacchi et al., 2010). Zayıflamış bireyler, özellikle sevkiyat sırasında su sıcaklıklarının nispeten yüksek olduğu durumlarda taşınmamalıdır. Kondüsyonu düşük veya sağlık problemi olan balıkların taşınması için stok yoğunluklarının düşürülmesi kayıpların önüne geçemez (Iversen et al., 2005).

Taşınacak balıkların mevcutta bulundukları yer ile taşınacakları yer arasındaki su sıcaklığı farkı türe ve yaşa göre değişmekle birlikte 12 – 15 °C'den fazla olmamalıdır (Berka, 1986).

2.4.2. Oksijen

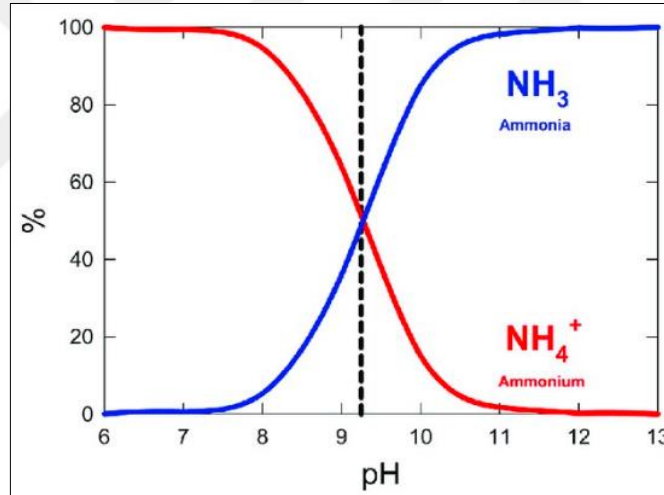
Balıkların transferinde en önemli birincil faktör, yeterli düzeyde çözünmüş oksijenin sağlanmasıdır. Bununla birlikte tankta yeteri miktarda oksijen olması balığın iyi durumda olduğunu göstermez. Balıkların oksijen kullanma yeteneği, stres, su sıcaklığı, pH ve karbondioksit konsantrasyonlarına ve amonyak gibi metabolik ürünlere bağlıdır (Berka, 1986). Transferi yapılacak balıkların gramajları ve taşınan suyun sıcaklığı arttıkça oksijen ihtiyacı artar. Örneğin, su sıcaklığı 10 °C'den 20 °C'ye

çıkarsa balığın tükettiği oksijen yaklaşık iki katına çıkar. Balık transferinde her 0,5 °C'lık sıcaklık artışı için tankın stok yoğunluğu % 5,6 azaltılmalıdır (Piper et al., 1982). Balıkların transfer sırasında çok fazla hareket etmesi, transfer tanklarına yükleme sırasındaki işlemler ve elleçlemeler balıkta heyecana sebep olur bu da oksijen ihtiyacını arttırır (Lusk and Krcal, 1974).

Dinlenme sırasında balıkların tükettiği oksijen miktarı, ortamdaki mevcut oksijen miktarına bağlıdır. Çözünmüş oksijen ne kadar yüksek olursa olsun, balığın tüketebileceği oksijenin bir sınırı vardır. Su oksijen seviyesinin düşük olduğu durumlarda ise balıklar daha düşük miktarda oksijen tüketecektir (Berka, 1986).

2.4.3. pH, Karbondioksit ve Amonyak

Suyun kalitesi, taşınan balıkların stok yoğunluğu ve taşıma süresi ile değişim gösterir. Taşımacılık sırasında kullanılan suyun kaynağı, transfer öncesinde muhakkak test edilmiş olmalıdır. Su pH seviyesindeki düşüşler toksik amonyak seviyesinin artmasına neden olacaktır (Şekil 2.5.).



Şekil 2.5. Amonyumun yüksek pH'da toksik amonyağa dönüşmesi, amonyağın pKa'sı kesikli çizgi ile belirtilmiştir (Langenfeld et al., 2021).

Artan taşıma süreleri ile, balık solunumunun sonucu açığa çıkan CO₂, taşıma suyunun pH'sını asitliğe doğru kaydırır. Gökkuşağı alabalıkları için optimum su pH seviyeleri yaklaşık 7-8 olarak kabul edilir. Sudaki pH'nın ani değişimleri balıklarda strese neden olabilir. Bu sebeple taşıma sularının pH'sını stabilize etmek amacıyla tampon çözeltiler kullanılabilir. Tris hidroksimetil aminometan tatlı ve tuzlu sularda oldukça etkili tampon olarak kullanılabilir. Yüksek çözünürlüğü sayesinde uygulanması kolay olan tampon, 1.3–2.6 g/L dozunda güvenli olarak kullanılabilmektedir (Piper et al., 1982).

Taşıma sırasında sudaki karbondioksit miktarının artması balıklar için zararlı olabilir. Balık ve bakteriyel solunum ürünü olan CO₂, taşıma suyunun asitleşmesine neden olur. Bu durum, sudaki iyonize olmayan amonyak yüzdesini azaltmasına rağmen, balık kanının oksijen taşıma kapasitesinde de azalmalara neden olacağından balıklar için risk oluşturmaktadır (Amend et al., 1982). Balıklar için optimum karbondioksit seviyesi 10 mg/L'den düşük olması gerekmekte olmasına rağmen balıklar 30 mg/L'ye kadar tolere edebilirler (Dmitry, 2013). Taşıma sırasında tankta iyi bir havalandırma sistemi bulunmuyorsa, CO₂ seviyesi 30 mg/L'nin üzerine çıkabilir (Berka, 1986).

Balıkların protein metabolizması sonucu oluşan atık amonyak, taşıma suyunda birikir. Taşıma öncesinde balıkların aç bırakılması ve taşıma suyunun sıcaklığının düşürülmesi, balıkların metabolik hızlarının azalmasına neden olacağından sudaki amonyak birikimini azaltır (Amend et al., 1982).

2.4.4. Su Sıcaklığı

Balıklar poikliotherm olduklarından içinde bulundukları su sıcaklığı metabolik reaksiyon hızları için çok önemlidir. Su sıcaklığının düşük olması metabolik hızı azaltacağından CO₂ salınımının da azalmasına neden olur ve dolayısı ile taşıma suyunun pH'sı yüksek kalır. Wedemeyer 1997 yılında yapmış olduğu çalışmada, taşıma suyunun 10 °C azaltılmasıyla, oksijen tüketiminin ve amonyak üretiminin % 50 azalacağını buldu ve transfer sırasında taşıma suyunun 5–7 °C azaltılmasının gerektiğini öne sürmüştür (Wedemeyer, 1997). Ancak su sıcaklığının ani düşmesi strese neden olabileceğinden bu işlemin dikkatli bir şekilde yapılması gerekecektir. Canlı balık transferi yapan nakliyeciler ve yetiştiriciler, her bir türün sınırlarını bilmeli ve taşıma suyunun sıcaklığını buna göre ayarlamalıdır (Harmon, 2009). Balıkların transferi için optimum su sıcaklıkları; alabalık gibi soğuk su balıkları için kış aylarında 6–8 °C, yaz aylarında ise 10–12 °C'dir (Piper et al., 1982).

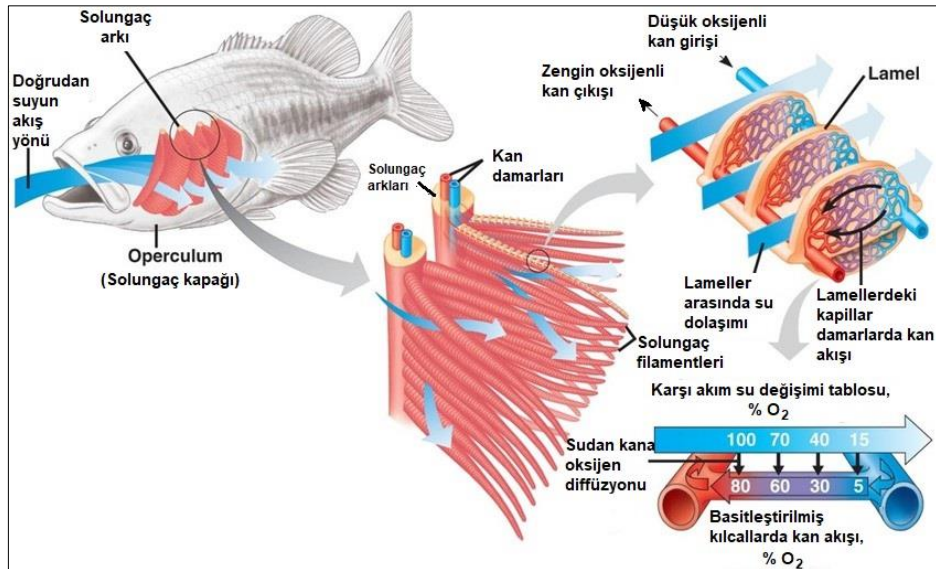
2.4.5. Taşıma Kapasitesi

Transferin başarısı tek seferde taşınabilecek balığın sayısı ile doğru orantılıdır. Bu durum taşıma suyunun kalitesine, balığın boyutuna ve türüne bağlı olarak değişmektedir. Alabalıklar için uygun olan en fazla stok yoğunluğu ağırlık ve boyları ile ilişkilidir. Gökkuşaağı alabalığı için 20,3 – 27,9 cm boyunda izin verilen en fazla stok yoğunluğu 300 – 400 g/L'dir (Piper et al., 1982). Carmichael ve Tomasso (1988) yaptıkları bir çalışmayla, 5 cm boyunda toplamda 40 kilogram balık taşınabiliyorsa, aynı tank için 10 cm boyunda 20 kg alabalık taşınabileceğini öne sürmüşlerdir

(Carmichael and Tomasso, 1988). ABD’de yapılan bir araştırmada yetiştiricilerin kahverengi gökkuşağı alabalığını 0,05 – 0,29 kg/L ve gökkuşağı alabalığını ise 0,02 – 0,30 kg/L transfer ettikleri görülmüştür (Harmon, 2009). Genel bir kural olarak transfer süresi arttıkça taşıma stok yoğunluğunun düşürülmesi gerekmektedir.

2.5. Gökkuşağı Alabalıklarında Solunum Mekanizması

Gökkuşağı alabalıkları solunum aktivitesi sırasında diğer hayvanlar gibi oksijen alır ve ortama karbondioksit verir. Tüm işlem neredeyse tüm balıklarda solungaçlar tarafından yapılır, ancak bazı balıklarda ve amfibik canlılarda deri solunumu da solungaç solunumunun yanı sıra görülebilmektedir. Solungaç solunumunun iki yolu vardır; aktif ventilasyon ve pasif ventilasyon. Balıkların aktif ventilasyonunda, su ağızdan (buccal oda) çekilir ve solungaçların bulunduğu opercula’dan dışarıya atılır. Bu süreçte bukkal odadaki basınç operculadaki basınçtan daha yüksek tutulur ve böylelikle solungaçlara sürekli olarak su akışı sağlanır (Keen et al., 2015). Solungaç köprülerine çarpan su kanallara dağılarak solungaç filamentlerinin arasından dağılır. Bu ventilasyon yöntemi, hızlı hareket eden balıklar için sürekli ve alabalığın solungaç yüzeyine oksijenden zengin suyun yeterli iletimini ve balığın yüksek hızda yüzmesini sağlar. Oksijen seviyesi düşük olan kan lameller üzerinden su geçişi sırasında difüzyon ile oksijenden zenginleştirilir ve bu sırada kanda bulunan karbondioksit dışarıya atılır (Şekil 2.6.) (Boyd and Tucker, 1998).



Şekil 2.6. Balıklarda oksijenin solungaçlardan geçişi (Taylor et al., 2017).

Karbondioksitin solungaçlar yolu ile suya atılması, sudaki PCO_2 ’de (kandaki karbondioksitin parsiyal basıncı) küçük değişikliklere yol açar. Bunun nedeni sadece suda oksijenden daha az çözünür olması değil aynı zamanda bikarbonat ve serbest H^+

iyonları ile bağlanarak karbonik asit oluşturmak için su ile reaksiyona girmesidir. Sonuç olarak PO_2 100 mm/Hg kadar değişebilirken, PCO_2 solungaçlardan su geçtikçe sadece 1 – 2 mm/Hg değişir. Kan PCO_2 seviyeleri ortamın PCO_2 seviyesinden birkaç mm/Hg üzerindedir ve böylelikle karbondioksit atılımı enerji gerektirmez (Randall and Daxboeck, 1984). Solungaç ventilasyonu kan PCO_2 seviyelerini etkiler. Alabalıklarda hipoksik koşullarda solungaçlardan geçen suyun artmasıyla kan PCO_2 seviyeleri düşer ve solunum alkalozu oluşur. Hiperoksik koşullarda ise kan PCO_2 seviyeleri artarak solunum asidozu oluşur (Dejours, 1975; Randall and Cameron, 1973).

Solungaç solunumunun kutanöz solunuma göre en önemli fonksiyonel avantajlarından biri, hipoksik koşullar altında O_2 'yi ekstrakte etme yeteneğinin daha üstün olmasıdır. Özellikle kritik O_2 seviyelerinin ilk aşamalarında lameller genişlemektedir. Kritik oksijen seviyesi (POc) balıkların azalan PO_2 ile karşı karşıya kaldıklarında normal bir metabolik hızı koruyabilecekleri minimum O_2 seviyesidir (Rombough, 2011). Solungaçların hipoksiste daha etkili olmasının iki nedeni vardır. Suyun solungaç odasından geçerken filamentlerin ve lamellerin arasında dağılmasıyla difüzyonun gerçekleşeceği yüzey alanının fazla olması ve oksijen ihtiyacına göre buradan geçen suyun hızının ayarlanması hipoksik koşullarda deri solunumuna göre avantaj sağlamaktadır (Fristische and Nilsson, 1993).

2.6. Oksijen Seviyelerinin Gökkuşağı Alabalığının Oksijen Alımı Üzerindeki Etkileri

Oksijen seviyesi azaldıkça, balıklar yüzme için yeterli enerjiye sahip değildir ve beslenme için daha fazla oksijen gereksinimi vardır. Sudaki çözünmüş oksijen seviyesinin düşmesinin ilk belirtisi, yem tüketiminde azalma ve balığın hareketlerinde azalmadır. Bu aşamada bazı hastalıkların semptomları ile karıştırılarak ilaç tedavisi uygulanması denenebilir ve yeteri kadar metabolik enerjisi bulunmayan balıklarda bu durum toplu ölümlere yol açabilmektedir (Mallya et al., 2007). Kültür balıkçılığında bu tür semptomlar görüldüğü zaman sudaki çözünmüş oksijen seviyeleri mutlaka kontrol edilmelidir. Kapalı devre çiftliklerde ise sudaki çözünmüş oksijen seviyesinin artırılması bu semptomların ortadan kalkmasını sağlar (Chen et al., 2022).

2.6.1. Balıklarda Hipoksi

Akuatik çevre, organik kirliliğe ve küresel ısınmaya neden olan modern insan faaliyetleri sebebiyle, rutin olarak doğal ötrofikasyon ve termal tabakalaşma yoluyla hipoksiye maruz kalmaktadır (Diaz and Breitburg, 2009). Özellikle salmonidler gibi

hipoksiye duyarlı organizmalar için, hipoksi sebebiyle kitlesel ölümler yaygın olarak görülmektedir (Omlin and Weber, 2010). Gökkuşağı alabalıkları hipoksiye karşı dokulara normal oksijen tedarigi için, daha az oksijen ile yeterli miktarda ATP sağlamayı amaçlayan metabolik değişiklikler (hiperventilasyon, bradikardi, kan O₂ taşıma kapasitesinin artması ve kan akışının düzenlenmesi gibi) gerçekleştirir (Diaz and Breitburg, 2009).

Hipoksik koşullarda, anaerobik metabolizma son ürünleri olan laktik asit, kas dokularında birikir. Omlin ve Weber'in 2010 yılında yapmış olduğu *in vivo* çalışmada beyaz kas dokusunda laktat birikiminin kalp, kırmızı kas, beyin ve karaciğer dokularındaki birikiminden çok daha fazla olduğunu, beyaz kasın muhtemelen hipoksi koşullarındaki alabalıklarda temel laktat kaynağı olduğunu göstermiştir (Omlin and Weber, 2010).

Valotaire ve ark. (2020) yapmış olduğu bir çalışmada 25 gün süre ile hipoksik koşullarda yetiştirdikten sonra normoksik koşullara alınan 3 aylık yavru alabalıkların, plazma kortizol seviyelerinde artış gözlenirken, balığın davranışsal fenotiplerinde ve hipotalamus-hipofiz-böbrek üstü (HPI) eksen reaktivitesinde anlamlı bir değişiklik olmadığını bildirmişlerdir (Valotaire et al., 2020).

2.6.2. Balıklarda Hiperoksi

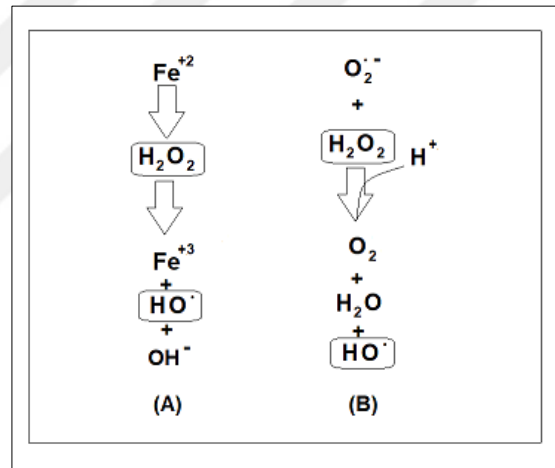
Yüksek oksijen konsantrasyonları ve özellikle hiperoksik koşullar, sadece memelilerde değil balıklarda da reaktif oksijen türlerinin (ROS) oluşmasına neden olur. Ancak balıklarda türler arasında değişmek kaydıyla hiperoksik ve hipoksik koşullara adaptasyon amacıyla biyolojik yanıtlar gelişmiştir (Kagan et al., 2004).

Akvaryum balıklarında yapılan bir çalışmada hiperoksiye maruz bırakılan balıkların, protein karboksilasyonunda artış, beyin, karaciğer, böbrek ve kas dokularında oksidatif hasar olduğu bildirilmiştir (Lushchak, 2011; Lushchak and Bagnyukova, 2006). Yapılan başka bir çalışmada ise juvenil gökkuşağı alabalıkları 1, 4, 12 ve 24 saat boyunca hiperoksik koşullara ($> 40 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1}$) maruz bırakılmış. 24 saat maruz bırakılan grupta solungaçlarda ve 4 saat maruz bırakılan grupta, karaciğerde yüksek bir katalaz aktivitesi görülmüş, ancak 1 ve 12 saat maruz bırakılan gruplarda anlamlı bir değişikliğe rastlanmamıştır. Bununla birlikte, SOD, toplam GSH-Px ve GR aktivitesi etkilenmemiştir (Ritola et al., 2002). Yine Ritola ve arkadaşlarının yapmış olduğu başka bir çalışmada, hiperoksiye sadece 5 saniye maruz bırakılan gökkuşağı alabalıklarında, SOD ve katalaz aktivitesinde bir artış görülmüştür (Ritola, et al., 2002).

Yapılan başka bir çalışmada, iki hafta boyunca hiperoksik koşullara maruz bırakılan atlantik somonlarında (*Salmo salar*), karaciğer dokusunda SOD ve katalaz aktivitelerinde artış görülmüştür (Lygren et al., 2000).

2.7. Serbest Radikaller

Serbest radikaller, dış yörüngede eşleştirilmemiş bir elektrona sahip moleküller olarak tanımlanır (Gilbert, 2000). Ancak Fe^{+3} , Cu^{+2} , Mn^{+2} ve Mo^{+5} gibi geçiş metalleri de ortaklaşmamış elektronlara sahip oldukları halde serbest radikal olarak kabul edilmezler. Bu atomlar başka moleküller ile reaksiyona girerek serbest radikal oluşmasına neden olurlar. Fenton ve Haber-Weiss reaksiyonları sonucunda, en reaktif ve zarar verici serbest oksijen radikali olan hidroksil ($\text{HO}\cdot$) oluşur (Şekil 2.7.). Genellikle kararsız ve çok reaktifdirler. Oksijenli serbest radikallere örnek olarak, süperoksit, hidroksil, peroksil ($\text{RO}_2\cdot$), alkoksil ($\text{RO}\cdot$) ve hidroperoksil ($\text{HO}_2\cdot$) verilebilir (Hidalgo et al., 2019).

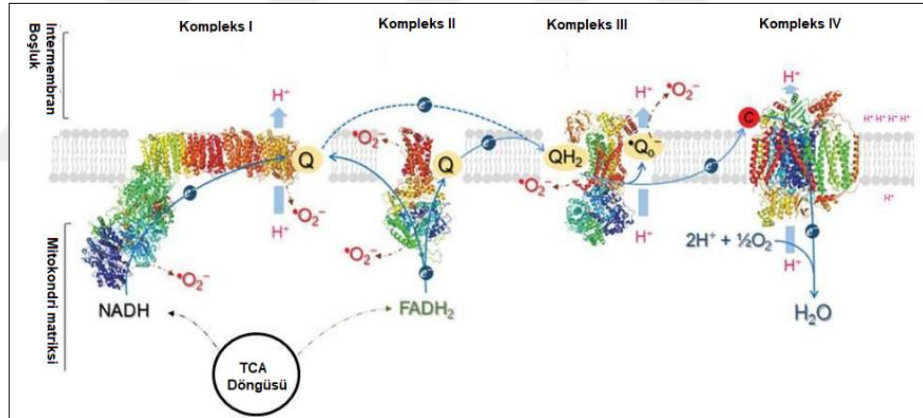


Şekil 2.7. Fenton reaksiyonu (A) ve Haber-Weiss reaksiyonu (B) sonucu serbest oksijen radikali olan hidroksil radikali oluşumu (Hidalgo et al., 2019).

Vücuttaki reaktif oksijen türlerinin (ROS) en önemli kaynağı mitokondridir. Elektron transfer sisteminin (ETS) ilk olarak tanımlandığı 1966'da oksijen tüketiminin bir yan ürünü olarak hidrojen peroksit (H_2O_2) üretildiği gösterilmiştir (Jensen, 1966). Hücrede oluşan H_2O_2 , süperoksit dismutaz (SOD) ile süperoksitin ($\text{O}_2^{\cdot-}$) dismutasyonunun sonucudur (Loschen et al., 1974). Mitokondri tarafından üretilen $\text{O}_2^{\cdot-}$, peroksinitrit (ONOO^-) güçlü bir oksidan üretmek için başka bir ROS molekülü olan ($\cdot\text{NO}$) ile etkileşime girebilir. ROS özellikle hastalık ilerlemesinde, lipid peroksidasyonuna ve nükleotit oksidasyonuna neden olmaktadır (Chen et al., 2010; Chen and Zweier, 2014; Giordano, 2005).

Mitokondride süperoksit üretimi, büyük ölçüde oksijenin yüksek redoks kapasitesinden dolayı kaynaklanmaktadır (Murphy, 2008). Diğer hücrel süperoksit kaynakları, NADPH oksidazlar (NOX) adı verilen sitozolik enzimlerin bir ailesidir (Meitzler et al., 2014). Mitokondriyal veya sitozolde üretilen ROS oranları uyarılara bağlıdır, örneğin Ca^{2+} aşırı yükü hem mitokondriyal hem de sitozolik reaksiyonu tetiklerken, Zn^{2+} aşırı yükü ağırlıklı olarak mitokondriyi uyarır (Hidalgo et al., 2019).

Kompleksler içindeki farklı renkler, karmaşık alt birimlerin yapısal temsilleridir. Mavi oklar, ilk NADH veya $FADH_2$ substratlarından O_2 'ye elektron transferini gösterir. O_2^- muhtemelen yüksek proton motive gücü (PMF) tarafından şiddetlenen I, II ve III komplekslerindeki elektron kayması nedeniyle üretilir. O_2^- Kompleks I tarafından üretim, matrikste FMN alt birimi veya iç zardaki Q havuz etkileşimleri ile ilişkilidir. Kompleks II potansiyel olarak O_2^- membranlar arası boşlukta (IMS) veya matriste üretir. Kompleks III, Q havuzundan sitokromlara elektron kayma bölgesini sitokromlara elektron transferi ile IMS ve matrikste oluşturur (Chen and Zweier, 2014).



Şekil 2.8. Elektron taşıma zincirinde süperoksit (O_2^-) üretme mekanizma şeması (Muñoz, 2018).

Kompleks I, ETZ içinde ROS üretimi yapan yerlerden biridir. NADH/ NAD^+ 'ın redoks dengesini manipüle eden deneyler, kompleks I bağlantılı süperoksit üretiminin arttırdığını göstermiştir. NADH'ı doğrudan azaltan kompleks I'in flavin alt birimi (FMN), elektron saçılımına bağlı bir ROS üretimi bölgesidir (Şekil 2.8.) (Hirst et al., 2008; Votyakova and Reynolds, 2001). Kompleks III ise yine kompleks I gibi ROS üretiminde önemli bir artışa neden olan diğer bir bölgedir (Turrens et al., 1985). Elektron saçılımı ubisemikinin ve sitokrom C arasında meydana gelir (Şekil 2.8.). Kompleks I'den farklı olarak Q_0 'dan gelen elektron saçılımı iç zarın her iki tarafında da yani mitokondriyal matriks ve iç membran boşluğunda süperoksit oluşturabilir.

Fizyolojik koşullarda kompleks III'deki ROS üretiminin oranının kompleks I'deki ROS üretiminden daha düşük olması muhtemeldir (Murphy, 2008).

ROS, çok yönlü moleküllerdir ve prokaryotlar ve ökaryotlar arasında gösterilen uygun hücre işleyişinde önemli bir rol oynamak için gelişmiştir (Wood et al., 2003). Biyolojik organizmalar evrim sürecinde ROS üretim mekanizmalarına karşı yüksek adaptasyon geliştirmiştir. Sistein kalıntıları, redoks sinyali için birincil hedeflerdir. Bu kalıntılar tiyolat anyonları olarak bulunur ve H_2O_2 tarafından geri dönüşümlü olarak oksitlenir. Sistein kalıntılarının sülfenik formlarına oksidasyonu (Cys-SOH), protein yapısındaki allosterik değişiklikler ile protein fonksiyonunu düzenleyebilir. Disülfid redüktazları, tioredoksin (Trx) ve glutaredoksin (Grx) tiyolat anyonlarını azaltır ve sülfenik modifikasyonlarının protein işlevi üzerindeki etkilerini ortadan kaldırır. Hücre içi H_2O_2 seviyeleri artarsa tiyolat anyonları sülfenik (SO_2H) ve sülfonik (SO_3H) anyonlara geri dönüşü olmayan bir şekilde oksitlenebilir, bu da kalıcı protein hasarına neden olabilir (Winterbourn and Hampton, 2008). Peroksiredoksin (PRX) ve glutatyon peroksidaz (GSH-Px) peroksit oluşumunu önleyen enzimlerdir (Hewitt and Degnan, 2023; Vara et al., 2013).

Balıklar da dahil oksijenli solunum yapan bütün organizmalarda reaktif oksijen ürünlerinin zararlı etkilerine karşı metabolik yanıtlar gelişmiştir. Bu yanıtların tümüne birden 'Antioksidan Savunma Sistemi' denilmektedir. Hidrojen, karbon, nitrojen ve kükürt gibi atomlar, canlılar için vazgeçilmez bir element olan oksijen ile birlikte moleküllerin temel yapıtaşlarını oluştururlar (Keleştemur ve Özdemir, 2011).

2.8. Antioksidan Savunma Sistemi ve Oksidatif Stres

Balıklarda antioksidan sistem parametrelerin potansiyel kullanımı, balığın türüne, cinsiyetine, büyüklüğüne, çevresel koşullara, suyun sıcaklığına, sudaki çözülmüş oksijene, sudaki kirleticilere ve hastalıklara bağlı olarak değişebilir (Atli et al., 2016; Gökhan, 2007). Balıklarda oksidatif stres gelişimi genellikle diğer hayvanlar ile benzerdir. Sudaki fizikokimyasal değişimlerin tümü (oksijen, karbondioksit, pH, sıcaklık, saturasyon, amonyak, nitrit, nitrat v.b.) akutik canlılarda belirli yanıtların oluşmasına sebep olurlar. Bu parametrelerinin biri veya birden fazlasının balıkların optimum yaşam şartlarına uygun olmaması durumunda balıklarda gözlemlenen ilk tepki stres durumu olacaktır (Tunç, 2017).

Oksidatif stres ile ilgili bir çok tanım bulunmaktadır. Oksidatif stres; "oksidanlar ve antioksidanlar arasında oksidanlar lehine bir dengesizlik, redoks sinyali ve kontrol ve/veya moleküler hasarın bozulmasına yol açan bir dengesizlik" olarak

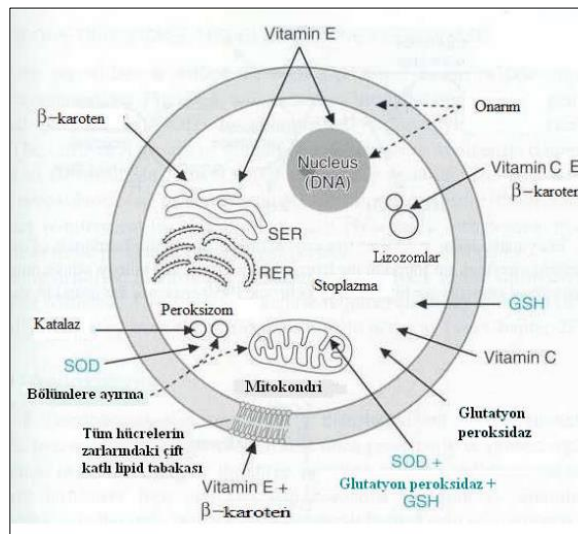
tanımlanmıştır (Sies and Jones, 2007). İlk kez 1985 yılında Helmut Sies tarafından ortaya konmuştur (Sies, 1985).

Oksidatif stres çeşitli şekillerde ortaya çıkabilmektedir; (a) ROS üretiminin artması, (b) ROS eliminasyonunun azalması ve (c) eliminasyona karşı üretimin dengesizliği. Oksidatif stresin hastalık etkeni olduğunu söylemek zor olsa da hastalıkların ve fizyolojik olarak yaşlanmanın dahi patogenezinde oksidatif hasarın oluştuğunu gösteren bir çok kanıt bulunmaktadır (DiNicolantonio and O’Keefe, 2021; Martínez-Álvarez et al., 2005; D. Xu et al., 2019; Yıldırım and Gümüşova, 2020).

2.8.1. Antioksidanların Genel Etki Mekanizmaları

Antioksidanlar; hücre zarı, sitoplazma, mitokondri gibi hücrenin çeşitli bölgelerinde dört ayrı şekilde etki ederler (Şekil 2.9) (Bragadóttir et al., 2001).

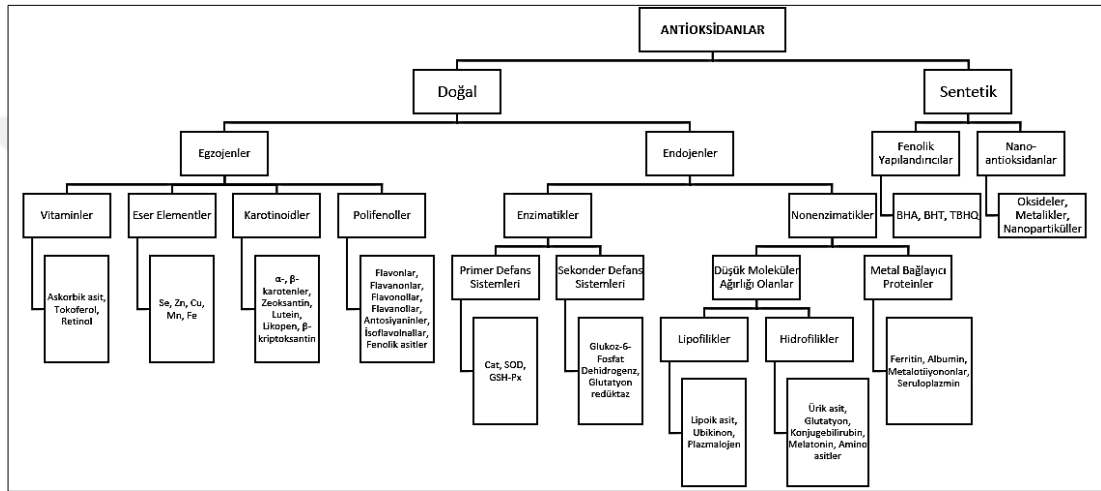
1. Toplayıcı Etki: Serbest oksijen radikallerini etkileyerek onları tutma ve daha zayıf yeni moleküle çevirme etkisidir. Antioksidan enzimler bu şekilde etki oluştururlar.
2. Bastırıcı Etki: Radikallerle etkileşip aktivitelerini azaltmak için veya inaktif hale getirmek için bastırıcı etki göstererek serbest oksijen radikallerine bir hidrojen bağlanmasını sağlarlar. Vitaminler ve falavonoidler bu tarz bir etkiye sahiptir.
3. Zincir Kırıcı Etki: Hemoglobin, seruloplazmin ve mineraller serbest oksijen radikallerini bağlı oldukları yerdeki zincirlerini kırarak fonksiyonlarını engellerler.
4. Onarıcı Etki: Serbest radikallerin oluşturdukları hasarın onarılmasını sağlarlar.



Şekil 2.9. Antioksidanların hücrede etki ettikleri yerler (Altınışik, 2000).

2.9. Antioksidanların Sınıflandırılması

Antioksidanların biyolojideki rolü üzerine yapılan ilk çalışmalar, bunların doymamış yağların oksidasyonunu önlemedeki kullanımlarına odaklanmıştır (Jacob, 1996; Knight, 1998; Sies, 1985). Bununla birlikte, canlı organizmalar için antioksidanların rolünün anlaşılmasına yol açan dönüm noktası, A, C ve E vitaminlerinin tanımlanması ve E vitamininin lipid peroksidasyonunu önleme mekanizmasının anlaşılmasıyla olmuştur (Flieger et al., 2021; Jacob, 1996; Mattill, 1947). Antioksidanlar en temelde doğal ve sentetik olmak üzere ikiye ayrılır ve doğal olanlar; endojen ve egzogen olmak üzere ikiye ayrılır (Şekil 2.10.).



Şekil 2.10. Antioksidanların sınıflandırılması (Flieger et al., 2021).

Endojen antioksidanlar enzimatik ve enzimatik olmayan olarak iki sınıfa ayrılırlar. Bu sınıflandırma sayesinde vücuttaki antioksidanların rollerinin belirlenmesi kolaylaşır. Glutasyonperoksidaz (GSH-Px), Süperoksid dismutaz (SOD), katalaz (CAT) ve glutasyon redüktaz (GRd) gibi etkileşim halindeki antioksidan enzimlerin, en yüksek antioksidan savunma etkinliğini gösterdiği vurgulanmaktadır (Sies, 1997). C ve E vitaminleri, koenzim Q, karotenler, glutasyonlar ve eser elementler gibi düşük moleküler ağırlıklı antioksidanlar da reaktif radikalleri etkisiz hale getirmekten sorumludur (Shi et al., 1999).

3. MATERYAL METOT

3.1. Materyal

3.1.1. Araştırma Yeri ve Çalışma Materyali

Etik Kurul izni, Çalışma yeri ve Numune Temini: Çalışma için Gümüşhane Kürtün baraj gölü, Taner YILDIRIM – Yakamoz Alabalık tesisleri belirlenmiş olup, çiftlik sahibinden “Sahipli Çiftlik Hayvanlarında Araştırma İçin Bilgilendirilmiş Onam Formu” alınarak, T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Balıkçılık ve Su Ürünleri Genel Müdürlüğünden 12.03.2020 tarihli 67852565-145-E.868991 sayılı “Araştırma İzni” alınmıştır. Çalışmada kullanılacak balıklar üzerinde çalışma yapmak amaçlı Samsun Ondokuz Mayıs Üniversitesi Hayvan Deneyleri Yerel Etik Kurulu tarafından 14.07.2020 tarihli 2020/26 sayılı etik kurul onayı alınarak başlanmıştır.

3.1.2. Kullanılan Kimyasallar ve Kitler

- 1,1,3,3-Tetraetoksipropan (Sigma-Aldrich; 122-31-6)
- 2-phenoxyethanol, C₈H₁₀O₂
- 2x2x3,5 mt fiberglas tank
- 50 lt'lik oksijen tüpü
- Fenilendiamin
- Fish GPX Elisa Kiti (BT Lab; Cat.no.E0041FI)
- Fish SOD Elisa Kiti (BT Lab; Cat.no.E0018FI)
- Glasiyel Asetik Asit (Merck; 101830)
- Kauçuk hava taşı
- Metanol (Sigma-Aldrich; >99,9 %; 34885)
- Na₂HPO₄.2H₂O (Merck; 106580)
- NaH₂PO₄.2H₂O (Merck; 106345)
- N-Butanol (Merck; 8222262)
- Oxyguard sabit ve taşınabilir oksijenmetre
- Sodyum Asetat Trihidrat (Sigma-Aldrich; 236500)
- Sodyum Azid (Tekkim; LB.TK.930150.00102)
- TAK Elisa kiti (Rel Assay Diagnostics, TAS)
- Tiyobarbütirik Asit (TBA) (Merck; 108180)
- Tiyokloroasetik Asit (TCA) (Merck; 100807)
- TOK Elisa kiti (Rel Assay Diagnostics, TAS)

3.1.3. Kullanılan Cihazlar

- Etüv (Mettler UN 55)
- Hassas Terazî (Precisa LS 220A SCS)
- Homojenizatör (Pro 200)
- Mikropleyt reader (Tecan infinite F50)
- Otoanalizör (Beckman Coulter AU 5800)
- Soğutmalı santrifüj (Nüve NF800R)
- UV-Vis Spektrofotometre (Thermo Scientific Genesys 10S)

3.1.4. Araştırma Düzenegi

Çalışmanın materyalini ortalama ağırlıkları 350-400 g arası olan, 10-12 aylık toplam 100 adet dişi gökkuşuğı alabalığı (*Oncorhynchus mykiss*) oluşturdu. Numune alımı veya deneyler sırasında yaşanabilecek problemler veya numune alınmadan balıkların ölmesi ihtimaline karşı her gruptan 10 adet fazla balık alındı. Bu sebeple toplamda 150 adet balık kullanıldı. Balıklar nakil işlemi öncesinde en az 2 gün süreyle aç bırakıldı.

Deney için kontrol grubu dahil toplam 5 grup belirlendi.

Kontrol grubu; balıkların transfer öncesi ve baraj ortamındaki değerleri göstermesi açısından nakliye tanklarında koyulmadan önce baraj koşullarında serum ve kas dokularından numuneler alındı.

Grup 1; nakliye sırasında 6 mg/L çözülmüş oksijen bulunan tanktaki balıklardan,

Grup 2; nakliye sırasında baraj koşullarıyla aynı koşullarda bulunan balıklardan,

Grup 3; nakliye sırasında 10 mg/L çözülmüş oksijen bulunan tanktaki balıklardan,

Grup 4; Çiftliklerde rutinde kullanılan transfer yöntemindeki balıklardan, transfer uygulamasını takiben serum ve kas dokularında numuneler alındı.

Barajlarda suyun fizikokimyasal özellikleri; mevsim, hava sıcaklığı, gün ışığı süresi, suda yaşayan diğer canlıların metabolik artıklarının miktarı ve yağış gibi tüm çevresel etkenlerden etkilenmekte ve sürekli olarak değişmektedir. Grup 2'nin transfer suyu oksijen verilerini belirlemek amacıyla Kürtün baraj gölüne sabit oksijenmetre yerleştirildi. Cihaz ile her 5 dakikada ölçüm yapılması sağlandı. Veriler bilgisayar ortamında hesaplandı. Toplanan veriler incelendiğinde sudaki en düşük çözülmüş oksijen miktarı 7,16 mg/L, en yüksek çözülmüş oksijen miktarı da 8,85 mg/L olarak

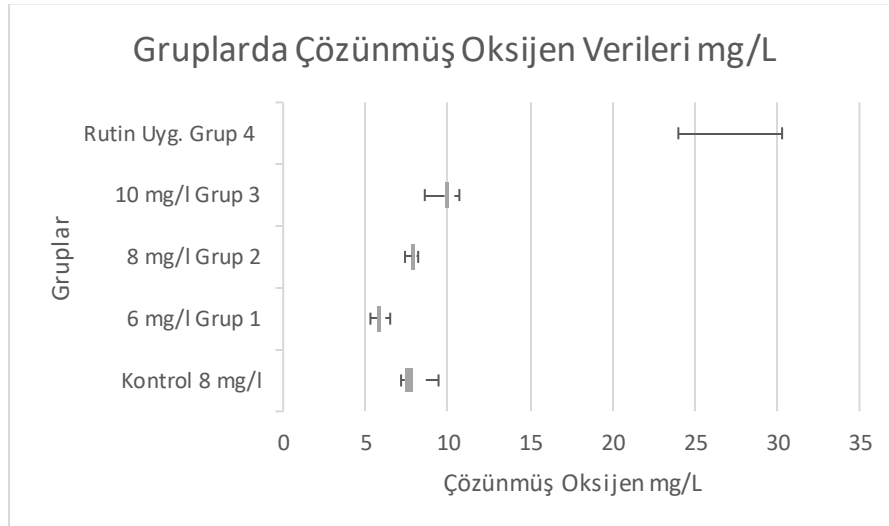
bulundu. Buradaki sapmalar çok kısa süreli olup ortalama oksijen verisi $8 \pm 0,84$ mg/L olduğu görüldü (Şekil 3.1.).

Kontrol grubu ve ikinci transfer grubu transferlerin yapılacağı günün oksijen verileri ile aynı olarak belirlendi. Nakil tanklarına su barajdan çekileceği için suyun diğer fizikokimyasal verileri nakil tankındakiyle aynı olarak transfer gerçekleştirildi.



Şekil 3.1 Kürtün baraj gölü 15 günlük çözünmüş oksijen ölçüm sonucu

Yapılan transfer uygulamaları sırasında ve kontrol grubunu oluşturan barajda yapılan ölçümlerin ortalamaları alındığında çözünmüş oksijen değerleri aşağıdaki gibidir;



Şekil 3.2. Gruplara göre sudaki çözünmüş oksijen miktarı ortalamaları

Gruplar oluşturulurken 6 mg/L çözünmüş oksijen seviyesi hipoksi koşullarını, 10 mg/L'yi ise normoksik koşulları temsil etmektedir (Omlin and Weber, 2010; Piper et al., 1982).

Nakil tanklarında bulunan oksijenin belirlenen değerlerde tutulması için manuel

olarak oksijen vanası kontrol altında tutuldu. Çözünmüş oksijen miktarının kontrolü için sürekli tank içerisinde bulunan oksijenmetre probu sayesinde, sürekli kontrol yapıldı. Çözünmüş oksijenin istenen değerin üzerine çıkması durumunda vana kapatılıp, istenen değerin altında kalması durumunda vana açılarak istenen seviyede kalması sağlandı. Transfer işlemleri Kürtün baraj gölü ile Trabzon Arsin limanı arası 120 km yol ve yükleme/boşaltma işlemleri toplam 4 saat sürdü.

Tablo 3.1 Araştırma düzeneğini oluşturan gruplar

Gruplar	Çözünmüş Oksijen Konsantrasyonu (mg/L)	Numune Sayısı
Kontrol Grubu (Baraj)	8 mg/L (Şekil 3.1.1.)	20 Adet
Grup 1 (Transfer)	6 mg/L	20 Adet
Grup 2 (Transfer)	8 mg/L	20 Adet
Grup 3 (Transfer)	10 mg/L	20 Adet
Grup 4 (Transfer)	Çiftlikte rutin uygulanan yöntem ile yapılan taşımadaki çözünmüş oksijen oranı	20 Adet

3.1.5. Numunelerin Alınması

Nakil öncesi kontrol grubu ile nakil sonrası deneme gruplarından balıklar başka bir kap içerisine tek tek alınıp fenoksietanol (1 m³ suya 100 mL fenoksietanol) anestezisi altına alındı. Kanlar *caudal* punksiyon yapılarak *arteiaven caudalis*'ten 21 G iğne ucuyla alındı. Alınan kanlar uygun şartlarda laboratuvara getirildi. 3000 rpm'de 10 dk santrifüj edilerek serumları çıkartıldı ve analizleri yapılana kadar - 20 °C'de muhafaza edildi (Duran et al., 2022).

Kas doku örneklerinin alınması amacıyla hayvanlar sakrifiye edildikten sonra, yanal çizgi ile sırt yüzgeci arasında kalan 3 x 3 x 1 cm alan bistüri ile kesilerek numuneler toplandı ve ayrı ayrı numune kaplarına alındı. Kas doku örnekleri uygun şartlarda laboratuvara getirilerek - 80 °C'de muhafaza altına alındı. Daha sonra örnekler 1 g tartılıp, 0,15 M KCl çözeltisi ile cam homojenizatörü içerisinde iyice ezilip homojenizat hazırlandı. Elde edilen süpernatantlardan MDA, Cp, TOK ve TAK analizleri yapıldı.

3.2. Metot

3.2.1. Serumda ve Dokuda MDA Analizi

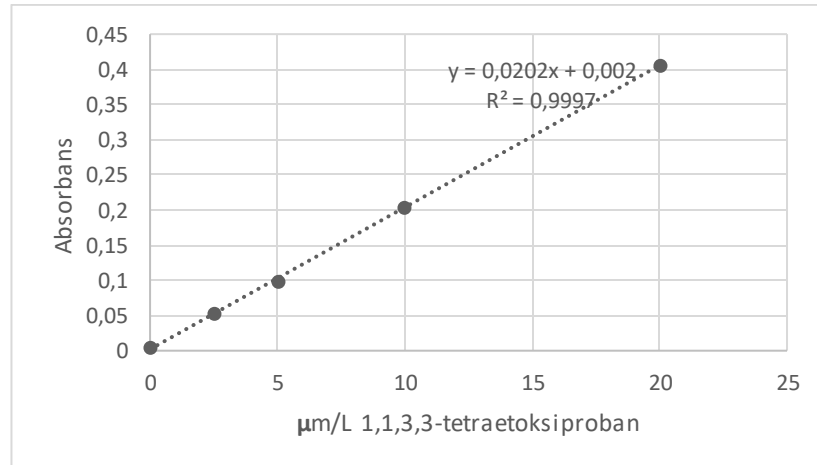
Serum ve süpernatantta MDA analizi Yoshioka ve arkadaşları tarafından bildirilen metot ile ölçüldü (Yoshioka et al., 1979). Yapılacak olan analizin temel prensibi; TBA tepkimesi esnasında lipid içerik, düşük pH ve TBA varlığında ısıtıldığında 535 nm’de minimum pik oluşturan stabil kırmızı-pembe renk meydana getirmesine dayanır. Lipid peroksidasyonu bir yan ürünü olan malondialdehit ile tiyobarbitürik asit arasındaki bir reaksiyondan oluşan tiyobarbitürik asit reaktif maddeleri (TBARS) ölçülerek değerlendirilir. MDA molekülü ile iki TBA molekülünün birleşmesi ile meydana gelen kırmızı-pembe renk oluşumu kromojen kaynaklıdır. Az miktarda MDA peroksidasyon sırasında çoğunluğu ise ortamın asitleştirilmesini müteakip ısıtma işlemi sırasında lipid peroksidasyonu sonucu oluşur.

Deneyde kullanılan çözeltiler;

Triklorasetik Asit (% 20): 20 g TCAA distile suda çözülerek hacim 100 mL’ye tamamlandı.

Tiyobarbitürik Asit (% 0,67): 1,675 g TBA distile suda çözüldü ve hacmi 250 mL’ye tamamlandı.

Standart Çözelti: 0,494 mL 1,1,3,3-tetraetoksipropan (d: 0,92; % 97; MA: 220,3) 100 mL alkolde çözülerek, 20 mmol/L’lik stok standart çözelti hazırlandı. Bundan 0,1 mL alınarak hacmi 100 mL’ye tamamlandı ve 20 µmol/L’lik standart çözelti elde edildi. Bu çözelti ile 2,5-5-10 µmol/L’lik dilüsyonlar hazırlanarak aşağıda açıklandığı şekilde çalışıldı. Spektrofotometrede 535 nm’de köre karşı optik dansiteleri okundu ve kalibrasyon eğrisi çizildi (Şekil 3.3.).



Şekil 3.3. MDA Kalibrasyon eğrisi

Deneyin yapılışı: Kör tüpüne 3 mL TCA ve 1 mL TBA, deney tüplerine 0,5 mL numune, 2,5 mL TCA ve 1 mL TBA pipetlendi. Tüpler 90 °C su banyosunda 30 dk inkübe edildi. Soğuk su altında soğutulduktan sonra hem deney hem de kör tüplerine 4 mL N-butanol ilave edildi. 3000 rpm’de 10 dk santrifüj edildikten sonra oluşan tabaka ayrıldı. Optik dansiteleri 535 nm’de köre karşı okutuldu. Çıkan absorbans değerleri kalibrasyon eğrisine göre hesaplandı.

3.2.2. Serumda ve Dokuda Seruloplazmin Analizi (Cp)

Seruloplazmin tayini spektrofotometrik olarak değiştirilmiş olan Ravin metodu ile ölçüldü (Ravin and Harvard, 1956). Seruloplazmin bir enzim olarak renksiz bir madde olan fenilen diamin, mavi menekşe renkli ürüne oksitler. Serumdaki bu etki deneyde belli bir zamanda ve deney köründe daha başında sodyum azid katılarak durdurulur ve spektrofotometrik olarak ölçülür.

Deneyde kullanılan çözeltiler;

Asetat tamponu (0,43 M, pH5,6) : 1,34 mL glasiyel asetik asit ve 26,44 g sodyum asetat saf suda çözülüp 1 litreye tamamlandı.

Fenilen diamin substrat çözeltisi (7,95 mM): 36 mg fenilen diamin klorür, 25 mL asetat tamponunda çözülür. 0,1 N NaOH ile pH’sı 5,6’ya ayarlandı (günlük olarak hazırlanır).

Sodyum azid çözeltisi (460 mM): 3 g sodyum azid saf suda çözülerek 100 mL’ye tamamlandı.

Deneyin yapılışı: Her numune için numune kör tüpü işaretlendi. Deney ve kör tüplerine 5 mL fenilen diamin substrat çözeltisi pipetlendi. Sadece deney körü tüpüne 1 mL sodyum azid çözeltisi pipetlendi. Hem deney hem kör tüpüne 0,1 mL serum pipetlendi ve karıştırıldı. 37 °C’de 15 dk inkübe edildi. İnkübasyon sonrasında deney tüplerine 1 mL sodyum azid çözeltisi pipetlendi. 15 dk bekletildi ve 546 nm’de optik dansiteleri distile suya karşı okutuldu.

Hesaplanması: Elde edilen optik dansiteler formülde yerine konularak % mg cinsinden sonuçlar elde edildi.

$$\bullet \quad \% \text{ mg seruloplazmin} = (\text{Deney} - \text{Deney körü}) \times 237$$

3.2.3. Serumda Glutasyon Peroksidaz (GSH-Px) Analizi

GSH-Px analizinde, (Fish GPX Elisa Kiti (BT Lab; Cat.no.E0041FI)) kit presdürünün prensibinde GSH-Px hidrojen peroksit varlığında redükte glutasyonun (GSH) okside glutatyon (GSSG) yükseltgenmesini katalize etmesi esasına dayanır ve bu prensibe göre ölçümleri yapıldı. Hidrojen peroksidin bulunduğu ortamda GSH-

Px'in oluşturduğu GSSG, glutatyon redüktaz ve NADPH yardımı ile GSH'a indirgenir. GSH-Px aktivitesi, NADPH'nın NADP'ya yükseltgenmesi sırasındaki absorbans azalmasının 340 nm'de okunmasıyla hesaplandı.

3.2.4. Serumda Süperoksit Dismutaz (SOD) Analizi

SOD, kolorimetrik test kitleri (Fish SOD Elisa Kiti (BT Lab; Cat.no.E0018FI)) ile kit prosedürlerine uygun olarak, ksantin–ksantin oksidaz yoluyla üretilen süperoksit radikallerinin, H₂O₂'ye dönüşmesi ve NBT'yi (nitroblue tetrazolium) indirgemesi esasıyla ölçümleri yapıldı. Süperoksit dismutaz test kiti ksantin oksidaz ve hipoksantin tarafından üretilen süperoksit radikallerinin saptanması için bir tetrazolyum tuzu kullanır. Bir birim SOD, süperoksit radikalının % 50'lik değişim göstermesi için gerekli olan enzim miktarı olarak tanımlanır.

3.2.5. Serumda ve Dokuda Total Oksidan Kapasitesi (TOK), Total Antioksidan Kapasitesi (TAK) Analizleri ve Oksidatif Stres İndeksi (OSİ) Hesaplaması

Total Oksidan Kapasitesi (TOK) Analizi

Serumda total oksidan kapasitesi ölçümü amacıyla, demir iyonunun asidik ortamda kromojen ile renkli bir kompleks oluşturması sağlanmaktadır. Rengin şiddeti numunedeki oksidanların miktarına bağlı olarak değişmektedir. Rengin yoğunluğunun spektrofotometrik olarak belirlenebildiği hazır olarak temin edilen ticari kit (Total Oxidant Status Assay kit, Rel Assay Diagnostics, RL000XX, Turkey) kullanılarak aşağıda anlatıldığı şekilde yapıldı.

1. Standart ve örnekler 75 µL pipetlendi.
2. Üzerine Reagent 1'den 500 µL eklendi ve 30 sn sonra okutuldu (A1).
3. Üzerine Reagent 2'den 25 µL eklendi ve 37 °C 5 dk inkübe edildikten sonra 530 nm'de okutuldu (A2).

Aşağıda verilen formüle göre hesaplama yapıldı.

- TOK Hesaplama: $A2 - A1 = \Delta Abs$
- Sonuç = $\frac{\Delta Abs \text{ örnek}}{\Delta Abs \text{ standart}} \times 10$

Total Antioksidan Kapasitesi (TAK) Analizi

Total antioksidan kapasitesinin belirlenmesi amacıyla, numunedeki antioksidanların koyu mavi - yeşil renkli pro-kromojen 2,2'-azinobis (3-etilbenzotiyazolin-6-sülfonik asit) (ABTS) radikalının, renksiz indirgenmiş ABTS formuna indirgemesi sağlanmaktadır. Rengin yoğunluğunun spektrofotometrik olarak

belirlenebildiği hazır olarak temin edilen ticari kit (Total Antioxidant Status Assay kit, Rel Assay Diagnostics, RL000XX, Turkey) kullanılarak aşağıda anlatıldığı şekilde yapıldı.

1. Süpernatant/standart/deiyonize su (18 µL) ile reaktif 1 (300 µL) spektrofotometre küvetlerine pipetlendi.
2. Karıştırılıp 30 saniye sonra ilk absorbans (A1) 660 nm’de ölçüldü.
3. Reaktif 2 (45µL) eklenip karıştırıldı.
4. 37C’de 5 dakika veya oda sıcaklığında 10 dakika bekletilip 660 nm’de ikinci absorbans (A2) ölçüldü.

Hesaplama

$$A_2 - A_1 = \Delta Abs$$

$$Sonuç = \frac{(\Delta Abs \text{ H}_2\text{O} - \Delta Abs \text{ Numune})}{(\Delta Abs \text{ H}_2\text{O} - \Delta Abs \text{ Standard})}$$

Oksidatif Stres İndeksi (OSİ) Hesaplaması

Toplam oksidan kapasite (µmol H₂O₂Equiv/L) / Toplam antioksidan kapasite (mmol TroloxEquiv/L) X 10 formülasyonu üzerinden hesaplanarak elde edildi.

3.2.6. Serumda Glukoz, Üre, Ürik Asit, Ca, Mg, Kreatinin Değerleri ve LDH Aktivitesi Analizleri

Beckman Coulter AU 5800 (USA) otoanalizör cihazında ölçümleri yapıldı.

3.3. İstatiksel Analiz

İstatistiksel analiz için SPSS for Windows 22.0 programı kullanıldı. Çalışmadan elde edilen veriler, ortalama±standart sapma (X±SD) olarak verildi, buna ek olarak verilerin standar hata değerleri tablolarda sunuldu ve 0.05’in altında olan P değerleri, istatistiksel açıdan anlamlı olarak kabul edildi.

Gruplar, Shapiro-Wilk normallik testi ile değerlendirildi. Gruplarda normal dağılım olduğu saptanan parametreler için; gruplar, parametrik test olan One-Way ANOVA testi ile karşılaştırıldı. Varyans homojenliği Levene testi ile sınıandı. Homojenliği sağlayan parametreler için; grupların karşılaştırmasında Post Hoc testi olarak Tukey testi kullanıldı. Homojenliği sağlamayan parametreler için; grupların karşılaştırmasında Post Hoc testi olarak Dunnett’s T3 testi kullanıldı. Gruplarda normal dağılım saptanmayan parametreler için; gruplar, nonparametrik test olan Kruskal Wallis test ile karşılaştırıldı. Yapılan test sonucuna göre, istatistiksel bir farklılık olduğu saptanan parametreler için; farklılığın hangi gruplar arasında olduğunu belirlemek amacıyla gruplar ikili olarak Mann Whitney U testi ile karşılaştırıldı.

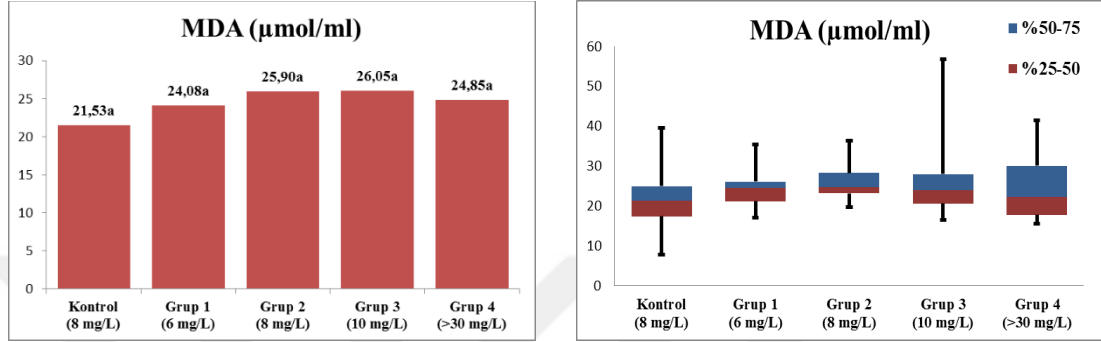
Çalışmada yer alan grupların karşılaştırmasında hem parametrik hem de nonparametrik testler kullanılması nedeniyle parametrelerin grafik gösterimleri, hem parametrelerin ortalamasını esas alan sütun grafiği ile hem de parametrelerin grup içi dağılımlarını gösteren box plot grafiği ile sunuldu.



4. BULGULAR

4.1. Tüm Gruplarda Serumda GSH-Px, SOD ve LDH Enzim Aktivitesi, MDA, Cp, TOK, TAK, OSİ, Kortizol, Glukoz, Üre, Ürik Asit, Kreatinin, Ca, Mg ve Kas Dokusunda MDA, Cp, TOK, TAK ve OSİ Değerleri

4.1.1. Gruplara Ait Serum MDA Düzeyleri



Şekil 4.1. Gruplara ait serum MDA ortalama değerleri ve değerlerinin grup içi dağılımı

Tablo 4.1. Grupların serum MDA değerlerine ait deskriptif bilgiler

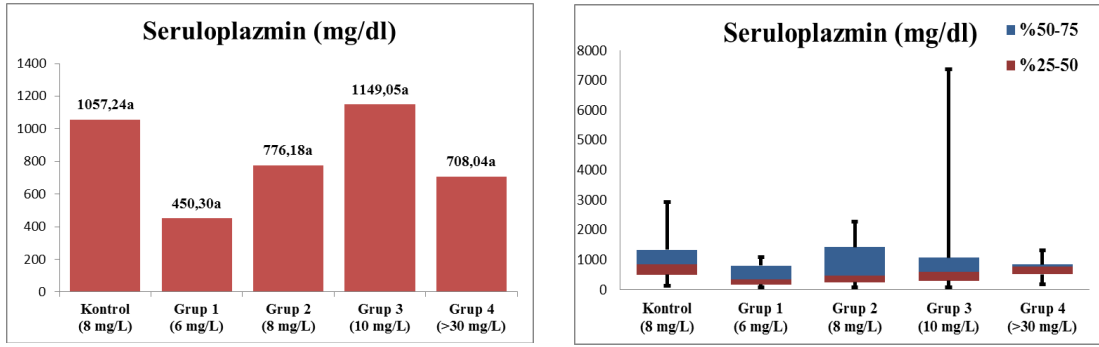
Gruplar	N	Ortalama $\pm$ Std S	Standart Hata	95% Güven aralığı	
				Alt değer	Üst değer
Kontrol (8 mg/L)	20	21,53 $\pm$ 6,66 ^a	1,49	18,42	24,65
Grup 1 (6 mg/L)	20	24,08 $\pm$ 4,14 ^a	0,93	22,15	26,02
Grup 2 (8 mg/L)	20	25,90 $\pm$ 4,49 ^a	1,00	23,80	27,99
Grup 3 (10 mg/L)	20	26,05 $\pm$ 9,20 ^a	2,06	21,75	30,36
Grup 4 (>30 mg/L)	20	24,85 $\pm$ 8,01 ^a	1,79	21,10	28,59

Grupların serum MDA değerleri, Shapiro-Wilk Normallik testi ile değerlendirildi. Serum MDA değerleri açısından gruplarda normal dağılım olduğu saptandı.

Varyans homojenliği Levene testi ile sınıandı ($F=2,917$ $P=0,025$). P değeri 0,05 değerinden düşük olduğundan grupların karşılaştırmasında Post Hoc testi olarak Dunnett's T3 testi kullanıldı.

Grupların serum MDA değerlerinin Dunnett's T3 testi karşılaştırılması sonucunda gruplar arasında serum MDA değerleri açısından istatistiksel bir farklılık saptanmadı ($P>0,05$).

4.1.2. Gruplara Ait Serum Seruloplazmin Düzeyleri



Şekil 4.2. Gruplara ait serum seruloplazmin ortalama değerleri ve değerlerinin grup içi dağılımı

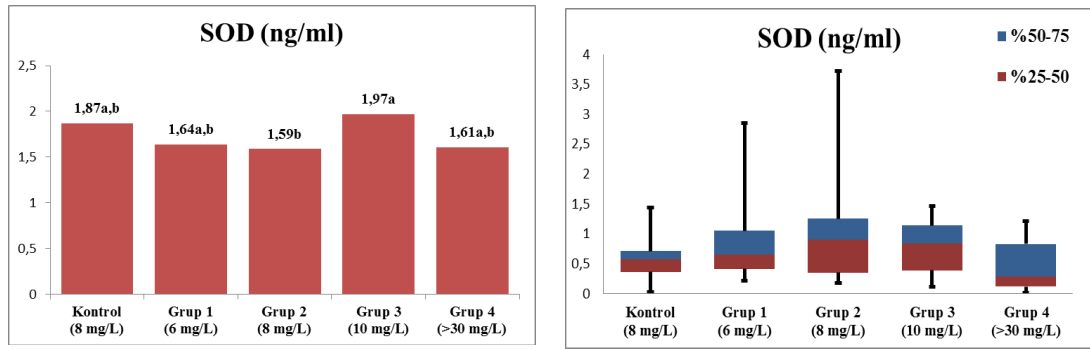
Tablo 4.2. Grupların serum seruloplazmin değerlerine ait deskriptif bilgiler

Gruplar	N	Ortalama $\pm$ Std S	Standart Hata	95% Güven aralığı	
				Alt değer	Üst değer
Kontrol (8 mg/L)	20	1057,24 $\pm$ 847,59 ^a	189,53	660,56	1453,92
Grup 1 (6 mg/L)	20	450,30 $\pm$ 351,00 ^a	78,49	286,03	614,57
Grup 2 (8 mg/L)	20	776,18 $\pm$ 724,11 ^a	161,92	437,28	1115,07
Grup 3 (10 mg/L)	20	1149,05 $\pm$ 1679,68 ^a	375,59	362,93	1935,17
Grup 4 (>30 mg/L)	20	708,04 $\pm$ 337,63 ^a	75,50	550,02	866,05

Grupların serum seruloplazmin değerleri, Shapiro-Wilk Normallik testi ile değerlendirildi. Serum seruloplazmin değerleri açısından gruplarda normal dağılım olmadığı saptandı.

Gruplar normal dağılım göstermediğinden grup karşılaştırması nonparametrik test olan Kruskal Wallis test ile yapıldı. Yapılan test sonucuna göre grupların serum seruloplazmin değerleri açısından istatistiksel bir farklılık olmadığı saptanmıştır ($p>0,05$).

4.1.3. Gruplara Ait Serum SOD Aktiviteleri



Şekil 4.3. Gruplara ait serum SOD aktivite ortalama değerleri ve değerlerinin grup içi dağılımı

Tablo 4.3. Grupların serum SOD aktivite değerlerine ait deskriptif bilgiler

Gruplar	N	Ortalama $\pm$ Std S	Standart Hata	95% Güven aralığı	
				Alt değer	Üst değer
Kontrol (8 mg/L)	20	1,87 $\pm$ 0,56 ^{ab}	0,12	1,61	2,13
Grup 1 (6 mg/L)	20	1,64 $\pm$ 0,26 ^{ab}	0,06	1,52	1,77
Grup 2 (8 mg/L)	20	1,59 $\pm$ 0,33 ^b	0,07	1,44	1,75
Grup 3 (10 mg/L)	20	1,97 $\pm$ 0,42 ^a	0,09	1,77	2,17
Grup 4 (>30 mg/L)	20	1,61 $\pm$ 0,56 ^{ab}	0,13	1,34	1,87

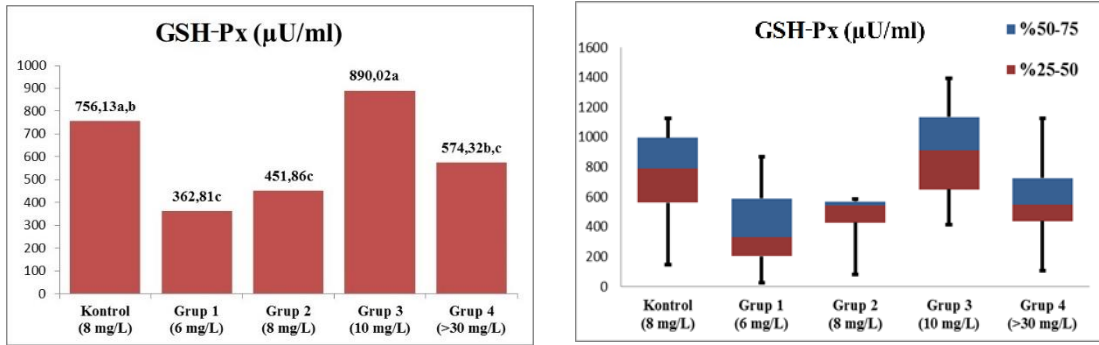
Grupların SOD aktivite değerleri, Shapiro-Wilk Normallik testi ile değerlendirildi. SOD aktivite değerleri açısından gruplarda normal dağılım olduğu saptandı.

Varyans homojenliği Levene testi ile sınıandı ($F=5,566$ $P<0,001$). P değeri 0,05 değerinden düşük olduğundan grupların karşılaştırmasında Post Hoc testi olarak Dunnett's T3 testi kullanıldı.

Grupların serum SOD aktivite değerlerinin Dunnett's T3 testi karşılaştırılması sonucunda;

* Grup 2'nin SOD aktivite değerleri, Grup 3'ün SOD aktivite değerlerinden daha düşük saptandı ($p=0,032$).

4.1.4. Gruplara Ait Serum GSH-Px Aktiviteleri



Şekil 4.4. Gruplara ait serum GSH-Px aktivite ortalama değerleri ve değerlerinin grup içi dağılımı

Tablo 4.4. Grupların serum GSH-Px aktivite değerlerine ait deskriptif bilgiler

Gruplar	N	Ortalama	Standart Hata	95% Güven aralığı	
				Alt değer	Üst değer
Kontrol (8 mg/L)	20	756,13±287,54	64,30	621,56	890,70
Grup 1 (6 mg/L)	20	362,8±244,68	54,71	248,30	477,32
Grup 2 (8 mg/L)	20	451,86±171,74	38,40	371,48	532,24
Grup 3 (10 mg/L)	20	890,02±279,00	62,39	759,45	1020,60
Grup 4 (>30 mg/L)	20	574,32±236,43	52,87	463,67	684,97

Grupların serum GSH-Px aktivite değerleri, Shapiro-Wilk Normallik testi ile değerlendirildi. Serum GSH-Px aktivite değerleri açısından gruplarda normal dağılım olduğu saptandı.

Varyans homojenliği Levene testi ile sınıandı ($F=2,126$ $P=0,083$). P değeri 0,05 değerinden yüksek olduğundan grupların karşılaştırmasında Post Hoc testi olarak Tukey testi kullanıldı.

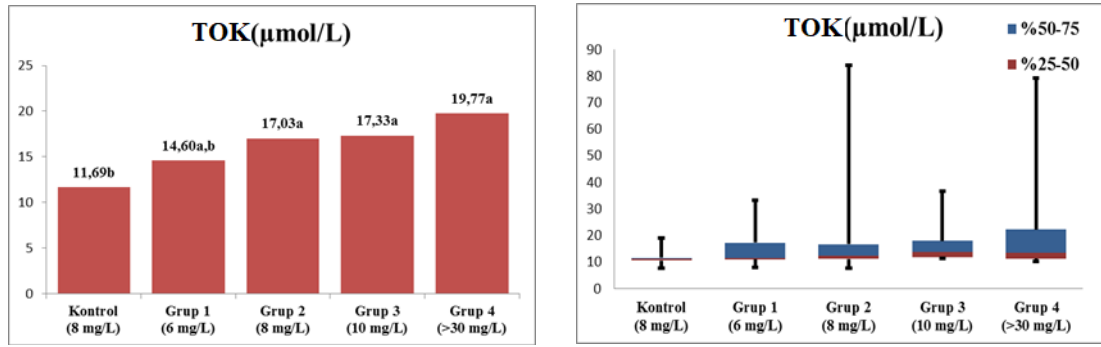
Grupların serum GSH-Px aktivite değerlerinin Tukey testi karşılaştırılması sonucunda;

* Grup 1'in GSH-Px aktivite değerleri, kontrol grubu ve Grup 3'ün GSH-Px aktivite değerlerinden daha düşük saptandı ($p<0,001$).

* Grup 2'nin GSH-Px aktivite değerleri, kontrol grubu ($p=0,002$) ve Grup 3'ün ($p<0,001$) GSH-Px aktivite değerlerinden daha düşük saptandı.

* Grup 4'in GSH-Px değerleri, Grup 3'ün GSH-Px değerlerinden daha düşük ($p=0,001$) saptandı.

4.1.5. Gruplara Ait Serum TOK Düzeyleri



Şekil 4.5. Gruplara ait serum TOK ortalama değerleri ve değerlerinin grup içi dağılımı

Tablo 4.5. Grupların serum TOK değerlerine ait deskriptif bilgiler

Gruplar	N	Ortalama $\pm$ Std S	Standart Hata	95% Güven aralığı	
				Alt değer	Üst değer
Kontrol (8 mg/L)	20	11,69 $\pm$ 2,83 ^b	0,63	10,36	13,01
Grup 1 (6 mg/L)	20	14,60 $\pm$ 6,37 ^{ab}	1,42	11,62	17,58
Grup 2 (8 mg/L)	20	17,03 $\pm$ 16,42 ^a	3,67	9,34	24,71
Grup 3 (10 mg/L)	20	17,33 $\pm$ 8,17 ^a	1,83	13,50	21,15
Grup 4 (>30 mg/L)	20	19,77 $\pm$ 15,88 ^a	3,55	12,33	27,20

Grupların serum TOK değerleri, Shapiro-Wilk Normallik testi ile değerlendirildi. Serum TOK değerleri açısından gruplarda normal dağılım olmadığı saptandı.

Gruplar normal dağılım göstermediğinden grup karşılaştırması nonparametrik test olan Kruskal Wallis test ile yapıldı. Yapılan test sonucuna göre grupların serum TOK değerleri açısından istatistiksel bir farklılık olduğu saptanmıştır ($p=0,005$). Grupların TOK değerleri açısından farklılığın hangi gruplar arasında olduğunu belirlemek amacıyla gruplar ikili olarak Mann Whitney U testi ile karşılaştırıldı.

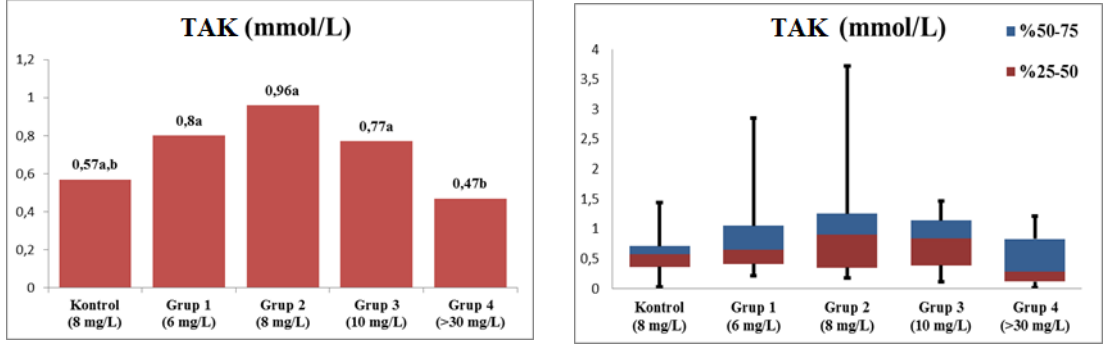
Grupların serum TOK değerlerinin Mann Whitney U testi karşılaştırılması sonucunda;

* Grup 2'nin serum TOK değerinin Kontrol grubunun serum TOK değerinden daha yüksek olduğu saptandı ($p=0,034$).

* Grup 3'ün serum TOK değerinin Kontrol grubunun serum TOK değerinden daha yüksek olduğu saptandı ($p<0,001$).

* Grup 4'ün serum TOK değerinin Kontrol grubunun serum TOK değerinden daha yüksek olduğu saptandı ($p=0,008$).

4.1.6. Gruplara Ait Serum TAK düzeyleri



Şekil 4.6. Gruplara ait serum TAK ortalama değerleri ve değerlerinin grup içi dağılımı

Tablo 4.6. Grupların serum TAK değerlerine ait deskriptif bilgiler

Gruplar	N	Ortalama $\pm$ Std S	Standart Hata	95% Güven aralığı	
				Alt değer	Üst değer
Kontrol (8 mg/L)	20	0,57 $\pm$ 0,34 ^{ab}	0,08	0,41	0,73
Grup 1 (6 mg/L)	20	0,80 $\pm$ 0,60 ^a	0,13	0,52	1,08
Grup 2 (8 mg/L)	20	0,96 $\pm$ 0,79 ^a	0,18	0,59	1,33
Grup 3 (10 mg/L)	20	0,77 $\pm$ 0,41 ^a	0,09	0,57	0,96
Grup 4 (>30 mg/L)	20	0,47 $\pm$ 0,42 ^b	0,09	0,27	0,67

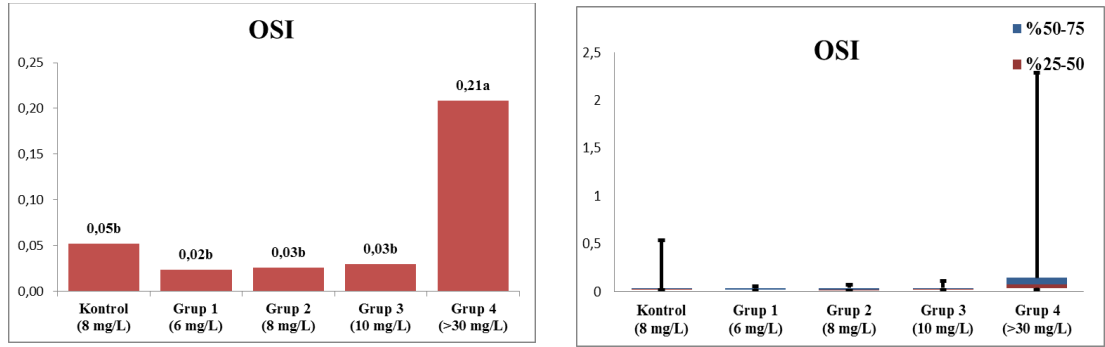
Grupların serum TAK değerleri, Shapiro-Wilk Normallik testi ile değerlendirildi. TAK değerleri açısından gruplarda normal dağılım olmadığı saptandı.

Gruplar normal dağılım göstermediğinden grup karşılaştırması nonparametrik test olan Kruskal Wallis test ile yapıldı. Yapılan test sonucuna göre grupların TAK değerleri açısından istatistiksel bir farklılık olduğu saptanmıştır ($p=0,032$). Grupların TAK değerleri açısından farklılığın hangi gruplar arasında olduğunu belirlemek amacıyla gruplar ikili olarak Mann Whitney U testi ile karşılaştırıldı.

Grupların serum TAK değerlerinin Mann Whitney U testi karşılaştırılması sonucunda;

* Grup 4'ün TAK değerleri, grup 1 ($p=0,042$), grup 2 ($p=0,006$) ve grup 3'ün ($p=0,016$) TAK değerlerinden daha düşük saptandı.

4.1.7. Gruplara Ait Serum OSİ Analiz Bulguları



Şekil 4.7. Gruplara ait serum OSİ ortalama değerleri ve değerlerinin grup içi dağılımı

Tablo 4.7. Grupların serum OSİ değerlerine ait deskriptif bilgiler

Gruplar	N	Ortalama $\pm$ Std S	Standart Hata	95% Güven aralığı	
				Alt değer	Üst değer
Kontrol (8 mg/L)	20	0,05 $\pm$ 0,12 ^b	0,03	0,00	0,11
Grup 1 (6 mg/L)	20	0,02 $\pm$ 0,01 ^b	0,00	0,02	0,03
Grup 2 (8 mg/L)	20	0,03 $\pm$ 0,02 ^b	0,00	0,02	0,04
Grup 3 (10 mg/L)	20	0,03 $\pm$ 0,02 ^b	0,01	0,02	0,04
Grup 4 (>30 mg/L)	20	0,21 $\pm$ 0,50 ^a	0,11	0,03	0,44

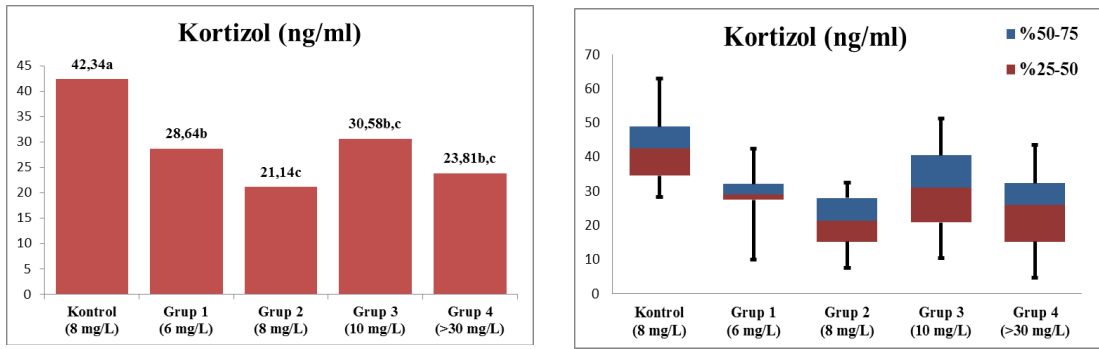
Grupların serum OSİ değerleri, Shapiro-Wilk Normallik testi ile değerlendirildi. Serum OSİ değerleri açısından gruplarda normal dağılım olmadığı saptandı.

Gruplar normal dağılım göstermediğinden grup karşılaştırması nonparametrik test olan Kruskal Wallis test ile yapıldı. Yapılan test sonucuna göre grupların serum OSİ değerleri açısından istatistiksel bir farklılık olduğu saptanmıştır ($p=0,001$). Grupların serum OSİ değerleri açısından farklılığın hangi gruplar arasında olduğunu belirlemek amacıyla gruplar ikili olarak Mann Whitney U testi ile karşılaştırıldı.

Grupların serum OSİ değerlerinin Mann Whitney U testi karşılaştırılması sonucunda;

* Grup 4'ün serum OSİ değerleri, diğer dört grubun serum OSİ değerlerinden daha yüksek saptanmıştır ($p<0,001$).

4.1.8. Gruplara Ait Serum Kortizol Düzeyleri



Şekil 4.8. Gruplara ait serum kortizol ortalama değerleri ve değerlerinin grup içi dağılımı

Tablo 4.8. Grupların serum kortizol değerlerine ait deskriptif bilgiler

Gruplar	N	Ortalama $\pm$ Std S	Standart Hata	95% Güven aralığı	
				Alt değer	Üst değer
Kontrol (8 mg/L)	20	42,34 $\pm$ 10,08 ^a	2,25	37,62	47,05
Grup 1 (6 mg/L)	20	28,64 $\pm$ 8,02 ^b	1,79	24,89	32,40
Grup 2 (8 mg/L)	20	21,14 $\pm$ 7,91 ^c	1,77	17,44	24,84
Grup 3 (10 mg/L)	20	30,58 $\pm$ 12,32 ^{bc}	2,75	24,82	36,34
Grup 4 (>30 mg/L)	20	23,81 $\pm$ 11,68 ^{bc}	2,61	18,35	29,28

Grupların serum kortizol değerleri, Shapiro-Wilk Normallik testi ile değerlendirildi. Serum kortizol değerleri açısından gruplarda normal dağılım olduğu saptandı. Varyans homojenliği Levene testi ile sınılandı ($F=2,696$ $P=0,035$). P değeri 0,05 değerinden düşük olduğundan grupların karşılaştırmasında Post Hoc testi olarak Dunnett's T3 testi kullanıldı. Grupların serum kortizol değerlerinin Dunnett's T3 testi karşılaştırılması sonucunda;

* Grup 1'in serum kortizol değeri, kontrol grubunun serum kortizol değerinden düşük olduğu saptanmıştır ($p<0,001$).

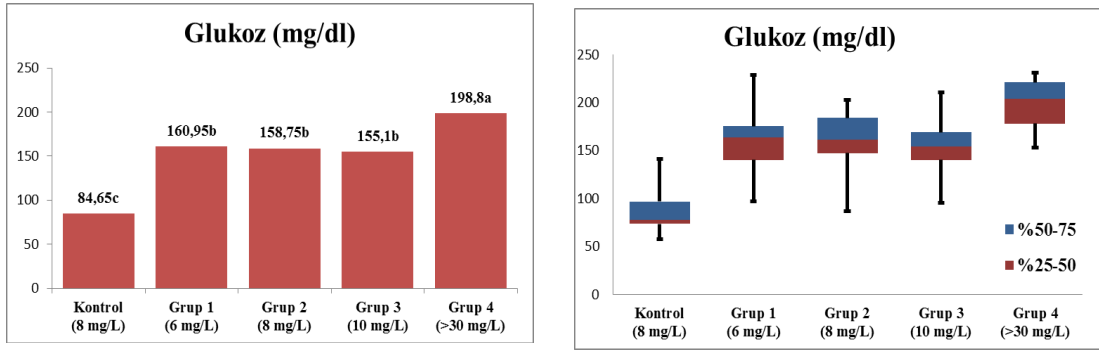
* Grup 2'nin serum kortizol değeri, kontrol grubunun serum kortizol değerinden daha düşük olduğu saptanmıştır ($p<0,001$).

* Grup 3'ün serum kortizol değeri, kontrol grubunun serum kortizol değerinden daha düşük olduğu saptanmıştır ($p<0,02$).

* Grup 4'ün serum kortizol değeri, kontrol grubunun serum kortizol değerinden daha düşük olduğu saptanmıştır ($p<0,001$).

* Grup 1'in serum kortizol değerleri, grup 2'nin serum kortizol değerlerinden daha yüksek saptanmıştır ($p=0,047$).

4.1.9. Gruplara Ait Serum Glukoz Düzeyleri



Şekil 4.9. Gruplara ait glukoz ortalama değerleri ve değerlerinin grup içi dağılımı

Tablo 4.9. Grupların glukoz değerlerine ait deskriptif bilgiler

Gruplar	N	Ortalama $\pm$ Std S	Standart Hata	95% Güven aralığı	
				Alt değer	Üst değer
Kontrol (8 mg/L)	20	84,65 $\pm$ 22,03 ^c	4,93	74,34	94,96
Grup 1 (6 mg/L)	20	160,95 $\pm$ 34,11 ^b	7,63	144,99	176,91
Grup 2 (8 mg/L)	20	158,75 $\pm$ 31,23 ^b	6,98	144,13	173,37
Grup 3 (10 mg/L)	20	155,10 $\pm$ 27,50 ^b	6,15	142,23	167,97
Grup 4 (>30 mg/L)	20	198,80 $\pm$ 26,79 ^a	5,99	186,26	211,34

Grupların glukoz değerleri, Shapiro-Wilk Normallik testi ile değerlendirildi. Glukoz değerleri açısından gruplarda normal dağılım olduğu saptandı.

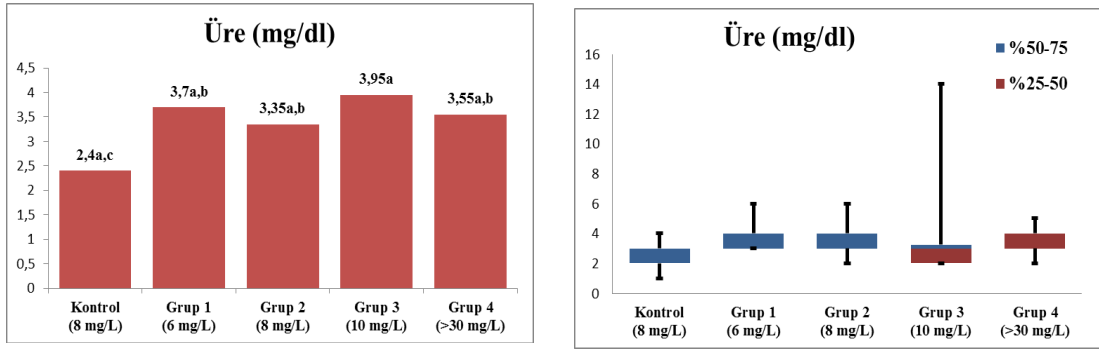
Varyans homojenliği Levene testi ile sınıandı ($F=0,829$ $P>0,05$). P değeri 0,05 değerinden yüksek olduğundan grupların karşılaştırmasında Post Hoc testi olarak Tukey testi kullanıldı.

Grupların glukoz değerlerinin Tukey testi karşılaştırılması sonucunda;

* Grup 1, grup 2, grup 3 ve grup 4'ün glukoz değerleri, kontrol grubunun glukoz değerinden daha yüksek olduğu saptanmıştır ($p<0,001$).

* Grup 4'ün glukoz değerleri, grup 1 ($p=0,001$), grup 2 ($p<0,001$), grup 3'ün ($p<0,001$) glukoz değerlerinden daha yüksek saptanmıştır.

4.1.10. Gruplara Ait Serum Üre Düzeyleri



Şekil 4.10. Gruplara ait üre ortalama değerleri ve değerlerinin grup içi dağılımı

Tablo 4.10. Grupların üre değerlerine ait deskriptif bilgiler

Gruplar	N	Ortalama $\pm$ Std S	Standart Hata	95% Güven aralığı	
				Alt değer	Üst değer
Kontrol (8 mg/L)	20	2,40 $\pm$ 0,82 ^{ac}	0,18	2,02	2,78
Grup 1 (6 mg/L)	20	3,70 $\pm$ 0,98 ^{ab}	0,22	3,24	4,16
Grup 2 (8 mg/L)	20	3,35 $\pm$ 1,04 ^{ab}	0,23	2,86	3,84
Grup 3 (10 mg/L)	20	3,95 $\pm$ 3,19 ^a	0,71	2,46	5,44
Grup 4 (>30 mg/L)	20	3,55 $\pm$ 0,94 ^{ab}	0,21	3,11	3,99

Grupların üre değerleri, Shapiro-Wilk Normallik testi ile değerlendirildi. Üre değerleri açısından gruplarda normal dağılım olmadığı saptandı.

Gruplar normal dağılım göstermediğinden grup karşılaştırması nonparametrik test olan Kruskal Wallis test ile yapıldı. Yapılan test sonucuna göre grupların üre değerleri açısından istatistiksel bir farklılık olduğu saptanmıştır ($p=0,001$). Grupların üre değerleri açısından farklılığın hangi gruplar arasında olduğunu belirlemek amacıyla gruplar ikili olarak Mann Whitney U testi ile karşılaştırıldı.

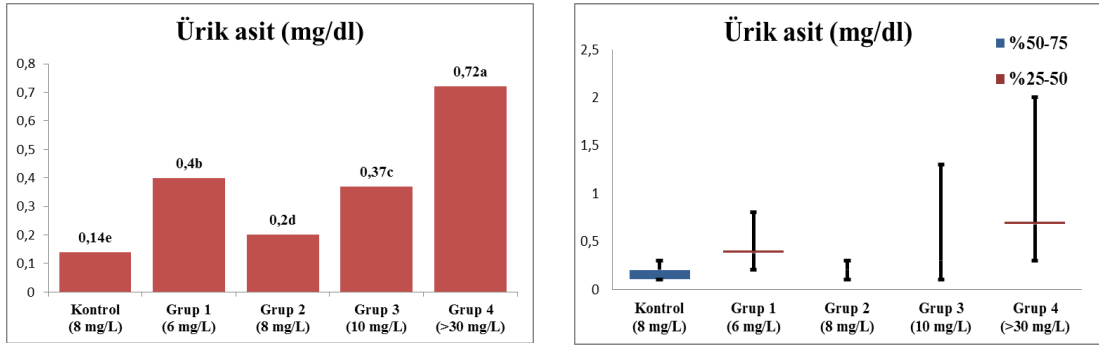
Grupların üre değerlerinin Mann Whitney U testi karşılaştırılması sonucunda;

* Grup 1'in üre değeri, kontrol grubunun üre değerinden daha yüksek olduğu saptanmıştır ($p<0,001$).

* Grup 2'nin üre değeri, kontrol grubunun üre değerinden daha yüksek olduğu saptanmıştır ($p=0,003$).

* Grup 4'ün üre değeri, kontrol grubunun üre değerinden daha yüksek olduğu saptanmıştır ($p=0,001$).

4.1.11. Gruplara Ait Serum Ürik Asit Düzeyleri



Şekil 4.11. Gruplara ait ürik asit ortalama değerleri ve değerlerinin grup içi dağılımı

Tablo 4.11. Grupların ürik asit değerlerine ait deskriptif bilgiler

Gruplar	N	Ortalama $\pm$ Std S	Standart Hata	95% Güven aralığı	
				Alt değer	Üst değer
Kontrol (8 mg/L)	20	0,14 $\pm$ 0,06 ^e	0,01	0,11	0,16
Grup 1 (6 mg/L)	20	0,40 $\pm$ 0,12 ^b	0,03	0,34	0,46
Grup 2 (8 mg/L)	20	0,20 $\pm$ 0,03 ^d	0,01	0,18	0,22
Grup 3 (10 mg/L)	20	0,37 $\pm$ 0,26 ^c	0,06	0,25	0,48
Grup 4 (>30 mg/L)	20	0,72 $\pm$ 0,33 ^a	0,07	0,57	0,87

Grupların ürik asit değerleri, Shapiro-Wilk Normallik testi ile değerlendirildi. Ürik asit değerleri açısından gruplarda normal dağılım olmadığı saptandı.

Gruplar normal dağılım göstermediğinden grup karşılaştırması nonparametrik test olan Kruskal Wallis test ile yapıldı. Yapılan test sonucuna göre grupların ürik asit değerleri açısından istatistiksel bir farklılık olduğu saptanmıştır ($p < 0,001$). Grupların ürik asit değerleri açısından farklılığın hangi gruplar arasında olduğunu belirlemek amacıyla gruplar ikili olarak Mann Whitney U testi ile karşılaştırıldı. Grupların ürik asit değerlerinin Mann Whitney U testi karşılaştırılması sonucunda;

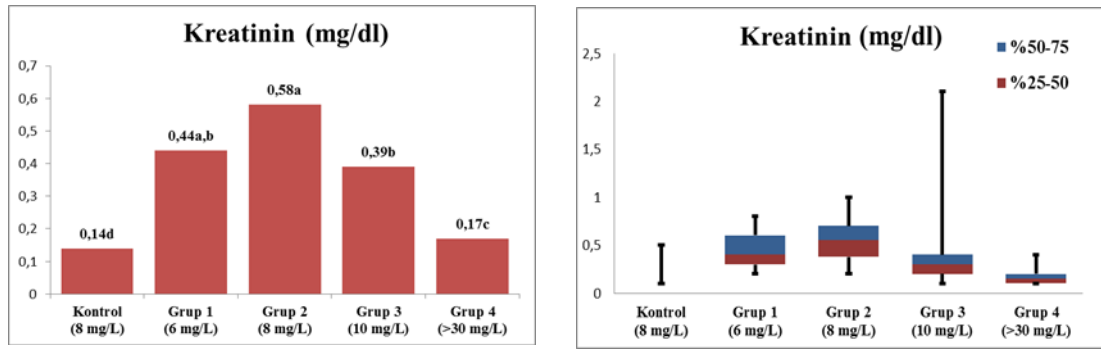
* Grup 1, grup 2, grup 3 ve grup 4'ün ürik asit değerleri, kontrol grubunun ürik asit değerinden daha yüksek olduğu saptanmıştır ($p < 0,001$).

* Grup 4'ün ürik asit değerleri, grup 1, grup 2, grup 3'ün ürik asit değerlerinden daha yüksek saptanmıştır ($p < 0,001$).

* Grup 1'in ürik asit değerleri, grup 2 ($p < 0,001$), grup 3'ün ($p = 0,005$) ürik asit değerlerinden daha yüksek saptanmıştır.

* Grup 2'nin ürik asit değerleri, grup 3'ün ürik asit değerlerinden daha düşük saptanmıştır ($p < 0,001$).

4.1.12. Gruplara Ait Serum Kreatinin Düzeyleri



Şekil 4.12. Gruplara ait kreatinin ortalama değerleri ve değerlerinin grup içi dağılımı

Tablo 4.12. Grupların kreatinin değerlerine ait deskriptif bilgiler

Gruplar	N	Ortalama $\pm$ Std S	Standart Hata	95% Güven aralığı	
				Alt değer	Üst değer
Kontrol (8 mg/L)	20	0,14 $\pm$ 0,10 ^d	0,22	0,09	0,18
Grup 1 (6 mg/L)	20	0,44 $\pm$ 0,19 ^{ab}	0,04	0,35	0,53
Grup 2 (8 mg/L)	20	0,58 $\pm$ 0,24 ^a	0,05	0,47	0,69
Grup 3 (10 mg/L)	20	0,39 $\pm$ 0,41 ^b	0,09	0,20	0,58
Grup 4 (>30 mg/L)	20	0,17 $\pm$ 0,08 ^c	0,02	0,13	0,20

Grupların kreatinin değerleri, Shapiro-Wilk Normallik testi ile değerlendirildi. Kreatinin değerleri açısından gruplarda normal dağılım olmadığı saptandı.

Gruplar normal dağılım göstermediğinden grup karşılaştırması nonparametrik test olan Kruskal Wallis test ile yapıldı. Yapılan test sonucuna göre grupların kreatinin değerleri açısından istatistiksel bir farklılık olduğu saptanmıştır ($p < 0,001$). Grupların kreatinin değerleri açısından farklılığın hangi gruplar arasında olduğunu belirlemek amacıyla gruplar ikili olarak Mann Whitney U testi ile karşılaştırıldı. Grupların kreatinin değerlerinin Mann Whitney U testi karşılaştırılması sonucunda;

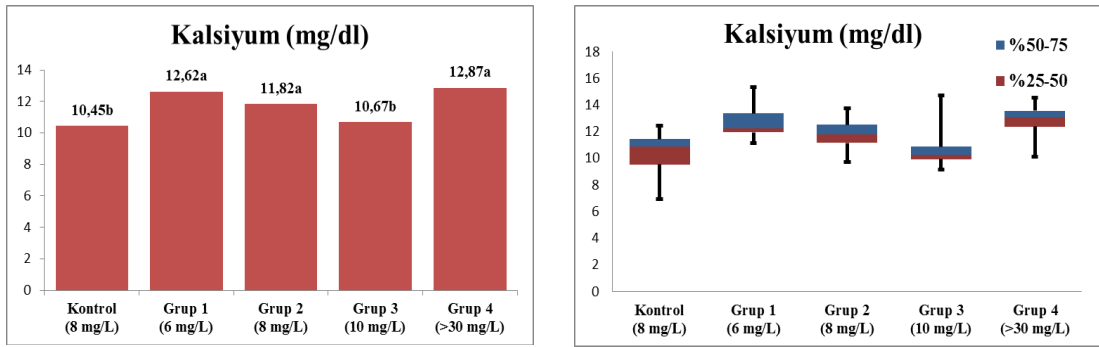
* Grup 1'in kreatinin değerleri, grup 4 ve kontrol grubunun kreatinin değerlerinden daha yüksek saptanmıştır ($p < 0,001$).

* Grup 2'nin kreatinin değerleri, grup 3, grup 4 ve kontrol grubunun kreatinin değerlerinden daha yüksek saptanmıştır ($p < 0,001$).

* Grup 3'ün kreatinin değerleri, grup 4 ve kontrol grubunun kreatinin değerlerinden daha yüksek saptanmıştır ($p < 0,001$).

* Grup 4'ün kreatinin değerleri, kontrol grubunun kreatinin değerlerinden daha yüksek saptanmıştır ($p = 0,041$).

4.1.13. Gruplara Ait Serum Kalsiyum Düzeyleri



Şekil 4.13. Gruplara ait kalsiyum ortalama değerleri ve değerlerinin grup içi dağılımı

Tablo 4.13. Grupların kalsiyum değerlerine ait deskriptif bilgiler

Gruplar	N	Ortalama $\pm$ Std S	Standart Hata	95% Güven aralığı	
				Alt değer	Üst değer
Kontrol (8 mg/L)	20	10,45 $\pm$ 1,46 ^b	0,33	9,77	11,13
Grup 1 (6 mg/L)	20	12,62 $\pm$ 1,11 ^a	0,25	12,10	13,13
Grup 2 (8 mg/L)	20	11,82 $\pm$ 1,04 ^a	0,23	11,33	12,30
Grup 3 (10 mg/L)	20	10,67 $\pm$ 1,36 ^b	0,31	12,38	13,35
Grup 4 (>30 mg/L)	20	12,87 $\pm$ 1,04 ^a	0,23	12,38	13,35

Grupların kalsiyum değerleri, Shapiro-Wilk Normallik testi ile değerlendirildi. Kalsiyum değerleri açısından gruplarda normal dağılım olduğu saptandı.

Varyans homojenliği Levene testi ile sınıandı ($F=0,709$ $P=0,588$). P değeri 0,05 değerinden yüksek olduğundan grupların karşılaştırılmasında Post Hoc testi olarak Tukey testi kullanıldı.

Grupların kalsiyum değerlerinin Tukey testi karşılaştırılması sonucunda;

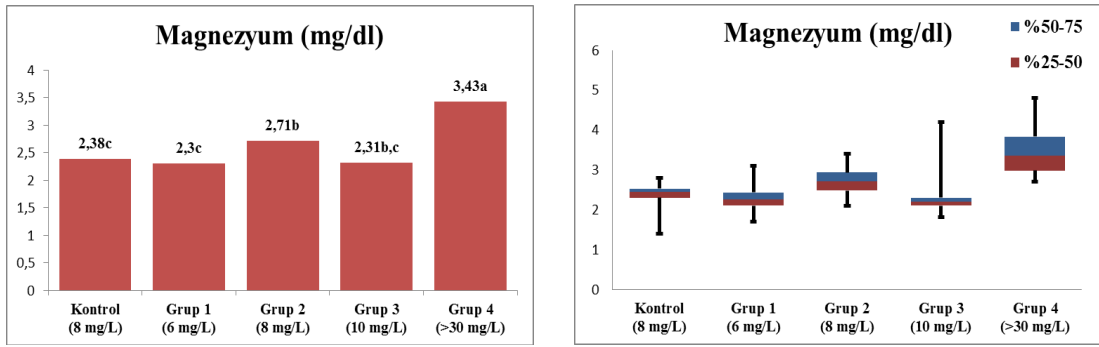
* Grup 1'in kalsiyum değeri, kontrol grubunun kalsiyum değerinden daha yüksek olduğu saptanmıştır ($p<0,001$).

* Grup 2'in kalsiyum değeri, kontrol grubunun kalsiyum değerinden daha yüksek olduğu saptanmıştır ($p=0,005$).

* Grup 4'ün kalsiyum değeri, kontrol grubunun kalsiyum değerinden daha yüksek olduğu saptanmıştır ($p<0,001$).

* Grup 3'ün kalsiyum değerleri, grup 1 ($p<0,001$), grup 2 ($p=0,028$) ve grup 4'ün ($p<0,001$) kalsiyum değerlerinden daha düşük saptanmıştır.

4.1.14. Gruplara Ait Serum Magnezyum Düzeyleri



Şekil 4.14. Gruplara ait magnezyum ortalama değerleri ve değerlerinin grup içi dağılımı

Tablo 4.14. Grupların magnezyum değerlerine ait deskriptif bilgiler

Gruplar	N	Ortalama $\pm$ Std S	Standart Hata	95% Güven aralığı	
				Alt değer	Üst değer
Kontrol (8 mg/L)	20	2,38 $\pm$ 0,32 ^c	0,07	2,23	2,53
Grup 1 (6 mg/L)	20	2,30 $\pm$ 0,30 ^c	0,07	2,15	2,44
Grup 2 (8 mg/L)	20	2,71 $\pm$ 0,35 ^b	0,08	2,55	2,87
Grup 3 (10 mg/L)	20	2,31 $\pm$ 0,52 ^{bc}	0,12	2,07	2,55
Grup 4 (>30 mg/L)	20	3,43 $\pm$ 0,56 ^a	0,13	3,16	3,69

Grupların magnezyum değerleri, Shapiro-Wilk Normallik testi ile değerlendirildi. Magnezyum değerleri açısından gruplarda normal dağılım olduğu saptandı.

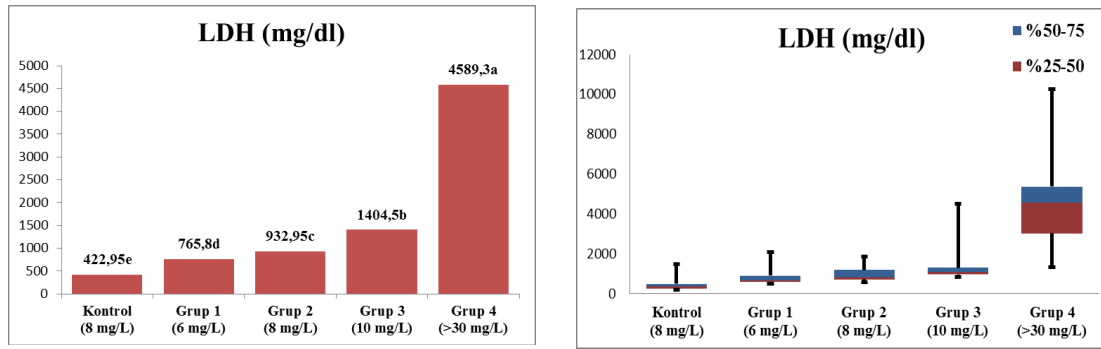
Varyans homojenliği Levene testi ile sınıandı ($F=2,736$ $P=0.033$). P değeri 0,05 değerinden düşük olduğundan grupların karşılaştırmasında Post Hoc testi olarak Dunnett's T3 testi kullanıldı.

Grupların magnezyum değerlerinin Dunnett's T3 testi karşılaştırılması sonucunda;

* Grup 4'ün magnezyum değerleri, diğer dört grubun magnezyum değerlerinden daha yüksek saptanmıştır ($p<0,001$).

* Grup 2'nin magnezyum değerleri, grup 1 ($p=0,003$) ve kontrol grubunun ($p=0,033$) magnezyum değerlerinden daha yüksek saptanmıştır.

4.1.15. Gruplara Ait Serum LDH Aktivite Düzeyleri



Şekil 4.15. Gruplara ait LDH aktivite ortalama değerleri ve değerlerinin grup içi dağılımı

Tablo 4.15. Grupların LDH aktivite değerlerine ait deskriptif bilgiler

Gruplar	N	Ortalama $\pm$ Std S	Standart Hata	95% Güven aralığı	
				Alt değer	Üst değer
Kontrol (8 mg/L)	20	422,95 $\pm$ 298,42 ^e	66,73	283,28	562,62
Grup 1 (6 mg/L)	20	765,80 $\pm$ 360,49 ^d	80,61	597,09	934,51
Grup 2 (8 mg/L)	20	932,95 $\pm$ 349,81 ^c	78,22	769,23	1096,67
Grup 3 (10 mg/L)	20	1404,50 $\pm$ 922,29 ^b	206,23	972,85	1836,15
Grup 4 (>30 mg/L)	20	4589,30 $\pm$ 2250,18 ^a	495,33	3552,56	5626,04

Grupların LDH değerleri, Shapiro-Wilk Normallik testi ile değerlendirildi. LDH aktiviteleri açısından gruplarda normal dağılım olmadığı saptandı.

Gruplar normal dağılım göstermediğinden grup karşılaştırması nonparametrik test olan Kruskal Wallis test ile yapıldı. Yapılan test sonucuna göre grupların LDH değerleri açısından istatistiksel bir farklılık olduğu saptanmıştır ($p < 0,001$). Grupların LDH değerleri açısından farklılığın hangi gruplar arasında olduğunu belirlemek amacıyla gruplar ikili olarak Mann Whitney U testi ile karşılaştırıldı. Grupların LDH değerlerinin Mann Whitney U testi karşılaştırılması sonucunda;

* Grup 4'in LDH değerleri, diğer dört grubun LDH değerlerinden daha yüksek saptanmıştır ($p < 0,001$).

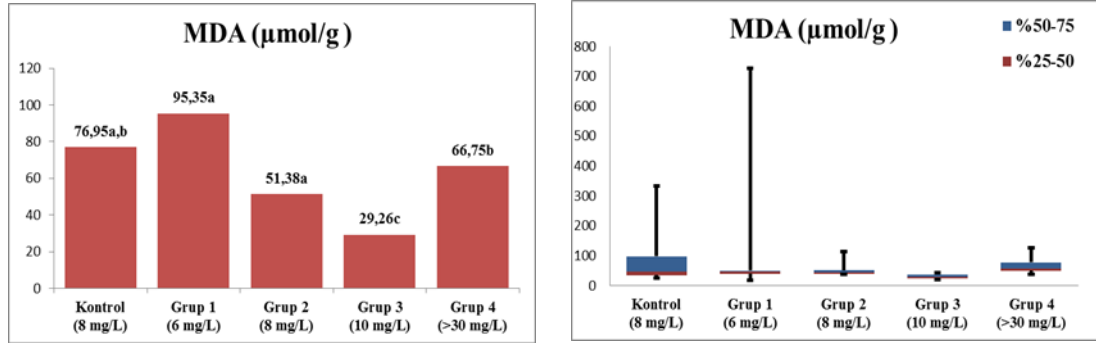
* Grup 3'ün LDH değerleri, grup 1 ($p < 0,001$), grup 2 ($p = 0,010$) ve kontrol grubunun ($p < 0,001$) LDH değerlerinden daha yüksek saptanmıştır.

* Grup 2'nin LDH değerleri, grup 1 ($p = 0,04$) ve kontrol grubunun ($p < 0,001$) LDH değerlerinden daha yüksek saptanmıştır.

* Grup 1'in LDH değerleri, kontrol grubunun LDH değerlerinden daha yüksek saptanmıştır ($p < 0,001$).

4.2. Tüm Gruplarda Kas Dokuda MDA, Seruloplazmin, TOK, TAK ve OSİ, Düzeyleri

4.2.1. Gruplara Ait Kas Doku MDA Düzeyleri



Şekil 4.16. Gruplara ait kas MDA ortalama değerleri ve değerlerinin grup içi dağılımı

Tablo 4.16. Grupların kas MDA değerlerine ait deskriptif bilgiler

Gruplar	N	Ortalama $\pm$ Std S	Standart Hata	95% Güven aralığı	
				Alt değer	Üst değer
Kontrol (8 mg/L)	20	76,95 $\pm$ 77,63 ^{ab}	17,36	40,62	113,28
Grup 1 (6 mg/L)	20	95,35 $\pm$ 160,51 ^a	35,89	20,23	170,46
Grup 2 (8 mg/L)	20	51,38 $\pm$ 20,94 ^a	4,68	41,58	61,18
Grup 3 (10 mg/L)	20	29,26 $\pm$ 7,45 ^c	1,67	25,78	32,75
Grup 4 (>30 mg/L)	20	66,75 $\pm$ 27,67 ^b	6,19	53,80	79,70

Grupların kas MDA değerleri, Shapiro-Wilk Normallik testi ile değerlendirildi. Kas MDA değerleri açısından gruplarda normal dağılım olmadığı saptandı.

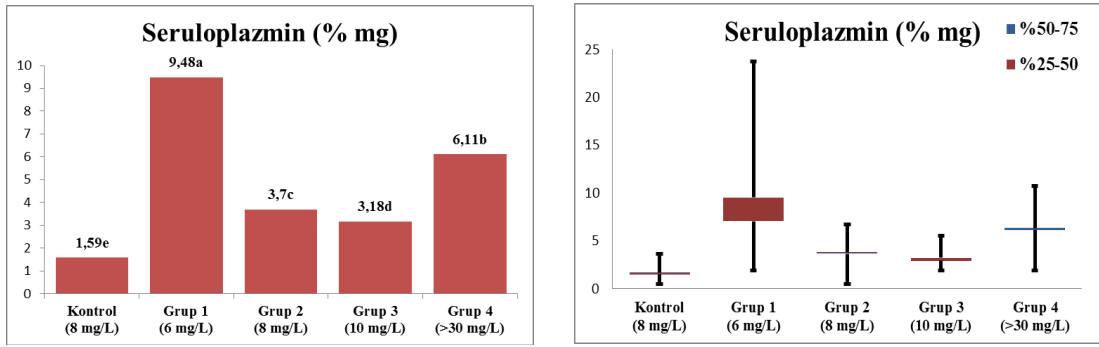
Gruplar normal dağılım göstermediğinden grup karşılaştırması nonparametrik test olan Kruskal Wallis test ile yapıldı. Yapılan test sonucuna göre grupların kas MDA değerleri açısından istatistiksel bir farklılık olduğu saptanmıştır ($p<0,001$). Grupların kas MDA değerleri açısından farklılığın hangi gruplar arasında olduğunu belirlemek amacıyla gruplar ikili olarak Mann Whitney U testi ile karşılaştırıldı. Grupların kas MDA değerlerinin Mann Whitney U testi karşılaştırılması sonucunda;

* Grup 3'ün kas MDA değerleri, diğer dört grubun kas MDA değerlerinden daha düşük saptanmıştır ($p<0,001$).

* Grup 1'in kas MDA değerleri, grup 4'ün kas MDA değerlerinden daha yüksek saptanmıştır ($p=0,012$).

* Grup 2'nin kas MDA değerleri, grup 4'ün kas MDA değerlerinden daha düşük saptanmıştır ($p=0,007$).

4.2.2. Gruplara Ait Kas Doku Seruloplazmin Düzeyleri



Şekil 4.17. Gruplara ait kas seruloplazmin ortalama değerleri ve değerlerinin grup içi dağılımı

Tablo 4.17. Grupların kas seruloplazmin değerlerine ait deskriptif bilgiler

Gruplar	N	Ortalama $\pm$ Std S	Standart Hata	95% Güven aralığı	
				Alt değer	Üst değer
Kontrol (8 mg/L)	20	1,59 $\pm$ 0,75 ^e	0,17	1,24	1,94
Grup 1 (6 mg/L)	20	9,48 $\pm$ 5,42 ^a	1,21	6,95	12,02
Grup 2 (8 mg/L)	20	3,70 $\pm$ 1,28 ^c	0,29	3,10	4,30
Grup 3 (10 mg/L)	20	3,18 $\pm$ 0,83 ^d	0,18	2,79	3,56
Grup 4 (>30 mg/L)	20	6,11 $\pm$ 1,70 ^b	0,38	5,32	6,91

Grupların kas seruloplazmin değerleri, Shapiro-Wilk Normallik testi ile değerlendirildi. Kas seruloplazmin değerleri açısından gruplarda normal dağılım olmadığı saptandı. Gruplar normal dağılım göstermediğinden grup karşılaştırması nonparametrik test olan Kruskal Wallis test ile yapıldı. Yapılan test sonucuna göre grupların kas seruloplazmin değerleri açısından istatistiksel bir farklılık olduğu saptanmıştır ($p<0,001$). Grupların kas seruloplazmin değerleri açısından farklılığın hangi gruplar arasında olduğunu belirlemek amacıyla gruplar ikili olarak Mann Whitney U testi ile karşılaştırıldı.

Grupların kas seruloplazmin değerlerinin Mann Whitney U testi karşılaştırılması sonucunda;

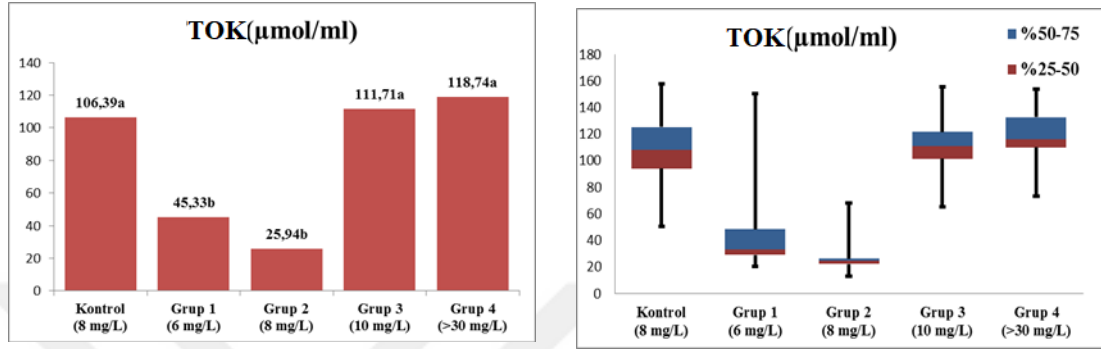
* Grup 1'in kas seruloplazmin değerleri, diğer dört grubun kas Seruloplazmin değerlerinden daha yüksek saptanmıştır ($p<0,001$).

* Grup 2'nin kas seruloplazmin değerleri, grup 3 ($p=0,005$) ve kontrol grubunun ($p<0,001$) kas seruloplazmin değerlerinden daha yüksek, grup 4'ün ($p<0,001$) kas Seruloplazmin değerlerinden daha düşük saptanmıştır.

* Grup 3'ün kas seruloplazmin değerleri, grup 4 kas seruloplazmin değerlerinden daha düşük ($p<0,001$), kontrol grubunun kas seruloplazmin değerlerinden daha yüksek saptanmıştır ($p<0,001$).

* Grup 4'ün kas seruloplazmin değerleri, kontrol grubunun kas seruloplazmin değerlerinden daha yüksek saptanmıştır ($p<0,001$).

4.2.3. Gruplara Ait Kas TOK Düzeyleri



Şekil 4.18. Gruplara ait kas TOK ortalama değerleri ve değerlerinin grup içi dağılımı

Tablo 4.18. Grupların kas TOK değerlerine ait deskriptif bilgiler

Gruplar	N	Ortalama $\pm$ Std S	Standart Hata	95% Güven aralığı	
				Alt değer	Üst değer
Kontrol (8 mg/L)	20	106,39 $\pm$ 29,62 ^a	6,62	92,53	120,25
Grup 1 (6 mg/L)	20	45,33 $\pm$ 31,51 ^b	7,05	30,58	60,07
Grup 2 (8 mg/L)	20	25,94 $\pm$ 10,48 ^b	2,34	21,03	30,84
Grup 3 (10 mg/L)	20	111,71 $\pm$ 21,41 ^a	4,79	101,69	121,73
Grup 4 (>30 mg/L)	20	118,74 $\pm$ 20,18 ^a	4,51	109,29	128,18

Grupların kas TOK değerleri, Shapiro-Wilk Normallik testi ile değerlendirildi. Kas TOK değerleri açısından gruplarda normal dağılım olduğu saptandı.

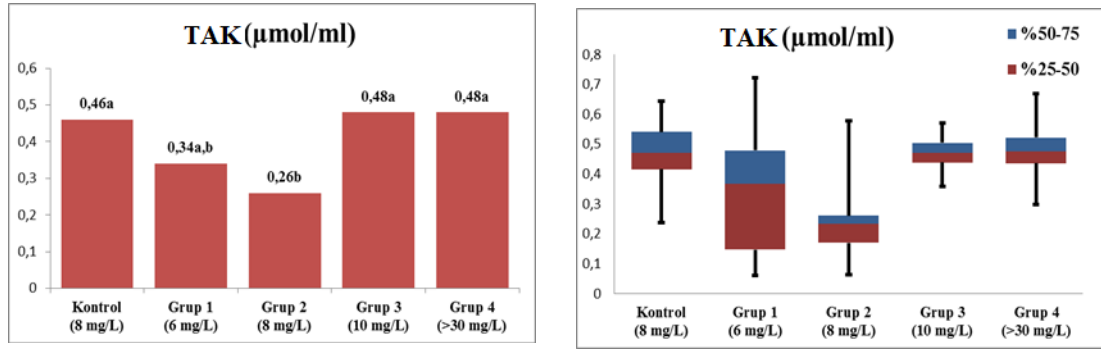
Varyans homojenliği Levene testi ile sınıandı ($F=4,124$ $P=0,004$). P değeri 0,05 değerinden düşük olduğundan grupların karşılaştırmasında Post Hoc testi olarak Dunnett's T3 testi kullanıldı.

Grupların kas TOK değerlerinin Dunnett's T3 testi karşılaştırılması sonucunda;

* Grup 1'nin kas TOK değerleri, grup 3, grup 4 ve kontrol grubunun kas TOK değerlerinden daha düşük saptanmıştır ($p<0,001$).

* Grup 2'nin kas TOK değerleri, grup 3, grup 4 ve kontrol grubunun kas TOK değerlerinden daha düşük saptanmıştır ($p<0,001$).

4.2.4. Gruplara Ait Kas Doku TAK Düzeyleri



Şekil 4.19. Gruplara ait kas TAK ortalama değerleri ve değerlerinin grup içi dağılımı

Tablo 4.19. Grupların kas TAK değerlerine ait deskriptif bilgiler

Gruplar	N	Ortalama $\pm$ Std S	Standart Hata	95% Güven aralığı	
				Alt değer	Üst değer
Kontrol (8 mg/L)	20	0,46 $\pm$ 0,10 ^a	0,02	0,41	0,51
Grup 1 (6 mg/L)	20	0,34 $\pm$ 0,21 ^{ab}	0,05	0,24	0,44
Grup 2 (8 mg/L)	20	0,26 $\pm$ 0,16 ^b	0,03	0,18	0,33
Grup 3 (10 mg/L)	20	0,48 $\pm$ 0,05 ^a	0,01	0,45	0,50
Grup 4 (>30 mg/L)	20	0,48 $\pm$ 0,08 ^a	0,02	0,45	0,52

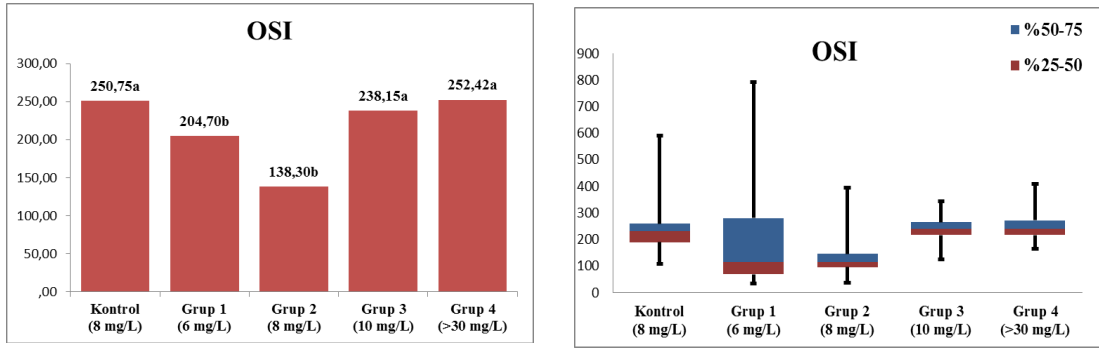
Grupların kas TAK değerleri, Shapiro-Wilk Normallik testi ile değerlendirildi. Kas TAS değerleri açısından gruplarda normal dağılım olduğu saptandı.

Varyans homojenliği Levene testi ile sınıandı ($F=9,459$ $P<0,001$). P değeri 0,05 değerinden dūşük olduğundan grupların karşılaştırmasında Post Hoc testi olarak Dunnett's T3 testi kullanıldı.

Grupların kas TAK değerlerinin Dunnett's T3 testi karşılaştırılması sonucunda;

* Grup 2'nin kas TAK deęerleri, Grup 3, Grup 4 ve kontrol grubunun kas TAS deęerlerinden daha dūşük saptanmıştır ($p<0,001$).

4.2.5. Gruplara Ait Kas Doku OSİ Analiz Bulguları



Şekil 4.20. Gruplara ait kas OSİ ortalama değerleri ve değerlerinin grup içi dağılımı

Tablo 4.20. Grupların kas OSİ değerlerine ait deskriptif bilgiler

Gruplar	N	Ortalama ± Std S	Standart Hata	95% Güven aralığı	
				Alt değer	Üst değer
Kontrol (8 mg/L)	20	250,75±128,46 ^a	28,72	190,63	310,87
Grup 1 (6 mg/L)	20	204,70±206,21 ^b	46,11	108,19	301,21
Grup 2 (8 mg/L)	20	138,30±93,33 ^b	20,87	94,63	181,98
Grup 3 (10 mg/L)	20	238,15±50,30 ^a	11,25	214,61	261,69
Grup 4 (>30 mg/L)	20	252,42±61,24 ^a	13,69	223,75	281,08

Grupların kas OSİ değerleri, Shapiro-Wilk Normallik testi ile değerlendirildi. Kas OSİ değerleri açısından gruplarda normal dağılım olmadığı saptandı.

Gruplar normal dağılım göstermediğinden grup karşılaştırması nonparametrik test olan Kruskal Wallis test ile yapıldı. Yapılan test sonucuna göre grupların kas OSİ değerleri açısından istatistiksel bir farklılık olduğu saptanmıştır ($p<0,001$). Grupların kas OSİ değerleri açısından farklılığın hangi gruplar arasında olduğunu belirlemek amacıyla gruplar ikili olarak Mann Whitney U testi ile karşılaştırıldı.

Grupların kas OSİ değerlerinin Mann Whitney U testi karşılaştırılması sonucunda;

* Grup 1'nin kas OSİ değerleri, grup 3, grup 4 ve kontrol grubunun kas OSİ değerlerinden daha düşük saptanmıştır ($p<0,01$).

* Grup 2'nin kas OSİ değerleri, grup 3, grup 4 ve kontrol grubunun kas OSİ değerlerinden daha düşük saptanmıştır ($p<0,01$).

5. TARTIŞMA

Sağlıklı gıdaya yönelik küresel talep her geçen gün artmaktadır. Aynı şekilde ülkemizde de artan gıda ihtiyacını karşılamak için doğal kaynaklarımız yıldan yıla tükenmektedir. Bu nedenle tarımın doğru şekillerde ve sürdürülebilir yapılması en önemli ulusal kalkınma hedefleri kapsamındadır. İnsan beslenmesinde biyolojik değerliliğinin çok yüksek olması nedeni ile hayvansal gıdalar özellikle önem arz etmektedir. Hayvansal protein kaynakları içerisinde balık, beslenmemizde en güçlü ve ulaşılabilir kaynaklarımızdan birisidir. Bu nedenle su ürünleri yetiştiriciliği, insanların beslenmesini sağlamada kilit bir faktördür. Gökkuşığı alabalığı (*Oncorhynchus mykiss*) yüksek dayanıklılık ve verim özellikleri sayesinde, dünyada ve ülkemizde en fazla yetiştiriciliği yapılan türdür. Gökkuşığı alabalığı için su sıcaklığının üst sınırı 24 °C'dir. Ülkemizde bir çok barajda ve denizlerimizde yazın su sıcaklığı 24 °C'nin üzerine çıkmaktadır. Bu sebeple bu barajlarda üretim yıl boyunca devam edememekte, özellikle hasat yaşı 1'in üstünde veya hasat ağırlığı 1000 gramın üzerinde olması planlanan büyük alabalık üretiminde balıkların, yaz su sıcaklıklarının düşük olan barajlara transfer edilmesi zorunlu hale gelmiştir. Ayrıca denizlerde üretim verilerinin baraj tesislerine nazaran daha iyi olması sebebiyle, hasat öncesinde 6 ay süre için denizlere canlı balık transfer etmek hem ticari olarak hem de balığın et kalitesi için gereklidir. Aci ve ark.'ların (2020) yapmış olduğu çalışmada deniz suyunda yetiştirilen diploid gökkuşığı alabalıkları ile tatlı suda yetiştirilen Gökkuşığı alabalıklarının kas dokuları karşılaştırıldığında denizde yetiştirilen Gökkuşığı alabalıklarının insan beslenmesinde daha iyi bir mineral kaynağı olduğu bildirilmiştir (Aci et al., 2020). Tüm bu sebeplerle üretim boyunca su koşullarının uygun olduğu yerlere balıkların canlı olarak transfer edilmesi avantaj sağlamaktadır. Transfer işlemi kuluçkahaneden başlayarak hasata kadar geçen süre içerisinde 3 – 4 defa yapılabilmektedir. Transfer işlemleri yetiştiriciler için olduğu kadar balıklar için de büyük stres kaynağıdır. Her transfer işleminden sonra üreticiler belirli miktardaki ölümleri normal karşılamaktadır. Bunun yanı sıra transfer işlemleri öncesinde balıkların aç bırakılması ve transfer sonrasında yemleme oranlarının düşük tutularak bu süre içerisindeki biomas artışından da feragat edilmektedir. Araştırmacılar genellikle transfer işleminin balıklar üzerindeki etkileri ve çeşitli katkılar ile zararlı etkilerin azaltılması üzerine yayınlar yapmıştır. Fakat transfer işlemleri sırasında kullanılan suyun fizikokimyasal özelliklerinin iyileştirilmesi üzerine çalışmalar sınırlı sayıdadır. Transfer işlemleri

sırasında suyun fizikokimyasal özelliklerinin balıkların optimum yaşam koşulları içerisinde tutulması hem hayvan refahı hem sağlığı açısından çok önemlidir (Vanderzwalmen et al., 2019).

Özellikle sudaki çözünmüş oksijen hem fizyolojik açıdan hem de hayvan refahı açısından büyük öneme sahiptir. İyi tasarlanmış taşıma koşulları ve uygun çevresel faktörler, balıkların sağlığını ve refahını korumaya yardımcı olur. Bu, balıkların stres seviyelerini azaltır ve taşıma sırasında olumsuz etkilerin minimize edilmesini sağlar. Hayvan refahının sağlanması, kaliteli ürün elde etmek ve sürdürülebilir bir balıkçılık endüstrisi için vazgeçilmez bir unsurdur. Kültür balıkçılığında mevcut transfer işlemleri sırasında tanklardaki çözünmüş oksijen seviyesi maksimumda tutulmakta ve transfer işlemleri hiperoksik koşullarda yapılmaktadır. Balıklarda stres ile ilgili bir çok araştırma olmasına rağmen transfer sırasında çözünmüş oksijen seviyesinin değiştirilmesi ile oluşan stresin etkilerini belirlemeye yönelik bir çalışma bulunmamaktadır (Lushchak and Bagnyukova, 2006; Lygren et al., 2000; Omlin and Weber, 2010; Ritola et al., 1999). Çalışmamızda gökkuşağı alabalığı transferleri sırasında farklı oksijen seviyelerinin, serum ve kas dokusunda metabolik değerleri ile oksidatif stres değişimlerini araştırarak, bu sonuçlar ışığında transfer sırasında en uygun çözünmüş oksijen değerini belirlemeyi hem bilimsel anlamda katkı hem de akuakültür sektörünün kullanımına sunmayı amaçladık. Çalışmada serumda GSH-Px, SOD ve LDH enzim aktivitesi, MDA, Cp, TOK, TAK, OSİ, kortizol, glukoz, üre, ürik asit, kreatinin, Ca, Mg ve kas dokusunda MDA, Cp, TOK, TAK ve OSİ değerleri araştırıldı.

Balıklarda stres faktörleri, serumda ve dokuda ROS artışına ve dolayısıyla lipid peroksidasyonuna neden olabilir (Christie and Costa, 1984; Lushchak and Bagnyukova, 2006). Lipid peroksidasyonunun nihai ürünü olarak MDA üretilir. Dokuda ve serumda MDA düzeyinin artması, serbest radikallerin toksik aktivitesinin göstergesidir (Doyotte et al., 1997). Gökkuşağı alabalıklarında transferin serum MDA düzeylerine etkisinin araştırıldığı bir çalışmada, yavru alabalıklardan 30 dakikalık bir transfer işlemi öncesinde, transfer sırasında ve sonrasında (6 ve 12. saatlerde) numune alınmış ve serum MDA değerlerinin 6. saatte istatistiksel olarak yükseldiği 12. saatte ise transfer öncesi seviyesine gerilediği bildirilmiştir (Keleştemur ve Özdemir, 2010). Hipoksi maruziyetinin etkilerinin araştırıldığı bir çalışmada ise 10 dakika boyunca 2–5 mg/L çözünmüş oksijen bulunan tanklarda hipoksik şoka maruz bırakılan balıklarda plazma MDA seviyesinde artış olduğu ve hipoksinin lipid peroksidasyonuna

neden olduğu bildirilmiştir (Han et al., 2022). Çalışmamızda kontrol grupları ile farklı çözünmüş O₂ içeren transfer grupların serum MDA değerleri karşılaştırıldığında istatistiksel açıdan bir farklılık saptanmadı. Hem çözünmüş oksijen seviyesi ile oluşturulan stresin hem de transfer ile ilgili stresin serum MDA seviyelerini araştıran her iki çalışmada da MDA değerinde artış olmasına rağmen çalışmamızda herhangi bir değişiklik olmadığı görüldü. Yapılan diğer iki araştırmaya karşın çalışmamızda transfer süreleri daha uzun olduğundan dolayı balıklarda yeni koşullara adaptasyon sürecinin başladığını bu nedenle serum MDA değerlerinin kontrol seviyelerine geri döndüğünü düşünmekteyiz.

Seruloplazmin, ferritin ve metalloproteinler gibi metal bağlayıcı proteinler, toksik metalleri detoksifiye ederek oksidatif savunmada önemli bir rol oynar (Atanasiu et al., 1998). Seruloplazminin serumda değişimi ve antioksidan etkisi arasındaki ilişkiyi belirlemek için, diğer oksidan ve antioksidan değerlerle birlikte değerlendirme yapılması önemlidir. Bu şekilde, seruloplazminin oksidatif stresin düzenlenmesindeki rolü daha iyi anlaşılabilir (Gitlin, 1988). Yapılan bir araştırmada, 19 gün boyunca hiperoksiye maruz bırakılan ratlarda serum seruloplazmin seviyelerinde 7. güne kadar bir değişim olmadığı, 8. günde bir artış olduğu bildirilmiştir (Moak and Greenwald, 1984). Yapılan başka bir çalışmada, koby balıklarına uygulanan hipoksik stres sonrasında 1, 2, 4, 6 ve 24. saatlerde seruloplazmin seviyeleri kontrol edilmiştir. Sonuçlar, serum seruloplazmin değerlerindeki değişimin hemen yükselmeye başladığı ve 24. saatte en yüksek seviyeye ulaştığını bildirmiştir (Cnaani and McLean, 2009). Aynı şekilde tilapia balıklarında yapılan bir çalışmada hipoksik koşullar sonrasında seruloplazmin seviyelerinde 270 dakika sonra artış olduğu bildirilmiştir (Cnaani et al., 2004). Çalışmamızda yapılan karşılaştırmalar sonucunda tüm gruplar arasında istatistiksel açıdan anlamlı bir fark saptanmamıştır. Çözünmüş oksijenin yüksek olduğu durumlarda ise hücre içerisinde oluşacak süperoksit radikallerinin indirgenmesinde primer mekanizma olarak SOD'un görev yaptığı, maruziyet süresinin artmasıyla sekonder olarak feroksidaz aktivitesinin başladığını düşünmekteyiz. SOD ve GSH-Px aktivitesindeki değişikliklere rağmen seruloplazmin değerinde değişiklik olmaması bu görüşümüzü desteklemektedir. Transfer süresinin uzunluğu, kültür balıkçılığında yaygın olan bir durumdur. Çalışmamızda transfer işlemleri yaklaşık 240 dakika sürmüştür. Bu nedenle, Gökkuşluğu alabalıkları üzerinde, daha uzun transfer sürelerinin serum seruloplazmin değerleri üzerindeki etkisini inceleyen yeni çalışmalara ihtiyaç vardır. Bu çalışmalar, balıkların uzun süreli taşıma koşullarında

seruloplazmin düzeylerinin nasıl değiştiğini ve antioksidan etkisinin sürdürülebilirliğini daha iyi anlamamıza yardımcı olabilir.

Süperoksit dismutaz ve GSH-Px enzimleri, reaktif oksijen türleri ile süperoksit radikallerine karşı en önemli antioksidan savunma sistemlerinden biridir. SOD süperoksit radikallerini indirgeyerek hidrojen peroksit'e dönüşümünü sağlar. Glutasyon peroksidaz enzimi ise (GSH-Px), SOD tarafından indirgenmiş süperoksit radikallerinin oluşturduğu H_2O_2 'yi H_2O ve O_2 'ye dönüştürerek etkisizleştirir (Paiva et al., 2019). GSH-Px aktivitesindeki azalma, H_2O_2 düzeylerinin artmasına dolayısıyla oksidatif strese neden olmaktadır (Ighodaro and Akinloye, 2018). Çalışmamızda kontrol ve transfer grupları arasında istatistiki olarak anlamlı bir fark bulunmazken, farklı çözünmüş O_2 içeren transfer gruplarının kendi aralarında yapılan karşılaştırmada normoksik koşulların bulunduğu grup 3'ün SOD aktivite değeri grup 2'nin SOD aktivite değerine göre daha yüksek olduğu saptanmıştır. Normoksik koşullarda, grup 2 ve 3'te olduğu gibi, 2 mg/L çözünmüş oksijen değişimi, reaktif oksijen radikallerinin üretiminde etkili bir faktördür. Grup 3'te artan oksijen radikallerine karşı, SOD miktarının grup 2'ye göre arttığı düşünülmektedir. Ayrıca çalışmamızda, transfer ve kontrol grupları karşılaştırıldığında, grup 1, grup 2 ve grup 4'ün GSH-Px aktivitesi kontrol grubuna göre azaldı. Farklı çözünmüş O_2 içeren transfer grupları arasında yapılan karşılaştırmada ise, grup 3'ün tüm transfer gruplarına göre GSH-Px aktivitesinin arttığı görüldü. Ritola ve ark. (2002) yaptığı bir çalışmaya göre normoksik koşullarda süpersaturasyonuna (% 140) maruz bırakılan balıklarda plazma SOD aktivitesinde artış olduğunu bildirmişlerdir (Ritola, Peters, et al., 2002). Elde ettiğimiz sonuçlar, Ritola ve arkadaşlarının çalışmasıyla uyumlu olup, oksijenin neden olduğu süperoksit radikallerinin artan oluşumunu detoksifiye etmek için antioksidan savunma mekanizmalarının, SOD dahil, aktive olduğunu göstermektedir. Çalışmamızda farklı çözünmüş O_2 içeren transfer gruplarının kendi aralarında karşılaştırılması sonucunda grup 3 GSH-Px aktivitesi grup 2'ye göre istatistiki olarak artış göstermesi de bu durumu desteklemektedir. Yapılan başka bir çalışmada, uzun süreli (7 hafta) hiperoksijene maruz bırakılan balıklarda karaciğer SOD ve GSH-Px aktivitelerinde düşüş olduğu bildirilmiştir (Lygren et al., 2000). Radi ve ark. (1988) yaptıkları bir çalışmada 12 hafta boyunca hiperoksik koşullara maruz kalan balıklarda hepatik antioksidan enzim aktivitelerinin azaldığını ya da değişmediğini bildirmiştir (Radi et al., 1988). Bir başka çalışmada ise kısa süreli hiperoksiye maruz bırakılan gökkuşağı alabalıkları karaciğer ve beyin dokularında SOD aktivitelerinde bir

değişiklik olmadığı belirtilmiştir (Desrochers and Hoffert, 1983). Çalışmamızda, kontrol grubu ile hiperoksik grup arasında istatistiksel açıdan anlamlı bir fark bulunmamıştır. Bu durumun nedeninin, hiperoksiye maruziyet süresi olabileceğini düşündürmektedir.

Antioksidan savunma sisteminin en önemli özelliği, sistemin tüm bileşenlerinin reaktif oksijen tiplerine karşı bir sinerji yaratacak şekilde hareket etmesidir (Chaudière and Ferrari-Iliou, 1999). Bu nedenle, tüm antioksidanlar canlılarda homeostazın sağlanmasında hayati öneme sahiptir (Doyotte et al., 1997). Kandaki oksidan ve antioksidanların bir arada hareket etmesi sonucunda, her birinin tek başına yarattığı etkilerin ötesinde daha fazla oksidan ve antioksidan etkileri ortaya çıkar. Bu nedenle, TOK ve TAK ölçümlerinin, oksidan ve antioksidanları ayrı ayrı değil, toplam oksidan/antioksidan dengesini belirlemek için daha yararlı olabileceği bildirilmektedir (Erel, 2005). Çalışmamızda, kontrol grupları ile farklı çözünmüş O₂ içeren transfer grupları karşılaştırıldığında, transfer edilen gruplarda çözünmüş oksijen seviyesi arttıkça TOK seviyelerinde bir artış gözlemlenmiştir. Bu durum, balıklarda yapılan transfer işlemlerinin total oksidan seviyelerini arttırdığını göstermektedir. Van balıklarında (*Alburnus tarichi*, Guldenstadt, 1814) yapılan bir çalışmada, üreme göçlerinin ve açlığın plazma TOK seviyelerinde artışa neden olduğu bildirilmiştir (Oğuz vd., 2019). Transfer edilen gruplar kendi aralarında karşılaştırıldığında ise istatistiki olarak anlamlı bir fark olmadığı görülmüştür. Yassı başlı kefal balıklarında (*Mugil cephalus*) yapılan bir çalışmada hareketi kısıtlanacak şekilde tanklara koyulduktan sonra 24, 48 ve 72. saatlerde serum örnekleri alınmış ve kontrol grubuna göre tüm hareketi kısıtlanan balıklarda serum TOK seviyelerinde artış olduğu bildirilmiştir (Fazio et al., 2014).

Çalışmamızda serum TAK değerlerinin kontrol ve farklı çözünmüş O₂ içeren transfer grupları arasındaki karşılaştırılmasında, istatistiki olarak anlamlı bir sonuç bulunmamıştır. Farklı çözünmüş oksijen içeren tanklarda transfer edilen gruplar kendi aralarında karşılaştırıldığında en düşük serum TAK değeri hiperoksik koşulların bulunduğu grup 4'te olduğu görülmüştür. Fazio ve ark. (2014) tarafından yapılan çalışmaya göre hareketi kısıtlanan balıklarda kısıtlanmanın 24. saatinde TAK seviyeleri artış gösterirken kısıtlanma süresi arttıkça (48 ve 72. saatlerde) TAK seviyelerinde kontrol grubu ile anlamlı bir artış olmadığını bildirmişlerdir (Fazio et al., 2014). Yapmış olduğumuz çalışmada en yüksek OSİ değerinin hiperoksik koşullarda olduğunu tespit ettik. Gökkuşluğu alabalıklarında yapılan transfer işlemleri, serum TOK

seviyelerinde bir artışa neden olmaktadır. Ayrıca, transfer işlemi sırasında hiperoksijene maruz kalan balıklarda antioksidan seviyelerinde bir azalma ve dolayısıyla OSİ değerinde bir artış gözlemlenmiştir. Bulgularımıza göre, transfer sırasında normoksik koşullarda yapılan taşımacılık sırasında balıklarda TOK seviyelerinde artışa karşın, TAK seviyelerinde de bir artış olduğu ve balıklarda transfer sırasında normoksik koşulların oksidatif stres etkilerini azaltabileceğini düşünmekteyiz.

Balıkların sağlık durumunu anlamak için bir çok biyobelirteç kullanılmaktadır. Bir çok faktör, kortizol ve glukoz gibi biyobelirteçlerin seviyelerinde değişikliğe yol açmaktadır. Bu faktörlerden bazıları, bir adaptasyon veya uyum mekanizması olarak organizmadaki metabolik değişiklikler ile ilgiliyken bir kısmı da kan alma prosesleri sırasında araştırmacı tarafından oluşturulan stres ile ilgilidir (Martínez-Porchas et al., 2009). Kortizol seviyeleri için kan alımı kritik bir uygulamadır. Çünkü bu hormon strese çok duyarlıdır. Simpson, plazma kortizolündeki istikrarlı artışın, tatlı suda artan stres seviyelerine spesifik olmayan bir yanıt olarak kabul edilebileceğini öne sürmüştür (Simpson, 2022). Balıklarda hormon seviyelerindeki ritmik değişimler olarak çeşitli faktörler gösterilmiştir. Bunlar, ışık/karanlık döngüsü, ay döngüsü, uyku/uyanma döngüsü, beslenme aktivitesi ve sıcaklık gibi faktörleri içerir (Rance et al., 1982). Çalışmamızda numune alımları tüm gruplarda aynı saatlerde gerçekleştirilerek, serum kortizol seviyelerindeki değişimlerin gün ışığından kaynaklanan etkilerinin ortadan kalkması sağlanmıştır. Gökkuşuğu alabalığında akut taşıma stresine karşı karaciğer metabolik tepkisinin kısa vadeli zaman seyrini aydınlatmak için yapılan bir çalışmada, tanklardaki balıklar 5 dakika boyunca kovalama stresine maruz bırakılıp stres sonrası belirli aralıklarla serum örneği alınmış ve serum kortizol seviyeleri 45. dakikada pik yaptıktan sonra düşüşe geçerek 480. dakikada kontrol seviyesine geri döndüğü bildirilmiştir (López-Patiño et al., 2014). Yine aynı türdeki balıklarda yapılan başka akut stres çalışmalarında benzer sonuçlar bulunmuş ve akut stres sonrası 30. dakikadan sonra pik yapan kortizol seviyeleri ortalama 4 – 6 saat içerisinde başlangıç seviyelerine indiği bildirilmiştir (Farbridge and Leatherland, 1992; Jentoft et al., 2005; Vijayan et al., 1994; Vijayan and Moon, 1992). Yapılan bu çalışmalara karşın, çalışmamızda farklı sonuçlar elde edilmiştir. Transfer işlemi bir stres sebebi olmasına rağmen, transfer sonunda balıkların, serum kortizol seviyeleri düştüğü tespit edilmiştir. Transfer sırasında kullanılan tankların malzeme yapısı gereği güneş ışığı tank içerisine giremez. Bu nedenle tamamen karanlıkta yapılan transfer sebebiyle serum kortizol

konsantrasyonlarında düşüş olduğunu düşünmekteyiz. Transfer işlemi için balıkların hazırlanması ve tanklara yüklenmesi sırasında serum kortizol seviyelerinde artış olması beklenmektedir. Çalışmamızda transfer işlemi için hazırlanan balıklarda kortizol seviyesi yüksekken transfer sırasında düşmesi hem yaklaşık 4 saat süren transfer süremizden hem de gün ışığının transfer tanklarının içresine girmemesinden kaynaklandığını düşünmekteyiz. Bizim bulgularımız ile uyuşmayan ve farklı balık türlerinde yapılan bir çok araştırmada plazma kortizol seviyelerinin gece boyunca arttığı, ışığın başlamasından önce zirveye ulaştığı ve gün ışığı süresince düşerek karanlık başlamadan önce en düşük seviyelere düştüğünü bildirilmiştir (Fivizzani et al., 1984; Garcia and Meier, 1973; Peter et al., 1978). Ayrıca doğal şartlarda sudaki çözünmüş oksijenin kaynağı, fotosentez yapan fitoplanktonlar, algler ve yosunlardır. Gün ışığının olmadığı durumlarda sudaki çözünmüş O₂ seviyesi düşerek çözünmüş CO₂ seviyesinde artış olmaktadır. Bu da akuatik canlılarda stres sebebi olarak serum kortizol seviyelerinde artışa neden olabilmektedir. Transfer sırasında karanlık koşullarda sudaki çözünmüş oksijenin doğal ortama göre yüksek olması balıklarda stres belirteci olan kortizol seviyesinin düşmesine neden olabilmektedir. Yapılan bir çalışmada, Gökkuşluğu alabalıklarına, sabit çözünmüş oksijen koşullarında, 7 gün boyunca 24 saat karanlık fotoperiyod uygulanmış, 4 saatlik aralıklarla plazma kortizol seviyelerine bakılmış ve gece boyunca plazma kortizol seviyelerinin yükseldiği görülmüştür. Gökkuşluğu alabalıklarında plazma kortizol konsantrasyonlarının, geceleri ışık saatlerinden daha yüksek seviyelere sahip bir sirkadiyen ritim gösterdiği bildirilmiştir (Rance et al., 1982). Farklı çözünmüş oksijen içeren transfer gruplarını kendi arasında değerlendirdiğimiz zaman hipoksik koşullardaki grup 1'in serum kortizol değerinin grup 2'nin serum kortizol değerinden daha yüksek olduğu saptanmıştır. Tanklarda gün ışığı olmaması ve çözünmüş oksijen konsantrasyonunun tıpkı doğadaki gibi düşük olması nedeniyle kortizol seviyesinin artması beklenmektedir. Bu nedenle sonuçlarımız gün ışığı ile ilgili yapılan çalışmalarla uyum göstermektedir. Kortizol, stres yanıtının ilk aşamasında aktif hale gelerek glukoneogenez ve glikojenoliz süreçlerini uyarak glukoz seviyelerini artırır (Wu et al., 2017). Serumda bulunan kortizol düzeyi diurnal değişim gösterir ve yarı ömrü 80-120 dakikadır (Uysal, 2008). Bu durum, glukozun ikincil stres tepkisinin bir belirteci olarak kullanılmasını sağlar (Wendelaar Bonga, 1997). Gökkuşluğu alabalıklarında akut stresin zamana bağlı etkilerini görmek amaçlı yapılan bir çalışmada, stres sonrasında belirli süre aralıklarıyla serum glukoz seviyeleri ölçülmüş, 60–120 dakikadan sonra

serum glukoz seviyeleri pik yaptığı ve sabit kaldığı, glukoz seviyelerinin eski haline dönmesi için daha uzun sürelerle ihtiyaç olduğu bildirilmiştir (López-Patiño et al., 2014). Çalışmamızda, serum glukoz seviyelerini değerlendirdiğimizde, transfer edilen tüm grupların serum glukoz seviyelerinin kontrol grubuna göre yükseldiğini tespit ettik. Glukoz seviyelerindeki bu yükseklik, transfer kaynaklı stresin yanı sıra artan enerji ihtiyacı nedeniyle glikoneogenez ve glikojenolizin artmasından kaynaklanabileceğini düşündük. Ayrıca, farklı çözünmüş O₂ içeren transfer grupları arasında hiperoksik koşullara maruz kalan grup 4'ün, diğer transfer gruplarına göre istatistiksel olarak daha yüksek glukoz seviyelerine sahip olduğunu tespit ettik. Hiperoksik koşullarda stres etkilerinin normoksik koşullara göre daha uzun sürebileceğini düşünmekteyiz. Bu nedenle, kortizol seviyeleri düşse bile glukoz seviyelerinin normale dönmediğini düşünüyoruz. Ayrıca hiperoksik koşullarda serum OSI değerinin tüm gruplar içerisinde en yüksek değerde olması da bu görüşümüzü desteklemektedir.

Protein katabolizmasında artışa neden olan patolojik ve fizyolojik olayların bir sonucu olarak serum üre ve ürik asit değerlerinde artış görülür. Protein katabolizması sonucu açığa çıkan üre ve amonyak % 80-90 oranında solungaçlardan atılır (Doğan ve Erdem, 2008). Karlsson ve ark.'ın (2011) yaptığı bir çalışmada, hiperoksiye maruz bırakılan morina balıklarında serum üre seviyesinin önemli derecede yükseldiğini bildirmişlerdir (Karlsson et al., 2011). Hiperoksik koşulların serum üre seviyesi üzerindeki etkilerinin araştırıldığı bu çalışma sonuçlarımızı desteklemektedir. Wells ve ark.'ın (1986) yaptığı çalışmada büyük av balıklarında stresin serum üre değerlerini artırdığını bildirmişlerdir (Wells et al., 1986). Açlığın serum üre değerlerine etkisinin araştırıldığı bir çalışmada *Protopterus annectens* balıkları 46 gün süre ile aç bırakılmış, belirli gün aralıklarıyla serum üre değerleri kontrol edildiğinde günden güne artış olduğu tespit edilmiştir. Bu durumun uzun süreli açlık sonucu açığa çıkan enerji ihtiyacından dolayı protein katabolizması sonucu oluşan amonyağın üreye çevrilmesi sonucu serum üre seviyelerinin arttığı bildirilmiştir (Loong et al., 2008). Çalışmamızda kontrol ve kontrol grupları ile farklı çözünmüş O₂ içeren transfer grupları karşılaştırıldığında, grup 1, 2 ve 4'ün serum üre değerleri kontrol grubuna göre yüksek bulunmuştur. Farklı çözünmüş O₂ içeren transfer grupları kendi aralarında üre seviyeleri karşılaştırıldığında anlamlı bir farklılık bulunamamıştır. Bu sonuçlara göre, farklı oksijen seviyelerinin balıkların üre değerleri üzerinde etkisi olmadığını, ancak transferin serum üre değerlerini etkilediğini tespit ettik. Grup 1, 2 ve 4'ün üre

değerlerinin kontrol grubundan daha yüksek olması, bu gruptaki balıkların daha fazla stres altında olduğunu ve enerji ihtiyacı için glukoneogenesis yoluyla protein katabolizmasını kullandıklarını göstermektedir. Transfer gruplarının tamamında serum glukoz değerindeki artış bu görüşümüzü desteklemektedir. Bu durum, balıkların transfer sırasında daha fazla enerji tükettiği ve oksijen seviyesinin düşük olduğu ortamlarda daha büyük çaba harcadığını ve glukoneogenesis yoluyla enerji elde ettiğini düşündürmektedir.

Ürik asitin, kanın toplam antioksidan kapasitesinin yaklaşık yarısından sorumlu olduğu düşünülmektedir (Karabulut ve Gülay, 2016). Ayrıca, ürik asit için antioksidan ve proinflatuvar bir etki mekanizması da söz konusudur (Maiuolo et al., 2016). Normal düzeylerde toksik reaktanları temizlediği ve dokuyu oksidatif strese karşı koruduğu bildirilmekte iken (Yildirim vd., 2004) oksidatif stres olduğunda da serum ürik asit düzeylerinin artması ürik asitin vücuttaki oksidan antioksidan dengesinde rol aldığını göstermektedir (Nan et al., 2007). Grupların ürik asit değerlerinin karşılaştırılması sonucunda; transfer gruplarının tamamının ürik asit değerleri, kontrol grubunun ürik asit değerinden daha yüksek olduğu saptanmıştır. Keleştemur ve Özdemir (2010) tarafından yapılan bir çalışmada transfer edilen canlı alabalıklarda serum üre ve ürik asit değerlerinin yükseldiğini bildirmişlerdir (Keleştemur ve Özdemir, 2010). Bunun nedeni olarak transferin oluşturduğu stresin boşaltım sisteminde azotlu atıkların atılımında meydana gelen aksaklıktan dolayı olduğu öne sürülmüştür (Keleştemur ve Özdemir, 2008). Çalışmamızda ürik asit seviyeleri karşılaştırıldığında ise en yüksek grup 4'te, en düşük grup 2'de olduğu görülmüştür. Grup 4'ün oksidatif stres indeksi (OSİ) değerinin diğer gruplara göre en yüksek olduğunu tespit ettik. Bu durum, ürik asidin antioksidan etkisinin etkili olabileceği düşündürmektedir.

Balıkların kreatinin seviyeleri, böbrek fonksiyonları ve kas aktiviteleri hakkında bilgi vermektedir (Boutilier et al., 1993). Gökkuşluğu alabalıklarında yapılan bir çalışmada, transfer işlemi, hipoksik koşullar ve anestezi uygulanan üç farklı grupta serum kreatinin seviyeleri araştırılmış, sırasıyla hipoksi, transfer ve anestezi gruplarında kreatinin seviyelerinin yüksek olduğu bildirilmiştir (Keleştemur ve Özdemir, 2012). Balıklarda serum kreatinin seviyelerinin yükselmesi, kas aktivitesi artışı veya böbrek fonksiyonu bozukluğu gibi faktörlere bağlı olarak ortaya çıkabilir. Çalışmamızda kontrol ile farklı çözünmüş O₂ içeren transfer grupları serum kreatinin seviyeleri karşılaştırıldığında tüm transfer gruplarında artış olduğu tespit edilmiştir.

Ayrıca farklı çözünmüş O₂ içeren transfer grupları kendi aralarında karşılaştırıldığında en yüksek kreatinin değeri grup 1 ve 2’de, en düşük ise hiperoksik koşulların olduğu grup 4 te bulunmuştur. Çalışmamızda tüm gruplarda üre ve ürik asit değerlerinin arttığı, kreatinin değerinin ise grup 1 ve 2’de artarken, grup 3 ve 4’te düştüğü görülmüştür. Bu durumun grup 1 ve 2’de böbrek hasarı ile alakalı olabileceği, grup 3 ve 4’te ise artan kas aktivitesi kaynaklı olabileceğini düşündürmektedir. Serum LDH aktiviteleri değerlendirildiğinde grup 3 ve 4’teki yükselişin artan kas aktivitesinden dolayı olduğunu desteklemektedir. Ayrıca grup 1 ve 2’de serum kreatinin seviyelerinin yüksek olması da bu gruplarda böbrek hasarı olduğu görüşümüzü desteklemektedir.

Kalsiyum; kanın pıhtılaşması, membran bütünlüğü, enzim reaksiyonları, hormonlar gibi bazı önemli fizyolojik ve biyokimyasal olayları düzenlemektedir (Norris and Carr, 2013). Balıklardaki stres faktörlerinin etkisi, genellikle kan plazmasındaki iyonların ölçülmesi yoluyla ozmoregülasyon değişiklikleriyle belirlenir. Plazma iyon konsantrasyonları çevresel kirleticilerden benzer düzeylerde etkilenmektedir (Dawson, 1990). Çalışmamızda transfer grupları ile kontrol grubu serum kalsiyum seviyeleri karşılaştırıldığında grup 3 hariç diğer tüm transfer gruplarının kontrol grubuna göre serum kalsiyum seviyelerinde artış olduğu görülmüştür. Farklı çözünmüş oksijen konsantrasyonlarında transfer edilen gruplar kendi aralarında karşılaştırıldığında ise grup 3 serum kalsiyum seviyesinin diğer gruplara göre daha düşük olduğu saptanmıştır. Gökkuşluğu alabalıklarında hipoksi ve hiperoksinin serum kalsiyum seviyelerine olan etkisi üzerine fazla çalışma bulunmamaktadır. Hipoksi üzerine yapılan bir çalışmada hipoksik koşullara maruz bırakılan balıklarda anormal yüzme davranışı, zayıf büyüme performansı ve serum kalsiyum seviyesinde artış olduğu rapor edilmiştir (Hou et al., 2020). Hou ve ark. (2020) bu durumun nedeninin SCaMC-1 geninin mitokondriyal matriste kalsiyum homeostazının tamponlanması ve hücre içi kalsiyum seviyesinin düşürülmesi için serum kalsiyumunun artışı ile oksidatif stres arasında bir geri bildirim mekanizması oluşturduğunu öne sürmüştür (Hou et al., 2020). Oluşan serbest radikaller, membran lipidlerini bozarak viskozite ve geçirgenliğin artmasına buna bağlı seçici geçirgenliğin bozulmasına ve hücrede membran bütünlüğünün yok olmasına, enzim ve iyon transferinde aksamalara neden olurlar (Keleştemur, 2012). Yaptığımız çalışmada, serum kalsiyum seviyeleri normoksik olan grup 3 hariç diğer transfer gruplarının tamamında artış olduğunu tespit ettik. Serum kalsiyum seviyelerindeki artışın sebebinin, Hou ve ark. (2020) yaptığı çalışmada da önerdiği şekilde, oksidatif strese

karşı bir geribildirim olduğunu düşünmekteyiz.

Mg⁺² hücre içerisinde en bol bulunan katyonlardan biridir. Sitoplazmada serbest Mg⁺² iyonu bağlı formuna göre % 10'dan daha az bulunmaktadır (Heaton, 1993). Vücut total Mg⁺² iyonunun sadece küçük bir yüzdesi hücre dışı sıvıda bulunur. Gökkuşağı alabalıklarında çoğu durumda serumda, serbest ve bağlı halde toplam magnezyum miktarı 36 mg/dL'yi geçmez (Knox et al., 1981). Çalışmamızda kontrol grubu ile farklı çözünmüş oksijen konsantrasyonları içeren transfer grupları serum magnezyum seviyeleri karşılaştırıldığında, grup 2 ve 4'te istatistiki olarak kontrol grubuna göre artış olduğu görülmüştür. Farklı çözünmüş oksijen konsantrasyonları içeren transfer grupları kendi aralarında karşılaştırıldığında ise serum magnezyum değeri en yüksek hiperoksik koşulların bulunduğu grup 4'te olduğu saptanmıştır. Bunun yanı sıra grup 2'nin serum magnezyum seviyesinin grup 1'e göre yüksek olduğu tespit edilmiştir. Kan ve elektrolit konsantrasyonu, ağırlıklı olarak solungaç tarafından aktif mekanizmalar aracılığıyla çevreleyen ortamdan elektrolitlerin emilmesi, su geçirgenliğinin kontrolü ve elektrolitlerin idrardan seçici olarak yeniden emilmesi gibi süreçlerin etkileşimi ile düzenlenir (Singh et al., 2002). Transfer gruplarının neredeyse tamamında serum kalsiyum konsantrasyonunun artması ve özellikle hiperoksik koşullarda serum magnezyum konsantrasyonundaki artışın nedeninin homestasisin bozulmasından kaynaklı olduğunu düşünmekteyiz.

LDH, glikoliz sonucu açığa çıkan laktatın piruvata dönüşümünde görevli olan enerji metabolizmasının önemli bir enzimdir (Shahsavani et al., 2010). Serumda enzim aktivitesindeki artışlar ya hücre içi aktivitesinin çok yüksek olmasından ya da hücre hasarı sonucu seruma geçmesinden kaynaklı olabilir. (Maes et al., 2015; Masola et al., 2008). Çalışmamızda kontrol grubu ve transfer grupları karşılaştırıldığında LDH aktivitesinde istatistiki olarak anlamlı bir artış olduğu görülmüştür. Ayrıca farklı çözünmüş oksijen içeren transfer grupları kendi aralarında karşılaştırıldığında çözünmüş oksijen konsantrasyonu arttıkça LDH aktivitesinde artış olduğu ve hiperoksik koşullarda LDH aktivitesinin hipoksik koşullara göre 6 kat arttığı tespit edilmiştir. Hipoksik koşulların serum LDH aktivitesi üzerine, Neumayer barbus'larda, japon balıklarında ve killi balıklarında yapılan çalışmalara göre serum LDH aktivitesinin arttığı bildirilmiştir (Bera et al., 2017; Greaney et al., 1980; Martínez et al., 2011). Hiperoksik koşullara maruz bırakılan akita farelerinde serum LDH aktivitesinde artış olduğu bu durumun artan enerji ihtiyacı ve hücre hasarı ile ilişkili olduğu bildirilmiştir (Bojkovic et al., 2021). Balıklarda hiperoksik koşulların LDH

aktivitesi üzerine fazla çalışma bulunmamakla birlikte çeşitli stresörlerin serum LDH aktivitesini arttırdığı ve bu durum hücre hasarının bir sonucu olabileceği bildirilmiştir (Masola et al., 2008; Pichaud et al., 2017; Racicot et al., 1975). Bizim çalışmamızda, hücre hasarı ile ilgili parametrelerde uyum olmadığı için LDH aktivitesindeki artışın artan enerji ihtiyacı ile ilişkili olduğu düşünülmüştür. Transfer sırasında artan enerji ihtiyacının glikoliz ile karşılandığını bu nedenle LDH aktivitesinde artış olduğunu düşünmekteyiz. Oksidatif fosforilasyonla elde edilene kıyasla glikolizin düşük ATP üretim verimliliği glikolizisi arttırdığı ve ortama çıkan laktanın piruvata dönüşümü için LDH aktivitesinde artış olduğunu düşündürmektedir.

Çalışmamızda kontrol ve farklı çözünmüş oksijen konsantrasyonlarındaki transfer gruplarının kas dokusu MDA seviyeleri karşılaştırıldığında grup 3'ün MDA değerinin kontrol grubuna göre düştüğü, diğer transfer gruplarında ise anlamlı bir değişiklik olmadığı görülmüştür. Ayrıca farklı çözünmüş oksijen konsantrasyonlarındaki transfer grupları kendi aralarında karşılaştırıldığında grup 3'ün MDA değeri diğer transfer gruplarına göre düşük olduğu tespit edilmiştir. Gökkuşığı alabalıklarında transferin kas dokusu MDA değerleri üzerine etkilerinin araştırıldığı bir çalışmada, 30 dakikalık transfer sonrasında belirli aralıklarla kas dokularından alınan örneklerde MDA değerleri karşılaştırılmış nakilden hemen sonra ve 6. saatte MDA seviyelerinde kontrol grubuna göre artış olduğu 12. saatte ise kontrol grubu seviyelerine döndüğü bildirilmiştir (Keleştemur vd., 2010). Çalışmamızda, transfer gruplarının kontrol grubuna göre MDA seviyesinde artış olmamasının nedeninin transfer süresi ile alakalı olduğu düşünüldü. Grup 3'te MDA değerindeki düşüşün lipid peroksidasyonuna karşı antioksidan savunma sisteminin etkin şekilde çalıştığı kanaatindeyiz. Ayrıca çalışmamızda farklı çözünmüş oksijen içeren transfer grupları arasında grup 3'te GSH-Px ve SOD enzim aktivitelerinde yükseliş ile MDA seviyesinin düşmesi uyumlu olarak görülmektedir. Bunun yanı sıra MDA seviyesinin artış gösterdiği grup 1'de GSH-Px ve SOD enzim aktivitelerindeki düşüş de MDA seviyesindeki artış ile uyumludur. Yapılan bir çalışmada yayın balıklarında transfer işleminin balıkların kas MDA seviyesinde yükselişe neden olduğu ve antioksidan kapasitede bariz değişiklikler olduğu bildirilmiştir (Refaey and Li, 2018). Yapılan başka bir çalışmada ise oksijen ve ozon (O₃) ile hiperoksik strese maruz bırakılan gökkuşığı alabalıklarında MDA seviyelerinde artış olduğu bildirilmiştir. Çalışmamızın sonucuna göre de hipoksik ve hiperoksik koşullarda normoksik koşullara göre daha yüksek lipid peroksidasyonu oluştuğunu görmekteyiz. Sonuçlarımız

daha önce yapılan çalışmalar ile uyumludur. Normoksik koşullarda ve özellikle 10 mg/L çözünmüş oksijen konsantrasyonunda yapılan transfer işlemleri lipid peroksidasyonuna karşı antioksidan savunma mekanizmasının daha aktif hale geldiğini ve lipid peroksidasyonunu düşürdüğünü düşünmekteyiz.

Çalışmamızda transfer gruplarının tamamında kontrol grubuna göre kas dokusundaki seruloplazmin seviyesinde yükseliş görülmüştür. Farklı çözünmüş oksijen içeren transfer grupları kendi aralarında karşılaştırıldığında ise yüksekten düşüğe doğru sıraladığımızda grup 1, 4, 2 ve 3 şeklinde sıralanmaktadır ve istatistiki olarak tamamı anlamlıdır. Hipoksik koşulların bulunduğu grup en yüksek seruloplazmin seviyesine sahiptir. Yapılan bir çalışmada, çeşitli kirleticiler ile kontamine olmuş nehirin farklı yerlerinden alınan sarı levrek balıklarında doku seruloplazmin değerleri karşılaştırılmış ve bölgeler arasında çıkan farklılıkların doku seruloplazmin miktarlarının çevresel şartlardan etkilendiği bildirilmiştir (Dautremepuits et al., 2009). Hipoksi sırasında balıklar sadece dalak yoluyla kırmızı kan hücresi sayılarını artırarak telafi etmeye çalışmakla kalmaz, aynı zamanda eritropoezi de artırır (Lai et al., 2006). Hipoksi sırasında artan seruloplazmin üretimi, eritropoez için kırmızı hücre öncülleri tarafından kullanılmak üzere dalak, karaciğer ve retiküloendotelyal hücrelerden demir salınımını kolaylaştırmak için gerekli olabilir (Sarkar et al., 2003). Çalışmamızda hipoksik koşullarda seruloplazmin değerlerinin diğer tüm gruplara göre fazlaca artmasının sebebinin düşük olan çözünmüş oksijeni efektif olarak kullanmak istemesiyle açıklamaktayız.

Balıklarda ROS üretimi dokulardaki oksidatif stres yanıtlarını aktive eder ve antioksidan enzim aktivitesindeki değişiklikler oksidatif stresin biyobelirteçleri olarak kullanılmaktadır (Kumari et al., 2014). Yapılan bir çalışmada transfer edilen yayın balıklarında transfer sonrası 1. saatte transfer edilmeden öncesine göre total antioksidan kapasitede artış görülürken transferin etkileri sürdükçe düşüş olduğu bildirilmiştir (Refaey and Li, 2018). Çalışmamızda kontrol ve transfer grupları kas doku TOK değerleri karşılaştırıldığında grup 1 ve 2'de istatistiki olarak anlamlı düşüş olduğu görülmüştür. Ayrıca farklı miktarda çözünmüş oksijen içeren transfer grupları kas doku TOK değerleri kendi aralarında karşılaştırıldığında grup 1 ve 2 diğer gruplara göre istatistiki olarak düşük saptanmıştır. Aynı şekilde, kas doku TAK değerleri karşılaştırıldığında en düşük grup 1 ve 2 bulunmuştur. Gruplar arası OSİ değerleri grup 1 ve grup 2 de kontrol grubuna göre düşük çıkmıştır. Ayrıca farklı miktarda çözünmüş oksijen içeren transfer grupları kendi içerisinde karşılaştırıldığında

zaman yine grup 1 ve 2 kas doku OSI deęerleri dūřuk bulunmuřtur. Transfer gruplarından grup 2'nin baraj kořulları ile aynı řekilde 8 mg/L özünmüř oksijen içeren OSI deęeri transferin oluřturduęu oksidatif stres nedeniyle kontrol grubuna göre dūřtūęu saptanmıřtır. Çözünmüř oksijenin daha yūksek olduęu grup 3 ve hiperoksik kořulların bulunduęu grupta ise kontrole göre deęiřme olmazken grup 2'ye göre artıřın nedeninin çözünmüř oksijenin antioksidan parametreleri arttırdıęını dūřünmekteyiz.



6. SONUÇ

Kültür balıkçılığı, artan dünya nüfusunun gıda ihtiyacını karşılamak amacıyla önemli bir yere sahiptir. Gökkuşuğu alabalığı ülkemizde en fazla yetiştiriciliği yapılan türdür. Kültür balıkçılığın gelişmesi, gıda sürdürülebilirliğinin sağlanması ve insanların kaliteli proteine olan ihtiyacının karşılanması ile birlikte bu süreçte hayvan refahının da en iyi seviyelerde tutulması amacıyla çalışmamız önem arz etmektedir. Çalışmamız, çiftliklerde uygulanan koşullarda ve farklı çözünmüş oksijen konsantrasyonlarında transfer işlemlerinin balıklar üzerindeki etkilerinin araştırılarak transfer için en uygun koşulları belirlemek üzere yapılmıştır. Bu amaçla hipoksik, normoksik ve hiperoksik koşullarda transfer edilen balıklarda biyokimyasal değişimler gözlenmiştir.

Hipoksik koşullarda yapılan transfer işlemlerinde artan reaktif oksijen türlerine rağmen kontrol grubuna göre GSH-Px aktivitesinde azalma tespit edildi. Ayrıca hiperoksik koşula ve normoksik koşula göre MDA değerlerindeki artış nedeniyle lipid peroksidasyonu olduğu tespit edildi. Üre, ürik asit, ve kreatinin değerlerinin kontrol grubunda göre artması böbrek hasarı oluşması ihtimalini ortaya koyarken, LDH aktivitesindeki artış artan enerji ihtiyacını glikolizis yoluyla karşıladığını ihtiyacı olan glukozu ise glukoneogenezis yoluyla elde ettiğini göstermektedir.

Hiperoksik koşullarda oluşan süperoksit radikalleri nedeniyle serum TOK değerinde ciddi bir yükseliş ve buna karşın serum TAK değerinde düşüş görüldü. Bu sebeple OSI değerinin tüm gruplara anlamlı bir şekilde yükseldiği tespit edildi. Hiperoksik koşullarda oksidatif hasarın daha fazla olduğu ve buna karşın antioksidan sistemin baskılandığı görüldü. Artan kas aktivitesine bağlı olarak açığa çıkan enerji ihtiyacı sonucu protein katabolizması başladığı ve glikoneogenezis yoluyla bu açığın kapatılmaya çalışıldığı görüldü.

Normoksik koşullarda bu olumsuzluklara karşı TAK artışı şekillendiği ve OSI değerini düşürdüğü tespit edildi. Ayrıca lipid peroksidasyonu son ürünü olan MDA'da düşüş olduğu ve bu durumun artan GSH-Px ve SOD aktivitesi sayesinde gerçekleştiği tespit edildi. İki farklı normoksik koşulun bulunduğu transfer gruplarından 10 mg/L olan grubumuzda lipid peroksidasyonu, antioksidan savunma mekanizması ve iyon konsantrasyonları açısından daha olumlu yanıt olduğu tespit edildi.

Bu çalışma, balıkların transfer edildikleri ortamda daha sağlıklı ve verimli bir şekilde büyümelerini sağlamak için transfer sırasında oksijen seviyesinin düzenli

olarak kontrol edilmesi ve farklı transfer koşullarının incelenmesinin önemli olduğunu göstermektedir. Bu bulgular ışığında, gökkuşaklı alabalıklarının transferlerinde oluşacak oksidatif hasarın ve stresin etkilerini azaltmak amacıyla 10 mg/L çözünmüş O₂ seviyesinin kullanılmasını önermekteyiz. Sunulan çalışmanın balıklarda yapılacak transfer işlemlerinin iyileştirilmesi adına yapılacak yeni çalışmalara katkıda bulunacağını düşünmekteyiz.



KAYNAKLAR

- Aci, R., Müderrisoğlu, S., Duran, U., Shakouri, N., & Çiftci, G. (2020). Content of minerals in muscle tissue of diploid rainbow trout (*oncorhynchus mykiss*) in freshwater (derbent dam) and seawater (the black sea). *Journal of Elementology*, 25(4), 1375–1384.
- Altınışık, M. (2000). *Serbest oksijen radikalleri ve antioksidanlar*. ADÜ Tıp Fakültesi, Biyokimya AD. Ders notu, Aydın
- Amend, D. F., Croy, T. R., Goven, B. A., Johnson, K. A., & McCarthy, D. H. (1982). Transportation of fish in closed systems: Methods to control ammonia, carbon dioxide, pH, and bacterial growth. *Transactions of the American Fisheries Society*, 111(5), 603–611.
- Arvanitoyannis, I. S., & Kassaveti, A. (2008). Fish industry waste: Treatments, environmental impacts, current and potential uses. *International Journal of Food Science and Technology*, 43(4), 726–745.
- Atanasiu, R. L., Stea, D., Mateescu, M. A., Vergely, C., Dalloz, F., Briot, F., Maupoil, V., Nadeau, R., & Rochette, L. (1998). Direct evidence of caeruloplasmin antioxidant properties. *Molecular and Cellular Biochemistry*, 189(1), 127–135.
- Atli, G., Canli, E. G., Eroglu, A., & Canli, M. (2016). Characterization of antioxidant system parameters in four freshwater fish species. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 126, 30–37.
- Bera, A., Sawant, P. B., Dasgupta, S., Chadha, N. K., Sawant, B. T., & Pal, A. K. (2017). Diel cyclic hypoxia alters plasma lipid dynamics and impairs reproduction in goldfish (*Carassius auratus*). *Fish Physiology and Biochemistry*, 43, 1677–1688.
- Berka, R. (1986). The transport of live fish. A review. In *Eifac Technical Paper-FAO*. http://www.flyingsharks.eu/literature/fao_iata/Transport_of_live_fish_FAO.pdf
- Bojkovic, K., Rodgers, J. L., Vichare, R., Nandi, A., Mansour, H., Saleem, F., Abidin, Z. U., Vanthenapalli, S., Cheng, F., & Panguluri, S. K. (2021). The implications of hyperoxia, type 1 diabetes and sex on cardiovascular physiology in mice. *Scientific Reports*, 11(1), 23086.
- Boutilier, R. G., Ferguson, R. A., Henry, R. P., & Tufts, B. L. (1993). Exhaustive exercise in the sea lamprey (*Petromyzon marinus*): Relationship between anaerobic metabolism and intracellular acid–base balance. *Journal of Experimental Biology*, 178(1), 71–88.
- Boyd, C. E., & Tucker, C. S. (1998). *Pond Aquaculture Water Quality Management*. Springer US.
- Bragadóttir, M., Pálmadóttir, H., & Kristbergsson, K. (2001). *Endogenous antioxidants in fish*. Unpublished Master thesis, University of Iceland, Haskoli
- Carmichael, G. J., & Tomasso, J. R. (1988). Communications: Survey of fish transportation equipment and techniques. *The Progressive Fish-Culturist*, 50(3), 155–159.
- Çelikkale, M. S. (1994). "İç Su Balıkları ve Yetiştiriciliği" (2nd ed.). Karadeniz Teknik Üniversitesi, Sürmene Deniz Bilimleri Fakültesi. Trabzon

- Chaudière, J., & Ferrari-Iliou, R. (1999). Intracellular antioxidants: from chemical to biochemical mechanisms. *Food and Chemical Toxicology*, 37(9–10), 949–962.
- Chen, C., Wu, Y. C., Zhang, J. X., & Chen, Y. H. (2022). IoT-Based fish farm water quality monitoring system. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 22(17).
- Chen, J., Chen, C.-L., Rawale, S., Chen, C.-A., Zweier, J. L., Kaumaya, P. T. P., & Chen, Y.-R. (2010). Peptide-based antibodies against glutathione-binding domains suppress superoxide production mediated by mitochondrial complex I. *The Journal of Biological Chemistry*, 285(5), 3168–3180.
- Chen, Y.-R., and Zweier, J. L. (2014). Cardiac mitochondria and reactive oxygen species generation. *Circulation Research*, 114(3), 524–537.
- Chytry, M. (2014). *Oncorhynchus mykiss*. Erişim: 15.09.2022 <https://www.biolib.cz/en/imageteterminations/id239186/>
- Cnaani, A., and McLean, E. (2009). Time-course response of cobia (*Rachycentron canadum*) to acute stress. *Aquaculture*, 289(1–2), 140–142.
- Cnaani, A., Tinman, S., Avidar, Y., Ron, M., and Hulata, G. (2004). Comparative study of biochemical parameters in response to stress in *Oreochromis aureus*, *O. mossambicus* and two strains of *O. niloticus*. *Aquaculture Research*, 35(15), 1434–1440.
- Dautremepuits, C., Marcogliese, D. J., Gendron, A. D., and Fournier, M. (2009). Gill and head kidney antioxidant processes and innate immune system responses of yellow perch (*Perca flavescens*) exposed to different contaminants in the St. Lawrence River, Canada. *Science of The Total Environment*, 407(3), 1055–1064.
- Dawson, M. A. (1990). Blood chemistry of the windowpane flounder *Scophthalmus aquosus* in Long Island Sound: Geographical, seasonal, and experimental variations. *Fishery Bulletin*, 88(3), 429–437.
- Dejours, P. (1975). Problems of control of breathing in air-breathers and in water-breathers. *Bollettino Della Societa Italiana Di Biologia Sperimentale*, 51(18 Pt2), 1–15.
- Desrochers, P. E., & Hoffert, J. R. (1983). Superoxide dismutase provides protection against the hyperoxia in the retina of the rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Comparative Biochemistry*, 76(2), 241–247.
- Diaz, R. J., & Breitburg, D. L. (2009). Chapter 1 The Hypoxic Environment. In G. J. Richards, P. A. Farrel, and J. C. Brauner (Eds.), *Hypoxia: Vol27, Fish Physiology*: (First edit, pp. 1–23). Academic Press.
- DiNicolantonio, J. J., & O’Keefe, J. H. (2021). Magnesium and vitamin D deficiency as a potential cause of immune dysfunction, cytokine storm and Disseminated Intravascular Coagulation in Covid-19 patients. *Missouri Medicine*, 118(1), 68–73.
- Dmitry, A. (2013). *Effect of water quality on rainbow trout performance Water oxygen level in commercial trout farm “ Kala ja marjapojat ”*. Unpublished Master thesis, Mikkeli University of Applied Sciences, Mikkeli, Finland
- Doğan, G., ve Erdem, M. (2008). Balıklarda protein metabolizması. *Journal of FisheriesSciences. Com*, 2(1), 30–40.

- Doyotte, A., Cossu, C., Jacquin, M.-C., Babut, M., and Vasseur, P. (1997). Antioxidant enzymes, glutathione and lipid peroxidation as relevant biomarkers of experimental or field exposure in the gills and the digestive gland of the freshwater bivalve *Unio tumidus*. *Aquatic Toxicology*, 39(2), 93–110.
- Dupree, H. K., and Huner, J. V. (1984). *The status of warmwater fish farming and progress in fish farming research*. US Fish and Wildlife Service.
- Duran, U. (2019). *Gökkuşluğu alabalıklarında (Oncorhynchus mykiss) biyokimyasal parametreler*. Basılmamış Doktora Semineri In Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Veterinerlik Biyokimyası, Samsun
- Duran, U., Çenesiz, S., & Şahin, B. (2022). Blood sampling techniques and preparing for analysis in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Black Sea Journal of Agriculture*, 1–6.
- Erel, O. (2005). A new automated colorimetric method for measuring total oxidant status. *Clinical Biochemistry*, 38(12), 1103–1111.
- Fagundes, M., and Urbinati, E. C. (2008). Stress in pintado (*Pseudoplatystoma corruscans*) during farming procedures. *Aquaculture*, 276(1–4), 112–119.
- Farbridge, K. J., and Leatherland, J. F. (1992). Plasma growth hormone levels in fed and fasted rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) are decreased following handling stress. *Fish Physiology and Biochemistry*, 10(1), 67–73.
- Fazio, F., Cecchini, S., Faggio, C., Caputo, A. R., & Piccione, G. (2014). Stability of oxidative stress biomarkers in flathead mullet, *Mugil cephalus*, serum during short-term storage. *Ecological Indicators*, 46, 188–192.
- Fivizzani, A. J., Spieler, R. E., & Noeske, T. A. (1984). The influence of ambient temperature on the daily variation of serum cortisol in the banded killifish, *Fundulus diaphanus*. *Biological Rhythm Research*, 15(1), 3–8.
- Flieger, J., Flieger, W., Baj, J., and Maciejewski, R. (2021). Antioxidants: classification, natural sources, activity/capacity measurements, and usefulness for the synthesis of nanoparticles. *Materials* (Vol. 14, Issue 15).
- Fritzsche, R., and Nilsson, S. (1993). "Cardiovascular and ventilatory control during hypoxia". In C. J. Rankin and F. B. Jensen (eds.). in: *Fish Ecophysiology* (s. 180–199). New York: Chapman & Hall.
- Garcia, L. E., and Meier, A. H. (1973). Daily rhythms in concentration of plasma cortisol in male and female gulf killifish, *Fundulus grandis*. *The Biological Bulletin*, 144(3), 471–479.
- Gilbert, D. L. (2000). Fifty years of radical ideas. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 899, 1–14.
- Giordano, F. J. (2005). Oxygen, oxidative stress, hypoxia, and heart failure. *The Journal of Clinical Investigation*, 115(3), 500–508.
- Gitlin, J. D. (1988). Transcriptional regulation of ceruloplasmin gene expression during inflammation. *Journal of Biological Chemistry*, 263(13), 6281–6287.
- Gökhan, H. B. (2007). *Balıklarda serbest radikaller ve antioksidan savunma sistemi*, Basılmamış Doktora Semineri, Fırat Üniversitesi - Fen Bilimleri Enstitüsü, Su Ürünleri Yetiştiriciliği, Hastalıklar Anabilim Dalı, Elazığ

- Greaney, G. S., Place, A. R., Cashion, R. E., Smith, G., and Powers, D. A. (1980). Time course of changes in enzyme activities and blood respiratory properties of killifish during long-term acclimation to hypoxia. *Physiological Zoology*, 53(2), 136–144.
- Guderley, H. (2004). Metabolic responses to low temperature in fish muscle. *Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society*, 79(2), 409–427.
- Han, B., Meng, Y., Tian, H., Li, C., Li, Y., Gongbao, C., Fan, W., and Ma, R. (2022). Effects of acute hypoxic stress on physiological and hepatic metabolic responses of triploid rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Frontiers in Physiology*, 13, 921709.
- Harmon, T. S. (2009). Methods for reducing stressors and maintaining water quality associated with live fish transport in tanks: a review of the basics. *Reviews in Aquaculture*, 1(1), 58–66.
- Harper, C., & Lawrence, C. (2011). *The Laboratory ZEBRAFISH* (M. A. Suckow (ed.); The Labora). CRC Press Taylor&Francis Group. Boca Raton-New York, 1-240.
- Hewitt, O. H., & Degnan, S. M. (2023). Antioxidant enzymes that target hydrogen peroxide are conserved across the animal kingdom, from sponges to mammals. *Scientific reports*, 13(1), 2510.
- Hirst, J., King, M. S., and Pryde, K. R. (2008). The production of reactive oxygen species by complex I. *Biochemical Society Transactions*, 36(5), 976–980.
- Hou, Z. S., Wen, H. S., Li, J. F., He, F., Li, Y., and Qi, X. (2020). Environmental hypoxia causes growth retardation, osteoclast differentiation and calcium dyshomeostasis in juvenile rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Science of The Total Environment*, 705, 135272.
- Ighodaro, O. M., and Akinloye, O. A. (2018). First line defence antioxidants-superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT) and glutathione peroxidase (GPX): Their fundamental role in the entire antioxidant defence grid. *Alexandria Journal of Medicine*, 54(4), 287–293.
- Iversen, M., Finstad, B., McKinley, R. S., Eliassen, R. A., Carlsen, K. T., and Evjen, T. (2005). Stress responses in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) smolts during commercial well boat transports, and effects on survival after transfer to sea. *Aquaculture*, 243(1), 373–382.
- Jacob, R. A. (1996). Three eras of vitamin C discovery. *Sub-Cellular Biochemistry*, 25, 1–16.
- Jeffries, K. M., Hinch, S. G., Donaldson, M. R., Gale, M. K., Burt, J. M., Thompson, L. A., Farrell, A. P., Patterson, D. A., and Miller, K. M. (2011). Temporal changes in blood variables during final maturation and senescence in male sockeye salmon *Oncorhynchus nerka*: reduced osmoregulatory ability can predict mortality. *Journal of Fish Biology*, 79(2), 449–465.
- Jensen, P. K. (1966). Antimycin-insensitive oxidation of succinate and reduced nicotinamide-adenine dinucleotide in electron-transport particles. I. pH dependency and hydrogen peroxide formation. *Biochimica et Biophysica Acta*, 122(2), 157–166.
- Jentoft, S., Aastveit, A. H., Torjesen, P. A., and Andersen, Ø. (2005). Effects of stress on growth, cortisol and glucose levels in non-domesticated Eurasian perch (*Perca*

- fluviatilis) and domesticated rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 141(3), 353–358.
- Jones, A. E., Munro, L. A., Green, D. M., Morgan, K. L., Murray, A. G., Norman, R., Ryder, D., Salama, N. K. G., Taylor, N. G. H., Thrush, M. A., Wallace, I. S., and Sharkey, K. J. (2019). The contact structure of Great Britain's salmon and trout aquaculture industry. *Epidemics*, 28(May), 100342.
- Kagan, V. E., Borisenko, G. G., Tyurina, Y. Y., Tyurin, V. A., Jiang, J., Potapovich, A. I., Kini, V., Amoscato, A. A., and Fujii, Y. (2004). Oxidative lipidomics of apoptosis: redox catalytic interactions of cytochrome c with cardiolipin and phosphatidylserine. *Free Radical Biology and Medicine*, 37(12), 1963–1985.
- Karabulut, H., ve Gülay, M. Ş. (2016). Serbest radikaller. *MAKÜSag. Bil. Enst. Derg.*, 4(1), 50–59.
- Karlsson, A., Heier, L. S., Rosseland, B. O., Salbu, B., and Kiessling, A. (2011). Changes in arterial PO₂, physiological blood parameters and intracellular antioxidants in free-swimming Atlantic cod (*Gadus morhua*) exposed to varying levels of hyperoxia. *Fish Physiology and Biochemistry*, 37(1), 249–258.
- Katz, A. M. (2008). The “Modern” view of heart failure. *Circulation: Heart Failure*, 1(1), 63–71.
- Keen, A. N., Fenna, A. J., McConnell, J. C., Sherratt, M. J., Gardner, P., and Shiels, H. A. (2015). The dynamic nature of hypertrophic and fibrotic remodeling of the fish ventricle. *Frontiers in Physiology*, 6, 427.
- Keleştemur Tuna, G., ve Özdemir, Y. (2008). *Nakil İşlemlerinin Gökkuşığı Alabalığı (Oncorhynchus mykiss, W., 1792)' nın Kortizol ve Glikoz Düzeylerine Etkisi*. 4(1), 1–2.
- Keleştemur Tuna, G., ve Özdemir, Y. (2010). *Nakil İşleminin Gökkuşığı Alabalıkları (Oncorhynchus mykiss, W. 1792)' nın Bazı Kan Parametre Değerleri Üzerine Etkileri*. 5(2), 187–193.
- Keleştemur Tuna, G., (2012). Hipoksik suların balıklar üzerinde oluşturduğu fizyolojik etkiler. *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, 1, 87–90.
- Keleştemur Tuna, G., ve Özdemir, Y. (2012). Nakil, anestezi ve hipoksia uygulanan gökkuşığı alabalığı (*Oncorhynchus mykiss* W. 1792) yavrularının kan kreatinin düzeylerinin karşılaştırılması. *Biyoloji Bil. Ar. D.*, 5(1), 79–81.
- Keleştemur Tuna, G., ve Özdemir, Y. (2011). Balıklarda antioksidan savunma ve oksidatif Stres. *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, 4(1), 69–73.
- Knight, J. A. (1998). Free radicals: their history and current status in aging and disease. *Annals of Clinical & Laboratory Science*, 28(6), 331–346.
- Kumari, K., Khare, A., and Dange, S. (2014). The applicability of oxidative stress biomarkers in assessing chromium induced toxicity in the fish *Labeo rohita*. *BioMed Research International*, 2014.
- Lai, J. C. C., Kakuta, I., Mok, H. O. L., Rummer, J. L., and Randall, D. (2006). Effects of moderate and substantial hypoxia on erythropoietin levels in rainbow trout kidney and spleen. *Journal of Experimental Biology*, 209(14), 2734–2738.
- Langenfeld, N. J., Kusuma, P., Wallentine, T., Criddle, C. S., Seefeldt, L. C., and

- Bugbee, B. (2021). Optimizing nitrogen fixation and recycling for food production in regenerative life support systems. In *Frontiers in Astronomy and Space Sciences* 8. 699688
- Li, M. X., and Hwang, P. M. (2015). Structure and function of cardiac troponin C (TNNC1): Implications for heart failure, cardiomyopathies, and troponin modulating drugs. *Gene*, 571(2), 153–166.
- Loong, A. M., Pang, C. Y. M., Hiong, K. C., Wong, W. P., Chew, S. F., and Ip, Y. K. (2008). Increased urea synthesis and/or suppressed ammonia production in the African lungfish, *Protopterus annectens*, during aestivation in air or mud. *Journal of Comparative Physiology B*, 178(3), 351–363.
- López-Patiño, M. A., Hernández-Pérez, J., Gesto, M., Librán-Pérez, M., Míguez, J. M., and Soengas, J. L. (2014). Short-term time course of liver metabolic response to acute handling stress in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 168, 40–49.
- Loschen, G., Azzi, A., Richter, C., and Flohé, L. (1974). Superoxide radicals as precursors of mitochondrial hydrogen peroxide. *FEBS Letters*, 42(1), 68–72.
- Lushchak, V. I. (2011). Environmentally induced oxidative stress in aquatic animals. *Aquatic Toxicology*, 101(1), 13–30.
- Lushchak, V. I., and Bagnyukova, T. V. (2006). Effects of different environmental oxygen levels on free radical processes in fish. *Comparative Biochemistry and Physiology. Part B, Biochemistry & Molecular Biology*, 144(3), 283–289.
- Lusk, S., and Krcal, J. (1974). Preprava plôdika lososovitých rýb s kyslíkom (Transporting the fry of salmonids with Oxygen.). *Polov.Rybár*, 2(32).
- Lygren, B., Hamre, K., and Waagbø, R. (2000). Effect of induced hyperoxia on the antioxidant status of Atlantic salmon *Salmo salar* L. fed three different levels of dietary vitamin E. *Aquaculture Research*, 31(4), 401–407.
- Maes, M., Vanhaecke, T., Cogliati, B., Yanguas, S. C., Willebrords, J., Rogiers, V., and Vinken, M. (2015). Measurement of apoptotic and necrotic cell death in primary hepatocyte cultures. In *Protocols in In Vitro Hepatocyte Research* (pp. 349–361).
- Maiuolo, J., Oppedisano, F., Gratteri, S., Muscoli, C., & Mollace, V. (2016). Regulation of uric acid metabolism and excretion. *International Journal of Cardiology*, 213, 8–14.
- Mallya, Y. J. (2007). The effects of dissolved oxygen on fish growth in aquaculture. *The United Nations University, Fisheries Training Programme, Final Project*
- Martin Hidalgo, D., Bragado, M. J., Batista, A. R., Oliveira, P. F., and Alves, M. G. (2019). Antioxidants and male fertility: From molecular studies to clinical evidence. *Antioxidants*, 8(4), 89.
- Martínez-Álvarez, R. M., Morales, A. E., & Sanz, A. (2005). Antioxidant defenses in fish: Biotic and abiotic factors. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 15(1–2), 75–88.
- Martínez-Porchas, M., Martínez-Córdova, L. R., and Ramos-Enriquez, R. (2009).

Cortisol and glucose: reliable indicators of fish stress? *Pan-American Journal of Aquatic Sciences*, 158–178.

- Martínez, M. L., Raynard, E. L., Rees, B. B., & Chapman, L. J. (2011). Oxygen limitation and tissue metabolic potential of the African fish *Barbus neumayeri*: roles of native habitat and acclimatization. *BMC Ecology*, 11, 1–9.
- Masola, B., Chibi, M., Kandare, E., Naik, Y. S., & Zaranyika, M. F. (2008). Potential marker enzymes and metal-metal interactions in *Helisoma duryi* and *Lymnaea natalensis* exposed to cadmium. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 70(1), 79–87.
- Masser, M. P. (2012). Cage culture in freshwater and protected marine areas. In *Aquaculture Production Systems* (pp. 119–134).
- Mattill, H. A. (1947). Antioxidants. *Annual Review of Biochemistry*, 16(1), 177–192.
- Meitzler, J. L., Antony, S., Wu, Y., Juhasz, A., Liu, H., Jiang, G., Lu, J., Roy, K., and Doroshov, J. H. (2014). NADPH oxidases: a perspective on reactive oxygen species production in tumor biology. *Antioxidants & Redox Signaling*, 20(17), 2873–2889.
- Moak, S. A., & Greenwald, R. A. (1984). Enhancement of rat serum ceruloplasmin levels by exposure to hyperoxia. *Proceedings of the Society for Experimental Biology and Medicine*, 177(1), 97–103.
- Muñoz, G. J. (2018). *Rebeldía en la célula: los radicales libres*. Erişim: 25.06.2022, <https://redsocal.redeuca.net/rebeldia-celula-los-radicales-libres>
- Munro, A. L. S., Waddell, I. F., & Bailey, R. S. (1987). Growth of salmon and trout farming in Scotland. *Developments in Fisheries Research in Scotland*.
- Murphy, M. P. (2008). How mitochondria produce reactive oxygen species. *Biochemical Journal*, 417(1), 1–13.
- Nan, H., Dong, Y., Gao, W., Tuomilehto, J., & Qiao, Q. (2007). Diabetes associated with a low serum uric acid level in a general Chinese population. *Diabetes Research and Clinical Practice*, 76(1), 68–74.
- Norris, D. O., and Carr, J. A. (2013). Regulation of Calcium and phosphate homeostasis in vertebrates. *Vertebrate Endocrinology*, 501–527.
- Oğuz, A. R., Özok, N., Omar, A., Alkan, Z., ve Kıracçakalı, A. N. (2019). Van balığında (*Alburnus tarichi* guldenstadt, 1814) üreme göçü sırasında oksidatif stresin araştırılması. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 8(1), 90–97.
- Omlin, T., and Weber, J. M. (2010). Hypoxia stimulates lactate disposal in rainbow trout. *Journal of Experimental Biology*, 213(22), 3802–3809.
- Paiva, A. L. S., Passaia, G., Lobo, A. K. M., Jardim-Messeder, D., Silveira, J. A. G., and Margis-Pinheiro, M. (2019). Mitochondrial glutathione peroxidase (OsGPX3) has a crucial role in rice protection against salt stress. *Environmental and Experimental Botany*, 158, 12–21.
- Peter, R. E., Hontela, A., Cook, A. F., and Paulencu, C. R. (1978). Daily cycles in serum cortisol levels in the goldfish: effects of photoperiod, temperature, and sexual condition. *Canadian Journal of Zoology*, 56(11), 2443–2448.

- Pichaud, N., Ekström, A., Hellgren, K., and Sandblom, E. (2017). Dynamic changes in cardiac mitochondrial metabolism during warm acclimation in rainbow trout. *Journal of Experimental Biology*, 220(9), 1674–1683.
- Piper, G. R., McElwain, B. I., Leo, E. O., Joseph, P. M., Laurie, G. F., and John, R. L. (1982). *Fish Hatchery Management* (3th, 1986th ed., Vol. 4, Issue 3). US. Dept. of the Interior, Fish and Wildlife Service.
- Racicot, J. G., Gaudet, M., & Leray, C. (1975). Blood and liver enzymes in rainbow trout (*Salmo gairdneri* Rich.) with emphasis on their diagnostic use: Study of CCl₄ toxicity and a case of *Aeromonas* infection. *Journal of Fish Biology*, 7(6), 825–835.
- Radi, A. A., Matkovics, B., & Csengeri, I. (1988). Effects of various oxygen concentrations on antioxidant enzymes and the quantity of tissue phospholipid fatty acids in the carp. *Acta Biologica Hungarica*, 39(1), 109–119.
- Rance, T. A., Baker, B. I., & Webley, G. (1982). Variations in plasma cortisol concentrations over a 24-hour period in the rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *General and Comparative Endocrinology*, 48(2), 269–274.
- Randall, D., and Cameron, J. (1973). Respiratory control of arterial pH as temperature changes in rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *The American Journal of Physiology*, 225(4), 997–1002.
- Randall, D., and Daxboeck, C. (1984). "Oxygen and carbon dioxide transfer across fish gills". In W. S. Hoar and D. J. B. T.-F. P. Randall (Eds.), *Gills* (Vol. 10, pp. 263–314). Detroit: Academic Press,
- Ravin, H. A., and Harvard, M. D. (1956). Rapid test for hepatolenticular degeneration. *The Lancet*, 726–727.
- Refaey, M. M., and Li, D. (2018). Transport stress changes blood biochemistry, antioxidant defense system, and hepatic HSPs mRNA expressions of channel catfish *Ictalurus punctatus*. *Frontiers in Physiology*, 9(NOV), 1–11.
- Ritola, O., Kiuru, T., Koponen, K., Mölsä, H., Hänninen, O., and Lindström-Seppä, P. (1999). Rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) exposed to oxygen supersaturation and handling stress: Plasma cortisol and hepatic glutathione status. *Acta Biologica Hungarica*, 50(1–3), 215–227.
- Ritola, O., Livingstone, D. R., Peters, L. D., and Lindström-Seppä, P. (2002). Antioxidant processes are affected in juvenile rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) exposed to ozone and oxygen-supersaturated water. *Aquaculture*, 210(1), 1–19.
- Ritola, O., Peters, L. D., Livingstone, D. R., and Lindstro, P. (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 mykiss* (Walbaum). *Aquaculture Res.* 33, 165–176.
- Rombough, P. J. (2011). Ventilation and animal respiration: Respiratory gas exchange during development: respiratory transitions. In *Encyclopedia of Fish Physiology* (Vol. 2). Elsevier Inc.
- Sarkar, J., Seshadri, V., Tripoulas, N. A., Ketterer, M. E., and Fox, P. L. (2003). Role of ceruloplasmin in macrophage iron efflux during hypoxia. *Journal of Biological Chemistry*, 278(45), 44018–44024.

- Savosin, E. S. (2010). The Macrozoobenthos of the lake onega bays under commercial cultivation of rainbow Trout. *Petrozavodsk*, 44-77.
- Shabani, F., Erikson, U., Beli, E., and Rexhepi, A. (2016). Live transport of rainbow trout (*Onchorhynchus mykiss*) and subsequent live storage in market: Water quality, stress and welfare considerations. *Aquaculture*, Elsevier B.V. 453, 110.
- Shahsavani, D., Mohri, M., and Gholipour Kanani, H. (2010). Determination of normal values of some blood serum enzymes in *Acipenser stellatus* Pallas. *Fish Physiology and Biochemistry*, 36, 39–43.
- Shi, H., Noguchi, N., and Niki, E. (1999). Comparative study on dynamics of antioxidative action of α -tocopheryl hydroquinone, ubiquinol, and α -tocopherol against lipid peroxidation. *Free Radical Biology and Medicine*, 27(3–4), 334–346.
- Sies, H. (1985). *Oxidative Stress*. Elsevier.
- Sies, H. (1997). Oxidative stress: oxidants and antioxidants. *Experimental Physiology: Translation and Integration*, 82(2), 291–295.
- Sies, H., & Jones, D. (2007). Oxidative Stress. In G. B. T.-E. of S. (Second E. Fink (Ed.), *Encyclopedia of Stress* (pp. 45–48). Elsevier.
- Simpson, H. (2022). Epilogue: Disability Performance and the Virtuositic Body. In *Samuel Beckett and Disability Performance* (pp. 201–221). Springer.
- Soderberg, R. W. (2017). Aquaculture technology: Flowing water and static water fish culture. In *Aquaculture Technology: Flowing Water and Static Water Fish Culture*. Mikkel
- Stevenson, J. P. (1980). *Trout farming manual*. Fishing News Books Ltd.
- Stickney, R. R., and Treece, G. D. (2012). History of Aquaculture. In *Aquaculture Production Systems* (pp. 15–50).
- Tacchi, L., Lowrey, L., Musharrafieh, R., Crossey, K., Larragoite, E. T., and Salinas, I. (2010). Effects of transportation stress and addition of salt to transport water on the skin mucosal homeostasis of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Bone*, 23(1), 1–7.
- Taylor, M. R., Simon, E. J., and Dickey, J. L. (2017). The Molecules of Cells. In *Campbell Biology Concepts and Connections: Vol. Ninth Edit.*
- Tunç, A. (2017). *Hipoksik ve Hiperoksik Stres Uygulamaların Gökkuşığı Alabalığında (Oncorhynchus mykiss) Antioksidan Enzim Aktiviteleri ve Gen Ekspresyonları Üzerine Olan Etkisinin Belirlenmesi*. Basılmamış Doktora Tezi Atatürk Üni. Fen Bil.Enst., Erzurum
- Turrens, J. F., Alexandre, A., and Lehninger, A. L. (1985). Ubisemiquinone is the electron donor for superoxide formation by complex III of heart mitochondria. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 237(2), 408–414.
- Uysal, E. (2008). *Siçanlarda Artmış Karın İçi Basıncına Bağlı Gelişen Stres Endokrin Yanıt Sırasındaki Tiroid Hormon Değişiklikleri*. Basılmamış Uzmanlık Tezi, Uludağ Üni., Tıp Fakültesi., Bursa
- Valotaire, C., Borel, F., Leterrier, C., Guilloteau, L. A., and Colson, V. (2020). Early

- chronic hypoxia does not impact rainbow trout behaviour later in life. *Aquaculture Reports*, 18(August).
- Vanderzwalmen, M., Eaton, L., Mullen, C., Henriquez, F., Carey, P., Snellgrove, D., and Sloman, K. A. (2019). The use of feed and water additives for live fish transport. *Reviews in Aquaculture*, 11(1), 263–278.
- Vara, D., Campanella, M., and Pula, G. (2013). The novel NOX inhibitor 2-acetylphenothiazine impairs collagen-dependent thrombus formation in a GPVI-dependent manner. *British Journal of Pharmacology*, 168(1), 212–224.
- Vijayan, M. M., and Moon, T. W. (1992). Acute Handling Stress Alters Hepatic Glycogen Metabolism in Food-Deprived Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 49(11), 2260–2266.
- Vijayan, M. M., Pereira, C., and Moon, T. W. (1994). Hormonal stimulation of hepatocyte metabolism in rainbow trout following an acute handling stress. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Pharmacology, Toxicology and Endocrinology*, 108(3), 321–329.
- Votyakova, T. V., and Reynolds, I. J. (2001). $\Delta\Psi_m$ -Dependent and -independent production of reactive oxygen species by rat brain mitochondria. *Journal of Neurochemistry*, 79(2), 266–277.
- Wedemeyer, G. (1997). Effects of rearing conditions on the Health and physiological quality of fish in Intensive culture. In *Fish stress and health in aquaculture* (pp. 35–72).
- Wells, R. M. G., McIntyre, R. H., Morgan, A. K., and Davie, P. S. (1986). Physiological stress responses in big gamefish after capture: Observations on plasma chemistry and blood factors. *Com. Biochemistry and Phys. Part A: Phys.*, 84(3), 565–571.
- Wendelaar Bonga, S. E. (1997). The stress response in fish. *Physiological Reviews*, 77(3), 591–625.
- Winterbourn, C. C., and Hampton, M. B. (2008). Thiol chemistry and specificity in redox signaling. *Free Radical Biology & Medicine*, 45(5), 549–561.
- Wood, Z. A., Schröder, E., Robin Harris, J., and Poole, L. B. (2003). Structure, mechanism and regulation of peroxiredoxins. *Trends in Biochemical Sciences*, 28(1), 32–40.
- WoRMS. (2022). *World Register of Marine Species*. Erişim: 14.05.2022, <https://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=127185>
- Wu, H., Ohnuki, H., Ota, S., Murata, M., Yoshiura, Y., and Endo, H. (2017). New approach for monitoring fish stress: A novel enzyme-functionalized label-free immunosensor system for detecting cortisol levels in fish. *Biosensors and Bioelectronics*, 93, 57–64.
- Xin, M., Olson, E. N., and Bassel-Duby, R. (2013). Mending broken hearts: cardiac development as a basis for adult heart regeneration and repair. *Nature Reviews. Molecular Cell Biology*, 14(8), 529–541.
- Xu, D., Hu, M.-J., Wang, Y.-Q., and Cui, Y.-L. (2019). Antioxidant Activities of Quercetin and Its Complexes for Medicinal Application. *Molecules*, 24(6), 1123.
- Xu, H., Shi, C., Ye, Y., Song, C., Mu, C., and Wang, C. (2022). Time-Restricted

Feeding Could Not Reduce Rainbow Trout Lipid Deposition Induced by Artificial Night Light. In *Metabolites* 12(10).

Yildirim, A., Altinkaynak, K., Aksoy, H., Sahin, Y. N., and Akcay, F. (2004). Plasma xanthine oxidase, superoxide dismutase and glutathione peroxidase activities and uric acid levels in severe and mild pre-eclampsia. *Cell Biochemistry and Function: Cellular Biochemistry and Its Modulation by Active Agents or Disease*, 22(4), 213–217.

Yıldırım, Ş., and Gümüsova, S. (2020). Effect of quercetin on infectious pancreatic necrosis virus: In vitro replication study. *Aquaculture Studies*, 20(2), 113–119.

Yoshioka, T., Kawada, K., Shimada, T., and Mori, M. (1979). Lipid peroxidation in maternal and cord blood and protective mechanism against activated-oxygen toxicity in the blood. *American Journal of Obstetrics and Gynecology*, 135(3), 372–376.

Zengin, M., and Aksungur, M. (2009). Karadeniz alabalığı (*Salmo trutta labrax*) populasyonunun akarsu ve deniz ekosistemlerinde göç mekanizması. *Doğal Alabalık Çalıştayı: Sürdürülebilir Yetiştiricilik, Koruma ve Balıklandırma*, 10–18.

ÖZ GEÇMİŞ

Utku Duran, İzmir-Karşıyaka Vali Erol Çakır Lisesi'ni bitirdikten sonra Uludağ Üniversitesi Veteriner Fakültesi, Veteriner bölümünden 2007 yılında mezun oldu. 2016 yılında OMÜ Sağlık Bilimleri Enstitüsünde Veteriner Biyokimya Anabilim Dalı Yüksek Lisans programını bitirdi. 2017 yılında OMÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsünde Veterinerlik Biyokimyası ABD Doktora programına başladı. Şu anda Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Çaycuma Gıda ve Tarım Meslek Yüksek Okulunda öğretim görevlisi olarak görev yapan Utku DURAN, iyi derecede İngilizce bilmektedir.

İletişim Bilgileri

ORCID ID : <https://orcid.org/0000-0002-0002-8893>

Tür	Tarih	Adı	Yazar(lar) / Katılımcı
Kongre	2006	III. Ulusal Küçük Hayvan Hekimliği Kongresi	Utku Duran
Kongre	2007	III. Türkiye Acil Tıp Kongresi	Utku Duran
Kongre	2015	Paratüberkülozlu Sığırlarda Akut Faz Protein Düzeyleri	Sena Çenesiz, Utku Duran
Kongre	2019	Determination of Acute Phase Protein Levels in Cattle with Paratuberculosis	Utku Duran, Sena Çenesiz
Makale	2020	Content of minerals in muscle tissue of diploid rainbow trout (<i>Oncorhynchus mykiss</i>) in freshwater (Derbent Dam) and seawater (The Black Sea)	Recai Aci, Seçil Müderrisoğlu, Utku Duran, Nourshin Shakouri, Gülay Çiftçi
Makale	2021	Physiological and Anti-obesity Effects of Melatonin and Niacin Supplements in Rat Models	Adem Keskin, Recai Aci, Utku Duran, Serkan Sugeçti
Makale	2022	Homocysteine as a marker for predicting disease severity in patients with COVID-19	Adem Keskin, Göksenin Ünlügüzel Üstün, Recai Aci, Utku Duran
Makale	2022	The Relationship Between Inflammatory Indicators and The Severity of The Disease in Coronavirus Disease	Recai Aci, Mukadder Erdem, Göksenin Ünlügüzel Üstün, Utku Duran, Adem Keskin, Melek Bilgin
Makale	2022	Co-evaluation of magnesium and 25-hydroxyvitamin D3 in predicting the severity of COVID-19 disease	Adem Keskin, Recai Aci, Emine Altın, Utku Duran
Kongre	2022	Evaluation of Some Chemical and Biochemical Properties of Donkey Milk in Different Lactation Periods	Muhammet Kaptan, Utku Duran, Hakan Tüfek, Serkan Sugeçti
Kongre	2022	Blood sampling techniques and preparing for analysis in rainbow trout (<i>Oncorhynchus mykiss</i>)	Utku Duran, Sena Çenesiz, Büşra Şahin
Derleme	2023	Blood sampling techniques and preparing for analysis in rainbow trout (<i>Oncorhynchus mykiss</i>)	Utku Duran, Sena Çenesiz, Büşra Şahin
Derleme	2023	Cellular senescence, mTOR signaling pathway and polyphenol	Adem Keskin, Recai Aci, Murat Arı, Utku Duran

EKLER



T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
Hayvan Deneyleri Yerel Etik Kurulu

Sayı : 68489742-604.01.03-E.12020

14/07/2020

Konu : Hadyek izini hk.

PROF.DR. SENA ÇENESİZ
PROJE YÜRÜTÜCÜSÜ

Balıklar üzerinde Araştırma amaçlı çalışma yapmak üzere başvuran Prof. Dr. Sena ÇENESİZ'in 2020/26 Kabul nolu **“YETİŞKİN GÖKKUŞAĞI ALABALIKLARININ (*Oncorhynchus mykiss*) TRANSFERİNDE FARKLI OKSİJEN KONSANTRASYONLARININ OKSİDATİF STRES VE BAZI BİYOKİMYASAL PARAMETRELER ÜZERİNE ETKİSİ”** başlıklı projesi 14.07.2020 tarihli Kurul toplantısında OMU- HADYEK'in yönergesi kapsamında değerlendirilmiş ve Hayvan Hakları ve Deney Etik İlkelerine Uygun bulunmuştur. Karar onayı ekte sunulmuştur.

Bilgilerinizi rica ederim.

e-imzalıdır

Prof. Dr. Mustafa AYYILDIZ
HADYEK Başkanı

Ek: ETİK KURUL KARARI 2020 – 26 S. ÇENESİZ

Adres: Ondokuz Mayıs Üniversitesi Rektörlüğü

Telefon: 0362 312 19 19 Faks: 0362 457 60 91

Elektronik Ağ: <http://www.omu.edu.tr/>



Kep Adresi:

omu@hs01.kep.tr

Hayriye ÇELİK

Dahili Tel: 2588

5070 sayılı Elektronik İmza Kanunu'na uygun olarak Güvenli Elektronik İmza ile üretilmiştir.
Evrak teyidi <https://ebyssorgu.omu.edu.tr> adresinden 86GY-LYK7-00TG kodu ile yapılabilir.