



**T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



Doktora Tezi

**AKUAPONİK SİSTEMDE GÖKKUŞAĞI ALABALIKLARININ
(*Oncorhynchus mykiss*) YÜZME AKTİVİTESİNİN SU KALİTESİ,
BALIK VE BİTKİ BÜYÜME PERFORMANSINA ETKİSİ**

Gökhan TUNÇELLİ

Su Ürünleri Yetiştiriciliği ve Hastalıkları Anabilim Dalı

Su Ürünleri Yetiştiriciliği Programı

**DANIŞMAN
Prof. Dr. Devrim MEMİŞ**

**II. DANIŞMAN
Doç. Dr. Juhani PIRHONEN**

Aralık, 2022

İSTANBUL

Bu alışma, 21.12.2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Su Ürünleri Yetiştiriciliğı ve Hastalıkları Anabilim Dalı, Su Ürünleri Yetiştiriciliğı Programında Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Prof. Dr. Devrim MEMİş(Danışman)
İstanbul Üniversitesi
Su Bilimleri Fakóltesi

Prof. Dr. Meriç ALBAY
İstanbul Üniversitesi
Su Bilimleri Fakóltesi

Prof. Dr. Hijran YAVUZCAN YILDIZ
Ankara Üniversitesi
Ziraat Fakóltesi

Prof. Dr. Serap USTAOĞLU TIRIL
Sinop Üniversitesi
Su Ürünleri Fakóltesi

Doç. Dr. İlker Zeki KURTOĞLU
Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi
Su Ürünleri Fakóltesi

İntihal Programı Beyanı

20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, İstanbul Üniversitesi’nin aboneli olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Fen Bilimleri Enstitüsü’nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

Proje Destekleri

Bu tez, İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yürütücü Sekreterliğinin 37081 numaralı projesi ile desteklenmiştir.

Tezden Üretilmiş Yayınların Künye Bilgileri

Tunçelli, G., & Pirhonen, J. (2021). Effects of weekend starvation and the duration of daily feeding on production parameters of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. *Aquaculture*, 543, 737028. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.737028>.

Tunçelli, G., Can Tunçelli, İ., Memiş, D. (2023). Evaluation of lettuce (*Lactuca sativa* L.) in a decoupled aquaponics system in terms of food safety, *Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* (Yayın sürecinde).

ÖNSÖZ

Doktora süresince danışmanlığımı üstlenen, bu sürecin her aşamasında bilgi birikimini ve desteğini esirgemeyen ve bana yol gösteren değerli hocam Prof.Dr. Devrim Memiş'e ve ikinci danışmanım Doç.Dr. Juhani Pirhonen'e, akademisyenlik hayatım boyunca verdiği emekleri için kendisine ömür boyu minnettar olacağım Tez İzleme Komitemde yer alan hocam Prof.Dr. Meriç Albay'a ve tezimin geliştirilmesinde katkıları olan Prof.Dr. Hijran Yavuzcan Yıldız hocama, su kalitesi analizleri konusunda yardımlarını aldığım arkadaşlarım Araş.Gör. Fatih Aydın ve Öğr.Gör.Dr. Latife Köker Demo'ya, laboratuvar imkanlarını sağlayan Prof.Dr. Reyhan Akçaalan Albay hocama, balıklarda yapılan analizler konusunda yardımcı olan ve İşleme Teknolojisi Anabilim Dalı'nın laboratuvarlarını kullanmamı sağlayan Prof.Dr. Özkan Özden hocama, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Mühendislik Fakültesi Kimya Bölümü Biyokimya Anabilim Dalı'ndan Prof.Dr. Refiye Yanardağ hocama ve analizlerimde yardımcı olan Anabilim Dalı'ndaki tüm hoca ve arkadaşlarıma, tezin deney kısımlarında akuaponik sistemlerin kurulumu aşamasında yardımları için Sapanca İçsu Ürünleri Üretimi Araştırma ve Uygulama Birimi personeli tekniker Murat Demir'e ve Öğr.Gör.Dr. Mehmet Hakan Erk'e, tezin deney kısmında balık tartımlarında, su analizlerinde, sistem bakımında, yemlemede ve birçok aşamada farklı zamanlarda yardımlarını aldığım sevgili öğrencilerime, yabancı doktora öğrencisi Mohamed Abdaltah Hassan Ahmed'e, son olarak doktora tezinin analizlerinin yapımından yazma sürecine kadar her konuda yardımını ve desteğini aldığım, her zaman yanımda olan ve varlığıyla mutlu eden biricik eşim Araş.Gör. İdil Can Tunçelli'ye ve manevi destekleri için canım aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Aralık 2022

Gökhan TUNÇELLİ

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
ŞEKİL LİSTESİ	ix
TABLO LİSTESİ.....	xi
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ.....	xii
ÖZET	xiv
SUMMARY	xvi
1. GİRİŞ	1
2. GENEL KISIMLAR.....	5
2.1. AKUAPONİK SİSTEM.....	5
2.1.1. Resirküle Akuakültür Sistem (RAS)	7
2.1.2. Hidroponik Sistem.....	7
1- Derin Su Kültürü (DSK) Tekniği:	8
2- Besleyici Film Tekniği (BFT):.....	9
3- Ortam Yatağı Tekniği (OYT):	10
2.2. AKUAPONİK SİSTEMDE ÜRETİLEN SU CANLILARI VE BİTKİLER.....	11
2.2.1. Gökkuşuğu Alabalığı.....	12
2.2.2. Marul Bitkisi.....	13
2.3. BALIKLARIN YÜZME AKTİVİTESİ.....	13
2.3.1. Yüzme Aktivitesi ve Balıkların Büyüme İlişkisi.....	14
2.3.2. Yüzme Aktivitesi ve Antioksidanlar	15
4.3.2.1. Glutasyon (GSH):.....	15
4.3.2.2. Lipid Peroksidasyonu (LPO):	15
4.3.2.3. Enzimatik Antioksidanlar:	16
4.3.2.4. Katalaz (CAT) Enzimi:	16
4.3.2.5. Süperoksit Dismutaz (SOD) Enzimi:	16
4.3.2.6. Glutasyon Peroksidaz (GPx) Enzimi:	17
4.3.2.7. Glutasyon Redüktaz (GR) Enzimi:	17
4.3.2.8. Glutasyon-S-transferaz (GST) Enzimi:	17
4.3.2.9. Glukoz-6-Fosfat Dehidrojenaz Enzimi (G6PD):	17

4.3.2.10. Laktat Dehidrojenaz (LDH) Enzimi:	18
4.3.2.11. Arginaz Enzimi:	19
4.3.2.12. Reaktif Oksijen Türleri:	20
4.3.2.13. Sindirim Enzimleri:	20
2.4. AKUAPONİKTE MİKROBİYOLOJİK ETMENLER.....	21
2.5. BALIKLARDA BESİN VE BESİN KISITLAMASI.....	22
2.6. BALIKLARDA AMİNO ASİTLER VE YAĞ ASİTLERİ	23
3. MALZEME VE YÖNTEM.....	27
3.1. MALZEME	27
3.1.1. Çalışma Yeri ve Süresi	27
3.1.2. Balık Materyali	27
3.1.3. Bitki Materyali.....	27
3.1.4. Balık Beslenmesinde Kullanılan Yem.....	29
3.1.5. Denemede Kullanılan Su	29
3.2. YÖNTEM.....	29
3.2.1. Çalışma Gruplarının Oluşturulması.....	29
3.2.2. Akuaponik Sistem	30
3.2.2.1. Resirküle Akuakültür Sistemi (RAS)	30
3.2.2.2. Hidroponik Sistem (HP)	32
3.2.3. Yüzme Performansı İçin Akıntı Oluşturma.....	33
3.2.4. Su Kalitesi Analizleri	34
3.2.5. Yem Analizi.....	35
3.2.6. Balık Büyüme Performansına Ait Analizler.....	35
3.2.6.1. Canlı Ağırlık Artışı	35
3.2.6.2. Yem Alım Miktarı.....	36
3.2.6.3. Kondisyon Faktörü	36
3.2.6.4. Spesifik Büyüme Oranı	36
3.2.6.5. Yemden Yararlanma Oranı.....	37
3.2.6.6. Varyasyon Katsayısı	37
3.2.6.7. Hepatosomatik İndeks.....	38
3.2.6.8. Viserosomatik İndeks	38
3.2.6.9. Balıklardaki Amino Asit Analizleri.....	38
3.2.6.10. Balıkların Yağ Asitleri Analizleri	39
3.2.6.11. Sindirim ve Antioksidan Enzim Aktivitesi Tayinleri	40

3.2.7. Bitki Büyüme Performansı	44
3.2.7.1. Bitki Boyu.....	44
3.2.7.2. Gövde Çapı (Bitki Genişliği)	44
3.2.7.3. Bitki Islak Ağırlığı.....	44
3.2.7.4. Bitki Kuru Ağırlığı	45
3.2.7.5. Bitki Kökü Uzunluğu.....	45
3.2.7.6. Yaprak Sayısı	45
3.2.7.7. Renk Ölçümleri	45
3.2.8. Mikrobiyolojik Analizler.....	45
3.2.9. İstatistiksel Analiz	45
Etik Kurul İzni.....	46
4. BULGULAR.....	47
4.1. SU KALİTESİNE AİT BULGULAR.....	47
4.1.1. Günlük İzlenen Su Kalite Parametreleri.....	48
4.1.2. Haftalık İzlenen Su Kalite Parametreleri.....	54
4.2. BALIKLARA AİT BULGULAR	58
4.2.1. Balıkların Büyüme Performansı	58
4.2.1.1. Balıklara Ait Başlangıç Ağırlıkları.....	60
4.2.1.2. Balıklara Ait Final Ağırlıkları	61
4.2.1.3. Balıklara Ait Ağırlık Artışı.....	62
4.2.1.4. Kondisyon Faktörü	63
4.2.1.5. Yem Alım Miktarı.....	64
4.2.1.6. Balık Boyu.....	65
4.2.1.7. Spesifik Büyüme Oranı	66
4.2.1.8. Yemden Yararlanma Oranı.....	67
4.2.1.9. Varyasyon Katsayısı	68
4.2.1.10. Hepatosomatik İndeks.....	69
4.2.1.11. Viserosomatik İndeks	70
4.2.2. Balıklardaki Amino Asit Analizleri.....	71
4.2.3. Balıkların Yağ Asitleri Analizleri	72
4.2.4. Sindirim ve Antioksidan Enzim Aktivitesi Tayinleri.....	74
4.3. BİTKİ BÜYÜME PERFORMANSINA AİT BULGULAR.....	79
4.3.1. Bitki Ağırlığı	80
4.3.2. Bitki Boyu	80

4.3.3. Bitki Genişliği	81
4.3.4. Bitkinin Kök Uzunluğu	82
4.3.5. Bitkinin Kök Ağırlığı	83
4.3.6. Bitki Yaprak Sayısı.....	84
5. TARTIşMA VE SONUÇ	85
KAYNAKLAR.....	117
ZGEMIř	142



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1: Hidroponik sistemin şematik görünümü (Özgün)	8
Şekil 2.2: Derin su kültürü tekniği gösterimi (Özgün).....	9
Şekil 2.3: Besleyici film tekniği gösterimi (Özgün).....	10
Şekil 2.4: Katı ortam kültürü tekniği (Özgün)	11
Şekil 2.5: Glutasyon= N-(N-γ-glutamilsisteinil) glisin.	15
Şekil 2.6: Pentoz fosfat yolunda glukoz-6-fosfat dehidrojenaz enzimi	18
Şekil 2.7: Laktat dehidrojenaz enzimi.....	19
Şekil 2.8: Arginaz enzimi.....	20
Şekil 3.1: Marul fidelerinin akuaponik sisteme eklendiği zamana ait görüntü (Özgün).	28
Şekil 3.2: Resirküle akuakültür sisteminin şematik görünümü (Özgün).	31
Şekil 3.3: Azot döngüsüne bağlı olarak çalışmanın başlangıç zamanı (Özgün).	32
Şekil 3.4: Hidroponik sistemin şematik görünümü (Özgün).	33
Şekil 3.5: Balık tankında akıntı oluşturmak için kullanılan plastik boru (Özgün).	34
Şekil 3.6: Balık tanklarına su giriş ve çıkışını anlatan şematik gösterim (Özgün).	34
Şekil 3.7: Alabalığın kırmızı ile işaretli bölge kesilerek alınan kas dokusu (özgün).....	40
Şekil 3.8: Bitkilere ait gövde çapı (cm), gövde uzunluğu (cm), kök uzunluğu (cm) ve bitki boyu (cm) gösterimi (Özgün).....	44
Şekil 4.1: Gruplara ait su sıcaklığı (°C) değerleri.	48
Şekil 4.2: Gruplara ait pH değerleri (Ort±SD).....	49
Şekil 4.3: Gruplara ait çözünmüş oksijen (mg/L) değerleri (Ort±SD).....	50
Şekil 4.4: Gruplara ait oksijen satürasyonu (%) değerleri.	51
Şekil 4.5: Gruplara ait toplam çözünmüş katı (mg/L) değerleri (Ort±SD).	52
Şekil 4.6: Gruplara ait tuzluluk (‰) değerleri (Ort±SD).....	53

Şekil 4.7: RAS ve HP sistemlerine ait sudaki fosfor değerleri.	54
Şekil 4.8: RAS ve HP sistemlerine ait sudaki amonyak değerleri.	55
Şekil 4.9: RAS ve HP sistemlerine ait sudaki nitrit değerleri.	56
Şekil 4.10: RAS ve HP sistemlerine ait sudaki nitrat değerleri.	57
Şekil 4.11: RAS ve HP sistemlerine ait sudaki demir değerleri.	58
Şekil 4.12: Çalışmanın deneme gruplarına ait başlangıç balık ağırlıkları.	60
Şekil 4.13: Çalışma gruplarına ait final ağırlıkları değerleri.....	61
Şekil 4.14: Çalışma gruplarına ait balıkların ağırlık artışı değerleri.	62
Şekil 4.15: Çalışma gruplarının balıklarına ait kondisyon faktörü değerleri.	63
Şekil 4.16: Çalışma gruplarının çalışma boyunca tükettikleri yem miktarları.	64
Şekil 4.17: Çalışma gruplarına ait balıkların çalışma sonundaki boy uzunluk değerleri.	65
Şekil 4.18: Çalışma gruplarına ait spesifik büyüme oranının çalışma sonundaki değerleri	66
Şekil 4.19: Çalışma gruplarına ait yemden yararlanma oranı değerleri.....	67
Şekil 4.20: Çalışma gruplarına ait varyasyon katsayısı değerleri.	68
Şekil 4.21: Çalışma gruplarına ait hepatosomatik indeks değerleri.....	69
Şekil 4.22: Çalışma gruplarına ait viserosomatik indeks değerleri.....	70
Şekil 4.23: Dördüncü haftadaki marul bitkisi görüntüsü (Özgün).	79
Şekil 4.24: Çalışma gruplarına ait bitki ağırlığı değerleri.....	80
Şekil 4.25: Çalışma gruplarına ait bitki boyu değerleri.	81
Şekil 4.26: Çalışma gruplarına ait bitki genişliği değerleri.....	82
Şekil 4.27: Marul bitkisinin kök görüntüsü (Özgün).	82
Şekil 4.28: Çalışma gruplarına ait bitki kök uzunluğu değerleri.	83
Şekil 4.29: Çalışma gruplarına ait bitki kökü ağırlığı (g) değerleri.	83
Şekil 4.30: Çalışma gruplarına ait bitkilerin yaprak sayısı değerleri.	84

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 3.1: Çalışmada kullanılan gökkuşağı alabalığına ait başlangıç değerleri.....	27
Tablo 3.2: Analizlerde kullanılan HPLC cihazının çalışma koşulları	39
Tablo 4.1: Çalışma boyunca günlük olarak ölçülen sıcaklık (°C), pH, çözülmüş oksijen (mg/L), oksijen saturasyonu (%), iletkenlik (µS/cm), toplam çözülmüş katı (mg/L) ve tuzluluk (‰) parametrelerine ait değerler (Ort±SD).	47
Tablo 4.2: Çalışmada kullanılan gökkuşağı alabalıklarına ait başlangıç ve final ağırlıkları (g), ağırlık artışı (g), alınan yem miktarı (g), toplam boyları (cm), kondisyon faktörleri, spesifik büyüme oranı (%) ve yemden yararlanma oranı değerleri (Ort±SD).....	59
Tablo 4.3: Çalışma gruplarına ait amino asit değerleri (Ort±SD).	71
Tablo 4.4: Çalışma gruplarına ait yağ asitleri değerleri.	72
Tablo 4.5: Çalışma gruplarının solungaç dokularının biyokimyasal parametreleri.	74
Tablo 4.6: Çalışma gruplarının kas dokularının biyokimyasal parametreleri.	75
Tablo 4.7: Çalışma gruplarının mide dokularının biyokimyasal parametreleri.....	76
Tablo 4.8: Çalışma gruplarının karaciğer dokularının biyokimyasal parametreleri.....	77
Tablo 4.9: Çalışma gruplarının böbrek dokularının biyokimyasal parametreleri.....	78
Tablo 4.10: Çalışmada kullanılan marul bitkilerine ait boy (cm), genişlik (cm), ağırlık (g), kök uzunluğu (cm), kök ağırlığı (g) ve yaprak sayısı (adet) değerleri.	79

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler	Açıklama
----------	----------

%	: Yüzde
γ	: Gamma
~	: Yaklaşık
<	: Küçüktür
>	: Büyüktür
$\pm$	: Artı eksi
°	: Santigrat
‰	: Binde

Kısaltmalar	Açıklama
-------------	----------

μS	: Mikro siemens
BB	: Balık boyu
BFT	: Besleyici film tekniği
C	: Derece
CAT	: Catalase, Katalaz
cm	: Santimetre
CO ₂	: Karbon dioksit
DHA	: Dekosahekzaenoik asit
diğ.	: Diğerleri
DSK	: Derin su kültürü
EPA	: Eikosapentaenoik asit
Fe	: Demir
g	: Gram
G6PD	: Glukoz-6-fosfat dehidrojenaz enzimi
GPx	: Glutasyon peroksidaz enzimi
GR	: Glutasyon redüktaz enzimi
GSH	: Glutasyon
GSSG	: Okside glutasyon
GST	: Glutasyon-S-treansferaz enzimi
H ⁺	: Hidrojen

H₂O	: Su
H₂O₂	: Hidrojen peroksit
HP	: Hidroponik sistem
HSI	: Hepatosomatik indeks
IU	: International unite, İnternasyonel ünite
İUSUCAN	: İstanbul Üniversitesi Sucul Omurgalı Canlı Deney Ünitesi
K	: Kondisyon faktörü
kg	: Kilogram
L	: Litre
LPO	: Lipid peroksidasyonu
m²	: Metrekare
m³	: Metreküp
MDA	: Malondialdehid
mg	: Miligram
mm	: Milimetre
MUFA	: Mono unsaturated fatty acid, Tekli doymamış yağ asitleri
NADPH	: Nikotinamid adenin dinükleotid fosfat (indirgenmiş)
NH₄⁺-N	: Amonyum azotu
nm	: Nanometre
NO₂	: Nitrit
NO₃	: Nitrat
O₂	: Oksijen
OYT	: Ortam yatağı tekniği
PO₄	: Fosfat
PUFA	: Polyunsaturated fatty acid, Çoklu doymamış yağ asitleri
RAS	: Resirküle akuakültür sistem
s	: Saat
SD	: Standart deviation, standart sapma
SFA	: Saturated fatty acid, doymuş yağ asitleri
SOD	: Süperoksit dismutaz enzimi
TP	: Toplam fosfor
VK	: Varyasyon katsayısı
YDO	: Yem dönüşüm oranı

ÖZET

DOKTORA TEZİ

AKUAPONİK SİSTEMDE GÖKKUŞAĞI ALABALIKLARININ (*Oncorhynchus mykiss*) YÜZME AKTİVİTESİNİN SU KALİTESİ, BALIK VE BİTKİ BÜYÜME PERFORMANSINA ETKİSİ

Gökhan TUNÇELLİ

İstanbul Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Su Ürünleri Yetiştiriciliği ve Hastalıkları Anabilim Dalı

Danışman : Prof. Dr. Devrim MEMİŞ

II. Danışman : Doç. Dr. Juhani PIRHONEN

Bu tez çalışmasında, ayrışık akuaponik sistemde gökkuşığı alabalığına (*Oncorhynchus mykiss*) uygulanan yüzme aktivitesi ve yem kısıtlaması uygulamalarının akuaponik sistemin su kalitesine, balıkların büyüme performansına (canlı ağırlık artışı, spesifik büyüme oranı, yem dönüşüm oranı vs.), balık etindeki yağ asitleri ve amino asit kompozisyonlarına, balıklardaki bazı enzimatik ve enzimatik olmayan antioksidanlara ve marul (*Lactuca sativa* L. var. *elmaria*) bitkisinin büyüme performansına etkileri incelenmiştir.

Her sistemde 108 adet ortalama 26,54±0,36 g ağırlığına sahip juvenil gökkuşığı alabalığı ve 60 adet 10 günlük marul fidesi konulmuş ve çalışma 42 gün sürmüştür. Çalışma dört farklı grup ile gerçekleştirilmiştir. Bu gruplar; sabit suda (0 BB/s akıntıda) tutulan ve doyana kadar beslenen grup (SN grubu), sabit suda (0 BB/s akıntıda) tutulan ve %25 yem kısıtlaması yapılan grup (SK grubu), yaklaşık saniyede bir balık total boyu (1 BB/s) hızındaki akıntıda tutulan ve doyana kadar beslenen grup (YN grubu), yaklaşık saniyede bir balık total boyu (1 BB/s) hızındaki akıntıda tutulan ve %25 yem kısıtlaması yapılan grup (YK grubu) şeklindedir.

Sonuç olarak, balık tankında 1 balık boyu/saniye akıntı uygulanmasının yeterli besin takviyesi sağlandığı takdirde balıkların yem alımını, balığın boyunu ve yemden yararlanma oranını arttırdığı, varyasyon katsayısını düşürdüğü, suya daha fazla besin tuzu kazandırdığı için bitki

verimine olumlu etki yaptığı, besin kısıtlaması uygulandığında ise balığın büyümesini ve sistemin verimini olumsuz etkilediği tespit edilmiştir ($p<0,05$).

Aralık 2022, 164 sayfa.

Anahtar kelimeler: Akuaponik sistem, gökkuşuğu alabalığı, marul bitkisi, yüzme aktivitesi, yem kısıtlaması



SUMMARY

Ph.D. THESIS

THE EFFECT of SWIMMING ACTIVITY of RAINBOW TROUT (*Oncorhynchus mykiss*) on WATER QUALITY and FISH-PLANT GROWTH PERFORMANCE in AQUAPONICS

Gökhan TUNÇELLİ

İstanbul University

Institute of Graduate Studies in Sciences

Department of Aquaculture and Fish Diseases

Supervisor : Prof. Dr. Devrim MEMİŞ

Co-Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Juhani PIRHONEN

In this thesis study, swimming activity and feed restriction applications were applied to rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) in different aquaponic systems to investigate how they affects the water quality of the aquaponic system, the growth performance of the fish (live weight gain, specific growth rate, feed conversion rate, etc.), fatty acids and amino acids profiles in fish meat, some enzymatic and non-enzymatic antioxidants in fish and, growth performance of lettuce (*Lactuca sativa* L. var. *elmaria*).

In each system, 108 juvenile rainbow trout with an average weight of 26.54 ± 0.36 grams and 60 10-day-old lettuce seedlings were placed and the study lasted for 42 days. The study was carried out with four different groups. These groups were; The group kept in still water (at 0 BL/s current) and fed until satiation (SN group), the group kept in still water (at 0 BL/s current) and with 25% feed restriction (SK group), approximately one fish total length per second (1 BL/s)

and until satiation fed group (YN group) is in the form of the group (YK group), which is kept in the current at a rate of approximately one fish total length (1 BL/s) per second and 25% feed restriction is applied.

As a result, the application of 1 fish length/second current in the fish tank increase the feed intake, increase the length of the fish, contribute positively to growth, add more nutrient to the water, increase the feed intake, and had a positive effect on plant yield if adequate nutritional supplementation is provided. When sufficient nutrients were not given, it has been determined that the growth of the fish and the efficiency of the system were adversely affected ($p<0.05$).

December 2022, 164 pages.

Keywords: Aquaponic system, rainbow trout, lettuce plant, swimming activity, feed restriction

1. GİRİŞ

Akuakültür sektörü, son otuz yıllık süreçte her yıl ortalama %7-10 oranında büyüyerek dünyada en hızlı büyüyen gıda üretim sektörü olmuştur (FAO, 2018). Nüfusun artışı ile beraber artan gıda ihtiyacı ve sağlıklı besine ulaşma bilincindeki artış nedeniyle akuakültür yoluyla elde edilen su ürünlerine olan talep her geçen gün daha da artmaktadır. Önümüzdeki yıllarda dünya üzerinde yaşayan insan nüfusunun birkaç milyar daha artacağı öngörülmektedir. Bu nüfusun sağlıklı gıdaya erişebilmesi yani gıda güvenliği endişeleri tüm dünyada daha yaygın hale gelmiş durumdadır. Bu sebeple akuakültürün yapıldığı alanları arttırmak ve daha verimli hale getirmek önem arz etmektedir.

Su kaynaklarının kısıtlı olması, doğal kaynaklar, ekonomi, ekoloji, toplum ve çevre arasında ciddi bir küresel sorun yaratmaktadır (Li ve diğ., 2022). Dünyada en çok tatlı su tüketen sektörlerin başında %70-80'lik pay ile tarım sektörü gelmektedir (Crovella ve diğ., 2022). Sahip olduğumuz tarımsal üretim metotlarıyla besin ihtiyacını karşılamaya çalışmak ortaya birçok problem çıkarabilmektedir (Junge ve diğ., 2017). Güncel tarım metotlarında hala çok fazla su ve gübre kullanımı, alan işgali ve toprağın verimsizleşmesi gibi sorunlar bulunmaktadır (Goddek ve diğ., 2015). Bu sebeple alternatif tarım modelleri giderek önem kazanmaktadır. En uygun alternatif tarım modelleri arasında ise topraksız tarım (hidroponik) ve su ürünleri yetiştiriciliğinin bir arada yapıldığı akuaponik sistem gelmektedir. Avrupa Birliği Parlamentosu akuaponik sistem teknolojisini ileride dünyanın değişmesini sağlayacak 10 teknolojidenden biri olarak görmektedir (Van Woensel ve diğ., 2015).

Günümüze kadar geleneksel tarım yöntemleri dünya nüfusunu beslemede yeterliydi ancak artan gıda talebini karşılamak sürdürülemez hale gelmiştir. Geleneksel yöntemlerin olumsuz etkilerini azaltmak için alternatif gıda üretim sistemleri geliştirilmiştir. 2016 yılında küresel iklim değişikliğinin etkilerini azaltmak için 170'den fazla ülkenin beraber ortaya koyduğu ve gerçekleştirmeye çalıştığı 17 adet küresel kalkınma hedefi belirlenmiştir. Bu hedeflerin amacı; bugünün ihtiyaçlarını, gelecek kuşakların ihtiyaçlarını karşılama yeteneğinden ödün vermeden kalkınma sağlamaktır (Thorarinsdottir ve diğ., 2017). Akuaponik sistem de bu hedeflerden birkaçı ile doğrudan örtüşmektedir.

Salmonid türleri hem ülkemizde hem de dünyada kaliteli protein içeriği ve yağ asitleri profili nedeniyle beğeni ile tüketilen gıdalar arasındadır (Turchini ve diğ., 2018). Bir salmonid türü olan ve su kalitesi değişimleri açısından hassas sayılabilecek özellikte olan gökkuşağı alabalıkları (*Oncorhynchus mykiss*)’nın akuaponik sistemlerinde üretilmesine dair son zamanlarda birçok çalışma yapılmıştır (Petrea ve diğ., 2014; Johnson ve diğ., 2017; Birolo ve diğ., 2020). Türkiye’de bu konuda yapılan çalışmalar oldukça sınırlıdır. Oysa Türkiye İstatistik Kurumu verilerine göre, Türkiye’nin yetiştiricilik yöntemiyle elde edilen toplam su ürünleri üretiminin (471.686 ton) %35’i (165.683 ton) gökkuşağı alabalığına aittir (TÜİK, 2021). Bu nedenle ülkemizin alabalık üretimindeki bu başarısından yararlanmak için akuaponik gibi iklim şartlarına ve çevreye uyumlu sürdürülebilir üretim yöntemlerine entegrasyonu sağlaması önemlidir.

Akuaponik sistem, besinleri ve diğer biyolojik ve ekonomik kaynakları korumak için hayvan ve bitki kültürü teknolojilerini birleştirmeyi amaçlayan bütünleşmiş tarım-akuakültür teknolojisidir. Akuaponik terimi ilk kez 1970’lerin başında Amerika Birleşik Devletleri (ABD)’nde ortaya çıkmıştır ve son zamanlarda özellikle Avrupa’da popüler hale dönüşmüştür (Goddek ve diğ., 2019).

Kurulmuş bir sistemin akuaponik sistem sayılabilmesi için verimli su kullanımı, verimli besin kullanımı, çevreye olumsuz etkisi azaltılmış yaklaşımların tarımsal balık ve bitki üretimine uygulanması gibi çeşitli ilkelere sahip olması gereklidir. Resirküle akuakültür sistemi (RAS) teknolojileri, suyun kimyasını balıklar için uygun hale getirmek için kontrol etmek ve değiştirmek için uygulanan filtrasyon ile tanklarda balık kültürü için standart yöntemler uygular. Örneğin, balık tanklarındaki katı atıklarının hızlı ve verimli bir şekilde uzaklaştırılması, potansiyel olarak toksik olan amonyağın daha az toksik olan nitrate bakteriler yardımıyla dönüştürülmesi, havalandırma veya doğrudan suya verilen oksijen gazı ile oksijen miktarının yönetimi gibi standart yöntemler bir RAS sistemin sürdürülmesi için elzemdir (Ebeling ve Timmons, 2010). Hidroponik teknolojilerinde ise, su ortamlarında yenilebilir karasal bitkilerin, büyümesi için gerekli besin maddelerine su temelli bir dağıtım yöntemiyle erişmesi standart yöntemdir (Resh, 2022).

Akuaponik sistemlerde su ürünleri yetiştiriciliği ortamından çıkan sular önce mekanik filtrasyondan geçirilerek katı kısımları uzaklaştırılır, daha sonra biyolojik filtrasyona tabi tutularak bakteriler yardımıyla toksik olan maddeler daha az toksik hale dönüştürülür. Daha

sonra bu su bitki yataklarına bitki besini olarak gönderilip bitkilerin büyümesini sağlar. Bitkilerin temizlediği su ise tekrar su ürünleri yetiştiriciliği için kullanılabilir. Bu, klasik tek döngülü bir akuaponik sistemin sahip olduğu üniteleri içermektedir (Somerville, 2014).

Akuaponik sistemler kapalı devre sistemler olduğu için, suyun az kullanılması ve kalitesinin kontrol altında tutulabilmesi ile sistem içerisindeki canlıların refahının sağlanması, kurulan ekosistemin sağlığı ve sürdürülebilirliği açısından oldukça önemlidir. Akuaponik sistemler tek döngülü gerçekleştirilebildiği gibi birden fazla döngülü de gerçekleştirilebilmektedir (Goddek ve diğ., 2016). Ayrışmış döngülü sistemlerin tek döngülü sistemlere göre farklı su kalitesi ihtiyaçlarını karşılama potansiyeline sahip olduğundan daha avantajlı olduğu bilinmektedir. Topraksız tarımın yapıldığı bölüm ile su ürünleri yetiştiriciliğinin yapıldığı bölümün döngülerinin arasındaki bağlantı kontrol edilebilir bir şekilde ayrıştırılırsa, iki ayrı sistem içerisindeki balık ve bitkinin kendi ihtiyaçlarına yönelik su kalitesini optimum seviyede tutarak daha sağlıklı üretimler gerçekleştirilebilir.

Bu tezde kullanılan sistemde de bu bitki ve balık üretimi için ayrıştırılmış iki farklı sistem kurulmuştur. Bu sayede bitkilerin yetiştirildiği hidroponik sistem ile balıkların bulunduğu kapalı devre akuakültür sistemine ait suyun kalitesine ait parametrelerin kontrol altında tutulması ve izlenmesi mümkün olmuştur.

Yüzme, balıklar için gelişmek, hayatta kalmak, büyümek ve başarılı bir şekilde üremek için gereksinim duydukları bir davranış biçimidir. Bu davranış özellikle Salmonidler gibi yaşamlarının çoğunu göç ederek geçiren balık türlerinde hayati derecede öneme sahiptir (Skov ve diğ., 2015). Yüzme hareketinin, balıkların et miktarını ve kalitesini arttırdığı, sürü halinde hareket eden balıkların birbirlerine yaptıkları saldırgan hareketleri ve stres seviyelerini azalttığı tespit edilmiştir (Palstra ve Planas, 2013). Balıkların yüzme hareketleri başka bir deyimle aktiviteleri üzerine yapılan birçok çalışma göstermiştir ki balıklar belli bir akıntıya karşı yüzdüklerinde yem dönüşüm oranları artabilmekte (Jobling ve diğ., 1993), bağışıklık sistemleri kuvvetlenebilmekte (Castro ve diğ., 2011), et kaliteleri artabilmekte (Palstra ve Planas, 2011) ve akıntı nedeniyle sürü halinde bulunmak aralarındaki hiyerarşiyi azalttığı için birbirlerine verdikleri zarar azalabilmektedir (Brannas, 2009). Daha önce akuaponik sistemlerde suyun çevrilme hızı üzerine çalışmalar yapılmışsa da (Hussain ve diğ., 2014; Nuwansi ve diğ., 2016) balıkların yüzme ezgersizi isteğine bağlı olarak akuaponik sistemdeki balıkların hidroponik kısmındaki bitki büyümesi ile olan ilişkisine dair bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Bu tez kapsamında kurulan dört adet ayrışik akuaponik sistemde balıklara uygulanan yüzdürme ve yem kısıtlaması uygulamalarının akuaponik sistemde kullanılan suyun kalitesine, dolayısı ile balıkların büyüme performansına (canlı ağırlık artışı, spesifik büyüme oranı, yem dönüşüm oranı vs.), etteki yağ asitleri ve amino asit kompozisyonları ile balıklardaki bazı enzim aktivelerine etkisi incelenmiştir. Ayrıca balıkların bulunduğu ortamdan çıkan suyun sistemin hidroponik kısmında bulunan bitkilere verilerek yetiştirilen marul bitkilerinin (*Lactuca sativa* L.) büyümesi ve sebze olarak tüketilebilmesi için araştırmada kurulan akuaponik sistem bir bütün olarak değerlendirilmeye çalışılmıştır.



2. GENEL KISIMLAR

Su ürünleri yetiştiriciliği, milattan önce 2000-1000 yıllarına kadar dayanan bir tarihi geçmişe sahiptir (Rabanal, 1988). Su ürünleri yetiştiriciliği, günümüzde dünya ülkelerinde sürekli olarak gelişmekte olan ve gıda üretim sektörleri arasında en hızlı büyüyen sektör haline gelmiştir (FAO, 2020). Sektörde gıda üretimi anlamında ön plana çıkan birçok balık türü olmasına karşın, maddi anlamda en çok değere sahip olan Salmonidae ailesi içerisinde yer alan Salmon balığı ve gökkuşağı alabalığıdır (FAO, 2022). Salmonid türleri hem ülkemizde hem de dünyada kaliteli protein içeriği ve yağ asitleri profili nedeniyle beğeni ile tüketilen gıdalar arasındadır (Turchini ve diğ., 2018). Türkiye İstatistik Kurumu verilerine göre Türkiye'nin yetiştiricilik yöntemiyle elde edilen 471.686 ton olan toplam su ürünleri üretiminin 165.683 ton ile %35'i olarak gökkuşağı alabalığı oluşturmaktadır (TÜİK, 2021). Üretim miktarını arttırmanın beraberinde getirdiği sorunlarla mücadele de son yıllarda sektörün üzerinde durduğu konulardan biri olmuştur. Zira yapılan üretimin doğaya etkisinin azaltılması ve sürdürülebilirliğinin sağlanması da en az üretilen türün miktarını arttırma başarısı kadar önemlidir. Bu nedenle ülkemizin alabalık üretimindeki bu başarısının devam edebilmesi için iklim şartlarına ve çevreye uyumlu sürdürülebilir üretim yöntemlerine uyarlanması önemlidir.

2.1. AKUAPONİK SİSTEM

Akuaponik (AP), tek bir azot kaynağından (balık yemi) farklı ürün (akuatik canlılar, bitki veya sebze) yetiştirilebilen kapalı devre akuakültür sistemi (RAS) ve hidroponik (HP) adı verilen iki üretim sisteminin birleşimidir (Sommerville, 2014). Akuaponik kavramı esasen sürdürülebilir tarım akımından etkilenerek günümüzdeki popülerliği kazanmıştır. Permakültür olarak bilinen doğal sistemleri taklit eden yöntemler binlerce yıldır uygulanmaktadır. Ancak ilk olarak 1970'lerin ortalarında Avustralya'daki araştırmacılar tarafından sistemleştirilmiştir (Mollison ve Holmgren, 1981). 1970'lerin sonlarına doğru su ürünleri yetiştiriciliğinde permakültür yöntemleri uygulanmaya başlanmıştır (Todd, 1980). Daha sonraları ise hidroponik ve su ürünleri yetiştiriciliği arasında bağlantı kurma denemeleri gerçekleştirilmiştir (Zweig, 1986). Akuaponikle ilgili ilk bilimsel makaleler ise yine aynı yıllarda yayınlanan öncü araştırmalarla mümkün olmuş (Bohl, 1977, Neagel, 1977) ve Rakocy (2012) tarafından yapılan çalışmalarla popüler bir konu haline dönüşmüştür (Love ve diğ., 2014). Çoğu ticari akuaponik üretim, hem hidroponik hem de su ürünleri yetiştiriciliği sistemlerinden gelen teknikleri ve üretim

sistemlerini birleştirek kontrollü bir ortamda seralarda veya iç mekânlarda yapılmaktadır (Love ve diğ. 2015).

Akuaponik üzerinde hem kamuda hem özel sektörde, hem de akademi içinde artan bir ilgi bulunmaktadır. Son yıllarda akuaponik konusu üzerine çok sayıda proje, yayın ve haber yapılmıştır. Greenfeld ve diğ. (2019)'nin yaptıkları bir çalışmaya göre, 1996 ve 2017 yılları arasında akuaponik konusunda yapılmış ve hakemli dergilerde yayınlanmış 155 adet makale olduğunu bildirilmiştir (Colt ve diğ., 2022).

Akuaponik sistemlerde üretimin popüler hale gelmesinde en büyük etkenlerden birisi elbette dünyanın birçok çevresel sorunla karşılaşması ve bunlara çözüm arayışı içerisinde olunması gelmektedir. Akuaponik sistemlerin en büyük avantajlı olduğu alanlardan birisi de kontrollü tarım sınıfında olmasıdır. Bu tip tarımın geliştirilmesi ve yaygınlaştırılmasının hedefleri arasında, yeniliği teşvik etmek, rekabet gücünü ve sürdürülebilirliği arttırmak, alan ve suya erişimi iyileştirmek, balıkların refahını sağlamak, israfın önlenmesi ve kaynak verimliliği ile düşük karbon ekonomisini teşvik etmek gibi konular bulunmaktadır (Goddek ve diğ., 2019).

Su kıtlığı, tarım sektöründeki en kritik sorunlardandır ve bazı bölgelerde gıda arzı sorunlarının temel nedenidir (Lemos ve Oliveira 2004). Akuaponik üretim, su kıtlığı çeken bölgeler için son derece caziptir, çünkü minimum atık su deşarjı vardır ve çoğunlukla buharlaşma nedeniyle kaybedilen suyun yenilenmesi için makul miktarda tatlı su gerektirir (Zou ve diğ. 2016). Ayrıca akuaponik, kentsel ortamlar dâhil tüm bölgeler için uygun temiz bir sistemdir (Hundley ve diğ. 2018). Tumova ve Kalous (2018) gökkuşağı alabalığını kullanarak soğuk su akuaponik sistemi tasarlayarak verim analizi yaptıkları çalışmada kış koşullarında dış mekânda kurulu soğuk su akuaponik sistemin verimli bir yatırım olduğunu, yatırım maliyetinin geri dönüşünün 369 gün olduğunu ve yıllık %93 kar elde edebileceğini bildirmişlerdir.

Avrupa Birliği Parlamentosu akuaponik sistem teknolojisini ileride dünyanın değişmesini sağlayacak 10 teknolojidten biri olarak görmektedir (Van Woensel ve diğ., 2021). Akuaponik sistemler hakkında yapılmış olan yaşam döngüsü analizleri, akuaponik sistemlerin sürdürülebilirlik konusunda ne kadar başarılı olduğunu göstermektedir (Forchino ve diğ., 2017). Ayrıca akuaponik sistemler Sürdürülebilir Kalkınma Amaçlarından (SKA) olan “AMAÇ 2: Açlığa Son, AMAÇ 7: Erişilebilir ve Temiz Enerji, AMAÇ 8: İnsana Yakışır İş ve

Ekonomik Büyüme, AMAÇ 12: Sorumlu Üretim ve Tüketim, AMAÇ 14: Sudaki Yaşam” amaçları ile de uyumludur (Danish ve diğ., 2021).

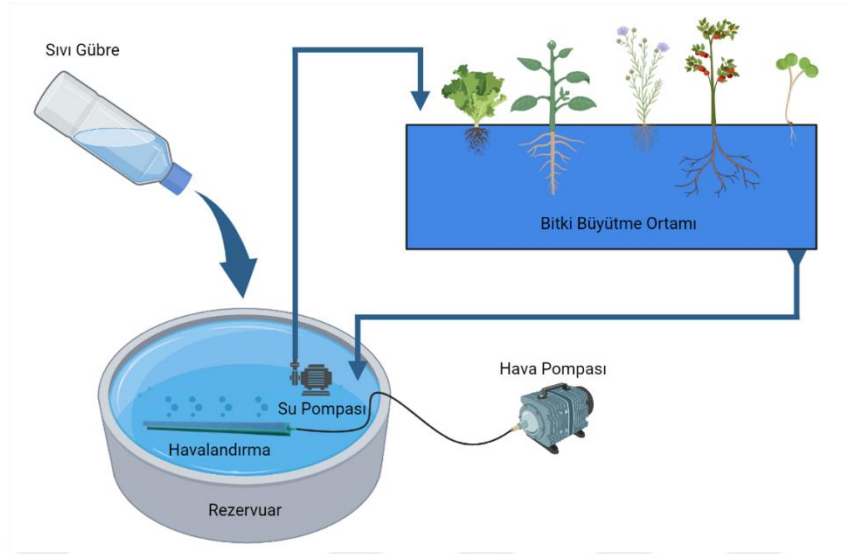
2.1.1. Resirküle Akuakültür Sistem (RAS)

Kapalı devre su ürünleri yetiştiriciliği sistemi, suyun mekanik ve biyolojik filtrasyona tabi tutularak iyileştirilmesinden sonra yeniden kullanıldığı bir teknolojidir. Bu yöntem, minimum arazi alanı ve su kullanarak çeşitli balık türlerinin yüksek yoğunluklu üretim yapmak için kullanılır (Ebeling ve Timmons, 2010). Su ürünleri yetiştiriciliği endüstrisi, daha yüksek yaşam oranları, daha çok ve daha hızlı biyokütle elde etme kabiliyeti, daha iyi genlere sahip nesillerin üretilmesi ve yüksek enerjili yemlerin geliştirilmesi sayesinde her geçen gün daha verimli hale gelmiştir. Yüksek teknoloji sayesinde daha verimli oksijen sağlama ve CO₂ uzaklaştırma sistemlerinin geliştirilmesi, sıcaklık, ışık ve atık kontrolündeki hâkimiyet artmış, suyu tekrar kullanma işlemi daha başarılı uygulanabilir olmuştur. Bu teknoloji ile üretim sırasında su kalitesi kontrol edilebilmesi ve tüketimin azaltılması mümkün hale gelmiştir.

Kapalı alanlardaki RAS’lar, kontrollü bir ortamda balık yetiştirme avantajını sunarken kontrollü ürün elde edilmesi, büyüme oranlarına ve öngörülebilir hasat programlarına izin vermesini sağlamaktadır. Böylece RAS, her hafta aynı miktarda balık üretecek şekilde ayarlanabildiğinden, mevsimlik ve hasatta düzensiz olan açık hava tank ve havuz sistemlerine göre rekabet avantajına sahiptir. Bu sistemlerde, suyun yeniden kullanımı yoluyla ısı ve su korunur, herhangi bir su ürünleri yetiştiriciliği sistemine kıyasla birim alan ve birim işçi başına en yüksek üretim sağlanır, çevresel olarak sürdürülebilir, geleneksel kültür balıkçılığı sistemlerine göre %90-99 daha az su kullanılabilir. (Ebeling ve Timmons, 2010).

2.1.2. Hidroponik Sistem

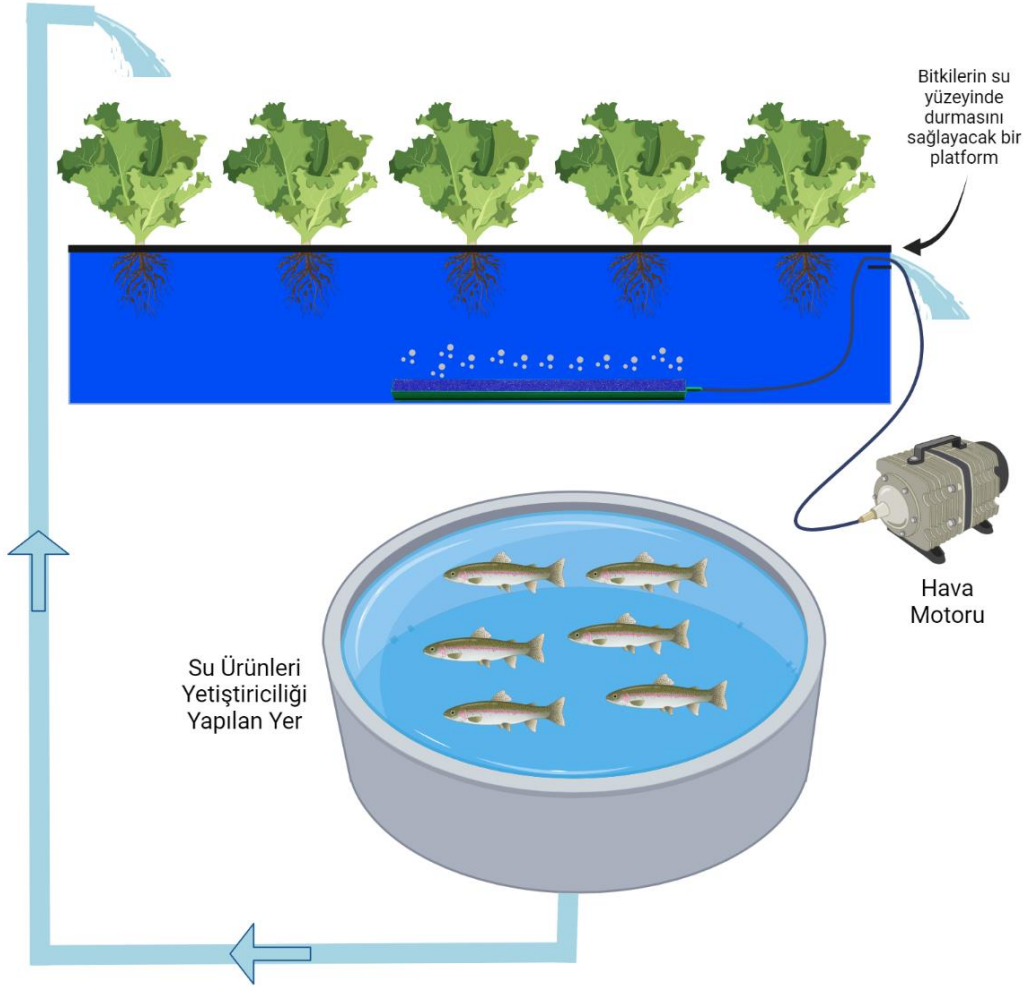
Topraksız tarım adı da verilen hidroponik sistemler, bitkilerin toprağa ihtiyaç duymadan üretildiği gıda üretim sistemleridir (Şekil 2.1). Bu sistemde bitkiler besinlerini toprak yerine besin solüsyonundan almaktadır.



Şekil 2.1: Hidroponik sistemin şematik görünümü (Özgün)

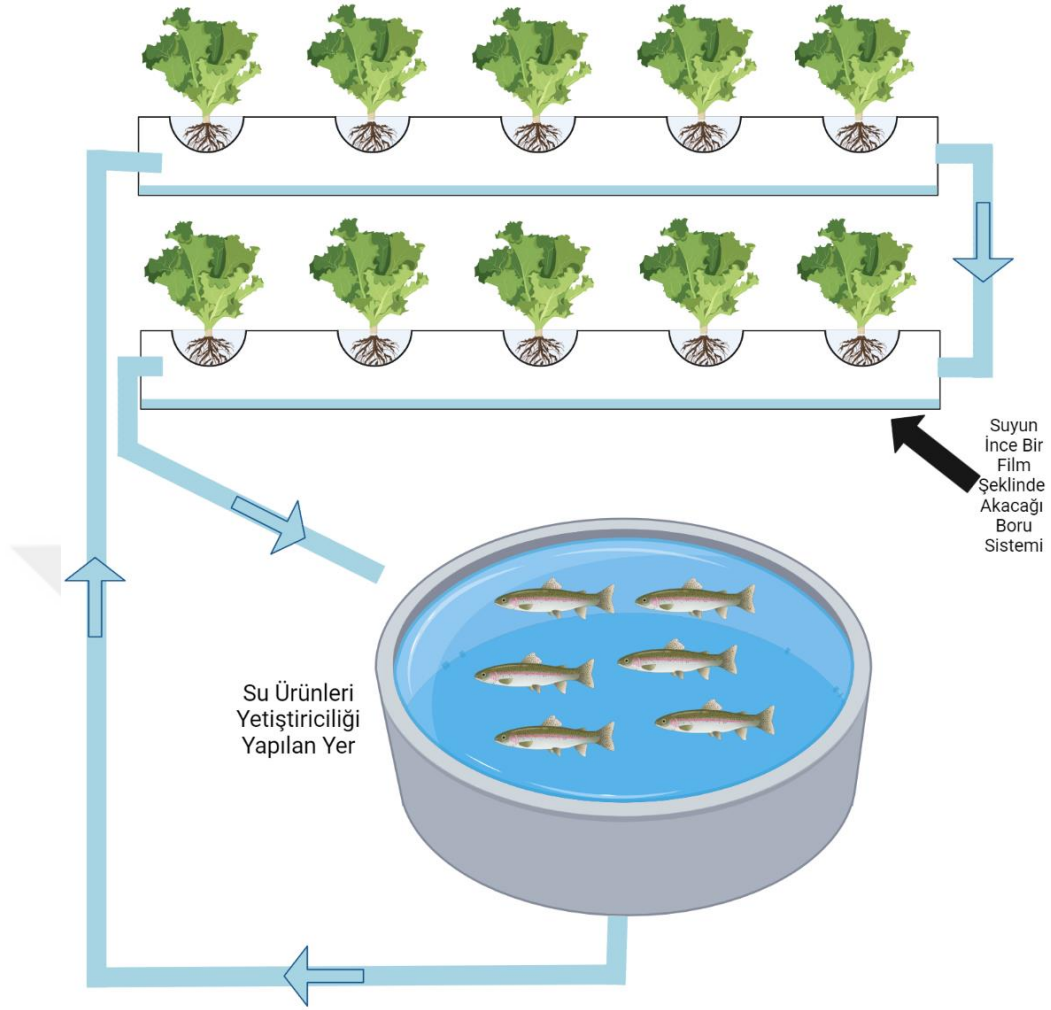
Bu sistem farklı şekillerde gerçekleştirilebilmektedir. Genel olarak akuaponik sistemlerin hidroponik kısmında üç farklı teknik kullanılmaktadır.

1- Derin Su Kültürü (DSK) Tekniği: Bitkilerin suda yüzen bir materyalin üzerindeki deliklere sabitlendiği ve sadece köklerinin suya değdiği bir yöntemdir (Şekil 2.2). Bu metot özellikle büyük tesislerde bazı ekonomik değeri olan sebzelerin (marul, fesleğen ve yeşil yapraklı sebzeler) üretiminde kullanılmaktadır ve mekanizasyon için daha uygundur. Yüksek su içermesi nedeniyle su kalitesi değişimlerinin daha yavaş olması, yüzen levhaların ısı yalıtkanlığına olanak, bitki ekiminde ve hasatta kolaylık, biyofiltre için yüzey alanı sağlaması gibi avantajları mevcuttur. Filtrasyon sisteminin karmaşık olması, su kapasitesinin yüksek olmasından dolayı ağırlığının yüksek olması, uzun bitkilerin desteklenebilirliğinin az olması gibi dezavantajları mevcuttur. Küçük ölçekli sistemlerde ortam yataklı sisteme nazaran daha karmaşık olması nedeniyle tercih edilmez.



Şekil 2.2: Derin su kültürü tekniği gösterimi (Özgün)

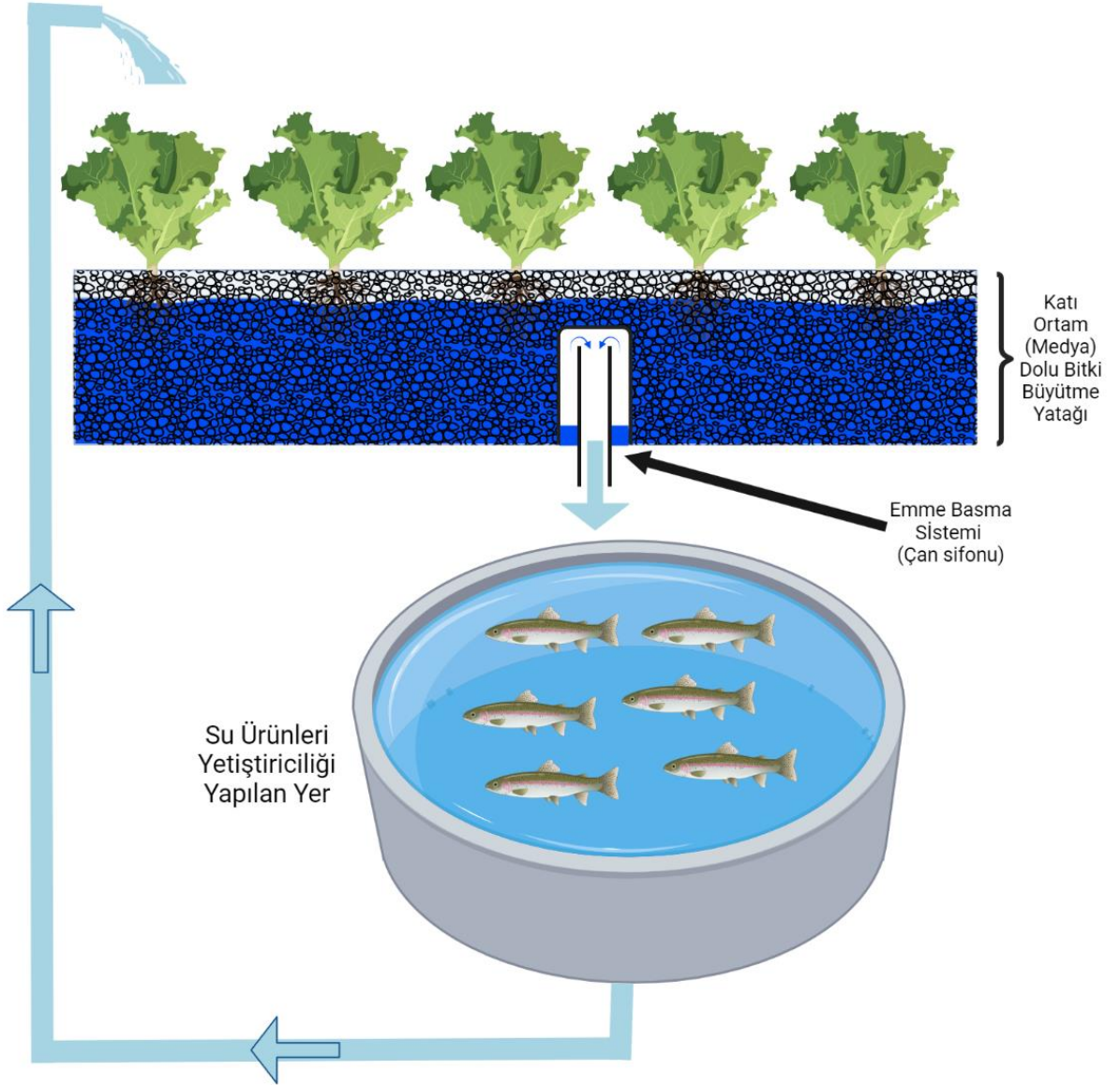
2- Besleyici Film Tekniği (BFT): Her biri içinden akan besleyici madde bakımından zengin bir akuaponik su akışına sahip yatay borular kullanan bir hidroponik yöntemdir (Şekil 2.3). Bitkiler, boruların üstündeki deliklerin içine yerleştirilir, böylece bu besin açısından zengin ve ince su filmini kullanabilir.



Şekil 2.3: Besleyici film tekniği gösterimi (Özgün)

3- Ortam Yatağı Tekniği (OYT): Bitkilerin tutunabileceği bir yapay katı ortam (substrat, agregat) olan yöntemdir. Bu ortamlar, kum, çakıl, vermikülit, kaya yünü, perlit, hidroton, hindistan cevizi lifi, pomza, kireçtaşı ve sünger taşı gibi elemanlardan oluşabilir (Şekil 2.4). Bu sistemlerde bitki yatağı hem mekanik hem de biyolojik olmak üzere verimli filtrasyon görevi görürler. BFT ve DSK sistemlerinin aksine, ortam yatağı tekniğinde filtre ve bitki yetiştirme alanının bir kombinasyonunu kullanılır. Buna ek olarak, medya yatağı, BFT ve DSK sistemlerinde bulunmayan mineralizasyonun oluşabileceği bir alan da sağlanabilmektedir. Bununla birlikte, yüksek stoklama yoğunluklarında ($>15 \text{ kg/m}^3$), mekanik filtrasyon aşırı yükleme nedeniyle tıkanabilir ve tehlikeli anaerobik bölgeler üretme riskiyle karşı karşıya kalabilir. Bu sistemde bitki yatakları Kuru alan, Yarı ıslak alan ve Islak alan olmak üzere üç bölgeye ayrılır. Kuru alanın varlığı suya direkt ışığın düşmesine engel oluşturarak alg artışını engellemektedir. Ayrıca bitki kökünün yakınında mantar çürümesi ve zararlı bakteri üremesini

önler, böylece bunlar bitki çürümesine ve bitki hastalıklarına neden olmazlar. Kuru bir bölgeye sahip olmanın bir diğer nedeni, ıslak bölgeye direkt ışığın gelmesine engel olarak yataklardan buharlaşmayı en aza indirmektir. Ayrıca, yararlı bakteriler doğrudan güneş ışığına karşı hassastır.



Şekil 2.4: Kırt ortam kültürü tekniğı (Özgün)

2.2. AKUAPONİK SİSTEMDE ÜRETİLEN SU CANLILARI VE BİTKİLER

Akuaponikte balık türü seçiminde genellikle su kalitesi değişimlerine dayanıklı, hızlı büyüme gösteren, düşük maliyetli yem tüketen türler ön plana çıkmaktadır. Literatürde akuaponikte

denenmiş ve başarı elde edilmiş türlere örnek olarak mavi tilapya (*Oreochromis aureus*) nil tilapyası (*Oreochromis niloticus*) mozambik tilapyası (*Oreochromis mossambicus*) ve bu üç türün çeşitli hibritleri, anadolu sazanı (*Cyprinus carpio*), gümüş sazanı (*Hypophthalmichthys molitrix*), ot sazanı (*Ctenopharyngodon idella*), koi balığı (*Cyprinus carpio* var. koi L., 1758), kanal kedi balığı (*Ictalurus punctatus*), afrika kedi balığı (*Clarias gariepinus*), gökkuşağı alabalığı (*Oncorhynchus mykiss*), büyük ağızlı levrek (*Micropterus salmoides*), Asya levreği (*Lates calcarifer*), tatlı su levreği, yayın balığı, alabalık ve salmon gibi türler sayılabilir (Somerville ve diğ., 2014). Akuaponikte balık seçiminde ayrıca üretimi yapılacak yere göre doğal olarak o bölgede bulunan bir türün seçilmesine ve istilacı türlerin kullanılmamasına da dikkat edilmelidir.

Bugüne kadar 150'den fazla farklı sebze, bitki, çiçek ve küçük ağaç akuaponik sistemlerde başarıyla yetiştirilmiştir. Genel olarak yapraklı yeşil bitkiler, domates, salatalık ve biber gibi en popüler meyve sebzeler akuaponikte son derece başarılı olarak üretilebilir. Meyve veren bitkilerin besin gereksinimleri daha yüksektir ve yeterli balık stoklarına sahip sistemler için daha uygundur. Bununla birlikte, bazı kök bitkileri ve bazı hassas bitkiler akuaponikte iyi gelişmez. Kök bitkileri özel dikkat gerektirir ve yalnızca derin ortam yataklarında veya fitil yataklarında başarılı bir şekilde yetiştirilebilirler. Akuaponik sistemde yetiştirilen en popüler bitkileri fesleğen, karnabahar, marul, salatalık, patlıcan, biber, domates, fasulye, bezelye, lahanası, brokoli, pazı ve maydanoz olarak sıralayabiliriz. Diğer yaygın türler ise; bamya, çin lahanası, su ıspanağı, tatsoi, nane, kekik, dereotu, yeşil soğan, frenk soğanı, kişniş, taro, su teresi, roka, çilek, yenilebilir çiçekler, süs çiçekleri ve küçük meyve ağaçlarıdır. Soğan, havuç, pancar, turp ve taro gibi kök sebzeler, ortam yataklarına bağlı fitil yataklarında yetiştirilebilir (Somerville ve diğ., 2014).

2.2.1. Gökkuşağı Alabalığı

Normal bir yetişkin gökkuşağı alabalığı (*Oncorhynchus mykiss*) yaklaşık 2-3 kg ağırlığındadır, doğada maksimum boyutu, ağırlığı ve yaşı sırasıyla 122 cm total boy, 25,4 kg ve 11 yıldır (Robins ve Ray, 1986; Hugg, 1996; Love ve diğ., 2005). Gökkuşağı alabalığı nehirlerin ve denizlerin yukarı, soğuk su kesimlerinde yaşar (Woynarovich ve diğ., 2011).

Gökkuşağı alabalığı, doğal olarak Kuzey Amerika ve Asya'nın Pasifik kıyılarının soğuk su nehirlerinde ve göllerinde yaşarlar (Woynarovich ve diğ., 2011). Gökkuşağı alabalığı çok çeşitli

çevresel ve üretim koşullarını diğer alabalık türlerinden daha iyi tolere ettiğinden, dünyada birçok ülkede yetiştiriciliği yapılabilmektedir. Yüksek oksijen seviyesine sahip, berrak ve soğuk sularda yaşamını sürdürür. Düşük oksijen seviyesine sahip, bulanık veya ılıman sularda beslenmeyi durdurur.

2.2.2. Marul Bitkisi

Marul bitkisi (*Lactuca sativa*) akuaponikte oldukça sık kullanılmaktadır. Marul (*Lactuca sativa* L.) dünyada en çok tüketilen yapraklı bitkilerden biridir ve esasen taze olarak tüketilir (Malejane ve diğ., 2018). Bunun sebebi marulun akuaponik sistemlere en uygun bitki türlerinden birisi olmasıdır. Hem farklı su kalite parametrelerine dayanıklılık hem de yüksek azot tutma kabiliyeti sayesinde akuaponik sistemlerde kullanılan en popüler bitkidir. Dört ila altı hafta gibi kısa sürede hasat boyuna gelebilmesi ve düşük tarım zararlısı baskısı nedeniyle akuaponik sisteme uygun olan türler arasında önerilmektedir (Rakocy, 2012).

2.3. BALIKLARIN YÜZME AKTİVİTESİ

Yakın zamana kadar su ürünleri yetiştiriciliğinde verimi ve kârı arttırmak en önemli amaçlardan biri olmuştur. Fakat artan çevre sorunları nedeniyle üretimin, çevreye ve yetiştirilen canlının refahına etkileri de önemsenir hale gelmiştir. Son yıllarda “sürdürülebilirlik” kavramının hayatımıza girmesiyle birlikte, çevresiyle daha fazla uyumlu ve kabul edilebilir etik standartlar çerçevesinde üretim yapma gereği doğmuştur. Buna ek olarak su ürünleri tüketen insanların hayvan sağlığı ve refahı konusundaki artan farkındalığı nedeniyle dünyada su ürünleri yetiştiriciliğinin yapılış şekillerine ve stok yoğunluğuna dair yeni sınırlar getirilmektedir. Burada temel amaç üretim esnasında yetiştiriciliği yapılan canlının stresinin en aza indirilmesi olmuştur (Palstra ve Planas, 2013).

Dışarıdan oluşturulan su hareketleri veya akıntılar, balıkların hareketini etkiler. Balıkların su akıntılarına verdikleri tepkilere reotaks denir ve pozitif veya negatif olabilir. Örneğin, balıklar göllerden beslenme alanlarına göç esnasında akıntıya karşı yukarı doğru yüzerek pozitif reotaksi gösterirken, tam tersi şekilde akıntı ile birlikte göle doğru hareket ederek negatif reotaksi gösterirler (Brannon, 1972).

Akıntıya karşı yüzen balıklarda optomotorla uyarılan yüzme büyümeyi destekler, yem dönüşüm verimliliğini artırır ve plazma kortizol konsantrasyonlarını azaltır, bu da yüzdürülen balıkların

yüzdürülmeyenlere göre daha az stresli olduğunu düşündürür. Dolayısıyla balıklarda hareketi kontrol eden mekanizmalar hakkındaki bilgilerin, yüzmenin faydalı etkilerinin anlaşılmasıyla birleştiğinde akuakültürün gelişmesine katkı sunacaktır (Huntingford ve diğ., 2012).

2.3.1. Yüzme Aktivitesi ve Balıkların Büyüme İlişkisi

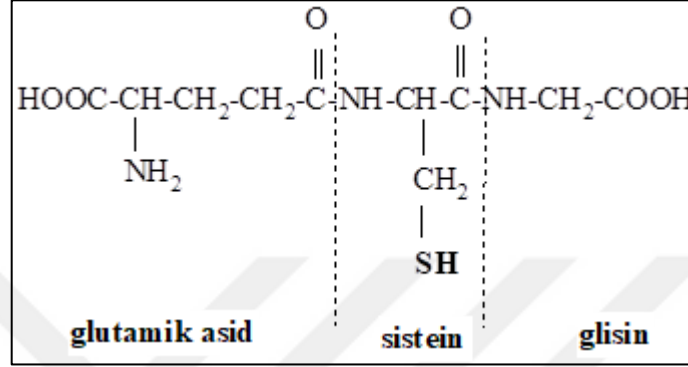
Günümüzde, bir balık yetiştirme tesisinde su akışı ayarlanırken, bunu yalnızca su kalitesinin korunmasını sağlayacak şekilde ayarlanmakta ve balıkların hareket ihtiyacı düşünülmeden çok az fiziksel zorluk yaşadığı bir yetiştiricilik ortamı oluşturulmaktadır. Tesislerdeki balıkların üretiltikleri alanlar genel olarak kanallar, toprak havuzlar, beton havuzlar, polietilen tanklar veya kafes ortamlarıdır. Balıkların beslendikleri ortamlardaki su akışı ve su sıcaklığı gibi özellikler balık türüne göre ayarlanmaktadır. Ayrıca yetiştiricilik ortamında tutulan balıklar doğadaki balıklara kıyasla daha kolay ve çabuk yeme ulaşmakta ve hızlı büyüebilmektedirler. Bu fiziksel hareket eksikliğini büyüme hızındaki artışla birlikte değerlendirdiğimizde, üretim verimliliğinin azalması durumu ortaya çıkmaktadır.

Yüzme aktivitesi kısıtlanan balıklar, deri gibi organlarda düşük oksijen alımına ve bozulmuş bağışıklık savunması sonucunda da daha yüksek hastalıklara yakalanma riskine sahip olmaktadır (Claireaux ve Lefrançois, 2007). Düşük hızlı hareketler alabalık gibi akıntılı suda yaşama dolayısıyla yüksek metabolik seviyelere ihtiyaç duyması nedeniyle fizyolojik aksaklıklara neden olabilir. Fiziksel hareket eksikliği, balığın kalp rahatsızlığı geçirmesine, dolaşım problemlerine ve böbrek anomabilerine sebep olarak mortaliteyle sonuçlanabilir. Entansif su ürünleri yetiştiriciliğinde gözlenen mortalitenin ana nedeni kalp rahatsızlıklarıdır (Tudorache ve diğ., 2013).

Egzersizler balığın yüzme performansını arttırmaktadır. Gökkuşığı alabalığı ile yapılan bir çalışmada, 28-52 gün yüzme hareketi yaptırılan balıkların hareket yaptırılmayan balıklara kıyasla %12 daha hızlı yüzdüğü ve %13 daha fazla büyüme gösterdiği tespit edilmiştir (Farrel ve diğ., 1989). Bunun sebebi olarak da kalp büyüklüğü ile vücut büyüklüğü arasında doğrusal bir orantı olduğu ve hareket yaparak kalp kütlelerini arttırmanın vücut büyümesini de arttırdığı düşüncesi ifade edilmiştir.

2.3.2. Yüzme Aktivitesi ve Antioksidanlar

4.3.2.1. Glutasyon (GSH): Glutamat, sistein ve glisin amino asitlerinden sentezlenen, tiyol grubu içeren bir tripeptittir (Şekil 2.5) (Can ve Akev, 2021). Glutasyon karaciğer olmak üzere pek çok dokuda yüksek düzeyde bulunur (Lv ve diğ, 2019).



Şekil 2.5: Glutasyon= N-(N-γ-glutamilsisteinil) glisin.

Serbest radikal aracılı hasara karşı vücudu koruyan önemli bir endojen antioksidan olan GSH, yapısında bulunan serbest sülfhidril grubu sayesinde glutasyon peroksidaz (GPx) aracılığı ile veya doğrudan serbest radikalleri detoksifiye eder (Forman ve diğ, 2009). GSH'ın antioksidan özelliğinden başka görevleri de bulunmakta olup, glutasyon peroksidaz (GPx), glutasyon redüktaz (GR) ve glutasyon-S-transferaz (GST) gibi enzimlerin de substratıdır. Hücre için sistin kaynağı olup proteinlerin ve enzimlerin tiyol gruplarını indirgenmiş halde tutarak aktivasyonlarının devamlılığını sağlar (Lu, 2009). Ksenobiyotiklerin katabolizmasında, bağışıklığın, hücresel proliferasyonun, apoptozun sağlanmasında, amino asitlerin gama glutamil siklusu ile hücre içine taşınmasında, protein sentezinin ve yıkımının düzenlenmesinde, deoksiribonükleik asit (DNA) sentezinde, C ve E vitamini gibi antioksidan moleküllerin aktif formlarının korunmasında rol alır (Wu ve diğ, 2004; Lu, 2009; Lu, 2013). Hücrede hasar oluşumunda GSH düzeyinde azalma meydana gelir.

4.3.2.2. Lipid Peroksidasyonu (LPO): Hücre zarında bulunan çoklu doymamış yağ asitlerinin (polyunsaturated fatty acid=PUFA) lipid peroksidasyonu sırasında açığa çıkan malondialdehid (MDA), oksidatif hasarı göstermede yaygın olarak kullanılan bir parametredir (Ray ve Rao, 2009; Matveychuk ve diğ., 2011; Brahmachari, 2017). Membranlar yapısal olarak lipidler ve proteinlerden oluşmaktadır. Serbest radikallerden en çok etkilenen hücresel yapılar membran lipidleridir. Biyolojik dokularda bulunan doymamış yağ asitleri ile serbest radikallerin

tepkimesi lipid peroksidasyonu olarak adlandırılır. Çoklu doymamış yağ asitlerinin reaktif oksijen türleri tarafından peroksitler, alkoller, malondialdehit, etan ve pentan gibi ürünlere yıkılma tepkimesine lipid peroksidasyonu denir. Yağ asitlerinin peroksidasyonu hücre membran geçirgenliğini ve yapısını bozar. Bu durum hücrenin dağılmasına ve hatta ölmesine neden olabilir (Nyska ve Kohen, 2002). Lipid peroksidasyonu artışı, serbest radikal aktivasyonunun indirekt bir göstergesidir (Nakazawa, 1996; Teixeira, 1996). Hücre membranların yapısında bulunan PUFA, reaktif oksijen türlerine karşı oldukça hassastırlar (Azzi ve Stocker, 2000).

4.3.2.3. Enzimatik Antioksidanlar: Serbest radikallere karşı, hücre savunmasındaki en etkili antioksidanlardır. Bu antioksidanlar endojen enzim sistemleri olup, katalaz, süperoksid dismutaz, glutatyon peroksidaz, glutatyon redüktaz ve glutatyon-S-transferazlardır.

4.3.2.4. Katalaz (CAT) Enzimi: Oksijenli solunum yapan tüm hücrelerde bulunur. Yapısında 4 hem grubu içerir. Tetramerik hemoproteindir (Smith ve diğ, 1983). Peroksizomlarda lokalize olmuştur. Hidrojen peroksitin su ve moleküler oksijene dönüşümünü katalizler. CAT, bütün enzimler içinde en yüksek turnover sayısına sahip olan enzimdir, CAT bir dakika içinde 6 milyon hidrojen peroksit molekülünü suya ve moleküler oksijene dönüştürmektedir.

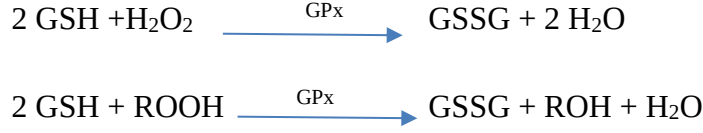


H₂O₂ konsantrasyonunun yüksek olduğu durumlarda CAT katalitik etki göstererek H₂O₂'yi su ve oksijene parçalar. H₂O₂ konsantrasyonunun az olduğu durumlarda ise peroksidaz aktivitesi gösterir. Etanol, metanol gibi karbon sayısı kısa olan alkoller formaldehit, asetaldehide yükseltger (Tehrani ve Moosavi-Movahedi, 2018).

4.3.2.5. Süperoksit Dismutaz (SOD) Enzimi: Organizmayı serbest radikallere karşı koruyan en önemli antioksidan enzimlerden biridir. SOD, süperoksit anyonunun oksijene ve daha az zararlı olan hidrojen perokside dismutasyonu reaksiyonunu katalizler (Ighodora ve Akinloye, 2018). SOD metalo enzim olup, bakır, çinko ve mangan elementleri ile ilişkilidir (Lobo ve diğ., 2010) SOD, aktif merkezinde bulunan metale ve amino asit iskeletine göre, kofaktörler ve alt ünitelere göre çeşitli izoformlarda bulunabilmektedir.



4.3.2.6. Glutasyon Peroksidaz (GPx) Enzimi: Selenyum içeren tetramer yapıda bir enzimdir. Substrat olarak hidrojen peroksiti kullanabilmek için katalaz ile yarış halindedir. Düşük oksidatif stres durumlarında etkili olabilmektedir (Valko ve diğ., 2006).



4.3.2.7. Glutasyon Redüktaz (GR) Enzimi: Okside glutasyonun (GSSG) redükte glutatyon (GSH) indirgenmesini katalizleyen bir enzimdir. Koenzimi pentoz fosfat yolunda oluşan indirgenmiş nikotinamid adenin dinükleotid fosfat (NADPH) bir flavoenzimdir. En önemli görevi ise organizmada GSH gibi önemli antioksidanların indirgenmiş halde tutulmasını sağlamaktır (Tandogan ve diğ., 2011).

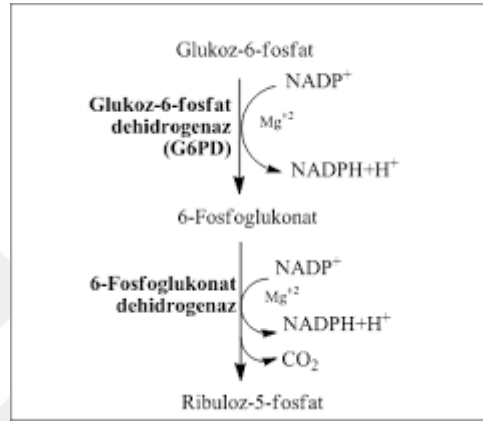


4.3.2.8. Glutasyon-S-transferaz (GST) Enzimi: Çok fonksiyonlu bir enzim ailesidir. Hücresel konumlarına göre sitozolik, mitokondriyal ve mikrozomal olmak üzere üç ayrı memeli GST sınıfı bulunmaktadır. Yabancı maddelerin biyotransformasyonunda önemli rolleri olan GST'ler, indirgenmiş glutasyonun endojen ve eksojen kaynaklı çeşitli bileşiklerle konjugasyonunu katalizleyen, suda çözünen ve genellikle daha az reaktif metabolitleri şeklinde organizmadan uzaklaştırılmalarını sağlayan enzimlerdir (Hayes ve diğ., 2005). GST'ler vücutta birçok farklı işlevi yerine de getirmektedirler. Hormon sentezinde, aromatik amino asitlerin yıkılmasında ve oksidatif stres yan ürünlerinin zehirsizleştirilme reaksiyonlarında rol alarak oksidatif strese karşı savunmaya katkıda bulunurlar.



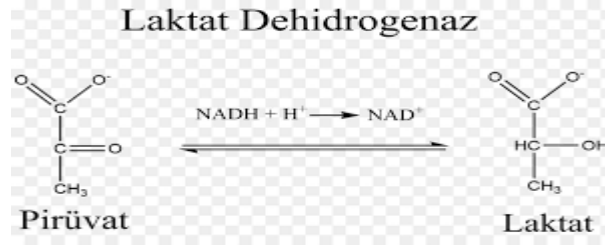
4.3.2.9. Glukoz-6-Fosfat Dehidrojenaz Enzimi (G6PD): Pentoz fosfat yolunun ilk ve hız belirleyici enzimi olan glukoz-6-fosfat dehidrojenaz enzimi, mayalarda (Noltmann ve diğ., 1961), tek hücrelilerde (Ibraheem ve diğ., 2005), bitkilerde (Gossling, 1979) ve hayvansal dokularda (Ulus and Tandogan, 2006) bulunur (Şekil 2.6). Sitozolik bir enzimdir. Pentoz fosfat yolunun en önemli görevlerinden birisi de NADPH üretmektir. NADPH hücrede yağ asidi, kolesterol, L-askorbik asit, nitrik oksit biyosentezi, glutasyonun indirgenmesi, ilaç ve ksenobiyotik detoksifikasyonu ve peroksitlerin indirgenmesinde görev alır (Wood, 1986;

Lehninger, 2000). Enzim genellikle aktif olarak dimerik yapı gösterir. Enzimin dimerik ya da tetramerik formunu, sıcaklık, NADP^+ , NADPH derişimi gibi çeşitli faktörler etkilemektedir. G6PD aktivitesinin azalması, hücrenin NADPH oluşturma yeteneğini bozar. NADPH ise redükte glutatyon havuzunun sürdürülmesi için mutlaka gereklidir. Bunun sonucunda, hücre içinde oluşan serbest radikallerin ve peroksitlerin hücresel detoksifikasyonlarında azalma olur. Glutatyon, hemoglobin dâhil, proteinlerin sülfidril gruplarının redükte durumda kalmalarına da yardımcıdır. Bu sülfidril grupların oksidasyonu sonucunda denatüre proteinler oluşur.



Şekil 2.6: Pentoz fosfat yolunda glukoz-6-fosfat dehidrojenaz enzimi

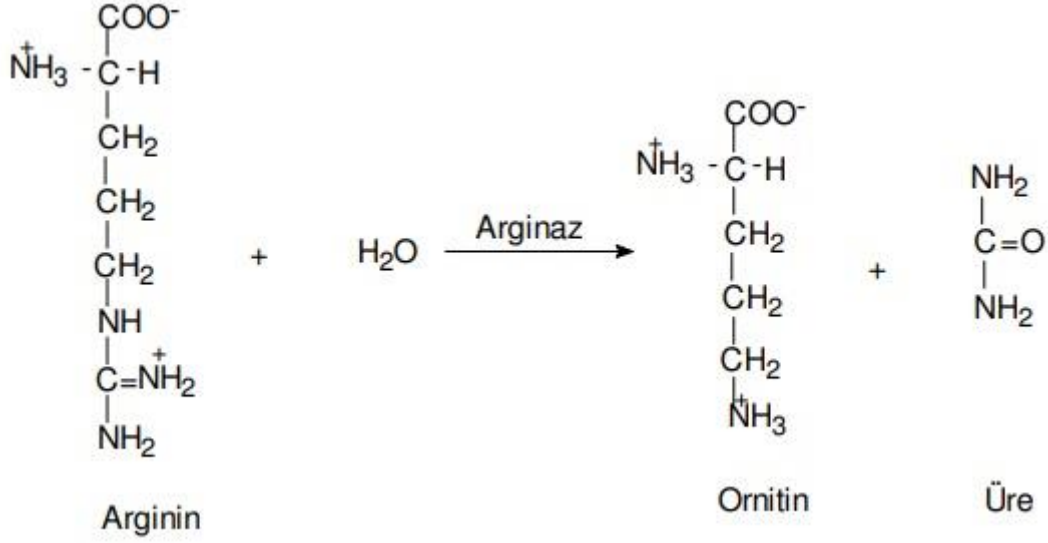
4.3.2.10. Laktat Dehidrojenaz (LDH) Enzimi: Glikolizin son basamağında yer alan ve canlılarda büyük öneme sahip olan LDH L-laktatın pirüvata oksidasyonunu reversibl olarak katalizleyen sitozolik bir enzimdir (Sekil 2.7). LDH, doku hasarının varlığını değerlendirmek için ölçülen bir enzimdir. LDH vücudun hemen hemen her dokusunda, vücuttaki tüm hücrelerin sitoplazmik kısmında, özellikle kalp, karaciğer, böbrek, iskelet kası ve beyinde bulunur (Miao ve diğ., 2013). Bu dokularda oluşan hasara bağlı olarak aktivitesi artar. Enzim, hem bitkiler hem de memeliler dâhil olmak üzere çok çeşitli türlerde bulunur. Tüm dokularda yaygın olarak bulunan LDH enzimi glukoneojenez ve DNA metabolizmasında kritik rol oynar.



Şekil 2.7: Laktat dehidrojenaz enzimi

4.3.2.11. Arginaz Enzimi: Arginaz enzimi üre siklusunun son enzimi olup, L-arginini, üre ve ornitine hidrolize eder (Şekil 2.8). Memeli karaciğerinde amonyağın detoksifikasyonundan sorumludur (Spector ve diğ., 1982; Nakamura ve diğ., 1990). Arginaz enzimi sadece üreotelik canlılarda bulunmayıp, bazı ürikotelik, amonotelik canlılarda ve bitkilerde de bulunmaktadır (Campbell ve Lee, 1963; Kang ve Cho, 1990; Ozan ve diğ., 1999). Arginaz enzimi karaciğer dışında, beyin, bağırsak, böbrek, pankreas, akciğer, deri, iskelet ve kalp kası gibi dokularda da bulunmaktadır (Nakamura ve diğ., 1990, Spector ve diğ., 1982).

Amonotelik organizmaya sahip olan balıklarda da arginaz enzimi bulunmaktadır (Ozan ve diğ., 1993, Teresita ve Anders, 1983). Arginaz bütün hücreler için önemlidir. Bu enzim eksikliğinde, hücrelerde büyümede azalma görülür (Grillo ve Colombatto, 2004).



Şekil 2.8: Arginaz enzimi

4.3.2.12. Reaktif Oksijen Türleri: Metabolik süreçlerin sonucu olarak hücreler sürekli olarak kontrolsüz bir şekilde serbest radikaller ve reaktif oksijen türleri üretirler (Stanković ve Radovanović, 2012). Oluşan bu radikaller nükleik asit, protein ve lipid gibi biyomolekülleri oksitler ve genetik bilginin değişmesine, protein yapısının bozulmasına, enzim aktivitesinin inhibe olmasına ve hücre membranının zedelenmesine neden olurlar. Biyolojik sistemlerdeki en önemli serbest radikaller oksijenden türeyen radikallerdir ve bunlara reaktif oksijen türevleri (ROS) adı verilmektedir. ROS, hem serbest oksijen radikallerini hem de oksitleyici ajanlarla kolayca radikallere dönüşebilen non-radikalleri kapsar. Süperoksit radikali ($\text{O}_2^{\cdot-}$), hidrojen peroksit (H_2O_2), hidroksil radikali ($\text{OH}^{\cdot}$), singlet oksijen, hipokloröz asit (HOCl), alkoksil ($\text{RO}^{\cdot}$), peroksil ($\text{ROO}^{\cdot}$) radikalleri normal metabolizma sonucu üretilirler. ROS üretimi endojen ve eksojen kaynaklı olabilir.

4.3.2.13. Sindirim Enzimleri: Tüm organizmalarda yaşamsal faaliyetlerin sürdürülebilmesi için alınan kompleks yapıdaki besin maddelerinin kendini oluşturan monomerlerine ayrılması gereklidir. Bu reaksiyonlarda hidroliz edici olarak sindirim enzimleri kullanılmaktadır. Sindirim enzimleri alınan besin maddelerini olağan üstü bir hızla kendini oluşturan en temel bileşenlerine parçalamaktadır.

Mide ve bağırsaklar organlarındaki sindirim enzimleri ilk başta aktif olmayan formda sentezlenmektedir. Protein parçalanmasında görevli olan enzimleri sentezleyen hücreler, kendilerini korumak amacıyla bu enzimleri inaktif bir proenzim olarak sentezlemektedir. Eğer

bu hücreler bu enzimleri inaktif olarak sentezlemezler ise sentezledikleri hücrenin proteinlerini sindirecek ve sonuç olarak kendi kendini tahrip edecektir. Bu proenzimlerin aktivasyonu yalnızca sindirim kanalı içerisinde gerçekleşmektedir.

Proteazlar, mide ve pankreasta üretilen peptidaz ve proteinaz olarak da bilinen enzimlerdir. Proteazlar tüm hayvanların aldıkları besin maddelerindeki proteinleri parçalayan ve sindirim sisteminde bulunan önemli bir enzimdir. Mideden salgılanan en önemli proteolitik enzim pepsindir. Yağları parçalayan enzim olan lipazın, balıklarda özefagus, mide, karaciğer, ince bağırsak, pankreas ve hepatopankreas dokularında olduğu belirlenmiştir (Murray ve diğ., 2003).

2.4. AKUAPONİKTE MİKROBİYOLOJİK ETMENLER

Akuaponik, hem ototrofik hem de heterotrofik bakterileri içermekte ve bu bakteriler, akuaponik bir ekosistemi sürdürmek için gereklidir (Blancheton ve diğ., 2013; Schmutz ve diğ., 2017; Eck ve diğ., 2019). Akuaponik sistemler RAS sistemlere göre daha kompleks bir bakteri popülasyonuna sahiptir (Kasozi ve diğ., 2021). Sistemin başarılı yönetimi, içerdiği karmaşık mikrobiyal ekosisteme bağlıdır. Bu mikrobiyal ekosistem sayesinde bitki üretimi için gerekli besinlerin mineralizasyonu ve suyun biyolojik olarak temizlenmesi sağlanmaktadır. Ancak sistemdeki bu mikroorganizmaların bazı türleri faydalı iken bazıları insan sağlığına zararlı olabilir.

Balıklar tarafından salgılanan amonyum azotu ($\text{NH}_4^+\text{-N}$), bitki büyümesi için gerekli olan ana azot formunu sağlar (Roosta ve Hamidpour, 2011; Wongkiew ve diğ., 2017). Besin açısından zengin balık tankı suyunun biyolojik nitrifikasyonu, bitkiler tarafından asimile edilen nitrati (NO_3^-) oluşturur (Tyson ve diğ., 2011). Nitrifikasyon, artan pH'da balıklar için zararlı hale gelen NH_4^+ 'ı NO_3^- 'ye dönüştürerek su kalitesini korur. Ek olarak, zayıf tamponlu suda, nitrifikasyon sistem suyunun pH değerini düşürebilirken, bakteriyel denitrifikasyon su pH'ını arttırabilir. Bu nedenle, bakteriyel ekosistemin akuaponik için çok önemlidir (Rakocy ve diğ., 2006; Wongkiew ve diğ., 2017).

Geleneksel toprak tarımında toprak kaynaklı tarım zararlıları, bakteri ve mantar riski vardır. Akuaponik sistemlerde toprak kaynaklı patojenlerin riski konvansiyonel tarıma göre daha az olmasına rağmen (Somerville ve diğ., 2014), hala mevcuttur (Yavuzcan Yıldız ve diğ., 2017; Willmon, 2018). Akuaponik sistemlerde kullanılan bitkilerin çimlenme aşamasında kullanılan

toprak, sisteme günlük eklenen su, balığın sindirim sistemi veya sistemin steril olmayan ortamı ve/veya balık yemi nedeniyle patojenik bakteriler (örn. *Escherichia coli*) sisteme çeşitli şekillerde girebilir (Petreska ve diğ., 2013).

Yapraklı sebzeler, ekonomik değerleri, yüksek besinsel faydaları ve tüketime hazır bir ürün olarak kolaylıkları nedeniyle son yıllarda akuaponikte kullanılmasının arttığı gözlenmektedir. Ancak, patojen kontaminasyonu nedeniyle yapraklı sebzeler çok sayıda gıda kaynaklı hastalık salgınlarına neden olmaktadır (Hilborn ve diğ., 1999; Taylor ve diğ., 2013). Son yıllarda *E. coli* O157:H7, *Listeria monocytogenes* ve *Salmonella* spp. ile bağlantılı salgınların sayısı artmaktadır (Deering ve diğ., 2012; Strawn ve diğ., 2013), fakat bunun en büyük nedeni salgın sonrası tespit yöntemlerinin ve geri izleme prosedürlerinin geliştirilmesidir (Brashears ve diğ., 1999; Abadias ve diğ., 2012). Gıda kaynaklı salgınların yaklaşık %48'inden taze meyve ve sebzeler sorumlu olmaktadır (Hoagland ve diğ., 2018). Ayrıca marul gibi taze ürünler kalite kaybı nedeniyle ısıtıl işlem, asitle muamele vb. sert müdahalelerle işlenememektedir. Bu nedenle gıda kaynaklı patojen bulaşma riskini hasattan önce veya tüketiciye ulaşana kadar azaltmak kritik bir adımdır.

Ticari akuaponik sistemlerde mikroorganizma seviyelerini belirlemeyi amaçlayan araştırmalar bulunmaktadır (Chalmers, 2004; González-Alanis ve diğ., 2011; Fox ve diğ., 2012). Akuaponik sistemlerden kaynaklanan patojenik bir rahatsızlığa dair bilgiye rastlanmamıştır (Mori ve Smith, 2019; Kasozi ve diğ., 2021). Ancak bu risk her zaman mevcut olduğundan akuaponik sistemlerde mikrobiyolojik risklerin incelenmesi ve uygun standartların belirlenmesi esastır. İnsan sağlığına yönelik risk ihmal edilebilir düzeyde olmalıdır.

2.5. BALIKLARDA BESİN VE BESİN KISITLAMASI

Balık yetiştiriciliğinde balıkların yeterli beslenmesi hem balıkların sağlıklı ve refah içinde büyümeleri hem de insan tüketimindeki besleyici değerlerini korumaları açısından şarttır. Balıklara günlük enerji ihtiyaçlarını karşılamak ve büyümek için yeterli besin sunulmadığında veya balıklar gereken besini tüketemediğinde yetersiz beslenme durumu oluşur. Yetersiz beslenme, düşük hayatta kalma oranına, zayıf ve muhtemelen verimsiz büyümeye, düşük et kalitesine, düşük refah seviyesine, strese ve hastalığa karşı dayanımı azaltmaya kadar birçok konuda olumsuz sonuca neden olabilir (Huntingford ve diğ., 2012).

Besin kısıtlaması durumları ticari balık üretim çiftliklerinde de rastlanılabilmektedir. Bir çiftlikte yoğun üretim yapıldığı için balıkların açlık durumları önemslenmiyorsa veya yem firmalarının verilen yeme uygun olarak hazırladıkları yemleme tablosu dikkate alınmadan besleme yapılıyorsa besin yetersizliği durumu ortaya çıkabilir. Alabalık yetiştiriciliğinde dereden aldıkları suyla yetiştiricilik faaliyeti yürüten işletmelerde sudan gelen bulanıklık nedeniyle veya yaz aylarında su sıcaklığının yüksek olması nedeniyle balıklar yem almayabilir ve bu durum besin yetersizliğine sebebiyet verebilir. Yavru gökkuşağı alabalıklarında, yetersiz beslenme durumu olursa, bu durum ileride artan yem rekabeti nedeniyle yem alımında bireyler arasında eşitsizliğe yol açar (McCarthy ve diğ., 1992). Dolayısıyla gruptaki bireyler arası boy farklılığını (Jobling ve Koskela, 1996) veya yüzgeç hasarını arttırabilir (Moutou ve diğ., 1998).

Yem alımında bireyler arası (grup içi) varyasyonu değerlendirmenin yolu, varyasyon katsayısını ($VK = (SD/Ortalama) \times 100$) hesaplamaktır. Damsgard ve diğ. (1997), besin rasyonlarında ve/veya su akış hızındaki bir azalmanın, tür içi hiyerarşiyi arttırdığını ve her iki faktörün de besin alımında bireyler arası değişkenliğin artmasına yol açarak, varyasyon katsayısını arttırdığını tespit etmiştir. Bu durum gökkuşağı alabalığı gruplarına sınırlı rasyon verildiğinde, ya tek (ya da az sayıda) balık yiyeceğin çoğunu tüketirken, diğerleri çok az ya da hiç elde edememesinden kaynaklanmaktadır. Öte yandan, aynı balık gruplarına tam rasyon (doyana kadar besleme) verildiğinde, gruptaki tüm balıklar beslenebilmiş ve grup içi VK değerleri normale dönmüştür (Jobling ve Koskela, 1996).

2.6. BALIKLARDA AMİNO ASİTLER VE YAĞ ASİTLERİ

Balıklarda kalite; besin değeri, yağ birikimi, görünüş, organoleptik özellikler (koku, tat ve doku), tazelik ve fileto verimi gibi faktörlerden etkilenmektedir. Kaliteyi aynı anda etkileyen çok sayıda endojen ve eksojen faktörler sebebiyle, kalitenin beslenmeden nasıl etkilendiğini ana hatlarıyla belirtmek genellikle zordur. Balığın yaşı, cinsiyeti ve genetik özellikleri gibi endojen faktörlerin yanı sıra bulunduğu ortamdaki stok yoğunluğu, sıcaklık, tuzluluk, beslenme şekli ve balığın fiziksel hareketi gibi eksojen faktörler de bu durumda etkilidir (Grigorakis, 2010).

Amino asitler ve yağ asitleri insan vücudunda birçok faaliyetin yürütülmesinden sorumlu son derece önemli besin maddeleridir. Proteinler veya içerdikleri bazı amino asitler, tüm hayvanlar için diyetin önemli bir bileşenidir. Proteinler, canlı organizmalarda ve hücrelerde en bol

bulunan maddelerdir. Balık dokularında kuru maddenin yaklaşık %65-75'i proteinden oluşmaktadır (Wilson, 2003).

Balıklarda besin olarak tüketilen kısım kas dokusu olan fileto kısmıdır. Kalite açısından balık filetosunun besin bileşimi de önem arz etmektedir. Balıklar ihtiyaç duyulduğunda kullanılmak üzere enerjiyi yağ olarak depolar. Bu yağ balıklarda; karaciğer veya hepatik yağ, kas yağı, perivisseral yağ ve periton çevresinde biriken peritoneal yağ olarak vücutta farklı bölgelerde ve şekillerde depolanabilmektedir (Grigorakis, 2007). Yetiştiricilikte balıkların kalitesinin arttırılmasında beslenmenin kilit bir rolü bulunmaktadır. Çoğunlukla yağ depolama, beslenmeden bağımsız olarak ağırlığın artışı birlikte artmaktadır ve bu nedenle büyük balıklar daha fazla yağ oranına sahiptirler (Grigorakis, 2010).

Balıklarda aç bırakma akuakültürde genelde canlının bağırsaklarını boşaltmak amacıyla sadece birkaç günlüğüne uygulanır ve bu kısa süreli uygulamanın balığın yağ depolama özelliği üzerinde herhangi bir etkisi bulunmamaktadır. Mevcut çalışmalar, yem kısıtlaması yapılmadığı takdirde hem genetik faktörlerin hem de su tuzluluğu, su sıcaklığı ve ışık gibi çevresel faktörlerin canlıdaki yağ biriktirme mekanizması ve yağ asidi kompozisyonu üzerinde etkili olduğunu bildirmişlerdir (Rasmussen, 2001; Cordier ve diğ., 2002). Bu kapsamda yağ birikimi üzerine etkilerin görülmesinde yapılan yem kısıtlamasının süresi ve balığın önceki beslenme düzeni ve davranışlarının (Grigorakis ve diğ., 2005) yanı sıra hareket derecesi de etkilidir (Rasmussen, 2001).

Yetiştiricilikte balıklardaki yüksek yağ miktarı yüzme performansını düşürerek ölümlere kadar yol açıp canlıyı olumsuz etkileyebilmektedir (Grigorakis ve diğ., 2002; Anttila ve diğ., 2010). Uzun süreli yem kısıtlaması kaslardaki yağ asitleri kompozisyonunu etkileyebilmektedir (Grigorakis, 2010). Yapılan çalışmalarda gökkuşağı alabalığı türünde tekli doymamış yağ asitleri (monounsaturated fatty acid= MUFA) seviyelerinde azalma görülürken Atlantik somonu türünde bir artış vardır veya hiçbir etki gözlenmemiştir (Rasmussen, 2001). Çiftlik levreğinde, iki aylık bir gıda yoksunluğu, doymuş yağ asitlerinde (saturated fatty acid=SFA), özellikle 17:0 azalma gösmüş ve toplam PUFA'yı korumuştur, ancak buna EPA'da bir azalma ve 20:2 n oluşumu eşlik etmiştir (Delgado ve diğ., 1994).

Balıklar genellikle karasal omurgalılara kıyasla yemlerindeki proteini daha iyi dönüştürürler ve daha çok proteine ihtiyaç duyarlar. Balık yemlerinin yaklaşık %50'sini oluşturan proteinler,

çeşitli sindirim enzimlerinin etkisiyle serbest amino asitlere dönüştürülür. Serbest bırakılan amino asitler bağırsaklarda emilir ve çeşitli dokular tarafından doku proteinlerinin sentezi için kullanılır. Fazla amino asitler enerji kaynağı olarak kullanılır. Proteinler genellikle balık diyetlerinin en pahalı maddesini oluşturur. Protein kalitesi büyük ölçüde amino asit bileşimine ve sindirilebilirliğine bağlıdır. Yem maddelerinin protein kalitesinin değerlendirilmesinde de amino asit profilleri önemli bir parametredir (Wilson, 2003).

Proteinlerin besin değeri ile ilgili bir diğer önemli kalite parametresi, amino asit bileşimi ve özellikle temel amino asitlerin toplam oranıdır. Protein olmayan azotlu bileşikler, balıklardaki diğer bir önemli niteliksel belirleyicidir ve bu maddeler teleost balıklarda toplam azotun %9-18'ine denk gelmektedir. Protein olmayan azotlu bu bileşikler uçucu bazlar, kreatin, kreatinin, serbest amino asitler, nükleotidler ve pürinlerden oluşmaktadır. Bu bileşikler aynı zamanda balığın tat ve koku gibi duyuşsal özelliklerine de etki eder ve bozulmada da önemli bir kalite parametresini oluştururlar (Venugopal ve Shahidi, 1996).

Proteinler 20 farklı amino asitten oluşur. Bu amino asitler: alanin, arginin, asparagin, aspartik asit, sistin (sistin), glutamin, glutamik asit, glisin, histidin, izolösin, lösin, lisin, metionin, fenilalanin, prolin, serin, treonin, triptofan, tirozin ve valin'dir. Amino asitler vücutta doku yapımını sağladığı için çok önemlidir (Wilson, 2003). Amino asitleri, protein sentezinin ve büyümesinin bir besin kaynağının yokluğunda devam edip etmeyeceğine göre vücutta sentezlenebilenler (esansiyel olmayan), koşula bağlı olarak sentezlenebilenler (yarı esansiyel) ve sentezlenemeyenler (esansiyel olan) olarak üçe ayırabiliriz (Macrae ve diğ., 1993; Friedman, 1996). Vücutta sentezlenemediği için dışarıdan alınması zorunlu olan esansiyel amino asitleri; arginin, histidin, izolösin, lösin, lisin, metiyonin, fenilalanin, treonin, triptofan ve valin olarak sıralayabiliriz. Hayvanların sentezleyemediği veya iyi büyüme oranlarının korunmasını sağlamak için yeterli miktarda sentezleyemediği esansiyel olmayan amino asitleri ise; alanin, asparagin, aspartik asit, glutamin, glutamik asit, glisin, prolin ve serin olarak sıralanabilir. Yarı sentezlenebilenleri de sistin ve tirozin olarak sıralayabiliriz. Yeterli metiyonin varlığında sistin, yeterli fenilalanin varlığında tirozin sentezlenebildiği için bu amino asitlere yarı sentezlenebilen amino asitler denir (Houlihan ve diğ., 2008).

Su ürünleri yetiştiriciliği, sağlıklı uzun zincirli çoklu doymamış yağ asitleri sağlamada oldukça önemlidir (Sargent, 1997). Yetiştiricilik yoluyla elde edilen gökkuşağı alabalığı eti besleyici ve lezzetli bir besindir (Antão-Geraldes ve diğ., 2018; Turchini ve diğ., 2018). Bunun yağ asitleri

profili ile doğrudan ilişkisi bulunmaktadır (Oz ve Dikel, 2015). Yağ asitleri, zincir uzunluğuna, doymamış bağların sayısına ve yerine bakarak sınıflandırılırlar. Su ürünleri tüketimi ile bağlantılı benzersiz insan sağlığı faydalarının sağlanmasında rol oynayan yağ asitleri esasen eikosapentaenoik asit (EPA) ve dekosahekzaenoik asit (DHA) yağ asitleridir (Ghasemifard, ve diğ., 2014).

Bu yağ asitleri esansiyel yağ asitleri olduğu için vücuda dışarıdan alınması zorunludur ve vücut tarafından sentezlenemezler (Calabrese ve diğ., 1999; Ghasemifard, ve diğ., 2014). Amino asit kompozisyonunda, özellikle tuzluluk ve mevsim gibi faktörlerin etkisi bulunmaktadır (Grigorakis, 2007). Son zamanlarda yapılan birçok çalışma, insan gelişimi ve sağlığında n-3 yağ asitlerinin önemini ve gerekliliğini göstermiştir.

3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1. MALZEME

3.1.1. Çalışma Yeri ve Süresi

Bu çalışma, İstanbul Üniversitesi Su Bilimleri Fakültesi Sapanca İçsu Ürünleri Üretimi Araştırma ve Uygulama Biriminde bulunan Sucul Omurgalı Canlı Deney Ünitesi'nde (İUSUCAN) gerçekleştirilmiştir. Çalışma, 28.01.2021 – 10.03.2021 tarihleri arasında gerçekleştirilmiş ve 42 gün sürmüştür.

3.1.2. Balık Materyali

Çalışmada Sapanca İçsu Ürünleri Araştırma ve Uygulama Birimi'nde üretilen juvenil gökkuşağı alabalığı (*Onchorhynchus mykiss*) kullanılmıştır. Balıklara ait boy (cm) ve ağırlık (g) özellikleri Tablo 3.1'de verilmiştir. Gruplar belirlenirken aynı anaçlardan elde edilen ve aynı koşullarda tutulan balıklar kullanılmıştır ve çalışma başlangıcında gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı hiçbir fark tespit edilmemiştir ($p>0,05$).

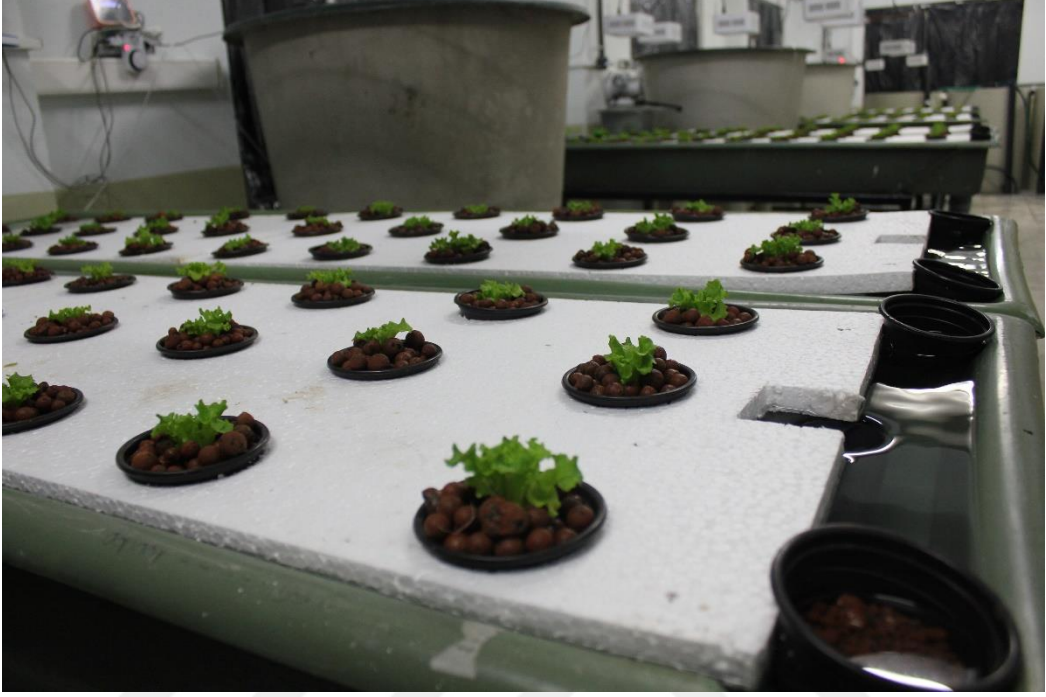
Tablo 3.1: Çalışmada kullanılan gökkuşağı alabalığına ait başlangıç değerleri.

	Ağırlık (g)	Boy (cm)	Kondisyon Faktörü (K)
Ortalama	26,54	13,41	1,10
Standart Sapma	0,36	0,08	0,02

3.1.3. Bitki Materyali

Çalışmada kullanılan bitkiler her sistemde 60 adet (30 adet x 2 bitki yatağı) olmak üzere 10 günlük elmaria varyetesi marul bitkisi (*Lactuca sativa* L. var. elmaria) fidesidir (Şekil 3.1). Literatürdeki diğer çalışmalar gibi (Seawright ve diğ., 1998; Diver ve Rinehart, 2000; Endut ve diğ., 2010; Simeonidou ve diğ., 2012; Shete ve diğ., 2013; Buzby ve Lin, 2014; Endut ve diğ., 2014; Somerville ve diğ., 2014; Effendi ve diğ., 2017) akuaponik sisteme uyarlanması ve

beslenmesi diğer bitki türlerine göre nispeten daha kolay olduğu için bu çalışma da bitki türü olarak marul seçilmiştir.



Şekil 3.1: Marul fidelerinin akuaponik sisteme eklendiği zamana ait görüntü (Özgün).

Sistemdeki balık ve bitki miktarlarını belirlerken Somerville ve diğ., (2014)'den yararlanılmıştır. Buna göre başarılı ve dengeli bir akuaponik sistem kurmak için, bitki yetiştirme alanının metrekaresi başına günlük yem gramının hesaplanması gereklidir. Somerville ve diğ., (2014)'e göre yeşil yapraklı sebzeler için (örneğin marul) bitki ekilen alandaki metrekaresi başına sisteme toplam günde 40-50 gram yem verilmesi gerekmektedir. Buradan çıkartılacak sonuca göre ne kadar balık stoklanması gerektiği belirlenebilir. Bu durumun tam tersi şekilde bir hesap da mümkündür. Balık yemleme oranı, gökkuşağı alabalığı 30 g – 50 g arasındaki juvenilleri için uygun olan %2-3 olarak hesaplanmıştır (Woynarovich ve diğ., 2011). Bu çalışmada aşağıda açıklandığı gibi balık ve bitki oranı hesaplanmıştır.

Bir çalışma grubundaki toplam bitki miktarı 60 adettir.

$$60 \text{ Marul} \times \frac{1 \text{ m}^2}{25 \text{ Marul}} = 2,4 \text{ m}^2$$

Bu bitkiler için gerekli olan büyüme alan miktarı => 25 adet marul için 1 m² bitki büyüme alanı gerekli ise 60 adet marul için 2,4 m² alan gereklidir.

Bu çalışmada, her gruba ait 60'şar adet bitki için 220 cm boy ve 60 cm genişliğe sahip ikişer adet bitki yatağı olmak üzere toplamda $\sim 2,6 \text{ m}^2$ bitki büyüme alanı bulunmaktadır.

Günlük sisteme eklenmesi gereken yem miktarı $\Rightarrow 2,4$ ($2,4 \text{ m}^2$ 'lik bir yeşil yapraklı bitki yetiştirme alanı için) $\times 40$ (metrekare başına yeşil yapraklı sebze için gereken yem miktarı) = 96 g yemdir.

Günlük 96 g yemi %3 yemleme oranına göre tüketmesi gereken balık stok miktarı $\Rightarrow 3200$ gramdır. Her bir sistemde 3 balık tankı ve ~ 30 g ağırlığa sahip 36'şar balık konulmuştur. Toplam başlangıç biokütlesi her sistem için 3240 gr'dır. Analizler için sistemden iki haftada bir alınan balıklar nedeniyle bu toplam biyokütle deney boyunca yaklaşık olarak aynı seviyede tutulmuştur.

Dolayısıyla akuaponik sistemlerin ilk boyutlandırılması Rakocy (2006) ve Somerville ve diğ., (2014)'e göre bitki ve balık miktarı arasındaki ilişki dikkate alınarak yapılmıştır.

3.1.4. Balık Beslenmesinde Kullanılan Yem

Çalışmada, %45 ham protein, %20 ham yağ, %9 ham kül, %1,85 ham selüloz, %1,92 kalsiyum, %0,75 fosfor, %0,65 sodyum, 8000 IU/kg A vitamini, 3000 IU/kg D3 vitamini, 350 mg/kg E vitamini, 30 mg/kg manganez, 60 mg/kg çinko, 20 mg/kg demir, 2 mg/kg İyot, 6 mg/kg bakır, 0,2 mg/kg selenyum içeriğine sahip 3 mm çapında ticari ekstrüde alabalık yemi kullanılmıştır.

3.1.5. Denemede Kullanılan Su

Çalışmada kullanılan su materyali, sene boyunca $\sim 13^\circ\text{C}$ su sıcaklığına sahip olan 60 metre derinlikten çekilen yeraltı suyudur. Pompa gücüyle yeryüzüne çıkartılan su önce bir havuza yukarıdan dökülerek içerisindeki uçucu gazlar uzaklaştırılmış ve oksijen kazanması sağlanmış daha sonra da sırasıyla kum filtre, kartuş filtre ve ultraviyole filtreden geçirerek kullanılmıştır.

3.2. YÖNTEM

3.2.1. Çalışma Gruplarının Oluşturulması

Çalışmada hem akıntının varlığının hem de yem kısıtlamasının etkileri incelendiği için çalışma grupları aşağıdaki gibi tasarlanmıştır:

SN grubu: Sabit (akıntının olmadığı) suda (0 BB/s) tutulan ve doyana kadar beslenen grup.

SK grubu: Sabit (akıntının olmadığı) suda (0 BB/s) tutulan ve doyana kadar beslenen gruba göre %25 yem kısıtlaması yapılan grup.

YN grubu: Yaklaşık saniyede bir balık total boyu hızında (Balık Boyu, BB) (1 BB/s) akıntıda tutulan ve doyana kadar beslenen grup.

YK grubu: Yaklaşık saniyede bir balık total boyu hızında (Balık Boyu, BB) (1 BB/s) akıntıda tutulan ve doyana kadar beslenen gruba göre %25 yem kısıtlaması yapılan grup.

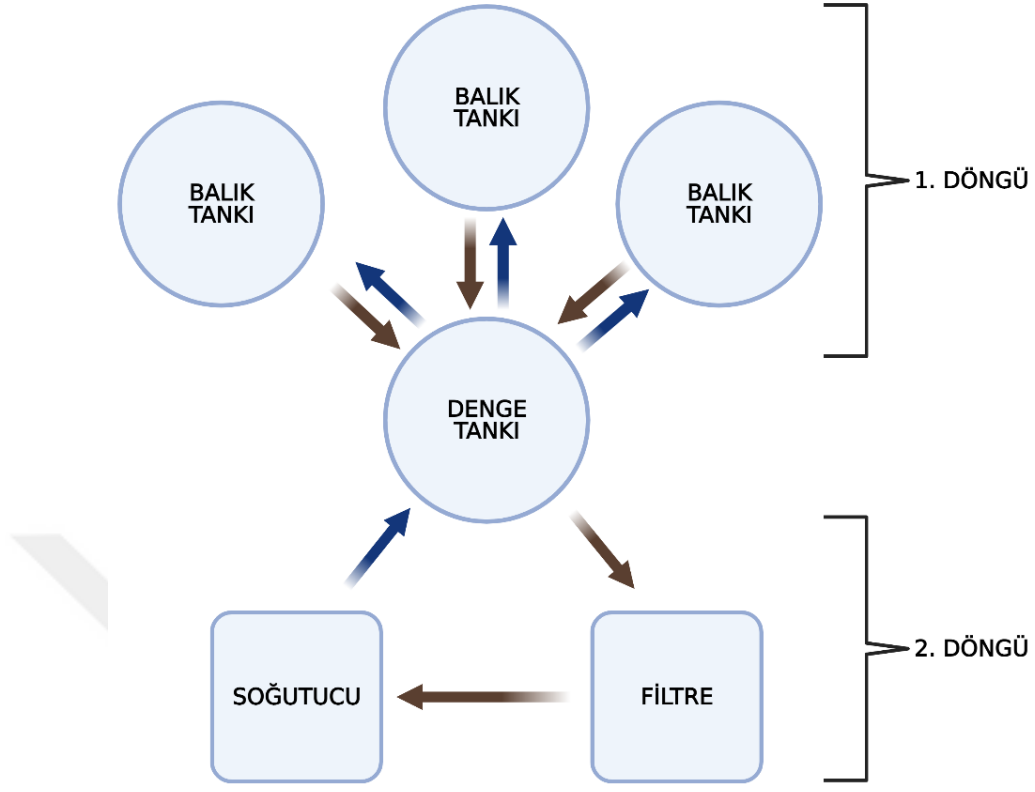
Çalışmada akıntılı gruplarda saniyede bir balık boyu akıntının seçilmiş olma nedeni birçok çalışmada (Skov ve diğ., 2011; McKenzie ve diğ., 2012; Skov ve diğ., 2015) en iyi sonuçların bu akıntı hızında elde edilmiş olmasıdır.

3.2.2. Akuaponik Sistem

Çalışmayı gerçekleştirmek amacıyla 4 adet ayrıştırılmış akuaponik sistem kurulmuştur. Her akuaponik sistem bir adet resirküle akuakültür sistemi (RAS) ve bir adet hidroponik (HP) ünitesinden oluşturulmuştur.

3.2.2.1. Resirküle Akuakültür Sistemi (RAS)

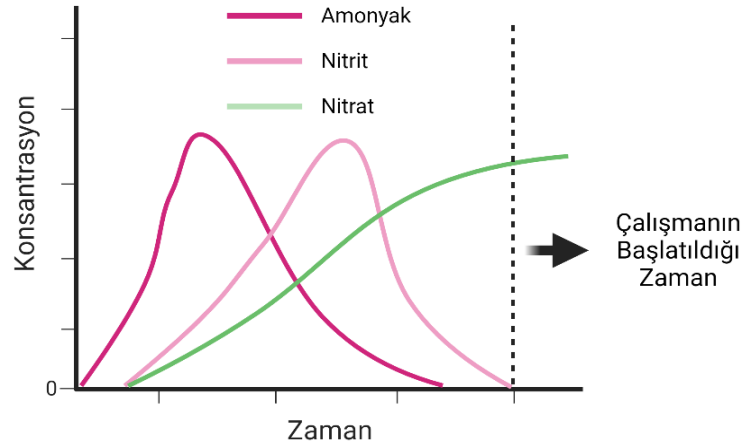
RAS'tan çıkan su HP üniteye giderek bitki büyüme solüsyonu olarak kullanılmıştır. Her sistemin kendi içerisinde üçer adet paralelli balık tankı, birer adet denge havuzu (sump), birer adet dış filtre (Eheim Classic 1500 XL 2400 L/s, Almanya) ve birer adet soğutucu (Teco TK2000, İtalya) ve birer adet havalandırma motoru (blower) bulunmaktadır. Her bir balık tankına giden suyun, o sisteme ait olan denge tankının içindeki ayrı bir pompa (Eheim Compact On 5000, Almanya) ile devridaimi sağlanmıştır. Balık tankından çıkan su ise hem tankın üst kısmında, hem de tabanında ortada bulunan tahliye borularından gerçekleştirilmiştir. Dolayısıyla balık tanklarından çıkan sular tekrar denge havuzuna geri dönmektedir. Böylelikle birinci döngü olarak adlandırılan bir döngü oluşturulmuştur. Buna ek olarak RAS içerisinde ikinci bir döngü oluşturulmuştur. Bu döngü için denge havuzundan dış filtreye pompalanan su dış filtre içerisinde temizlenerek soğutucuya gitmekte ve istenilen su sıcaklığına (16°C) getirilen su tekrar denge havuzuna geri dönmektedir. Akuaponik sistemin RAS kısmına ait kurulum daha iyi anlaşılması için şematik olarak gösterilmiştir (Şekil 3.2).



Şekil 3.2: Resirküle akuakültür sisteminin şematik görünümü (Özgün).

Ortamdaki bağıl nem, hedef nem oranının %60 olarak ayarlandığı bir nem alma cihazı (Trotec TTK 95 E, Almanya) tarafından kontrol edilmektedir. Ayrıca su soğutucularının dışarıya verdiği sıcak havanın ortamın sıcaklığını arttırmasına engel olmak için klima ile ortam sıcaklığı 18 °C’de tutulmaktadır.

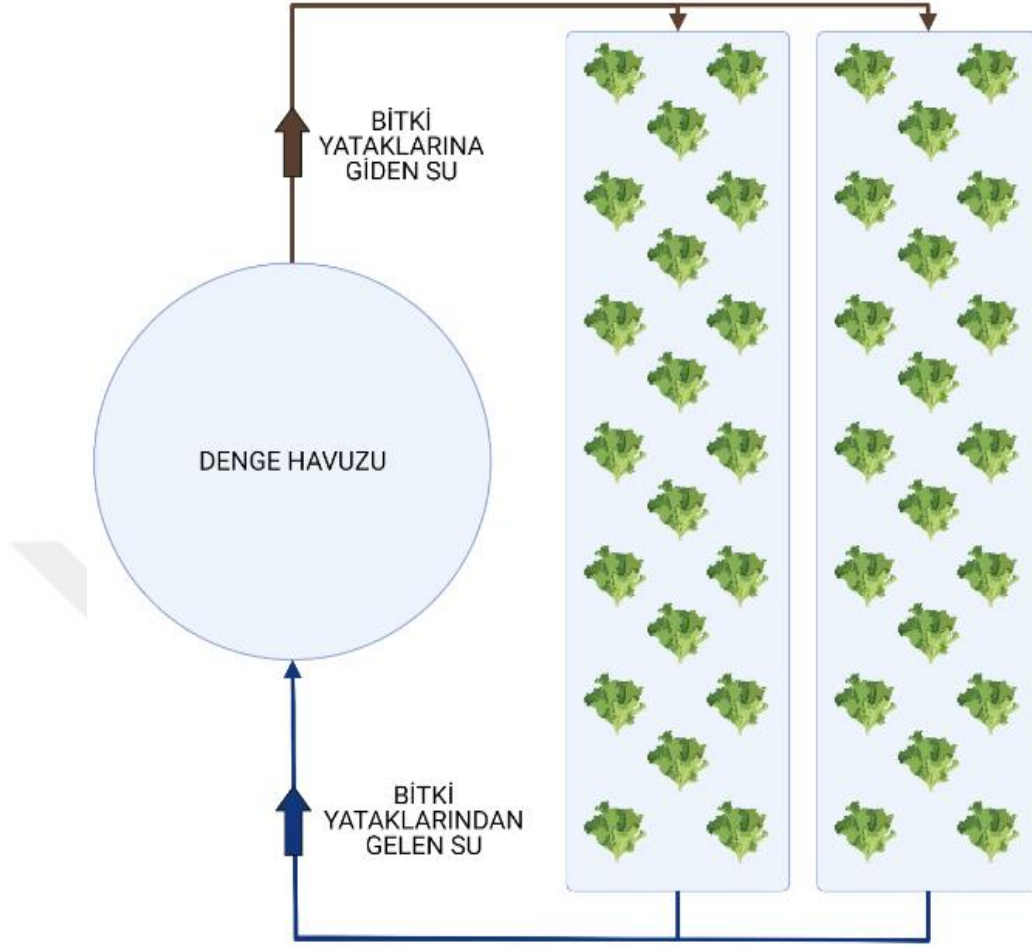
Çalışmaya başlamadan önce sistemdeki azot döngüsünün oturması ve HP kısmına giden suda yeterli besin elementi olması için bir ön çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla RAS ünitesindeki balık tanklarına geçici olarak eklenen balıklar, henüz bitkiler HP ünitesine eklenmeden önce beslenerek ortama azot sağlamış ve nitrifikasyon döngüsünün tamamlanması sağlanmıştır (Şekil 3.3). RAS ünitesinde haftada iki kez ölçülen değerler olan amonyak ve nitrit değerleri 0 mg/L konsantrasyona yaklaşınca ve ortamda nitrit artışı gözlemlendikten sonra geçici balıklar sistemden çıkartılmıştır. RAS ünitesindeki bütün balıklar çıkartıldıktan sonra sadece biyofiltre içindeki su bırakılmış geri kalan sistemdeki su tamamen taze su ile değiştirilmiştir.



Şekil 3.3: Azot döngüsüne bağlı olarak çalışmanın başlangıç zamanı (Özgün).

3.2.2.2. Hidroponik Sistem (HP)

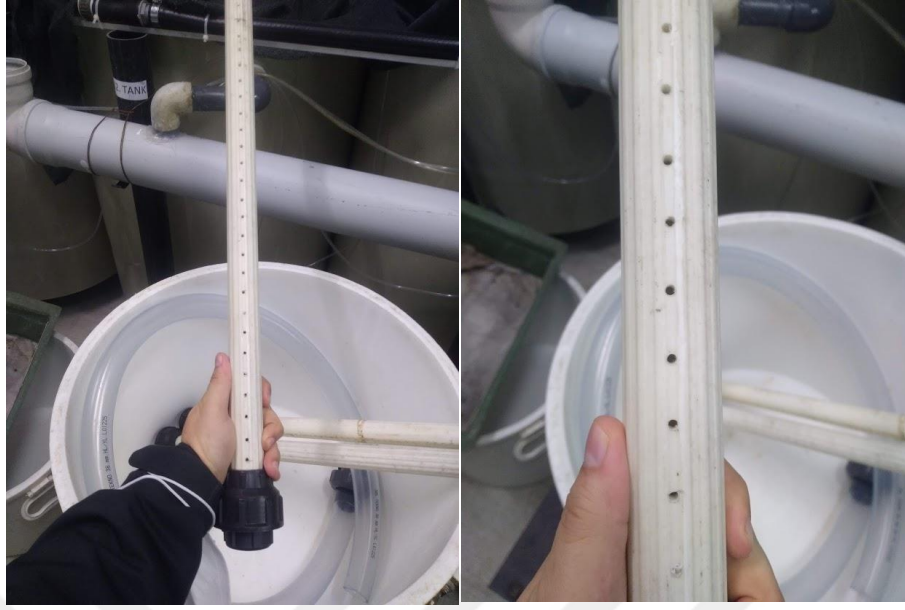
Hidroponik sistem ise yine her RAS için ayrı ayrı karşılık gelecek şekilde dört adet olarak tasarlanmıştır. Kullanılan bitki yatakları 220 cm boy, 50 cm en, 20 cm derinlik ölçülerine sahiptir. Her çalışma grubunda iki adet bitki yatağı kullanılmıştır. Bu bitki yataklarının her birisine bitki büyötmeye uygun 5'er adet 200 Watt'lık LED lambalar (SOL Led Bitki Yetiştirme lambaları, Türkiye) kullanılmıştır. Her bir lamba 64 adet, 380-780nm arası spektruma sahip, 3 Watt'lık ışık yayan diyotlardan oluşmaktadır. Bu ışıkların altına da bitkiler Şekil 3.4'de gösterildiği gibi yerleştirilmiştir.



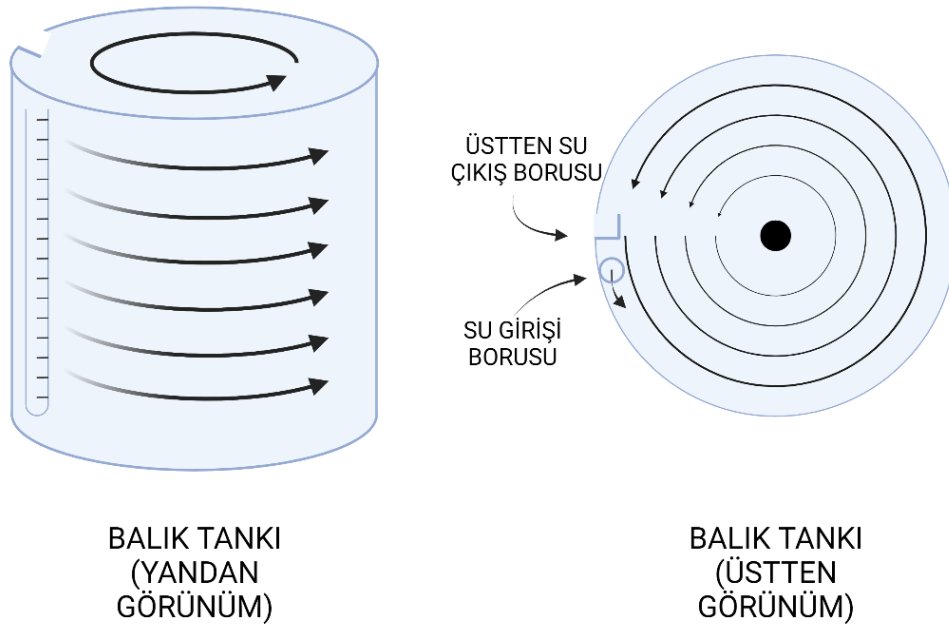
Şekil 3.4: Hidroponik sistemin şematik görünümü (Özgün).

3.2.3. Yüzme Performansı İçin Akıntı Oluşturma

Balık tankında akıntı yaratmak için tank duvarına paralel şekilde konumlandırılmış ve sabitlenmiş sert plastik boru (80 cm uzunluğunda, tabandan tavana doğru ilk 50 cm'lik kısmında 2 cm aralıklarla, 3 mm çapında, 25 adet deliğe sahip) (Şekil 3.5) içerisinden çıkarak tank içindeki suya dairesel hareket kazandıracak şekilde tasarlanmıştır (Şekil 3.6). Akıntısız olan sistemlerdeki balık tanklarına su girişi direkt tank duvarına çarpacak şekilde tasarlanmış ve bu sayede tank içerisinde su hareketine izin verilmemiştir.



Şekil 3.5: Balık tankında akıntı oluşturmak için kullanılan plastik boru (Özgün).



Şekil 3.6: Balık tanklarına su giriş ve çıkışını anlatan şematik gösterim (Özgün).

3.2.4. Su Kalitesi Analizleri

Deneme süresince su kalitesi parametrelerinden sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$), çözülmüş oksijen (mg/L), pH, toplam çözülmüş katı (TDS) (mg/L), tuzluluk (mg/L) ve elektriksel iletkenlik (EC) (mg/L) günlük olarak ölçülmüştür. Fosfat (PO_4), Toplam Fosfor (TP), Nitrit (NO_2), Nitrat (NO_3), Demir (Fe) ve Silika (SiO_2) ölçümleri ise haftalık olarak takip edilmiştir. Su örnekleri $+4^{\circ}\text{C}$ de

muhafaza edilerek, analizler İstanbul Üniversitesi Su Bilimleri Fakültesi İçsu Kaynakları ve Yönetimi Anabilim Dalı Araştırma Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Su kalitesi analizleri APHA, AWWA ve WEF (1989)'a göre, spektrofotometre cihazı (SHIMADZU UV-1800) kullanılarak tespit edilmiştir

3.2.5. Yem Analizi

Çalışmada kullanılan yemin besin kompozisyonuna ait değerler İstanbul Üniversitesi Su Bilimleri Fakültesi Su Ürünleri İşleme Teknolojisi Anabilim Dalı'na ait Kalite Kontrol Laboratuvarı'nda yapılan analizlerle belirlenmiştir. Ham protein analizi Kjeldahl metoduna göre (AOAC, 1984), ham yağ analizi Weilmeier ve Regenstien (2004)'e göre, nem analizi AOAC 980.46 (1998a) metoduna göre, ham kül analizi AOAC 938.08 (1998b) metoduna göre yapılmıştır.

3.2.6. Balık Büyüme Performansına Ait Analizler

Balık büyüme performansını belirlemek için Canlı Ağırlık Artışı, Yem Alım Miktarı, Kondisyon Faktörü, Spesifik Büyüme Oranı, Yemden Yararlanma Oranı (YYO), Varyasyon Katsayısı (VK) ve Hepatosomatik İndeks (HSI) gibi göstergeler incelenmiştir.

3.2.6.1. Canlı Ağırlık Artışı

Balıklardaki canlı ağırlık artışı 42 gün süren denemenin sonunda her tank içindeki balıkların ağırlıklarının ortalamalarından başlangıçtaki ortalama ağırlıklar çıkartılarak aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır (Tunçelli ve Pirhonen, 2021):

$$CAA = SA - BA$$

CAA: Canlı ağırlık artışını (g)

SA: Son ağırlığı (g)

BA: Başlangıç ağırlığını (g), ifade eder.

3.2.6.2. Yem Alım Miktarı

Yem alım miktarı balık başına çalışma boyunca tükettiği yem üzerinden toplam verilen yem miktarından tank dibindeki yemlerin çıkartılması yoluyla aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır (Salgado-Ismodes ve diğ., 2020):

$$YAM = VYM - TYM$$

YAM: Yem alım miktarını (g)

VYM: Verilen yem miktarını (g)

TYM: Toplanan yem miktarını (g), ifade eder.

3.2.6.3. Kondisyon Faktörü

Kondisyon Faktörü (K), her deneme tankı için deneme sonunda ve başında balığın bireysel ağırlığının balığın toplam boyunun küpüne bölünerek yüzde olarak ifadesi şeklinde aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmıştır (Parker ve Barnes, 2014):

$$K = \frac{A}{B^3} \times 100$$

K: Kondisyon faktörünü

A: Balığın toplam canlı ağırlığını (g)

B: Balığın toplam boyunu (cm), ifade eder.

3.2.6.4. Spesifik Büyüme Oranı

Spesifik Büyüme Oranı (SBO), balığın çalışma boyunca elde ettiği büyüme oranını ifade etmek üzere çalışma sonundaki balık ağırlığının çalışma başlangıcındaki ağırlığından logaritmik farkının çalışma süresine (42 gün) bölünmesinin yüzde olarak ifadesi şeklinde aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmıştır (McKenzie ve diğ., 2012):

$$SBO = \left(\frac{(\ln A_2 - \ln A_1)}{t} \right) \times 100$$

SBO: Spesifik büyüme oranını,

A2: Çalışma sonunda ulaşılan balık ağırlığını (g),

A1: Çalışma başlangıcındaki balık ağırlığını (g),

t: Çalışma süresini (gün),

$\ln$; e tabanına göre logaritmayı, ifade eder.

3.2.6.5. Yemden Yararlanma Oranı

Yemden yararlanma oranı (YYO), her tankta tüketilen toplam yem miktarının balık başına düşen miktarı tüketilmeyen yemler düşüldükten sonra çıkan sonucun o tanktaki ortalama balık ağırlık artışına oranı olarak aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır (Skov ve diğ., 2015):

$$YYO = \frac{YAM}{KA}$$

YYO: Yemden yararlanma oranı,

YAM: Yem alım miktarı (g),

KA: Kazandığı ağırlığı (g), ifade eder.

3.2.6.6. Varyasyon Katsayısı

Varyasyon Katsayısı, balık tanklarındaki ağırlık varyasyonunu anlamak amacıyla tank içerisindeki balık ağırlıklarının standart sapmalarının balık ağırlıklarına oranının ortalamalarının yüzde ifadesi olarak aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır (Tunçelli ve Pirhonen, 2021):

$$VK = \left(\frac{SD}{A} \right) \times 100$$

VK: Varyasyon katsayısını,

SD: Standart sapmayı,

A: Balığın Ağırlığını, ifade etmektedir.

3.2.6.7. Hepatosomatik İndeks

Karaciğer yağlanmasını izlemede önemli olan hepatosomatik indeks (HSİ), aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmıştır (Tunçelli ve Pirhonen, 2021):

$$HSI = \left(\frac{KA}{A} \right) \times 100$$

HSİ: Hepatosomatik indeksi,

KA: Karaciğer ağırlığını,

A: Balığın ağırlığını, ifade eder.

3.2.6.8. Viserosomatik İndeks

İç organ yağlanması göstergesi olan viserosomatik indeks (VSİ) aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmıştır (Tunçelli ve Pirhonen, 2021):

$$VSİ = \left(\frac{IA}{A} \right) \times 100$$

VSİ: Viserosomatik indeksi,

IA: İç organların toplam ağırlığını,

A: Balığın ağırlığını, ifade eder.

3.2.6.9. Balıklardaki Amino Asit Analizleri

Çalışmada kullanılan amino asit analizi, Yüksek Basıncılı Sıvı Kromatografisi (HPLC) cihazı [Shimadzu (Kyoto, Japan)] ile Erkan ve diğ. (2010)'nin modifiye ettiği metoda göre İstanbul Üniversitesi, Su Bilimleri Fakültesi, İşleme Teknolojisi Anabilim Dalı'na ait Enstrümantal Analiz Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. HPLC cihazı; sistem kontrolörü (SCL-10A), iki adet sıvı kromatografi pompası (LC-10AT ve LC-20AT), kolon fırını (CTO-10AC), floresans dedektör ünitesi (RF-10AXL), sıvı-gaz çıkarıcı (DGU-14A) ve oto enjektör ünitesinden (SIL-10AD) oluşmaktadır. Balıkların filetoları bir laboratuvar blenderı (Retsch, Grindomix GM200, Germany) yardımıyla homojen hale getirilmiştir. Hassas terazide cam örnek kaplarına tartılan numunelerin üzerine HCl eklenerek kapağı sıkıca kapatılmış ve 120 °C'de 24 saat boyunca

numunelerin hidrolizasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. İşlem sonrası hidrolizatlar ultra saf su ile seyreltme sonrası gözenek boyutu 0,22 µm gözenek boyutuna sahip naylon membran filtrelerden süzölmüştür. Elde edilen bu hidrolizat süzöntüsünden türevlendirme gerçekleştirilmiştir (Waters, 1993). Aminoasitler, alıkonma sürelerinin güvenilir/gerçek standartlarla (Sigma-Aldrich Amino Asit Standardı 1 mL Lot: SLBR6088V) karşılaştırılarak tanımlanmıştır ve içerikleri ağırlık bazında hesaplanmıştır (Erkan ve diğ., 2010). Analizlerde cihazın kendi yazılımı olan Class-VP 6.14 (Shimadzu, Japonya) kullanılmıştır. Tüm analizler üç kez tekrarlanmıştır. Analizlerde kullanılan tüm kimyasallar analitik saflıkta, HPLC cihazı çalışma koşulları, kolon ve detektör özellikleri Tablo 3.2’de verilmiştir.

Tablo 3.2: Analizlerde kullanılan HPLC cihazının çalışma koşulları

HPLC Cihazı Çalışma Koşulları	
Akış Hızı	1 mL/dakika
Enjeksiyon Hacmi	5 µL
Çalışılan Metodun Toplam Analiz Süresi	64 dakika
Floresans Detektörü Özellikleri	Uyarma: 250 nm Emisyon: 395 nm
Kolon Özellikleri	C18 ile bantlanmış silika bazı, boyutlar: 150×3,9 mm, parçacık boyutu: 4 µm, EMR HPLC Technologies, Almanya)

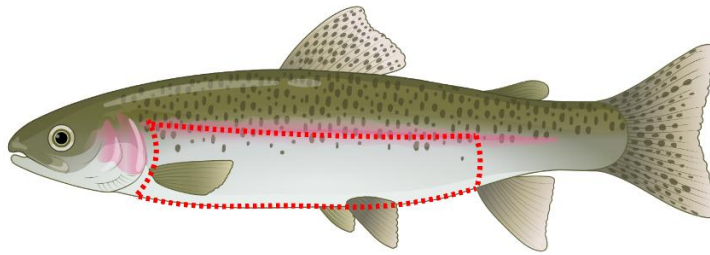
3.2.6.10. Balıkların Yağ Asitleri Analizleri

Yağ asitleri kompozisyonunu belirlemek için gaz kromatografisi (GC) cihazı kullanılarak yağ asitlerinin metil esterleri belirlenmiştir. Yağ asidi metil esterlerinin analizi, entegre bir otomatik örnekleyici ve FID dedektörü (Awenud Shelton, DE, ABD) ile donatılmış bir Perkin-Elmer Autosystem/Claurus 500 gaz kromatografisi (GC) kullanılarak İstanbul Üniversitesi, Su

Bilimleri Fakültesi, Su Ürünleri İşleme Teknolojisi Anabilim Dalı'na ait Enstrümantal Analiz Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. Bir Laboratuvar blenderi (Retsch, Grindomix GM200, Germany) yardımıyla homojen hale getirilen balık filetoları, üzerine petrol eteri eklenerek mekanik olarak yağ çıkartma işlemine tabii tutulmuştur. Numunelerdeki petrol eteri rotary evaporatör (Büchi, İsviçre) yardımıyla uçurulmuş ve ekstrakte edilen yağ ile metil ester analizi Ichihara ve diğ., (2002)'nin metodu modifiye edilerek gerçekleştirilmiştir. Yağ asidi metil esterlerinin bilinen bir referans materyali (Menhaden Fish Oil, 47116 Supelco) ve otantik standartlar (Supelco 37 Component FAME Mixture, 47885-U Supelco) ile tutulma sürelerinin karşılaştırılmasıyla yüzde (%) olarak belirlenmiştir.

3.2.6.11. Sindirim ve Antioksidan Enzim Aktivitesi Tayinleri

Tüm enzim aktivitesi analizleri İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Mühendislik Fakültesi, Kimya Bölümü, Biyokimya Anabilim Dalı laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Enzim aktivitesi analizleri için çalışmada kullanılan dokular, deneme gruplarındaki örneklenen balıklara ait mide, karaciğer, kas, böbrek ve solungaç dokulardır. Dokuları elde etmek için kullanılacak olan balıklar, başı sol tarafa gelecek şekilde diseksiyon tahtasına yatırılmış ve anüsten solungaç kısmına doğru kesik atılmıştır. Balığın yan çizgisine kadar olan kısmı kas dokusu olarak ayrılmış daha sonra solungaç dokusu solungacın tamamını içerecek şekilde alınmıştır (Şekil 3.7).



Şekil 3.7: Alabalığın kırmızı ile işaretli bölge kesilerek alınan kas dokusu (özgün).

Karaciğer ve böbrek dokuları organların tamamını içerecek şekilde alınmıştır. Daha sonra özefagusun itibaren rektuma kadar olan mide bölgesi çıkartılarak sindirim enzim tayinleri için ayrılmıştır. Bu dokuların tamamı %0,9'luk tuzlu su içerisinde -20°C 'de saklanarak analizin yapılacağı laboratuvara gönderilmiştir. İzole edilen doku ve organlar homojenize edilerek santrifüje edilmiş ve üst faz (Süpernatant) analiz edilene kadar -80°C 'de saklanmıştır.

3.2.6.11.1. Glutasyon (GSH) Miktarı Tayini

Balıkların alınan tüm dokularında glutasyon miktarı tayini, Beutler (1975) metoduna göre tayin edilmiştir. Yöntemde, Ellman ayırıcı olarak kullanılan 5,5'- ditiyobis-(2-nitro benzoik asit) (DTNB)'in sülfidril grupları ile verdiği reaksiyonun sonucunda oluşan sarı renkli ürünün spektrofotometrede 412 nm'de absorbens değeri okunmuştur.

3.2.6.11.2. Lipid Peroksidasyonu (LPO) Tayini

Balık alınan tüm dokularında lipid peroksidasyonu (LPO) tayini Ledwozyw ve diğ. (1986) metoduna göre spektrofotometrik yöntemle tayin edilmiştir. Bu yöntemde malondialdehid ve reaksiyon sonucunda oluşan LPO ürünlerinin tiyobarbitirik asit ile oluşturdukları pembe rengin absorbensı 532 nm'de spektrofotometrede okunmuştur.

3.2.6.11.3. Katalaz (CAT) Aktivitesi Tayini

Balık dokularında katalaz (CAT) aktivitesi, dokularda H_2O_2 'nin katalaz enzimi vasıtasıyla H_2O 'ya dönüşümü sağlanırken meydana gelen absorbens değerinin azalmasının 240 nm'de spektrofotometrede ölçülmesi esasına göre aktivite tayin edilmiştir (Aebi, 1984).

3.2.6.11.4. Süperoksid Dismutaz (SOD) Aktivitesinin Tayini

Balık doku örneklerinde süperoksid dismutaz (SOD) enziminin aktivitesinin belirlenmesinde Mylorie ve diğ. (1986) tarafından geliştirilen yöntem kullanılmıştır. SOD aktivitesi tayininde riboflavin ile duyarlandırılmış o-dianisidinin fotooksidasyon hızını arttırma yeteneği ölçülmüştür. Reaksiyonda oluşan H_2O_2 , o-dianisidin ile reaksiyona girerek renkli ürün oluşturmuştur. Renkli ürünün absorbens değeri spektrofotometrede 460 nm'de ölçülerek SOD aktivitesi tayin edilmiştir.

3.2.6.11.5. Glutasyon Peroksidaz (GPx) Aktivitesi Tayini

Alınan tüm balık doku örneklerinde glutasyon peroksidaz (GPx) aktivitesi, Paglia ve Valentine (1967) ile Wendel (1981) yöntemine göre tayin edilmiştir. GPx, H_2O_2 varlığında GSH'ın okside glutatyonla dönüşümünü katalizlemektedir. GPx reaksiyonu ile oluşan okside glutatyon, NADPH'nin indirgeyici substrat olarak kullanıldığı glutatyon redüktaz reaksiyonu ile tekrar indirgenmiş glutatyonla dönüşür. Bu reaksiyonlar sırasında koenzimin yükseltgenmesi ile oluşan absorbens değerindeki azalma 366 nm dalga boyunda spektrofotometrik olarak ölçülerek GPx aktivitesi hesaplanmıştır.

3.2.6.11.6. Glutasyon Redüktaz (GR) Enzim Aktivitesi Tayini

Alınan tüm balık dokularında glutasyon redüktaz (GR) enzim aktivitesi, okside glutasyonun glutasyon redüktaz ile indirgenmesi sonucunda yükseltgenen NADPH miktarının spektrofotometrede 340 nm’de absorbans değeri ölçülerek belirlenmiştir (Beutler,1971).

3.2.6.11.7. Glutasyon-S-transferaz (GST) Aktivitesi Tayini

GSH ve 1-klor-2,4-dinitrobenzen (CDNB)’in konjugasyonu sonucu oluşan ürünün, 340 nm’deki absorbansının spektrofotometrik olarak değerlendirilmesi esasına dayanılarak dokularda Habig ve Jacoby metoduna göre glutasyon-S-transferaz (GST) aktivitesi tayin edilmiştir (Habig ve Jakoby,1981).

3.2.6.11.8. Glukoz-6-fosfat Dehidrojenaz (G6PD) Aktivitesi Tayini

Tüm dokularda glukoz-6-fosfat dehidrojenaz (G6PD) aktivitesi Beutler (1984) metoduna göre, Mg^{2+} iyonlarının varlığında reaksiyon sırasında oluşan NADPH’ın 340 nm’de spektrofotometrik olarak ölçümü ile tayin edilmiştir (Beutler, 1984).

3.2.6.11.9. Reaktif Oksijen Türlerinin Miktar Tayini

Alınan tüm balık dokularından elde edilen süpernatantlarda, 2',7'-dikloroflorosein asetat ile muamele edilmiş ve reaksiyon sonucunda oluşan 2',7'-dikloroflorosein güçlü bir floresans veren maddeye oksitlenmiştir. Açığa çıkan 2',7'-dikloroflorosein düzeyleri ekstinksiyon 460 nm/emülsiyon 565 nm dalga boyunda spektrofotometrede ölçülmüş ve reaktif oksijen türlerinin miktarı tayin edilmiştir (Zhang ve diğ., 2018).

3.2.6.11.10. Laktat Dehidrojenaz (LDH) Aktivitesinin Tayini

Laktat dehidrojenaz (LDH) aktivitesinin tayininde Wroblewski (1957) metodu kullanılmıştır. Bu yöntemde LDH enzimi NAD^+ varlığında (substrat tamponunda) laktik asitin piruvata dönüşümünü katalize eder. 340 nm’de absorbans artışı spektrofotometrede kaydedilerek enzim aktivitesi tayin edilmiştir (Wroblewski, 1957)

3.2.6.11.11. Arginaz Aktivitesi Tayini

Balıkların karaciğer ve böbrek dokularında arginaz aktivitesi Geyer ve Dabich (1971) yöntemine göre tayin edilmiştir. Geyer ve Dabich’in tiyosemikarbazid diasetilmonoksim üre yöntemi ile balık karaciğer ve böbrek dokularında optimize edilmiş koşullarda spektrofotometrede 520 nm’de absorbans değerleri ölçülerek arginaz aktivitesi tayin edilmiştir (Geyer ve Dabich, 1971).

3.2.6.11.12. Proteaz Aktivitesinin Tayini

Çalışmada balıkların mide dokularındaki proteaz aktivitesinin tayininde Singh ve diğ., (2011) yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde substrat olarak kazein kullanılmıştır. Enzim aktivite tayininde kazeinin proteaz varlığında yıkılması sonucu açığa çıkan tirozin kalıntılarının absorbans değeri 280 nm’de spektrofotometre okunarak proteaz aktivitesi tayin edilmiştir (Singh ve diğ., 2011).

3.2.6.11.13. Pepsin Aktivitesinin Tayini

Bu çalışmada mide dokusundaki pepsin aktivitesi Anson (1938) yöntemine göre tayin edilmiştir. Bu yöntemlerde substrat olarak sığır hemoglobini kullanılmıştır. Pepsin aktivitesi, 37°C derecede belirtilen koşullar altında spektrofotometrede 280 nm dalga boyunda değeri ölçülerek hesaplanmıştır (Anson, 1938).

3.2.6.11.14. Lipaz Aktivitesinin Tayini

Projede kullanılan balıkların mide ve karaciğer doku homojenizatlarındaki lipaz aktivitesi p-nitrofenil kaproat substratının hidrolizi ile oluşan sarı renkli p-nitrofenol’ün spektrofotometrede 405 nm dalga boyunda absorbans değerleri ölçülerek tayin edilmiştir (Conforti ve diğ., 2012).

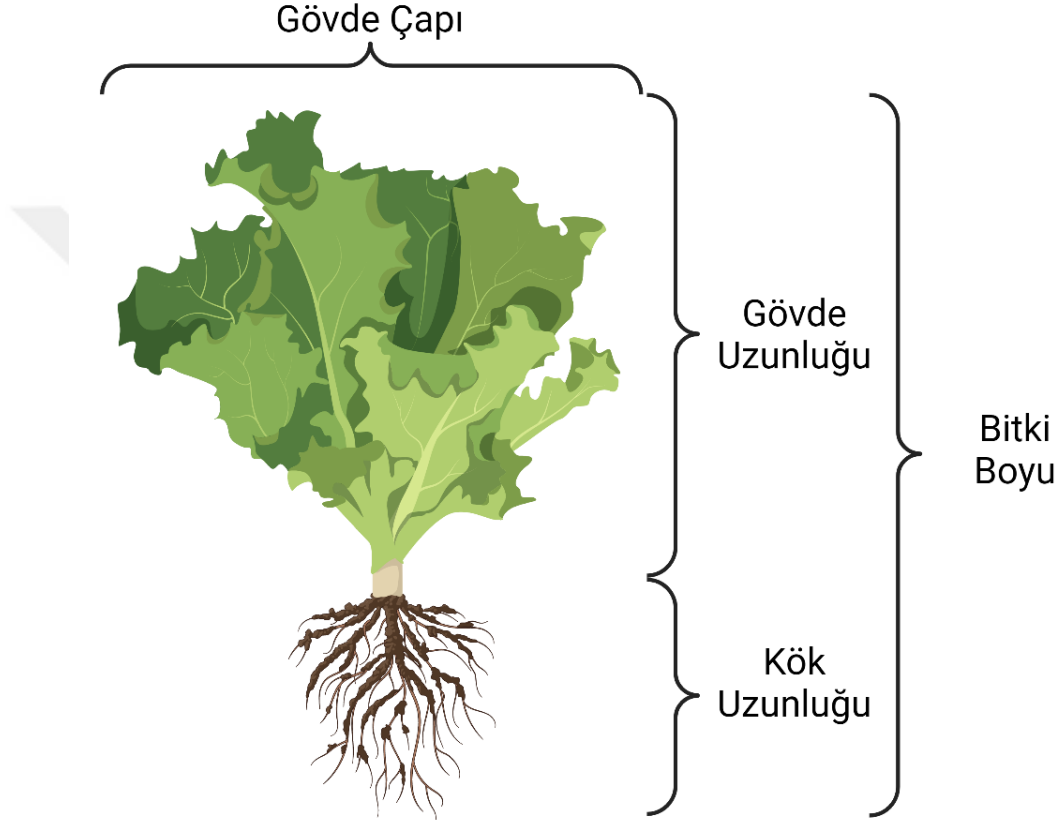
3.2.6.11.15. Protein Miktar Tayini

Bu yöntemin prensibi, proteinlerin yapısındaki tirozin ve triptofan gibi aromatik amino asitlerin alkali koşullar altında bakır (II) iyonları ile oluşturduğu kompleksin Folin reaktifini (fosfomolibdotungstik asidi) indirgemesi sonucunda mavi renkli ürün oluşturmaya dayanmaktadır. Mavi rengin şiddeti, spektrofotometrede 500 nm dalga boyunda absorbans değeri ölçülerek tayin edildi (Lowry ve diğ., 1951). Bu yöntemle göre tüm dokularda (mide, karaciğer, kas, böbrek ve solungaç) protein miktar tayini gerçekleştirilmiştir.

3.2.7. Bitki Büyüme Performansı

3.2.7.1. Bitki Boyu

Bitki boyu şekilde gösterildiği gibi (Şekil 3.8) bitkinin gövde uzunluğu ve kök uzunluğu dahil toplam uzunluğu olarak santimetre cinsinden ölçülmüştür.



Şekil 3.8: Bitkilere ait gövde çapı (cm), gövde uzunluğu (cm), kök uzunluğu (cm) ve bitki boyu (cm) gösterimi (Özgün).

3.2.7.2. Gövde Çapı (Bitki Genişliği)

Gövde çapı (cm) bitkinin yukarıdan bakıldığı zaman en kesitinin santimetre cinsinden ölçülmesiyle elde edilmiştir.

3.2.7.3. Bitki Islak Ağırlığı

Bitki ıslak ağırlığı (g), bitkinin hasat sonrasında 0,01 gram hassasiyete sahip hassas terazide (Radwag, Polonya) gram cinsinden ölçülmesiyle tespit edilmiştir.

3.2.7.4. Bitki Kuru Ağırlığı

Bitki kuru ağırlığı, bitkilerin 70°C’de kurutmalı etüv (Daihan Scientific, Kuzey Kore) içerisinde 4-7 gece tutulması sonrası sabit tartım yapılarak gram cinsinden belirlenmiştir.

3.2.7.5. Bitki Kökü Uzunluğu

Bitkilerin kökleri saksıdan çıkartılıp hidrotonlardan ayrıştırılarak, gövdenin altından kökün en ucuna kadar olan mesafenin ölçülmesiyle santimetre cinsinden belirlenmiştir.

3.2.7.6. Yaprak Sayısı

Yaprak sayısı, bitkilerin yalancı yaprakları hariç tutularak sadece gelişmiş yaprakları sayılarak elde edilmiştir.

3.2.7.7. Renk Ölçümleri

Bitki yapraklarındaki renk ölçümleri, L * a * b değerleri olarak renk ölçüm cihazı (Konica Minolta CR 400/410, Japonya) yardımıyla belirlenmiştir.

3.2.8. Mikrobiyolojik Analizler

Bitkilerin köklerinin tutunduğu hidrotonlardan toplam bakteri, maya-küf ve *Escherichia coli* tespiti için ekim İstanbul Üniversitesi Su Bilimleri Fakültesi İşleme Teknolojisi Anabilim Dalına ait laboratuvarında yapılmıştır. Bunun için hidrotonlar, steril eldiven kullanılarak, steril örnek filtreli poşetine konulmuş ve üzerilerine de MRD (maksimum recovery diluent) ilave edilmiştir. Daha sonra homojenizatörde (Stomacher Cihazı, IUL Instrument, İspanya) beş dakika homojenize edilmesiyle ana solüsyon hazırlanmıştır. Hazırlanan ana solüsyondan alınan 1 mL örnek toplam bakteri için PCA (Plate Count Agar), koliform bakteri ve *E. coli* için VRBL (Violet Red Bile Lactose)-MUG agar ve maya-küf için DRBC (Dichloran Rose Bengal Chloramphenicol) besiyerine ekilmiştir. Elde edilen sonuçlar koloni oluşturan birim (KOB) cinsinden tespit edilmiştir.

3.2.9. İstatistiksel Analiz

Çalışma boyunca verilen ortalama ve standart sapma ($\text{Ort} \pm \text{SD}$) değerleri, şeklinde gerçekleştirilmiştir. Çalışmada balık büyüme performansları hesaplanırken her balık tankının

bir gözlem birimi olarak kullanılmıştır ki bu da her grup için üç birimi (balık tankını) içermektedir. Verilerin analizinde SPSS 21 for Windows (IBM SPSS Software, ABD) yazılımı kullanılmıştır. Verilerin normal dağılıma uygun olup olmadığını ortaya koymak amacıyla Normallik testi (Kolmogorow-Smirnov) uygulanmıştır. Normal dağılım gözlenmiş olan verilerde tek yönlü varyans analizi (one-way ANOVA) uygulanarak Duncan testi ile post-hoc karşılaştırmalar %95 güven aralığında yapılmıştır. Analizlerde anlamlılık düzeyi $p < 0,05$ olduğunda, regresyon eğiminin gösterge niteliğinde anlamlı olduğu kabul edilmiştir (Robinson ve diğ., 2006). Normal dağılımın gözlenmediği durumlarda Kruskal Wallis testi uygulanarak gruplar arasında anlamlı bir değişim olup olmadığı belirlenmiştir.

Etik Kurul İzni

Bu tez çalışmasının canlı deney hayvanlarıyla gerçekleştirilen bölümü için İstanbul Üniversitesi Hayvan Deneyleri Yerel Etik Kurulu'dan 06.12.2019 tarihli ve 2019/10 etik onay belgesi, enzim analizleri ile ilgili çalışmalarının gerçekleştirilmesi için ise 2019/19 etik onay belgesi alınmıştır.

4. BULGULAR

4.1. SU KALİTESİNE AİT BULGULAR

Kırk iki gün süren çalışmanın su kalitesine ait bulguları günlük yapılan ölçümler ve haftalık yapılan ölçümler olarak verilmektedir. Günlük ölçümler arasında hem balıkların yetiştirildiği resirküle akuakültür sisteminden (RAS) hem de bitkilerin büyütüldüğü hidroponik sistemden (HP) farklı lokasyonlarından sıcaklık (°C), pH, çözünmüş oksijen (mg/L), oksijen saturasyonu (%), iletkenlik ($\mu\text{S}/\text{cm}$), toplam çözünmüş katı (mg/L) ve tuzluluk (‰) parametreleri ölçülerek günlük ortalama olarak kaydedilmiştir (Tablo 4.1). Ayrıca haftalık olarak her iki sistem suyunun denge tanklarından alınan örneklerden fosfor (mg/L), amonyak (mg/L), nitrit (mg/L), nitrat (mg/L) ve demir (mg/L) parametreleri ölçülerek kaydedilmiştir. Elde edilen bulgular Bölüm 4.1.1 ve 4.1.2’de grafiklerle verilmiştir.

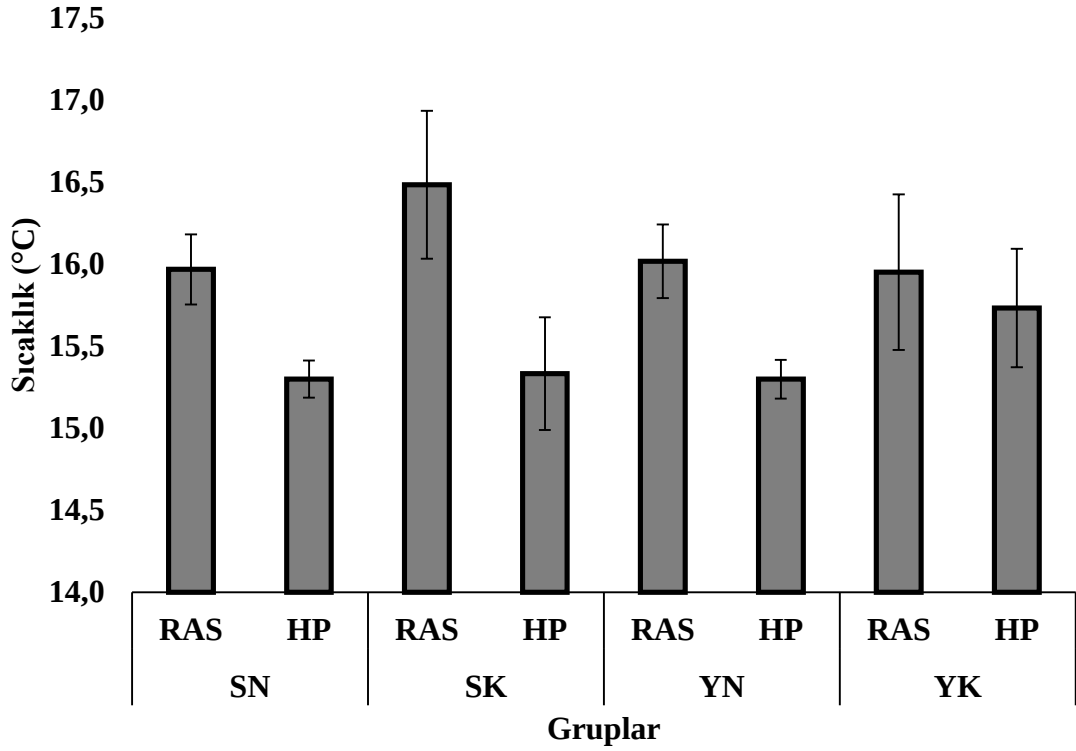
Tablo 4.1: Çalışma boyunca günlük olarak ölçülen sıcaklık (°C), pH, çözünmüş oksijen (mg/L), oksijen saturasyonu (%), iletkenlik ($\mu\text{S}/\text{cm}$), toplam çözünmüş katı (mg/L) ve tuzluluk (‰) parametrelerine ait değerler (Ort $\pm$ SD).

	SN		SK		YN		YK	
	RAS	HP	RAS	HP	RAS	HP	RAS	HP
Sıcaklık (°C)	15,97 $\pm 0,21$	15,3 $\pm 0,11$	16,48 $\pm 0,45$	15,33 $\pm 0,34$	16,02 $\pm 0,22$	15,3 $\pm 0,12$	15,95 $\pm 0,47$	15,73 $\pm 0,36$
pH	8,18 $\pm 0,08$	8,48 $\pm 0,11$	8,14 $\pm 0,13$	8,47 $\pm 0,14$	8,17 $\pm 0,09$	8,5 $\pm 0,12$	8,19 $\pm 0,14$	8,47 $\pm 0,14$
Çözünmüş Oksijen (%)	9,53 $\pm 0,79$	9,65 $\pm 0,83$	9,32 $\pm 0,71$	9,9 $\pm 0,91$	9,77 $\pm 0,83$	9,81 $\pm 0,87$	9,8 $\pm 0,75$	9,93 $\pm 0,96$
Oksijen Saturasyonu (%)	91 $\pm 7,33$	92,3 $\pm 8,05$	89,1 $\pm 6,85$	95,4 $\pm 8,74$	92 $\pm 7,69$	93,3 $\pm 8,45$	95,3 $\pm 7,19$	97,1 $\pm 9,17$
Toplam Çözünmüş Katı Madde, TDS (mg/L)	159,2 $\pm 6,20$	146 $\pm 6,41$	158 $\pm 6,20$	143,1 $\pm 6,41$	184,44 $\pm 6,51$	145,3 $\pm 6,73$	181 $\pm 6,51$	144,2 $\pm 6,73$

RAS: Resirküle akuakültür sistemi, HP: Hidroponik sistemi SN grubu: Sabit (akıntının olmadığı) suda (0 BB/s) tutulan ve doyana kadar beslenen grup. SK grubu: Sabit (akıntının olmadığı) suda (0 BB/s) tutulan ve doyana kadar beslenen gruba göre %25 yem kısıtlaması yapılan grup. YN grubu: Yaklaşık saniyede bir balık total boyu hızında (Balık Boyu, BB) (1 BB/s) akıntıda tutulan ve doyana kadar beslenen grup. YK grubu: Yaklaşık saniyede bir balık total boyu hızında (Balık Boyu, BB) (1 BB/s) akıntıda tutulan ve doyana kadar beslenen gruba göre %25 yem kısıtlaması yapılan grup.

4.1.1. Günlük İzlenen Su Kalite Parametreleri

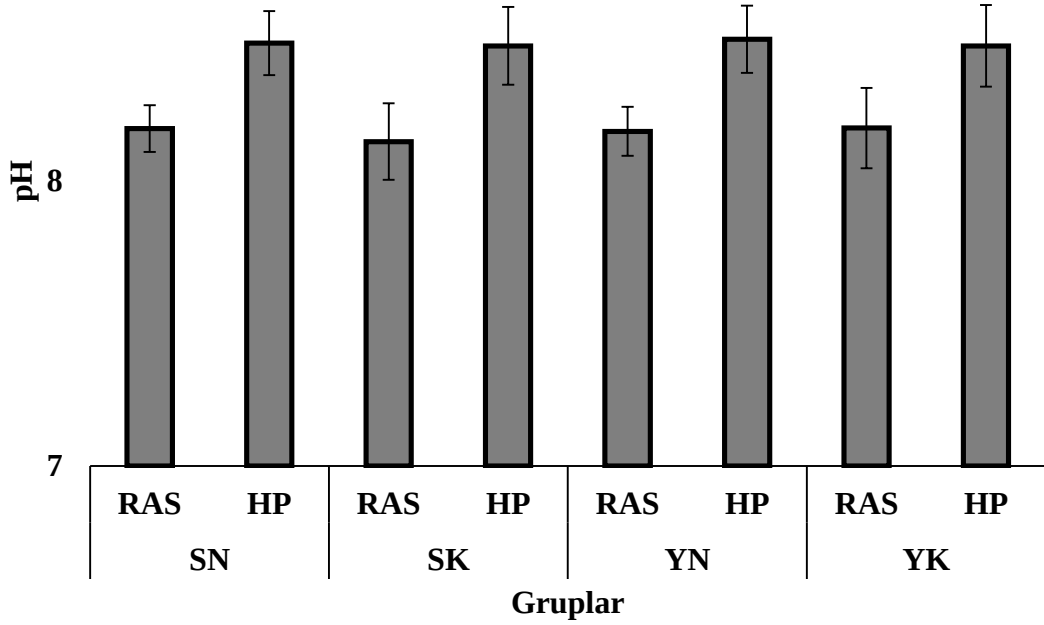
Çalışma boyunca günlük olarak her grupta RAS ve HP olarak ayrı ayrı ölçülen su sıcaklığı değerleri (°C) Şekil 4.1’de gösterilmiştir. Ortalama değerler SK, SN, YK ve YN gruplarında sırasıyla RAS kısmında $16,48 \pm 0,45^{\circ}\text{C}$, $15,97 \pm 0,21^{\circ}\text{C}$, $15,95 \pm 0,47^{\circ}\text{C}$ ve $16,02 \pm 0,22^{\circ}\text{C}$ iken HP kısmında $15,55 \pm 0,34^{\circ}\text{C}$, $15,30 \pm 0,11^{\circ}\text{C}$, $15,73 \pm 0,36^{\circ}\text{C}$ ve $15,30 \pm 0,12^{\circ}\text{C}$ olarak tespit edilmiştir. RAS veya HP grupları arasında günlük izlenen su parametreleri bakımından anlamlı bir farka rastlanmamıştır. Çalışma boyunca ölçülen en düşük su sıcaklığı HP kısmında $15,68^{\circ}\text{C}$ en yüksek ise RAS kısmında $16,73^{\circ}\text{C}$ olarak tespit edilmiştir.



Şekil 4.1: Gruplara ait su sıcaklığı (°C) değerleri.

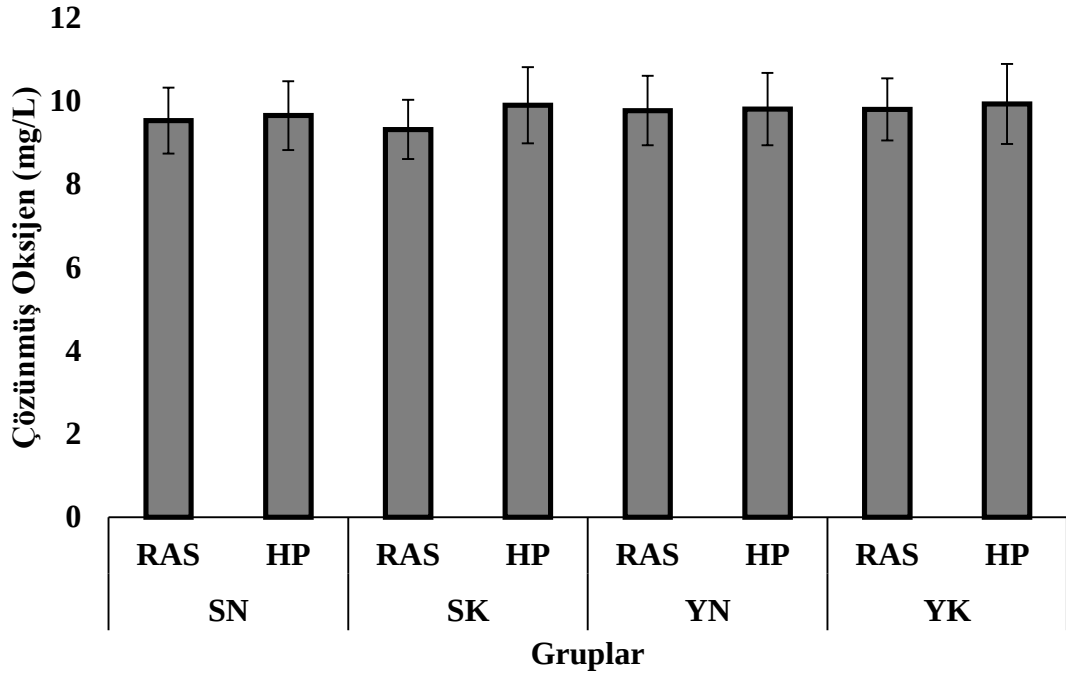
Kurulan dört akuaponik sistemin her birisinin akuakültür ve hidroponik kısımlarından ayrı ayrı olarak günlük ölçülen pH değerleri Şekil 4.2’de özetlenmiştir. Ortalama değerler SK, SN, YK ve YN gruplarında sırasıyla akuakültür kısmında $8,14 \pm 0,13$, $8,18 \pm 0,08$, $8,19 \pm 0,14$ ve $8,17 \pm 0,09$ iken hidroponik kısmında $8,47 \pm 0,14$, $8,48 \pm 0,11$, $8,47 \pm 0,14$ ve $8,50 \pm 0,12$ olarak tespit edilmiştir. Çalışma boyunca ölçülen en düşük pH değeri RAS kısmında 7,90 en yüksek ise HP kısmında 8,25 olarak belirlenmiştir.

9



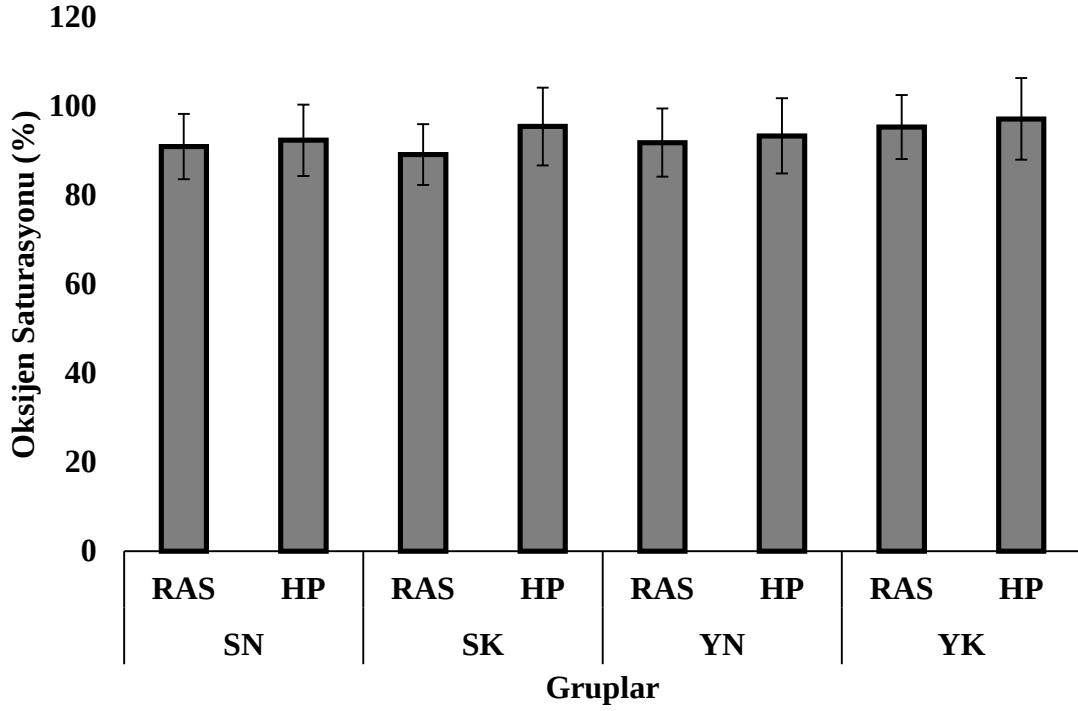
Şekil 4.2: Gruplara ait pH değerleri (Ort±SD).

Çalışma boyunca günlük olarak sabah yemlemesinden önce her grupta akuakültür ve hidroponik olarak ayrı ayrı ölçülen çözünmüş oksijen değeri (mg/L) Şekil 4.3’de gösterilmiştir. Ortalama değerler SK, SN, YK ve YN gruplarında sırasıyla akuakültür kısmında $9,32\pm0,71$, $9,53\pm0,79$, $9,80\pm0,75$ ve $9,77\pm0,83$ iken hidroponik kısmında $9,9\pm0,91$, $9,65\pm0,83$, $9,93\pm0,96$ ve $9,81\pm0,87$ olarak tespit edilmiştir. Çalışma boyunca ölçülen en düşük çözünmüş oksijen değeri 7,50 mg/L en yüksek ise 10,38 mg/L olarak belirlenmiştir.



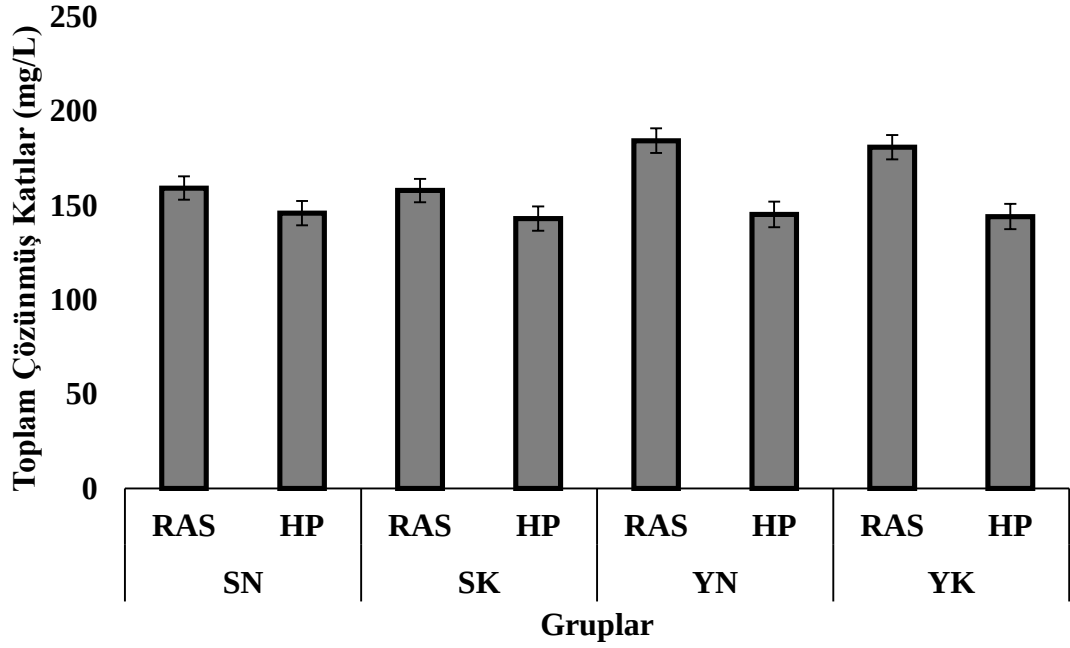
Şekil 4.3: Gruplara ait çözünmüş oksijen (mg/L) değerleri (Ort±SD).

Çalışma boyunca günlük olarak sabah yemlemeden önce her grupta akuakültür ve hidroponik olarak ayrı ayrı ölçülen oksijen satürasyonu değeri (%) Şekil 4.4’de gösterilmiştir. Ortalama değerler SK, SN, YK ve YN gruplarında sırasıyla akuakültür kısmında $89,11 \pm 6,85$, $90,91 \pm 7,33$, $95,30 \pm 7,19$ ve $91,79 \pm 7,69$ iken hidroponik kısmında $95,40 \pm 8,74$, $92,30 \pm 8,05$, $97,10 \pm 9,17$ ve $93,30 \pm 8,45$ olarak tespit edilmiştir (Ort $\pm$ SD). Çalışma boyunca ölçülen en düşük oksijen satürasyonu değeri RAS kısmında $71,40$ en yüksek ise HP kısmında $98,77$ olarak belirlenmiştir.



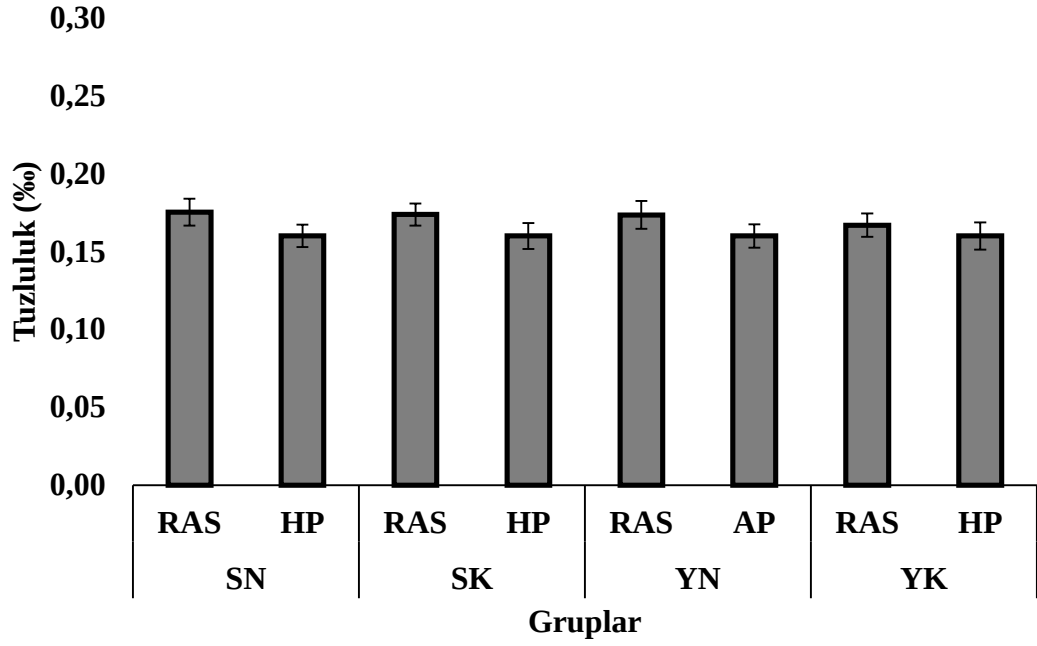
Şekil 4.4: Gruplara ait oksijen satürasyonu (%) değerleri.

Kurulan dört akuaponik sistemin her birisinin akuakültür ve hidroponik kısımlarından ayrı ayrı olarak günlük ölçülen toplam çözünmüş katı (mg/L) değerleri Şekil 4.5’de özetlenmiştir. Ortalama değerler SK, SN, YK ve YN gruplarında sırasıyla akuakültür kısmında $157,96 \pm 6,21$, $159,24 \pm 6,20$, $180,93 \pm 6,52$ ve $184,44 \pm 6,51$ iken hidroponik kısmında $143,10 \pm 6,41$, $146 \pm 6,45$, $144,2 \pm 6,75$ ve $145,3 \pm 6,73$ olarak tespit edilmiştir. Çalışma boyunca ölçülen en düşük toplam çözünmüş katı değeri HP kısmında $144,3$ mg/L en yüksek ise RAS kısmında $252,8$ mg/L olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.5: Gruplara ait toplam çözünmüş katı (mg/L) değerleri (Ort±SD).

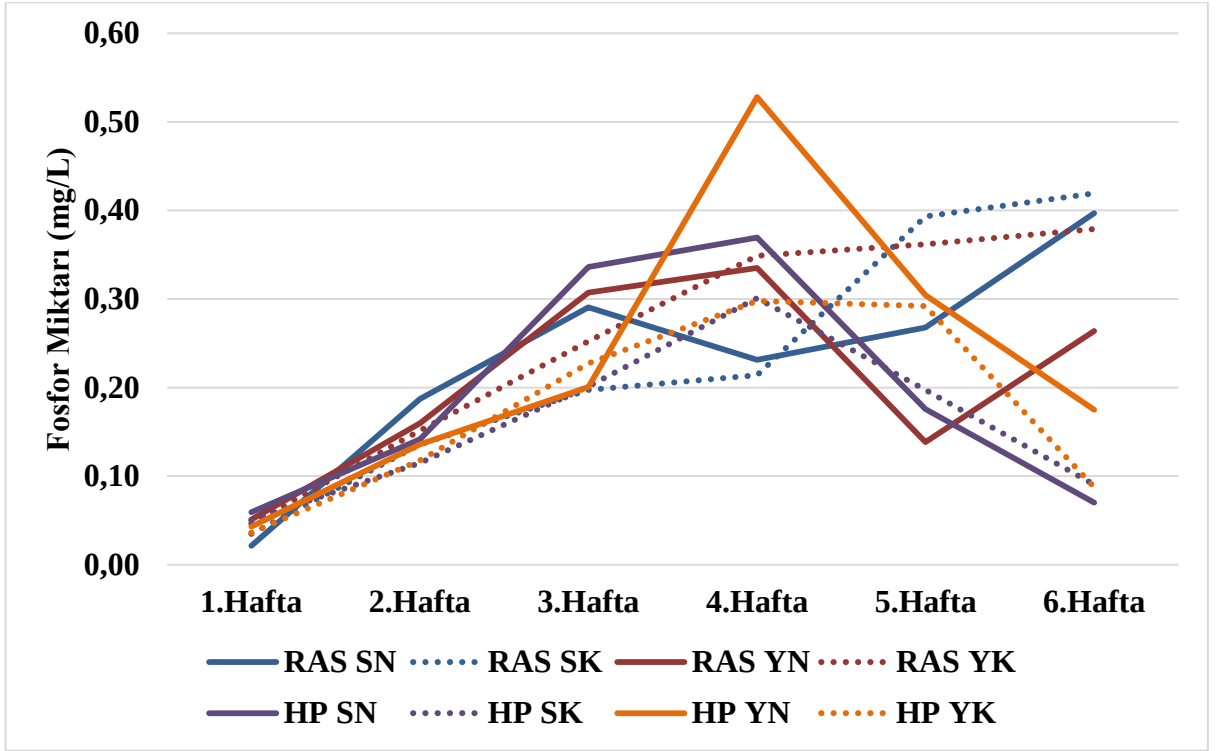
Kurulan dört akuaponik sistemin her birisinin akuakültür ve hidroponik kısımlarından ayrı ayrı olarak günlük ölçülen tuzluluk değerleri (‰) Şekil 4.6’de özetlenmiştir. Ortalama değerler SK, SN, YK ve YN gruplarında sırasıyla akuakültür kısmında ‰ $0,17 \pm 0,01$, ‰ $0,18 \pm 0,01$, ‰ $0,17 \pm 0,01$ ve ‰ $0,17 \pm 0,01$ iken hidroponik kısmında ‰ $0,16 \pm 0,01$, ‰ $0,16 \pm 0,01$, ‰ $0,16 \pm 0,01$ ve ‰ $0,16 \pm 0,01$ olarak tespit edilmiştir. Çalışma boyunca ölçülen en düşük tuzluluk değeri HP kısmında ‰ $0,16$ en yüksek ise RAS kısmında ‰ $0,18$ olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.6: Gruplara ait tuzluluk (‰) değerleri (Ort±SD).

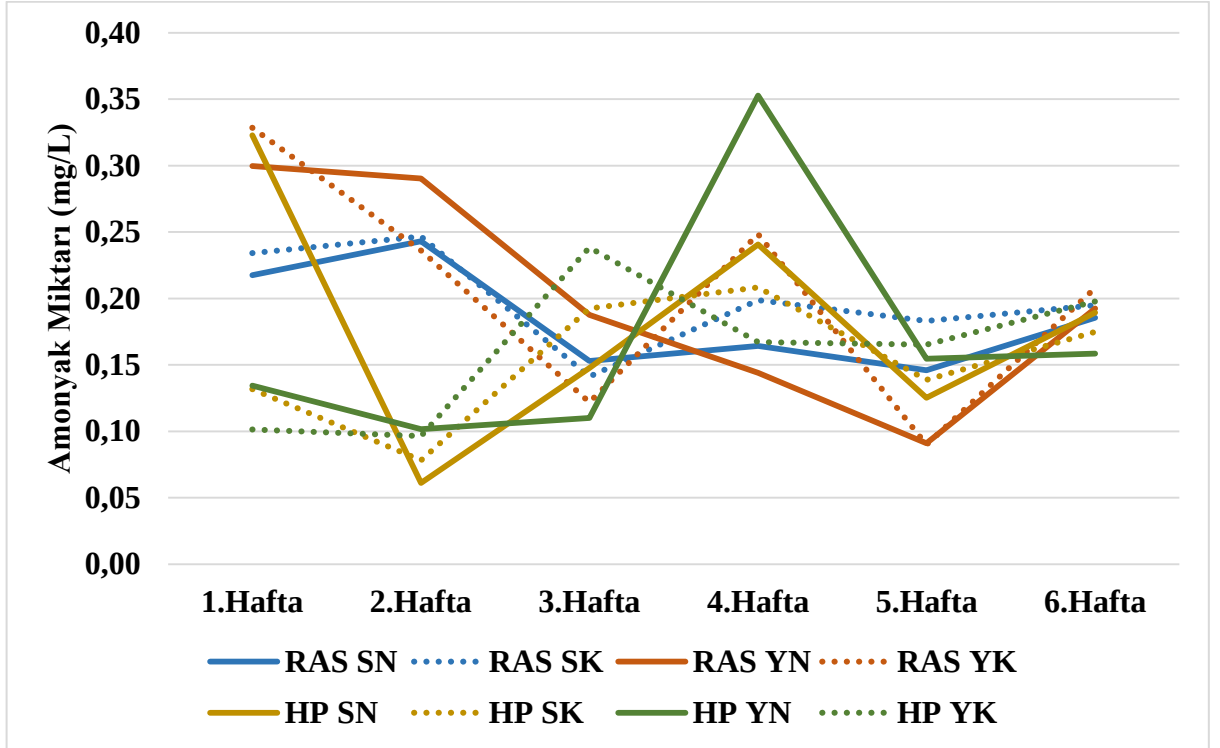
4.1.2. Haftalık İzlenen Su Kalite Parametreleri

Akuaponik sistemlerin her birisinin RAS ve HP kısımlarından ayrı ayrı haftalık olarak denge havuzundan alınan örneklerde ölçülen fosfor değerleri (mg/L) Şekil 4.7’de gösterilmiştir. Haftalık ortalama değerler SK, SN, YK ve YN gruplarında sırasıyla akuakültür kısmında $0,23\pm0,1$, $0,23\pm0,1$, $0,26\pm0,1$ ve $0,21\pm0,1$ iken hidroponik kısmında $0,16\pm0,1$, $0,19\pm0,1$, $0,18\pm0,1$ ve $0,23\pm0,2$ olarak tespit edilmiştir. Çalışma boyunca ölçülen en düşük fosfor değeri HP kısmında $0,02$ mg/L iken en yüksek değer ise RAS kısmında $0,53$ mg/L olarak belirlenmiştir.



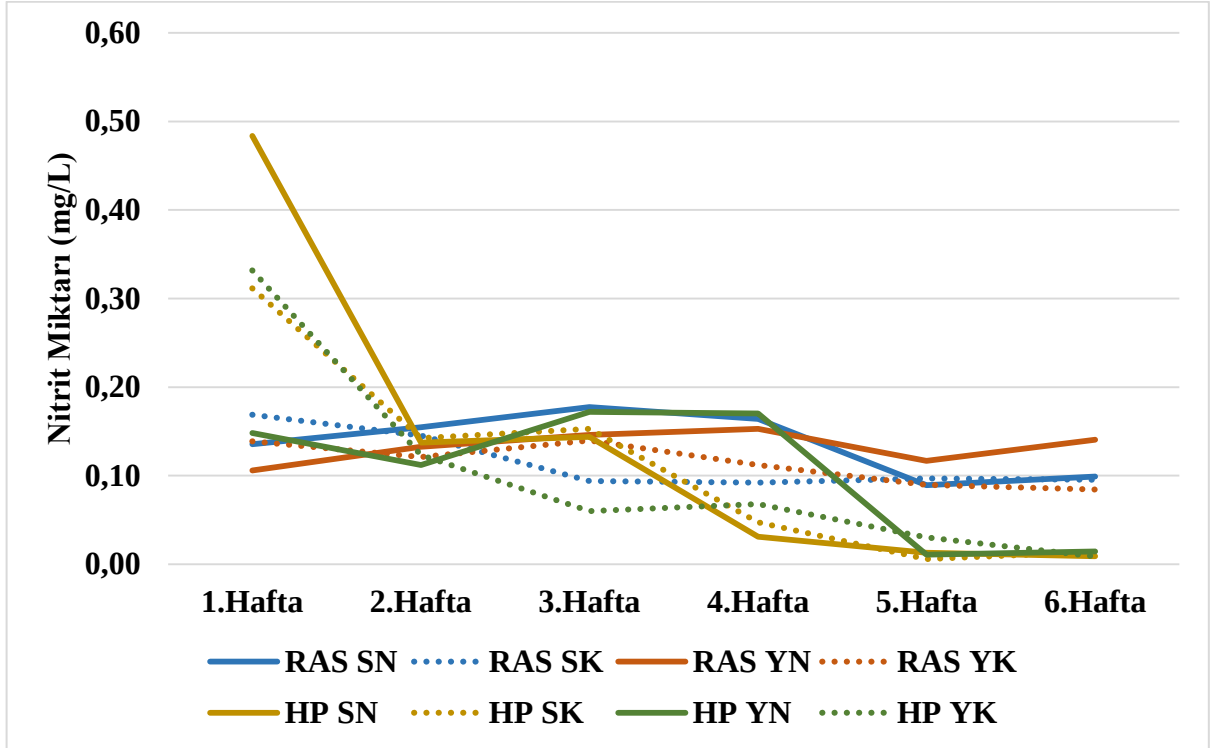
Şekil 4.7: RAS ve HP sistemlerine ait sudaki fosfor değerleri.

Akuaponik sistemlerin her birisinin RAS ve HP kısımlarından ayrı ayrı haftalık olarak denge havuzundan alınan örneklerde ölçülen amonyak (mg/L) değerleri Şekil 4.8’de gösterilmiştir. Haftalık ortalama değerler SK, SN, YK ve YN gruplarında sırasıyla RAS kısmında $0,20\pm0,03$, $0,21\pm0,08$, $0,18\pm0,04$ ve $0,20\pm0,07$ iken HP kısmında $0,15\pm0,04$, $0,16\pm0,05$, $0,18\pm0,08$ ve $0,17\pm0,08$ olarak tespit edilmiştir. Çalışma boyunca ölçülen en düşük amonyak değeri HP kısmında $0,06$ mg/L iken en yüksek değer ise RAS kısmında $0,35$ mg/L olarak belirlenmiştir.



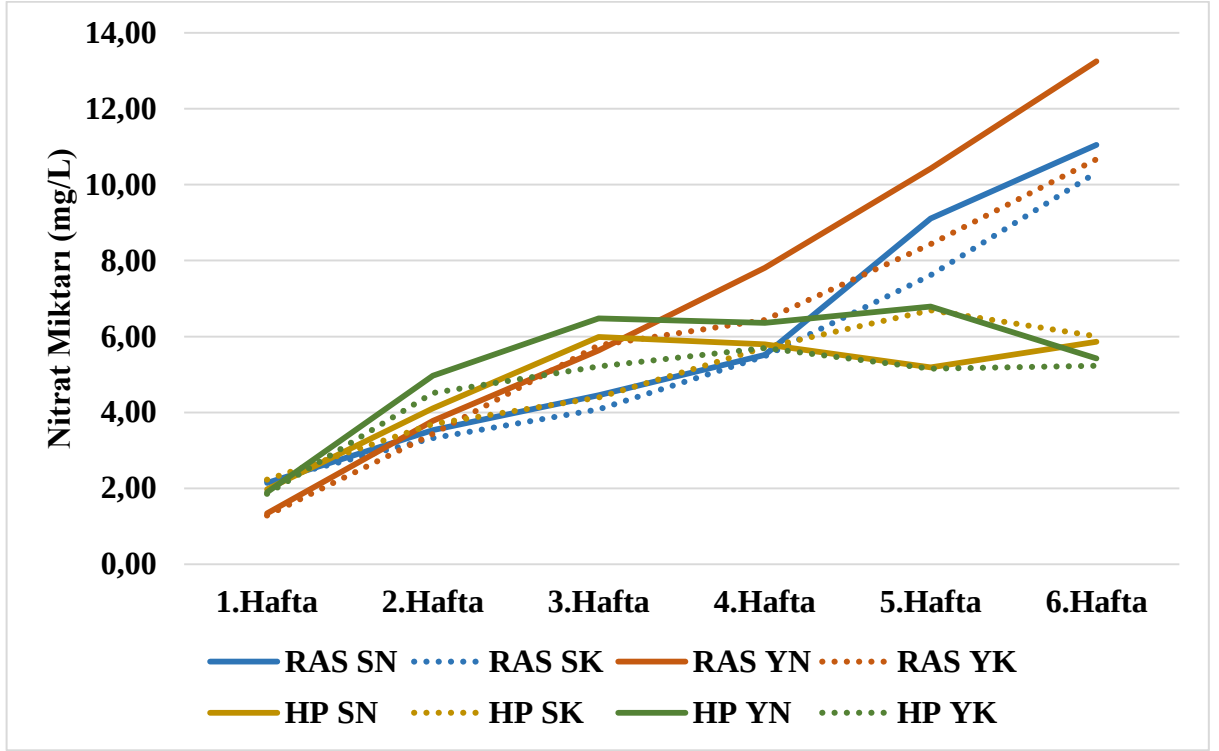
Şekil 4.8: RAS ve HP sistemlerine ait sudaki amonyak değerleri.

Akuaponik sistemlerin her birisinin RAS ve HP kısımlarından ayrı ayrı haftalık olarak denge havuzundan alınan örneklerde ölçülen nitrit (mg/L) değerleri Şekil 4.9'da gösterilmiştir. Haftalık ortalama değerler SK, SN, YK ve YN gruplarında sırasıyla RAS kısmında $0,12 \pm 0,03$, $0,14 \pm 0,03$, $0,11 \pm 0,02$ ve $0,13 \pm 0,02$ iken HP kısmında $0,11 \pm 0,11$, $0,14 \pm 0,15$, $0,10 \pm 0,11$ ve $0,10 \pm 0,07$ olarak tespit edilmiştir. Çalışma boyunca ölçülen en düşük nitrit değeri HP kısmında $0,01$ mg/L iken en yüksek değer ise RAS kısmında $0,48$ mg/L olarak belirlenmiştir.



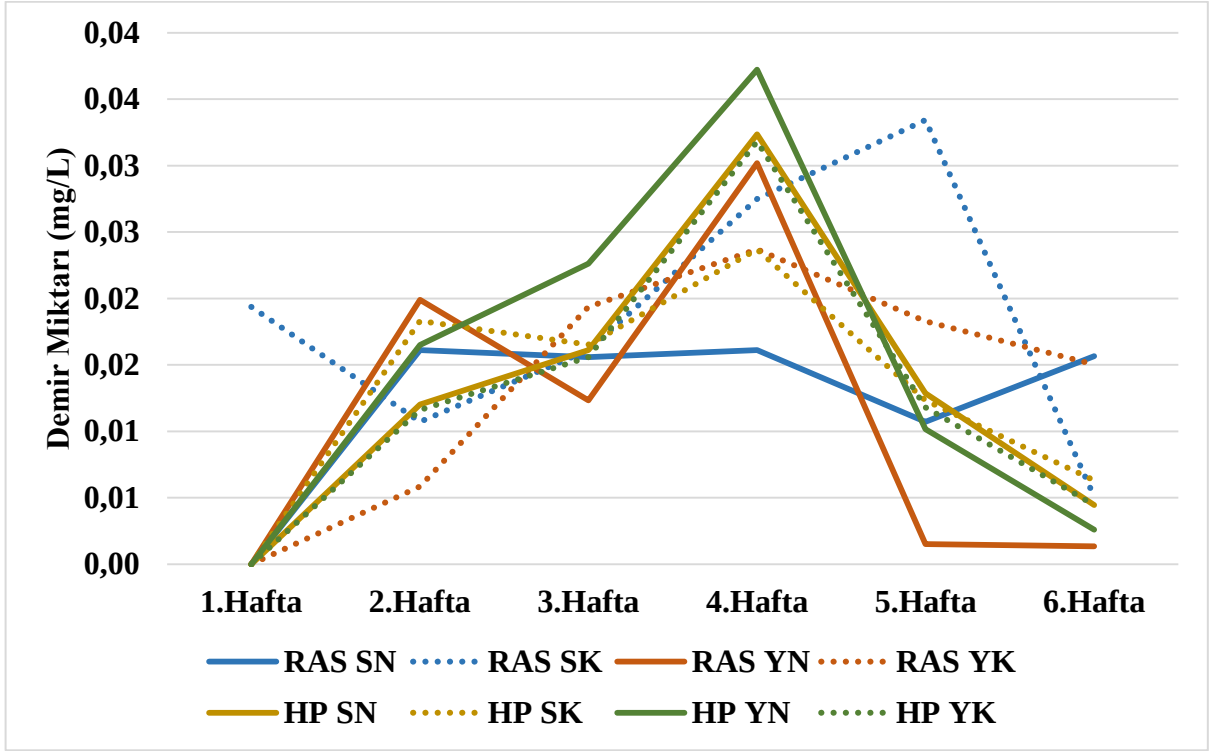
Şekil 4.9: RAS ve HP sistemlerine ait sudaki nitrit değerleri.

Akuaponik sistemlerin her birisinin RAS ve HP kısımlarından ayrı ayrı haftalık olarak denge havuzundan alınan örneklerde ölçülen nitrat (mg/L) değerleri Şekil 4.10'da gösterilmiştir. Haftalık ortalama değerler SK, SN, YK ve YN gruplarında sırasıyla RAS kısmında $5,5 \pm 2,75$, $5,97 \pm 3,13$, $6,00 \pm 3,08$ ve $7,04 \pm 4,0$ iken HP kısmında $4,79 \pm 1,52$, $4,82 \pm 1,42$, $4,61 \pm 1,28$ ve $5,32 \pm 1,65$ olarak tespit edilmiştir. Çalışma boyunca ölçülen en düşük nitrat değeri HP kısmında $0,01$ mg/L iken en yüksek değer ise RAS kısmında $0,48$ mg/L olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.10: RAS ve HP sistemlerine ait sudaki nitrat değerleri.

Kurulan dört akuaponik sistemin her birisinin akuakültür ve hidroponik kısımlarından ayrı ayrı olarak günlük ölçülen demir (mg/L) Şekil 4.11’de gösterilmiştir. Haftalık ortalama değerler SK, SN, YK ve YN gruplarında sırasıyla akuakültür kısmında $0,02 \pm 0,01$, $0,01 \pm 0,01$, $0,01 \pm 0,01$ ve $0,01 \pm 0,01$ iken hidroponik kısmında $0,01 \pm 0,01$, $0,01 \pm 0,01$, $0,01 \pm 0,01$ ve $0,01 \pm 0,01$ olarak tespit edilmiştir. Çalışma boyunca ölçülen en düşük fosfor değeri HP kısmında $0,01$ mg/L iken en yüksek değer ise RAS kısmında $0,04$ mg/L olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.11: RAS ve HP sistemlerine ait sudaki demir değerleri.

4.2. BALIKLARA AİT BULGULAR

4.2.1. Balıkların Büyüme Performansı

Deneme sisteminde bulunan balıkların büyüme performansını belirlemek için çalışmanın başında ve sonunda alınan balık örnekleri incelenerek başlangıç ağırlığı (g), final ağırlığı (g), canlı ağırlık artışı (g), toplam final boyu (cm), Kondisyon Faktörü, Spesifik Büyüme Oranı (%), Yemden Yararlanma Oranı Tablo 4.2’de verilmiştir.

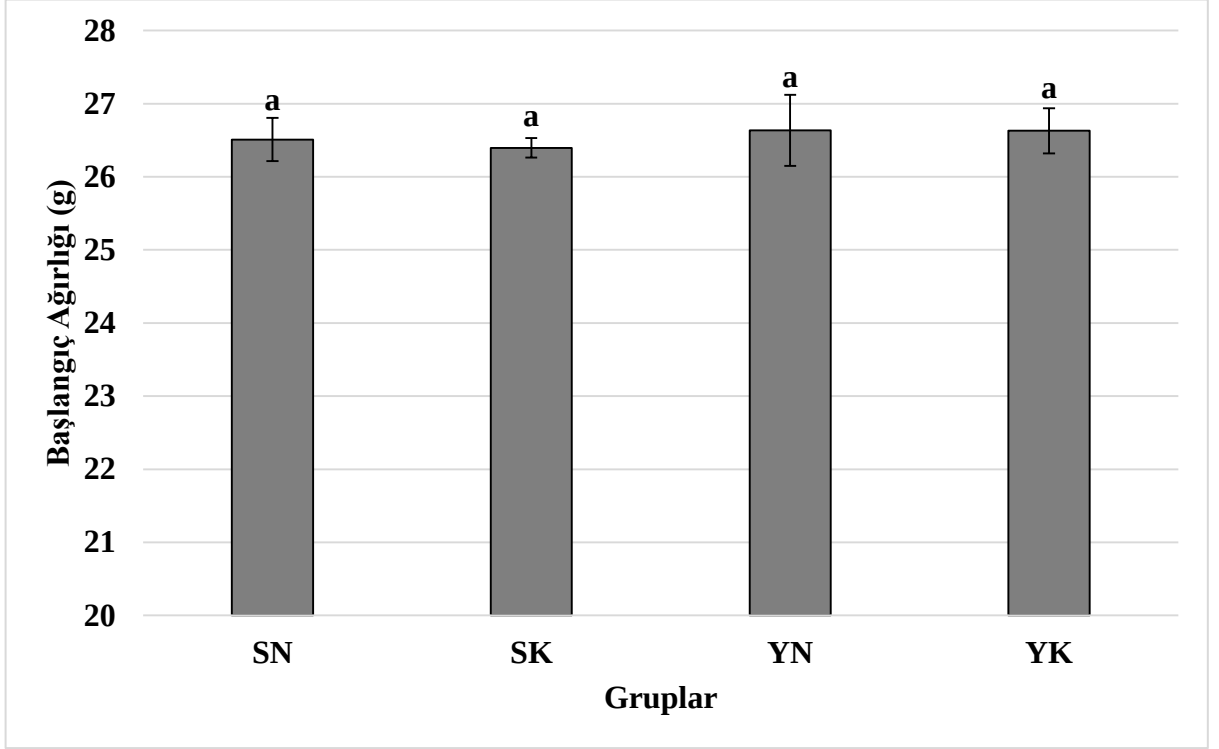
Tablo 4.2: Çalışmada kullanılan gökkuşağı alabalıklarına ait başlangıç ve final ağırlıkları (g), ağırlık artışı (g), alınan yem miktarı (g), toplam boyları (cm), kondisyon faktörleri, spesifik büyüme oranı (%) ve yemden yararlanma oranı değerleri (Ort±SD).

	SN	SK	YN	YK
Başlangıç Ağırlığı (g)	26,51± 0,13	26,4± 0,31	26,64± 0,29	26,63± 0,49
Final Ağırlığı (g)	89,26± 0,81	75,06± 2,56	91,72± 0,91	67,85± 1,49
Canlı Ağırlık Artışı (g)	62,75± 0,81	48,66± 2,33	65,08± 0,78	41,22± 1,82
Toplam Başlangıç Boyu (cm)	13,08 ± 0,35	13,07 ± 0,25	13,11 ± 0,23	13,13 ± 0,43
Toplam Final Boyu (cm)	18,57± 0,1	18,21± 0,22	19,1± 0,08	18,0± 0,16
Kondisyon Faktörü	1,38± 0,01	1,24± 0,06	1,32± 0,01	1,16± 0,04
Spesifik Büyüme Oranı (%)	2,85± 0,02	2,45± 0,07	2,94± 0,02	2,21± 0,09
Yemden Yararlanma Oranı	0,89± 0,01	0,84± 0,01	0,92± 0,01	0,95± 0,01

RAS: Resirküle akuakültür sistemi, **HP:** Hidroponik sistemi. **SN grubu:** Sabit (akıntının olmadığı) suda (0 BB/s) tutulan ve doyana kadar beslenen grup. **SK grubu:** Sabit (akıntının olmadığı) suda (0 BB/s) tutulan ve doyana kadar beslenen gruba göre %25 yem kısıtlaması yapılan grup. **YN grubu:** Yaklaşık saniyede bir balık total boyu hızında (Balık Boyu, BB) (1 BB/s) akıntıda tutulan ve doyana kadar beslenen grup. **YK grubu:** Yaklaşık saniyede bir balık total boyu hızında (Balık Boyu, BB) (1 BB/s) akıntıda tutulan ve doyana kadar beslenen gruba göre %25 yem kısıtlaması yapılan grup.

4.2.1.1. Balıklara Ait Başlangıç Ağırlıkları

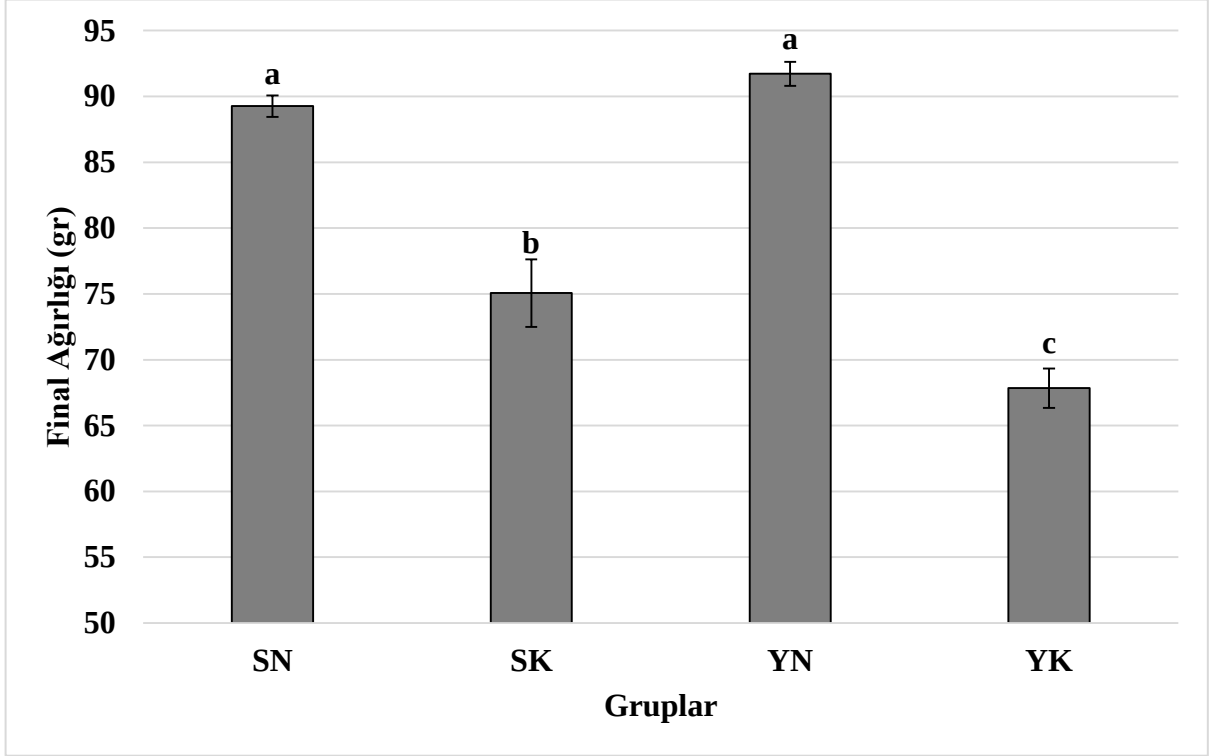
Gruplara ait başlangıç ağırlıkları çalışmanın başında tespit edilmiştir. Başlangıç ağırlıkları için gruplar arasında istatistiksel anlamda bir fark oluşmamıştır ($p>0,05$). İstatistiksel olarak anlamlı farklılıklar veya benzerlikleri belirtmek için küçük harfler ile standart sapma çubuklarının üzerinde harflendirme yapılmıştır.



Şekil 4.12: Çalışmanın deneme gruplarına ait başlangıç balık ağırlıkları.

4.2.1.2. Balıklara Ait Final Ağırlıkları

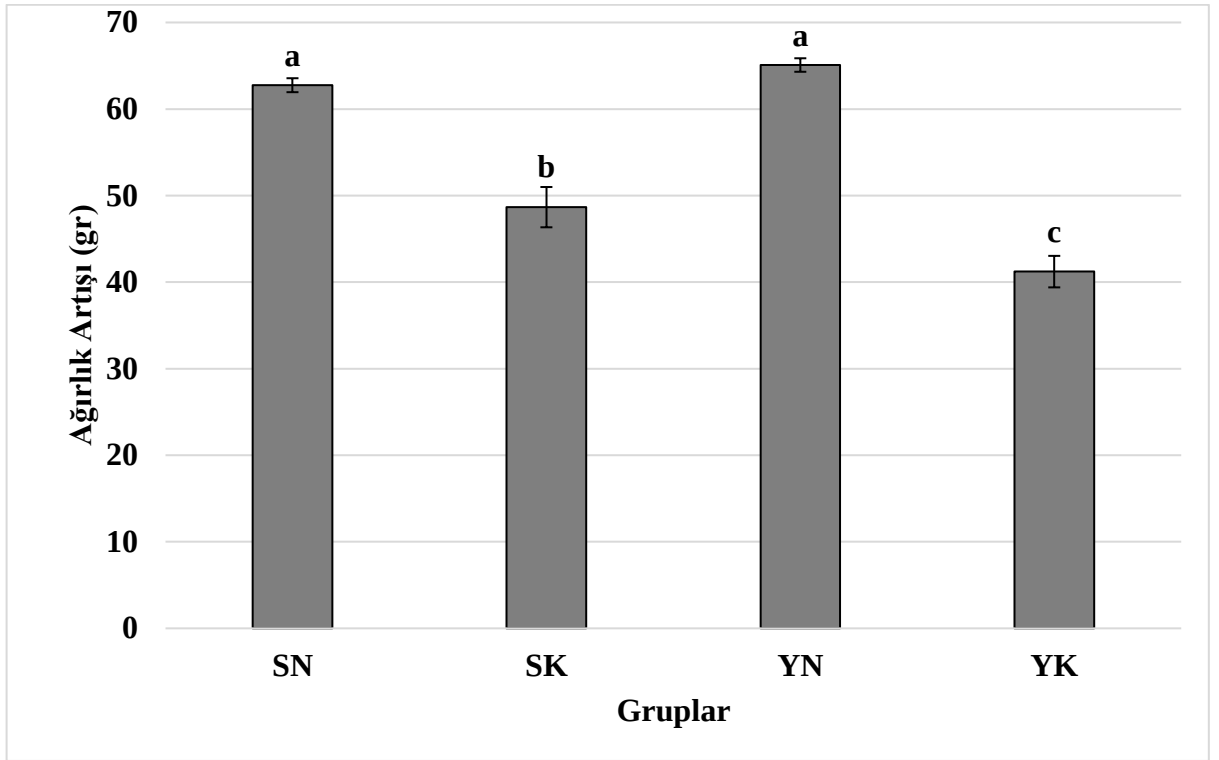
Gökkuşığı alabalıklarının final ağırlıkları Şekil 4.13’de verilmiştir. Final ağırlık değerleri gruplar arasında anlamlı şekilde farklılık göstermiştir ($p<0,05$). YN ve SN grupları istatistiksel olarak birbirleri arasında fark oluşturmamış ve YK ile SK gruplarına oranla daha çok ağırlığa sahip oldukları görülmüştür. En düşük final ağırlığının YK grubunda olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.13: Çalışma gruplarına ait final ağırlıkları değerleri.

4.2.1.3. Balıklara Ait Ağırlık Artışı

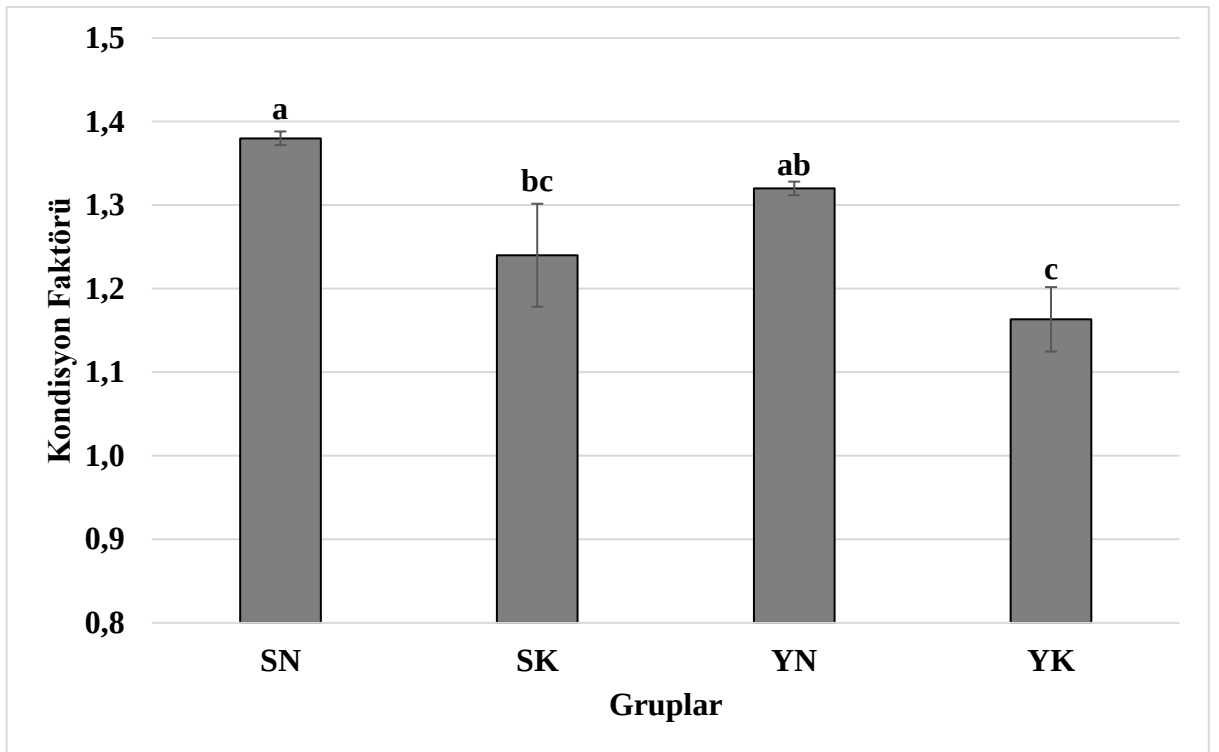
Balıkların ağırlık artışı değerleri Şekil 4.14’de verilmiştir. Ağırlık artışı değerleri gruplar arasında anlamlı şekilde farklılık göstermiştir ($p<0,05$). YN ve SN grupları istatistiksel olarak birbirleri arasında fark oluşturmamış ve YK ile SK gruplarına oranla daha çok ağırlık artışı sağlamışlardır. En düşük ağırlık artışı YK grubunda en yüksek ise YN ve SN gruplarında olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.14: Çalışma gruplarına ait balıkların ağırlık artışı değerleri.

4.2.1.4. Kondisyon Faktörü

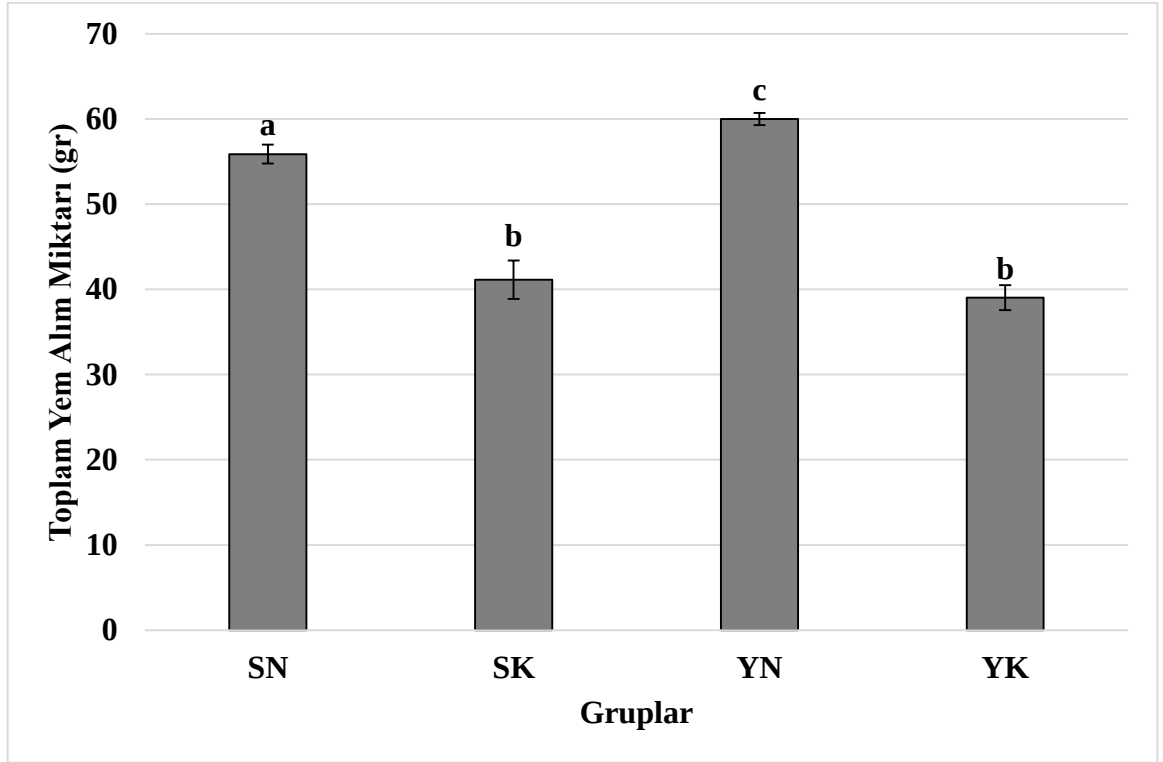
Gruplara ait kondisyon faktörü değerleri Şekil 4.15’de verilmiştir. Kondisyon faktörü değerleri gruplar arasında anlamlı şekilde farklılık göstermiştir ($p<0,05$). Çalışma grupları arasında en yüksek kondisyon faktörünün SN grubunda en düşük değerin ise YK grubunda olduğu belirlenmiştir. YN ve SN grupları arasında ve YK ve SK grupları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark oluşmazken, SN grubunda SK grubundan, YN grubunda da YK grubundan daha yüksek kondisyon faktörü tespit edilmiştir.



Şekil 4.15: Çalışma gruplarının balıklarına ait kondisyon faktörü değerleri.

4.2.1.5. Yem Alım Miktarı

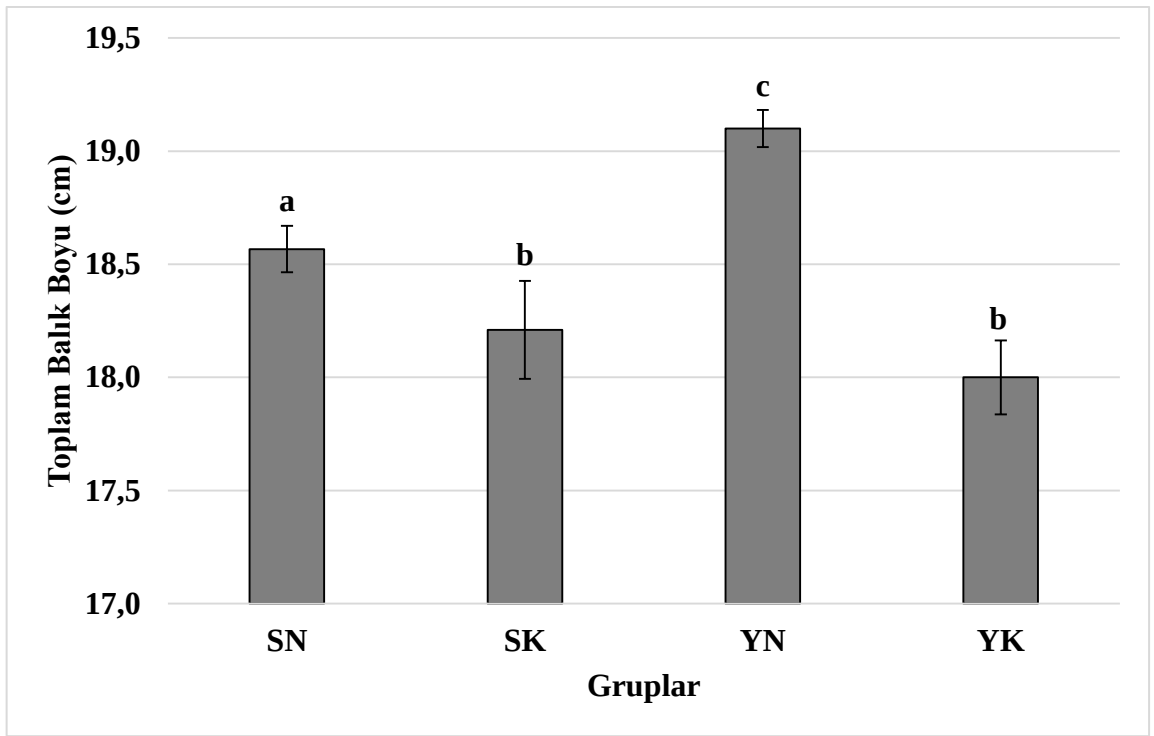
Gruplara ait yem alım miktarı değerleri Şekil 4.16’da verilmiştir. Balıkların çalışma boyunca tükettiği toplam yem miktarı gruplar arasında anlamlı şekilde farklılık göstermiştir ($p<0,05$). Çalışma grupları arasında en düşük yem alım miktarının birbirleri arasında fark etmeksizin YK ve SK gruplarında olduğu, en yüksek yem alım miktarının ise birbirleri arasında fark olmaksızın SN ve YN gruplarında olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.16: Çalışma gruplarının çalışma boyunca tükettikleri yem miktarları.

4.2.1.6. Balık Boyu

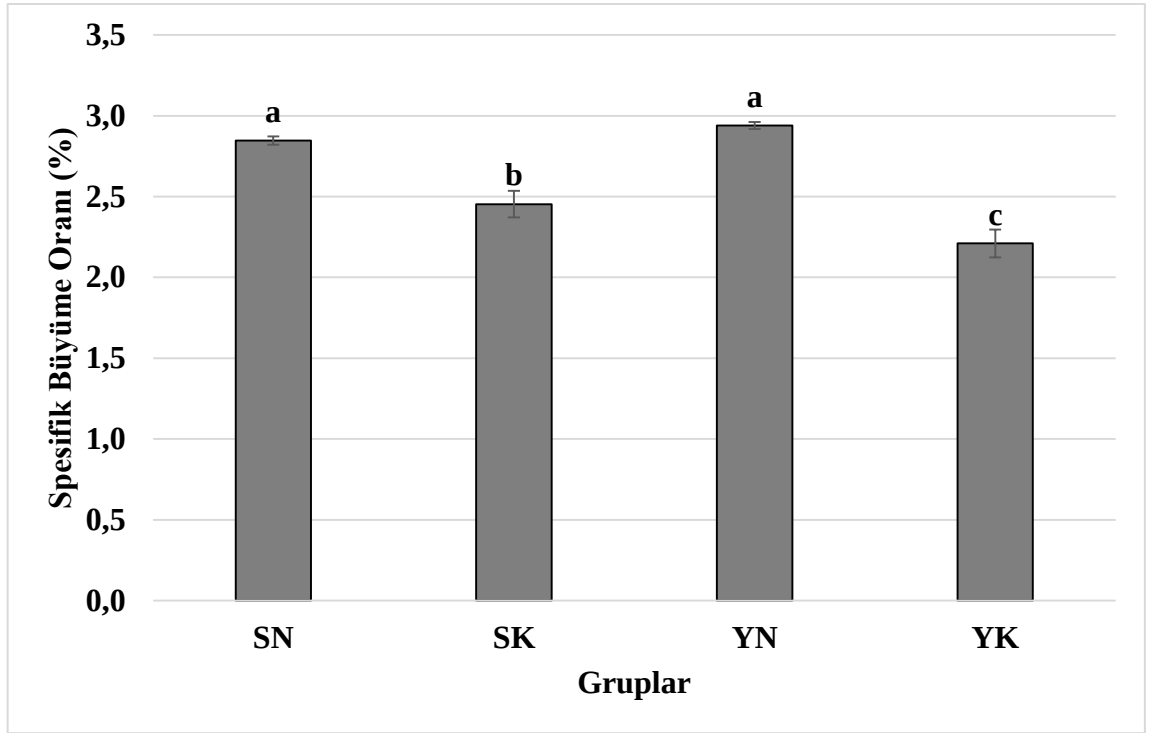
Gruplara ait toplam balık boyu değerleri Şekil 4.17’de verilmiştir. Balıkların boy uzunlukları gruplar arasında anlamlı şekilde farklılık göstermiştir ($p<0,05$). Çalışma grupları arasında en yüksek boy uzunluğunun YN grubunda, en düşük boy uzunluğunun SK grubunda olduğu tespit edilmiştir. YK ve SN gruplarının birbirleriyle ve YK ile SK gruplarının birbirleriyle benzerlikleri kıyaslandığında aralarında istatistiksel olarak bir farkın oluşmadığı tespit edilmiştir.



Şekil 4.17: Çalışma gruplarına ait balıkların çalışma sonundaki boy uzunluk değerleri.

4.2.1.7. Spesifik Büyüme Oranı

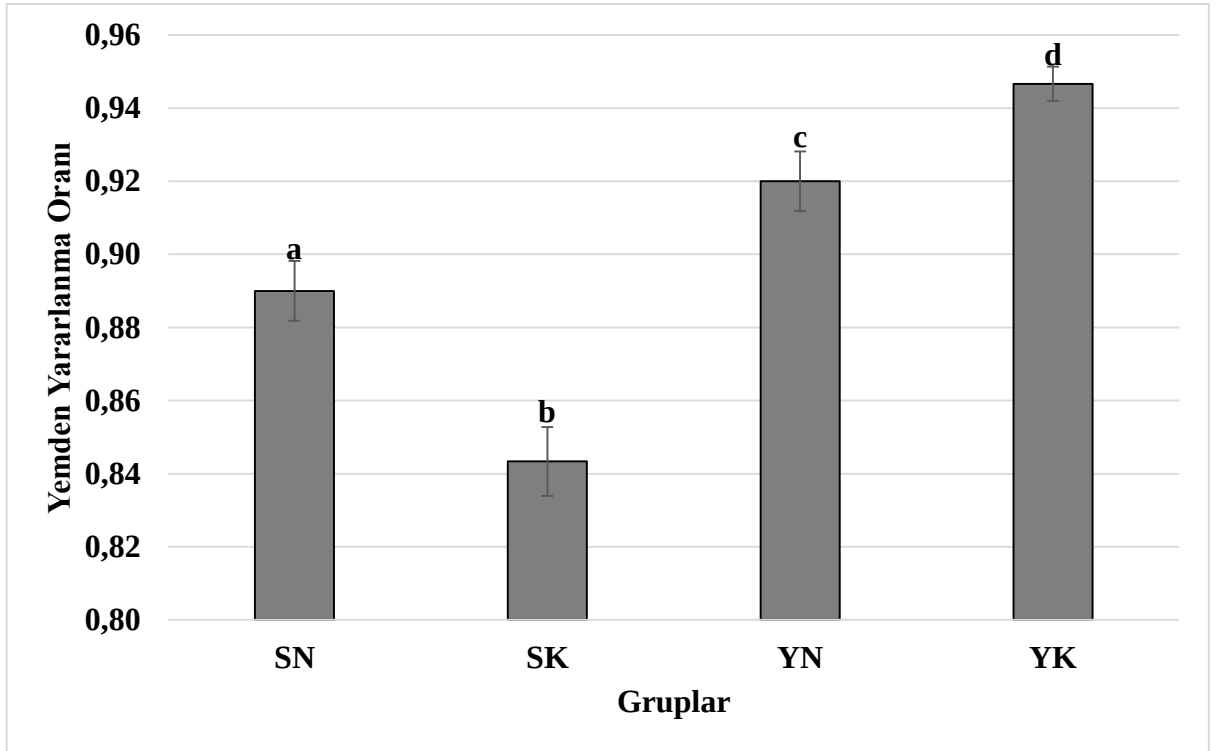
Gruplara ait spesifik büyüme oranı bulguları Şekil 4.18’de verilmiştir. Çalışma gruplarının spesifik büyüme oranı değerleri gruplar arasında anlamlı şekilde farklılık göstermiştir ($p<0,05$). Çalışma grupları arasında en yüksek spesifik büyüme oranı değerinin $2,94\pm0,03$ ile YN grubuna ve $2,85\pm0,03$ ile SN grubuna, en düşük değerin ise $2,21\pm0,11$ değeriyle YK grubuna ait olduğu tespit edilmiştir. SK grubunun $2,45\pm0,1$ değeriyle YK’den sonraki en düşük grup olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4.18: Çalışma gruplarına ait spesifik büyüme oranının çalışma sonundaki değerleri.

4.2.1.8. Yemden Yararlanma Oranı

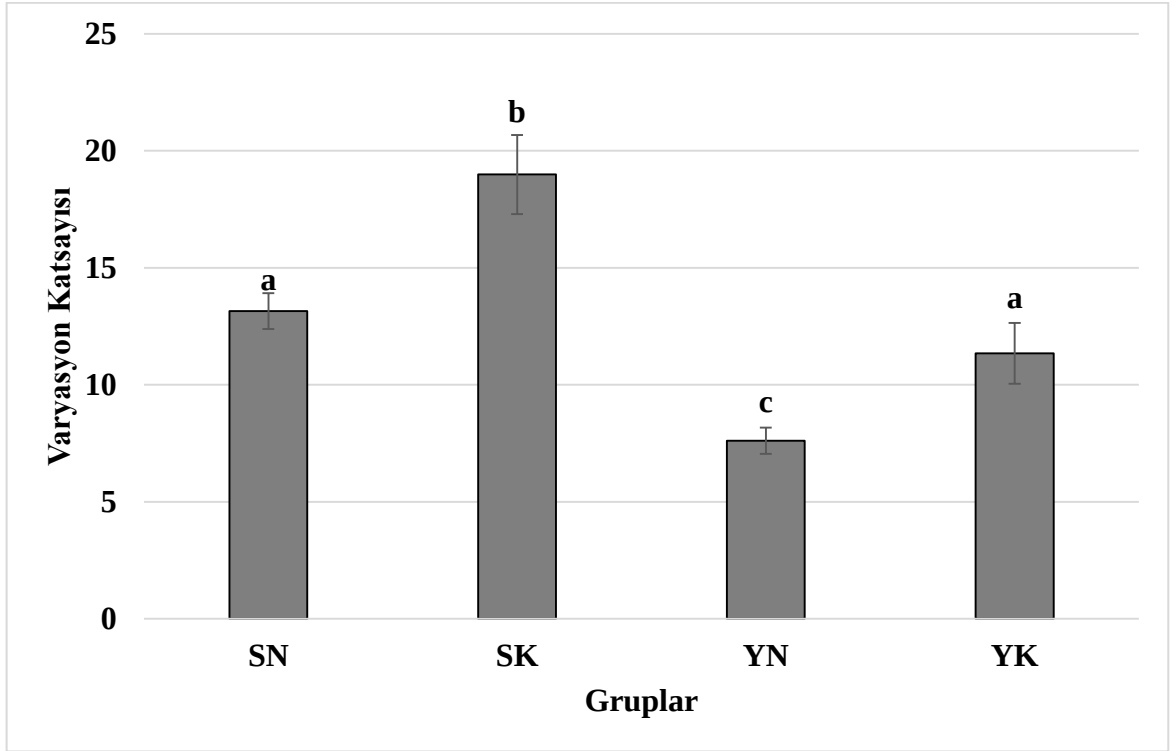
Gruplara ait yemden yararlanma oranı (YYO) bulguları Şekil 4.19’da verilmiştir. Çalışma gruplarının yem dönüşüm oranı değerleri gruplar arasında anlamlı şekilde farklılık göstermiştir ($p<0,05$). Çalışma grupları arasında en yüksek yemden yararlanma oranı değerinin $0,95\pm0,01$ değeriyle YK grubuna, ikinci en yüksek değerin $0,92\pm0,01$ değeri ile YN grubuna, üçüncü en yüksek değerin $0,89\pm0,01$ değeri ile SN grubuna, en düşük değerin ise $0,84\pm0,01$ değeriyle SK grubuna ait olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.19: Çalışma gruplarına ait yemden yararlanma oranı değerleri.

4.2.1.9. Varyasyon Katsayısı

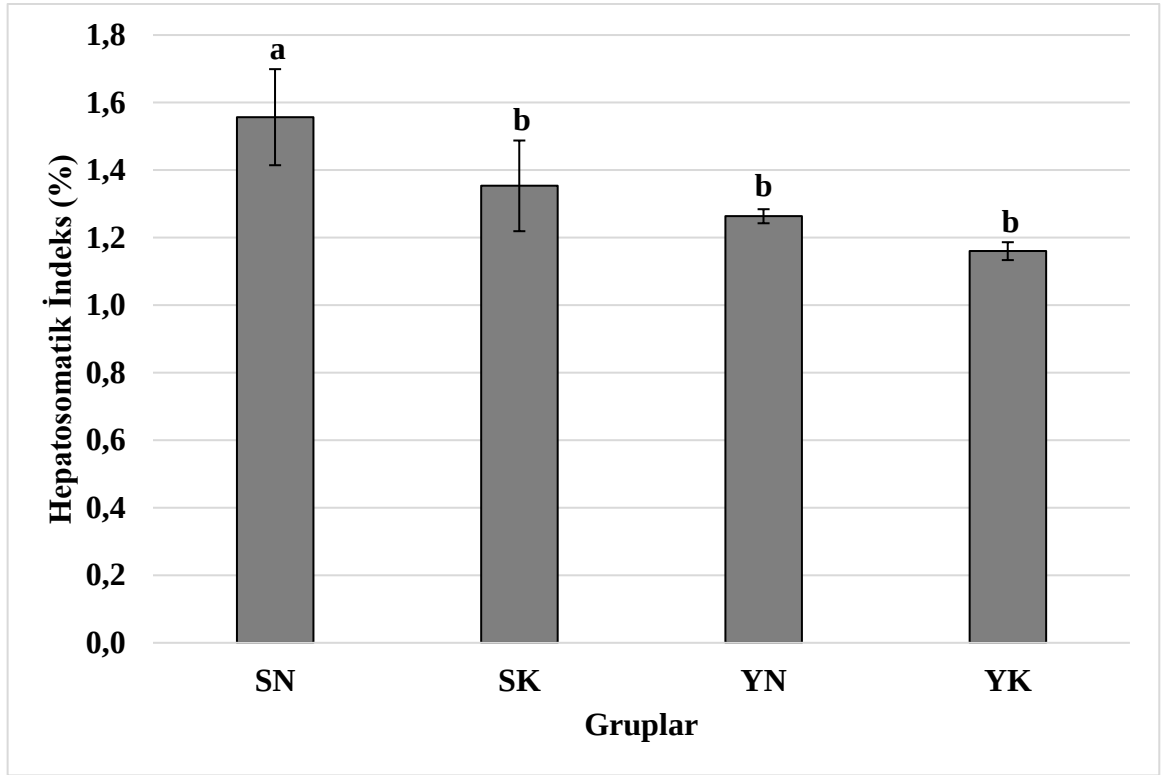
Gruplara ait balık ağırlığının varyasyon katsayısı değerleri Şekil 4.20’de verilmiştir. Gruplar arasındaki farklar istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p<0,05$). En yüksek varyasyon katsayısının $18,99\pm1,69$ değeriyle SK grubunda, ikinci en yüksek değerin $13,15\pm0,77$ ve $11,34\pm1,30$ değerleri ile sırasıyla SN ve YK grubunda, en düşük değerin ise $7,61\pm0,56$ değeri ile YN grubuna ait olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.20: Çalışma gruplarına ait varyasyon katsayısı değerleri.

4.2.1.10. Hepatosomatik İndeks

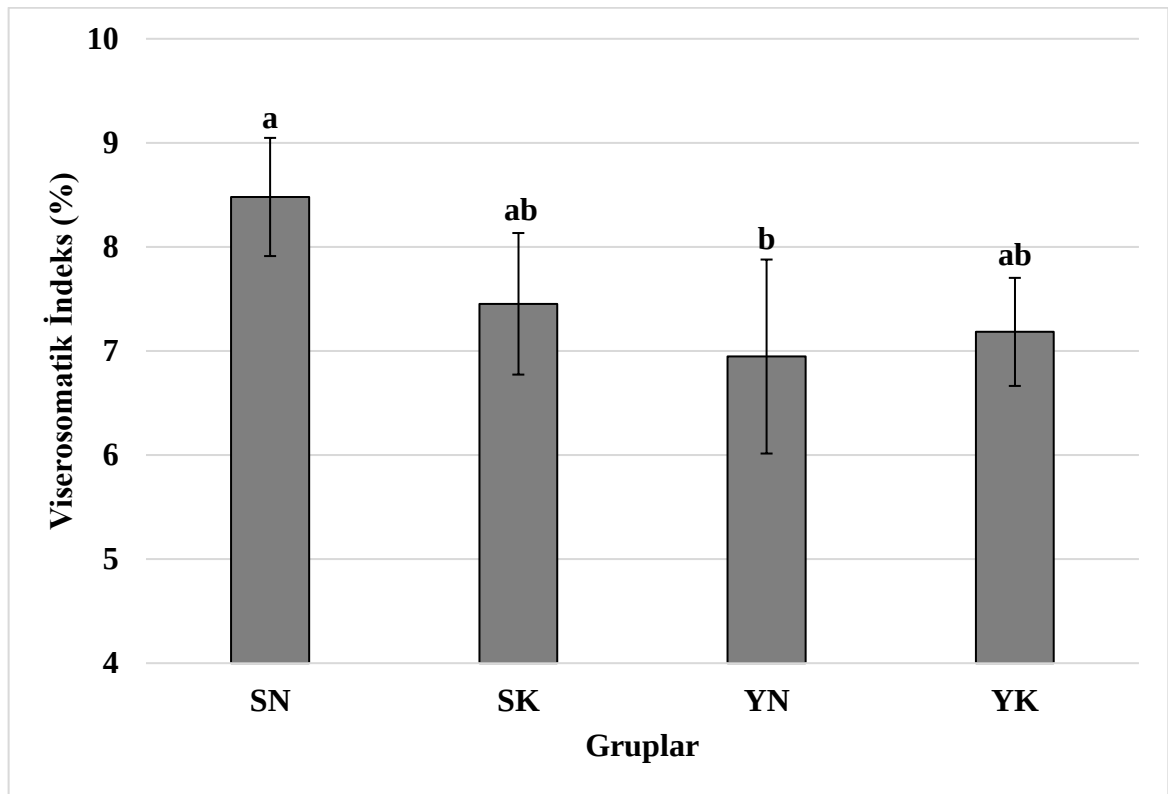
Gruplara ait hepatosomatik indeks bulguları Şekil 4.21’de verilmiştir. Çalışma gruplarının hepatosomatik indeks değerleri gruplar arasında anlamlı şekilde farklılık göstermiştir ($p<0,05$). Çalışma grupları arasında en yüksek hepatosomatik indeks değerinin $1,56\pm0,14$ değeriyle SN grubunda olduğu tespit edilmiştir. Diğer gruplar birbirleri arasında istatistiksel olarak fark göstermeksizin büyüklük sırasına göre $1,35\pm0,13$ değeriyle SK gruplarına, $1,26\pm0,02$ değeriyle YN, $1,16\pm0,02$ değeriyle ile YK grubuna ait olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4.21: Çalışma gruplarına ait hepatosomatik indeks değerleri.

4.2.1.11. Viserosomatik İndeks

Gruplara ait viserosomatik indeks bulguları Şekil 4.22’de verilmiştir. Çalışma gruplarının viserosomatik indeks değerleri gruplar arasında anlamlı şekilde farklılık göstermiştir ($p<0,05$). Çalışma grupları arasında en yüksek viserosomatik indeks değerinin $8,48\pm0,57$ değeriyle SN grubuna, ikinci en yüksek değerin $7,46\pm0,68$ değeriyle SK grubuna ve $7,18\pm0,52$ değeriyle YN grubuna, en düşük değerin ise $6,94\pm0,93$ değeriyle YK grubuna ait olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4.22: Çalışma gruplarına ait viserosomatik indeks değerleri.

4.2.2. Balıklardaki Amino Asit Analizleri

Çalışma gruplarına ait balıkların çalışmanın sonunda sahip oldukları amino asit profillerine ait bulgular Tablo 4.3’de özetlenmiştir. Buna göre en yüksek toplam esansiyel amino asit değerleri 8369,9 mg/100g balık eti ile SK grubunda en düşük ise 7931,5 mg/100g balık eti ile YK grubunda, en yüksek toplam yarı esansiyel amino asit değerleri 7925,5 mg/100g balık eti ile SK grubunda en düşük ise 5307,8 mg/100g balık eti ile SK grubunda, en yüksek toplam esansiyel olmayan amino asit değerleri 10607 mg ile SK grubunda, en düşük ise 10145,4 mg/100g balık eti ile YN grubunda tespit edilmiştir.

Tablo 4.3: Çalışma gruplarına ait amino asit değerleri (Ort±SD).

Amino Asitler (mg/100g balık eti)	SN	SK	YN	YK
Lizin	1909,6 ±27,5	2056,3 ±52,2	1936 ±129,9	1859,7 ±123,2
Metiyonin	673,9 ±14,6	656,2 ±87,9	684,3 ±19,2	667,5 ±8,2
Treonin	820,3 ±41,2	787 ±153,6	626,3 ±242,5	821,8 ±14,8
Izolösin	990,1 ±38,7	1041,2 ±54,2	1176,8 ±327,1	962,7 ±2,9
Lösin	1568,5 ±74,9	1646 ±75,3	1563,9 ±78,2	1539,1 ±24,9
Fenilalanin	835,4 ±36,8	892,3 ±57,8	852,7 ±14,3	826,4 ±23,4
Valin	1284,2 ±31,5	1290,8 ±105,6	1271,8 ±37	1254,3 ±7,1
Toplam Esansiyel	8082	8369,9	8111,7	7931,5
Histidin	535,5 ±7,7	606,8 ±39,2	608,2 ±5,2	582,9 ±17,4
Serin	745,5 ±26,8	772,3 ±64,2	762,5 ±66,8	782,2 ±27,6
Arjinin	1275 ±56,9	1298,1 ±102,1	1256,2 ±73,4	1276,5 ±13,6
Sistin	3870,2 ±1200,8	2479,2 ±378,3	4420,1 ±1172,4	4361,8 ±483,1
Trozin	866,2 ±20,5	818,1 ±88,2	878,3 ±2,2	868,1 ±12,6
Toplam Yarı Esansiyel	7292,4	5307,8	7925,3	7871,5

Alanin	3692,4 ±305,9	3805,7 ±41,8	3727,2 ±20,2	3696,4 ±186,9
Aspartik asit	1925,4 ±52,9	2055,6 ±87,7	1923,7 ±157,2	1904,9 ±58,7
Glutamik asit	2813,6 ±50,4	2971,6 ±129,3	2732,5 ±246,5	2775,4 ±60,7
Glisin	984,9 ±67,1	1038,9 ±95,8	1095,3 ±25	1066,6 ±54,7
Prolin	768 ±52,8	735,2 ±92,5	666,6 ±151,9	768,1 ±19,2
Toplam Esansiyel Olmayan	10184,3	10607	10145,4	10211,3
Toplam	25961,1	24729,5	26594,5	26418,1

4.2.3. Balıkların Yağ Asitleri Analizleri

Çalışma gruplarına ait balıkların çalışmanın sonunda sahip oldukları yağ asitleri profillerine ait bulgular Tablo 4.4’de özetlenmiştir. Buna göre en yüksek doymuş yağ asidi değerleri %25,36±0,29 ile YK grubunda, en düşük ise %23,76±2,19 SN grubunda, en yüksek toplam tekli doymamış yağ asitleri (MUFA) değeri %36,97±3,41 ile SK grubunda, en düşük ise %33,42±0,31 ile YK grubunda, en yüksek toplam çoklu doymamış yağ asitleri (PUFA) %39,49±1,46 ile YK grubunda, en düşük ise %37,06±2,72 ile SK grubunda tespit edilmiştir.

Tablo 4.4: Çalışma gruplarına ait yağ asitleri değerleri.

Yağ Asitleri (%)	Başlangıç	SN	SK	YN	YK
C14:0 (Miristik Asit)	1,81±0,03	1,71±0,22	1,57±0,03	1,64±0,07	1,79±0,06
C16:0 (Palmitik Asit)	17,88±0,04	16,46±0,87	16,36±1,38	16,15±1,14	17,41±0,11
C17:0 (Margarik Asit)	0,08±0,01	0,29±0,2	0,05±0,07	0,03±0,04	0,02±0,02
C18:0 (Stearik Asit)	4,99±1,51	4,73±1,43	5,52±0,25	5,88±0,44	5,47±0,42
C20:0 (Araşidik Asit)	0,14±0,01	0,27±0,07	0,27±0,12	0,2±0,14	0,34±0,08
C22:0 (Behenik Asit)	0,12±0,01	0,15±0,01	0,14±0,01	0,15±0,02	0,14±0,01
C24:0 (Lignoserik Asit)	0,09±0,01	0,16±0,12	0,15±0,07	0,13±0,03	0,2±0,07
Doymuş Yağ Asitleri	25,1±1,51	23,76±2,19	24,05±1,77	24,18±1,67	25,36±0,29

C14:1 (Miristoleik asit)	0,16±0,01	0,04±0,02	0,07±0,06	0,34±0,3	0,1±0,07
C16:1 (Palmitoleik asit)	3,46±0,02	3,57±0,45	3,23±0,36	3,38±0,4	3,57±0,14
C17:1 (Heptadekanoik Asit)	0,26±0,01	0,15±0,08	0,07±0,09	0,18±0,15	0,13±0,11
C18:1 (ω-9) (Oleik Asit)	32,82±0,03	30,48±3,27	31,61±3,15	31,2±4,2	28,14±0,2
C18:1 (ω-7) (Vaksenik asit)	2,85±0,01	0,8±0,58	1,23±0,55	0,43±0,33	0,51±0,07
C20:1 (Eikosenoik Asit)	0,29±0,01	0,19±0,05	0,17±0,13	0,26±0,01	0,25±0,06
C22:1 (ω-9) (Erüsik Asit)	0,29±0,01	0,65±0,09	0,48±0,22	0,54±0,16	0,64±0,15
C24:1 (ω-9) (Nervonik Asit)	0,12±0,01	0,13±0,12	0,12±0,03	0,11±0,03	0,09±0,03
Toplam, Tekli Doymamış Yağ Asitleri (MUFA)	40,24±0,04	36,02±3,25	36,97±3,41	36,42±3,71	33,42±0,31
C18:2 (ω-6) (Linoleik Asit)	15,88±0,01	22,32±2,14	21,28±1,63	21,82±1,32	23,23±0,15
C18:3 (ω-6) (Gamma-Linolenik Asit)	1,75±0,01	2,83±0,19	2,62±0,3	2,54±0,14	2,96±0,11
C18:3 (ω-3) (Alfa-Linolenik Asit)	2,63±0,01	2,83±0,3	2,62±0,04	2,98±0,26	2,72±0,28
C20:2 (ω-6) (Eikosadienoik Asit)	0,19±0,01	0,21±0,03	0,18±0,03	0,22±0,04	0,21±0,01
C20:3 (ω-6) (Dihomo- Gama Linolenik Asit)	1,33±0,01	1,62±0,11	1,56±0,08	1,65±0,11	1,63±0,06
C20:3 (ω-3) (Eikosatrienoik Asit)	0,62±0,01	0,79±0,07	0,75±0,08	0,81±0,05	0,83±0,02
C20:4 (ω-6) (Araşidonik Asit)	0,88±0,01	1,02±0,09	1,01±0,07	1,04±0,06	1,06±0,04
C20:4 (ω-3) (Eikosatetraenoik Asit)	0,44±0,01	0,38±0,04	0,34±0,07	0,37±0,08	0,36±0,05
C20:5 (ω-3) (Eikosapentaenoik Asit (EPA))	1,01±0,01	0,98±0,14	0,94±0,05	0,62±0,49	0,71±0,57
C22:4 (ω-6) (Dokosatetraenoik Asit)	0,05±0,01	0,14±0,04	0,09±0,05	0,09±0,02	0,15±0,06
C22:5 (ω-6) (Dokosapentaenoik Asit)	0,58±0,01	0,35±0,07	0,31±0,03	0,41±0,06	0,32±0,06
C22:5 (ω-3) (Dokosapentaenoik Asit (DPA))	0,47±0,01	0,47±0,06	0,45±0,02	0,48±0,03	0,48±0,01

C22:6 (ω-3) (Dokosaheksaenoik asit (DHA))	5,63 $\pm$ 0,01	4,72 $\pm$ 0,39	4,92 $\pm$ 0,44	4,65 $\pm$ 0,14	4,83 $\pm$ 0,51
Toplam Çoklu Doymamış Yağ Asitleri (PUFA)	31,45 $\pm$ 0,01	38,64 $\pm$ 3,23	37,06 $\pm$ 2,72	37,66 $\pm$ 1,83	39,49 $\pm$ 1,46
İdentifiye Edilemeyen	3,23 $\pm$ 1,48	1,58 $\pm$ 1,29	1,93 $\pm$ 1,64	1,74 $\pm$ 0,54	1,72 $\pm$ 1,36
EPA+DHA	6,64 $\pm$ 0,01	5,7 $\pm$ 0,5	5,85 $\pm$ 0,49	5,26 $\pm$ 0,61	5,54 $\pm$ 0,99
ω-3 (Toplam)	10,8 $\pm$ 0,01	10,16 $\pm$ 0,64	10,01 $\pm$ 0,61	9,91 $\pm$ 0,59	9,94 $\pm$ 1,32
ω-6 (Toplam)	20,65 $\pm$ 0,01	28,48 $\pm$ 2,59	27,05 $\pm$ 2,13	27,75 $\pm$ 1,59	29,56 $\pm$ 0,26

4.2.4. Sindirim ve Antioksidan Enzim Aktivitesi Tayinleri

Solungaç dokularında SN ve YN gruplarında, SK ve YK gruplarına göre GSH değeri ve CAT, SOD, GPx, GR, GST, G6PD ve LDH aktiviteleri artmıştır, ROS miktarı ise azalmıştır. LPO miktarı SN grubunda SK grubuna göre artmıştır, YN grubunda YK grubuna göre azalmıştır (Tablo 4.5).

Tablo 4.5: Çalışma gruplarının solungaç dokularının biyokimyasal parametreleri.

Biyokimyasal Parametreler (Birim)	SN	SK	YN	YK	P_{ANOVA}
Glutasyon (nmol GSH/mg protein)*	0,94 $\pm$ 0,04 ^a	0,58 $\pm$ 0,15	1,01 $\pm$ 0,10	0,87 $\pm$ 0,18 ^a	<0,0003
Lipid Peroksidasyon (nmol MDA/mg protein)*	11,07 $\pm$ 0,49 ^b	8,97 $\pm$ 0,88	8,40 $\pm$ 0,12 ^{c,d}	10,98 $\pm$ 0,91 ^a	<0,0001
Katalaz (U/mg protein)*	2,91 $\pm$ 0,52 ^e	0,38 $\pm$ 0,04	3,14 $\pm$ 0,05 ^d	1,53 $\pm$ 0,04 ^f	<0,0001
Süperoksit Dismutaz (U/mg protein)*	94,51 $\pm$ 3,48 ^f	80,57 $\pm$ 6,60	91,22 $\pm$ 7,28 ^g	72,56 $\pm$ 8,65	<0,0003
Glutasyon Peroksidaz (U/mg protein)*	2,71 $\pm$ 0,11	2,59 $\pm$ 0,18	3,27 $\pm$ 0,13 ^{c,g}	2,82 $\pm$ 0,06	<0,0001
Glutasyon Redüktaz (mU/g protein)*	20,46 $\pm$ 2,62 ^a	15,52 $\pm$ 1,37	17,45 $\pm$ 1,32 ^h	13,90 $\pm$ 2,31	<0,0002
Glutasyon-S-Transferaz (U/g protein)*	53,05 $\pm$ 8,01 ^a	36,16 $\pm$ 2,66	50,18 $\pm$ 2,58	48,97 $\pm$ 7,10 ^f	<0,0025
Glukoz-6-Fosfat Dehidrojenaz (U/g protein)*	0,96 $\pm$ 0,15	0,81 $\pm$ 0,15	1,23 $\pm$ 0,12 ⁱ	1,12 $\pm$ 0,05 ^a	<0,0001
Reaktif Oksijen Türleri (RFU/mg protein)*	20,36 $\pm$ 1,08	24,51 $\pm$ 2,04	26,83 $\pm$ 3,90 ^{h,i}	31,50 $\pm$ 2,12 ^a	<0,0001
Laktat Dehidrojenaz (U/mg protein)*	4,08 $\pm$ 0,71 ^a	1,89 $\pm$ 0,48	7,20 $\pm$ 1,15 ^{g,j}	5,28 $\pm$ 1,11 ^e	<0,0001

*Ortalama $\pm$ SD. ^ap $\leq$ 0,001 SK grubuna göre; ^bp $\leq$ 0,01 SK grubuna göre; ^cp $\leq$ 0,001 SN grubuna göre; ^dp $\leq$ 0,001 YK grubuna göre; ^ep $\leq$ 0,0001 SK grubuna göre; ^fp $\leq$ 0,05 SK grubuna göre; ^gp $\leq$ 0,01 YK grubuna göre; ^hp $\leq$ 0,05 YK grubuna göre; ⁱp $\leq$ 0,01 SN grubuna göre; ^jp $\leq$ 0,0001 SN grubuna göre

Kas dokularında, GSH değeri SN grubunda SK gruplarına göre artış, YN grubunda YK grubuna göre azalış olduğu saptanmıştır. SN grubunda SK gruplarına göre LPO değerinde ve G6PD aktivitesinde azalma, YN grubunda ise YK grubuna göre artma olduğu görülmüştür. SN ve YN gruplarında ise, SK ve YK gruplarına göre CAT aktivite artmıştır. SOD ve GR aktivite değeri SN grubunda SK gruplarına göre artma ve YN grubunda YK grubuna göre azalma olduğu saptanmıştır. GPx aktivitesinin SN grubunda SK grubuna göre arttığı saptanmıştır. SN ve YN gruplarında ise, SK ve YK gruplarına göre GST aktivitesi ve ROS değeri artmıştır. LDH aktivitesi YN grubunda ise YK grubuna göre artma olduğu görülmüştür (Tablo 4.6).

Tablo 4.6: Çalışma gruplarının kas dokularının biyokimyasal parametreleri.

Biyokimyasal Parametreler (Birim)	SN	SK	YN	YK	P _{ANOVA}
Glutasyon (nmol GSH/mg protein)*	22,86±1,89 ^e	13,98±1,65	12,83±0,03 ^h	15,80±1,52	<0,0001
Lipid Peroksidasyon (nmol MDA/mg protein)*	2,09±0,55	3,15±0,26	4,73±0,04 ^{c,g}	2,65±0,31	<0,0006
Katalaz (U/mg protein)*	770,60±55,93 ^f	477,80±164,60	603,90±2,31 ^{j,k}	438,00±27,72 ^e	<0,0001
Süperoksit Dismutaz (U/mg protein)*	1,92±0,33	1,66±0,27	0,92±0,31 ⁱ	1,44±0,29	<0,0046
Glutasyon Peroksidaz (U/mg protein)*	18,98±3,32 ^a	13,14±0,68	15,10±0,56	15,15±1,86	<0,0400
Glutasyon Redüktaz (mU/g protein)*	11,73±2,35 ^a	7,71±1,33	8,23±0,67 ^l	9,08±0,78	<0,0092
Glutasyon-S-Transferaz (U/g protein)*	12,39±0,27	11,62±1,32	10,32±0,38 ^l	8,76±1,22 ^a	<0,0008
Glukoz-6-Fosfat Dehidrojenaz (U/g protein)*	0,72±0,08 ^f	0,92±0,09	0,84±0,13	0,67±0,13 ^a	<0,0057
Reaktif Oksijen Türleri (RFU/mg protein)*	27,79±8,61 ^e	6,28±3,62	21,73±2,12 ^h	9,47±1,05	<0,0001
Laktat Dehidrojenaz (U/mg protein)*	1,19±0,03	1,07±0,03	8,28±1,67 ^{j,k}	3,54±0,91 ^f	<0,0001

*Ortalama ± SD. ^ap ≤ 0,001 SN grubuna göre; ^bp ≤ 0,01 SK grubuna göre; ^cp ≤ 0,05 YK grubuna göre; ^dp ≤ 0,01 YN grubuna göre; ^ep ≤ 0,01 YK grubuna göre; ^fp ≤ 0,05 YN grubuna göre

Mide dokularında, GSH ve LPO değerleri ve GPx ve GR aktiviteleri, SN ve YN gruplarında SK ve YK gruplarına göre artmıştır. CAT aktivitesi SN grubunda SK grubuna göre azalma, YN grubunda YK grubuna göre artma göstermiştir. GST aktivitesi SN grubunda SK grubuna göre azalma, YN grubunda YK grubuna göre artış göstermiştir. G6PD aktivitesi SN grubunda SK grubuna göre azalma, YN grubunda ise YK grubuna göre değişme saptanmamıştır. ROS değeri SN grubunda SK grubuna göre, YN grubunda YK grubuna göre azalmıştır. LDH aktivitesinin YN grubunda YK grubuna göre arttığı saptanmıştır. Mide dokularında SN grubunda SK

grubuna göre lipaz aktivitesinin anlamlı olarak azaldığı saptanmıştır. YK ve YN gruplarında lipaz aktivitesinde anlamlı farklılıklar görülmemiştir. Mide dokularında SN ve YN gruplarının SK ve YK gruplarına göre pepsin ve proteaz aktiviteleri artmıştır (Tablo 4.7).

Tablo 4.7: Çalışma gruplarının mide dokularının biyokimyasal parametreleri.

Biyokimyasal Parametreler (Birim)	SN	SK	YN	YK	P _{ANOVA}
Glutasyon (nmol GSH/mg protein)*	19,82±1,29 ^a	13,38±0,65	17,14±1,56 ^h	12,07±1,65	<0,0027
Lipid Peroksidasyon (nmol MDA/mg protein)*	6,36±1,99	5,39±2,93	7,18±1,97	6,68±0,62	<0,431
Katalaz (U/mg protein)*	255,80±45,5	286,40±55,0	288,80±16,8 ^d	139,10±17,3 ^b	<0,0004
Süperoksit Dismutaz (U/mg protein)*	1,36±0,30	1,46±0,32	1,15±0,24	1,14±0,12	<0,2938
Glutasyon Peroksidaz (U/mg protein)*	16,28±0,80 ^f	12,80±1,97	12,03±1,35 ^{h,i}	9,09±1,86 ^f	<0,0001
Glutasyon Redüktaz (mU/g protein)*	12,69±0,90 ^e	5,78±0,60	8,64±0,22 ^j	7,81±0,32 ^b	<0,0001
Glutasyon-S-Transferaz (U/g protein)*	0,55±0,10 ^e	3,05±0,33	1,13±0,20 ^l	1,00±0,43 ^e	<0,0001
Glukoz-6-Fosfat Dehidrojenaz (U/g protein)*	1,31±0,34	1,45±0,02	0,80±0,32 ^l	0,81±0,23 ^f	<0,0047
Reaktif Oksijen Türleri (RFU/mg protein)*	13,16±0,55 ^f	15,12±1,52	10,64±1,24 ^{h,i}	12,63±0,98 ^a	<0,0001
Laktat Dehidrojenaz (U/mg protein)*	1,27±0,14	1,21±0,06	1,39±0,32 ^d	0,83±0,14 ^f	<0,0009
Lipaz (U/mg protein)	0,05±0,02 ^b	0,14±0,04	0,15±0,04 ^{h,j}	0,15±0,02	<0,0001
Pepsin (U/mg protein)	122,30±1,55 ^f	91,18±3,33	133,10±12,24 ^g	101,40±3,59	<0,0007
Proteaz (U/mg protein)	0,45±0,11 ^f	0,28±0,03	0,79±0,09 ^{g,j}	0,56±0,08 ^b	<0,0001

*Ortalama ± SD. ^ap ≤ 0,01 SK grubuna göre; ^bp ≤ 0,05 YK grubuna göre; ^cp ≤ 0,05 SK grubuna göre; ^dp ≤ 0,001 SK grubuna göre; ^ep ≤ 0,05 SN grubuna göre; ^fp ≤ 0,01 YK grubuna göre; ^gp ≤ 0,001 SN grubuna göre; ^hp ≤ 0,0001 SN grubuna göre

Karaciğer dokularında GSH değeri ve GPx ve GST aktiviteleri SN ve YN grubunda SK ve YK grubuna göre artma, LPO değerinde ise YN grubuna göre YK grubunda azalma olduğu tespit edilmiştir. CAT aktivitesi SN ve YN grubunda SK ve YK grubuna göre artış olduğu görülmüştür. GR aktivitesi SN grubunda SK grubuna göre azalma, G6PD aktivitesi SN grubunda SK grubuna göre artma, YN grubunda YK grubuna göre azalma olduğu saptanmıştır. ROS değeri ve LDH aktivitesinde SN ve YN gruplarında SK ve YK gruplarına göre azalma olduğu saptanmıştır. Karaciğer dokularında SN ve YN gruplarında SK ve YK gruplarına göre arginaz aktiviteleri azalmıştır, lipaz aktivitelerinde ise artma olduğu görülmüştür (Tablo 4.8).

Tablo 4.8: Çalışma gruplarının karaciğer dokularının biyokimyasal parametreleri.

Biyokimyasal Parametreler (Birim)	SN	SK	YN	YK	P _{ANOVA}
Glutasyon (nmol GSH/mg protein)*	49,92±6,23	45,81±6,45	72,09±5,69 ^c	64,84±5,93 ^b	<0,0416
Lipid Peroksidasyon (nmol MDA/mg protein)*	11,55±1,73	11,56±2,55	17,57±3,08 ^l	19,29±1,10 ^a	<0,0017
Katalaz (U/mg protein)*	1360,0±94,6 ^f	1220,0±13,8	1121,0±38,4 ^{j,k}	725,9±21,8 ^e	<0,0001
Süperoksit Dismutaz (U/mg protein)*	37,12±4,67	40,10±6,43	47,99±3,38 ^l	43,84±9,03	<0,1265
Glutasyon Peroksidaz (U/mg protein)*	64,91±2,99 ^a	42,05±6,42	75,10±12,48 ^h	57,85±6,54 ^f	<0,0171
Glutasyon Redüktaz (mU/g protein)*	14,55±2,15	18,01±2,06	13,94±2,67	13,91±0,87 ^f	<0,1035
Glutasyon-S-Transferaz (U/g protein)*	48,30±6,47	44,51±4,96	44,80±11,06	40,51±7,54	<0,3544
Glukoz-6-Fosfat Dehidrojenaz (U/g protein)*	50,35±6,84 ^a	35,30±1,98	27,08±2,81 ^{h,j}	37,12±5,65	<0,0448
Reaktif Oksijen Türleri (RFU/mg protein)*	1,86±0,94 ^a	6,39±1,96	1,62±0,29 ^g	6,78±2,18	<0,0094
Laktat Dehidrojenaz (U/mg protein)*	6,32±0,24	7,68±0,60	5,13±1,69	5,97±0,76 ^f	<0,2961
Arginaz (µmol üre/mg protein)	0,75±0,12 ^b	1,81±0,56	0,98±0,02	1,15±1,12	<0,0002
Lipaz (U/mg protein)	3,88±0,60 ^b	2,66±0,30	2,55±0,21 ^c	2,22±0,49	<0,0001

*Ortalama ± SD. ^ap ≤ 0,01 SK grubuna göre; ^bp ≤ 0,05 SN grubuna göre; ^cp ≤ 0,05 SK grubuna göre; ^dp ≤ 0,0001 SK grubuna göre; ^ep ≤ 0,0001 SN grubuna göre; ^fp ≤ 0,0001 YK grubuna göre; ^gp ≤ 0,05 YK grubuna göre; ^hp ≤ 0,001 SK grubuna göre; ⁱp ≤ 0,001 SN grubuna göre

Böbrek dokularında, LPO değerinde YN grubunda YK grubuna göre azalma, CAT, SOD, GPx, GR, GST, ve G6PD aktivitelerinde artma olduğu görülmüştür. ROS değerinde SN grubunda SK grubuna göre azalma, YN grubunda YK grubuna göre artış olduğu görülmüştür. LDH aktivite değerinde SN grubunda SK grubuna göre artış, YN grubunda YK grubuna göre azalma olduğu görülmüştür. Böbrek dokularında SN ve YN gruplarında SK ve YK gruplarına göre arginaz aktivitesi azalmıştır (Tablo 4.9).

Tablo 4.9: Çalışma gruplarının böbrek dokularının biyokimyasal parametreleri

Biyokimyasal Parametreler (Birim)	SN	SK	YN	YK	P_{ANOVA}
Glutasyon (nmol GSH/mg protein)*	1,50±0,22	1,28±0,15	1,46±0,20	1,25±0,16	<0,1346
Lipid Peroksidasyon (nmol MDA/mg protein)*	7,60±0,31 ^e	9,88±0,40	7,10±0,05 ^k	8,71±0,11 ^b	<0,0001
Katalaz (U/mg protein)*	6,39±0,09 ^e	2,32±0,06	5,42±0,04	4,35±0,40 ^e	<0,0001
Süperoksit Dismutaz (U/mg protein)*	144,40±35,1 ^f	97,69±4,22	72,33±15,76 ⁱ	52,66±5,65 ^f	<0,0001
Glutasyon Peroksidaz (U/mg protein)*	3,25±0,35 ^f	2,77±0,20	2,44±0,05 ^c	2,26±0,17 ^f	<0,0001
Glutasyon Redüktaz (mU/g protein)*	25,14±2,74 ^a	14,54±2,27	26,26±3,57	24,72±3,14 ^a	<0,0003
Glutasyon-S-Transferaz (U/g protein)*	106,40±19,09 ^e	39,51±5,00	51,18±13,95 ^{c,h}	27,41±4,47	<0,0001
Glukoz-6-Fosfat Dehidrojenaz (U/g protein)*	3,00±0,51 ^e	1,50±0,27	1,89±0,40 ^{j,k}	0,58±0,09 ^b	<0,0001
Reaktif Oksijen Türleri (RFU/mg protein)*	17,46±0,50 ^b	43,51±8,93	16,17±2,72	14,79±6,20 ^e	<0,0001
Laktat Dehidrojenaz (U/mg protein)*	2,06±0,76	1,90±0,25	0,94±0,33 ^e	1,25±0,44 ^f	<0,0001
Arginaz (µmol üre/mg protein)	24,93±1,17	23,43±4,34	19,91±2,30 ^j	17,01±1,05 ^b	<0,0001

*Ortalama ± SD. ^ap ≤ 0,001 YN grubuna göre; ^bp ≤ 0,01 SK grubuna göre; ^cp ≤ 0,05 SK grubuna göre; ^dp ≤ 0,01 SN grubuna göre; ^ep ≤ 0,01 SK grubuna göre; ^fp ≤ 0,05 SN grubuna göre.

4.3. BİTKİ BÜYÜME PERFORMANSINA AİT BULGULAR

Çalışmanın sonunda bitkiler sisteme ekildiklerinde (Şekil 4.23) ve hasat edildikten sonra (Şekil 4.24) ölçülen bitkilere ait boy, genişlik, ağırlık, kök uzunluğu, kök ağırlığı ve yaprak sayılarına ilişkin bulgular Tablo 4.10'de ve bölüm 4.3'ün grafiklerinde özetlenmiştir (Tablo 4.10).

Tablo 4.10: Çalışmada kullanılan marul bitkilerine ait boy (cm), genişlik (cm), ağırlık (g), kök uzunluğu (cm), kök ağırlığı (g) ve yaprak sayısı (adet) değerleri.

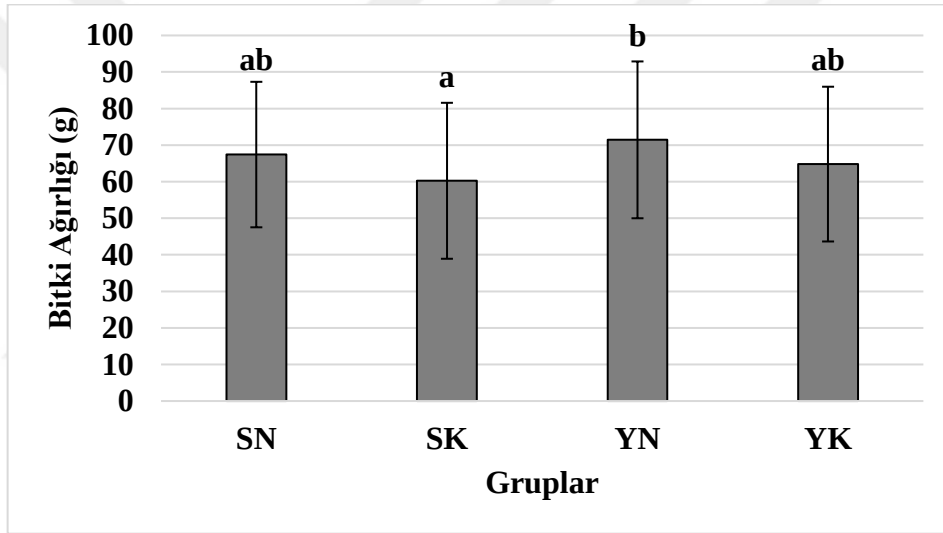
	SN	SK	YN	YK
Bitki Boyu (cm)	10,18±0,79 ^{ab}	9,83±1,44 ^{bc}	10,59±123 ^a	9,41±0,94 ^c
Bitki Genişliği (cm)	18,18±2,33 ^{ab}	17,17±1,91 ^{bc}	19,06±2,18 ^a	17,86±2,03 ^c
Bitki Ağırlığı (g)	68,19±16,16 ^a	56,43±17,43 ^b	75,38±20,46 ^a	64,81±21,17 ^{ab}
Bitki Kök Uzunluğu (cm)	22,57±4,41 ^a	24,88±4,73 ^b	22,60±5,42 ^a	22,18±4,20 ^a
Bitki Kök Ağırlığı (g)	13,67±7,41 ^a	12,64±8,56 ^a	17,24±14,67 ^a	12,80±8,88 ^a
Yaprak Sayısı	25,50±1,45 ^a	24,77±2,98 ^a	26,07±2,31 ^a	26,17±2,25 ^a



Şekil 4.23: Dördüncü haftadaki marul bitkisi görüntüsü (Özgün).

4.3.1. Bitki Ağırlığı

Akuaponik sistemlerin hidroponik kısımlarında üretilen bitkilere ait bitki ağırlığı bulguları Şekil 4.24’de verilmiştir. Çalışma gruplarının bitki ağırlığı değerleri için gruplar arasında anlamlı şekilde bir farklılık gözlenmiştir ($p<0,05$). Çalışma grupları arasında en yüksek ortalama bitki ağırlığı değerinin $75,38\pm20,46$ g değeriyle YN grubuna, ikinci en yüksek değer $68,19\pm16,16$ g değeriyle SN grubuna, üçüncü en yüksek değerin $64,81\pm21,17$ g değeriyle YK grubuna, en düşük değerin ise $56,43\pm17,43$ g değeriyle SK grubuna ait olduğu saptanmıştır. YN grubunun istatistiksel olarak anlamlı şekilde SK grubundan daha yüksek ağırlığa sahip olduğu, SN ve YK gruplarından ise anlamlı bir ağırlık farkının olmadığı tespit edilmiştir.

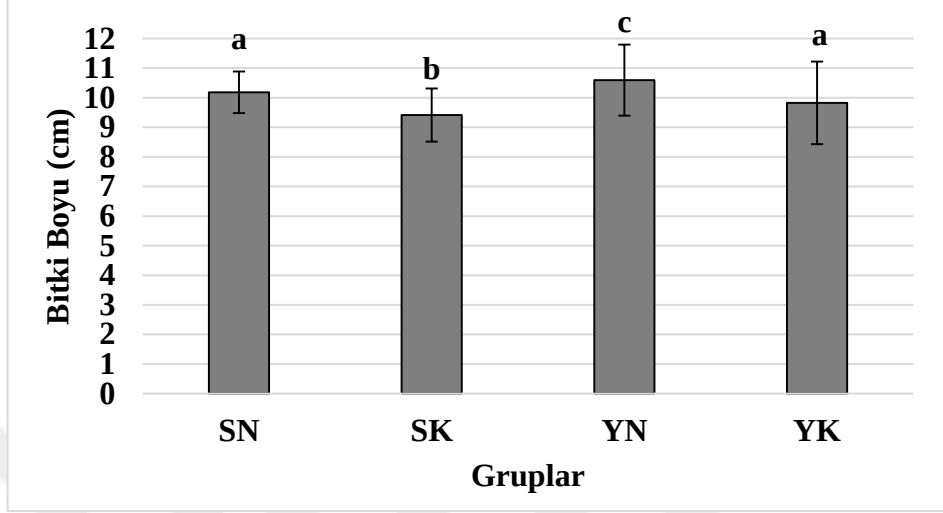


Şekil 4.24: Çalışma gruplarına ait bitki ağırlığı değerleri.

4.3.2. Bitki Boyu

Akuaponik sistemlerin hidroponik kısımlarında üretilen bitkilere ait bitki boyu bulguları Şekil 4.25’de verilmiştir. Çalışma gruplarının bitki boyu değerleri için gruplar arasında anlamlı şekilde bir farklılık gözlenmiştir ($p<0,05$). Çalışma grupları arasında en yüksek ortalama bitki boyu uzunluğunun $10,6\pm1,2$ cm değeriyle YN grubuna, ikinci en yüksek değerin $10,2\pm0,8$ cm değeriyle SN grubuna, üçüncü en yüksek değerin $9,8\pm1,4$ cm değeriyle SK grubuna, en düşük değerin ise $9,4\pm0,9$ cm değeriyle YK grubuna ait olduğu saptanmıştır. SN ve YN grupları arasında istatistiksel anlamda bir fark oluşmamışken, bu iki grup YK grubundan anlamlı bir şekilde ayrılmışlardır. YN grubu ayrıca SK grubundan da istatistiksel olarak daha uzun bitkilere

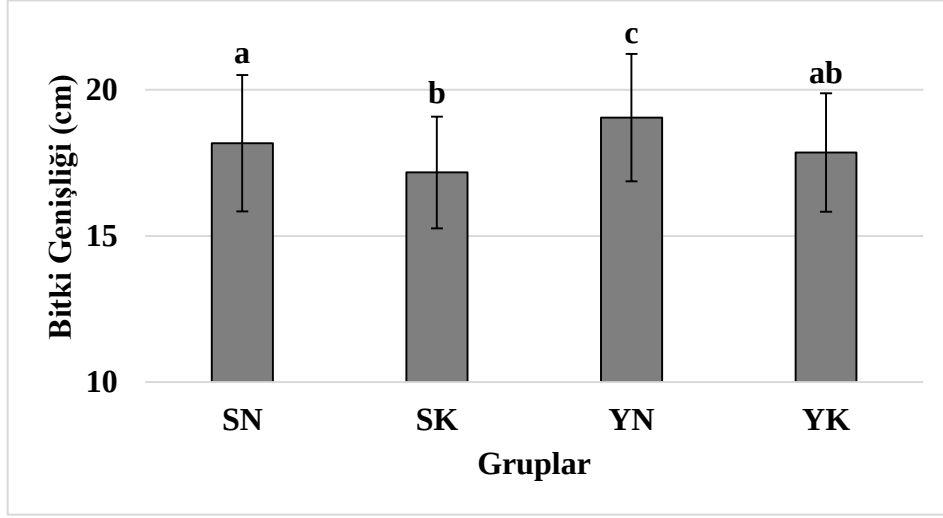
sahip olduğu için ayrılmıştır. SK ve YK grupları arasında bitki boyu özelinde istatistiksel anlamda bir fark oluşmamıştır.



Şekil 4.25: Çalışma gruplarına ait bitki boyu değerleri.

4.3.3. Bitki Genişliği

Akuaponik sistemlerin hidroponik kısımlarında üretilen bitkilere ait bitki genişliği bulguları Şekil 4.26'da verilmiştir. Çalışma gruplarının bitki eni genişliği değerleri için gruplar arasında anlamlı şekilde bir farklılık gözlenmiştir ($p < 0,05$). Çalışma grupları arasında en yüksek ortalama bitki eni genişliğinin $19,1 \pm 2,2$ cm değeriyle YN grubuna, ikinci en yüksek değer $18,2 \pm 2,3$ cm değeriyle SN grubuna, üçüncü en yüksek değerin $17,9 \pm 2,0$ cm değeriyle YK grubuna, en düşük değerin ise $17,2 \pm 1,9$ cm değeriyle SK grubuna ait olduğu saptanmıştır. YN grubu diğer üç gruptan istatistiksel olarak anlamlı bir şekilde daha geniş bitkilere sahip olduğu tespit edilmiştir. YK grubu SN ve SK grupları ile istatistiksel anlamda bir fark olmuşturken, SN grubu SK grubundan anlamlı bir şekilde daha geniş bitki enine sahip olduğu belirlenmiştir.



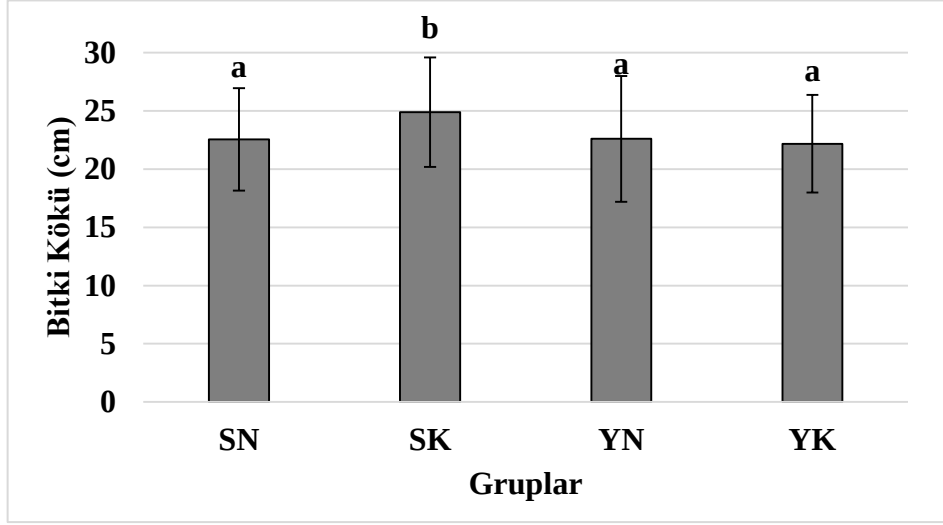
Şekil 4.26: Çalışma gruplarına ait bitki genişliği değerleri.

4.3.4. Bitkinin Kök Uzunluğu

Akuaponik sistemlerin hidroponik kısımlarında üretilen bitkilerin (Şekil 4.27) kök uzunluğuna ait bulgular Şekil 4.28’de verilmiştir. Çalışma gruplarının bitki kök uzunluk değerleri için gruplar arasında anlamlı şekilde bir farklılık gözlenmiştir ($p < 0,05$). Çalışma grupları arasında $24,9 \pm 4,7$ cm değeriyle SK grubuna ait olan ortalama bitki köklerinin diğer üç gruba ait bitkilerin köklerinden istatistiksel olarak anlamlı bir şekilde daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Sırasıyla $22,6 \pm 4,4$ cm, $22,6 \pm 5,4$ cm ve $22,2 \pm 4,2$ cm değerlerine sahip SN, YN ve YK gruplarının kök boyu uzunluklarının birbirleri arasında anlamlı bir fark oluşmamıştır.



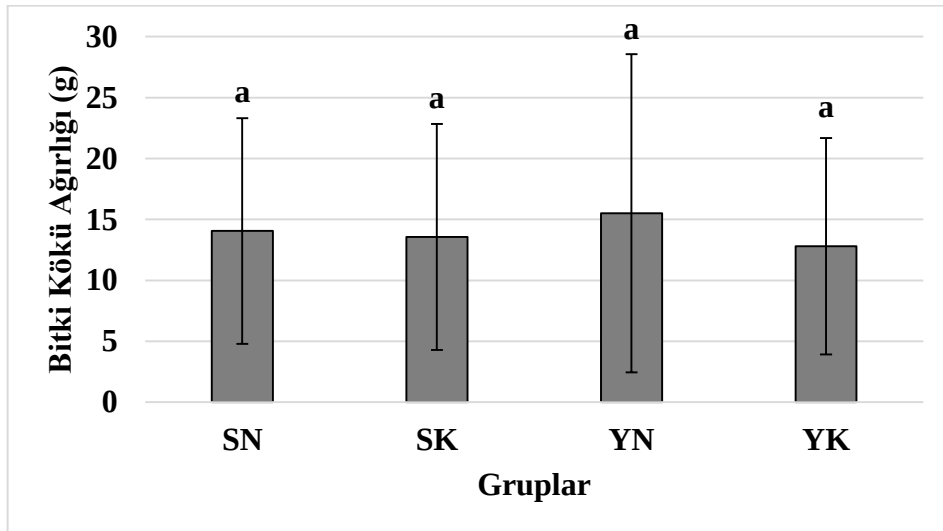
Şekil 4.27: Marul bitkisinin kök görüntüsü (Özgün).



Şekil 4.28: Çalışma gruplarına ait bitki kök uzunluğu değerleri.

4.3.5. Bitkinin Kök Ağırlığı

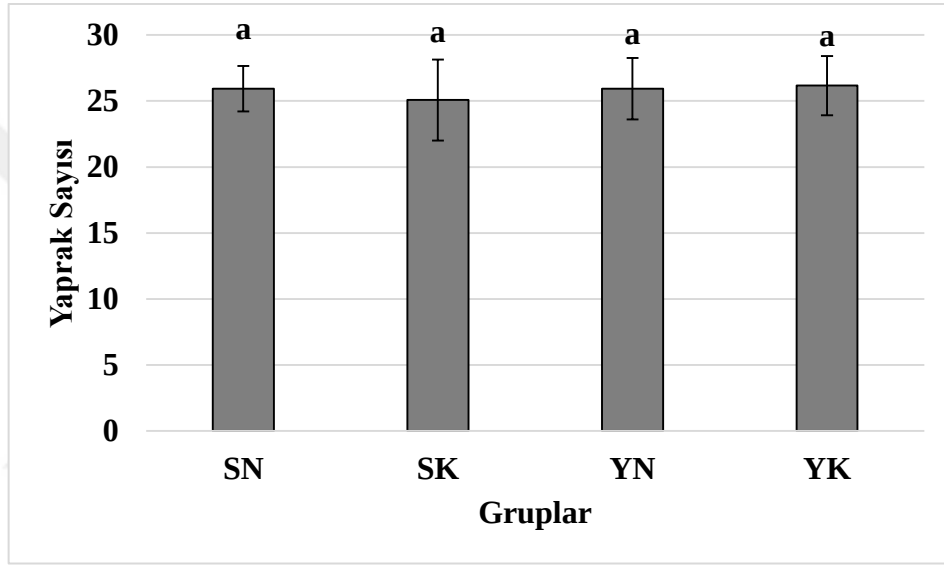
Akuaponik sistemlerin hidroponik kısımlarında üretilen bitkilere ait bitki kökü ağırlığı bulguları Şekil 4.29’da verilmiştir. Çalışma gruplarının bitki kökü ağırlığı değerleri için gruplar arasında anlamlı şekilde bir farklılık gözlenmemiştir ($p>0,05$). Çalışma grupları arasında en yüksek ortalama bitki kökü ağırlığı değerinin $17,2\pm14,7$ g değeriyle YN grubuna, ikinci en yüksek değerin $13,7\pm7,4$ g değeriyle SN grubuna, üçüncü en yüksek değerin $12,8\pm8,9$ g değeriyle YK grubuna, en düşük değerin ise $12,6\pm8,6$ g değeriyle SK grubuna ait olduğu saptanmıştır.



Şekil 4.29: Çalışma gruplarına ait bitki kökü ağırlığı (g) değerleri.

4.3.6. Bitki Yaprak Sayısı

Akuaponik sistemlerin hidroponik kısımlarında üretilen bitkilere ait yaprak sayısı bulguları Şekil 4.30’da verilmiştir. Çalışma gruplarının bitki yaprak sayısı değerleri için gruplar arasında anlamlı şekilde bir farklılık gözlenmemiştir ($p>0,05$). Çalışma grupları arasında en yüksek ortalama bitki yaprak sayısı değerinin $26,2\pm2,2$ adet değeriyle YK grubuna, ikinci en yüksek değerin $26,1\pm2,3$ adet değeriyle YN grubuna, üçüncü en yüksek değerin $25,5\pm1,4$ adet değeriyle YK grubuna, en düşük değerin ise $24,8\pm3,0$ adet değeriyle SK grubuna ait olduğu saptanmıştır.



Şekil 4.30: Çalışma gruplarına ait bitkilerin yaprak sayısı değerleri.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Su sıcaklığı kapalı devre su ürünleri yetiştiriciliği ve akuaponik sistemler için izlenmesi gereken en önemli parametrelerden birisidir. Sistemin sağlıklı, sürdürülebilir ve ekonomik olması için olmazsa olmazdır. Sistemdeki suyun sıcaklığı direkt olarak yetiştirilen canlının solunum hızı, beslenmesi, büyümesi, davranışları ve üremesi gibi fizyolojik süreçleri üzerinde etkisi bulunmaktadır. Balıklar türüne, yaşına, boyutuna ve termal geçmişine bağlı olarak belirli bir sıcaklık aralıklarında yaşamayı tercih ederler (Ebeling ve Timmons, 2010). Balıklar soğukkanlı canlılar oldukları için yaşadıkları ortamın sıcaklığına bağlı olarak vücut sıcaklıkları değişir. Bu nedenle de yaşamsal faaliyetlerini devam ettirebildikleri en uygun sıcaklık aralığı ve yaşamsal faaliyetlerini sürdüremedikleri sıcaklığa bağlı sınır değerleri vardır. En uygun sıcaklık değerine ne kadar yakın bir sıcaklıkta tutulurlarsa o kadar iyi beslenir ve hızlı büyürler. Bu değerlerden uzaklaştıkça yaşamsal faaliyetler için harcanan enerji de artacağı için üretim verimsiz hale dönüşecektir. Dolayısıyla maksimum verimi almak için en uygun sıcaklık değerlerinde üretim yapmak hem balık üzerindeki stresi azaltır hem de yetiştirici açısından verimli olur.

Çalışma süresince balıkların tutulduğu kapalı devre su ürünleri yetiştiriciliği sisteminde su sıcaklığı $16 \pm 1^\circ\text{C}$ olarak sabit tutulmuştur. Bu sıcaklık gökkuşağı alabalığının iyi yem aldığı $7-18^\circ\text{C}$ sıcaklık değeri arasındadır (Woynarovich ve diğ., 2011). Alabalığın günlük yem alım miktarı su sıcaklığı 18°C 'ye yaklaştıkça artış göstermekte iken 18°C 'den sonra bu durum tersine dönmektedir. Bu sıcaklık aralığının dışındaki daha düşük ve daha yüksek su sıcaklıklarında alabalıklar iştahını kaybeder. Eğer Gökkuşağı alabalığı erken larva döneminden sonra ergin birey olana kadar su sıcaklığı 1°C altında veya 24°C üstünde olursa beslenmeyi kesecektir (Woynarovich ve diğ., 2011). Gökkuşağı alabalığının beslenmesi su sıcaklığı arttıkça yoğunlaşır. Ancak bu davranış yalnızca yaklaşık 18°C 'ye kadar devam eder. Bu sıcaklığın üzerinde balığın iştahı ve yem alımı keskin bir şekilde azalır ve durabilir.

Sıcaklıklar termal optimumu aştığında, oksijen tüketimi hızla artar ve yüzme performansı ve metabolik kapsam olumsuz etkilenir (Brett, 1971; Randall ve Brauner, 1991; Farrell, 2002; Jain ve Farrell, 2003). Metabolik kapsamda bir azalma, besleme ve büyüme için nispeten daha az mevcut enerji anlamına gelir, yani yem alımı azalabilir ve yemden yararlanma oranı artabilir ve dolayısıyla balık yetiştiricileri için ekonomiyi olumsuz etkileyebilir (Larsen ve diğ., 2012). Ayrıca su sıcaklığı arttıkça balıklar daha aktif hale gelip daha fazla yem ve oksijen tüketirler.

Bu durum daha fazla karbondioksit ve amonyak üretimine sebep verir. Metabolizma hızı ile birlikte bu bir noktada sınırlanacaktır. Bu yüzden en uygun sıcaklığın seçilmesi üretim başarısı açısından çok önemlidir. Ayrıca kapalı devre sistemlerdeki sistem suyu yoğunluğu sıcaklıkla ters orantılıdır. Sistem suyu sıcaklığı azaldıkça suyun yoğunluğu artacak ve bu da pompa enerji maliyetini arttıracaktır.

Alabalıklarla ilgili çalışmalarda su sıcaklığı değerleri akuaponik sistemde $17,3\pm1,4^{\circ}\text{C}$ (Pereira ve diğ., 2018), sürekli akış sisteminde 15°C (Pirhonen ve Koskela, 2005), kapalı devre sistemde 16°C (Tunçelli ve Pirhonen, 2021), sürekli akış sisteminde 15°C (Molony ve Molony, 2001), sürekli akış sisteminde 15°C (Sumpter, 1992; Skov ve diğ., 2015) ve yine sürekli akış sisteminde $12-18^{\circ}\text{C}$ (Raleigh, 1984; Pennell ve Barton, 1996) olarak rapor edilmiştir. Gökkuşaağı alabalığı için büyüme ve YYO değerleri açısından en uygun olduğu su sıcaklığı değerlerinin $15-16^{\circ}\text{C}$ olduğu bildirilmiştir (Azevedo ve diğ., 1998; Bregnballe, 2015).

Kapalı devre gökkuşaağı alabalığı üretimi yapan işletmelerde sistem suyu $12-19^{\circ}\text{C}$ arasında değişmektedir (Ebeling ve Timmons, 2010; Woynarovich ve diğ., 2011; Stevčić ve diğ., 2020). Ayrıca bu sıcaklık aralığının kapalı devre sistemlerdeki biyofiltrasyonu sağlayan ve koloni oluşturan bakteriler için de uygun olduğu bilinmektedir (Somerville ve diğ., 2014). Bakteriler için ideal sıcaklık aralığı $17-34^{\circ}\text{C}$ olarak verilmiştir. Su sıcaklığının 17°C altında verimliliğinin azalmaya başladığı ve eğer 10°C altına inerse verimliliğin %50 altına düştüğü bilinmektedir (Somerville ve diğ., 2014).

Bitki büyümesinde sıcaklığın etkisi büyüktür. Marul bir kış bitkisidir ve verimli büyümesi için $15-22^{\circ}\text{C}$ aralıklarındaki sıcaklık değerleri idealdir (Somerville ve diğ., 2014). Atique ve diğ., (2022) çalışmasında gün boyu $12-19^{\circ}\text{C}$ sıcaklık değerleri arasında değişen bir akuaponik sistemde marul ve ıspanak bitkisiyle gökkuşaağı alabalığı yetiştirmiştir. Yine gökkuşaağı alabalığının ve ıspanak bitkisinin kullanıldığı bir akuaponik sistemdeki su sıcaklığı $16,83\pm0,77$ olarak tespit edilmiştir (Petrea ve diğ., 2013). Marul bitkisinin akuaponik sistemde yetiştirildiği diğer çalışmalarda ise su sıcaklıkları 13°C (Moriarty ve diğ., 2018) ve $14,4^{\circ}\text{C}$ (Johnson ve diğ., 2017) gibi düşük su sıcaklıklarında seyretilmiştir.

Bu çalışmada ise bitkilerin büyütüldüğü hidroponik ünitesindeki su sıcaklığı değerleri SN, SK, YN ve YK gruplarında sırasıyla ortalama $15,30\pm0,11^{\circ}\text{C}$, $15,55\pm0,34^{\circ}\text{C}$, $15,30\pm0,12^{\circ}\text{C}$ ve $15,73\pm0,36^{\circ}\text{C}$ olarak tespit edilmiştir. Su sıcaklığı değerlerinde gruplar arasında istatistiksel

açıdan anlamlı bir fark oluşmamıştır. Dolayısıyla bu çalışmadaki sıcaklık değerleri, Somerville ve diğ., (2014)'nin çalışmasına göre marul bitkisinin büyümesi için uyum sağlamaktadır.

Akuaponik sistemlerde çözünmüş oksijen, balıklar, bitki kökleri ve mikroflora için hayati öneme sahiptir (Rakocy ve Hargreaves, 1993; Rakocy ve diğ., 2006). Su sıcaklığı ile sudaki oksijen miktarı arasında kuvvetli bir ilişki mevcuttur. Sudaki çözünmüş oksijen miktarı, sıcaklık ve tuzluluğa göre değişmekle beraber havadaki oksijen miktarına kıyasla 20-40 kat daha azdır ve sudaki yayılım hızı havadakinden on bin kat daha yavaştır (Graham, 1990). Suda bulunabilen maksimum çözünmüş oksijen miktarı, suyun sıcaklığına bağlıdır. Çünkü atmosferdeki oksijenin kısmi basıncı tarafından belirlenen yalnızca belirli bir miktarda oksijen su tarafından çözülebilir. Gökkuşaağı alabalığı için tavsiye edilen minimum oksijen değeri yumurtaların kuluçka döneminde ve yavruların ilk gelişim evrelerinde 5 ile 6 mg/L arasında değişirken daha büyük yaş grupları için yaklaşık 4-5 mg/L olabilir (Woynarovich ve diğ., 2011). Akuaponik sistemlerde alabalık için minimum oksijen içeriği 6 mg/L olarak tavsiye edilmiştir (Somerville ve diğ., 2014). Filtrasyon ünitelerinde olan biyolojik ve kimyasal oksijen ihtiyaçları da düşünüldüğü zaman, çözünmüş oksijen içeriğinin akuaponik sistemlerin her ünitesinde ayrı olarak takip edilmesi gereklidir. Literatürde genellikle bu ihtiyaçları da karşılayabilmek için çözünmüş oksijen miktarının 8-9 mg/L'nin üzerinde tutulması tavsiye edilir (Pereira ve diğ., 2018; Birolo ve diğ., 2020). Alabalığın yetiştirildiği akuaponik sistemlerdeki oksijen değerleri 8,1 (Johnson ve diğ., 2017), 7,52±0,33 (Petrea ve diğ., 2013), 7 mg/L (Velichkova ve diğ., 2019), 9,58-8,69 (Birolo ve diğ., 2020) olarak rapor edilmiştir.

Skov ve diğ., (2011) gökkuşaağı alabalığı büyüttükleri kapalı devre sistemde yaptıkları çalışmada oksijen saturasyonunu deney süresince %80'in üzerinde tuttuklarını bildirmişlerdir. Bizim çalışmamızda oksijen saturasyonu seviyesi de çalışma süresince %90 üzerinde seyretmiştir. Çalışmamızda RAS sistemde SN, SK, YN ve YK gruplarında oksijen saturasyonu sırasıyla %90,91, %89,11, %91,79 ve %95,30 olarak, HP sistemde ise yine aynı grup sırasıyla %92,30, %95,40, %93,30 ve %97,10 olarak tespit edilmiştir. Chun ve Takakura (1994)'e göre marul bitkisinin kökleri için kritik çözünmüş oksijen seviyesi 2,5 mg/L değeri olduğu bildirilmiştir.

Çalışmamızda RAS sistemde SN, SK, YN ve YK gruplarında çözünmüş oksijen miktarı sırasıyla 9,53 mg/L, 9,32 mg/L, 9,77 mg/L, 9,80 mg/L olarak, HP sistemde ise yine aynı sırayla 9,65 mg/L, 9,90 mg/L, 9,81 mg/L, 9,93 mg/L olarak belirlenmiştir. Bu değerler, sistemdeki

canlılar olan gökkuşağı alabalığı ve marul ile nutrientleri dönüştüren bakterilerin yaşamsal faaliyetlerini sürdürmeleri için uygun değerlerdir ve gruplar arasında çalışmanın sonucuna etki edecek bir fark oluşmamıştır.

Genellikle, bitki yetiştirme için önerilen pH hafif asidik (5,5-5,8) iken (Bugbee, 2003), nitrifikasyon için istenen optimum pH 7,5-8,0 arasındadır (Kim ve diğ., 2007). Balıklar ise geniş bir pH aralığını tolere edebilir ve optimum pH değeri türlere göre farklılık gösterir (Arimoro, 2006; Lemarie ve diğ., 2004; Zou ve diğ., 2016). Tyson ve diğ. (2008), akuaponik sistemlerde balık, bitki ve bakterilerin birlikte yaşamaları için uygun pH değerinin 7,5-8,0 aralığında olması gerektiğini iddia etmiştir.

Gökkuşağı alabalığının yaşam safhasına göre pH dayanıklılığı farklılık gösterir. Yetiştirildiği suyun pH değerinin en uygun ve kabul edilebilir pH aralıkları da farklıdır. Gelişmekte olan embriyolar ve yavrular için optimum pH aralığı dardır ve 6,5 ile 8 arasında değişir, ancak kabul edilebilir pH aralığı da dardır. Büyük alabalıklar için optimal pH 6-8,5 arasında, kabul edilebilir pH aralıkları ise oldukça geniş bir aralık olan 4-11,5 arasındadır. Bu değerlerden 4'ün altında veya 11,5 üstündeki bir pH değerinde ölüm görülmeye başlar. Alabalık yetiştiriciliği için Bregnballe (2015), 7,0-8,0 pH aralığını önermiştir. Alabalıklarla yapılan akuaponik çalışmalarında pH değeri 8 (Al-Hafedh ve diğ., 2008), $7,21 \pm 0,34$ (Pereira ve diğ., 2018), 7,1 (Johnson ve diğ., 2017), $6,86 \pm 0,55$ (Petrea ve diğ., 2013) değerlerinde tespit edilmiştir. The Conservation Fund'ın Tatlı Su Enstitüsü'ndeki gökkuşağı alabalığı üretimi için kapalı devre sistemden çıkan toplu atık suyun pH'ı tipik olarak 7,2 değerindedir (Adler ve diğ., 2000).

Akuaponik sistemdeki bakteriler için uygun pH 7,0-9,0 değerleri arasındadır (Antoniou ve diğ., 1990; Goddek ve diğ., 2015). RAS sistemlerde bazı nitrifikasyon bakterilerinin amonyağı nitrate çevirebilmeleri için yaklaşık 7,5 pH değerini istedikleri bildirilmiştir (Goddek ve diğ., 2015; Suhl ve diğ., 2016). Dolayısıyla tatlı su RAS sistemlerini yöneten operatörler, sistem suyunda pH değerinin 7,5 olmasını hedeflerler (Goddek ve diğ., 2019).

Çalışmamızda pH değerleri RAS sistemde SN, SK, YN ve YK gruplarında sırasıyla 7,18, 7,14, 7,17 ve 7,19 olarak, HP sistemde ise yine aynı grup sırasıyla 7,48, 7,47, 7,50, ve 7,47 olarak tespit edilmiştir. Bu pH değerleri literatürde gökkuşağı alabalığı, bakteri ve marul bitkisi için geçen uygun pH değerleri arasındadır.

Elektriksel iletkenlik (EC), suda bulunan toplam besin tuzları miktarını anlamak için hidroponik sistemlerde sıklıkla kullanılan bir parametredir. Ancak sadece elektriksel iletkenlik değerine bakarak sudaki besin karışımının içeriğini, besin türlerinin ayrı ayrı varlığını veya yokluğunu veya miktarını anlamak mümkün değildir (Resh 2022). EC değeri, sadece iyonik besin formlarının varlığını ölçtüğü için akuaponik sistemler için hidroponik sistemler kadar önem arz etmez (Hallam 2017). Bununla birlikte, bitkiler genellikle yalnızca sudaki iyonik besin formlarını kullanır ve bu nedenle EC değeri, bir akuaponik sistemdeki mevcut bitki besini miktarına yönelik genel bir araç veya kılavuz olarak kullanılabilir (Lennard 2017).

Ayrıca EC değerine bakarak yeraltı sularının tuzlu olup olmadığına bakılmaktadır. Buna göre $EC < 1500 \mu S/cm$ ise tatlısu, $EC: 1500-3000 \mu S/cm$ ise acısu ve $EC > 3000 \mu S/cm$ ise tuzlu su olarak sınıflandırılır (Robinove ve diğ., 1958; Askri ve diğ., 2016).

Çalışmamızda toplam çözünmüş katı miktarı, SN, SK, YN ve YK gruplarında sırasıyla RAS içinde 159,24 mg/L, 157,96 mg/L, 184,44 mg/L, 180,93 mg/L, HP içinde 146,00 mg/L, 143,10 mg/L, 145,30 mg/L, 144,20 mg/L olarak tespit edilmiştir.

Literatürde RAS veya akuaponik sistemde elektriksel iletkenlik değerleri alabalık olan sistemde 1,63-1,89/cm (Birolo ve diğ., 2020), $649,04 \pm 66,99 \mu S/cm$ (Petrea ve diğ., 2013), tilapya olan akuaponik sistemde $613,2 \pm 40 \mu S/cm$ (Knaus ve Palm, 2017), sazan olan akuaponik sistemde $588,8 \pm 87 \mu S/cm$ (Knaus ve Palm, 2017), karides kullanılan sistemde $157,72 \pm 24,8 \mu S/cm$ - $183,28 \pm 36,07 \mu S/cm$ arası olarak rapor edilmiştir.

Akuaponik sistemlerde bitkiler tarafından tam olarak emilmeyen iyonların birikmesinden dolayı elektriksel iletkenlikte (EC) sabit bir artış olabilir. Bu, özellikle balık yemine dahil olan sodyum klorürün (NaCl) sistemde birikebileceği akuaponik (AP) ortamlarda görülmektedir. Çok döngülü AP sistemlerde ilave bir tuzdan arındırma adımının eklenmesi bu sorunu çözebilir (Goddek ve Keesman 2018).

Tuzluluk, sodyum klorürün (NaCl) ve bitki besinleri içeren sudaki diğer tuzların konsantrasyonunun göstergesidir. Akuaponik sistemlerde hangi suyun kullanılacağına karar verirken suyun sahip olduğu tuzluluk seviyesi çok önemlidir. Sudaki tuzluluk eğer yüksekse sebze üretimini olumsuz etkileyebilir, özellikle de sodyum klorür nedeniyle yüksekse sodyum toksik olduğu için bitkiler için zararlıdır.

Gökkuşığı alabalıkları, tuza karşı dirençlidir, hem tatlısu, hem acısu, hem de denizde üretilen bir türdür. Bizim çalışmamız 0,5 ppt altında olduğu için tatlı suda gerçekleştirilmiştir. Bu tez çalışmasında, SN, SK, YN ve YK gruplarında RAS sistemlerde ortalama $0,016 \pm 0,001$ iken HP sistemlerde ortalama $0,017 \pm 0,001$ olarak belirlenmiştir.

Balıkların kapalı devre sistemlerde üretilmesi, balıklar tarafından suya salınan maddelerin suda birikip büyüme oranlarının düşmesine ve refahın bozulması sorunlarına neden olabilir (Goddek ve diğ., 2019). Bu gibi sorunlarla baş edebilmek için suyu iyi filtrelemek ve bazı indikatör su kalite parametrelerini (örn. fosfat, amonyak, nitrit, nitrat) iyi izlemek gerekmektedir. Akuaponik sistemlerde bu biriken besin tuzlarını sistemden uzaklaştırmanın yöntemi bitkilerin sudaki besin tuzlarını beslenmek için kullanmasıdır.

Velichkova ve diğ. (2019), yaptıkları bir çalışmada 13,4 g ortalama ağırlığındaki alabalıklarla marul bitkisi kullanarak ortam yataklı ve derin su kültürü akuaponik sistemler arasındaki farkı değerlendirmiştir. Sonuç olarak marul bitkilerinin veriminin, bitki yetiştirme ortamının türüne ve balık biyokütlesine büyük ölçüde bağlı olduğunu bildirmişlerdir. Ortam bulunan (hidroton) sistemin amonyum, nitrat ve orto-fosfat'ı daha iyi azalttığını gözlemlemişlerdir. Petrea ve diğ., (2013) yaptıkları akuaponik çalışmada, PO_4 değerinin $3,7 \pm 1,35$ mg/L olarak bulunduğunu rapor etmiştir. The Conservation Fund'ın Tatlı Su Enstitüsü'ndeki gökkuşığı alabalığı üretimi için devridaim sisteminden çıkan toplu atık suyun fosfor değeri 0,7 mg/L'dir (Adler ve diğ., 2000).

Akuaponik sistemlerde literatürde yapılmış diğer çalışmalarda fosfat değerleri 86,3-106,5 mg/L (Birolo ve diğ., 2020), $1,55 \pm 1,12$ - $1,71 \pm 1,37$ mg/L (Knaus ve Palm, 2017) olarak bulunmuştur. Bizim çalışmamızda bu değer 6 haftalık çalışmanın sonunda SN, SK, YN ve YK gruplarında sırasıyla RAS sistem içerisindeki sularda 0,40 mg/L, 0,42 mg/L, 0,26 mg/L, 0,38 mg/L olarak, HP sistem içerisindeki sularda ise 0,07 mg/L, 0,09 mg/L, 0,17 mg/L, 0,09 mg/L olarak tespit edilmiştir. Bu değerlerden de anlaşılacağı gibi RAS sistemlerde balık dışkıları nedeniyle artan fosfat miktarı hidroponik sistemlerde bitkiler tarafından emildiği için azalış göstermektedir.

Azot elementinin tüm canlı organizmalar için hayati bir önemi vardır. Akuaponik sistemlerde üretilen balıkların yemleri yüksek oranda protein içerdiği için, balıklar tarafından sindirilen azotun çoğu daha sonra balıklar için toksik form olan toplam amonyak (TAN; toplam amonyak nitrojeni) şeklinde suya bırakılır (Zou ve diğ., 2016). Amonyak, nitrit ve nitratın tümü suda

yüksek oranda çözünür. Sucul ortamlarda amonyak iki şekilde bulunur; balıklar için toksik olan iyonize olmayan bir form olan amonyak (NH_3) ve balıklar için düşük toksisiteye sahip iyonize bir form olan amonyum (NH_4^+) (Anthonisen ve diğ., 1976). Bu ikisi toplam amonyak azotunu (TAN) oluşturur, burada iki form arasındaki denge hidrojen iyonlarının konsantrasyonuna (yani pH), sıcaklığa ve tuzluluğa bağlı olarak değişir (Yavuzcan Yıldız ve diğ., 2017). Akuaponik ve RAS gibi sistemlerde günlük su değişimi yapılmazsa yemleme nedeniyle artan protein girişi nedeniyle pH düşecektir. Sistem suyunun artan pH değerini düşürmek ve nötr hale getirmek için bazik solüsyonlar (NaOH , $\text{Ca}(\text{OH})_2$, KOH vb.) eklenmesi halinde, suda aynı amonyak miktarı ölçülmesine rağmen amonyağın iyonize olmayan ve toksik olan formunun konsantrasyonu artacağı için muhtemelen mortaliteye sebep olabilir (Gichana ve diğ., 2018).

Randall ve Tsui, (2002) yaptıkları çalışmada 35 farklı türdeki tatlı su balığını incelemişler ve amonyak için ortalama akut toksisite değerinin 2,79 mg/L NH_3 olduğunu bildirmişlerdir. pH veya sıcaklıktaki bir artış, birleşik amonyak azotu formunun oranını arttırabilir. Örneğin, 20°C'de ve pH 7,0 iken birleşik amonyağın mol fraksiyonu yalnızca %0,4 iken, pH 10 iken %80'e yükselir (Ebeling ve Timmons, 2010).

Yüksek amonyak seviyeleri, kas spazmları, beslenmenin durması, hipereksitabilite ve ölüm ile sonuçlanabilir. Balıklar eğer amonyağa uygun seviyelerin dışında uzun süreli maruz kalırsa anemi, büyümede gerileme ve hastalıklara direnç kaybı oluşabilir (Goddek ve diğ., 2019). Gökkuşaağı alabalığında LD50 ve LD99,9 değerleri 15,6 °C'de belirlenmiş ve sonuç olarak sırasıyla $17,74 \pm 1,02$ ve $40,70 \pm 1,02$ m-mol/kg vücut ağırlığı bulunmuştur (Wilson ve diğ., 1969). Gökkuşaağı alabalığı akuaponik sistemde kullanılan tilapya, kanal yayın balığı veya sazan balığı gibi türlere kıyasla amonyak toksisitesine karşı daha hassastır (Karasu Benli ve Köksal, 2005).

Akuaponik sistemde amonyak miktarı 0 mg/L hedeflenmekle beraber 1 mg/L'i geçmeyecek şekilde olmalıdır (Somerville ve diğ., 2014). Daha yüksek konsantrasyonları balıkların solungaçlarına zarar verebilir ve solunumunu zorlaştırabilir. Kapalı devre alabalık üretimi veya akuaponik sistemde alabalık üretimi yapan bilimsel çalışmalarda amonyak miktarları $0,29 \pm 0,12$ mg/L NH_4^+ (Petrea ve diğ., 2013), 0,55-0,8 (Birolo ve diğ., 2020), $0,12 \pm 0,14$ mg/L TAN (Pereira ve diğ., 2018), olarak tespit edilmiştir. Tilapya ile yapılan akuaponik sistemde amonyak miktarı $0,24 \pm 0,20$ ve sazan balığı ile yapılanda ise $0,27 \pm 0,30$ olarak rapor edilmiştir (Knaus ve

Palm, 2017). Ellis ve diğ., (2002)'ye göre amonyak miktarında kritik eşik değeri gökkuşağı alabalıkları için 0,06-1,10 mg/L olarak bildirilmiştir.

Çalışmamızdaki amonyak değerleri ise SN, SK, YN ve YK gruplarında sırasıyla RAS kısmında 0,21 mg/L, 0,19 mg/L, 0,19 mg/L, 0,19 mg/L, HP kısmında 0,20 mg/L, 0,17 mg/L, 0,16 mg/L, 0,19 mg/L olarak tespit edilmiştir. Genel olarak RAS kısmında balıkların dışkılarından ve solungaçlarından salınım yaptıkları amonyağın bakterilerle dönüştürüldüğü ve HP kısmında ise bu amonyağın azaldığı görülmektedir. Bu değerler alabalık için belirtilmiş olan amonyak sınır değerlerin altındadır (Boyd ve Tucker, 1998; MacIntyre ve diğ., 2008) ve çalışmanın sonucuna herhangi bir olumsuz etki yapmadığı düşünülmüştür.

Amonyak tüketen bakteriler kapalı devre sistemlerde ve akuaponik sistemlerde son ürün olarak ortaya nitrit çıkartır. Nitrit amonyak azotuna kıyasla daha az toksik bir azot formu olsa da, yine de düşük konsantrasyonları bile balıklar için zararlı olabilir. Öyle ki subkronik nitrite maruz kalma, gökkuşağı alabalığında hayatta kalma oranını, büyüme oranını, hematolojiyi, kan biyokimyasını ve solungaç histolojisini etkilediği rapor edilmiştir (Kroupova ve diğ., 2008). En düşük nitrit seviyeleri bile uzun süreli maruz kalınca alabalıklarda önemli fizyolojik değişikliklere neden olmaktadır. Nitrit toksisitesi görülen balıklar, soluk deri rengi veya kahverengi solungaçlar ve kahverengi kan ile hipoksiye özgü davranış değişiklikleri gösterir (Noga, 2010). Bu yüzden akuaponik sistemlerde nitritin nitrata hızlı dönüşümü gereklidir ve nitrit için hedeflenen miktar limit değer olarak verilen 0,02 mg/L değeridir (Somerville ve diğ., 2014).

Türkiye’de alabalık yetiştiriciliği için Tarım ve Orman Bakanlığı’nın verdiği “alabalık yetiştiriciliği için su kalite kriterlerine göre ise nitrit değeri kapalı devre sistemlerde 0,1 veya 0,02 mg/Lt olmalıdır (BSGM, 2022). Nitritin 2 ila 235 g aralığındaki dört farklı boyutta gökkuşağı alabalığı üzerindeki akut toksisitesine ilişkin yapılan bir çalışmada (Russo ve diğ., 1974), LC50 değerinin 0,19 ila 0,39 mg/litre nitrit konsantrasyonuna 4 gün boyunca maruz kalması olduğu rapor edilmiştir. Petrea ve diğ., (2013), gökkuşağı alabalığı ve ıspanak bitkisi yetiştirdiği akuaponik sistemde nitrit seviyesini 0,15±0,06 mg/L olarak, Birolo ve diğ., (2020)’nin gökkuşağı alabalığı ve marulu birlikte yetiştirdiği akuaponik sistemde nitrit seviyesini 0,07-0,18 mg/L olarak, Knaus ve Palm (2017), tilapya ile kurduğu akuaponik sistemde 0,02 ± 0,02 mg/L, sazanla kurduğu sistemde ise 0,03±0,03 mg/L nitrit seviyesi rapor etmişlerdir. Bu çalışmadaki nitrit değerleri ise SN, SK, YN ve YK gruplarında sırasıyla RAS

kısımında 0,10 mg/L, 0,10 mg/L, 0,14 mg/L ve 0,08 mg/L, HP kısmında 0,01 mg/L, 0,01 mg/L, 0,01 mg/L ve 0,01 mg/L olarak tespit edilmiştir.

Nitrat (NO_3), nitrifikasyon sürecinin son ürünüdür ve amonyak ve nitrite nazaran nispeten düşük toksisiteye sahiptir (Davidson ve diğ., 2014; Schroeder ve diğ., 2011; Van Rijn, 2013). Yüksek miktarları balığın solungaç zarındaki düşük geçirgenliğine sebep olmaktadır (Camargo ve Alonso 2006). Nitratın toksik etkisi, oksijen taşıyan moleküllerin kapasitesini etkileyen nitritin toksik etkisi ile benzerdir. RAS sistemlerdeki nitrat konsantrasyonlarının kontrolü, geleneksel olarak, suyun devirdaim süresini veya günlük su değişimini kontrol ederek seyreltme yoluyla sağlanır. Bununla birlikte, nitrat bitkilerin diğer azot formlarına kıyasla daha iyi emebildiği bir üründür ve bu yüzden akuaponikte bitkileri beslemede belirli bir nitrat seviyesinin sağlanması istenir (Goddek ve diğ., 2019).

Somerville ve diğ., (2014)'e göre soğuk su akuaponik sistemde nitrat miktarı 400 mg/L'dir. Petrea ve diğ., (2013), gökkuşağı alabalığı ve ıspanak bitkisi yetiştirdiği akuaponik sistemde nitrat seviyesini $95,33 \pm 6,68$ mg/L olarak, Birolo ve diğ., (2020)'nin gökkuşağı alabalığı ve marulu birlikte yetiştirdiği akuaponik sistemde nitrat seviyesini 314-417 mg/L olarak, Knaus ve Palm (2017), tilapya ile kurduğu akuaponik sistmdde $7,16 \pm 5,70$ mg/L, sazanla kurduğu sistemde ise $9,24 \pm 7,66$ mg/L nitrat seviyesi rapor etmişlerdir.

Türkiye'de alabalık yetiştiriciliği için Tarım ve Orman Bakanlığı'nın verdiği "alabalık yetiştiriciliği için su kalite kriterleri"ne göre ise nitrat değeri kapalı devre sistemlerde 100 mg/L olmalıdır (BSGM, 2022). Çalışmamızdaki nitrat değerleri ise SN, SK, YN ve YK gruplarında sırasıyla RAS kısmında 11,05 mg/L, 10,32 mg/L, 13,25 mg/L, 10,67 mg/L, HP kısmında 5,86 mg/L, 6,00 mg/L, 5,42 mg/L, 5,23 mg/L olarak tespit edilmiştir.

Demirin sucul ekosistemlerdeki davranışı dinamiktir ve ışık, sudaki çözünmüş oksijen miktarı ve pH dahil olmak üzere bir dizi karmaşık çevresel koşuldan etkilenir (Randall ve diğ., 1999; Phippen ve diğ., 2008). Bununla birlikte, akuaponik sistemin suyundaki konsantrasyonu dikkate alınmadan sürekli demir ilavesinin yapılması tehlikelidir, çünkü demir balıklarda toksisiteye neden olabilir (Dalzell ve Macfarlane, 1999; Bury ve Grosell, 2003; Phippen ve diğ., 2008). Randall ve diğ., (1999), suda yaşayan organizmalar için 1,69 mg/L'ye kadar olan demir miktarının güvenli olduğunu bildirmiştir. Başka bir çalışmada (Phippen ve diğ., 2008), bu değerin 0,35–1,0 mg/L aralığında olması gerektiği tavsiye edilmiştir. Bu yüzden, bir akuaponik

sistemde balıklara yönelik demir toksisitesini önlemek için, sudaki demir konsantrasyonunun 1,7 mg/L'nin altında tutulması önemlidir. Bitkiler, balıklara göre daha yüksek miktarda demir ihtiyacı duyduğu için ayrılmış akuaponik sistemler çözüm sağlayabilir (Goddek ve diğ., 2015). Başka bir akuaponik sistem çalışmasında (Petrea ve diğ., 2013) demir miktarı $0,37 \pm 0,16$ mg/L olarak bildirilmiştir. Bu çalışmadaki demir değerleri ise SN, SK, YN ve YK gruplarında RAS kısmında 0,01 mg/L olarak, HP kısmında ise 0,01 mg/L'in altında olduğu tespit edilmiştir. Çalışmamızda kullandığımız sistemde tespit edilen demir miktarları bilimsel literatürdeki sonuçlarla örtüşmektedir.

Alabalıklarda yapılmış olan devamlı yüzme deneylerinde genellikle 0,9-1 balık boyu / saniye akıntı hızı, ulaşımın enerji maliyeti açısından daha başarılı sonuçlar vermiştir (Davison ve Goldspink, 1977; Greer Walker ve Emerson 1978; Houlihan ve Laurent, 1987; Skov ve diğ., 2015). Bazı çalışmalarda (Deschamps ve diğ., 2009; Martin ve Johnston, 2006), 0,9-1 BB/s 'den yüksek akıntı hızı yaratıldığında balıkların artan enerji ihtiyacını dışardan aldıkları besinle karşılayamadıkları için büyümeye olumlu bir etki gözlenmediği ve bazen gerilediği belirtilmiştir. Buna ilaveten 0,9-1 BB/s hızından daha düşük hızlarda tutulan alabalıklarda ise yüzme hareketinin etkisinin durgun suyla arada fark oluşturmadığı gözlemlenmiştir (Kiessling ve diğ., 2005; Hoffnagle ve diğ., 2006). Bizim çalışmamızda da gökkuşağı alabalığı için en düşük taşıma maliyetine sahip yüzme hızı olarak kabul edildiğinden (Webb, 1971), yaklaşık saniyede 1 vücut uzunluğu (1 BB/s) yüzme hızına karşılık gelen bir su akış hızı seçilmiştir.

Alabalıkların tankında akıntı yaratılması, alabalıkların sürü oluşturma davranışını teşvik ederek ve bireyler arasındaki agresif etkileşimi ve dolayısıyla stresi azaltarak hayvan refahı açısından bir katkıda bulunmaktadır (Larsen ve diğ., 2012). Ayrıca yüzmenin etkisi ile alabalıkların iskeletlerinin geliştiği ve akuakültürde önemli bir ekonomik kayba neden olan anomali sorunlarının da giderildiği belirtilmiştir (Deschamps ve diğ., 2009). East ve Magnan (1987), balıkların sürü halinde yüzmesinin, onlara hidrodinamik yararlar ve sabit yüzme özelliği sağlamakta olduğunu rapor etmiştir. Brännäs (2009), durgun suda yüzen balıkların daha sık aralıklarla spontane ve düzensiz aktivite sergilediklerini bildirmiştir.

Aralıklı hareket yaptırmak çelişkili sonuçlar verdiğinden, potansiyel olarak salmonidler devamlı yüzme koşulları altında tutulmalıdır. Örneğin Azuma (2001) masu somonu ile yaptığı çalışmada, devamlı veya günde 6 saat hareket rejimleri altında 1 BB/s'de 300 gün boyunca

tutmuş ve sonuç olarak devamlı yüzdürülen balıklarda büyüme artarken, aralıklarla yüzdürülen balıklarda bir etki görülmemiştir.

Alabalıklar dışında da devamlı hareket yaptırıldığında büyümeye olumlu katkıların görüldüğü balık türleri bulunmaktadır. Örneğin zebra balığı (Palstra ve diğ., 2010), çipura (Ibarz ve diğ., 2011), sarı kuyruk akya (Yogata ve Oku 2000; Brown ve diğ., 2011), bakalyaro (Hammer 1994) akıntıya karşı yüzdürüldüklerinde durgun suda tutulmalarına kıyasla daha iyi büyüme gösteren türler arasında sayılabilir.

Houlihan ve Laurent (1987) 12°C'de doyana kadar besleyerek yetiştirdikleri alabalıklarda saniyede 1 balık boyu akıntı hızında yüzen balıkların sabit suda tutulan balıklara kıyasla daha yüksek büyüme oranına sahip olduklarını bildirmişlerdir. Başka bir çalışmada (Larsen ve diğ., 2012), 19 °C'de 0,9 BB/s su akıntısında yüzdürülen alabalıkların metabolik maliyetleri azalmış ve yüksek yetiştirme yoğunluğunda canlı ağırlık artışının fazla olduğu saptanmıştır. Bu sonuçların aksine gökkuşağı alabalıklarıyla 0,9 BB/s akıntı hızında ve %1 beslenme oranı ile yapılan bir çalışmada (McKenzie ve diğ., 2012), alabalıkların akıntıda tutulmasının durgun suda tutulan balıklara kıyasla büyüme üzerinde hiçbir olumlu etkiye rastlanmamıştır.

Bugeon ve diğ., (2003), kahverengi alabalık (*Salmo trutta*) kullandığı ve 8 ay süren çalışmasında, 1 BB/s'de sürekli olarak yüzdürülen balıkların, sabit suda tutulan balıklara kıyasla büyümede %22'lik bir artış sağladığını rapor etmişlerdir. Yogata ve Oku (2000) sarıkuyruk akya balığı juvenilleri ile yaptıkları çalışmada, 0–2,25 BB/s akıntı hızlarını ve iki farklı yem denemesi yapmışlar ve sonuç olarak yüzme hareketi yaptırılan bütün balıkların kontrol gruplarından daha iyi canlı ağırlık artışına sahip olduğunu rapor etmişlerdir.

Bu tez çalışmasında doyana kadar beslenen gruplar ($62,75 \pm 0,81$ g SN, $65,08 \pm 0,78$ g YN) beklendiği gibi yem kısıtlamasına gidilen gruplardan ($48,66 \pm 2,33$ SK, $41,22 \pm 1,82$ YK) daha yüksek canlı ağırlık artışı göstermiştir. Kısıtlı yem verilen gruplar arasındaysa artan enerji maliyetlerini karşılayamadığı için akıntı sağlanan grup sabit suda tutulan gruba göre daha düşük ağırlık artışına sahip olmuştur.

Larsen ve diğ. (2012)'nin yaptığı çalışmada düşük yoğunlukta tutulan ve 0,9 BB/s akıntı uygulanan gökkuşağı alabalıklarının sabit akıntıda tutulan balıklara kıyasla daha iyi SBO değerlerine sahip olduklarını belirtmiştir. McKenzie ve diğ. (2012) gökkuşağı alabalıklarında

yaptıkları çalışmada, balık başına düşen yem alım miktarında akıntı olan sistemlerde sabit tutulanlara kıyasla istatistiksel olarak farklı olmasa da kısmen bir artış gözlemlemişlerdir.

Gökkuşuğu alabalıklarında farklı akıntı hızlarında yapılan bir çalışmada (Skov ve diğ., 2015), balıkların toplam kg ağırlığı başına kaç g toplam yem aldıklarına bakıldığında, akıntısız ortamda tutulan balıkların ortalama 285 g/kg, 0,5 BB's akıntılı ortamda tutulanların 288,6 g/kg, 1 BB's akıntılı ortamda tutulan balıkların ise diğer iki gruptan anlamlı bir şekilde yüksek olarak 304,3 g/kg balık yem aldıkları tespit edilmiştir.

Bu çalışmamız 42 gün sürmüş, 16°C sıcaklıkta tutulan gökkuşuğu alabalığı 1 BB/s akıntı hızında sürekli yüzme hareketi yaptırılan balıklar doyana kadar beslendiğinde $60,00 \pm 0,72$ g ile en çok yem alan grup olmuştur. Daha sonra en çok yem alan grup doyana kadar beslenen akıntısız suda tutulan balıkların olduğu SN grubudur. Kısıtlı beslenen SK ve YK grupları ise sırasıyla $41,13 \pm 2,27$ ve $39,02 \pm 1,46$ g yem alımlarıyla birbirleri arasında fark etmeksizin doyana kadar beslenen gruplardan daha az yem alımı gerçekleştirmiştir. Yem alım miktarının yüzme hareketi ile arttığı fakat kısıtlı yem verildiği zaman gökkuşuğu alabalıkları arasında yüzme hareketinin etkisini yitirdiği tespit edilmiştir.

Kondisyon faktörü, balığın boyu ve ağırlığı arasında bir ilişkidir. Alabalık yetiştiriciliğinde kondisyon faktörüne bakarak balığın yeterli beslenip beslenmediği hakkında fikir sahibi olunabilir. Gökkuşuğu alabalığı üzerinde yapılan uzun süreli yem kısıtlaması çalışmalarında, 4 ay boyunca aç bırakılan yaklaşık 55 g ortalama ağırlıktaki yavru alabalıklarda kondisyon faktörünün 1'in altına indiği bildirilmiştir (Jørgensen ve diğ., 2016). Yaklaşık 280 g ortalama ağırlığa sahip ergin balıklarda ise K değerlerinin başlangıçtaki 1,15-1,2 olan değerlerden 1 ay aç bırakıldıktan sonra 1,05 seviyesine düştüğü ve 4 ay sonra ise 0,9 seviyesine kadar gerilediği rapor edilmiştir (Pottinger ve diğ., 2003). Bu nedenle, K faktörünün yaklaşık olarak 1,0 veya 1'den daha düşük bir değere sahip olması çiftlikte yetiştirilen gökkuşuğu alabalığında zayıflamanın göstergesi olabilir. Bunun tam tersi olarak gökkuşuğu alabalığı eğer aşırı beslenirse, karın boşluğunda yağ birikintileri oluşabilir. Her ne kadar bu şekilde çok fazla yem verme kaynaklı bir yüksek kondisyon faktörü durumunun balık refahı üzerindeki etkileri net olarak bilinmese de, bu durum hatalı yemlemenin bir işareti sayılabilir (Noble ve diğ., 2020).

Bugeon ve diğ., (2003), kahverengi alabalık (*Salmo trutta*) kullandığı ve 8 ay süren çalışmasında, 1 BB/s'de sürekli olarak yüzdürülen balıkların, sabit suda tutulan balıklara kıyasla

kondisyon faktörü ve vücut şeklinde olumlu değişiklikler saptamışlardır. Akuaponik sistem içerisinde üretilen gökkuşağı alabalığı ile yapılan bir çalışmada (Birolo ve diğ., 2000) kondisyon faktörü 1,35 – 1,37 arasında tespit edilmiştir.

Kahverengi alabalıkta (*Salmo trutta*) yapılan bir çalışmada (Pakkasmaa ve Piironen 2001), hareket nedeniyle iskelet büyümesi üzerinde arttırıcı bir etki ve buna eşlik eden bir vucüt inceliği nedeniyle kondisyon düşüklüğü bildirilmiştir. Bu muhtemelen büyüme hormonunun aracılık ettiği bir etki yoluyla gerçekleşir, bunun üzerine iskelet büyümesine öncelik verilir ve lipidlerin yanmasından kaynaklanan enerji arzı artar (Donaldson ve diğ., 1979). Bizim çalışmamızda da yüzdürülen ve doyana kadar yem verilen grubunun istatistiksel olarak anlamlı bir şekilde uzun boya sahip olması bu nedenden kaynaklandığı düşünülmektedir. Fakat literatürde hareketin kondisyon faktörü üzerinde etkisinin olmadığını gösteren çalışmalar da mevcuttur (Anttila ve diğ., 2010) ve hatta azalmanın aksine, yorucu egzersiz gibi bazı koşullar altında artışlar bile rapor edilmiştir (Nakagawa ve diğ., 1995; Azuma ve diğ., 2002). Bizim çalışmamızda yeterli beslenme olduğu durumlarda yüzme hareketi yaptırılan grupta balıkların daha uzun boylara sahip olmalarından kaynaklı olarak $1,32 \pm 0,01$ kondisyon faktörü değeri tespit edilmişken sabit tutulan ve hareket yaptırılmayan grupta $1,38 \pm 0,01$ değeri tespit edilmiştir. Aynı örüntü kısıtlı beslenen gruplar arasında da aynı şekilde oluşmuştur. Besin kısıtlaması grupları arasında egzersiz yaptırılan grubun kondisyon faktörü değeri $1,16 \pm 0,04$ ile daha düşükken, sabit suda tutulan grubun kondisyon faktörü değeri $1,24 \pm 0,06$ bulunmuştur.

Larsen ve diğ. (2012)'nin yaptığı çalışmada düşük yoğunlukta tutulan ve 0,9 BB/s akıntı uygulanan gökkuşağı alabalıklarının sabit akıntıda tutulan balıklara kıyasla daha iyi SBO değerlerine sahip olduklarını belirtmiştir. Skov ve diğ., (2015) çalışmalarında da gözlemlendiği gibi, akıntıya karşı yüzdürülen balıklarda eğer kısıtlı bir besleme rejimi uygulanırsa SBO ve YYO değerlerinde azalma görülmektedir. McKenzie ve diğ., (2012), alabalıklarda spesifik büyüme oranını durgun suda 1,36 ile 1,41 arasında, akıntılı suda 1,35 ile 1,42 arasında bulmuş ve akıntının SBO üzerinde olumlu bir etkisinin olmadığını belirtmiştir.

Bu çalışmada deney grupları arasında en yüksek spesifik büyüme oranı $2,94 \pm 0,02$ değeri ile doyana kadar beslenen ve yüzme egzersizi yaptırılan grupta tespit edilmiştir. Durgun suda tutulan ve doyana kadar beslenen grupta ise $2,85 \pm 0,02$ değeri ile egzersiz yaptırılan gruptan daha düşük değerde bulunmuştur. Kısıtlı beslenen gruplar arasındaki SBO değerlerini kıyasladığımızda, durgun suda tutulan grubun ($2,45 \pm 0,07$), akıntıda tutulan gruptan

($2,21 \pm 0,09$) daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Doyana kadar beslenen gruplar ile kısıtlı yem verilen gruplar arasında SBO değeri kıyaslandığı zaman doyana kadar beslenen grupların daha yüksek SBO değerine sahip olduğu görülmektedir. Benzer yem verilen gruplar arasında yüzme egzersizinin etkisi incelendiğinde ise doyana kadar beslenen gruplar arasında yüzme egzersizi yapan grubun daha yüksek SBO'ye sahip olması fakat yem kısıtlaması grupları arasında bu durum tam tersi durgun sudaki SBO değerinin daha yüksek bulunmasıyla sonuçlanmıştır. Bu sonuçlara göre spesifik büyüme oranının yeterince yem verildiği takdirde yüzme egzersizi sayesinde artacağı fakat kısıtlı yem verilmesi durumunda yüzmenin negatif etki göstereceği söylenebilir.

Çalışmamızda elde edilen YYO değerleri SN, SK, YN ve YK grupları için sırasıyla $0,89 \pm 0,01$, $0,84 \pm 0,01$, $0,92 \pm 0,01$, $0,95 \pm 0,01$ olarak tespit edilmiştir. Bu değerlerin hepsi alabalık üretiminde istenen ideal yemden yararlanma oranı değeri olan 1 ve 1'in altındaki bir değerdir (Pulkinen ve diğ., 2019; Salgado-Ismodes ve diğ., 2020). Yemden yararlanma oranı değerleri juvenil alabalıkların deney süresince uygun bir yemle ve uygun beslenme koşullarında tutulduğunu göstermesi açısından önemlidir.

Larsen ve diğ. (2012)'nin yaptığı çalışmada düşük yoğunlukta tutulan ve 0,9 BB/s akıntı uygulanan gökkuşağı alabalıklarının sabit akıntıda tutulan balıklara kıyasla daha iyi YYO değerlerine sahip olduklarını belirtmiştir. Atique ve diğ., (2022)'ne göre akuaponik sistemde yetiştirilen alabalıklar RAS sistem içerisinde yetiştirilen balıklardan daha düşük YYO değerlerine ve daha iyi büyüme oranlarına sahiptir. Afrika kedi balığında yapılan bir akuaponik sistemde ise (Birolo, 2009) YYO değerleri 1,23-1,39 arasında değişmiştir. Akuaponik sistem içerisinde üretilen gökkuşağı alabalığı ile yapılan bir çalışmada (Birolo ve diğ., 2000) YYO 1,58 bulunmuştur.

Gökkuşağı alabalığında %1 beslenme oranı ile yapılan 42 günlük bir çalışmada (McKenzie ve diğ., 2012), 0,9 BB/s akıntı hızında ve 14°C 'de büyütülen alabalıklarda yem dönüşümü üzerinde (sabit suda 0,79-0,83 YYO ve akıntılı suda 0,8-0,89 YYO) hiçbir olumlu etki bulunamamıştır hatta istatistiksel olarak anlamlı olmasa bile sabit suda tutulan balıkların YYO değerlerinin biraz daha düşük olduğu bildirilmiştir. Bu sonuçlar, çalışmamızda elde ettiğimiz sabit sudaki düşük YYO değerleri ile örtüşmektedir.

Skov ve diğ., (2015) yaptıkları çalışmada, 0,5 BB/s akıntı hızında tutulan balıklarda 1,18 YYO değeri, sabit suyla tutulan balıklarda da aynı şekilde 1,18 YYO değeri olarak aynı bulunmuşken, 1 BB/s akıntı hızında tutulan gökkuşağı alabalıklarında ise 1,12 YYO değeri bulmuştur ve bu değer düşük akıntılı (0,5 BB/s) gruptan daha düşük bir değerdir. Bu tez çalışmasında sabit suda tutulan balıkların YYO değerlerinin yüzme egzersizi yaptırılan gruplardan daha düşük bulunmuştur. Skov ve diğ., (2015) ile bu tez çalışması arasında YYO değerleri farklılıklarının iki çalışma arasındaki balıkların ağırlık farkı (Skov ve diğ. (2015) 110 g – bu tezde 26 g) ile alakalı olduğu düşünülmektedir.

Damsgard ve diğ (1997), besin rasyonlarında ve/veya su akış hızındaki bir azalmanın, tür içi hiyerarşiyi arttırdığını ve her iki faktörün de besin alımında bireyler arası değişkenliğin artmasına yol açarak, varyasyon katsayısını (VK) arttırdığını tespit etmiştir. Daha sonra yeterli beslenmenin sağlanması ve akıntının normale döndürülmesi durumunda ise VK değerinin tekrar azalarak eski değerine döndüğü gözlenmiştir.

Balıklar tank içinde gruplar halinde yetiştirildikleri için yem kısıtlaması nedeniyle tüm balıklar eşit olarak büyümeyecektir. Gıda arzı ne kadar kısıtlanırsa, sınırlı kaynak için rekabet o kadar büyük olur ve bireyler arasında oluşan gıda alımındaki eşitsizlik o kadar belirgin olur (McCarthy ve diğ., 1992; Grant, 1993; Jobling, 1995). Bu nedenle, balıklar sınırlı rasyonlarla beslendiğinde, bazı bireyler gıda arzını tekelleştirebilir ve kendi büyümelerini sürdürmek için yeterli miktarda yem tüketebilirken, diğer bireyler yeme ulaşamayarak aç kalır ve kilo verir. Bu eşitsizlikler, zamanla boyuttaki varyasyonda bir artışa neden olur (Davis ve Olla, 1987; Thorpe ve Huntingford, 1992; Grant, 1993; Jobling, 1995).

Bizim çalışmamızda en yüksek varyasyon katsayısının $18,99 \pm 1,69$ değeriyle SK grubunda, ikinci en yüksek değerin $13,15 \pm 0,77$ ve $11,34 \pm 1,30$ değerleri ile sırasıyla YK ve SN grubunda, en düşük değerin ise $7,61 \pm 0,56$ değeri ile YN grubuna ait olduğu tespit edilmiştir. Bu veriler literatürdeki bilgilerle örtüşmektedir. Zira yetersiz yem verildiğinde tank içindeki balık ağırlığı varyasyonun arttığı tespit edilmiştir. Bu çalışmadan çıkan ve dikkat çeken başka bir çıktı ise akıntının etkisi ile varyasyonun azalmasıdır. Bunun sebebinin de balıkların akıntıya karşı yüzmesi nedeniyle tank içindeki diğer balıklara saldırgan hareketlerinin azalmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Parker ve Barnes (2014)'nin 2,6 g ağırlığına sahip bir salmonid türü olan *Oncorhynchus tshawytscha* juvenillerinde yaptıkları çalışmaya göre yüzme egzersizinin HSI değerlerine olumlu ya da olumsuz bir etkisinin olmadığı rapor edilmiştir. Chellappa ve diğ., (1995)'ne göre açlık nedeniyle glikojen rezervleri azalan balıklar bunun yerine su tutabilmekte bu da HSI değerlerine bakarak enerji rezervi açısından değerlendirmeyi zorlaştırmaktadır. Arbeláez-Rojas ve Moraes, (2013)'nin *Brycon amazonicus* türünde yaptıkları çalışmaya göre 1,0-1,5 BB/s arasındaki akıntı hızında yüzdürülen balıkların hepatosomatik indeksi 1,5 BB/s'den daha yüksek hızlarda yüzenlere göre daha yüksek ve visceral yağ miktarı da daha az bulunmuştur.

Good ve diğ., (2016)'nin 200 g ağırlığa sahip gökkuşağı alabalıklarıyla yaptıkları çalışmada, saniyede 2 balık boyu akıntı hızına karşı yüzdürülen balıkların durgun suda tutulan balıklara kıyasla HSI değerlerinde istatistiksel açıdan önemli bir farklılık kaydedilmezken, akıntıya tabi tutulmamış gökkuşağı alabalığında HSI değerinin genellikle daha yüksek olduğu rapor edilmiştir ($p=0,053$). Bunun sebebinin muhtemelen balığın yemden aldığı enerjiyi hareket ederek yakamaması ve karaciğerinde yağ dokusu olarak depolamasından kaynaklandığı tahmin edilmektedir (Good ve diğ., 2016).

Çalışmamızda da çalışma gruplarının hepatosomatik indeks değerleri gruplar arasında anlamlı şekilde farklılık göstermiştir ($p<0,05$). Çalışma grupları arasında en yüksek hepatosomatik indeks değerinin $1,56\pm0,14$ değeriyle SN grubuna ait olduğu belirlenmiştir. Diğer gruplar istatistiksel olarak SN grubundan düşük ve birbirleri arasında fark oluşturmamıştır. SK grubunda $1,36\pm0,13$ değeri, YN grubunda $1,26\pm0,02$ değeri ve YN grubunda ise $1,16\pm0,02$ değeri belirlenmiştir. Yüzme hareketi yapan balıkların, yüksek hızın neden olduğu artan enerji talebinin sonucu olarak HSI değerinde bir düşüş olması beklenmekteydi. Çünkü yorucu hareketin glikojen depolarının azalmasına ve ardından karaciğer ağırlığında azalmaya yol açacağı düşünülüyordu. Sonuçlar bu beklenen hipotezi doğrulamaktadır. Doyana kadar yem verilen gruplarda yem kısıtlamasına gidilen gruplardan daha yüksek HSI sonuçları elde edilmiştir. Aynı şekilde doyana kadar beslense bile yüzme etkisi ile azalan glikojen depoları nedeniyle YN grubunda SN grubuna göre daha düşük HSI sonuçları elde edilmiştir. Yüzdürülen gruplar doyana kadar beslenmesi veya besin kısıtlaması yapılmasından bağımsız olarak durgun suda tutulan balıklardan daha düşük bir ortalama hepatosomatik indeks değerine sahip bulunmuştur.

Parker ve Barnes (2014)'nin 2,6 g ağırlığına sahip juvenil *Oncorhynchus tshawytscha* türünde yaptıkları çalışmaya göre yüzme hareketinin balıklar üzerinde VSI değerlerine olumlu ya da olumsuz bir etkisi olmamıştır. Good ve diğ., (2016)'nin 200 g ağırlığa sahip gökkuşağı alabalıkları ve 120 g ağırlığa sahip atlantik salmon balıkları ile yaptıkları çalışmada, her iki tür de saniyede 2 balık boyu akıntı hızına karşı yüzdürülen balıkların durgun suda tutulan balıklara kıyasla VSI değerlerinde istatistiksel olarak bir fark gözlenmezken, visseral ağırlık genellikle hareket yaptırılan atlantik salmonunda ortalama olarak daha düşük bulunmuştur ($p=0,052$), bunun da muhtemelen sürekli harekete yanıt olarak viseral yağ rezervlerinin daha az birikiminden veya artan mobilizasyondan kaynaklandığı tahmin edilmiştir (Good ve diğ., 2016). Gruplara ait viserosomatik indeks bulguları Şekil 4.22'de verilmiştir. Çalışma gruplarının viserosomatik indeks değerlerinde gruplar arasında anlamlı şekilde farklılık gözlenmiştir ($p<0,05$). Çalışma grupları arasında en yüksek viserosomatik indeks değerinin $8,48\pm0,57$ değeriyle SN grubuna, ikinci en yüksek değerin $7,46\pm0,68$ değeriyle SK grubuna ve $7,18\pm0,52$ değeriyle YN grubuna, en düşük değerin ise $6,94\pm0,93$ değeriyle YK grubuna ait olduğu belirlenmiştir. SN grubu sabit suda tutulan ve doyana kadar beslenen grup olduğu için iç organlarında biriken yağ miktarının vücut ağırlığına oranı yüzdürülen veya sabit tutulsa bile yem kısıtlamasına gidilen balıkların olduğu gruplardan daha yüksek bulunmuştur. Bunun sebebinin balıklara doyana kadar beslenme yapıldığında ve sabit suda kısıtlı alanda hareketsiz kaldığında, fazladan gelen enerjinin iç organlarında yağ doku olarak saklanması kaynaklandığı düşünülmektedir. Doyana kadar beslenen fakat yüzme hareketi yaptırılan balıklarda ise tam tersi şekilde iç organlarda yağlanmayı azalttığı görülmektedir. Elde edilen bulgular ışığında balıkların yüzme hareketleri yapmasının VSI değerleri açısından olumlu etkileri gözlenmiştir.

Gökkuşağı alabalığının filetosundaki besin bileşimi büyük oranda yediği yemi yansıtmakta ve farklı beslenme bileşimleri farklılaşmalara neden olabilmektedir. Gökkuşağı alabalığı, yüksek besleyici değere sahip iyi dengelenmiş amino asit bileşimi ile mükemmel bir protein kaynağıdır ve bu özellikleri, kullanılan yemin ve formülasyonunda yer alan deniz kaynaklı ham madde miktarından etkilenmemektedir (Turchini ve diğ., 2018).

Bu çalışmada, en yüksek toplam esansiyel amino asit miktarı 8369,9 mg ile SK grubunda en düşük toplam esansiyel amino asit miktarı ise 7931,5 mg ile YK grubuna ait balıklarda tespit edilmiştir. Toplam yarı esansiyel amino asitler incelendiğinde en yüksek değerin 7925,3 mg ile

YN grubuna en düşük değerin ise 5307,8 mg ile SK grubuna ait olduğu görülmektedir. Toplam esansiyel olmayan amino asitlerin değerlerinde de en yüksek değere sahip grup 10607 mg ile SK grubu, en düşük değere sahip grup ise 10145,4 mg ile YN grubu olmuştur. Aradaki farkların gruplar arasında anlamlı bir fark oluşturmadığı ve yüzme aktivitesi veya yem kısıtlaması uygulamalarının balıklarda amino asit profillerine istatistiksel anlamda bir fark oluşturmadığı gözlenmiştir. Bu tez çalışmasında da elde edilen sonuçlar literatüre uygun olarak, gökkuşağı alabalıklarında yem kısıtlaması yapılmış veya doyana kadar beslenmiş olması fark etmeksizin benzer amino asit profilleri oluşmuştur. Dolayısıyla, balıklar arasında farklı yem miktarı verilmesinin veya farklı yüzme koşullarında tutulmalarının amino asit kompozisyonu üstünde etkisinin olmadığı belirlenmiştir.

Balık yüksek oranda içerdiği çoklu doymamış yağ asitleri nedeniyle sağlıklı bir gıda maddesidir. Balık ürünlerinde yer alan ω -3 yağ asitleri olan EPA ve DHA gibi yağ asitleri insan vücudundaki birçok işlev için gerekli olan esansiyel içerikleridir. Filetodaki yağ miktarı ve özellikle ω -3 yağ asitleri miktarı ne kadar yüksekse, filetonun besin değeri de o kadar yüksektir. İnsan sağlığı üzerinde farklı etkileri bulunan ω -3 ve ω -6 PUFA'lar, desatürasyon ve uzama gibi aktiviteler için aynı enzim gruplarına ihtiyaç duyarlar ve bu nedenle her ikisinin uygun oranda alımı oldukça önemlidir. Bu PUFA'ların yetersiz ve dengesiz alımı sağlık sorunlarına da yol açabilmektedir (Simopoulos, 2002).

Akuaponikte balık türlerinde kısa süreli açlık (günler-haftalar) veya uzun süreli açlık (aylar) sırasında yağ asitlerinde değişim meydana gelip gelmediği üzerine literatürde bir boşluk bulunmaktadır. Bu çalışma kapsamında akuaponik sistemde yüzme aktivitesi ve yem kısıtlaması uygulanan gökkuşağı alabalığının gruplarına ait yağ asitleri kompozisyonları incelenmiştir (Tablo 4.4). Çalışma gruplarına ait PUFA değerleri incelendiğinde başlangıca göre bir miktar artış görülmektedir. Grupların hepsinde genel olarak en bol bulunan doymuş yağ asitleri palmitik asitler (C16:0) ve stearik asit (C18:0) iken, tekli doymamış yağ asitlerinde en bol bulunanlar oleik asit (C18:1) ve palmitoleik asittir (C16:1).

Hem EPA (20:5 ω -3,) hem de DHA (22:6 ω -3,) içeriği bakımından bu çalışmada akuaponikte yetiştirilen gökkuşağı alabalıklarında toplam PUFA içeriği toplam yağ asitleri kompozisyonunda miktar olarak en üst sırada yer alırken, toplam SFA miktarı ise en alt seviyededir. Balık filetolarının yağ asitleri kompozisyonunu etkileyen faktörler arasında diyet, genel yetiştirme koşulları yer almaktadır (Fabrikov ve diğ., 2021, Li ve diğ., 2011).

Çalışma sonucunda tüm gruplardaki linoleik [C18:2n6] (%21,82-22,32) asit miktarı akuaponik sistemde gökkuşağı alabalığı çalışan Bordignon ve diğ. (2022) bulguları (%20,7-21,4) ile uyumludur. Balıklar ve memeliler, oleik asidi (18:1 n-9; OA) LA ve α -linolenik aside (18:3 n-3; ALA) dönüştürmekten sorumlu enzimlerden (Δ 12 ve Δ 15 desatürazlar) yoksun olduklarından, öncüllerden ω -3 sentezleyemezler ve doku gelişiminde gerekli olduğu için bunların diyet ile dışarıdan alınması şarttır (Strobel ve diğ., 2012).

Çelik (2000) tarafından gerçekleştirilen 90 günlük çalışmada su akıntısının (1,5-2 balık boyu/sn) gökkuşağı alabalığının ω -3 yağ asitlerine olan etkisi incelenmiştir. Su akıntısının uygulandığı gruplarda akıntısız gruba göre daha yüksek miktarda C18:3 ω -3, C18:4 ω -3, C20:4 ω -3, C20:5 ω -3 yağ asitleri bulunmasına rağmen ortalama olarak akıntısız grupla arasında fark bulunmamıştır (Çelik, 2000). Bir diğer çalışmada Manor ve diğ. (2014)'lerinin çalışmasına göre farklı yem miktarı ile beslenen gökkuşağı alabalıklarının kas dokusunda daha yüksek SFA miktarına tespit edilirken MUFA ve PUFA değerleri bu durumdan etkilenmemiştir. Gökkuşağı alabalığında yem kısıtlaması oranı arttıkça kas dokudaki yağ miktarı azaldığından gruplar arasında yağ asitleri miktarlarında farklılıklar oluşmaktadır; fakat bu hesap yağ miktarına oranla yapıldığında gruplar arasında bir fark oluşmamaktadır (Johansson ve diğ., 2000). Çalışmamızda da benzer bir durum oluşmuş olup gruplar arasında yağ asitleri miktarlarında yüzde olarak bir fark oluşmamıştır ($p < 0,05$).

Glutasyon ROS'un neden olduğu hücre hasarına karşı koruma sağlayan endojen bir koruma sistemidir. GSH organizmada başta karaciğer olmak üzere pek çok dokuda yüksek düzeyde bulunur. ROS ve peroksitlerle reaksiyona girerek hücreleri oksidatif strese karşı korur (Frei, 1994; Yalçın, 1998). Beslenme ve hareket süresi GSH düzeyi üzerinde etkilidir. Yetersiz beslenme, stres vücutta GSH düzeyinin azalmasına neden olur. Organizmanın herhangi bir aktivitesi için biyokimyasal yakıt gereklidir. Bu yakıt, besin maddelerinin tüketilmesi elde edilen enerjiden sağlanmaktadır. Enerji gereksinimi yaş, cinsiyet, vücut yapısı, aktivite gibi durumlara bağlı olarak değişkenlik gösterir. Diğer canlılarda ve hayvanlarda olduğu gibi balıklarda da büyüme hızı ve verim gücü yemden yararlanma oranı ile doğru orantılıdır. Tez çalışmamızda durgun ve akıntı uygulanan sularda doyana kadar beslenen balıkların GSH düzeylerinde kısıtlı beslenenlere göre artma olduğu görülmüştür. Beslenmeye ve harekete bağlı olarak antioksidan sistemin arttığı ve buna bağlı olarak balıkların büyüme ve gelişmesin arttığı görülmektedir.

Yüzme hareketleri metabolik süreçleri hızlandırarak serbest radikal oluşumunu arttırabilmektedir. Serbest radikallerdeki artış antioksidan savunma sistemleri tarafından yok edilemediğinden lipid peroksidasyon zincir reaksiyonunda artışlar görülebilir (Duthie ve diğ., 1990). Yüzme hareketlerinde antioksidan savunma sistemi yeterli olmayıp serbest radikallerdeki artışlar azaltılamadığından LPO zincir reaksiyonlarında artışlar görülebilir. Hızlı ve şiddetli bir şekilde yapılan hareket ile şiddetin süresi ile orantılı olarak oksidatif stresin ve LPO' nun arttığı görülmektedir (Goldfard, 1993). Normal bir organizmada oksidan ve antioksidan sistemler arasında denge bulunmaktadır. Dengenin bozulması oksidan sistemin artması ile LPO oluşmakta ve hareket ile LPO arasında bir ilişki bulunmaktadır. Hayvan çalışmalarında hareket sonrası kas dokusunda LPO düzeyinin arttığı belirtilmektedir (Davies ve diğ., 1982). LPO miktarının hareket şiddeti ile ilişkili olduğu, şiddetli koşma ile birlikte kasta LPO düzeyinin yüksek miktarda olduğu, orta düzeyde bir koşma ile LPO miktarının artışının fazla olmadığı yapılan bilimsel çalışmalarda öne sürülmüştür (Alessio, 1993). Hareket ile birlikte birlikte antioksidan savunma sistemindeki güçlenme nedeni ile LPO miktarında azalma meydana geldiği düşünülebilir. Düşük şiddette yapılan hareketlerin antioksidan savunma sistemini güçlendirerek yararlı etkilerinin olduğu ve bu bağlı olarak LPO düzeylerinde serbest radikal miktarının azalması ile birlikte azalma olduğu öne sürülebilir. Beslenmede LPO düzeylerinin azalması ile bağlantılı olarak antioksidan savunma sistemi üzerinde etkilidir. Düzenli uygulanan fiziksel hareketler organizmalarda pozitif sonuçlar oluştururken, zarar da meydana getirebilmektedirler. Yapılan hareketlerin yoğunluğu yükseldikçe serbest radikal oluşumu da artmaktadır (Palmer ve diğ., 2003). Yüzme kabiliyeti, birçok balık türünün yaşadığı çevrede hayatta kalabilmesini sağlayan önemli bir faktördür. Yüzme performansı farklı biyolojik ve fizyolojik etkilerle ilişkilidir. Balık türünün özelliği, vücut şekli, yüzgeç biçimi, kas fonksiyonu, yüzme modu ve balık büyüklüğü yüzme performansında etkilidir. Çevresel faktörler olarak ise pH, oksijen, fotoperyot ve çeşitli kirleticiler yüzme performansını etkiler (Wolter ve Arlinghaus, 2003). Yüzme performansında biyolojik ve fizyolojik faktörler çeşitli enzim aktivitelerini ve enzimatik olmayan faktörleri de etkiler. Çalışmamızda durgun sularda doyana kadar beslenen balıkların solungaç, mide dokularında LPO değeri sınırlı yemle beslenenlere göre artma, kas ve böbrek dokularında azalma, karaciğer dokusunda ise LPO miktarında herhangi bir farklılık oluşturmamıştır. Durgun sularda beslenme ile birlikte dokularda LPO değerlerinde dokulara göre farklılıklar oluşmuştur. Beslenme ile serbest radikallerde azalma görülmesi antioksidan aktivitenin artması ile birlikte LPO değerinin

azaldığını bize göstermektedir. Akıntı uygulanan balıklarda ise LPO değerlerinde solungaç, böbrek ve karaciğer dokusunda azalma, mide ve kas dokusunda ise artma olduğu bulunmuştur. Uzun süreli yapılan hareketler ve iyi beslenme dokuya göre farklılık gösterip oksidan ürünleri azaltıp, antioksidan enzim aktivitelerini arttırarak LPO değerinin azalmasına neden olabilir. Leeuwenburgh ve Heinecke (2001) de bu çalışmadaki sonuçlarımıza benzer bir sonuç ileri sürmüş olup, akut hareketlerin oksidan düzeylerini ve oksidatif stresi arttırdığını, uzun süreli hareketlerin ise oksidan ürünlerini azaltıp antioksidan enzim aktivitelerini arttırarak bu durumu önlediğini ileri sürmüştür.

Taş ve diğ. (2018), Revan (2007), Alessio ve Goldfarb (1988), Gül ve diğ. (2006), Metin ve diğ. (2003) yapmış oldukları çalışmalarda hareketin LPO değerlerine göre çalıştıkları dokulara göre farklı değerler oluşturduğunu, bazı dokularda LPO değerinde azalma, bazı dokularda LPO değerlerinde yapılan hareket süresine bağlı olarak artma olduğunu saptamışlardır. LPO değerinde azalma olması hareketin pozitif etkisi ile birlikte antioksidan kapasiteyi arttırdığını ve LPO değerinin buna bağlı olarak uzun sürede baskılandığı öne sürülebilir.

Kronik olarak ılımlı düzeyde yapılan hareket ile oluşan oksidan stres, antioksidan savunmayı güçlendirir (Ohno ve diğ., 1986; Li, 1993). Hareket antioksidan savunma sistemindeki enzim aktivitelerini değiştirir. Kanter ve diğ. (1985), uzun süreli yüzme hareketi yaptırılan sıçanlarda karaciğer antioksidan enzim aktivitelerinin atrığını saptamıştır. Eforun şiddet ve süresi enzim aktivite düzeylerini etkilemektedir. Dengeli beslenme canlının gelişim süreçleri için çok önemlidir. Düzenli beslenmeye bağlı olarak vücutta antioksidan sistemlerde farklılıklar görülebilir. Hareket etmenin sağlığa faydaları olmakla birlikte fiziksel olarak yapılan hareketin reaktif oksijen türlerinin varlığını arttırdığı ve oksidatif strese neden olduğu birçok çalışmada belirtilmiştir. Hareket etmenin ROS ve RNS oluşumuna ve dolayısıyla oksidatif hasara neden olduğu, yapılan antrenmanların ise ROS'un neden olduğu LPO'ya karşı olan direnci arttırdığı ve DNA hasarını önlediği bildirilmiştir (Radak ve diğ., 2001).

Hareket etmeyle ilgili yapılan çalışmalarda, giderek artan yoğun hareketlerin serbest radikal üretimini arttırdığını, düzenli bir şekilde yapılan hareketlerin ise antioksidan savunma mekanizmasını güçlendirdiğini bildirmektedir (Bompa, 2001).

Margaritis ve diğ., (1997) aerobik hareket sonrasında antioksidan savunma mekanizmasının hareket şiddetine bağlı olduğu görüşünü savunmuştur (Margaritis ve diğ., 1997). Dengesiz ve

yetersiz beslenen canlıların vücudu mikroplara ve dış etkenlere karşı dayanıklı değildir. Buna bağlı olarak canlılarda büyüme ve gelişme gecikebilir. Düzenli olarak yapılan hareketlerin, “antioksidan savunma sistemi” olarak tanımlanan süperoksit dismutaz, katalaz, glutatyon peroksidaz, glutatyon -S-transferaz, glukoz-6-fosfat dehidrojenaz ve glutatyon redüktaz gibi enzimleri (Blahová ve diğ., 2013) ve redükte GSH, gibi enzimatik olmayan antioksidanları içeren koruyucu bir sistemi güçlendirdiği ve düzenli ve uzun süreli hareket yapmanın ise LPO ürünlerini daha düşük seviyelerde tuttuğu belirtilmektedir (Ji, 1999; Gül ve diğ., 2001). Fiziksel hareketler düzenli olarak yapıldığında sağlıklı yaşamın sürdürülmesine katkı sağlayabilir (Karamızrak ve diğ., 1994) Balıklardaki hareketin şiddet ve süresi enzim aktivitelerini ve antioksidan sistemi etkilemektedir (Karamızrak ve diğ., 1994). Balıklarda antioksidan savunma sistemi, ortamın durumu, beslenme alışkanlığı ve besin maddeleri ile ilişkilidir. Antioksidan enzimlerin ve antioksidan özellikli maddelerin tayin edilmesi balık sağlığını değerlendirmek amacıyla gereklidir (Sagstad ve diğ., 2007). Balıklarda yüzme performansı ve beslenme yetersizliği ile ilgili durumlarda antioksidan sistemi ve ROS oluşumu etkilenmektedir. Trenzado ve diğ., (2006) yaptıkları çalışmada alabalıkların (*Oncorhynchus mykiss*) farklı dokularında (solungaç, kalp, sindirim sistemi, karaciğer, beyaz kas, deri, kırmızı kan hücreleri, yüzme kesesi) antioksidan enzim aktiviteleri (süperoksit dismutaz, katalaz, glutatyon peroksidaz, glutatyon redüktaz) ve LPO düzeyleri belirlenmiştir (Trenzado ve diğ., 2006). Antioksidan enzimler bulundukları doku ve dokulardaki etkilerine göre farklı aktivite göstermektedirler. Belirlenen tüm dokular arasında genel olarak karaciğer dokusunda daha yüksek oranda, solungaçlar ve deri dokularında ise daha az oranda antioksidan enzim aktiviteleri görüldüğü tespit edilmiştir. Çalışmamızda genel olarak CAT, SOD, GPx, GR, GST ve glukoz-6-fosfat dehidrojenaz aktivitelerinde beslenmeye ve akıntıya bağlı olarak antioksidan enzim aktivitelerinin istatistiksel olarak anlamlı bir şekilde arttığı bulunmuştur. Yüzme performansının enzim aktivitelerine etkisi ile ilgili çalışmalar genellikle spor yapan kişilerde tayin edilmiştir.

Balıklar üzerinde yüzme performansının enzim aktivitelerine etkisi ile ilgili çalışma sayısı literatürde az sayıdadır. Literatürde düzenli ve uzun süreli yapılan kronik egzersizlerin antioksidan enzim düzeyleri üzerine etkili olduğu belirtilmektedir (Gonenc ve diğ., 2000; Mestre-Alfaro ve diğ., 2011; Topal ve diğ., 2015). Egzersizin akut veya kronik olması antioksidan sistemini farklı düzeyde etkilemektedir. Çalışmamızda uzun süreli yapılan egzersizin ve iyi beslenmenin antioksidan sistemini olumlu olarak etkilediği öne sürülebilir.

Antioksidanlar ve oksidanların miktarlarında, enzim aktivitelerinin azalmasından ve/veya aşırı miktarda ROS birikmesinden dolayı meydana gelen dengesizlik nedeniyle bir organizmadaki ROS ve antioksidan mekanizması arasındaki dengesizlik oluşur bu olaya oksidatif stres adı verilir. Oksidatif stres parametrelerinin tayini edilmesi balıklarda antioksidan savunma sisteminin durumunu tespit etmek amacı ile yapılmaktadır (Sturve ve diğ., 2005). Balıklarda antioksidan savunma sistemi, ortamın durumu, beslenme alışkanlığı ve besin maddeleri ile ilişkilidir. Antioksidan savunma mekanizmaları genelde karaciğer dokusunda böbrek ve beyin gibi diğer dokulardan daha güçlü sergilenmektedir (Li ve diğ., 2015). Antioksidan enzimlerin tayin edilmesi balık sağlığını değerlendirmek amacıyla yapılmalıdır (Sagstad ve diğ., 2007). Stres koşullarında serbest radikaller oluşarak antioksidan enzim aktivitelerinde azalma meydana gelmektedir. Antioksidan enzim aktivitesinin azalması sonucunda hücresel düzeyde hasarlar meydana gelebilir.

Glikolizin son basamağında yer alan ve canlılarda büyük öneme sahip olan laktat dehidrojenaz enzim aktivitesinin tayini edilmesi doku hasarının tespitini gösterir. Hareket etmek sağlıklı bir yaşam için gerekli olmasına rağmen orta düzeyde fiziksel aktivitenin kas hasarına neden olduğu, oksidatif stresi arttırdığı ve inflamasyona neden olduğu ileri sürülmektedir (Malaguti ve diğ., 2013). Ancak egzersizle birlikte beslenmenin de iyi bir şekilde yapılması gereklidir. Yapılan harekete bağlı olarak LDH aktivitesi artar. Çalışmamızda kas, karaciğer, mide dokularında yemle beslenmeye bağlı olarak LDH aktivitesinin arttığı saptanmıştır. Akıntı uygulanan balıklarda da fazla yem ve akıntı LDH aktivitesinde artmaya neden olmuştur.

Metalloprotein olan arginaz, yapısında mangan içeren bir enzim olup, üreotelik organizmalarda üre devrinde karaciğerde meydana gelir. Karaciğer dışı dokularda da arginaz enzimi bulunmaktadır (Brown ve Cohen, 1960; Aminlari ve Vaseghi, 1992). Bu dokular bağırsak, böbrek, iskelet kası, kalp kası, tiroid, deri ve testislerdir (Spector ve diğ., 1982). Arginaz enzim aktivitesi sadece üreotelik canlılarda değil, üreotelik olmayan canlılarda da bulunmaktadır (Barim ve Erisir, 2009). Üreotelik olmayan canlılarda arginaz enzimi üre döngüsü ile ilişkili olmayıp protein metabolizması, kreatinin sentez, nitrik oksid sentezi, poliamin biyosentezi için gereklidir (Jenkinson ve diğ., 1996). Arginaz enzim aktivitesi beslenmeye bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Arginaz enzim aktivitesinin diyetle alınan proteine bağlı olarak değişiklik gösterdiği ve bu değişikliğin enzim kinetiği ile ilgili olmayıp enzim protein miktarının artması şeklinde olduğu belirtilmektedir (Schimke, 1962). Yapılan çalışmalarda

düşük protein diyetinde üre döngüsü enzimlerinin azaldığı (Shombough, 1978), diyetle fazla protein eklendiğinde üre döngüsü enzim aktivitelerinin düşük proteinli diyetle beslenenlere göre arttığı gözlemlenmiştir (Shimbayashi ve Yonemura, 1970). Karbohidratlı yiyeceklerle beslenildiğinde üre döngüsü enzimlerinin azaldığı, karbohidrat tüketimi azaldığında ise bu enzimlerin arttığı tespit edilmiştir (Schimke, 1962). Arginaz bütün hücreler için önemlidir. Hücrelerde bu enzim eksikliğinde, büyümede azalma görülür (Grillo ve Colombatto, 2004). Arginin, balıklarda arginaz tarafından üre ve ornitine katabolize edilebilir. Balıklarda üre ve ornitin miktarı ve hepatik arginaz aktivitesi doğrudan diyetle alınan arginin düzeyi ile ilişkilidir. Çalışmamızda durgun sularda ve akıntı uygulanan sularda fazla besinle beslenen balıkların arginaz aktivitesi karaciğer dokusunda az besinle beslenen balıklara göre az bir azalma gösterirken, böbrek dokusunda ise artma göstermiştir. Böylece, yemin kalitesine ve balıkların bulunduğu ortama göre dokulardaki enzim aktivitelerinde farklılıklar oluşabileceği belirlenmiştir.

Yeni bir balık besleme rejimi belirlerken veya yetiştiricilik koşullarını geliştirirken sindirim enzim aktivitelerinin takibini yapmak önemlidir. Buna ilaveten çoğu enzimler, balıklardaki canlılık olaylarını düzenlediklerinden, aktivitelerindeki değişimler balıkların normal fonksiyonlarının bozulmasına ve dolayısıyla hastalık oluşmasına sebep olabilmektedir. Dolayısıyla çeşitli hastalıkların ve patolojik durumların tanısını gerçekleştirirken sindirimde rol alan ve kanda bulunan enzimlerin düzeylerinde oluşan değişimlerden yararlanılabilir. Bunların yanında, balıkların farklı yaşam evrelerindeki beslenme ihtiyaçlarına göre karma yemlerin hazırlanmasında enzim ve salgıların araştırılması da önemli katkılar sağlayabilir (Yüngül ve Özdemir, 2017).

Enzim aktivitesi sindirim kanalı boyunca organlara ve aynı organ içindeki bölgelere, mevsimlere, günün saatlerine, balığın aç veya tok oluşuna, beslenme sıklığına, alınan yeme ve balığın yaşına göre değişim gösterir (Yüngül ve Özdemir, 2017). Balıkların büyüme hızı, yemden yararlanma oranı düzeyi ve sindirim enzimlerinin artışıyla doğru orantılıdır. Yeni beslenme rejimleri geliştirmede ve optimal yetiştirme şartlarını sağlayabilme çalışmalarında sindirim enzimlerinin aktivitelerinin tesptinin önemi büyüktür. Sindirim enzimlerinin enerji elde etmede çok önemli görevleri bulunmaktadır. Sindirim enzimleri sayesinde vücuda alınan gıda maddeleri sindirim sistemindeki enzimler sayesinde parçalanırlar yani hidrolize olurlar ve vücut için gerekli enerji elde edilir (Trestrail ve diğ., 2021).

Sindirim enzim aktivitelerinin artması ve azalması balıkların büyümeleri ve bazı işlevlerini yerine getirmeleri açısından önemlidir. Balıklardaki sindirim enzimleri ve bu enzimlerin aktiviteleri balığın yaşı, türü, büyüklüğü, balığın beslenmesinde kullanılan yemin kalitesi (karbohidrat, protein, yağ, vitamin ve mineral miktarı), beslenme şekli, çevresel faktörlere bağlıdır. Yetiştiricilik ortamındaki su kalitesi ve sulardaki toksik maddeler, balıkların antioksidan savunma sistemini, balıklarda beslenmeyi ve buna bağlı sindirim enzimlerinin aktivasyonunu etkiler (Santigosa ve diğ., 2008, Al-Saraji ve Nasir, 2013). Balıklardaki sindirim enzimlerin aktivitelerinin tayini yapılarak balıkların yetiştirme ortamının uygun olup olmadığı, yem miktarının yeterli olup olmadığı anlaşılabilmektedir. Balıklar iyi bir ortamda yetişmiyorsa balıkların büyümelerinde ve yetiştirmelerinde sorunlar yaşanacaktır. Balıkların sindirim sistemindeki enzimlerin tayini ile ilgili çeşitli çalışmalar literatürde bulunmaktadır (Suzer ve diğ., 2013; Suzer ve diğ., 2014). Balıklarda beslenme rejimleri geliştirmede ve optimal yetiştirme şartlarının sağlanabilmesi için sindirim enzimlerinin aktivitelerinin tespiti çok önemlidir. Bu nedenle çalışmamızda proteinleri, yağları hidroliz eden enzim aktiviteleri tayin edilerek yüzmeye aktivitesinin ve yem kısıtlamasının akuaponik sistemde üretilen balıkların gelişiminde etkilerinin nasıl olabileceği tayin edilmiştir. Balık yetiştiriciliği yapılan yerlerde sindirim enzim aktivitelerine göre balıkların yetiştikleri ortamların düzenlenerek balıklardan iyi bir verim elde edilmesi sağlanabilir.

Beslenme stratejilerinin belirlenmesi ve buna uygun beslenme protokollerinin oluşturulabilmesinde, öncelikle sindirim enzimleri ve salgıları ile bu enzimlerin aktivitelerine etki eden faktörlerin bilinmesi gereklidir. Sindirim sisteminde rol alan enzimlerin aktivitelerinin tayini, balığın sindirme kapasitesinin ve besin bileşenlerinin emilimini nasıl gerçekleştirdiğinin değerlendirilmesinde önem rol oynamaktadır. Balıklarda büyüme hızı, yemden yararlanma oranı düzeyi ile doğru orantılıdır. Sindirim enzim aktivitelerinin artışı büyüme performansının artışı ile doğru orantılıdır (Yüngül ve Özdemir, 2017).

Bu konuda yapılan birçok çalışma göstermiştir ki balıklar belli bir akıntıya karşı yüzdüklerinde yem dönüşüm oranları artabilmekte (Jobling ve diğ., 1993), bağışıklıkları kuvvetlenebilmekte, et kaliteleri artabilmekte (Palstra ve Planas, 2011) ve akıntı nedeniyle sürü halinde bulunmak aralarındaki hiyerarşiyi azalttığı için birbirlerine verdikleri zarar azalabilmektedir (Brannas ve diğ., 2009). Çalışmamızda midede bulunan pepsin ve proteaz aktiviteleri artan yem miktarına bağlı olarak durgun sularda ve akıntı uygulanan sularda artmıştır. Akıntı uygulanması ile

sindirim enzim aktivitelerinde artış yüksek düzeydedir. Enzim aktivitesindeki artışın nedeni besin miktarının fazla alınması ve hareketle birlikte proteinlerin daha hızlı bir şekilde hidrolizi için organizmada bulunan enzim miktarlarında artışın olmasıdır. Enzim aktivitesinin artışı ile birlikte büyüme olayları akıntı uygulanan balıklarda daha fazladır. Balıkların akıntıya karşı yüzmelerinin sonucunda metabolizmalarında, sindirim faaliyetlerinde ve salınım ürünlerinde değişim fazla miktarda olmuş ve buna bağlı olarak balıklarda büyüme meydana gelmiştir.

Durgun sularda ve akıntı uygulanan sularda çok yemle beslenen balıkların karaciğerlerindeki lipaz enzim aktivitesinde artma görülmüştür. Yemle birlikte alınan protein ve yağ miktarının fazla olması ve hareket etmek sindirim enzim aktivitelerinde artışa neden olmaktadır.

Balıkların sindirim enzimleri üzerine yapılan araştırmalar, balık yetiştiriciliği ve balığın fiziksel hareketleri için gereklidir. Bu araştırmalar; balığın sindirim fizyolojisini ve ihtiyaç duyduğu besin maddelerini belirlemeye ve balık yetiştiriciliği konusunda bu etkenlere uygun beslenme programları hazırlamaya katkı sağlayacaktır.

Deneme gruplarından elde edilen balıkların büyüme performansları yanında yüzmeye aktivitesi ve yem kısıtlamasının balıklardaki sindirim ve enzim aktiviteleri ile ilişkisi araştırılmıştır. Yetiştiricilik ortamında oluşturulan su akıntısının ve yemlemedeki kısıtlamanın balıkların enzim aktivitesi verileriyle yorumlanması literatürde ilk kez yapılmıştır.

Bitki büyüme performansı bitki boyu, bitki genişliği, bitki ağırlığı, kök uzunluğu, kök ağırlığı ve yaprak sayısı ile takip edilmiştir. Sommerville ve diğ., (2014) akuaponik sistemde marul bitkisinin bazı varyeteleri daha uzun sürebilmekle birlikte 24–32 günde hasat boyuna ulaşmakta olduğunu belirtmiştir. Erken hasat edilen marulların (26 günden önce) daha geç hasat edilen bitkilere kıyasla genellikle daha az etkili olduğu bildirilmiştir (Flores ve diğ., 2022). Day ve diğ., (2021) akuaponik sistemde marul bitkisi ile yaptığı çalışmada hasat süresinin 56 gün olduğunu bildirmiştir. Birolo ve diğ., (2020)'nin gökkuşağı alabalığı ve marulu birlikte yetiştirdiği akuaponik sistem çalışmasında marul hasadını bir grupta 44 gün ve diğer grupta 77 günde gerçekleştirmiştir. Akdoğan (2014) yaptığı tez çalışmasında balık yetiştiriciliğinden gelen suyu topraksız tarımda marul üretiminde kullanmış ve 30 günde fide, 57 gün de hasada kadar olan süre toplamda 87 günde hasat boyuna ulaşmıştır. Bu çalışmada 10 gün toprakta fide haline getirilen marullar 42 gün akuaponik sistemde büyütülerek tohumdan hasada kadar toplamda 52 günde hasat boyuna ulaşılmıştır. Bu süre akuaponik sistem içerisinde kıvrıcık

marul büyümesini takip eden diğer çalışmalarda geçen hasat süreleriyle uyumlu bulunmuştur. Topraklı tarımda ise bu süre Thompson ve Kelly, (1957)'e göre 70 ila 150 gün arasında değiştiği görülmüştür.

Tantekin (2021)'in hidroponik sistemlerde iki çeşit marul ile (*Caipia* ve *Giardian*) yaptığı çalışmasında bitki boyunu tüplü sistemde 14,67 cm, borulu sistemde 18,07 cm ve havuzlu sistemde ise 22,88 cm olarak bulmuştur. Başka bir çalışmada akuaponik sistemde büyütülen marulların boyu $8,85 \pm 0,45$ cm olduğunda hasat edilmiştir (Pinho ve diğ., 2017). Villaroel ve diğ., (2022)'in yaptığı çalışmada gübre kullanmadan sadece balıklardan çıkan atıklarla büyüttüğü marulların boyunun $12,72 \pm 0,97$ cm olduğunu, sıvı gübre ilavesi kullandığında ise bitkilerin $26,36 \pm 1,11$ cm boyuna ulaştığını rapor etmiştir. Bu çalışmamızda bitki boyu SN, YN, SK ve YK gruplarında sırasıyla $10,18 \pm 0,79$ cm, $10,59 \pm 12$ cm, $9,83 \pm 1,44$ cm, $9,41 \pm 0,94$ cm olarak belirlenmiştir. Bu değerler akuaponikte üretilmiş marullarla yapılan çalışmalarda bildirilen bitki boyu sonuçlarıyla örtüşmektedir. Sommerville ve diğ., (2014), marul bitkisinin akuaponik sistemde ortalama hasat boyunun 20–30 cm olduğunu bildirmişlerdir.

Sommerville ve diğ., (2014), marul bitkisinin akuaponik sistemde ortalama eninin 25–35 cm olduğunu bildirmiştir. Maboko ve Dulpooy (2008) topraksız tarımda marul yetiştiriciliği yaptığı çalışmada ortalama bitki çapının 11,4 ila 16,0 cm arasında değiştiğini bildirmiştir. Bizim yaptığımız çalışmada en yüksek bitki genişliği $19,06 \pm 2,18$ cm ile YN grubunda, en düşük bitki genişliği ise $17,17 \pm 1,9$ cm ile SK grubunda bulunmuştur. Bu değerler akuaponikte üretilmiş marullarla yapılan çalışmalarda bildirilen bitki genişliği sonuçlarıyla örtüşmektedir. Doyana kadar beslenen grupların besin kısıtlamasına gidilen gruplara kıyasla daha yüksek bitki genişliğine sahip oldukları tespit edilmiştir. Bunun nedeninin doyana kadar beslenen gruplarda sistem suyuna daha fazla besin tuzu girdisi olması ve dolayısıyla bunun da bitki genişliğini artırıcı bir etki yaratmasının olduğu düşünülmektedir. Aynı durum, yüzme aktivitesi yaptırılan balıkların olduğu sistemdeki marulların durgun sularda tutulan balıkların oldukları sistemlerdekilere göre daha büyük bitki genişliğine sahip olmasında da görülmüştür. Burada da yüzmeye zorlanan balıkların yemi daha iyi sindirdiği ve dolayısıyla suya bıraktıkları atıkların bitki tarafından daha kolay kullanılabilir forma dönüştürmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Akuaponik sistemde üretilen marullara ait çalışmalarda yaş bitki ağırlıkları $14,65 \pm 1,75$ g (Pinho ve diğ., 2017), $51,73 \pm 3,27$ - $143,25 \pm 18,38$ g (Villaroel ve diğ., 2022), $50,97 \pm 17,16$ - $76,15 \pm 18,8$

g (Day ve diğ., 2021), 89,47-112,88 g (Petrea, 2013) olarak bildirilmiştir. Bu tez çalışmasında marul yaş ağırlığı en yüksek $75,38 \pm 20,46$ g ile YN grubunda, en düşük ise $56,43 \pm 17,4$ g ile SK grubunda tespit edilmiştir. Bu değerler akuaponikte üretilmiş marullarla yapılan çalışmalarda bildirilen bitki ağırlığı sonuçlarıyla örtüşmektedir. Bitki ağırlığının YN grubunda yüksek SK grubunda düşük olma sebebinin bitkilerin büyüdüğü ortamdaki besin tuzlarından kaynaklandığı tahmin edilmektedir. Doyana kadar beslenen YN grubunda yüzmenin de etkisi ile balıklar daha fazla yem almış ve sistemin suyuna daha fazla bitki besini girdisi sağlanmıştır. Bunun da bitki büyümesini olumlu yönde etkilediği görülmektedir. Doyana kadar beslenen balıkların bulunduğu gruptaki bitkilerin besin kısıtlamasına gidilen balıkların olduğu gruptaki bitkilerden daha fazla ağırlığa ulaşmalarının sebebinin sudaki besin tuzu miktarıyla ilişkili olduğu tahmin edilmektedir. Zira bitki büyümesinin sudaki besin tuzlarının miktarı ile doğrudan ilişki içerisinde olduğu Burns ve diğ., (1997)'nin ve Villaroel ve diğ., (2022)'nin yaptıkları çalışmalarla gösterilmiştir. Aynı durum akıntıya karşı yüzen balıkların olduğu akuaponik sistemlerdeki bitkilerin durgun suda tutulan balıkların olduğu akuaponik sistemlerdekinden daha büyük biyokütle oluşturmada da görülmüştür. Bunun da sebebinin balıkların yüzme hareketini yapması ve yemin sindirilmesi arasındaki ilişkiden kaynaklandığı ve balık atıklarının bu sayede sudaki besinin bitkilerin daha rahat alabilecekleri forma dönüştürülmesinden kaynaklanmış olduğu tahmin edilmektedir.

Villaroel ve diğ., (2022) akuaponik sistem kurarak yaptığı çalışmada sadece balık atıklarıyla beslenen ve gübre eklenmeyen marul bitkilerinin köklerinin $14,37 \pm 1,22$ cm uzunluğa sahip olduğunu, sisteme fazladan gübre eklenirse $23,31 \pm 2,42$ cm bitki kökü uzunluğuna sahip olduğunu rapor etmiştir. Yine akuaponik sistemde yapılan bir çalışmada (Day ve diğ., 2021) marul bitkisinin köklerinin bir grupta $9,7 \pm 2,7$ cm, bir grupta $10,2 \pm 1,5$ cm ve diğ. bir grupta ise $9,2 \pm 1,9$ cm uzunluğa eriştiği belirtilmiştir. Bu tez çalışmamızda en uzun bitki kökü uzunluğu $24,88 \pm 4,73$ cm ile SK grubunda olduğu ve bu uzunluğun sırasıyla $22,57 \pm 4,41$ cm ile SN, $22,60 \pm 5,42$ cm ile YN ve $22,18 \pm 4,20$ cm ile YK gruplarından uzun olduğu belirlenmiştir.

Bu değerler akuaponikte üretilmiş marullarla yapılan çalışmalarda bildirilen kök uzunluğu sonuçlarıyla örtüşmektedir. Bütün gruplar arasında en az balık yeminin verildiği grup olan SK grubunda en uzun kök uzunluğunun olmasının nedeninin bitkinin suda sınırlı olan besine ulaşabilmek için köklerini uzatmış olabileceği tahmin edilmektedir. Troughton (1962), bitkilerin bulunduğu ortamda besin azalması durumunda bitkilerin dallanmasının arttığını

yaptığı deneylerle kanıtlamıştır. Benzer bir sonuç, Welbank ve diğ., (1974) tarafından verilen sonuçlarda da mevcuttur. Yapılan bir çalışmada (Goss ve diğ., 1993), kök eksenlerinin uzama hızının, besin kaynağı sınırlı olduğunda daha yüksek olma eğiliminde olduğunu bildirmiştir. Bu durum çalışmamızda elde ettiğimiz sonucu açıklayıcı niteliktedir.

Akuaponik sistemde yetiştirilen marullar ile yapılmış bir çalışmada (Pinho ve diğ., 2017) yaş kök ağırlığı $9,05 \pm 0,93$ g olarak bildirilmiştir. Villaroel ve diğ., (2022) akuaponik sistemde su ürünleri yetiştiriciliğinden gelen su ile yetiştirdikleri marullarda kök ağırlığını $23,31 \pm 2,42$ g, aynı suya fazladan bitki besini ekledikleri zaman ise bitki kökü ağırlığını $35,14 \pm 2,14$ g olarak tespit etmişlerdir. Bu tez çalışmasında bitki kökü ağırlığı en yüksek olan grup $17,24 \pm 14,67$ g ile YN grubu iken diğer gruplarda bitki kökü ağırlıkları SN grubunda $13,67 \pm 7,41$ g, SK grubunda $12,64 \pm 8,56$ g, YK grubunda $12,80 \pm 8,88$ olarak belirlenmiştir. Bu değerler akuaponikte üretilmiş marullarla yapılan çalışmalarda bildirilen kök ağırlığı sonuçlarıyla örtüşmektedir. İstatistiksel olarak anlamlı olmasa da en yüksek yem alımının gerçekleştiği YN grubunda en yüksek kök ağırlığının olma nedeninin YN grubundaki hidroponik sistemdeki besinin daha yüksek miktarda ve bitkinin alabilme olanağının daha çok olmasından kaynaklandığı tahmin edilmektedir.

Pinho ve diğ., (2017)'in akuaponik sistemde yaptıkları çalışmada, marul başına düşen yaprak sayısı $11,75 \pm 0,41$ adet olarak belirlenmiştir. Day ve diğ., (2021), yine akuaponik sistemde marul bitkisi ile yaptıkları çalışmada yaprak sayısını bir grupta $14,10 \pm 2,51$ adet, başka bir grupta $16,00 \pm 2,0$ adet, diğer bir grupta ise $18,6 \pm 1,5$ adet olarak bildirmiştir. Bu tez çalışmamızda yaprak sayıları arasında gruplar arasında bir fark olmamakla birlikte yaprak sayıları SN, YN, SK ve YK gruplarında sırasıyla $25,50 \pm 1,45$ adet, $26,07 \pm 2,31$ adet, $24,77 \pm 2,98$ adet ve $26,17 \pm 2,25$ adet olarak tespit edilmiştir. Yaprak sayıları literatürde geçen marul bitkisinin hasat boyuna ulaştığı yaprak sayıları ile örtüşmektedir. Bu değerler akuaponikte üretilmiş marullarla yapılan çalışmalarda bildirilen yaprak sayısı sonuçlarıyla örtüşmektedir.

Balık üretimi açısından akuaponik, RAS'ta meydana gelen aynı kimyasal, fiziksel ve biyolojik koşullara bağlıdır (Espinal ve Matulić, 2019). Bu sistemlerde balık sağlığının korunması ve balıkların maksimum büyüme potansiyeline ulaşmasını sağladığı için balık refahının korunması da gereklidir (Yavuzcan Yıldız ve diğ., 2017). Balığın iyi bir refah düzeyinde olmasının hem üreticiye hem balığa hem de çevreye kazanımları yüksektir. Dolayısıyla balık refahından ödün vermeden üretim yapmak önemlidir (Yavuzcan Yıldız ve Bekcan, 2019). Alabalık gibi

salmonid türlerinde ise balık refahını korumanın yollarından birisi de balığın ihtiyacı olan akıntılı ortamın yaratılmasıdır. Akıntıya karşı yüzmenin alabalık özelinde birçok faydası vardır, örneğin akıntıya karşı yüzdürülen alabalıkların standart metabolik hızı ($118,4 \pm 2,7$ mg / O₂ kg / saat), durgun suda tutulanlara göre ($133,4 \pm 3,7$ mg / O₂ kg / saat) önemli ölçüde daha düşük bulunmuştur (Skov ve diğ., 2011). Dolayısıyla düşük metabolik hız sayesinde balıklar enerjiyi büyümeye yönlendirerek daha büyük kas kütlesi oluşturabilir. Bu da bizim çalışmamızda elde ettiğimiz yüzdürülen balıkların durgun suda tutulanlara göre daha yüksek ağırlığa sahip olmasının nedenini açıklayabilir.

Balıkları yüzdürmek ve yüzmenin etkilerinden faydalanmak için çeşitli bilimsel araştırmalar yapılmış ve bunu üretim sistemini tasarlarken göz önünde bulundurmanın önemi anlaşılmıştır. Balıkların yetiştiriciliğinin yapıldığı tankların şekilleri üzerinde de bu etkiler görülebilmektedir. Tanklar, üretim maliyeti, alan kullanımı, su kalitesi bakımı ve balık yönetimi göz önünde bulundurularak tasarlanır. Yoğun balık kültürü için kullanılan tank tasarımları literatürde sıklıkla sunulmuş ve üzerinde çalışılan bir konu olmuştur (Wheaton, 1977; Klapsis ve Burley, 1984; Piper ve diğ., 1982; Cripps ve Poxton, 1992; Timmons ve diğ., 1998; Summerfelt ve diğ., 2000). İnsan tüketimi amacıyla yapılan balık yetiştiriciliğinde büyük dairesel kültür tanklarına doğru tartışılmaz bir eğilim vardır. Kültür tanklarının dairesel olmasının kendi kendini temizleyebilme özelliği gibi bazı avantajları bulunmaktadır. Fakat bunun sağlanması için tanka sabit hızda ve sürekli bir su girişi ve su çıkışı sağlanmalıdır. Tank içerisindeki suyun akış hızı hem tankın duvarından merkezine hem de yüzeyden dibe mümkün olduğunca eşit olmalıdır. Ancak bu hız, balıklara hareket etmelerini engelleyecek kadar yüksek hızda olmaması gereklidir. Sudaki akıntı hızı büyümeyi arttırıcı sonuçlar vermiş olsa da, aşılması gereken bir maksimum su akıntı hızı vardır. Bu hız, türe ve büyüme aşamasına göre değişir. Losordo ve Westers (1994)'e göre, saniyede 0,5-2,0 balık vücut uzunluğu hızda olan su akıntıları, balıkların sağlığı, kas elastikiyeti ve solunumun koruması için uygundur.

Davison (1997), yaptığı çalışmada düşük su akıntısı olan tanklardaki balıklara kıyasla akıntıya karşı yüzen balıklarda daha düşük kortizol düzeylerine rastlamış ve bunun sebebinin akıntının yarattığı azalan saldırganlık durumu olduğunu iddia etmiştir. Balıklar devamlı olarak yüzdürülerek ve saldırganlık düzeyleri düşürülerek daha yüksek stoklanabilir. Örneğin salmonidlerde, düşük su akıntısında tutulan ve yoğun stoklanan balıklar arasındaki saldırganlık artarken, su akıntısının hızı yüksek olduğu sürece yüksek yoğunluklarda tutulabilir (Damsgård

ve diğ., 1997). Biz çalışmamızda balıklara sürekli yüzme hareketi yaptırmak için 1 balık boyu/saniye akıntı hızını seçtik ve bu akıntı hızı literatürde geçen gökkuşağı alabalıkları için en uygun görülen değerler arasındadır.

Altı hafta boyunca sürekli yüzme hareketi yaptırılan balıkların solungaç ve kas dokularında daha yüksek protein birikimine rastlanmıştır (Houlihan ve Laurent, 1987). Bunun sebebi olarak yüzme hareketinin, protein sentezini teşvik etmesinden ve kas dokularındaki bozulmayı yavaşlatmasından kaynaklı olduğu tahmin edilmektedir. Houlihan ve Laurent (1987), yüzme kaynaklı artan büyüme hızının aslında artan sentez tutma verimliliğine bağlı değil, hareketin artan enerji ve protein sentezi taleplerini karşılamak için yem alımında artış talep edeceği anlamına geldiğini rapor etmişlerdir. Doyana kadar beslendikleri takdirde yüzme hareketi yapan alabalıkların, iştah artışı gösterdikleri için durgun su kontrollerinden daha hızlı büyüme gösterdiği yaygın olarak kabul edilir; ancak, daha küçük yem rasyonları kullanıldığında, büyüme oranları artmamaktadır (Davison, 1989). Bizim çalışmamızda da yüzen gruplarda doyana kadar beslenen grubun sabit suda gruba göre daha çok yem alması ve büyümesi bu fenomen ile açıklanabilir.

Dünyada ve Türkiye’de kültür balıkçılığı üretimi son yıllarda sürekli bir büyüme göstermiştir. Üretimin artmasıyla birlikte daha çevre dostu üretim sistemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Su kalitesi balık refahının ana belirleyicisi olarak kabul edildiğinden, su ürünleri yetiştiriciliği üretim sistemlerindeki uygulamaların çiftlik balıklarının genel refahını ve üretim değişkenlerini nasıl etkileyebileceğinin değerlendirilmesi önem arz etmektedir.

Akuaponik sistemde gökkuşağı alabalıklarında yüzme aktivitesi uygulaması yapıldığı ve yeterli yem verildiği takdirde (YN grubu) istatistiksel olarak anlamlı bir şekilde ($p<0,05$) balıkların yem alımını, balığın boyunu ve yemden yararlanma oranını arttırdığı, varyasyon katsayısını düşürdüğü belirlenmiştir. Yem kısıtlaması uygulamasının (YK ve SK grubu) ise spesifik büyüme oranını, kondisyon faktörünü ve balık boyunu azalttığı, balık tankı içindeki ağırlığın varyasyonu arttırdığı tespit edilmiştir ($p<0,05$). Yüzme aktivitesi ve besin kısıtlaması uygulamaları (YN ve YK ile SK grupları) balıklardaki karaciğer yağlanmasının göstergesi olan HSI değerlerini ve iç organlardaki yağlanmayı gösteren VSI değerlerinde azalma gözlenmiştir ($p<0,05$). Balıklara uygulanan yüzme aktivitesi ve yem kısıtlaması uygulamalarının amino asit ve yağ asitleri profiline istatistiksel olarak anlamlı bir şekilde olumlu ya da olumsuz bir etkisinin olmadığı görülmüştür. Çalışma sonunda yüzme aktivitesi uygulanan ve doyana kadar beslenen

grubun (YN) diğer gruplara kıyasla daha iyi sindirim ve antioksidan enzim aktivitesi değerlerine sahip olduğu gözlemlenmiştir ($p<0,05$). Yüzme aktivitesi yaptırılan ve doyana kadar beslenen grubun (YN grubu) hidroponik kısmındaki marul bitkilerinin ağırlığının, boyunun ve genişliğinin diğer üç gruptan daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuçlara göre akuaponik sistemde bitki büyümesini hızlandırmak ve verimi arttırmak için balıkların tutulduğu RAS kısmındaki balık tanklarının içindeki suda akıntı oluşturmak olumlu sonuçlar verdiği tespit edilmiştir.

Sonuç olarak, bu tez çalışmasında, balık tankında 1 balık boyu/saniye akıntı uygulanmasının yeterli besin takviyesi sağlandığı takdirde yem alımını arttırdığı, balıkların boyunu arttırdığı, büyümeye olumlu katkı yaptığı, hepatosomatik indeksini azalttığı belirlenmiştir. Akıntı sağlanan grupta, balıkların aktivasyonundan dolayı suya daha fazla besin tuzu girmesi sağlandığından, bitki (marul) büyümesine olumlu etki yaptığı, yeterli besin verilmediğinde ise akuaponik sistemde balıkların ve bitkilerin büyümesini olumsuz etkilendiği tespit edilmiştir. Gökkuşuğu alabalığı ile yapılan akuaponik sistemlerde balık refahını ve üretim verimliliğini artırmak için günlük yemlemenin balıkların ihtiyacına göre yem kısıtlaması yapılmadan gerçekleştirilmesi ve tanklarda tutulan balıklar için 1 balık boyu/saniye su akıntının sağlanması gerekmektedir. Bu araştırmada oluşturulan ayrıştırmış akuaponik sistemin hem akuakültür kısmında yetiştirilen alabalık yavrularının hem de hidroponik kısmında üretilen marul bitkilerinin büyümesinde olumlu sonuçlar elde edildiğinden akuaponik sistemin kurgulanmasında balıklara verilen günlük yemleme oranının ve ihtiyaç duyduğu akıntı miktarının dikkate alınması önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- Abadias, M., Alegre, I., Oliveira, M., Altisent, R. and Viñas, I., 2012, Growth potential of *Escherichia coli* O157: H7 on fresh-cut fruits (melon and pineapple) and vegetables (carrot and escarole) stored under different conditions. *Food Control*, 27(1), 37-44.
- Adler, P.R., Harper, J.K., Takeda, F. and Summerfelt, S.T., 2000, Economic analysis of an aquaponic system for the integrated production of rainbow trout and plants. *International Journal of Recirculating Aquaculture*, 1(1), 15-34.
- Aebi, H., 1984, Catalase in vitro. *Methods in Enzymology*, 105, 121-126.
- Alessio, H.M. and Goldfarb A.H., 1988, Lipid peroxidation and scavenger enzymes during exercise: Adaptive response to training. *Journal Applied Physiology*, 64 (4), 1333-1336.
- Alessio, H.M., 1993, Exercise-induced oxidative stress. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 25, 218-224.
- Al-Hafedh, Y.S., Alam, A. and Beltagi, M.S., 2008, Food production and water conservation in a recirculating aquaponic system in Saudi Arabia at different ratios of fish feed to plants. *Journal of the World Aquaculture Society*, 39 (4), 510-520.
- Alonso, A. and Camargo, J.A., 2006, Toxicity of nitrite to three species of freshwater invertebrates. *Environmental Toxicology: An International Journal*, 21(1), 90-94.
- Al-Saraji, A.Y.J. and Nasi, N.A.N., 2013, Effect of different dietary proteins and fats on the digestive enzymes activities in the common carp fingerlings (*Cyprinus carpio* L.) reared in floating cages. *Mesopotamian Journal of Marine Sciences*, 28, 121-130.
- Aminlari, M. and Vaseghi, T., 1992, Arginase distribution in tissues of domestic animals. *Comparative Biochemistry and Physiology. B, Comparative Biochemistry*, 103, 385-389.
- Anson, M. L., 1938, The estimation of pepsin, trypsin, papain, and cathepsin with hemoglobin. *The Journal of General Physiology*, 22(1), 79-89.
- Antão-Geraldes, A.M., Hungulo, S.R., Pereira, E., Teixeira, A., Teixeira, A. and Rodrigues, S., 2018, Body composition and sensory quality of wild and farmed brown-trout (*Salmo trutta*) and of farmed rainbow-trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Ciência Rural*, 48(9), e20190190.
- Anthonisen, A.C., Loehr, R.C., Prakasam, T.B.S. and Srinath, E.G., 1976, Inhibition of nitrification by ammonia and nitrous acid. *Journal (Water Pollution Control Federation)*, 48(5), 835-852.
- Antoniou, P., Hamilton, J., Koopman, B., Jain, R., Holloway, B., Lyberatos, G. and Svoronos, S.A., 1990, Effect of temperature and pH on the effective maximum specific growth rate of nitrifying bacteria. *Water Research*, 24(1), 97-101.

- Anttila, K., Jäntti, M. and Mänttari, S., 2010, Effects of training on lipid metabolism in swimming muscles of sea trout (*Salmo trutta*). *Journal of Comparative Physiology B*, 180(5), 707-714.
- AOAC, 1984, Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemists. 14th Edition, AOAC, Arlington.
- AOAC, 1998a, Official Method 980.46, Moisture in Meat. In: Official Methods of Analysis of AOAC International, Cunniff, P. Ed. Chapter 39, 16th Ed.
- AOAC, 1998b, Official Method 938.08, Ash of Seafood. In: Official Methods of Analysis of AOAC International, Cunniff, P. Ed. Chapter 39, 16th Ed.
- APHA, AWWA and WEF, 1989, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Washington DC.
- Arbeláez-Rojas, G.A., Hackbarth, A., Inoue, L.A.K.A., Dias de Moraes, F. and Moraes, G., 2013, Sustained swimming mitigates stress in juvenile fish *Brycon amazonicus*. *Journal of Applied Aquaculture*, 25(3), 271-281.
- Arimoro, F.O., 2006, Culture of the freshwater rotifer, *Brachionus calyciflorus*, and its application in fish larviculture technology. *African Journal of Biotechnology*, 5(7), 536-541.
- Atique, F., Lindholm-Lehto, P. and Pirhonen, J., 2022, Is aquaponics beneficial in terms of fish and plant growth and water quality in comparison to separate recirculating aquaculture and hydroponic systems? *Water*, 14(9), 1447.
- Azevedo, P.A., Cho, C.Y., Leeson, S. and Bureau, D.P., 1998, Effects of feeding level and water temperature on growth, nutrient and energy utilization and waste outputs of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquatic Living Resources*, 11(4), 227-238.
- Azuma, T., 2001, Can water-flow induce an excellent growth of fish; effects of water flow on the growth of juvenile masu salmon, *Oncorhynchus masou*. *World Aquaculture*, 32(4), 26-29.
- Azuma, T., Noda, S., Yada, T., Ototake, M., Nagoya, H., Moriyama, S., ... and Iwata, M., 2002, Profiles in growth, smoltification, immune function and swimming performance of 1-year-old masu salmon *Oncorhynchus masou* reared in water flow. *Fisheries Science*, 68(6), 1282-1294.
- Azzi A. and Stocker A., 2000, Vitamin E: Non-antioxidan roles. *Progress in Lipid Research*, 39, 231-255.
- Barim B. and Erisir, M., 2009, The effect of dietary antioxidants on the arginase activity and nitric oxide level of freshwater crayfish (*Astacus leptodactylus*, Esch. 1823). *Kafkas Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 15, 745-750.
- Beutler, E., 1971, Red cell metabolism: A manual of biochemical methods. Vol.12, Academic Press, London, , pp. 68-70.

- Beutler, E., 1975, Glutathione in red cell metabolism: A manual of biochemical methods. Second ed., Grune & Stratton, New York, , pp. 112-114.
- Beutler, E., 1984, Glutathione in red cell metabolism: A manual of biochemical methods. Third ed., Grune & Stratton, New York,
- Birolo, M., Bordignon, F., Trocino, A., Fasolato, L., Pascual, A., Godoy, S., ... and Xiccato, G., 2020, Effects of stocking density on the growth and flesh quality of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) reared in a low-tech aquaponic system. *Aquaculture*, 529, 735653.
- Blahová, J., Plhalová, L., Hostovský, M., Divišová, L., Dobšíková, R., Mikulíková, I. and Svobodová, Z., 2013, Oxidative stress responses in zebrafish, *Danio rerio* after subchronic exposure to atrazine. *Food and Chemical Toxicology*, 61, 82-85.
- Blancheton, J.P., Attramadal, K.J.K., Michaud, L., d'Orbcastel, E.R. and Vadstein, O., 2013, Insight into bacterial population in aquaculture systems and its implication. *Aquacultural Engineering*, 53, 30-39.
- Bohl, M., 1977, Some initial aquaculture experiments in recirculating water systems. *Aquaculture*, 11, 323-328.
- Bompa, T.O., 2001, *Antrenman kuramı ve yöntemi*. Bağırgan Yayımevi, Ankara,: s.370-432.
- Boyd, C.E. and Tucker, C.S., 1998, Water quality requirements. In Pond aquaculture water quality management (pp. 87-153). Springer, Boston, MA.
- Brahmachari, G., 2017, *Cardioprotective natural products: Promises and hopes*. World Scientific.
- Brännäs, E., 2009, The effect of moderate exercise on growth and aggression depending on social rank in groups of Arctic charr (*Salvelinus alpinus* L.). *Applied Animal Behaviour Science*, 119(1-2), 115-119.
- Brannon, E.L., 1972, Mechanisms controlling migration of sockeye salmon fry. *International Pacific Salmon Fisheries Commission Bulletin*, 21, 86.
- Brashears, M. M. and Durre, W.A., 1999, Antagonistic action of *Lactobacillus lactis* toward *Salmonella* spp. and *Escherichia coli* O157: H7 during growth and refrigerated storage. *Journal of Food Protection*, 62(11), 1336-1340.
- Bregnballe, J.E., 2015, A guide to recirculation aquaculture: An introduction to the new environmentally friendly and highly productive closed fish farming systems. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Eurofish. <http://www.fao.org/3/a-i46>
- Brett, J.R., 1971, Energetic responses of salmon to temperature. A study of some thermal relations in the physiology and freshwater ecology of sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*). *American Zoologist*, 11(1), 99-113.

- Brown, E.J., Bruce, M., Pether, S. and Herbert, N.A., 2011, Do swimming fish always grow fast? Investigating the magnitude and physiological basis of exercise-induced growth in juvenile New Zealand yellowtail kingfish, *Seriola lalandi*. *Fish Physiology and Biochemistry*, 37(2), 327-336.
- Brown, G.W. and Cohen, P.P., 1960, Comparative biochemistry of urea synthesis. 3. Activities of urea cycle enzymes in various higher and lower vertebrates. *Biochemical Journal*, 75, 82-91.
- BSGM, 2022, Alabalık Yetiştiriciliği İçin Su Kalite Kriterleri. <https://www.tarimorman.gov.tr/BSGM/Belgeler/Icerikler/Su%20%C3%9Cr%C3%BCnl%20Yeti%C5%9Ftiricili%C4%9Fi/2-%20Alabal%C4%B1k%20Yeti%C5%9Ftiricili%C4%9Fi%20%C4%B0%C3%A7in%20Su%20Kalite%20Kriterleri.pdf> [Ziyaret tarihi: 10 Kasım 2022].
- Bugbee, B., 2004, Nutrient Management in Recirculating Hydroponic Culture. In: Proceedings of the South Pacific Soilless Culture Conference. M. Nichols, (ed.). *Acta Hort*, 648, 99-112.
- Bugbee, B., 2003, Nutrient management in recirculating hydroponic culture. In South Pacific Soilless Culture Conference-SPSCC 648 (pp. 99-112).
- Bugeon, J., Lefevre, F. and Fauconneau, B., 2003, Fillet texture and muscle structure in brown trout (*Salmo trutta*) subjected to long-term exercise. *Aquaculture Research*, 34(14), 1287-1295.
- Burns, I.G., Walker, R.L. and Moorby, J., 1997, How do nutrients drive growth? *Plant and Soil*, 196(2), 321-325.
- Bury, N. and Grosell, M., 2003, Iron acquisition by teleost fish. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, 135(2), 97-105.
- Buzby, K.M. and Lin, L.S., 2014, Scaling aquaponic systems: Balancing plant uptake with fish output. *Aquacultural Engineering*, 63, 39-44.
- Campbell, J.W. and Lee, T.W., 1963, Ornithine transcarbamylase and arginase activity in flatworms. *Comparative Biochemistry and Physiology*, 8, 29-38.
- Can, A. and Akev, N., 2021, *Eczacılık Fakültesi Öğrencileri için Biokimya Dersleri*. İst. Üniv. Yayın No. 5280, Eczacılık Fakültesi Yayın No. 90. ISBN. 978-605-07-0763-2.
- Castro, V., Grisdale-Helland, B., Helland, S., Kristensen, T., Jørgensen, S.M., Helgerud, J., Claireaux, G., Farrell, A.P., Krasnov, A. and Takle, H., 2011, Aerobic training stimulates growth and promotes disease resistance in Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Comparative Biochemistry & Physiology*, 160, 278-290.
- Chalmers, G.A., 2004, *Aquaponics and food safety*. Lethbridge, Alberta.

- Chellappa, S., Huntingford, F.A., Strang, R.H.C. and Thomson, R.Y., 1995, Condition factor and hepatosomatic index as estimates of energy status in male three-spined stickleback. *Journal of Fish Biology*, 47(5), 775-787.
- Chun, C. and Takakura, T., 1994, Rate of root respiration of lettuce under various dissolved oxygen concentrations in hydroponics. *Environment Control in Biology*, 32(2), 125-135.
- Claireaux, G. and Lefrançois, C., 2007, Linking environmental variability and fish performance: integration through the concept of scope for activity. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 362(1487), 2031-2041.
- Colt, J., Schuur, A.M., Weaver, D. and Semmens, K., 2022, Engineering design of aquaponics systems. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 30(1), 33-80.
- Conforti, F., Perri, V., Menichini, F., Marrelli, M., Uzunov, D., Statti, G.A., and Menichini, F., 2012, Wild Mediterranean dietary plants as inhibitors of pancreatic lipase. *Phytotherapy Research*, 26(4), 600-604.
- Cordier, M., Brichon, G., Weber, J.M., and Zwingelstein, G., 2002, Changes in the fatty acid composition of phospholipids in tissues of farmed sea bass (*Dicentrarchus labrax*) during an annual cycle. Roles of environmental temperature and salinity. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology*, 133(3), 281-288.
- Cripps, S.J. and Poxton, M.G., 1992, A review of the design and performance of tanks relevant to flatfish culture. *Aquacultural Engineering*, 11, 71-91.
- Crovella, T., Paiano, A. and Lagioia, G., 2022, A meso-level water use assessment in the Mediterranean agriculture. Multiple applications of water footprint for some traditional crops. *Journal of Cleaner Production*, 330, 129886.
- Çelik, M., 2000, The effect of water current on omega-3 fatty acids of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fillets. *Turkish Journal of Veterinary & Animal Sciences*, 24(6), 605-607.
- Dalzell, D.J.B. and Macfarlane, N.A.A., 1999, The toxicity of iron to brown trout and effects on the gills: a comparison of two grades of iron sulphate. *Journal of Fish Biology*, 55(2), 301-315.
- Damsgård, B., Arnesen, A.M., Baardvik, B.M. and Jobling, M., 1997, State-dependent feed acquisition among two strains of hatchery-reared Arctic charr. *Journal of Fish Biology*, 50(4), 859-869.
- Danish, M.S.S., Senjyu, T., Sabory, N.R., Khosravy, M., Grilli, M.L., Mikhaylov, A. and Majidi, H., 2021, A forefront framework for sustainable aquaponics modeling and design. *Sustainability*, 13(16), 9313.
- Davidson, J., Good, C., Welsh, C. and Summerfelt, S.T., 2014, Comparing the effects of high vs. low nitrate on the health, performance, and welfare of juvenile rainbow trout

- Oncorhynchus mykiss* within water recirculating aquaculture systems. *Aquacultural Engineering*, 59, 30-40.
- Davies, K.J., Quintanilha, A.T., Brooks, G.A. and Packer, L., 1982, Free radicals and tissue damage produced by exercise. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 107(4), 1198-205.
- Davis, M.W. and Olla, B. L., 1987, Aggression and variation in growth of chum salmon (*Oncorhynchus keta*) juveniles in seawater: effects of limited ration. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 44(1), 192-197.
- Davison, W. and Goldspink, G., 1977, The effect of prolonged exercise on the lateral musculature of the brown trout (*Salmo trutta*). *Journal of Experimental Biology*, 70(1), 1-12.
- Davison, W., 1989, Training and its effects on teleost fish. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology*, 94(1), 1-10.
- Davison, W., 1997, The effects of exercise training on teleost fish, a review of recent literature. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology*, 117(1), 67-75.
- Day, J.A., Diener, C., Otwell, A.E., Tams, K.E., Bebout, B., Detweiler, A.M., ... and Baliga, N.S., 2021, Lettuce (*Lactuca sativa*) productivity influenced by microbial inocula under nitrogen-limited conditions in aquaponics. *Plos One*, 16(2), e0247534.
- Deering, A.J., Mauer, L.J., and Pruitt, R.E., 2012, Internalization of *E. coli* O157: H7 and *Salmonella* spp. in plants: A review. *Food Research International*, 45(2), 567-575.
- Delgado, A., Estevez, A., Hotrelano, P. and Alejandre, M.J., 1994, Analyses of fatty acids from different lipids in liver and muscle of sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.). Influence of temperature and fasting. *Comparative Biochemistry and Physiology, Part A: Physiology*, 108(4), 673-680
- Deschamps, M.H., Labbé, L., Baloché, S., Fouchereau-Péron, M., Dufour, S. and Sire, J.Y., 2009, Sustained exercise improves vertebral histomorphometry and modulates hormonal levels in rainbow trout. *Aquaculture*, 296(3-4), 337-346.
- Diver, S. and Rinehart, L., 2000, Aquaponics-Integration of hydroponics with aquaculture. *Attra*, 1-28.
- Donaldson, E.M., Fagerlund, U.H.M., Higgs, D.A. and McBride, J.R., 1979, *Hormonal enhancement of growth*. In: Hoar WS, Randall DJ, Brett JR (eds) *Fish Physiology, Bioenergetics and Growth*, vol. VIII. Academic Press, New York, pp 455-597
- East, P. and Magnan, P., 1987, The effect of locomotor activity on the growth of brook charr, *Salvelinus fontinalis* Mitchill. *Canadian Journal of Zoology*, 65(4), 843-846.
- Ebeling, J.M. and Timmons, M.B., 2010, *Recirculating Aquaculture*. Ithaca, NY: Cayuga Aqua Ventures.

- Eck, M., Sare, A.R., Massart, S., Schmautz, Z., Junge, R., Smits, T.H., and Jijakli, M.H., 2019, Exploring bacterial communities in aquaponic systems. *Water*, 11(2), 260.
- Effendi, H., Wahyuningsih, S. and Wardiatno, Y., 2017, The use of nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) cultivation wastewater for the production of romaine lettuce (*Lactuca sativa* L. var. longifolia) in water recirculation system. *Applied Water Science*, 7(6), 3055-3063.
- Ellis, T., North, B., Scott, A.P., Bromage, N.R., Porter, M. and Gadd, D., 2002, The relationships between stocking density and welfare in farmed rainbow trout. *Journal of Fish Biology*, 61(3), 493-531.
- Endut, A., Jusoh, A. and Ali, N.A., 2014, Nitrogen budget and effluent nitrogen components in aquaponics recirculation system. *Desalination and Water Treatment*, 52(4-6), 744-752.
- Endut, A., Jusoh, A., Ali, N., Nik, W.W. and Hassan, A., 2010, A study on the optimal hydraulic loading rate and plant ratios in recirculation aquaponic system. *Bioresource Technology*, 101(5), 1511-1517.
- Erkan, N., Özden, Ö. and Selcuk, A., 2010, Effect of frying, grilling, and steaming on amino acid composition of marine fishes. *Journal of Medicinal Food*, 13(6), 1524-1531.
- Fabrikov, D., Barroso, F.G., Sánchez-Muros, M.J., Hidalgo, M.C., Cardenete, G., Tomas-Almenar, C., Melenchón, F. & Guil-Guerrero, J.L., 2021, Effect of feeding with insect meal diet on the fatty acid compositions of sea bream (*Sparus aurata*), tench (*Tinca tinca*) and rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) filets. *Aquaculture*, 545, 737170.
- FAO, 2018, *The State of World Fisheries and Aquaculture 2018* - Meeting the sustainable development goals. Roma. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.
- FAO, 2020, *The State of World Fisheries and Aquaculture 2020*. Sustainability in action. Roma. <https://doi.org/10.4060/ca9229en> ISBN: 978-92-5-132692-3
- FAO, 2022, *The State of World Fisheries and Aquaculture 2022*. Towards Blue Transformation. Roma. <https://doi.org/10.4060/ca9229en> ISBN: 978-92-5-136364-5
- Farrell, A.P., 2002, Coronary arteriosclerosis in salmon: growing old or growing fast? *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 132(4), 723-735.
- Farrell, A.P., Johansen, J.A., Steffensen, J.F., Moyes, C.D., West, T. G., and Suarez, R.K., 1989, Effects of exercise training and coronary ablation on swimming performance, heart size, and cardiac enzymes in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Canadian Journal of Zoology*, 68(6), 1174-1179.
- Flores, R.M.V., Preckel, P.V., Quagrainie, K., Widmar, N.O., Silva, L., da Costa, J.I., ... and Branco, T.C., 2022, Efficiency tests for screening production strategies in a lettuce-juvenile tilapia aquaponics system in Brazil. *Aquaculture International*, 30, 2403-2424.

- Forchino, A.A., Loughioui, H., Brigolin, D., and Pastres, R., 2017, Aquaponics and sustainability: The comparison of two different aquaponic techniques using the Life Cycle Assessment (LCA). *Aquacultural Engineering*, 77, 80-88.
- Forman, H.J., Zhang, H., Rinna, A., 2009, Glutathione: Overview of its protective roles, measurement, and biosynthesis. *Molecular Aspects of Medicine*, 30, 1-12.
- Fox, B.K., Tamaru, C.S., Hollyer, J., Castro, L.F., Fonseca, J.M., Jay-Russell, M., and Low, T., 2012, A preliminary study of microbial water quality related to food safety in recirculating aquaponic fish and vegetable production systems. Honolulu (HI): University of Hawaii. 11 p. (Food Safety and Technology Series; FST-51).
- Frei, B., 1994, Reactive oxygen species and antioxidant vitamins: Mechanisms of action. *The American Journal of Medicine*, 97(3), S5-S13.
- Friedman, M., 1996, Food browning and its prevention: An overview. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 44(3), 631-653.
- Geyer, J.W., Dabich, D., 1971, Rapid method for determination of arginase activity in tissue homogenates. *Analytical Biochemistry*, 39, 412-417.
- Ghasemifard, S., Turchini, G.M. and Sinclair, A.J., 2014, Omega-3 long chain fatty acid "bioavailability": A review of evidence and methodological considerations. *Progress in Lipid Research*, 56, 92-108.
- Ghasemifard, S., Turchini, G.M., and Sinclair, A.J., 2014, Omega-3 long chain fatty acid "bioavailability": A review of evidence and methodological considerations. *Progress in Lipid Research*, 56, 92-108.
- Gichana, Z.M., Liti, D., Waidbacher, H., Zollitsch, W., Drexler, S., & Waikibia, J., 2018, Waste management in recirculating aquaculture system through bacteria dissimulation and plant assimilation. *Aquaculture International*, 26(6), 1541-1572.
- Goddek, S., and Keesman, K.J., 2018, The necessity of desalination technology for designing and sizing multi-loop aquaponics systems. *Desalination*, 428, 76-85.
- Goddek, S., Delaide, B., Mankasingh, U., Ragnarsdottir, K.V., Jijakli, H., and Thorarinsdottir, R., 2015, Challenges of sustainable and commercial aquaponics. *Sustainability*, 7(4), 4199-4224.
- Goddek, S., Espinal, C.A., Delaide, B., Jijakli, M.H., Schmutz, Z., Wuertz, S., and Keesman, K.J., 2016, Navigating towards decoupled aquaponic systems: A system dynamics design approach. *Water*, 8 (7), 303.
- Goddek, S., Joyce, A., Kotzen, B., and Burnell, G.M., 2019, *Aquaponics Food Production Systems: Combined Aquaculture and Hydroponic Production Technologies for the Future*, Springer Nature.
- Goldfarb, A.H., 1993, Antioxidants: Role of supplementation to prevent exercise-induced oxidative stress. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 25(2), 232-236.

- Gonenc, S., Acikgoz, O., Semin, I., Ozgonul, H., 2000, The effect of moderate swimming exercise on antioxidant enzymes and lipid peroxidation levels in children. *Indian Journal of Physiology and Pharmacology*, 44 (3), 340-344.
- González-Alanis, P., Gutierrez-Olguín, J.I., Castro-Segura, I., Ezqueda-Palacios, H., Acosta, M.H., Gojon-Báez, H.H., ... and Fitzsimmons, K.M., 2011, Food Safety Study of Leafy Green Irrigated with Tilapia Farm Effluents in Tamaulipas. In *Better Science, Better Fish, Better Life: Proceedings of the Ninth International Symposium on Tilapia in Aquaculture* (pp. 121-122).
- Good, C., May, T., Crouse, C., Summerfelt, S., and Welch, T.J., 2016, Assessing the impact of swimming exercise and the relative susceptibility of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum) and Atlantic salmon *Salmo salar* L. following injection challenge with *Weissella ceti*. *Journal of Fish Diseases*, 39(11), 1387-1391.
- Goss, M.J., Miller, M.H., Bailey, L.D., and Grant, C.A., 1993, Root growth and distribution in relation to nutrient availability and uptake. *European Journal of Agronomy*, 2(2), 57-67.
- Gossling, P.G., Ross, J.O., 1979, Characterization of glucose-6-phosphate dehydrogenase and 6-phosphogluconic acid dehydrogenase from hazel cotyledons. *Phytochemistry*, 18, 1441-1445.
- Graham, J.B., 1990, Ecological, evolutionary, and physical factors influencing aquatic animal respiration. *American Zoologist*, 30(1), 137-146.
- Grant, J.W.A., 1993, Whether or not to defend? The influence of resource distribution. *Marine Behaviour and Physiology*, 23, 137-153
- Greenfield, A., Becker, N., McIlwain, J., Fotedar, R. and Bornman, J.F., 2019, Economically viable aquaponics? Identifying the gap between potential and current uncertainties. *Reviews in Aquaculture*, 11(3), 848-862.
- Grigorakis, K. and Alexis, M., 2005, Effects of fasting on the meat quality and fat deposition of commercial-size farmed gilthead sea bream (*Sparus aurata* L.) fed different dietary regimes. *Aquaculture Nutrition*, 11, 341–344.
- Grigorakis, K., 2007, Compositional and organoleptic quality of farmed and wild gilthead sea bream (*Sparus aurata*) and sea bass (*Dicentrarchus labrax*) and factors affecting it: A review. *Aquaculture*, 272(1-4), 55-75.
- Grigorakis, K., 2010, Effects of nutrition and aquaculture practices on fish quality. Handbook of seafood quality, safety and health applications, In: *Handbook of seafood quality, safety and health applications*, Eds. Alasalvar, C., Shahidi, F., Miyashita, K., Wanasundara, U., pp. 82-95.
- Grigorakis, K., Alexis, M.N., Taylor, K.A., and Hole, M., 2002, Comparison of wild and cultured gilthead sea bream (*Sparus aurata*); composition, appearance and seasonal variations. *International Journal of Food Science and Technology*, 37(5), 477-484.

- Grillo, M.A., and Colombatto, S., 2004, Arginine revisited: Minireview article. *Amino Acids*, 26, 345-351.
- Gül, M., Demircan, B., Taysi, S., Öztasan, N., Gümüştekin, K., Siktir, E., Polat, M.F., Akar, S., Akçay, F., and Dane, S., 2006, Effects of endurance training and acute exhaustive exercise on antioxidant defense mechanisms in rat heart. *Comparative Biochemistry Physiology Part A: Molecular Integrative Physiology*, 143 (2), 239–45.
- Gül, M., Öztaşan, N., Taysi, S., and Gümüştekin, K., 2001, Sıçanlarda oksidatif stres modeli olarak yüzme egzersizi. *Hacettepe Spor Bilimleri Dergisi*, 12, 26-32.
- Habig, W.H., and Jakoby, W.B., 1981, Assays for differentiation of glutathione-S-transferases. *Methods in Enzymology*, 77 398-405.
- Hammer, C., 1994, Effects of endurance swimming on the growth of 0-and 1-age group of whiting, *Merlangius merlangus*, Gadidae. *Archive of Fishery and Marine Research*, 42(2), 105-122.
- Harram, M., Do I need to worry about EC measurements?, <https://blog.aquaponics.net.au/aquaponics-systems/ec-measurements-in-an-aquaponics-system.htm> [Ziyaret tarihi: 10 Kasım 2022].
- Hayes, J.D., Flanagan, J.U., Jowsey, I.R., 2005, Glutathione transferases. *Annual Review of Pharmacology and Toxicology*, 45, 51-88.
- Hilborn, E.D., Mermin, J.H., Mshar, P.A., Hadler, J.L., Voetsch, A., Wojtkunski, C., ... and Slutsker, L., 1999, A multistate outbreak of *Escherichia coli* O157: H7 infections associated with consumption of mesclun lettuce. *Archives of Internal Medicine*, 159(15), 1758-1764.
- Hoagland, L., Ximenes, E., Ku, S., and Ladisch, M., 2018, Foodborne pathogens in horticultural production systems: Ecology and mitigation. *Scientia Horticulturae*, 236, 192-206.
- Hoffnagle, T.L., Carmichael, R.W., and Keniry, P. J., 2006, The effect of moderately increased and variable raceway flow rates on juvenile physiology, survival, and adult return of hatchery-reared Chinook salmon. *Transactions of the American Fisheries Society*, 135(6), 1567-1577.
- Houlihan, D., Boujard, T. and Jobling, M., 2008, *Food intake in fish*. John Wiley & Sons, USA.
- Houlihan, D.F. and Laurent, P., 1987, Effects of exercise training on the performance, growth, and protein turnover of rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 44(9), 1614-1621.
- Hugg, D.O., 1996, MAPFISH georeferenced mapping database. Freshwater and estuarine fishes of North America. Life Science Software. Dennis O. and Steven Hugg, 1278 Turkey Point Road, Edgewater, Maryland, USA.

- Hundley, G.C., Navarro, F.K.S.P., Ribeiro Filho, O.P., and Navarro, R.D., 2018, Integration of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.) production *Origanum majorana* L. and *Ocimum basilicum* L. using aquaponics technology. *Acta Scientiarum. Technology*, 40.
- Huntingford, F., Jobling, M., and Kadri, S., 2012, *Aquaculture and behavior*, Wiley-Blackwell, Oxford.
- Hussain, T., Verma, A.K., Tiwari, V.K., Prakash, C., Rathore, G., Shete, A.P., and Nuwansi, K.K.T. (2014). Optimizing koi carp, *Cyprinus carpio* var. koi (Linnaeus, 1758), stocking density and nutrient recycling with spinach in an aquaponic system. *Journal of the World Aquaculture Society*, 45(6), 652-661.
- Ibarz, A., Felip, O., Fernández-Borràs, J., Martín-Pérez, M., Blasco, J., and Torrella, J.R., 2011, Sustained swimming improves muscle growth and cellularity in gilthead sea bream. *Journal of Comparative Physiology B*, 181(2), 209-217.
- Ibraheem, O., Adewale, I.O., and Afolayan, A., 2005, Purification and properties of glucose-6 phosphate dehydrogenase from *Aspergillus aculeatus*. *Journal of Biochemistry and Molecular Biology*, 38, 584-590.
- Ichihara, K. I., Waku, K., Yamaguchi, C., Saito, K., Shibahara, A., Miyatani, S., and Yamamoto, K., 2002, A convenient method for determination of the C20–22 PUFA composition of glycerolipids in blood and breast milk. *Lipids*, 37(5), 523-526.
- Ighodora, O.M., and Akinloye, O.A., 2018, First line defence antioxxidants-superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT) and glutathione peroxidase (GPX): Their fundamental role in the entire antioxidant defence grid. *Alexandria Journal of Medicine*, 54, 287-293.
- Jahantigh, M., 2015, Characteristics of some digestive enzymes in sobaity, *Sparidentex hasta*. *Iranian Journal of Veterinary Medicine*, 9 (3), 213-218.
- Jain, K.E., and Farrell, A.P., 2003, Influence of seasonal temperature on the repeat swimming performance of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. *Journal of Experimental Biology*, 206 (20), 3569-3579.
- Jenkinson, C.P., Grody, W.W., and Cederbaum, S.D., 1996, Comparative properties of arginases. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology*, 114, 107-132.
- Ji, L.L., 1999, Antioxidants and oxidative stress in exercise. *Proceedings of the Society for Experimental Biology and Medicine*, 222, 283-292.
- Jobling, M., 1995, Simple indices for the assessment of the influences of social environment on growth performance, exemplified by studies on Arctic charr. *Aquaculture International*, 3(1), 60-65.
- Jobling, M., and Koskela, J., 1996, Interindividual variations in feeding and growth in rainbow trout during restricted feeding and in a subsequent period of compensatory growth. *Journal of Fish Biology*, 49(4), 658-667.

- Jobling, M., Baardvik, B.M., Christiansen, J.S., and Jørgensen, E.H., 1993, The effects of prolonged exercise training on growth performance and production parameters in fish. *Aquaculture International*, 1 (2), 95-111.
- Johansson, L., Kiessling, A., Kiessling, K.H., and Berglund, L., 2000, Effects of altered ration levels on sensory characteristics, lipid content and fatty acid composition of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Food Quality and Preference*, 11(3), 247-254.
- Johnson, G.E., Buzby, K.M., Semmens, K.J., Holaskova, I., and Waterland, N.L., 2017, Evaluation of lettuce between spring water, hydroponic, and flow-through aquaponic systems. *International Journal of Vegetable Science*, 23 (5), 456-470.
- Jørgensen, E.H., Bernier, N.J., Maule, A.G., and Vijayan, M.M., 2016, Effect of long-term fasting and a subsequent meal on mRNA abundances of hypothalamic appetite regulators, central and peripheral leptin expression and plasma leptin levels in rainbow trout. *Peptides*, 86, 162-170.
- Junge, R., König, B., Villarroel, M., Komives, T., and Jijakli, M.H., 2017, Strategic points in aquaponics. *Water*, 9 (3), 182.
- Kang, J.H., Cho, Y.D., 1990, Purification and properties of arginase from soybean, glycine max, axes. *Plant Physiology*, 93, 1230-1234.
- Kanter, M.M., Hamlin R.L., Unverferth, D.V., Davis, H.W. Merola, A.J., 1985, Effect of exercise training on antioxidant enzymes and cardiotoxicity of doxorubicin. *Journal of Applied Physiology*, 59, 1298-1303.
- Karamızrak, S.O., Ergen, E., Töre, I.R., Akgün, N., 1994, Changes in serum creatine kinase, lactate dehydrogenase and aldolase activities following supramaximal exercise in athletes. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 34, 141-6.
- Karasu Benli, A.Ç., and Köksal, G., 2005, The acute toxicity of ammonia on tilapia (*Oreochromis niloticus* L.) larvae and fingerlings. *Turkish Journal of Veterinary & Animal Sciences*, 29 (2), 339-344.
- Kasozi, N., Abraham, B., Kaiser, H., and Wilhelmi, B., 2021, The complex microbiome in aquaponics: significance of the bacterial ecosystem. *Annals of Microbiology*, 71(1), 1-13.
- Kasozi, N., Tandlich, R., Fick, M., Kaiser, H., and Wilhelmi, B., 2019, Iron supplementation and management in aquaponic systems: A review. *Aquaculture Reports*, 15, 100221.
- Kim, Y.M., Park, D., Lee, D.S., and Park, J.M., 2007, Instability of biological nitrogen removal in a cokes wastewater treatment facility during summer. *Journal of Hazardous Materials*, 141(1), 27-32.
- Klapisis, A., Burley, R., 1984, Flow distribution studies in fish rearing tanks. Part 1—design constraints. *Aquacultural Engineering*, 3, 103–118.

- Knaus, U., and Palm, H.W., 2017, Effects of the fish species choice on vegetables in aquaponics under spring-summer conditions in northern Germany (Mecklenburg Western Pomerania). *Aquaculture*, 473, 62-73.
- Kroupova, H., Machova, J., Piackova, V., Blahova, J., Dobsikova, R., Novotny, L., and Svobodova, Z., 2008, Effects of subchronic nitrite exposure on rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 71(3), 813-820.
- Larsen, B.K., Skov, P.V., McKenzie, D.J., and Jokumsen, A., 2012, The effects of stocking density and low level sustained exercise on the energetic efficiency of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) reared at 19 C. *Aquaculture*, 324, 226-233.
- Ledwozyw, A., Michalak, J., Stephien, A., and Kadziolka, A., 1986, The relationship plasma triglycerides, cholesterol, total lipids and lipid peroxidation products during human atherosclerosis. *Clinica Chimica Acta*, 155, 275-284.
- Leeuwenburgh, C., and Heinecke, J.W., 2001, Oxidative stress and antioxidants in exercise. *Current Medicinal Chemistry*, 8, 829-838.
- Lehninger, A.L., Nelson, D.L., Cox, M.M., 2000, *Principles of Biochemistry*, Worth Publishers, USA.
- Lemarie, G., Dosdat, A., Covès, D., Dutto, G., Gasset, E., and Person-Le Ruyet, J., 2004, Effect of chronic ammonia exposure on growth of European seabass (*Dicentrarchus labrax*) juveniles. *Aquaculture*, 229(1-4), 479-491.
- Lemos, M.C., and De Oliveira, J.L.F., 2004, Can water reform survive politics? Institutional change and river basin management in Ceará, Northeast Brazil. *World Development*, 32(12), 2121-2137.
- Lennard, W., 2017, Commercial aquaponic systems: integrating recirculating fish culture with hydroponic plant production. Wilson Lennard. Commercial Aquaponic Systems.
- Li, G., Sinclair, A.J., & Li, D., 2011, Comparison of lipid content and fatty acid composition in the edible meat of wild and cultured freshwater and marine fish and shrimps from China. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59 (5), 1871-1881.
- Li, J.L., 1993, Antioxidant enzyme response to exercise and aging. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 25, 225-231.
- Li, M., Cao, X., Liu, D., Fu, Q., Li, T., and Shang, R., 2022, Sustainable management of agricultural water and land resources under changing climate and socio-economic conditions: A multi-dimensional optimization approach. *Agricultural Water Management*, 259, 107235.
- Lobo, V., Pat, A., Phatak, A., Chandra, N., 2010, Free radicals, antioxidants and functional foods: Impact on human health, *Pharmacognosy Reviews*, 4, 118-126.
- Losordo, T.M., and Westers, H., 1994, System carrying capacity and flow estimation. *Developments in Aquaculture and Fisheries Science*, 27, 9-60.

- Love, D.C., Fry, J.P., Genello, L., Hill, E.S., Frederick, J.A., Li, X., and Semmens, K., 2014, An international survey of aquaponics practitioners. *PloS One*, 9(7), e102662.
- Love, D.C., Fry, J.P., Li, X., Hill, E.S., Genello, L., Semmens, K., and Thompson, R.E., 2015, Commercial aquaponics production and profitability: Findings from an international survey. *Aquaculture*, 435, 67-74.
- Love, M.S., C.W. Mecklenburg, T.A. Mecklenburg and L.K. Thorsteinson, 2005, Resource inventory of marine and estuarine fishes of the West Coast and Alaska: A checklist of North Pacific and Arctic Ocean species from Baja California to the Alaska-Yukon border. U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey, Biological Resources Division, Seattle, Washington, 98104
- Lowry, O.H., Rosebrough, N.J., Farr, A.L., and Randall, R.J., 1951, Protein measurement with the Folin phenol reagent. *Journal of Biological Chemistry*, 193, 265-275.
- Lu, J., Jin, M., Luo, J., Hou, Y., Zhou, Q., 2020, Effects of dietary fish oil substitution with blending vegetable oils on growth performance, antioxidant enzyme activities and tissue fatty acid composition of juvenile swimming crab, *Portunus trituberculatus*. *Aquaculture Nutrition*, 26, 1394-1404.
- Lu, S.C., 2009, Regulation of glutathione synthesis. *Molecular Aspects of Medicine*, 30, 42-59.
- Lu, S.C., 2013, Glutathione synthesis. *Biochimica et Biophysica Acta*, 1830, 3143-3153.
- Ly, H., Zhen, C., Liu, J., Yang, P., Hu, L. and Shang P., 2019, Unraveling the potential role of glutathione in multiple forms of cell death in cancer therapy. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2019, Article ID 3150145, 1-16.
- Maboko, M. and Duplooy, P., 2008, Evaluation of crisp head lettuce cultivars (*Lactuca sativa* L.) for winter production in a soilless production system. *African Journal of Plant Science*, 2(10), 113-117.
- MacIntyre, C.M., Ellis, T., North, B.P. and Turnbull, J.F., 2008, The influences of water quality on the welfare of farmed rainbow trout: A review. *Fish Welfare*, 150-184.
- Macrae, R., Robinson, R.K. and Sadler, M.J., 1993, Encyclopaedia of Food Science. Food Technology and Nutrition, Academic Press INC, San Diego, 3126 3131.
- Malaguti, M., Angeloni, C., and Hrelia, S., 2013, Polyphenols in exercise performance and prevention of exercise-induced muscle damage. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2013: 825928.
- Malejane, D.N., Tinyani, P., Soundy, P., Sultanbawa, Y. and Sivakumar, D., 2018, Deficit irrigation improves phenolic content and antioxidant activity in leafy lettuce varieties. *Food Science and Nutrition*, 6, 334-341.
- Manor, M.L., Weber, G.M., Cleveland, B.M. and Kenney, P.B., 2014, Effects of feeding level and sexual maturation on fatty acid composition of energy stores in diploid and triploid rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, 418, 17-25.

- Margaritis, I., Tessier, F., Richard, M.J. and Marconnet, P., 1997, No evidence of oxidative stress after a triathlon race in highly trained competitors. *International Journal of Sports Medicine*, 18:186-90
- Martin, C.I. and Johnston, I.A., 2006, Endurance exercise training in common carp *Cyprinus carpio* L. induces proliferation of myonuclei in fast muscle fibres and slow muscle fibre hypertrophy. *Journal of Fish Biology*, 69(4), 1221-1227.
- Matveychuk, D., Dursun, S.M., Wood, P.L. and Baker, G.B., 2011, Reactive aldehydes and neurodegenerative disorders. *Klinik Psikofarmakoloji Bülteni-Bulletin of Clinical Psychopharmacology*, 21(4), 277-288.
- McCarthy, I.D., Carter, C.G. and Houlihan, D.F., 1992, The effect of feeding hierarchy on individual variability in daily feeding of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum). *Journal of Fish Biology*, 41(2), 257-263.
- McKenzie, D.J., Höglund, E., Dupont-Prinet, A., Larsen, B.K., Skov, P.V., Pedersen, P.B. and Jokumsen, A., 2012, Effects of stocking density and sustained aerobic exercise on growth, energetics and welfare of rainbow trout. *Aquaculture*, 338, 216-222.
- Mestre-Alfaro, A., Ferrer, M.D., Sureda, A., Tauler, P., Martínez, E., Bibiloni, M.M., ... and Pons, A., 2011, Phytoestrogens enhance antioxidant enzymes after swimming exercise and modulate sex hormone plasma levels in female swimmers. *European Journal of Applied Physiology*, 111 (9), 2281-2294.
- Metin, G., Gümüstas, M.K., Uslu, E., Belce, A. and Kayserilioglu, A., 2003, Effect of regular training on plasmathiol. malondialdehyde and carnitine concentrations in young soccer players. *Chinese Journal of Physiology*, 46 (1), 35–39.
- Miao, P., Sheng, S., Sun, X., Liu, J. and Huang, G., 2013, Lactate dehydrogenase A in cancer: A promising target for diagnosis and therapy. *International Union of Biochemistry and Molecular Biology Life*, 65, 904–910.
- Mollison, B. and Holmgren, D., 1981., *Permaculture One: A Perennial Agricultural System for Human Settlements*: International Tree Crop Institute USA
- Molony, B. and Molony, B., 2001, Environmental requirements and tolerances of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and brown trout (*Salmo trutta*) with special reference to Western Australia: A review. *Fisheries Research Report*, 130, Department of Fisheries, Government of Western Australia.
- Mori, J. and Smith, R., 2019, Transmission of waterborne fish and plant pathogens in aquaponics and their control with physical disinfection and filtration: A systematized review. *Aquaculture*, 504, 380-395.
- Moriarty, M.J., Semmens, K., Bissonnette, G.K. and Jaczynski, J., 2018, Inactivation with UV-radiation and internalization assessment of coliforms and *Escherichia coli* in aquaponically grown lettuce. *LWT-Food Science and Technology*, 89, 624-630.

- Moutou, K.A., McCarthy, I.D. and Houlihan, D.F., 1998, The effect of ration level and social rank on the development of fin damage in juvenile rainbow trout. *Journal of Fish Biology*, 52(4), 756-770.
- Murray, H.M., Gallant, J.W., Perez-Casanova, J.C., Johnson, S.C. and Douglas, S.E., 2003, Ontogeny of lipase expression in winter flounder. *Journal of Fish Biology*, 62(4), 816-833.
- Mylorie, A.A., Collins, H., Umbles, C. and Kyle, J., 1986, Erythrocyte superoxide dismutase activity and other parameters of copper status in rats ingesting lead acetate. *Toxicology and Applied Pharmacology*, 82, 512-520.
- Naegel, L.C., 1977, Combined production of fish and plants in recirculating water. *Aquaculture* 10 (1):17–24. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(77\)90029-1](https://doi.org/10.1016/0044-8486(77)90029-1)
- Nakagawa, H., Umino, T., Mori, M., Sakae, K. and Ohya, S., 1995, Nature of adipose tissue of ayu associated with water velocity. *Fisheries Science*, 61(1), 87-90.
- Nakamura, H., Saheki, T. and Nakagawa, S., 1990, Differential cellular localization of enzymes of l-arginin metabolism in the rat. *Brain Research*, 530, 108-112.
- Nakazawa, H., Genka, C. and Fujishima, M., 1996, Pathological aspects of active oxygens/free radicals. *The Japanese Journal of Physiology*, 46, 15-32.
- Noble, C., Gismervik, K., Iversen, M.H., Kolarevic, J., Nilsson, J., Stien, L.H. and Turnbull, J.F., 2020, Welfare Indicators for farmed rainbow trout: tools for assessing fish welfare. Fishwell handbooks. Tromsø, Norway: Nofima.
- Noga, E.J., 2010, Fish disease: diagnosis and treatment. John Wiley & Sons.
- Noltmann, E.A., Gubler, C.J. and Kuby, S.A., 1961, Glucose-6-phosphate dehydrogenase (Zwischenferment) I. Isolation of the crystalline enzyme from yeast. *The Journal of Biological Chemistry*, 236, 1125-1230.
- Nuwansi, K.K.T., Verma, A.K., Prakash, C., Tiwari, V.K., Chandrakant, M.H., Shete, A.P., and Prabhath, G.P.W.A., 2016, Effect of water flow rate on polyculture of koi carp (*Cyprinus carpio* var. koi) and goldfish (*Carassius auratus*) with water spinach (*Ipomoea aquatica*) in recirculating aquaponic system. *Aquaculture International*, 24(1), 385-393.
- Nyska, A., and Kohen, R., 2002, Oxidation of biological systems: Oxidative stress phenomena, antioxidants, redox reactions and methods for their quantification. *Toxicologic Pathology*, 30, 620-650.
- Ohno, H., Sato, Y., Yamashita, K., Doi, R., Arai, K., Kondo, T. and Taniguchi, N., 1986, The effect of brief physical exercise on free radical scavenging enzyme systems in human red blood cells. *Canadian Journal of Physiology and Pharmacology*, 64, 1263-1265.
- Oz, M. and Dikel, S., 2015, Comparison of body compositions and fatty acid profiles of farmed and wild rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Food Science and Technology*, 3, 56-60.

- Ozan, S., Gürsu, M.F. and Gülen, Ş., 1993, Kısmen arıtılmış *Moniezia Expensa* arginazının bazı özellikleri. *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences*, 17, 245-250.
- Ozan, S.T. and Erisir, M., 1999, Arginase occurrence, development and distribution in various organs of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences*, 23 (Ek3), 531-536.
- Paglia, D.E. and Valentine, W.N., 1967, Studies on the quantitative and qualitative characterization of erythrocyte glutathione peroxidase. *Journal of Laboratory and Clinical Medicine*, 70, 158-169.
- Pakkasmaa, S. and Piironen, J., 2001, Morphological differentiation among local trout (*Salmo trutta*) populations. *Biological Journal of the Linnean Society*, 72(2), 231-239.
- Palmer, F.M., Nieman, D.C., Henson, D.A., Mcanulty, S.R., Mcanulty, L., Swick, N.S., Utter A.C., Vinci DM., and Morrow JD., 2003, Influence of vitamin C supplementation on oxidative and salivary IgA changes following an ultramarathon. *European Journal of Applied Physiology*, 89, 100-107.
- Palstra, A.P. and Planas, J.V., 2011, Fish under exercise. *Fish Physiology and Biochemistry*, 37(2), 259-272.
- Palstra, A.P. and Planas, J.V., 2012, *Swimming Physiology of Fish: Towards using exercise to farm a fit fish in sustainable aquaculture*, Springer, London, ISBN: 978-3-642-31048-5
- Palstra, A.P., Tudorache, C., Rovira, M., Brittijn, S.A., Burgerhout, E., Van den Thillart, G.E., ... and Planas, J.V., 2010, Establishing zebrafish as a novel exercise model: Swimming economy, swimming-enhanced growth and muscle growth marker gene expression. *PLoS One*, 5(12), e14483.
- Parker, T.M. and Barnes, M.E., 2014, Rearing velocity impacts on landlocked fall Chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) growth, condition, and survival. *Open Journal of Animal Sciences*, 4(05), 244.
- Pattadar, S.N., 2022, Moving toward sustainable food production: Aquaponics for healthy and nutritionally enriched fish and vegetables production (Doctoral dissertation, The Ohio State University).
- Pennell, W. and Barton, B.A., 1996, *Principles of salmonid culture*. Elsevier, Amsterdam, ISBN: 9780444821522
- Pereira, F.A., Ha, N., Gonçalves, A.F.N., Antunes, H., Valenti, W.C. and El Hadi Perez Fabregat, T., 2018, Can the polyculture with South American catfish improve the feeding efficiency of rainbow trout culture? *Aquaculture International*, 26(2), 487-493.
- Petrea, S.M., Cristea, V., Dediu, L., Contoman, M., Dicu, M., Antache, A., ... and Placinta, S., 2014, Vegetable production in an integrated aquaponic system with Stellate Sturgeon and Spinach–Matador variety. *Scientific Papers Animal Science and Biotechnologies*, 47 (1), 235-245.

- Petrea, S.M., Cristea, V., Dediu, L., Contoman, M., Lupoae, P. and Mocanu, M., 2013, Vegetable production in an Integrated Aquaponic System with rainbow trout and spinach. *Bulletin of the University of Agricultural Sciences & Veterinary Medicine Cluj-Napoca. Animal Science & Biotechnologies*, 70(1), 45-54.
- Petreska, M., Ziberoski, J. and Zekiri, M., 2013, Fish feed microbiological status. *Journal of Hygienic Engineering and Design*, 4, 16-19.
- Pettersson, A., Johnsson, L., Brännäs, E. and Pickova, J., 2009, Effects of rapeseed oil replacement in fish feed on lipid composition and self-selection by rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture Nutrition*, 15, 577-586.
- Pinho, S.M., Molinari, D., de Mello, G.L., Fitzsimmons, K.M. and Emerenciano, M.G.C., 2017, Effluent from a biofloc technology (BFT) tilapia culture on the aquaponics production of different lettuce varieties. *Ecological Engineering*, 103, 146-153.
- Piper, R.G., McElwain, I.B., Orme, L.E., McCraren, J.P., Fowler, L. G. and Leonard, J.R., 1982, Fish Hatchery Management. US Fish and Wildlife Service, Washington, DC, 517 pp.
- Pirhonen, J. and Koskela, J., 2005, Indirect estimation of stomach volume of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum). *Aquaculture Research*, 36(9), 851-856.
- Pottinger, T.G., Rand-Weaver, M. and Sumpter, J.P., 2003, Overwinter fasting and re-feeding in rainbow trout: plasma growth hormone and cortisol levels in relation to energy mobilisation. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology*, 136(3), 403-417.
- Pulkkinen, J.T., Eriksson-Kallio, A.M., Aalto, S.L., Tirola, M., Koskela, J., Kiuru, T. and Vielma, J., 2019, The effects of different combinations of fixed and moving bed bioreactors on rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) growth and health, water quality and nitrification in recirculating aquaculture systems. *Aquacultural Engineering*, 85, 98-105.
- Rabanal, H.R. 1988, History of Aquaculture, <https://www.fao.org/3/ag158e/ag158e02.htm>, [Ziyaret tarihi: 10 Kasım 2022].
- Radak, Z., Taylor, A.W., Sasvari, M., Ohno, H., Horkay, B. and Furesz, J., 2001, Telomerase activity is not altered by regular strenuous exercise in skeletal muscle or by sarcoma in liver of rats. *Redox Report*, 6, 99-103.
- Rakocy, J.E., 2012, Aquaponics-Integrating Fish and Plant Culture. Oxford, UK: Wiley-Blackwell. 344–386.
- Rakocy, J.E., Hargreaves, J.A. and Bailey, D.S., 1993, Nutrient accumulation in a recirculating aquaculture system integrated with hydroponic vegetable production. American Society Of Agricultural Engineers, St. Joseph, MI(USA)., 148-158.
- Rakocy, J.E., Masser, M.P. and Losordo, T.M., 2006, Recirculating aquaculture tank production systems: Aquaponics—integrating fish and plant culture. Southern Regional Aquaculture Center, publication no. 454.

- Raleigh, R.F., 1984, Habitat suitability information: rainbow trout. Western Energy and Land Use Team, Division of Biological Services, Research and Development, Fish and Wildlife Service, US Department of the Interior.
- Randall, D. and Brauner, C., 1991, Effects of environmental factors on exercise in fish. *Journal of Experimental Biology*, 160(1), 113-126.
- Randall, D.J. and Tsui, T.K.N., 2002, Ammonia toxicity in fish. *Marine Pollution Bulletin*, 45 (1-12), 17-23.
- Randall, S., Harper, D. and Brierley, B., 1999, Ecological and ecophysiological impacts of ferric dosing in reservoirs. *Hydrobiologia*, 395, 355-364.
- Rasmussen, R.S., 2001, Quality of farmed salmonids with emphasis on proximate composition, yield and sensory characteristics. *Aquaculture Research*, 32(10), 767-786.
- Resh, H.M., 2022, *Hydroponic food production: a definitive guidebook for the advanced home gardener and the commercial hydroponic grower*. CRC press.
- Revan, S., 2007, *Farklı dayanıklılık antrenmanlarının oksidatif stres oluşumu ve antioksidan düzeyleri üzerine etkisi*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü.
- Robinove, C.J., Langford, R.H. and Brookhart, J.W., 1958, *Saline-water resources of North Dakota*. US Government Printing Office, USA.
- Robins, C.R. and Ray, G.C., 1986, *A field guide to Atlantic coast fishes of North America*. Houghton Mifflin Company, Boston, USA.
- Robinson, P.H., Wiseman, J., Udén, P. and Mateos, G., 2006, Some experimental design and statistical criteria for analysis of studies in manuscripts submitted for consideration for publication. *Animal Feed Science and Technology*, 129 (1-2), 1-11.
- Roosta, H.R. and Hamidpour, M., 2011, Effects of foliar application of some macro-and micro-nutrients on tomato plants in aquaponic and hydroponic systems. *Scientia Horticulturae*, 129(3), 396-402.
- Russo, R.C., Smith, C.E. and Thurston, R.V., 1974, Acute toxicity of nitrite to rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *Journal of the Fisheries Board of Canada*, 31 (10), 1653-1655.
- Sagstad, A., Sanden, M., Haugland, Ø., Hansen, A., Olsvik, P. A. and Hemre, G., 2007, Evaluation of stressand immune-response biomarkers in Atlantic salmon, *Salmo salar* L. fed different levels of genetically modified maize (Bt maize), compared with its near-isogenic parental line and a commercial suprexmaize. *Journal of Fish Diseases*, 30, 202-212.
- Salgado-Ismodes, A., Taipale, S. and Pirhonen, J., 2020, Effects of progressive decrease of feeding frequency and re-feeding on production parameters, stomach capacity and muscle nutritional value in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, 519, 734919.

- Santigosa, E., Sánchez, J., Médale, F., Kaushik, S., PérezSánchez, J. and Gallardo, M.A., 2008, Modifications of digestive enzymes in trout (*Oncorhynchus mykiss*) and sea bream (*Sparus aurata*) in response to dietary fish meal replacement by plant protein sources. *Aquaculture*, 282: 68-74.
- Sargent, J.R., McEvoy, L.A. and Bell, J.G., 1997, Requirements, presentation and sources of polyunsaturated fatty acids in marine fish larval feeds. *Aquaculture*, 155(1-4), 117-127.
- Schimke, R.T., 1962, Adaptive characteristics of urea cycle enzymes in the rat. *Journal of Biological Chemistry*. 237, 59-467.
- Schmautz, Z., Graber, A., Jaenicke, S., Goesmann, A., Junge, R. and Smits, T.H., 2017, Microbial diversity in different compartments of an aquaponics system. *Archives of Microbiology*, 199(4), 613-620.
- Schroeder, J.P., Croot, P.L., Von Dewitz, B., Waller, U. and Hanel, R., 2011, Potential and limitations of ozone for the removal of ammonia, nitrite, and yellow substances in marine recirculating aquaculture systems. *Aquacultural Engineering*, 45(1), 35-41.
- Seawright, D.E., Stickney, R.R. and Walker, R.B., 1998, Nutrient dynamics in integrated aquaculture–hydroponics systems. *Aquaculture*, 160(3-4), 215-237.
- Shete, A.P., Verma, A.K., Tandel, R.S., Prakash, C., Tiwari, V.K. and Hussain, T., 2013, Optimization of water circulation period for the culture of goldfish with spinach in aquaponic system. *Journal of Agricultural Science*, 5(4), 26.
- Shimbayashi, K. and Yonemura, T., 1970, An aspect of urea cycle enzymes in goat. *Agricultural and Biological Chemistry*, 34, 1603-1609.
- Shombough, G.E., 1978, Urea biosynthesis II. Normal abnormal regulation. *The American Journal and Nutrition*, 31, 126-133.
- Simeonidou, M., Paschos, I., Gouva, E., Kolygas, M. and Perdikaris, C., 2012, Performance of a small-scale modular aquaponic system. *Aquaculture, Aquarium, Conservation & Legislation*, 5(4), 182-188.
- Simopoulos, A.P., 2002, The importance of the ratio of omega-6/omega-3 essential fatty acids. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 56(8), 365-379.
- Singh, S.K., Tripathi, V.R. and Garg, S.K., 2011, An oxidant, detergent and salt stable alkaline protease from *Bacillus cereus* SIU1. *African Journal of Biotechnology*, 10(57), 12257-12261.
- Skov, P.V., Larsen, B.K., Frisk, M. and Jokumsen, A., 2011, Effects of rearing density and water current on the respiratory physiology and haematology in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* at high temperature. *Aquaculture*, 319(3-4), 446-452.
- Skov, P.V., Lund, I. and Pargana, A.M., 2015, No evidence for a bioenergetic advantage from forced swimming in rainbow trout under a restrictive feeding regime. *Frontiers in Physiology*, 6, 31.

- Smith, E.L., Hill, R.L., Lehmal, R., Lefkdwitz, R.J., Handler, P., and White, A., 1983, Principle of Biochemistry, 7th Edition, Mc Graw-Hill, USA, 382-383.
- Somerville, C., Cohen, M., Pantanella, E., Stankus, A. and Lovatelli, A., 2014, Small-scale aquaponic food production. Integrated fish and plant farming. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper. No. 589. Rome, FAO. 262 pp.
- Spector, E.B., Rice, S.C.H., Moedjono, S., Bernard, B., and Cederbaum, S.D., 1982, Biochemical properties of arginase in human adult and fetal tissues. *Biochemical Medicine*, 28, 165-175.
- Stanković, M. and Radovanović, D., 2012, Oxidative stress and physical activity. *Sportlogia*, 8, 1-11.
- Stevčić, Č., Pulkkinen, K. and Pirhonen, J., 2020, Efficiency of *Daphnia magna* in removal of green microalgae cultivated in Nordic recirculating aquaculture system wastewater. *Algal Research*, 52, 102108.
- Strawn, L.K., Fortes, E.D., Bihn, E.A., Nightingale, K.K., Gröhn, Y.T., Worobo, R.W., ... and Bergholz, P.W., 2013, Landscape and meteorological factors affecting prevalence of three food-borne pathogens in fruit and vegetable farms. *Applied and Environmental Microbiology*, 79(2), 588-600.
- Strobel, C., Jahreis, G. and Kuhnt, K., 2012, Survey of n-3 and n-6 polyunsaturated fatty acids in fish and fish products. *Lipids in Health and Disease*, 11(1), 144.
- Sturve, J., Berglund, A., Balk, L., Broeg, K., Böhmert, B., Massey, S., Savva, D., Parkkonen, J., Stephensen, E., Koehler, A. and Förlin L., 2005, Effects of dredging in göteborg harbor, sweden, assessed by biomarkers in eelpout (*Zoarces viviparus*). *Environmental Toxicology Chemistry*, 24,1951-1961.
- Suhl, J., Dannehl, D., Kloas, W., Baganz, D., Jobs, S., Scheibe, G. and Schmidt, U., 2016, Advanced aquaponics: Evaluation of intensive tomato production in aquaponics vs. conventional hydroponics. *Agricultural Water Management*, 178, 335-344.
- Summerfelt, S.T., Mathisen, F., Holan, A.B. and Terjesen, B.F., 2016, Survey of large circular and octagonal tanks operated at Norwegian commercial smolt and post-smolt sites. *Aquacultural Engineering*, 74, 105-110.
- Sumpter, J.P., 1992, Control of growth of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, 100(1-3), 299-320.
- Suzer, C., Çoban, D., Yildirim, Ş., Hekimoğlu, M., Kamacı, H.O., Firat, K. and Saka, Ş., 2014, Stage-specific ontogeny of digestive enzymes in the cultured common Dentex (*Dentex dentex*) larvae. *Turkish Journal of Fishers and Aquatic Sciences*, 14, 759-776.
- Suzer, C., Kamacı, H.O., Çoban D., Yıldırım Ş., Firat K. and Saka, Ş., 2013, Functional changes in digestive enzyme activities of meagre (*Argyrosomus regius*; Asso, 1801) during early ontogeny. *Fish Physiology and Biochemistry*, 39, 967-977.

- Tandogan, B., Güvenç, A., Çalış, İ. and Ulusu, N.N., 2011, In vitro effects of compounds isolated from *Sideritis brevibracteata* on bovine kidney cortex glutathione reductase. *Acta Biochemica Polonica*, 58, 471-475.
- Tantekin, M., 2021, *Mekanizasyon Sistemlerinin Hidroponik Ortamda Marul Yetiştiriciliği Üzerindeki Etkilerinin Belirlenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Taş, M., Soslu, R. and Kıyıcı, F., 2018, The effect of six weeks sprint training on serum antioxidant levels in soccer players. *European Journal of Physical Education And Sport Science*, 4(1), 35-45.
- Taylor, C.M. and Warren, Jr. M.L., 2001, Dynamics in species composition of stream fish assemblages: environmental variability and nested subsets. *Ecology*, 82(8), 2320-2330.
- Taylor, E.V., Nguyen, T.A., Machesky, K.D., Koch, E., Sotir, M.J., Bohm, S.R., ... and Williams, I., 2013, Multistate outbreak of *Escherichia coli* O145 infections associated with romaine lettuce consumption, 2010. *Journal of Food Protection*, 76(6), 939-944.
- Tehrani, H.S. and Moosavi-Movahedi, A.A., 2018, Catalase and its mysteries. *Progress in Biophysics and Molecular Biology*, 14, 5-12.
- Teixeira, H.D. and Meneghini, R., 1996, Chinese hamster fibroblasts over expressing CuZn superoxide dismutase undergo a global reduction in antioxidants and an increasing sensitivity of DNA to oxidative damage. *The Biochemical Journal*, 315, 821-825.
- Teresita, R.P. and Anders, A., 1983, Arginase activity in different fish species and tissues. *Comparative Biochemistry and Physiology*, 76, 15-16.
- Thompson, H.C. and Kelly, W.C., 1957, *Vegetable Crops*, Fifth Edition , McGraw-Hill Book Company, New York.
- Thorarinsdottir, R., Coaten, D., Pantanella, E., Shultz, C., Stander, H. and Ragnarsdottir, K.V., 2017, *Renewable energy use for aquaponics development on a global scale towards sustainable food production*, Geothermal, Wind and Solar Energy Applications in Agriculture and Aquaculture, In: Bundschuh, J., Chen, G., Chandrasekharam, D., Piechocki, J. (ed.), CRC Press, ABD, ISBN: 9780367573317, 73-96.
- Thorpe, J.E., Metcalfe, N.B. and Huntingford, F.A., 1992, Behavioural influences on life-history variation in juvenile Atlantic salmon, *Salmo salar*. *Environmental Biology of Fishes*, 33(4), 331-340.
- Timmons, M.B., Summerfelt, S.T. and Vinci, B.J., 1998, Review of circular tank technology and management. *Aquacultural Engineering*, 18(1), 51-69.
- Todd, J., 1980, Dreaming in my own backyard. *The Journal of the New Alchemists*, 6, 108-111.
- Topal, A., Atamanalp, M., Arzu Uçar, A., Oruç, E., Kocaman, E.M., Sulukan, E., Akdemir, F., Beydemir, Ş., Kılınç, N., Erdoğan, O. and Ceyhun, S.B., 2015, Effects of glyphosate on juvenile rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*): Transcriptional and enzymatic analyses

- of antioxidant defence system, histopathological liver damage and swimming performance. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 111, 206-214.
- Trenzado, C., Hidalgo, M.C., García-Gallego, M., Morales, A.E., Furné, M., Domezain, A., ... and Sanz, A., 2006, Antioxidant enzymes and lipid peroxidation in sturgeon *Acipenser naccarii* and trout *Oncorhynchus mykiss*. A comparative study. *Aquaculture*, 254(1-4), 758-767.
- Trestrail, C., Walpitagama, M., Miranda, A., Nuggeoda, D. and Shimeta, J., 2021, Microplastics alter digestive enzyme activities in the marine bivalve, *Mytilus galloprovincialis*. *Science of the Total Environment*, 779, 146418
- Troughton, A., 1962, *The roots of temperate cereals*, Commonwealth Bureau Pastures Field Crops. Mimeo. Publication No. 2, pp. 1-91.
- Tudorache, C., Boeck, G.D. and Claireaux, G., 2013, *Forced and preferred swimming speeds of fish: A methodological approach*, Swimming physiology of fish, (ed.) , Springer, Berlin, 81-108.
- Tumova, V. and Kalous, L., 2018, "Neglected "Wolf of Wall Street - Sell me this pen" strategy in aquaponics. Fish and plant species diversity in aquaponics systems in the Czech Republic" 11th Workshop on Biodiversity, JEVANY 158-162.
- Tunçelli, G. and Pirhonen, J., 2021, Effects of weekend starvation and the duration of daily feeding on production parameters of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. *Aquaculture*, 543, 737028.
- Turchini, G.M., Hermon, K.M. and Francis, D.S., 2018, Fatty acids and beyond: Fillet nutritional characterisation of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed different dietary oil sources. *Aquaculture*, 491, 391-397.
- TÜİK, 2021, Su Ürünleri İstatistikleri, Ankara. www.tuik.gov.tr/bilgi@tuik.gov.tr
- Tyson, R.V., Simonne, E.H., Treadwell, D.D., White, J.M. and Simonne, A., 2008, Reconciling pH for ammonia biofiltration and cucumber yield in a recirculating aquaponic system with perlite biofilters. *HortScience*, 43(3), 719-724.
- Tyson, R.V., Treadwell, D.D. and Simonne, E.H., 2011, Opportunities and challenges to sustainability in aquaponic systems. *HortTechnology*, 21(1), 6-13.
- Ulus, N.N., and Tandogan, B., 2006, Purification and kinetics of sheep kidney cortex glucose-6-phosphate dehydrogenase. *Comparative Biochemistry and Physiology, Part B*, 143, 249-255.
- Valko, M., Rhodes, C.J., Moncol, J., Izakovic, M. and Mazur, M., 2006, Free radicals, metals and antioxidants in oxidative stress-induced cancer, *Chemico-Biological Interactions*, 160, 1-40.
- Van Rijn, J., 2013, Waste treatment in recirculating aquaculture systems. *Aquacultural Engineering*, 53, 49-56.

- Van Woensel, L., Archer, G., Panades-Estruch, L., Vrscaj, D., 2015, "Ten technologies which could change our lives. Potential impacts and policy implications." https://www.europarl.europa.eu/EPRS/EPRS_IDAN_527417_ten_trends_to_change_your_life.pdf [Ziyaret tarihi: 10 Kasım 2022].
- Velichkova, K., Sirakov, I., Stoyanova, S. and Staykov, Y., 2019, Cultivation of lettuce (*Lactuca sativa* L.) and rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* W.) in the aquaponic recirculation system. *Journal of Central European Agriculture*, 20(3), 967-973.
- Venugopal, V. and Shahidi, F., 1996, Structure and composition of fish muscle. *Food Reviews International*, 12 (2), 175-197.
- Villarroel, M., Miranda-de la Lama, G.C., Escobar-Álvarez, R., and Moratiel, R., 2022, Fish Welfare in Urban Aquaponics: Effects of Fertilizer for Lettuce (*Lactuca sativa* L.) on Some Physiological Stress Indicators in Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus* L.). *Water*, 14 (6), 935.
- Walker, M.G. and Emerson, L., 1978, Sustained swimming speeds and myotomal muscle function in the trout, *Salmo gairdneri*. *Journal of Fish Biology*, 13(4), 475-481.
- Waters, C., 1993, Waters AccQ. Tag chemistry package (instruction manual).
- Webb, P.W., 1971, The swimming energetics of trout: II. Oxygen consumption and swimming efficiency. *Journal of Experimental Biology*, 55(2), 521-540.
- Weilmeier, D.M. and Regenstein J.M., 2004, Cooking enhances the antioxidant properties of polyphosphates. *Journal of Food Science*, 69(1), 16-20.
- Welbank P.J., Gibb M.J., Taylor P.J. and Williams E.D., 1974, *Root growth of cereal crops*, In: Ann. Rep., Rothamsted Experimental Station for 1973 Part 2, Rothamsted Research, Birleşik Krallık.
- Wendel, A., 1981, Glutathione peroxidase. *Methods in Enzymology*, 77, 325-333.
- Wheaton, F.W., 1977, *Aquacultural Engineering*. Krieger, Malabar.
- Willmon, E.S., 2018, *Microbial quality of aquaculture water used for produce irrigation*, Thesis (PhD), Auburn University.
- Wilson, R.P., 2003, *Amino acids and proteins*, Fish Nutrition, Third Edition, In: Halver, J.E., and Hardy, R.W., (ed.), Academic Press, ABD, ISBN: 978-0-12-319652-1, 143-179.
- Wilson, R.P., Anderson, R.O. and Bloomfield, R.A., 1969, Ammonia toxicity in selected fishes. *Comparative Biochemistry and Physiology*, 28(1), 107-118.
- Wolter, C. and Arlinghaus., 2003, Navigation impacts on freshwater fish assemblages: The ecological relevance of swimming performance. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 13, 63-89.

- Wongkiew, S., Hu, Z., Chandran, K., Lee, J.W. and Khanal, S.K., 2017, Nitrogen transformations in aquaponic systems: A review. *Aquacultural Engineering*, 76, 9-19.
- Wood T, 1986, Distribution of the pentose phosphate pathway in living organisms. *Cell Biochemistry Function*, 4, 235-240.
- Woynarovich, A., Hoitsy, G. and Moth-Poulsen, T., 2011, *Small-scale rainbow trout farming*. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper, Roma, ISBN: 978-92-5-106819-9.
- Wroblewski, F., 1957, Clinical significance of serum enzyme alterations associated with myocardial infarction. *American Heart Journal*, 54, 219-224.
- Wu, G., Fang, Y.Z., Yang, S., Lupton, J.R. and Turner, N.D., 2004, Glutathione metabolism and its implications for health. *The Journal of Nutrition*, 134, 489-492.
- Yalçın, A.S., 1998, Antioksidanlar. *Klinik Gelişim*, 11, 342-346.
- Yavuzcan Yildiz, H., Robaina, L., Pirhonen, J., Mente, E., Domínguez, D. and Parisi, G., 2017, Fish welfare in aquaponic systems: its relation to water quality with an emphasis on feed and faeces-A review. *Water*, 9(1), 13.
- Yavuzcan, H. and Bekcan, S., 2019, Interactions between economy and fish welfare in aquaponics systems. *Mediterranean Fisheries and Aquaculture Research*, 2(1), 27-38.
- Yogata, H. and Oku, H., 2000, The effects of swimming exercise on growth and wholebody protein and fat contents of fed and unfed fingerling yellowtail. *Fisheries Science*, 66(6), 1100-1105.
- Yüngül, M. and Özdemir, Y., 2017, Digestion in fish, digestive enzymes and secretions. *International Journal of Pure and Applied Sciences*, 3 (2), 20-32.
- Zhang, Y., Chen, J., Ji, H., Xiao, Z.G., Shen, P. and Xu, L.H., 2018, Protective effects of Danshen injection against erectile dysfunction via suppression of endoplasmic reticulum stress activation in a streptozotocin-induced diabetic rat model. *BMC Complementary Medicine and Therapies*, 18, 343.
- Zou, Y., Hu, Z., Zhang, J., Guimbaud, C., Wang, Q. and Fang, Y., 2016, Effect of seasonal variation on nitrogen transformations in aquaponics of northern China. *Ecological Engineering*, 94, 30-36.
- Zweig, R.D., 1986, An integrated fish culture hydroponic vegetableproduction system. *Aquaculture Magazine*, 34-40.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Gökhan Tunçelli
Doğum Yeri	
Doğum Tarihi	
Uyruğu	☒ T.C. ☐ Diğer:
E-Posta Adresi	
Web Adresi	

Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi
Fakülte	Su Ürünleri Fakültesi
Bölümü	Su Ürünleri Mühendisliği
Mezuniyet Yılı	2012

Yüksek Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi
Enstitü Adı	Fen Bilimleri Enstitüsü
Anabilim Dalı	Su Ürünleri Yetiştiriciliği ve Hastalıkları
Programı	Su Ürünleri Yetiştiriciliği

Doktora	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi
Enstitü Adı	Fen Bilimleri Enstitüsü
Anabilim Dalı	Su Ürünleri Yetiştiriciliği ve Hastalıkları Anabilim Dalı
Programı	Su Ürünleri Yetiştiriciliği Programı

Makale ve Bildiriler
SCI, SSCI VE AHCI İNDEKSLERİNE GİREN DERGİLERDE YAYINLANAN MAKALELER
1-“Sperm activation in Black Sea Trout (<i>Salmo trutta labrax</i>): Effect of ions and osmolality on spermatozoa motility” Yamaner G., Tunçelli G. , Tosun D.D., Çanak Ö., Memiş D. <i>Aquaculture Research</i> , cilt.53, sa.6, ss.2540-2547, 2022
2-“Effects of weekend starvation and the duration of daily feeding on production parameters of rainbow trout” <i>Oncorhynchus mykiss</i> Tunçelli G. , Pirhonen J. <i>Aquaculture</i> , cilt.543, 2021

3-“The effect of luteinizing hormone-releasing hormone analogue and carp pituitary hormones on Russian sturgeon (*Acipenser gueldenstaedtii*) sperm characteristic” Yamaner G., **Tunçelli G.**, Memiş D. *Aquaculture Research*, cilt.49, sa.2, ss.1127-1130, 2018

DİĞER DERGİLERDE YAYINLANAN MAKALELER

1-“Investigation of different lighting (LED, HPS and Fluorescence) in aquaponics systems for joint production of different plants (Lettuce, Parsley and Cress) and koi carp”, Memiş D., **Tunçelli G.**, Tınkır M., Erk M.H. *Aquatic Research*, 2023

2-“Evaluation of lettuce (*Lactuca sativa* L.) in a decoupled aquaponics system in terms of food safety”, **Tunçelli G.**, Tunçelli Can İ., Memiş D. *Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 2023

3-“Using the Thick-Shelled River Mussel (*Unio crassus*) filtering ability for water treatment process in aquaculture systems: An in vitro study on removal of the bacteria from the water” Demircan M.D., Ekici A., **Tunçelli G.**, Tınkır M., Keskin İ., Memiş D. *Aquatic Science and Engineering*, cilt.37, sa.4, ss.212-219, 2022

4-“Effect of duo-culture on the first feeding transition success and growth performance for black sea trout (*Salmo trutta labrax*, Pallas, 1811) with rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*, Walbaum, 1792)” Yamaner G., Tosun D.D., Tınkır M., **Tunçelli G.** *Sustainable Aquatic Research* , cilt.1, sa.1, ss.44-50, 2022

5-“Effects of constant and changing water temperature on sperm quality of the endangered Çoruh trout, *Salmo coruhensis*” **Tunçelli G.**, Memiş D. *Journal of Applied Aquaculture*, cilt.33, ss.209-220, 2021

6-“Wild *Salmo trutta labrax* from the Bıçkı Stream in the Marmara Region: Gamete quality and first reproduction under aquaculture conditions” Memiş D., **Tunçelli G.**, Yamaner G. *Aquatic Sciences And Engineering*, cilt.36, sa.2, ss.95-100, 2021

7-“Comparison of Leja and Makler chambers performance in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) sperm quality in CASA system” Yamaner G., **Tunçelli G.**, Momin M., Memiş D. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, cilt.5, sa.2, ss.176-182, 2020

8-“Current status of economically important diadromous fish species of Turkey; European eel, Black Sea trout and sturgeon species” Memiş D., Yamaner G., Tosun D.D., **Tunçelli G.**, Tınkır M. *Aquatic Research*, cilt.3, sa.4, ss.188-196, 2020

9-“Present status of sturgeon in the Lower Sakarya River in Turkey” Memiş D., Tosun D.D., Yamaner G., **Tunçelli G.**, Gessner J. *Aquatic Research*, cilt.2, sa.2, ss.53-60, 2019

10-“A brief overview on cryopreservation method of sturgeon sperm” Yamaner G., Ekici A., **Tunçelli G.**, Memiş D. *İstanbul Üniversitesi Su Ürünleri Dergisi*, cilt.30, sa.2, ss.14-20, 2015

HAKEMLİ KONGRE / SEMPOZYUM BİLDİRİ KİTAPLARINDA YER ALAN YAYINLAR

1- “The effect of microplastic and cadmium exposure on the enzyme activities of *Mytilus galloprovincialis* (Lamarck, 1819)” Dagsuyu E., Turkyilmaz İ.B., Can Tuncelli İ., **Tunçelli G.**, Erkan N., Yanardag R. 4th International Eurasian Conference on Science, Engineering and Technology (EurasianSciEnTech 2022), Ankara, Türkiye, 14-16 Aralık 2022, ss. 45

2-“First reproduction of 21th years old Russian sturgeon’s and larval rearing” Memiş D., Yamaner G., **Tunçelli G.**, Momin M., Xelilli S., Metin Ö. 8th International Workshop on the Biology of Fish Gametes, Gdansk, Polonya, 20 - 23 Eylül 2022, ss.93

3-“Investigation of the effects of swimming activity and feed restriction on antioxidant enzyme activities of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*, Walbaum)” **Tunçelli G.**, Ertik O., Bayrak B.B., Memiş D., Yanardağ R. IV. Balkan Agricultural Congress, Edirne, Türkiye, 31 Ağustos - 02 Eylül 2022, ss.37

4-“The effect of swimming activity and feed restriction of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*, Walbaum) on aquaponics” **Tunçelli G.**, Memiş D. IV. Balkan Agricultural Congress, Edirne, Türkiye, 31 Ağustos - 02 Eylül 2022, ss.36

5-“Migratory Fish of Turkey” Memiş D., Gaygusuz Ö., **Tunçelli G.** Global Swimway Webinar Marathon, Groningen, Hollanda, 14 Mayıs 2020, ss.1

6-“Karadeniz alabalığında (*Salmo trutta labrax*) sperm aktivasyonu: İyon ve ozmolaritenin spermatozoa hareketliliği üzerine etkisi” Yamaner G., Tosun D.D., **Tunçelli G.**, Memiş D. 20.Ulusal Su Ürünleri Sempozyumu, Mersin, Türkiye, 24 - 26 Eylül 2019, ss.10

7-“Akuaponik sistemde farklı aydınlatma kullanılması (LED HPS ve Floresan) bazı bitkilerin (marul maydanoz ve tere) büyüme performansına etkisi” Memiş D., **Tunçelli G.**, Tınkır M., Erk M.H., 20. Ulusal Su Ürünleri Sempozyumu, Mersin, Türkiye, 24 - 26 Eylül 2019, ss.97

- 8-“Analys of the sperm quality parameters of koi fish in the aquaponic system” Memiş D., Tınkır M., Momin M., **Tunçelli G.**, 7th International Workshop on the Biology of Fish Gametes, Rennes, Fransa, Rennes, Fransa, 2 - 06 Eylül 2019, ss.82
- 9-“Türkiye'nin yerel ve yerel olmayan alabalık türleri”, Öksüzömer T. N. , Karşlı O., **Tunçelli G.**, Gaygusuz Ö., Memiş D., ZMO XI. Öğrenci Kurultayı, Ankara, Türkiye, 24 Kasım 2018 - 25 Şubat 2019, ss.1
- 10-“Effects of duo-culture on first feeding transition success and growth performance for *Salmo trutta labrax* with *Oncorhynchus mykiss*” Yamaner G., Tosun D.D., Tınkır M., **Tunçelli G.**, Memiş D., Akar T., 3rd International Congress on Applied Ichthyology & Aquatic Environment (HydroMediT), Volos, Yunanistan, 8 - 11 Kasım 2018, ss.1
- 11-“Effect of stocking density on growth performance and feeding behavior of *Salmo trutta labrax* (Syn: *Salmo coruhensis*) during first feeding” Tosun D.D., Yamaner G., **Tunçelli G.**, Tınkır M., Memiş D., II. International Fisheries Symposium Girne, Girne, Kıbrıs (Kkct), 4 - 08 Kasım 2018, ss.57-58
- 12-“Investigation of the effect of different light sources (LED, HPS and Fluorescence) on growth performance of plants (lettuce and parsley) in aquaponics system” Memiş D., **Tunçelli G.**, Tınkır M., Erk M. H., II. International Fisheries Symposium, Girne, Kıbrıs (Kkct), 4 - 08 Kasım 2018, ss.1
- 13-“Sustainable and innovative food production technique: Aquaponic systems” **Tunçelli G.**, Memiş D., 1st International Symposium on Graduate Research in Science: Focus on Entrepreneurship and Innovation, İstanbul, Türkiye, 4 - 06 Ekim 2018, ss.148
- 14-“Diadromous fish species of Turkey: The European eel, Black sea trout and sturgeon species” Memiş D., Yamaner G., Tosun D.D., **Tunçelli G.**, Tınkır M., Sustaining iconic diadromous fishes: The potential and pitfalls of cultivation IMPRESS Conference, Arendal, Norveç, 17 - 19 Haziran 2018, ss.1
- 15-“Gökkuşuğu alabalığı (*Oncorhynchus mykiss*) sperm motilite parametrelerinin bilgisayarlı otomatik spermanaliz sisteminde (CASA) iki farklı lam kullanılarak incelenmesi ve sonuçların döllenme yüzdesi ile karşılaştırılması” Yamaner G., **Tunçelli G.**, Momin M., Memiş D., Su Bilimlerinde Biyoteknoloji Çalıştayı, İstanbul, Türkiye, 10 - 11 Mayıs 2018, ss.51-52
- 16-“First attent for fisheries museum in Turkey and examples of international fisheries museums” Memiş D., **Tunçelli G.**, Tınkır M., Gaygusuz Ö., 5th International University Museums Association Congress-TURKEY, Edirne, Türkiye, 3 - 5 Mayıs 2018, ss.2

- 17-“Migration problems of the Black Sea roach (*Rutilus frisii*)”, Gaygusuz Ö., Memiş D., **Tunçelli G.**, Albay M., FITFISH Annual Conference -Porto 2018, Porto, Portekiz, 20 Nisan 2018, ss.51-52
- 18-“Karadeniz Alabalıklarının (*Salmo coruhensis*) Farklı su sıcaklığı ve ışık ortamında sperm kalite parametreleri” **Tunçelli G.**, Memiş D., 19. Ulusal Su Ürünleri Sempozyumu, Sinop, Türkiye, 12 - 15 Eylül 2017, ss.1
- 19-“Recent statutes of sturgeon in the Sakarya River in Turkey” Memiş D., Tosun D.D., Yamaner G., **Tunçelli G.**, Gessner J., The 8th International Symposium on Sturgeon (ISS8), Viyana, Avusturya, 10 - 15 Eylül 2017, ss.1
- 20-“A Research on fertilization success and gamete quality parameters of endemic wild trout (*Salmo sp.*) in Turkey” Memiş D., **Tunçelli G.**, Yamaner G. 6th International Workshop on the Biology of Fish Gametes, Ceske Budejovice And Vodnany, Çek Cumhuriyeti, 4 - 07 Eylül 2017, ss.112
- 21-“Comparison of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) sperm motility parameters and fertitization result between different chambers in CASA system” Yamaner G., **Tunçelli G.**, Momin M., Memiş D., 6th International Workshop on the Biology of Fish Gametes, Ceske Budejovice And Vodnany, Çek Cumhuriyeti, 4 - 07 Eylül 2017, ss.37
- 22-“Obstacles of migratory fish on swimming way in Turkey”, Memiş D., **Tunçelli G.**, Gaygusuz Ö., Albay M., COST FA1304 FitFish Annual conference, Mostar, Bosna-Hersek, 21 Nisan 2017, ss.38
- 23-“Sakarya Nehri HES'leri ve balık geçitleri” Memiş D., Tosun D. D. , Yamaner G., **Tunçelli G.**, Gessner J., Balık Geçitleri ve Göçleri Çalıştayı, İstanbul, Türkiye, 21 - 22 Kasım 2016, ss.47-48
- 24-“Cryopreservation studies in Turkey: Present Status and potential developments in broodstock management” Yamaner G., **Tunçelli G.**, Ekici A., Memiş D., Middle East & Central Asia Aquaculture, İzmir, Türkiye, 2 - 04 Haziran 2016, ss.1
- 25-“Karadeniz alabalığı spermasında spermatozoa aktivasyonu: Hipoozmotik ve hiper ozmotik basıncın etkisi”, Yamaner G., **Tunçelli G.**, Ekici A., Memiş D., II. Ulusal Su Ürünleri Yetiştiriciliğinde Gamet Biyolojisi Çalıştayı, Muğla, Türkiye, 19 - 21 Nisan 2016, ss.21-22
- 26-“LHRH-a ve sazan hipofizi hormonlarının rus mersin balıklarında (*Acipenser gueldenstaedtii*) spermatolojik özellikleri üzerine etkisi” Yamaner G., Memiş D., **Tunçelli G.**, II. Ulusal Su Ürünleri Yetiştiriciliğinde Gamet Biyolojisi Çalıştayı, Muğla, Türkiye, 19 - 21 Nisan 2016, ss.17-18

27-“Effects of two different water resources on sperm quality of broodstock of trout (*Salmo coruhensis*)” **Tunçelli G.**, Memiş D., 5th International Workshop on the Biology of Fish Gametes, Ancona, İtalya, 7 - 11 Eylül 2015, ss.31-32

28-“Aşağı sakarya nehrinde yapılan hidroelektrik santralleri (HES)`nin mersin balıklarının yumurtlama göçleri açısından değerlendirilmesi” Memiş D., Tosun D. D. , Yamaner G., **Tunçelli G.**, Gessner J., 18. Ulusal Su Ürünleri Sempozyumu, İzmir, Türkiye, 1 - 04 Eylül 2015, ss.1

29-“Recent development of potential for fish passage in the Lower Sakarya River due to hydro electric development” Memiş D., Tosun D.D., Yamaner G., **Tunçelli G.**, Gessner J., Fish Passage 2015, Groningen, Hollanda, 22 - 24 Haziran 2015, ss.1

30-“The Effect of LHRH-a and carp pituitary hormones on russian sturgeon *Acipenser gueldenstaedtii* sperm characteristic” Yamaner G., Memiş D., **Tunçelli G.**, Aquaculture Europe 2014 (EAS), San Sebastian, İspanya, 14 - 17 Ekim 2014, ss.1

31-“Effect of different temperatures on growth performance of pangasius” Tosun D.D., Çağıltay F., **Tunçelli G.**, Doğan Z., FABA International Symposium on Fisheries and Aquatic Sciences, Trabzon, Türkiye, 25 - 27 Eylül 2014