



**DIYETSEL ARGAN YAĞININ GÖKKUŞAĞI
ALABALIĞI YAVRULARINDA BÜYÜME, YAĞ ASİDİ
KOMPOZİSYONU VE ANTİOKSİDAN SAVUNMA
SİSTEMİNE ETKİLERİ**

Chaimae SAID

Danışman: Prof. Dr. Murat ARSLAN
Yüksek Lisans Tezi
Su Ürünleri Mühendisliği Anabilim Dalı
2025
(Her hakkı saklıdır)

T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
SU ÜRÜNLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

**DİYETSEL ARGAN YAĞININ GÖKKUŞAĞI ALABALIĞI YAVRULARINDA
BÜYÜME, YAĞ ASİDİ KOMPOZİSYONU VE ANTİOKSİDAN SAVUNMA
SİSTEMİNE ETKİLERİ**

(Effects of Dietary Argan Oil on Growth, Fatty Acid Composition, and Antioxidant Defense
System in Juvenile Rainbow Trout)

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Chaimae SAID

Danışman: Prof. Dr. Murat ARSLAN

Erzurum
Eylül, 2025

KABUL VE ONAY TUTANAĞI

Chaimae SAID tarafından hazırlanan “**Diyetsel Argan Yağının Gökkuşığı Alabalığı Yavrularında Büyüme, Yağ Asidi Kompozisyonu ve Antioksidan Savunma Sistemine Etkileri**” başlıklı çalışması 15/09/2025 tarihinde yapılan tez savunma sınavı sonucunda başarılı bulunarak jürimiz tarafından Su Ürünleri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Su Ürünleri Mühendisliği Bilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı:	Prof. Dr. Orhan Tufan EROLDOĞAN <i>Çukurova Üniversitesi</i>	Aslı Islak İmzalıdır
Danışman:	Prof. Dr. Murat ARSLAN <i>Atatürk Üniversitesi</i>	Aslı Islak İmzalıdır
Jüri Üyesi:	Prof. Dr. Nejdet GÜLTEPE <i>Atatürk Üniversitesi</i>	Aslı Islak İmzalıdır

Bu tezin Atatürk Üniversitesi Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği'nin ilgili maddelerinde belirtilen şartları yerine getirdiğini onaylarım.

Prof. Dr. Alper NUHOĞLU
Enstitü Müdürü

Aslı Islak İmzalıdır

Bu çalışma BAP projeleri kapsamında desteklenmiştir.
Proje No: FYL-2025-15692

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildiriş, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Graduate School of Natural and
Applied Sciences

T.C.

ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ REKTÖRLÜĞÜ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ

ETİK BİLDİRİM VE İNTİHAL BEYAN FORMU

Yüksek Lisans Tezi olarak *Prof. Dr. Murat ARSLAN* danışmanlığında sunulan “*Diyetsel Argan Yağının Gökkuşaağı Alabalığı Yavrularında Büyüme, Yağ Asidi Kompozisyonu ve Antioksidan Savunma Sistemine Etkileri*” başlıklı çalışmanın tarafımızdan bilimsel etik ilkelere uyularak yazıldığını, yararlanılan eserlerin kaynakçada gösterildiğini, Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından belirlenmiş olan Turnitin Programı benzerlik oranlarının aşılmadığını ve aşağıdaki oranlarda olduğunu beyan ederiz.

Tez Bölümleri	Tezin Benzerlik Oranı (%)	Maksimum Oran (%)
Giriş	8	30
Kuramsal Temeller	2	30
Materyal ve Metot	9	35
Araştırma Bulguları	15	20
Tartışma ve Sonuç	3	20
Tezin Geneli	11	25

Not: Yedi kelimeye kadar benzerlikler ile Başlık, Kaynakça, İçindekiler, Teşekkür, Dizin ve Ekler kısımları tarama dışı bırakılabilir. Yukarıdaki azami benzerlik oranları yanında tek bir kaynaktan olan benzerlik oranlarının %5'den büyük olmaması gerekir.

Sunulan bilgilerin doğru olduğunu, aksi halde doğacak hukuki sorumlulukları kabul ettiğimizi beyan ederiz.

Tez Yazarı (Öğrenci)	Tez Danışmanı
Chaimae SAID	Prof. Dr. Murat ARSLAN
18.9.2025	18.9.2025
İmza: Aslı Islak İmzalıdır	İmza: Aslı Islak İmzalıdır

* Tez ile ilgili YÖKTEZ’de yayınlamasına ilişkin bir engelleme var ise aşağıdaki alanı doldurunuz.

☐ Tezle ilgili patent başvurusu yapılması / patent alma sürecinin devam etmesi sebebiyle Enstitü Yönetim Kurulunun/....../.... tarih ve sayılı kararı ile teze erişim 2 (iki) yıl süreyle engellenmiştir.

☐ Enstitü Yönetim Kurulunun/....../.... tarih ve sayılı kararı ile teze erişim 6 (altı) ay süreyle engellenmiştir.

TEŞEKKÜR

Akademik eğitimim boyunca bilgi, deneyim ve değerli katkılarıyla bana her zaman yol gösteren kıymetli danışman hocam Prof. Dr. Murat ARSLAN'a en içten teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca tez sürecim boyunca her zaman yanımda olan, destekleri ve katkılarıyla çalışmalarımı kolaylaştıran kıymetli hocalarım Dr. Şeyda TACER TANAS ve Dr. Öğr. Üyesi Fatih KORKMAZ'a, laboratuvar çalışmalarım sırasında yardımlarını esirgemeyen çalışma arkadaşım Waheed'e sonsuz teşekkür ederim. Her zaman yanımda olan, samimiyet ve desteğiyle yolumu kolaylaştıran değerli büyüğüm Yaşar GÜNBEYİ'ye şükranlarımı sunarım. Bu yolculukta en büyük destekçilerim olan, sevgileri ve dostluklarıyla bana güç katan Selma, Meryem, Aişe ve Douae'ye şükranlarımı sunarım; onlara duyduğum minnet, hayatım boyunca eksilmeyecektir. Her zaman yanımda olan aileme en içten teşekkürlerimi sunuyorum. Canım annem ve babam, sevgili kardeşim Saadeddin'e ve Amin'e, sevgi, sabır ve desteklerinizle bana güç verdiniz ve her adımda yanımda oldunuz. Sizlerle bu başarıyı paylaşmak benim için büyük bir mutluluk.

Chaimae SAID

ÖZET

MASTER THESIS

DIYETSEL ARGAN YAĞININ GÖKKUŞAĞI ALABALIĞI YAVRULARINDA BÜYÜME, YAĞ ASİDİ KOMPOZİSYONU VE ANTİOKSİDAN SAVUNMA SİSTEMİNE ETKİLERİ

Chaimae SAID

Danışman: Prof. Dr. Murat ARSLAN

Amaç: Su ürünleri sektörü, yem hammaddelerine olan yüksek bağımlılığı ve bu durumun yol açtığı maliyet artışları ile çevresel baskılar nedeniyle önemli zorluklarla karşı karşıyadır. Özellikle balık unu ve balık yağı gibi geleneksel bileşenlerin kullanımı, üretim maliyetlerini artırmakta, denizel ekosistemleri tehdit etmekte ve sürdürülebilirliği zorlaştırmaktadır. Bu durum, balık yağına alternatif sürdürülebilir lipid kaynaklarının araştırılmasını zorunlu kılmıştır. *Argania spinosa* ağacının meyve çekirdeklerinden elde edilen argan yağı, içerdiği yüksek doymamış yağ asitleri ve biyoaktif bileşenler sayesinde alternatif bir lipid kaynağı olarak dikkat çekmektedir. Bu çalışmada, yavru gökkuşuğu alabalığı (*Oncorhynchus mykiss*) diyetlerine farklı oranlarda argan yağı eklenmesinin büyüme performansı, yem değerlendirme katsayısı, yağ asidi kompozisyonu ve antioksidan savunma sistemi üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

Yöntem: Besleme denemesi, Atatürk Üniversitesi Su Ürünleri Deneysel Araştırmalar Biriminde yürütülmüştür. Denemede, 12 adet 30 litrelik polietilen tanktan oluşan yarı kapalı devre yetiştiricilik sistemi kullanılmıştır. Sistemde optimum su kalitesini sağlamak amacıyla biyolojik ve mekanik filtrasyon üniteleri yer almaktadır. Su sıcaklığı $14\pm1^{\circ}\text{C}$ ve çözünmüş oksijen seviyesi 7 ± 0.5 mg/L düzeyinde tutulmuştur. Denemede başlangıç ağırlıkları 2,6 g olan gökkuşuğu alabalığı yavruları dört farklı deneme grubuna dağıtılmıştır. Gruplar, argan yağının balık yağının farklı düzeylerde ikame edeceği şekilde oluşturulmuştur: %0 (kontrol; AY0), %33 (AY1), %67 (AY2) ve %100 (AY3). Her tankta 25 adet balık ve her gruptan 3 tekerrürlü olacak şekilde dağılım yapılmıştır. Tüm deneysel yemler izonitrojenik (%50 protein) ve izolipidik (%18 lipid) olacak şekilde formüle edilmiştir. Balıklar 8 hafta boyunca günlük olarak canlı ağırlıklarının %3-4'ü kadar beslenmişlerdir.

Bulgular: Sekiz haftalık besleme deneyi sonunda balıklarda vücut ağırlığı 5,7-6,5 katına çıkmıştır. Balıklarda büyüme ve yem değerlendirme katsayısı deneysel gruplardan önemli derecede etkilenmemiştir (ortalama son ağırlık $15,4\pm1,3$; yem değerlendirme katsayısı $1,03\pm0,11$). Yağ asidi profili diyetsetel profili yansıtmış ve deneysel yemlerden önemli derecede etkilenmiştir. Diyetsetel balık yağı yerine argan yağı kullanım oranı arttıkça balıkların ekozapentaenoik asit (20:5n-3; EPA) ve dokosahegzaenoik asit (22:6n-3; DHA) gibi omega-3 uzun zincirli çoklu doymamış yağ asitleri içerikleri düşmüştür. Diğer yandan karaciğer lipid peroksidasyon seviyesi diyetsetel argan yağının artışıyla düşüş göstermiştir.

Sonuç: Çalışmamızın sonucuna göre diyetsetel argan yağı gökkuşuğu alabalığının büyüme ve yem değerlendirmesinde herhangi bir olumsuzluğa sebep olmamıştır. Diğer yandan, karaciğer lipid peroksidasyon seviyesini düşürmesi, argan yağının gökkuşuğu alabalığında antioksidan savunmayı güçlendirdiğini göstermektedir. İleriki çalışmalarda diyetsetel argan yağının balıklarda özellikle son ürün (fileto) kalitesine etkisinin araştırılması oldukça ilginç sonuçlar sunabilir.

Anahtar Kelimeler: Argan yağı, gökkuşuğu alabalığı, büyüme, oksidatif stres, yağ asidi

Eylül 2025, 65 sayfa

ABSTRACT

MASTER THESIS

EFFECTS OF DIETARY ARGAN OIL ON GROWTH, FATTY ACID COMPOSITION, AND ANTIOXIDANT DEFENSE SYSTEM IN JUVENILE RAINBOW TROUT

Chaimae SAID

Supervisor: Prof. Dr. Murat ARSLAN

Purpose: The aquaculture industry faces significant challenges due to its high dependence on feed ingredients, which leads to increased costs and environmental pressures. In particular, the use of traditional components such as fish meal and fish oil raises production costs, threatens marine ecosystems, and hampers sustainability. This situation necessitates the search for sustainable alternative lipid sources to replace fish oil. Argan oil, obtained from the kernels of the *Argania spinosa* tree, has attracted attention as an alternative lipid source owing to its high content of unsaturated fatty acids and bioactive compounds. In this study, the effects of dietary argan oil supplementation at different levels on the growth performance, feed conversion ratio, fatty acid composition, and antioxidant defense system of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) juveniles were investigated.

Method: The feeding trial was conducted at the Experimental Research Unit of the Faculty of Fisheries, Atatürk University. A semi-closed recirculating aquaculture system consisting of 12 polyethylene tanks (30 L each) was used. The system included biological and mechanical filtration units to maintain optimal water quality. Water temperature was maintained at 14 ± 1 °C, and dissolved oxygen levels at 7 ± 0.5 mg/L. Rainbow trout juveniles with an initial average weight of 2.6 g were distributed into four experimental groups. The groups were designed to replace fish oil with argan oil at different levels: 0% (control; AY0), 33% (AY1), 67% (AY2), and 100% (AY3). Each tank contained 25 fish, with three replicates per group. All experimental diets were formulated to be isonitrogenous (50% protein) and isolipidic (18% lipid). Fish were fed daily at a rate of 3–4% of their live weight for a period of eight weeks.

Findings: At the end of the eight-week feeding trial, the fish increased their body weight by 5.7–6.5 fold. Growth performance and feed conversion ratio were not significantly affected by the experimental diets (final body weight: 15.4 ± 1.3 g; feed conversion ratio: 1.03 ± 0.11). The fatty acid profile of fish reflected the dietary fatty acid composition and was significantly influenced by the experimental diets. As the proportion of dietary argan oil replacing fish oil increased, the levels of omega-3 long-chain polyunsaturated fatty acids, such as eicosapentaenoic acid (20:5n-3; EPA) and docosahexaenoic acid (22:6n-3; DHA), in fish decreased. On the other hand, hepatic lipid peroxidation levels decreased with increasing dietary argan oil inclusion.

Results: The results of this study demonstrate that dietary argan oil does not negatively affect the growth performance or feed utilization of rainbow trout. Furthermore, the reduction in hepatic lipid peroxidation levels indicates that argan oil enhances the antioxidant defense system in rainbow trout. Future studies focusing on the effects of dietary argan oil on product quality (particularly fillet quality) may provide valuable insights.

Keywords: Argan oil, rainbow trout, growth, oxidative stress, fatty acids

September 2025, 65 pages

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY TUTANAĞI.....	i
ETİK BİLDİRİM VE İNTİHAL BEYAN FORMU	ii
TEŞEKKÜR	iii
ÖZET	vi
ABSTRACT	vii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
TABLolar DİZİNİ.....	xiv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	xv
GİRİŞ.....	1
Dünya’da ve Türkiye’de Su Ürünleri.....	2
Türkiye Su Ürünleri Üretimi.....	3
Türkiye’de Yetiştiricilik Sektörünün Gelişimi ve Alabalığın Yeri.....	3
Gökkuşuğu alabalığı.....	4
Yem Formülasyonunda Balık Unu ve Balık Yağı	5
Su Ürünleri Yetiştiriciliğinde Bitkisel Yağların Etkisi	6
Argan (<i>Argania spinosa</i>).....	7
KURAMSAL TEMELLER.....	10
MATERYAL VE METOT	21
Yetiştiricilik Sistemi	21
Balık Materyali.....	21
Argan Yağı	22
DeneySEL Yemler	22
Deneme Düzeni ve Yemleme	24
Tüm Vücut Proksimet Değerleri İçin Örnekleme İşlemi	25
Antioksidan Enzim Analizleri İçin Karaciğer ÖrneklemeSi	25
Büyüme Parametrelerinin Hesaplanması	26
Proksimet Analizleri.....	26
Ham yağ	26
Ham protein.....	27
Kuru madde ve nem	28

Ham kül	29
Antioksidan Enzim Aktiviteleri Tayini	29
Homojenat hazırlanması.....	29
Protein miktarının belirlenmesi.....	29
Süperoksit dismutaz enzim aktivitesinin ölçülmesi (SOD)	30
GSH seviyelerinin tayini	30
Katalaz (CAT) aktivitesi tayini	31
Malondialdehit (MDA) seviyesi ölçümü	31
İstatistiki Analizler	31
ARAŞTIRMA BULGULARI	32
Büyüme Performansı.....	32
Tüm Vücut Proksimet Değerleri	33
Tüm Vücut Yağ Asidi Profili.....	33
Oksidatif Stres Parametreleri	36
Süperoksit Dismutaz (SOD).....	36
Katalaz aktivitesi.....	36
Glutasyon (GSH) seviyesi	37
Lipit peroksidasyon seviyesi	38
TARTIŞMA VE SONUÇ.....	40
KAYNAKLAR.....	45
ÖZGEÇMİŞ.....	51

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Dünyada su ürünleri üretim miktarı	2
Şekil 2. Türkiye avcılık ve yetiştiricilik miktarları	3
Şekil 3. Gökkuşuğu alabalığı (<i>Oncorhynchus mykiss</i>)	4
Şekil 4. Akuakültür yem sektörünün sorunları ve alternatifleri	6
Şekil 5. Bitkisel yağların su ürünleri yetiştiriciliğindeki rolü	7
Şekil 6. Argan ağacı	8
Şekil 7. Argan çekirdeği, kırılmış argan çekirdeği, argan meyvesi iç çekirdeği.....	9
Şekil 8. Denemenin yürütüldüğü yarı kapalı devre yetiştiricilik sistemi	21
Şekil 9. Denemede kullanılan balıklar	22
Şekil 10. Yem hazırlama aşamalar	23
Şekil 12. Tüm vücut proksimet analizi için balıkların örneklenmesi.....	25
Şekil 13. Numunelerden toplam yağ ekstraksiyon işlemi	27
Şekil 14. Protein Analizi	28
Şekil 15. Kuru madde miktarının belirlenmesi	28
Şekil 16. Ham kül miktarının belirlenmesi	29
Şekil 17. Farklı Oranlarda Argan yağ (<i>Argania spinosa</i>) İçeren Yemlerle 8 Hafta Boyunca Beslenen Gökkuşuğu alabalığında ortalama son ağırlık (ortalama±std sapma). Sütunlar üzerinde harf olmaması istatistik olarak önemli fark olmadığını göstermektedir.....	32
Şekil 18. Diyetel argan yağının artışıyla balıklardaki OA (A) ve DHA (B) oranlarındaki değişimler. Farklı harflerle işaretlenen sütunlar istatistik olarak birbirinden farklıdır ($P<0,05$).	35
Şekil 19. Sekiz hafta boyunca farklı seviyelerde argan yağı içeren diyetlerle beslenen gökkuşuğu alabalıklarında hepatik süperoksit dismutaz aktivitesi.	36
Şekil 20. Sekiz hafta boyunca farklı seviyelerde argan yağı ile beslenen gökkuşuğu alabalıklarında hepatik katalaz aktivitesi. Farklı harflerle işaretlenen sütunlar istatistik olarak birbirinden farklıdır ($P<0,05$).	37
Şekil 21. Sekiz hafta boyunca farklı seviyelerde argan yağı ile beslenen gökkuşuğu alabalıklarında hepatik glutatyon (GSH) düzeyleri. Sütunlar üzerindeki farklı harfler istatistiksel olarak anlamlı farklılıkları göstermektedir ($P<0,05$).	38

Şekil 22. Sekiz hafta boyunca farklı seviyelerde argan yağı ile beslenen gökkuşuğı alabalıklarında hepatik lipid peroksidasyon seviyesi (MDA). Sütunlar üzerindeki farklı harfler istatistiksel olarak anlamlı farklılıkları göstermektedir ($P<0,05$).....39



TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 1. Yıllara Göre Dünya Su Ürünleri Üretim Miktarındaki Değişim	3
Tablo 2. Yem Formülasyonu ve Proksimet Kompozisyon (%).....	22
Tablo 3. Yemlerin Yağ Asidi Kompozisyonu (%).....	24
Tablo 4. Farklı Oranlarda Argan yağ (<i>Argania spinosa</i>) İçeren Yemlerle 8 Hafta Boyunca Beslenen Gökkuşaağı Alabalığında Büyüme Performansı (ortalama $\pm$ std sapma). Değerler Üzerinde Harf Olmaması İstatistik Olarak Önemli Fark Olmadığını Göstermektedir	33
Tablo 5. Farklı Oranlarda Argan Yağı İçeren Yemlerle 8 Hafta Boyunca Beslenen Gökkuşaağı Alabalığında Tüm Vücut Proksimet İçeriği (%) (ortalama $\pm$ std sapma). Değerler Üzerinde Harf Olmaması İstatistik Olarak Önemli Fark Olmadığını Göstermektedir	33
Tablo 6. Farklı Düzeylerde Argan Yağı İçeren Yemlerle Beslenen Gökkuşaağı Alabalığında Tüm Vücut Yağ Asidi Kompozisyonu (%) (Ortalama $\pm$ Std Sapma). Aynı Satırdaki Farklı Harfler Değerler Arasında İstatistik Açısından Önemli Fark Olduğunu Göstermektedir ($P<0,05$)	34

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

%	Yüzde
°C	derece santigrat
AY	Argan yağı
BHT	Bütillendirilmiş hidroksi tolüen
BY	Balık yağı
CAT	Katalaz
DPPH	1,1-Difenil-2-pikrilhidrazil radikali
FAME	Yağ asidi metil esteri
FAO	Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü
FCR	Yem değerlendirme katsayısı
g	Gram
GC	Gaz kromatografisi
GC/MS	Gaz kromatografisi/kütle spektrometresi
GSH	Aktif glutasyon
HDL	Yüksek yoğunluklu lipoprotein
HSI	Hepatosomatik indeks
L	Litre
LDL	Düşük yoğunluklu lipoprotein
MDA	Malondialdehit
mg	Miligram
ml	mili litre
MUFA	Tekli doymamış yağ asidi
NADPH	Nikotinamid adenin dinükleotit fosfat
NBT	Nitroblue tetrazolium
NY	Bitkisel yağlar
PBS	Fosfat tampon çözeltisi
PO	Perilla yağı
PUFA	Çoklu doymamış yağ asidi
SFA	Doymuş yağ asidi
SGR	Bireysel büyüme oranı
SOD	Superoksit dismutaz
TBA	Tiyobarbütirik asit

TBARS	Tüyobarbitürik asit ile reaksiyona giren maddeler
TOB	Tarım ve Orman Bakanlığı
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
U	Ünite



GİRİŞ

Dünya nüfusu, 21 yüzyılın başından bu yana önemli ölçüde artmıştır. Bu demografik büyüme, küresel ölçekte gıda sistemlerini derin bir baskı altına almıştır. Tarımsal sektörde devam eden teknolojik gelişmeler ve verimliliği artırmaya dair çabalara rağmen, nüfus artışı genellikle tarımsal üretim kapasitesini aşmaktadır. Bu durum, özellikle düşük ve orta gelirli ülkelerde gıda güvenliği, yeterli beslenme ve sürdürülebilir kaynak yönetimi açısından ciddi zorluklar yaratmaktadır (Ahmed *et al.* 2024). Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü'ne (FAO) göre, dünya nüfusunun 2050 yılına kadar yaklaşık 10 milyara ulaşması öngörülmektedir. Bu artış, yalnızca üretim miktarının değil, aynı zamanda üretilen gıdanın besin değeri, erişilebilirliği ve çevresel sürdürülebilirliği açısından da kapsamlı çözümler gerektirmektedir. Dolayısıyla, gelecekteki gıda sistemlerinin hem artan talebi karşılayabilecek düzeyde verimli, hem de ekolojik sınırlar içinde kalacak şekilde sürdürülebilir olması büyük önem taşımaktadır (FAO, 2022). Yapılan küresel araştırmalar, su ürünleri yetiştiriciliğinin artık dünya çapında en süratle gelişen gıda üretim sistemi olduğunu göstermektedir (Garlock *et al.* 2020). Bu üretim biçimi, giderek artan küresel gıda talebini karşılamada ve özellikle düşük gelirli bölgelerde yaygın şekilde görülen beslenme yetersizliklerinin giderilmesinde önemli bir potansiyel sunmaktadır (Golden *et al.* 2021). Ayrıca, mevcut araştırmalar su ürünleri yetiştiriciliğinin birçok kara kökenli hayvansal protein kaynağına kıyasla çevresel etkiler açısından daha sürdürülebilir bir alternatif olduğunu göstermektedir (Gephart *et al.* 2021).

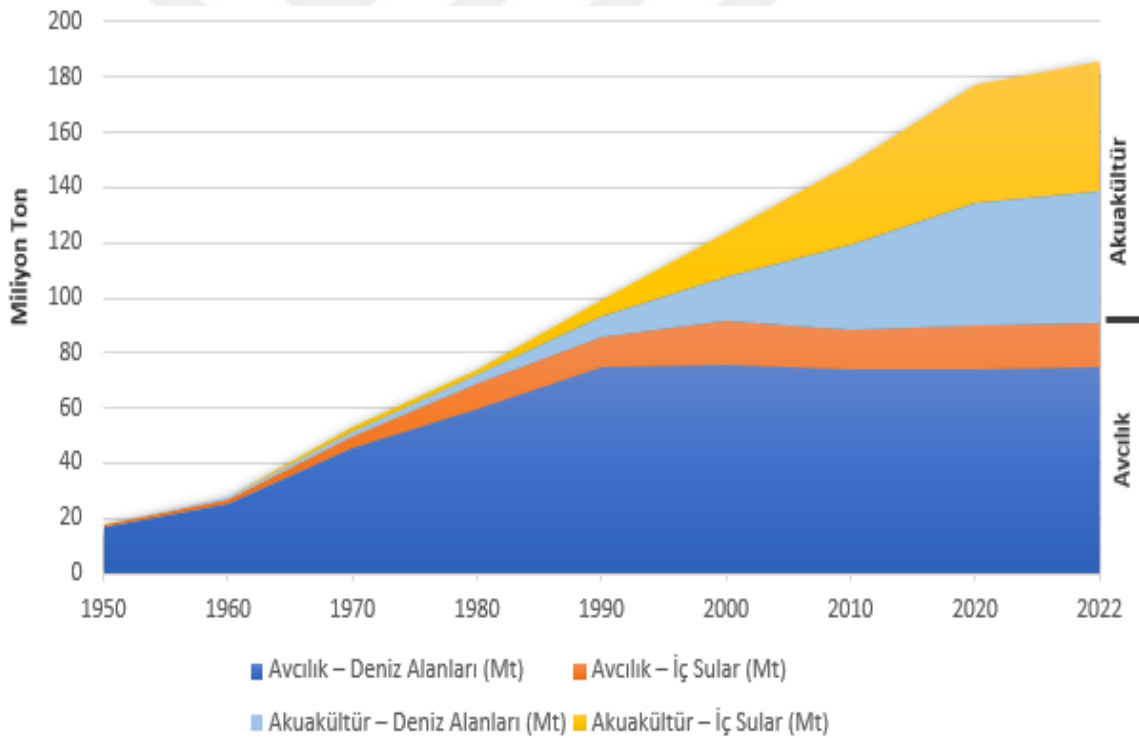
Akuakültür sektörü, küresel su ürünleri tüketiminin yarısını karşılamakta olup, bu sayede dünya genelinde milyonlarca insan için önemli bir geçim kaynağı sağlamaktadır (Nabi *et al.* 2025). Su ürünleri, yüksek kaliteli protein, temel yağ asitleri ve mikro besin öğeleri açısından zengin olmaları nedeniyle küresel gıda güvenliğinde stratejik bir role sahiptir. Özellikle balıklar ve kabuklu deniz ürünleri, dünya genelinde kişi başına düşen hayvansal protein tüketiminin önemli bir bölümünü karşılamaktadır. FAO'nun 2022 raporuna göre, 2030 yılına kadar sucul hayvan üretiminin yaklaşık %90'ının doğrudan insan tüketimi amacıyla kullanılacağı öngörülmektedir (FAO, 2022).

Öte yandan, su ürünleri yetiştiriciliğinin hızlı gelişmesi, balık yemi endüstrisinde ciddi bir büyümeye yol açmıştır. Bu bağlamda, yetiştirilen türlerin besin ihtiyaçlarını göz önünde bulundurarak alternatif yem hammaddeleri ve yem katkı maddelerinin kullanımı, yem

verimliliğini artırmak, yem maliyetlerini azaltmak, balık sağlığını ve refahını teşvik etmek, çevresel etkiyi en aza indirmek ve nihai tüketim kalitesini iyileştirmek için giderek zorunlu hale gelmektedir (Tacon *et al.* 2011; Tuna Keleştemur *et al.* 2023).

Dünya’da ve Türkiye’de Su Ürünleri

Akuakültür, son 30 yılda dünya genelinde en hızlı büyüyen gıda üretim sektörlerinden biri haline gelmiştir. 1990’lı yıllardan bu yana üretim miktarı yaklaşık üç kat artmış ve günümüzde küresel balık üretiminin %56’sını oluşturur hâle gelmiştir (FAO, 2022). Bu eğilim, özellikle 2000’li yıllardan itibaren geleneksel balıkçılık üretiminin durağanlaşmasına karşın, yetiştiricilik faaliyetlerindeki hızlı artışla net bir şekilde ortaya konulmaktadır (Şekil 1; Tablo 1). Bu büyüme yalnızca gıda arzının güvenliği açısından değil, aynı zamanda kırsal kalkınma, istihdam yaratılması ve ekonomik büyüme açısından da büyük önem taşımaktadır. Ancak akuakültürün sürdürülebilir gelişimi, yem teknolojilerinde yenilikçi, ekonomik ve çevre dostu stratejilerin geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır.



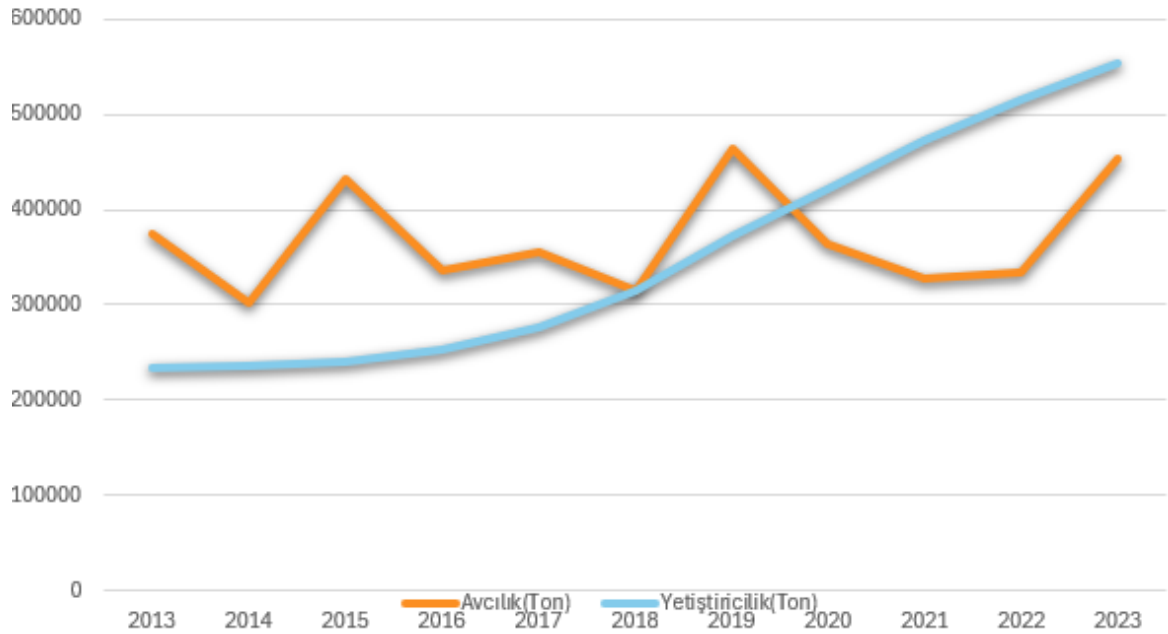
Şekil 1. Dünyada su ürünleri üretim miktarı (FAO, 2024)

Tablo 1. Yıllara Göre Dünya Su Ürünleri Üretim Miktarındaki Değişim (FAO, 2024)

Yıllar	Avcılık	Yetiştiricilik	Toplam Üretim
2016	89.628.685	76.557.980	166.186.665
2017	93.117.193	79.610.229	172.727.422
2018	96.429.088	82.121.832	178.550.941
2019	92.494.213	85.362.832	177.857.045
2020	90.265.933	87.502.609	177.768.543
2021	92.739.151	91.129.101	183.868.252
2022	92.320.427	94.415.401	186.735.827

Türkiye Su Ürünleri Üretimi

2023 yılında Türkiye’de toplam su ürünleri üretimi, bir önceki yıla göre %18,6’lık artışla 1.792.100 tona ulaşmıştır. Su ürünleri avcılığından elde edilen üretim bir önceki seneye göre %35,5 oranında artarken, yetiştiricilik üretimi ise %7,6 oranında artış göstermiştir. Ülkemizde su ürünleri üretim potansiyelinin %55’i yetiştiricilikten sağlanmıştır (Şekil 2) (TÜİK 2024).

**Şekil 2.** Türkiye avcılık ve yetiştiricilik miktarları (TÜİK 2024)

Türkiye’de Yetiştiricilik Sektörünün Gelişimi ve Alabalığın Yeri

Türkiye’nin coğrafi konumu ve zengin su kaynakları, ülkeyi su ürünleri yetiştiriciliğinde stratejik bir konuma taşımaktadır. İç sular ve kıyı bölgelerine yapılan artan yatırımlar sayesinde, sektör son yıllarda hızlı bir gelişim göstermiştir. Özellikle gökkuşağı alabalığı (*Oncorhynchus*

mykiss), adaptasyona yatkınlığı, hızlı büyüme potansiyeli ve yüksek tüketici talebi nedeniyle Türkiye’de iç su yetiştiriciliğinde en yaygın tür haline gelmiştir. 2023 yılı itibarıyla iç sularda gerçekleştirilen gökkuşağı alabalığı üretimi 152.566 ton olmuştur ve bu da bu türü iç su yetiştiriciliğinde lider konumuna oturtmaktadır (DGFA 2024).

Ayrıca, 2024 yılı itibarıyla Türkiye’de toplam 2.385 su ürünleri yetiştiriciliği işletmesi faaliyet göstermekte, bunların 1.831’i iç sularda, 554’ü denizde yetiştiricilik yapmaktadır.

Gökkuşağı alabalığı

Salmonidae familyasından bir tür olan gökkuşağı alabalığı (Şekil 3), Amerika orijinlidir ve su ürünleri yetiştiriciliğindeki ekonomik önemi nedeniyle ihtiyoloji alanında önemli ölçüde tanınmaktadır (Hardy, 2002). Bu balık hızlı büyüme özelliği, farklı ekolojik koşullara uyum sağlaması ve yüksek besin değeri ile dikkat çekmektedir. Bu özellikler, türün küresel ölçekte yaygın olarak yetiştirilmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Gökkuşağı alabalığının yetiştiricilik üretiminin son kırk yılda istikrarlı bir şekilde arttığını ve 2021 yılında toplam 744.000 tona ulaştığını göstermektedir (FAO, 2024). Bu türün önde gelen ihracatçıları arasında Norveç, Şili ve Türkiye yer almaktadır (FAO, 2022).

Gökkuşağı alabalığı, vücudu lateral olarak yassıdır ve ağzı terminal yapıda olup güçlü dişlere sahiptir. Bu türün en belirgin morfolojik özelliği, ışsız adipöz yüzgeç olarak adlandırılan bir çıkıntının varlığıdır. Renk ve boyut açısından değişkenlik gösteren beneklerle kaplıdır.



Şekil 3. Gökkuşağı alabalığı (*Oncorhynchus mykiss*)

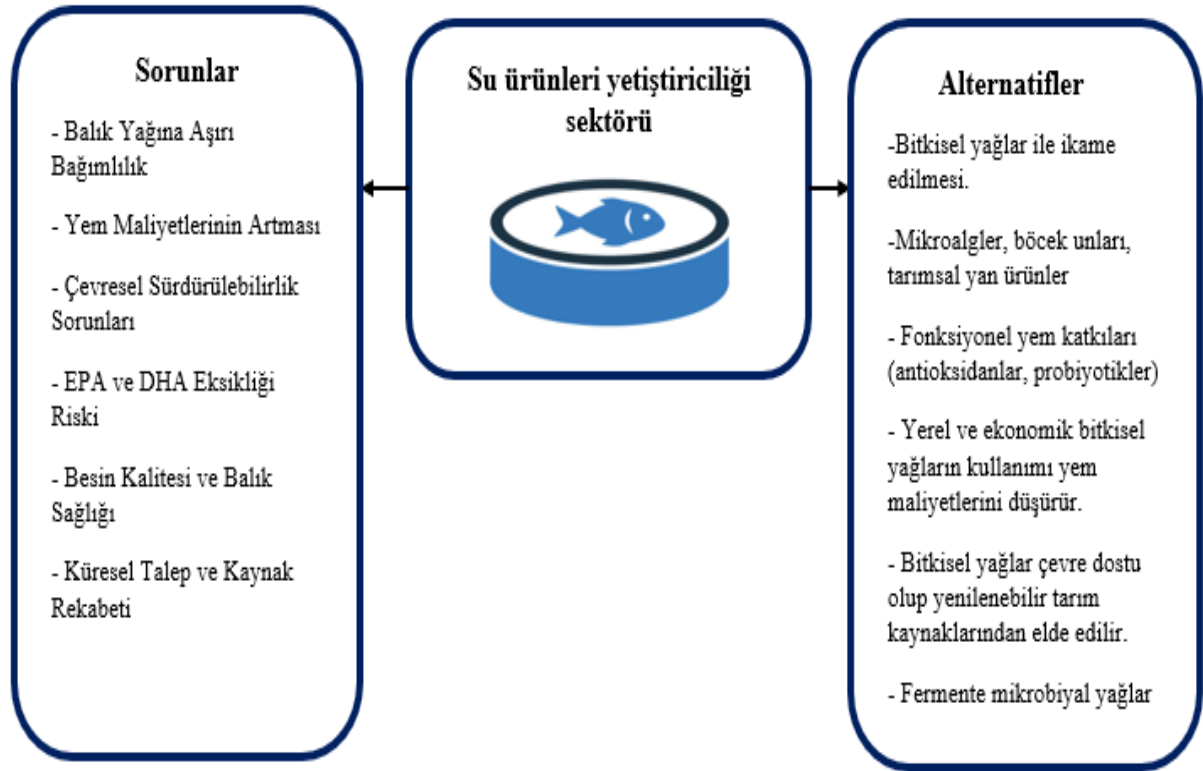
Gökkuşağı alabalığının kültürde tercih sebepleri

Gökkuşağı alabalığının kültür balıkçılığında tercih edilmesinin birkaç nedeni vardır:

- Çevresel Uyum: Çevresel koşullara kolayca adapte olabilmesi ve hastalıklara karşı dirençli olması.
- Sıcaklık Toleransı: İdeal su sıcaklığı 13-18 °C olmasına rağmen, 24 °C'ye kadar yüksek sıcaklıklara ve düşük oksijen seviyelerine (>5 mg/L) dayanıklılığı.
- Yumurta ve Fry Özellikleri: Yumurtadan çıkan fryların diğer türlere göre daha büyük olması, pelet yeme hızlı alışabilmesi ve iyi bir yem değerlendirme oranına sahip olması.
- Kuluçka Süresi: Diğer alabalık türlerine (dere alabalığı ve kaynak alabalığı) göre daha kısa kuluçka sürelerine sahip olması.
- Hızlı Gelişim: Kolayca yetiştirilebilen ve gıda olarak yüksek talep gören bir tür olması.

Yem Formülasyonunda Balık Unu ve Balık Yağı

Balık unu (BU) ve balık yağının (BY), su ürünleri yemlerinin formülasyonunda iki temel bileşeni oluşturduğu bilinmektedir. Akuakültür üretiminde yem, en büyük maliyet kalemlerinden birini oluşturmaktadır (Hodar *et al.* 2020). Balık unu ve balık yağı, standart balık diyetinin vazgeçilmez unsurları olup, temel amino asitler ve yağ asitlerinin sağlanmasında kritik bir rol üstlenmektedir. Balık yağı, yüksek konsantrasyonlarda eikosapentaenoik asit (EPA; 20:5n-3) ve dokosaheksaenoik asit (DHA; 22:6n-3) içeren doğal bir omega-3 kaynağıdır (Auchterlonie, 2024). Ancak, bu bileşenlerin sürdürülebilir olmayan üretimi ve giderek artan maliyetleri, akuakültür yemi endüstrisi açısından önemli bir endişe kaynağı haline gelmiştir (Şekil 4).



Şekil 4. Akuakültür yem sektörünün sorunları ve alternatifleri

Bu zorluğa yanıt olarak, su ürünleri yetiştiriciliği endüstrisi bitkisel içeriklerden üretilen düşük maliyetli, stabil yemler geliştirmektedir. Yağlı tohumlardan elde edilen bitkisel yağların, BY'nın yerine geçebilecek potansiyel bir lipit kaynağı olarak kullanılmasının sebebi nispeten daha düşük maliyetleri ve stabilitelerinin nispeten yüksek olmasıdır. Soya, palmiye, keten tohumu, ayçiçeği, kolza tohumu ve zeytinyağı dahil olmak üzere çok sayıda bitkisel yağ, yetiştiriciliği yapılan bir çok tür için balık yağı alternatifleri olarak değerlendirilmiştir (Sprague *et al.* 2016; Tacon and Metian 2013; Cashion *et al.* 2017).

Su Ürünleri Yetiştiriciliğinde Bitkisel Yağların Etkisi

Su ürünleri yetiştiriciliği sektörü büyümeye devam ettikçe, balıkların optimal sağlığı ve verimli gelişimi için kaliteli yem ihtiyacı da paralel olarak artmaktadır. Balık unu ve balık yağ, içindeki büyüme ve bağışıklık gibi hayati süreçlerde görev alan omega-3 nedeniyle özellikle somon ve karides gibi ekonomik değeri yüksek türlerin yem içeriklerinde temel kaynaktır. (Boyd *et al.* 2020; Tacon and Metian, 2008). Ancak, doğal balık stoklarının azalması bu kaynakların tedarikini hem zorlaştırmakta hem de maliyetleri artırmaktadır. Bu nedenle, ekonomik ve sürdürülebilir alternatif arayışları doğrultusunda bitkisel yağlara olan ilgi giderek artmaktadır (Şekli 5).

Bitkisel yağların küresel miktarı, balık yağı üretiminin yaklaşık 200 katıdır. Bitkisel yağların fiyatı ve bulunabilirliği, su ürünleri yetiştiriciliği endüstrisinin kullandığı miktardan

etkilenmez. Balık yağına kıyasla, bitkisel yağlar doğal olarak antioksidan bileşikler içerdiğinden oksidasyona karşı daha dirençlidir (Machado *et al.* 2023). Soya, kanola, ayçiçek, palm, keten tohumu ve zeytinyağı gibi bitkisel kökenli yağlar, balık yağı yerine farklı türlerde başarıyla test edilmiş ve olumlu sonuçlar alınmıştır (Sprague *et al.* 2016; Tacon and Metian, 2013; Cashion *et al.* 2017). Balık yağı, EPA ve DHA gibi uzun zincirli omega-3 çoklu doymamış yağ asitleri (LC-PUFA) bakımından oldukça zengin olup, hem balık hem de insan sağlığı açısından önemli fizyolojik işlevler üstlenmektedir (Tacer-Tanas and Arslan, 2023). Buna karşın, bitkisel yağlar balık yağı kadar LC-PUFA içermese de, farklı ve belirgin yağ asidi profillerine sahip olmaları nedeniyle su ürünleri yemlerinde tek başlarına veya karışım halinde kullanılarak beslenme açısından alternatif bir kaynak oluşturmaktadır. Ayrıca, bitkisel yağlar içerdiği bazı temel yağ asitleri sayesinde, balıkların büyüme performansını ve genel sağlığını olumsuz etkilemeden, yem formülasyonlarında balık yağının kısmen veya tamamen yerine kullanılabilir (Gasco *et al.* 2018; Glencross, 2009). Bitkisel yağların sürekli artan üretim hacimleri, onları ekonomik olarak da sürdürülebilir ve cazip bir seçenek hâline getirmektedir (Turchini and Francis, 2009; Sáez-Royuela *et al.* 2022).



Şekil 5. Bitkisel yağların su ürünleri yetiştiriciliğindeki rolü

Argan (*Argania spinosa*)

Argan ağacı, Sapotaceae familyasında yer almasına rağmen, tropikal olmayan iklimlerde yetişebilen tek tür olarak botanik açıdan istisnai bir konuma sahiptir (Ganoudi *et al.* 2021). Morfolojik olarak dikenli dallara sahip ve yaprak döken özellikte olan bu ağaç, özellikle

Ekolojik bakımdan, argan ağacı çevresel sürdürülebilirliğe önemli katkılar sağlar. Derinlere uzanan kök sistemi sayesinde hem suya ulaşabilir hem de toprağı rüzgâr ve su erozyonuna karşı koruyarak arazilerin bozulmasını engeller. Aynı zamanda, geniş gölgesi sayesinde çevresindeki mikroklimayı olumlu yönde etkileyerek toprak neminin korunmasına yardımcı olur ve çevresindeki bitki örtüsünün gelişimini destekler. Bu özellikleriyle, sadece bireysel bir bitki değil, aynı zamanda bir ekosistem düzenleyicisi olarak da değerlendirilmektedir. Bununla birlikte, argan ağacı yalnızca ekolojik değil, aynı zamanda ekonomik ve sosyokültürel açıdan da büyük öneme sahiptir. Yaprakları, meyvesi ve özellikle de tohumlarından (Şekil 7) elde edilen yağı, yüksek besin değerine sahip bileşenler ve biyoaktif maddeler içermektedir. Argan yağı (AY), zengin yağ asidi profili, antioksidan özellikleri ve cilt sağlığını destekleyici etkileri sayesinde hem beslenme hem de kozmetik sektöründe yaygın biçimde kullanılmaktadır (Asbbane *et al.* 2025).



Şekil 6. Argan ağacı



Şekil 7. Argan çekirdeği, kırılmış argan çekirdeği, argan meyvesi iç çekirdeği

Argan yağının kimyasal bileşimi: yağ asitleri, fitosteroller ve tokoferoller

Bitkisel yağların en önemli bileşenleri yağ asitleridir. Belirli bir bitkisel yağın özelliklerinin, stabilitesinin ve besin değerinin büyük ölçüde yağ asidi bileşimine bağlı olması dikkat çekmektedir. Bu bağlamda, argan yağı yaklaşık %80 doymamış yağ asitlerinden ve sadece yaklaşık %19 doymuş yağ asitlerinden oluşmaktadır. Doymamış yağ asitlerinin besinsel faydaları kapsamlı bir şekilde belgelenmiştir. Argan yağında %43-49 oranında oleik asit ve %29-37 oranında linoleik bulunmaktadır. Yüksek oranda oksitlenebilir bir molekül olan linolenik asit ise %0,3 oranından azdır. Bu az miktardaki linoleik asit, argan yağının soya fasulyesi yağı ve kolza tohumu yağı gibi linoleik asit açısından oldukça zengin diğer bitkisel yağlarla karıştırılıp karıştırılmadığını ve saflığını belirlemeye yardımcı olmaktadır.

Argan yağı bileşimi açısından, iki ana doymuş yağ asidi olan stearik asit (%3,14-3,28) ve palmitik asit (%11,70-11,75) içerir (Gharby and Charrouf, 2022). Miristik asit (C14:0), palmitoleik asit (C16:1), arakidik asit (C20:0) ve behenik asit (C22:0) dahil olmak üzere çeşitli diğer yağ asitleri nispeten sınırlı miktarlarda bulunmaktadır (Hilali *et al.*2005). Ayrıca, argan ağacı çok sayıda farklı uygulama alanına sahiptir. Bitkinin yaprakları, meyveleri ve yağının besleyici, kozmetik ve ekonomik faydaları olduğu besin ve biyoaktif bileşiklerin kaynağı olduğu kanıtlanmıştır (Ibourki *et al.*2021).

Mevcut çalışmada karakteristik yağ asidi profiline ve zengin antioksidan içeriğe sahip olan argan yağının, yavru gökkuşağı alabalığı diyetlerine balık yağı yerine farklı oranlarda dahil ederek, büyüme performansı, yağ asidi kompozisyonu ve antioksidan savunma sistemi üzerindeki etkilerini değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Bu yaklaşım, balık yağına olan bağımlılığı azaltmayı ve su ürünleri yetiştiriciliğinde sürdürülebilirliği artırmayı hedeflemektedir.

KURAMSAL TEMELLER

Su ürünleri yetiştiriciliğinin dünyaya balık tedarikindeki mevcut rolü ve önümüzdeki yıllarda beklenen büyümesi göz önüne alındığında, bu sektör en hızlı büyüyen gıda üretim sektörüdür (Gozlan, 2025). Bu yaklaşım, hem artan küresel gıda talebini hem de beslenme yetersizlikleri gibi acil sorunları ele almak için önemli bir imkan sunmaktadır. Ayrıca, bu üretimin çevresel faydalarını da dikkate almak önemlidir; çünkü birçok alternatif hayvansal gıdaya kıyasla çevresel etkisi daha düşüktür. Deniz ve tatlı su ortamlarından elde edilen balık ve diğer su ürünleri besin açısından zengin hayvansal gıdalardır. Su ürünleri çinko, kalsiyum ve uzun zincirli n-3 çoklu doymamış yağ asitleri gibi biyolojik olarak kullanılabilir mikro besinler açısından zengindir (Allison, 2011; Garlock *et al.* 2025).

Karnivor balıkların, özellikle gökkuşağı alabalığı türünün kültür ve piyasa talebi önemli ölçüde artmıştır. Bu balıkların talebinin artmasına katkıda bulunan temel faktörler arasında yüksek besin değeri ve hızlı büyüme performansı bulunmaktadır. Türün veriminin stratejik olarak artırılması ve buna bağlı besin değerinin iyileştirilmesi, su ürünleri yetiştiriciliği endüstrisinin sürdürülebilirliğini ve dayanıklılığını sağlamak için çok önemli bir girişimdir. Ancak, balık besleme uygulamalarında hayvansal yem bileşenlerinin yaygın kullanımı, önemli maliyetlere yol açmakta ve çevresel sürdürülebilirlik açısından ciddi zorluklar yaratmaktadır (Gil *et al.* 2024).

Bitkisel yağlar (NY) potansiyel bir alternatif çözüm olarak değerlendirilmektedir. Araştırmalar, tahıl ürünleri, baklagiller, yağlı tohumlar ve çeşitli işleme teknikleriyle üretilen yeni bitki bazlı protein ve yağ kaynaklarının balık yemlerinde kullanılabilir protein ve yağ kaynakları olarak umut vaat ettiğini ortaya koymuştur (Gatlin *et al.* 2007; Gu *et al.* 2025). Bitkisel yağların ekonomik uygulanabilirliği, özellikle üretim hacimlerinin yüksek olması bağlamında, maliyetlerin düşmesi, erişilebilirliğin artması ve ekonomik verimliliğin üstünlüğü gibi faktörlerin etkisiyle balık yağına cazip bir alternatif olarak ortaya çıkmıştır. Soya fasulyesi, keten tohumu, kolza tohumu, ayçiçeği, palmye ve zeytinyağı gibi çeşitli yağlar, balık yemlerinin formülasyonunda sıklıkla kullanılmaktadır.

Gasco *et al.* (2018) çalışmasında, NY'ların linoleik asit (LA; 18:2n-6) ve α -linolenik asit (ALA; 18:3n-3) açısından zengin oldukları için balık beslenmede BY yerine kısmen kullanılabileceğini vurgulamıştır. Ancak, NY'larda EPA ve DHA gibi n-3 LC-PUFA bulunmamasını önemli bir kısıtlama olarak belirtmiştir. Bunun sonucu olarak, BY'nın tamamen

çıkarıldığı diyetlerde balıkentinin besin değeri ve özellikle n-3 LC-PUFA içeriği önemli ölçüde azalmıştır. Bu nedenle, BY'nı tamamen ikame edebilecek tek bir alternatifin henüz ticari ölçekte mevcut olmadığı belirtilmiştir. Ancak, mikroalgler, biyoteknolojik olarak üretilen yağlar ve dengeli NY karışımları, gelecekte su ürünleri yetiştiriciliği için daha sürdürülebilir alternatifler oluşturabilir.

Qian *et al.* (2024), su ürünleri yetiştiriciliğinde sıkça kullanılan türlerde BY yerine NY'ların kullanılmasının etkisini değerlendirmek amacıyla 328 makaleyi içeren kapsamlı bir meta-analiz gerçekleştirmiştir. Çalışma, BY/NY ikamesinin büyüme performansı ve yem verimliliği gibi verim sonuçları ile doku yağ asidi profili gibi ürün kalitesi göstergeleri üzerindeki etkilerini doza bağlı bir şekilde değerlendirmiştir. Araştırma, balık türü, ikame seviyesi ve periyodu, su sıcaklığı, yem formülasyonundaki balık unu seviyesi ve kullanılan NY türü gibi faktörlerin sonuçları önemli ölçüde etkilediğini göstermiştir. Elde edilen sonuçlar, BY'nın tamamen NY'larla ikame edilmesinin, türlerin çoğunda hem performans hem de n-3 LC-PUFA birikimi üzerinde olumsuz etkilere yol açma eğiliminde olduğunu göstermiştir. Aksine, kısmi ikame, türe ve mevcut koşullara bağlı olarak büyüme ve yem kullanımı üzerinde önemli olumsuz bir etki yaratmadan yapılabilmektedir. Tüm bu etkileri dikkate alarak, çalışmanın sonuçları, en fazla yetiştiriciliği yapılan balık türleri için “potansiyel olarak optimal NY” eşleşmeleri önermiştir. Bu, türlere spesifik koşullara bağlı yağ seçiminin sürdürülebilir yem formülasyonu için kritik öneme sahip olduğunu vurgulanmıştır.

Martins *et al.* (2006), çalışmasında yağ kaynağı olarak BY'na karşı sürdürülebilir bir alternatif bulma çabası kapsamında, İzonitrojenik ($\approx$ %50 ham protein) ve izoenerjetik ($19 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$) özelliklere sahip üç yem formülasyonu hazırlanarak test edilmiştir. Deneysel çalışmada, 12 haftalık bir süre boyunca yavru gökkuşığı alabalığı ve Avrupa levreği (*Dicentrarchus labrax*) beslenmesinde %0, %25 ve %50'si oranında BY kademeli olarak soya yağı ile ikame edilmiştir. Çalışma, büyüme performansı, yem dönüşüm oranı, besin sindirimi ve vücut kompozisyonu açısından her iki tür için de iki diyet arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığı tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, diyet yağının %50'sine kadar soya yağının eklenmesinin, gökkuşığı alabalığı ve Avrupa deniz levreğinde büyüme, yem dönüşümü ve sindirim üzerinde olumsuz bir etkisi olmadığını göstermektedir.

Ghaedi *et al.* (2024), BY ile NY karışımlarının (ayçiçek, soya ve kolza yağları, 1:1:1 oranında) kısmi veya tam ikamesinin gökkuşığı alabalığı yavruları üzerindeki etkilerini araştırmak için bir çalışma yapılmıştır. Çalışmada, başlangıç ağırlığı 30 g olan 450 balığa sekiz haftalık bir süre boyunca beslenmiştir. Balıklarda büyüme performansı, yağ asidi bileşimi ve lipid metabolizmasıyla ilişkili gen ifadesi incelenmiştir. Sonuçlar, BY'nın kısmen veya

tamamen NY ile ikame edilmesinin balıkların büyüme performansı ve yem verimliliğini etkilemediğini göstermiştir. Ancak, NY içeren diyetler, tüm vücutta n-3 LC-PUFA ve özellikle DHA içeriğini düşürmüştür. Balıkların antioksidan kapasitesi ve bağışıklık tepkisi ile ilgili olarak, serum katalaz (CAT), glutatyon peroksidaz (GPx) ve lizozim gibi belirli enzimlerin varlığı, serum alternatif tamamlayıcı aktivitesi (ACH50) ve toplam immünoglobulin düzeyleri, NY diyetine tabi tutulan balıklarda önemli bir artış kaydetmiştir. Buna karşılık, karışık diyet alan balıklar, serum trigliserid, kolesterol ve LDL düzeylerinde artış olmuştur. Karaciğerdeki yağ asidi sentaz (FAS), delta-6 desatüraz (D6FAD) ve apolipoprotein B-100 genlerinin ekspresyon düzeylerinin yağ karışımı içeren diyet grubunda en yüksek olduğu bulunurken, FAPB1 ekspresyon düzeyleri değişmemiştir. Çalışmanın elde edilen sonuçları, NY ile birlikte BY'nın diyetle alınmasının gökkuşağı alabalıklarının büyüme ve sağlık indekslerini olumsuz etkilemediğini göstermiştir, ancak tüm vücuttaki n-3 LC-PUFA içeriğini azalttığını ortaya koymuştur.

Mu *et al.* (2020), sarı croaker (*Larimichthys crocea*) beslenmesinde BY'nın palm ve keten yağlarıyla tamamen değiştirilmesinin büyüme performansı, karaciğer antioksidan kapasitesi ve inflamatuvar yanıtlar üzerindeki etkilerini 12 haftalık bir besleme deneyi ile incelemiştir. Kontrol diyeti (%6, BY) esas alınarak, BY tamamen palm yağı veya keten yağı ile ikame edilmiştir. Sonuçlar, her iki ikame grubunda spesifik büyüme oranının belirgin şekilde azaldığını, karaciğer ham lipid içeriğinin ise BY verilen gruba göre daha yüksek olduğunu göstermiştir. Palm yağı diyetleri karaciğerde süperoksit dismutaz 1 SOD1, CAT ve Nrf2 ekspresyonlarını düşürürken, keten yağı bu genlerin ekspresyonlarını artırmıştır. Her iki grup, toplam karaciğer antioksidan kapasitesi açısından kontrol grubuna göre düşük değerler göstermiştir. Ayrıca, palm ve keten yağı diyetleri arginaz I ve IL-10 ekspresyonlarını azaltırken, TNF- α , IL-1 β , TLR22 ve MyD88 ekspresyonlarını artırmıştır. Bu bulgular, BY'nın tamamen NY'la ikamesinin büyüme performansını baskılayabileceğini, karaciğer antioksidan kapasitesini düşürebileceğini ve inflamatuvar yanıtları tetikleyebileceğini göstermektedir.

Ofori-mensah *et al.* (2020), yavru çipura (*Sparus aurata*) diyetlerinde BY farklı NY'la kullanımının etkilerini incelemiştir. Çalışmada, balık yağı %60 ve %100 oranlarında kamelya yağı ve chia yağı ile değiştirilerek oluşturulan diyetler, 90 gün boyunca uygulanmıştır. Tüm gruplarda büyüme performansında olumlu bir eğilim gözlemlenmiş, ancak kamelya diyetiyle beslenen balıklarda bu artış diğer gruplara kıyasla daha sınırlı kalmıştır. Balıkların vücut yağ asidi profili, uygulanan diyetleri yansıtmış, tekli ve çoklu doymamış yağ asitlerinin metabolizmasında görev alan elongaz ve desatüraz enzim aktivitelerinde artış tespit edilmiştir. BY beslenen gruplarda, PUFA metabolizmasına ilişkin gen ekspresyon düzeyleri yüksek

bulunmuştur. Bununla birlikte, bu genetik yanıtların esansiyel yağ asidi eksikliklerini tam anlamıyla telafi edemediği belirlenmiştir. Bu sonuçlar, kamelya ve chia yağlarının, balık yağına kısmen alternatif olabileceğini, ancak büyüme performansı ve esansiyel yağ asidi dengesi açısından sınırlılıklar barındırabileceğini göstermiştir.

Schulz *et al.* (2005), uzun levrek (*Sander lucioperca*) diyetlerinde BY, keten tohumu yağı ve soya yağı ile kısmen değiştirilmesinin büyüme performansı, vücut ve doku bileşimi ile yağ asidi profili üzerindeki etkilerini araştırmıştır. 57 gün süren besleme denemesi sonucunda, tüm gruplarda kilo alımı ve spesifik büyüme oranları benzer bulunmuş, bunun da BY'nın NY'la kısmen ikame edilmesinin büyüme üzerinde olumsuz bir etki yaratmadığını göstermiştir. Kas proteini ve nem içeriğinde anlamlı bir değişiklik saptanmamıştır. NY içeren diyet gruplarında (keten yağı: 162 g/kg, Soya yağı: 147 g/kg), karaciğer lipid düzeyleri BY grubuna (112 g/kg) kıyasla daha yüksek bulunmuştur. Bu durum, BY grubunda yağ kullanımının daha verimli gerçekleştiğine işaret etmektedir. Öte yandan, hepatosomatik indeks değerleri gruplar arasında sabit kalmıştır. Tüm vücut ve kas dokusunun yağ asidi profili, uygulanan diyetlerin içerdiği yağ asitlerini büyük ölçüde yansıtmıştır.

Tola *et al.* (2025), Asya levreği (*Lates calcarifer*) diyetlerinde BY, perilla yağı ile kısmen veya tamamen ikame edilmesinin büyüme performansı, yem dönüşüm oranı, sağlık durumu, proksimal yağ bileşimi ve kas yağ asidi profili üzerindeki etkilerini incelemiştir. Sekiz hafta süren çalışmada balıklar, %12 soya yağı, %12 perilla yağı, %8 perilla yağı ve %4 perilla yağı içeren farklı diyetlerle beslenmiştir. Elde edilen bulgular, perilla yağı ikamesinin büyüme hızı, yem değerlendirme katsayısı (FCR), protein verimlilik oranı (PER) ile lipid ve protein tutma üzerinde olumsuz bir etkisinin bulunmadığını göstermiştir. Deneme grupları arasında proksimal yağ bileşimi, hepatosomatik indeks (HSI) ve intraperitoneal yağ indeksi (IPFI) açısından anlamlı bir fark gözlemlenmemiştir. Perilla yağı kullanımına bağlı olarak kas dokusunda ALA düzeylerinde artış, buna karşılık EPA ve DHA düzeylerinde azalma tespit edilmiştir ($P<0,05$). Sonuçlar, perilla yağının BY sürdürülebilir bir alternatif olabileceğini ortaya koymakla birlikte, uzun zincirli n-3 PUFA düzeylerindeki düşüş nedeniyle bu ikamenin besin değerleri açısından dikkatle değerlendirilmesi gerektiğini göstermiştir.

Garcia (2023) çalışmasında, yavru kadife balığı (*Tinca tinca L.*) diyetlerinde BU ve BY'nın alternatif protein ve lipid kaynakları ile ikamesinin etkileri incelenmiştir. Çalışmada soya ve bezelye protein konsantreleri, gerekli amino asit takviyeleri ile yüksek oranlarda diyetle dahil edilmiş ve hayatta kalma ile büyüme performansı üzerinde olumsuz bir etki gözlemlenmemiştir. Ayrıca, BY'nın kamelya yağı ve diğer NY ile tamamen ikamesi, yavruların hayatta kalma ve büyümesini etkilememiştir. NY kullanımı, vücut lipid oranlarında belirgin bir

azalmaya yol açmış, toplam doymuş, tekli doymamış ve çoklu doymamış yağ asidi içerikleri açısından ise gruplar arasında anlamlı bir fark gözlenmemiştir. Öne çıkan bulgu, kamelya yağı ile tamamen ikame edilen diyetle Σ PUFA/ Σ SFA oranının en yüksek değere ulaşmasıdır. Bu sonuç, NY ve özellikle kamelya yağının BY için sürdürülebilir ve besin değeri açısından uygun bir alternatif olduğunu göstermiştir.

Kowalska *et al.* (2012), keten tohumu yağı ve ayçiçek yağı içeren diyetlerin farklı oranlarda uygulanmasının, uzun levrek türünde büyüme performansı, karaciğer histolojisi, bağışıklık yanıtı ve kan parametreleri üzerindeki etkilerini incelemiştir. %100 ayçiçek yağı, %100 keten yağı, %70 ayçiçek yağı / %30 keten yağı ve %30 ayçiçek yağı / %70 keten yağı oranlarına dört farklı yağ kombinasyonu olan yem kullanılmıştır. Farklı yağ oranları ve n-3/n-6 yağ asidi dengesi (0,36–2,15) büyüme, yem dönüşüm oranı, viserosomatik ve hepatosomatik indeksler ile hepatosit boyutu üzerinde anlamlı değişiklik yaratmamıştır. Bununla birlikte, yüksek oranlarda LO veya SFO içeren diyetler (%100 keten yağı ve %100 ayçiçek yağı), fagosit ve lenfosit aktivitesini olumsuz etkileyerek bağışıklık yanıtını azaltmıştır. Yağ asidi profili incelendiğinde, ALA ve LA asit miktarlarında gruplar arasında belirgin farklılıklar gözlenmiş, ancak araşidonik ARA, EPA ve DHA asitler üzerine etkisi bulunmamıştır. En dengeli sonuçlar, %30 ayçiçek yağı %70 keten yağı içeren diyetle elde edilmiş olup, bu diyetle n-3/n-6 oranı ~1,35 olarak belirlenmiş ve balık filetolarında düşük LA seviyesi ile yüksek bağışıklık indeksi gözlenmiştir. Bulgular, keten tohumu ve ayçiçek yağı içeren dengeli NY kullanımının, levrek beslenmesinde hem bağışıklık hem de ürün kalitesi açısından avantaj sağladığını göstermektedir.

Yıldız and Şener (2004) tarafından yürütülen çalışmada, levrek (*Dicentrarchus labrax*) yavrularının yemlerinde BY yerine farklı NY'lar (soya yağı, ayçiçek yağı, mısır yağı ve zeytinyağı) kullanılarak büyüme performansı, vücut kompozisyonu ve yağ asidi profilleri incelenmiştir. Besleme denemelerinin sonunda en yüksek canlı ağırlık kazanımı BY belirlenmiş olup, NY ile beslenen deney gruplarında büyüme daha düşük ve benzer seviyelerde bulunmuştur. Deney gruplarında SGR değerleri de BY grubuna göre daha düşük ve birbirine benzer düzeyde gerçekleşmiştir. FCR kontrol grubunda BY en iyi performansı gösterirken, en kötü değer mısır yağı grubunda gözlenmiş, diğer NY gruplarında ise benzer seviyelerde bulunmuştur. Tüm vücut yağ asidi profillerinde, EPA ve DHA seviyeleri BY grubunda en yüksek değerleri alırken, LA NY gruplarında ve OA zeytinyağı grubunda en yüksek seviyelerde belirlenmiştir. Ayrıca, balıkların karkas ve kas dokusu yağ içerikleri gruplar arasında anlamlı farklılık göstermiştir. Bu bulgular, NY kullanımının yavru levreklerin büyüme performansı ve

vücut yağ asidi profili üzerinde BY'ya kıyasla önemli etkiler yarattığını ve tür ile yağ kaynağı seçiminin kritik olduğunu göstermekte olup, rapor edilmiştir.

Sáez-Royuela *et al.* (2022) tarafından yürütülen çalışmada, kadife balığı yavrularının yemlerinde BY kısmen veya tamamen NY karışımı ile ikame edilmiştir. Bu karışım %30 keten tohumu yağı, %20 mısır yağı ve %50 zeytinyağından oluşmaktadır ve altı farklı izonitrojenik ve izolipidik diyet uygulanmıştır: %0, 20, 40, 60, 80 ve 100 NY ikamesi. Deney sonucunda, hem kontrol grubu hem de NY karışımı ile beslenen deney gruplarında hayatta kalım %100 olarak gerçekleşmiş ve balıkların büyüme performansı üzerinde olumsuz bir etki gözlenmemiştir. Tüm vücut lipid içeriği, %100 balık yağı ikamesi yapılan grupta anlamlı olarak düşerken, ALA içeriği BY'nın NY'la ikamesi arttıkça yükselmiş ve %40 ve üzeri ikame düzeylerinde kontrol grubuna kıyasla anlamlı olarak yüksek bulunmuştur. Σ PUFA/ Σ SFA ve Σ n-6/ Σ n-3 oranları, NY içeriği arttıkça yükselme eğilimi gösterirken, EPA ve DHA seviyeleri ters bir trend sergilemiştir. Bu bulgular, BY'nın tamamen NY karışımı ile ikamesinin, yavru kadife balığı büyüme performansı ve yağ asidi profili üzerinde olumsuz bir etki yaratmadığını göstermektedir.

Abdel-Aziz *et al.* (2022) tarafından yapılan çalışmada, çilli çarpan balığı (*Siganus rivulatus*) yavrularında BY, keten tohumu yağı, soya yağı ve ayçiçek yağı içeren NY ile kısmen veya tamamen ikame edilmiştir. 95 günlük besleme denemesi sırasında dört farklı diyet uygulanmış. Deneme sonunda, BY ile beslenen grup büyüme hızı, son vücut ağırlığı ve toplam vücut ağırlığı açısından diğer diyetlere göre anlamlı olarak daha yüksek bulunmuş, FCR açısından da en iyi performans BY diyeti ile gözlenmiştir; NY'lar arasında soya yağı diğer NY türlerine kıyasla daha iyi performans göstermiştir. Tüm gruplarda ham protein, kuru madde, kül ve toplam enerji değerleri arasında farklılık gözlenmemiştir. PUFA içeriği BY ile beslenen grupta en yüksek olarak belirlenmiş, NY gruplarında ise yağ türüne bağlı olarak daha düşük değerler gözlenmiştir. Çalışma, BY'nın çilli çarpan yavrularında büyüme ve yağ asidi profili açısından NY kıyasla daha uygun bir lipid kaynağı olduğunu ortaya koymuştur.

Larbi *et al.* (2018) tarafından yapılan çalışmada, Nile tilapia yavrularında BY'nın (%0) palm yağı (%25, %50, %75 ve %100) ile kısmen veya tamamen ikame edilmiştir. Sekiz haftalık besleme denemesinde, yavrular 33% ham protein ve 10% lipid içeren izonitrojenik ve izolipidik diyetlerle beslenmiş. Deneme sonucunda, tüm gruplarda balıkların hayatta kalma oranı %100 olmuştur. Son vücut ağırlığı (FBW) ve vücut ağırlık kazancı (BWG), %50 palm yağı içeren diyetle beslenen balıklarda, %25 palm yağı içeren diyetle beslenen balıklara göre anlamlı olarak daha yüksek bulunmuş, ancak diğer gruplardan anlamlı bir fark göstermemiştir. Diyetlere eklenen palm yağı oranı arttıkça karaciğerde SFA, MUFA ve LA artmıştır. Buna karşın EPA, DHA ve PUFA palm

yağı oranının artmasıyla azalmıştır. Kas dokusunda ise palm yağı oranının artması, EPA, DHA, toplam n-3 PUFA, toplam PUFA, n-3:n-6 oranı ve 20:2n-6 düzeylerinde artışa yol açmıştır. Serum GSH-Px aktivitesinde anlamlı bir fark gözlenmemiştir. Ayrıca, diyetlere eklenen palm yağı CAT ve SOD üzerinde anlamlı bir etki yaratmamıştır. %100 palm yağı ile beslenen balıklarda MDA düzeyinde anlamlı bir azalma görülmüştür; ortalama MDA aktiviteleri 2,70–5,12 arasında değişmiştir. Diyetlerde palm yağı oranı arttıkça serum toplam antioksidan kapasitesi (TAC) önemli ölçüde azalmıştır. %0 palm yağı ve %25 palm yağı içeren diyetlerle beslenen balıklarda GST aktivitesi, %75 ve %100 palm yağı ile beslenen gruplara göre anlamlı olarak daha düşük bulunmuş, ancak %50 palm yağı grubuna kıyasla istatistiksel olarak anlamlı bir fark göstermemiştir. Yüksek palm yağ oranları (%75 ve %100) ile beslenen balıklarda serum GR aktivitesi, %0, %25 ve %50 palm yağı ile beslenen gruplara göre anlamlı olarak daha düşük bulunmuştur. Çalışma, palm yağı içeren diyetlerle beslenen yavru tilapialarda, lizozim (LYS), TAC), glutation redüktaz (GR), MDA, CAT, SOD ve GSH-Px düzeylerinin azalmasına bağlı olarak antioksidan ve doğuştan gelen bağışıklık parametrelerinin olumsuz etkilendiğini ortaya koymaktadır. Elde edilen sonuçlar neticesinde palm yağı ile beslenen yavru tilapialarda LYS, TAC, GR, MDA, CAT, SOD ve GSH-Px düzeylerinin azaldığını ve bunun antioksidan ile doğuştan bağışıklık sistemini olumsuz etkili olduğu rapor edilmiştir.

Sönmez *et al.* (2015) çalışmasında gökkuşağı alabalığı yavrularında, adaçayı, nane ve kekik yağlarının diyetlere eklenmesinin büyüme performansı, MDA ve karaciğer antioksidan enzim aktiviteleri (SOD, CAT, G6PD, GR, GST ve GPx) üzerine etkileri incelenmiştir. 60 günlük besleme süresince yavrular 500, 1000 ve 1500 mg kg⁻¹ seviyelerinde bu NY içeren diyetlerle beslenmiş, adaçayı ve kekik yağı ile beslenen balıklar, kontrol grubuna kıyasla daha yüksek canlı ağırlık artışı ve spesifik büyüme hızı göstermiş, nane yağı ile beslenenlerde ise büyüme daha düşük bulunmuştur. FCR nane yağı gruplarında yüksek, adaçayı ve kekik yağlı gruplarda daha düşük gözlenmiş ve nane yağı ile beslenen balıklarda hayatta kalım oranı azalmıştır. Karaciğer antioksidan enzim aktiviteleri incelendiğinde, SOD, G6PD ve GPx aktiviteleri tüm NY gruplarında artarken, CAT, GST ve GR aktiviteleri azalmış; MDA seviyeleri ise adaçayı ve kekik yağı ile beslenen balıklarda anlamlı şekilde düşmüştür. Bu sonuçlar, adaçayı ve kekik yağlarının gökkuşağı alabalığında büyümeyi artırmak, lipid peroksidasyonu azaltmak ve antioksidan sistem aktivitelerini dengede tutmak açısından etkili olduğunu rapor edilmiştir.

Su ürünleri yemlerinde farklı NY kullanımına yönelik yürütülen çalışmalar, söz konusu yağların balıkların büyüme performansı, yem sindirilebilirliği, et kalitesi ve duyuşal özellikleri üzerindeki etkilerini çok yönlü biçimde değerlendirmiştir. Bulgular, birçok bitkisel yağın

büyüme performansı üzerinde genellikle olumlu etkiler sağladığını, ancak omega-3 LC-PUFA içeriğinin yetersiz olması nedeniyle et kalitesi ve besin değeri açısından bazı sınırlılıklara yol açabileceğini göstermektedir.

Ayrıca, NY antioksidan kapasiteleri de türler arasında değişiklik göstermektedir. Bu noktada, argan yağı gibi yüksek antioksidan içeriğe sahip yağlar dikkat çekmektedir (El Abbassi *et al.* 2014). Argan yağı, *Argania spinosa* çekirdeklerinden elde edilen doğal bir yağdır. Son yıllarda, tıbbi ve kozmetik uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Antioksidan ve antienflamatuar özellikleriyle öne çıkan argan yağı, balık beslenmesi alanında olumlu etki etme potansiyeline sahiptir.

Necib *et al.* (2013), AY civa klorür ($HgCl_2$) kaynaklı oksidatif stres ve karaciğer hasarı üzerindeki koruyucu etkilerini araştırmıştır. Çalışma, laboratuvar ortamında fareler üzerinde yürütülmüş ve AY takviyesi yapılan gruplarda karaciğer fonksiyonlarına ilişkin biyokimyasal belirteçlerde iyileşme tespit edilmiştir. Arttırılmış lipit peroksidasyon seviyeleri, AY uygulanan gruplarda anlamlı şekilde azalmış, buna karşılık, glutatyon (GSH) düzeylerinde artış gözlemlenmiştir. Ayrıca, antioksidan sistemin önemli bileşenlerinden olan glutatyon peroksidaz (GPx) ve glutatyon-S-transferaz (GST) normale yakın değerlere ulaşmıştır. Bu durum, AY'nın serbest radikal birikimini azaltarak hücresel düzeyde oksidatif hasarı sınırlayabildiğine işaret etmektedir. Histopatolojik analizler de, karaciğer dokusundaki yapısal bozulmaların AY uygulamasıyla kısmen düzeldiğini ortaya koymuştur. Bu bulgular, AY'nın içerdiği doğal antioksidan bileşenler aracılığıyla ağır metal toksisitesine karşı hepatoprotektif bir potansiyel taşıyabileceğini göstermektedir.

Saber *et al.* (2020), sodyum florür (NaF) kaynaklı böbrek hasarı üzerinde AY'nın potansiyel koruyucu etkilerini değerlendirmiştir. Otuz gün süresince NaF'ye maruz bırakılan sıçanlarda, böbrek fonksiyonlarının bozulduğu, oksidatif stresin arttığı ve inflamatuvar yanıtların belirgin şekilde yükseldiği tespit edilmiştir. NaF uygulaması, böbrek dokusunda lipit peroksidasyonu ile birlikte proinflamatuvar sitokinler ($TNF-\alpha$, $IL-1\beta$, NO) ve bazı intermediate filament proteinlerinin (desmin, nestin, vimentin) mRNA düzeylerinde artışa yol açmıştır. Ayrıca histopatolojik bulgular, glomerüller ve tübüler yapılarda belirgin hasarlar meydana geldiğini ortaya koymuştur. AY takviyesi ise bu olumsuz etkileri önemli ölçüde hafifletmiştir. Antioksidan savunma sistemine ait SOD ve GPx enzim aktivitelerinde artış, GSH ve toplam antioksidan kapasite TAC düzeylerinde yükselme, buna karşılık MDA seviyelerinde azalma gözlemlenmiştir. Ayrıca, proinflamatuvar belirteçlerin ifadesi baskılanmış ve böbrek dokusundaki histolojik bozulmalar kısmen geri döndürülmüştür. Bu bulgular, AY'nın farelerde sodyum florür (NaF) ile indüklenen nefrotoksisiteye karşı koruyucu etkisi rapor edilmiştir.

El Midaoui *et al.* (2016), AY, yüksek glisemik yük kaynaklı hipertansiyon, hiperglisemi, insülin direnci ve oksidatif stres üzerindeki etkileri açısından değerlendirilmiştir. Çalışmada, 5 hafta boyunca %10 D-glikoz içeren su ile beslenen Sprague-Dawley sıçanlar, metabolik sendromu taklit eden bir model olarak kullanılmıştır. Deney gruplarına AY (5 mL/kg/gün) veya mısır yağı oral yolla uygulanmıştır. Glikozla beslenen gruplarda sistolik kan basıncı, plazma glukoz ve insülin düzeylerinde artış, buna bağlı olarak insülin direnci indeksi ve oksidatif stres göstergelerinde yükselme gözlemlenmiştir. Aort dokusunda NADPH oksidaz aktivitesi ve süperoksit anyon üretiminde anlamlı artışlar saptanmıştır. AY uygulaması, bu parametrelerde belirgin iyileşmeler sağlamıştır, kan basıncı, glukoz ve insülin seviyelerinde azalma, NADPH oksidaz aktivitesinde düşüş ve oksidatif stres göstergelerinde iyileşme kaydedilmiştir. Bu etkilerin, AY'nın içerdiği fenolik bileşikler, tokoferoller ve karotenoidler gibi doğal antioksidanlar aracılığıyla gerçekleştiği düşünülmektedir. Karşılaştırma amacıyla uygulanan mısır yağı ise yalnızca insülin direnci üzerinde kısmi iyileştirici etki göstermiş, oksidatif stres ve hipertansiyon üzerinde sınırlı kalmıştır. Sonuçlar, AY'nın kardiyometabolik bozukluklara karşı koruyucu ve potansiyel olarak tedavi edici bir doğal bileşik olduğunu göstermektedir.

Daoudi *et al.* (2024), çalışmasında AY'nın, diyabetik nefropati üzerindeki etkileri incelenmiştir. Streptozotocin (STZ) ile diyabet oluşturulan sıçanlara, dört hafta boyunca kavrulmuş ve kavrulmamış argan yağı uygulanmıştır. Serum glukoz, kreatinin ve üre seviyeleri ile böbrek dokusundaki glomerüller ve tübüler hasarlar değerlendirildiğinde, her iki AY formunun da diyabet kaynaklı böbrek hasarını önemli ölçüde azalttığı gözlenmiştir. Ayrıca, AY'nın vücut ağırlığını stabilize ettiği ve serum glikoz seviyelerini düşürdüğü raporlanmıştır. Bu etkilerin, AY'nın yüksek fenolik, tokoferol ve karotenoid içeriğine bağlı doğal antioksidan kapasitesiyle ilişkili olduğu düşünülmektedir. İn vitro çalışmalar ise, AY'nın kas ve böbrek dokusundaki glukoz emilimini artırarak periferik glukoz kullanımını desteklediğini göstermiştir, kavrulmuş AY'nın bu etkilerinin daha belirgin olduğu belirtilmiştir. Sonuçlar, argan yağının diyabet ve komplikasyonlarının önlenmesinde doğal ve tamamlayıcı bir tedavi alternatifi olarak potansiyel taşıdığını göstermektedir.

Bakour *et al.* (2018), tarafından yürütülen çalışmada AY, hidrojen peroksit (H_2O_2) kaynaklı oksidatif stres ve doku hasarına karşı koruyucu etkileri değerlendirilmiştir. Wistar sıçanlar üzerinde gerçekleştirilen çalışmada, H_2O_2 (hidrojen peroksit) uygulaması ile karaciğer, böbrek ve beyin dokularında oksidatif stres indüklenmiş, ardından argan yağı takviyesinin etkileri incelenmiştir. Histopatolojik analizler, H_2O_2 'nin bu dokularda ciddi yapısal bozulmalara yol açtığını, AY uygulamasının ise bu değişiklikleri büyük ölçüde hafiflettiğini

ortaya koymuştur. Ayrıca, H₂O₂ uygulanan gruplarda ALT, AST, LDH gibi karaciğer enzim düzeylerinde ve serum lipid parametrelerinde (LDL-C, VLDL, TG, kolesterol) artış, albümin, total protein ve HDL-C düzeylerinde ise azalma gözlemlenmiştir. AY ile tedavi edilen gruplarda, biyokimyasal parametrelerde düzelme sağlanmış, dokularda oksidatif hasara karşı belirgin bir koruma gözlenmiştir. Çalışma sonucunda AY'nın H₂O₂'nin neden olduğu oksidatif hasarı önemli ölçüde azaltabildiğini ve bu doğal maddenin yüksek oksidatif strese bağı hastalıklara karşı önemli ölçüde koruyucu etkiler sunabildiğini olduğu rapor edilmiştir.

El-Farhoudi *et al.* (2025), tarafından yapılan çalışmada AY'nın, etanol ile indüklenen mide ülserlerine karşı gastroprotektif etkileri araştırılmıştır. Erkek albino farelere farklı dozlarda, tek ve tekrarlanan oral uygulamalarla verilen AY'nın, mide dokularındaki değişimler üzerindeki etkileri incelenmiştir. Deneysel bulgular, AY uygulamasının ülser sayısı ve toplam ülser uzunluğunu anlamlı düzeyde azalttığını, mide mukus üretimini artırırken, mide asiditesini düşürdüğünü göstermiştir. Sonuç olarak, AY'nın mide mukozasını oksidatif stres ve kimyasal hasara karşı koruyarak ülser oluşumunu engelleyici potansiyele sahip olduğunu ortaya koymaktadır.

Bouchab *et al.* (2023), çalışmasında AY ile zeytinyağının, demir (FeSO₄) kaynaklı oksidatif stres üzerindeki koruyucu etkileri hem in vitro (*Tetrahymena pyriformis*) hem de in vivo (fare modeli) sistemlerde karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Fitokimyasal analizler, zeytinyağının fenolik bileşik, klorofil ve karotenoid içeriğı açısından AY'dan daha zengin olduğunu ve DPPH ile FRAP testlerinde daha yüksek antioksidan kapasite gösterdiğini ortaya koymuştur. AY ise LA ve OA asitlerin yanı sıra spinasterol, schottenol ve γ-tokoferol gibi özgün biyoaktif bileşikler içermektedir. In vitro modelde, FeSO₄ uygulaması ile artan SOD ve GPx aktiviteleri ile GSH seviyeleri, her iki yağın uygulanmasıyla normalize olmuştur. In vivo deneylerde ise demir yüklemesine bağı karaciğer, beyin ve böbreklerde oksidatif stres belirteçlerindeki değişiklikler AY ve zeytinyağı ile büyük ölçüde azaltılmıştır, özellikle karaciğerde MDA artışı kontrol seviyelerine çekilmiş ve beyin GSH düşüşü AY ile %25, zeytinyağı ile %36 oranında telafi edilmiştir. Sonuç olarak, AY, fenolik içeriğı zeytinyağı kadar yüksek olmasa da, özgün biyoaktif bileşenleri sayesinde oksidatif stresin azaltılmasında etkili bir doğal antioksidandır ve fonksiyonel gıda bileşeni olarak potansiyel taşımaktadır.

Baba *et al.* (2017), çalışmasında AY'nın, Nile tilapyasında (*Oreochromis niloticus*), hem hastalık öncesi hem de enfeksiyon sonrası bağıışıklık, hematolojik, biyokimyasal ve büyüme parametreleri üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Balıklar 45 gün süreyle %0, %0.5, %1 ve %2 oranlarında AY içeren diyetlerle beslenmiş, ardından *Lactococcus garvieae* ile enfekte edilerek 15 gün izlenmiştir. Hastalık öncesi dönemde, AY verilen gruplarda total lökosit

sayısı, serum lizozim ve miyeloperoksidaz aktiviteleri ile solunum patlaması yanıtlarında anlamlı artışlar gözlenmiştir. Ayrıca, serum glukoz ve kolesterol seviyeleri düşerken, total protein ve albümin düzeylerinde anlamlı bir değişiklik saptanmamıştır. Enfeksiyon sonrası dönemde, özellikle %1 ve %2 AY içeren diyetlerle beslenen gruplarda hayatta kalma oranı, büyüme performansı kontrol grubuna göre belirgin şekilde iyileşmiştir. Sonuç olarak, çalışmada AY'nın, bağışıklık sistemini güçlendirdiği, büyümeyi desteklediği ve özellikle %1–2 düzeylerinde etkili olduğu gösterilmiş.



MATERYAL VE METOT

Yetiştiricilik Sistemi

Deneme çalışmasında Atatürk Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Deneysel Araştırmalar Birimi bünyesinde bulunan kapalı devre yetiştiricilik sisteminde yürütülmüştür. Sistem, optimum su kalitesini korumak için biyofiltrasyon ve mekanik filtrasyon üniteleri ile desteklenmektedir. Su sıcaklığı $14\pm1^{\circ}\text{C}$ 'de tutulurken çözülmüş oksijen seviyeleri $7\pm0,5$ mg/L'de sabitlenmiştir. Besleme çalışması 12 tane 30 L'lik polietilen tank kullanılarak yürütülmüştür (Şekil 8).



Şekil 8. Denemenin yürütüldüğü yarı kapalı devre yetiştiricilik sistemi

Balık Materyali

Çalışma Atatürk Üniversitesi bünyesinde faaliyet gösteren alabalık üretim tesisinden alınan, ortalama 2,6 g ağırlığındaki gökkuşağı alabalıkları üzerinde yürütülmüştür (Şekil 9). Su Ürünleri Fakültesi İçsu Balıkları Araştırma ve Uygulama Biriminden temin edilen balıklar deneme başlangıcı öncesinde adaptasyon sürecini tamamlamak amacıyla tanklarda 7 gün süre ile tutulup ticari yem ile beslenmiştir.



Şekil 9. Denemede kullanılan balıklar

Argan Yağı

Bu çalışmada kullanılan argan yağı, Fas'tan ticari faaliyet gösteren yerel firmadan temin edilmiştir.

Deneysel Yemler

Rasyonların içerikleri Tablo 2’de verilmiştir. Çalışmada kullanılan rasyonlar, balıkların fizyolojik ve metabolik açıdan ihtiyaçlarını karşılayacak şekilde (~%50 protein, %18 yağ) tasarlanarak kontrollü şekilde hazırlanmıştır. Deneysel yemler argan yağının 4 farklı oranda balık yağının yerini alacağı şekilde üretilmiştir: %0 (kontrol; AY0), %33 (AY1), %67 (AY2) ve %100 (AY3). Deneysel yemlere ait yağ asidi kompozisyonu Tablo 3’te verilmiştir.

Tablo 2. Yem Formülasyonu ve Proksimet Kompozisyon (%)

İçerik	Deneysel yemler			
	AY0	AY1	AY2	AY3
Balıkunu	15,00	15,00	15,00	15,00
Tavuk unu	35,15	35,15	35,15	35,15
Soya protein konsantresi	12,50	12,50	12,50	12,50
Kan unu	3,65	3,65	3,65	3,65
Niştasta ¹	17,60	17,60	17,60	17,60
Karboksimetil selüloz	0,10	0,10	0,10	0,10
Vitamin karması ²	0,30	0,30	0,30	0,30
Mineral karması ³	0,10	0,10	0,10	0,10
Balık yağı	15,00	10,00	5,00	0,00
Argan yağı	0,00	5,00	10,00	15,00
Kolin klorid	0,30	0,30	0,30	0,30
Metiyonin	0,15	0,15	0,15	0,15
Lisin	0,15	0,15	0,15	0,15

Tablo 2. (Devamı)

Proksimet kompozisyon

Protein	50,1	50,3	50,4	50,2
Yağ	19,2	19,6	18,7	19,1
Kül	7,1	7,0	7,1	7,2
Nem	6,1	6,4	6,1	6,3

¹ Prejelatinize

² Trouw Nutrition Premix (Ankara, Turkey).

³ Bernhart Tomarelli salt mixture (ICN Pharmaceuticals, Costa Mesa, CA).

Yem hammaddeleri ilk önce elle karıştırıldıktan sonra, homojen bir karışım elde edilene kadar yaklaşık 15 dakika boyunca mekanik karıştırıcı ile karıştırılmıştır. Belirlenen oranlarda argan yağı ve balık yağı karışıma eklenmiş ve karışım uygun miktarda su eklenip tekrar karıştırılıp peletlenmiştir. Elde edilen pelet yemler liyofilizatörde kurutulmuş, ardından deney gruplarına (AY0, AY1, AY2, AY3) göre ayrılmış ve uygun boyutlandırma işleminden geçirilmiştir. Son aşamada, her grup için hazırlanmış yemler kullanılıncaya kadar -20°C’de muhafaza edilmiştir (Şekil 10).



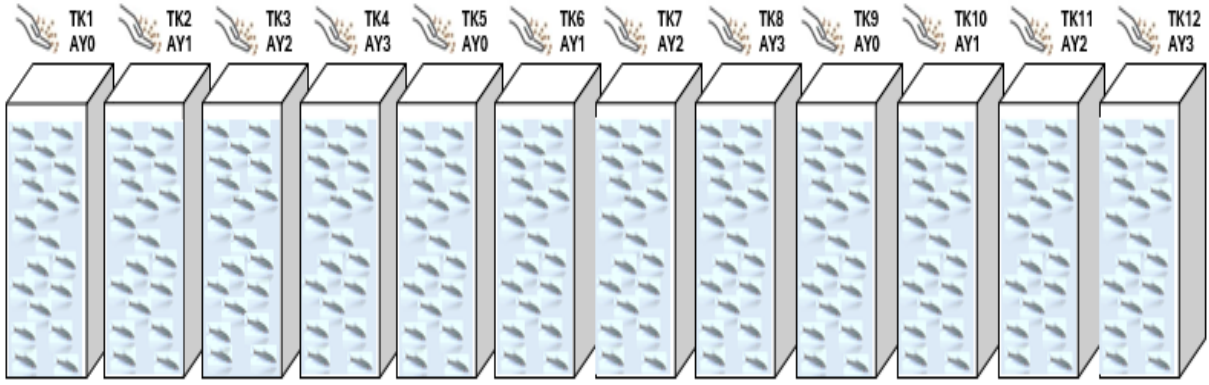
Şekil 10. Yem hazırlama aşamalar

Tablo 3. Yemlerin Yağ Asidi Kompozisyonu (%).

Yağ asidi	Deneysel yemler			
	AY0	AY1	AY2	AY3
14:0	7,4	6,3	4,9	2,8
14:1	0,9	0,6	0,4	0,1
16:0	20,1	17,9	16,9	15,3
16:1	5,1	3,6	2,5	1,2
17:0	0,8	0,5	0,3	0,2
17:1	0,1	0,5	0,2	0,2
18:0	5,3	5,2	5,4	5,7
18:1n-9	23,0	29,7	36,6	43,5
18:2n-6	6,1	13,8	20,2	27,1
20:0	0,5	0,4	0,4	0,4
18:3n-3	2,7	1,7	0,7	0,9
18:4n-3	1,9	1,5	0,8	0,2
21:0	0,2	0,2	0,2	0,2
20:2n-6	0,2	0,3	0,3	0,2
20:3n-3	0,5	0,5	0,4	0,2
20:4n-6	0,6	0,4	0,2	0,1
20:5n-3	6,8	5,0	2,7	0,5
22:6n-3	17,8	11,9	6,9	1,3
ΣSFA	34,2	30,5	28,1	24,5
ΣMUFA	29,1	34,5	39,7	45,0
ΣPUFA	36,7	35,0	32,2	30,5
Σn3	29,8	20,6	11,5	3,1
Σn6	6,9	14,4	20,7	27,4
n3/n6	4,3	1,4	0,6	0,1

Deneme Düzeni ve Yemleme

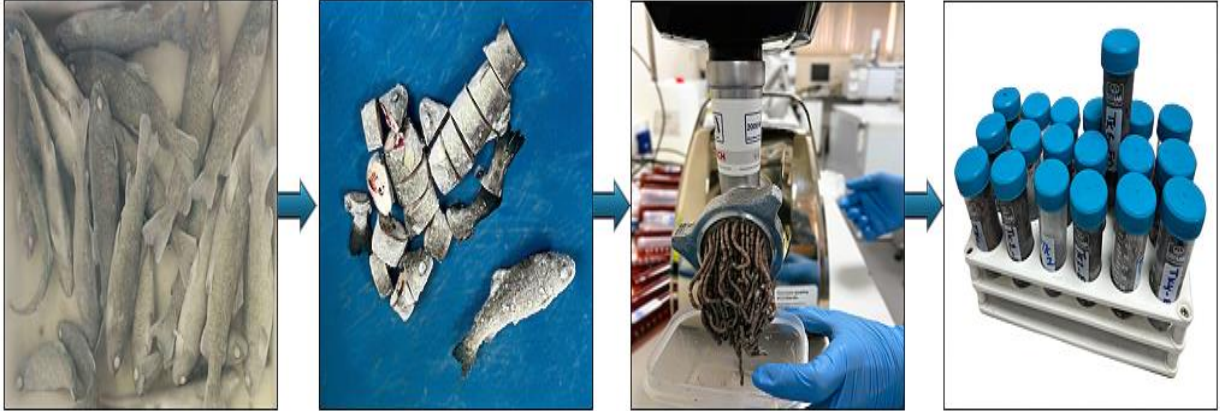
Başlangıçta ortalama canlı ağırlıkları 2,6 gram olan yavru gökkuşuğu alabalığı yavruları, rastgele olarak dört farklı deneme grubuna dağıtılmıştır. Her grup, istatistiksel geçerliliği sağlamak amacıyla üç tekerrürlü düzenlenmiş olup, her tankta 25 balık bulunacak şekilde yerleştirilmiştir, Yemleme işlemi günde 3 kez (09:00, 13:00 ve 17:00) olarak yapılmıştır (Şekil 11). Deneme süresince balıklar her 15 günde bir tartılarak büyüme parametreleri takip edilmiştir.



Şekil 11. Deneme düzeni

Tüm Vücut Proksimet Değerleri İçin Örneklemme İşlemi

Tüm vücut analizleri (ham protein, ham yağ, kuru madde ve kül) için ayrılan balık örnekleri tartılarak sıvı azot içerisinde hızlı şekilde (-273°C) dondurulmuştur. Daha sonra, her bir örnek etiketlenmiş ve hava ile ışık temasını önleyecek şekilde analiz sürecine kadar -80°C 'de saklanmıştır. Analizlerde kullanılacak bu örnekler, tüm vücut homojenizasyonunu sağlamak amacıyla soğutmalı bir kıyma makinesinden iki kez geçirilmiş ve elde edilen homojen karışım -20°C 'de muhafaza edilmiştir (Şekil 12).



Şekil 12. Tüm vücut proksimet analizi için balıkların örneklenmesi

Antioksidan Enzim Analizleri İçin Karaciğer Örneklemesi

Antioksidan enzim aktiviteleri analizlerinde kullanılmak üzere, her deney grubunu temsil edecek şekilde her tanktan rastgele seçilen balıklardan karaciğer diseksiyonu yapılmış olup, alınan karaciğerler kriyojenik tüplere konularak likit nitrojen içerisinde hızlıca dondurulmuş ve analizlerde kullanılıncaya kadar -80°C 'de muhafaza edilmiştir.

Büyüme Parametrelerinin Hesaplanması

Denemede kullanılan balıkların büyüme performanslarının değerlendirilmesinde, %canlı ağırlık kazancı, yem dönüşüm oranı, spesifik büyüme ve yaşama oranı gibi parametrelerin hesaplanmasında Arslan *et al.* (2012) tarafından bildirilen formüller esas alınmıştır.

$$\text{Ağırlık kazancı (\%)} (WG) = [(\text{son ağırlık} - \text{başlangıç ağırlığı}) / (\text{başlangıç ağırlığı})] \times 100$$

$$\text{Spesifik büyüme oranı (SGR)} = [(\ln \text{ son ağırlık}) - \ln \text{ başlangıç ağırlığı}] \times 100 / \text{denemede geçen gün sayısı}$$

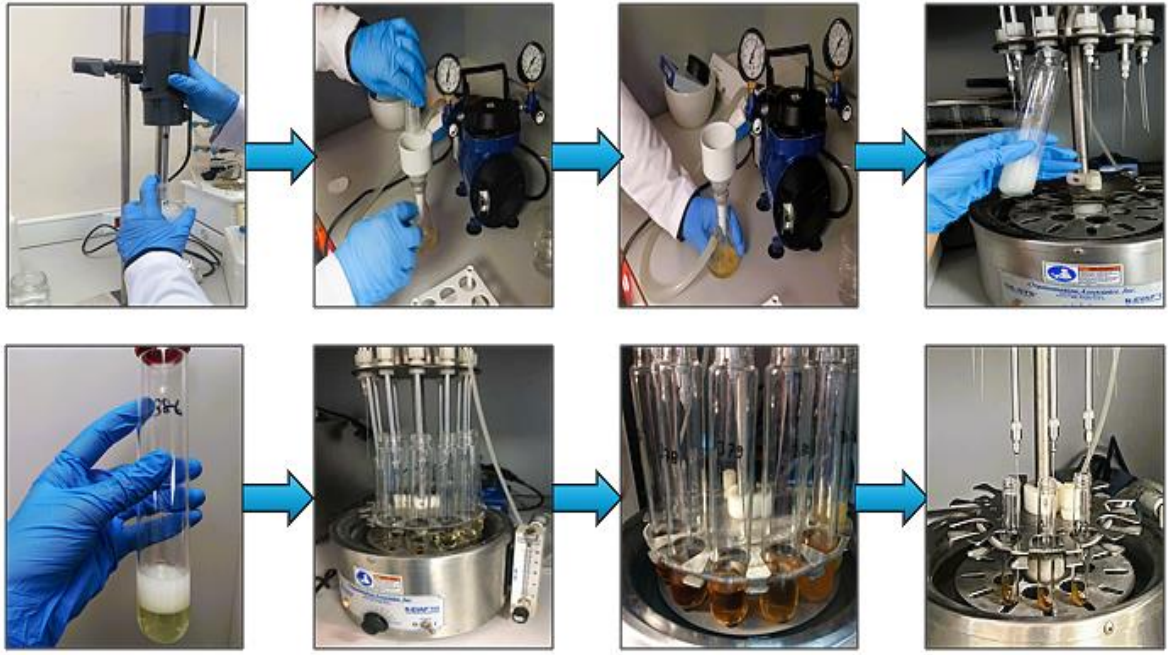
$$\text{Yem değerlendirme katsayısı (FCR)} = \text{tüketilen yem miktarı (g)} / \text{ağırlık artışı (g)}$$

$$\text{Yaşama oranı} = \text{deneme sonundaki balık sayısı} / \text{deneme başındaki balık sayısı} \times 100$$

Proksimet Analizleri

Ham yağ

Bire iki oranında metanol-kloroform (1:2) solüsyonu içerisine litre başına 0,25 gr BHT eklenerek solvent hazırlanmıştır. Toplam yağ ekstraksiyonu için tüm vücut örneklerinden 1 gram doku alınarak homojenizasyon tüplerine yerleştirilmiştir. Her tüpe 20 mL çözücü solvent eklenmiş ve 60 saniye boyunca homojenizatör yardımıyla dokular parçalanmıştır. Homojenizasyonun ardından, vakum uygulanarak çözelti süzölmüş ve cam tüplere aktarılmıştır. Bu tüplere çözelti hacminin %2'si oranında $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ çözeltisi eklenmiştir. Ardından, tüplerin içine 1 dakika boyunca yüksek saflıkta nitrojen gazı verilmiş ve vortex ile karıştırılmıştır. İşlem tekrarlanarak tekrar 1 dakika nitrojen gazı uygulanmış ve tüpler hava almaması için conta kapaklarla sıkıca kapatılmıştır. Karanlık ortamda, oda sıcaklığında yaklaşık 24 saat bekletilerek faz ayrımının gerçekleşmesi sağlanmıştır. Süre sonunda oluşan alt faz, 3 ml'lik cam pastör pipeti kullanılarak başka cam tüplere aktarılmıştır. Bu tüplere bir miktar kloroform eklenerek ısıtmalı evaporatör sistemine yerleştirilmiş ve azot gazı akışı altında solvent buharlaştırılmıştır. Bu sırada, 10 ml'lik vida kapaklı cam tüpler numaralandırılmış ve 0,0001 g hassasiyetinde terazide tara ağırlıkları kaydedilmiştir. Solventin büyük kısmı uçurulduktan sonra kalan kısım bu tüplere aktarılmış, ısıtma durdurulmuş ve solvent tamamen uçurulana kadar işlem sürdürülmüştür. Sonrasında tüpler belirli aralıklarla tartılarak ağırlık sabitleninceye kadar takip edilmiş ve son ağırlıklar kaydedilmiştir. Son olarak, tüplere yaklaşık 0,5–1 ml kloroform eklenmiş, conta kapaklarla kapatılarak nitrojen gazı altında -20 °C'de muhafaza edilmiştir (Şekil 13) (Folch *et al.* 1957).



Şekil 13. Numunelerden toplam yağ ekstraksiyon işlemi

Ham protein

Ham protein miktarının tayini, Kjeldahl yöntemine göre belirlenmiştir (Şekil 14). Daha önce homojenize edilen numunelerden yaklaşık 0,25 g alınarak 300 mL hacimli Kjeldahl tüplerine aktarılmıştır. Her tüpe 2 adet Kjeldahl tablet (Merck, TP1582648) ve 20 mL %98'lik sülfürik asit (H_2SO_4) eklenmiştir. Tüpler, yakma ünitesine (Buchi-SpeedDigester K-436/K-439) yerleştirilmiştir.

Numunelerin yakma işlemi, sırasıyla 480 °C'de 10 dakika, 550 °C'de 10 dakika ve 490 °C'de 65 dakika olmak üzere belirli sıcaklık ve süre kombinasyonlarında gerçekleştirilmiştir. Yakma işlemi sonrasında tüpler yaklaşık 30 dakika süreyle soğutulurak oda sıcaklığına getirilmiştir. Soğutulan tüpler distilasyon ve ardından titrasyon işlemleri için BUCHI MultiKjel cihazına yerleştirilmiştir. Distilasyon işlemi sonucunda elde edilen distilat, Metrohm Eco Titrator cihazı kullanılarak titrasyon yöntemiyle analiz edilmiştir. Cihaz, kullanılan HCl miktarını otomatik olarak hesaplamış ve bu veriler doğrultusunda örneklerin ham protein içeriği belirlenmiştir.

$$\%Azot = [(V1-V0) \times 0,014 \times F \times N] / m \times 100$$

N: Titre edilirken kullanılan HCl çözeltisinin normalitesi

V1: Titre etmede kullanılan HCl çözeltisinin hacmi (ml)

V0: Tanık deneydeki titrasyonda kullanılan HCl çözeltisinin hacmi (ml)

F: Titre etmede kullanılan HCl çözeltisinin faktörü

m: Analiz için kullanılan numunenin kütlesi (g) %

$$\text{Protein} = \% \text{ Azot} \times 6,25$$



Şekil 14. Protein Analizi

Kuru madde ve nem

Her tanktan ikişer tekerrürlü olarak porselen krozelere numaralanıp 100 °C'lik etüvde genleşme faktörünün elemine edilebilmesi için iki saat boyunca tutulmuştur. Krozeler süre sonunda desikatörde soğutulup 0,0001 g hassasiyet ile daraları alınıp kaydedilmiştir. Daraları alınan krozelere ortalama 10 g örnek tartılmış ve krozeler 100°C 'lik etüvde sabit ağırlığa gelinceye kadar (~18 saat) kurumaya bırakılmıştır. Numuneler etüvden her çıkarıldığında ortam neminden etkilenmemesi amacıyla desikatörde tutulmuştur (Şekil 15). Numunelerin kuru madde içeriği aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır (Gökalp *et al.* 2001). Nem ise %kuru madde miktarının 100'den çıkarılması ile tespit edilmiştir.

$$\% \text{ Kuru madde} = [(\text{Son ağırlık} - \text{İlk ağırlık}) / \text{örnek ağırlığı}] \times 100$$



Şekil 15. Kuru madde miktarının belirlenmesi

Ham kül

Kullanılacak krezeler, 525 °C’de 6–8 saat süreyle yakılarak temizlenmiş, ardından desikatörde soğumaya bırakılmıştır. Oda sıcaklığına ulaşan krezelerin daraları 0,0001 g hassasiyetle tartılarak kaydedilmiştir. Her bir krezeye yaklaşık 10 g numune tartılmış ve 100 °C’deki etüvde 10–12 saat ön kurutma işlemine tabi tutulmuştur. Ön kurutmanın ardından krezeler kül fırınına yerleştirilmiş ve sıcaklık kademeli olarak artırılmıştır. Fırın 525 °C’ye ulaştıktan sonra, numuneler bu sıcaklıkta 18 saat boyunca yakılmıştır. İşlem sonunda krezeler tekrar desikatörde soğutulmuş ve son tartım yapılarak veriler kaydedilmiştir. Numunelerin % kül oranı, (Gökalp *et al.* 2001) tarafından belirtilen formül kullanılarak hesaplanmıştır (Şekil 16).

$$\%K\ddot{u}l\text{ miktarı} = (\text{k\ddot{u}l ağırlığı} / \text{örnek ağırlığı}) \times 100$$



Şekil 16. Ham kül miktarının belirlenmesi

Antioksidan Enzim Aktiviteleri Tayini

Homojenat hazırlanması

Deneyler için karaciğer dokuları, 1 mM EDTA ve 1 mM DTT içeren 50 mM fosfat tamponu (pH 7,4) içinde 1:10 (a/h) oranında hazırlanmış ve TissueLyser LT (Qiagen) cihazında 50 hz frekansta 2 dakika boyunca homojenize edilmiştir. Elde edilen homojenatlar, 4°C sıcaklıkta, dakikada 10.000 devirlik açısız hızda 30 dakika süreyle santrifüj işlemine tabi tutulmuştur. Daha sonra, süpernatant kısmı çökeltiliden ayrılmıştır. Ayrılan bu kısım daha sonra biyokimyasal analiz için kullanılmıştır (Kizir *et al.* 2025).

Protein miktarının belirlenmesi

Bradford yöntemi (Bradford, 1976) kullanılarak protein miktarı belirlenmiştir. Bu yöntem, Coomassie Brilliant Blue G-250 boyasının proteinlere bağlanmasına dayanmaktadır. Bovine Serum Albumin (BSA) standart olarak kullanılmış ve 0-1000 µg/mL aralığında standart çözeltiler hazırlanmış, sonrasında kalibrasyon eğrisi oluşturulmuştur.

Bradford çözeltisi, önce 0,01 g Coomassie Brilliant Blue G-250'nin 5 mL %95 etanol içinde çözülmesiyle hazırlanmıştır. Ardından, 10 mL %85 fosforik asit ilave edilmiş ve nihai hacim damıtılmış su ile 100 mL'ye tamamlanmıştır. hazırlanan boya folyoya sarılarak 4 C' de saklanmıştır.

Süperoksit dismutaz enzim aktivitesinin ölçülmesi (SOD)

Ksantin çözeltisi (0,3 mM): 0,0009 g ksantin önceden hazırlanmış Na₂CO₃ çözeltisi içinde çözüldü ve 20 mL'ye tamamlanmıştır. Na₂CO₃ çözeltisi (0,4 M): 0,25 g Na₂CO₃, 6 mL damıtılmış su içinde çözülmüştür. EDTA çözeltisi (0,6 mM): 0,0022 g EDTA-Na₂ tartıldı ve 10 mL'ye ilave edildirmiştir. NBT çözeltisi (0,15 mM): 0,0012 g NBT, 10 mL damıtılmış suda çözülmüştür. BSA çözeltisi (1 g/L): 0,003 g BSA, 10 mL damıtılmış suda çözülmüştür. Ksantin oksidaz (XOD, 167 U/mL): 33,4 µL XOD ve 6,68 µL XOD çözeltisi 2 M (NH₄)₂SO₄ çözeltisine eklenerek hazırlanmış ve kullanılabilece kadar buz üzerinde saklanmıştır. 2 M (NH₄)₂SO₄ çözeltisi: 0,26 g tuz 1 mL damıtılmış suda çözülerek hazırlanmıştır. Süperoksit dismutaz (SOD) aktivitesi, Sun *et al.* (1988) tarafından bildirilen yöntemle göre belirlenmiştir. Analizde, kör ve örnek gruplar aşağıdaki şekilde hazırlanmıştır:

Kör grup: Test, 50 mikrolitre distile su ile başlatılır, ardından 3 mikrolitre XOD ilave edilerek devam edilmiş ve son olarak 200 mikrolitre test reaktifi eklenmiştir. Numune grubu : Test, 40 µL damıtılmış su ile başlatılır, ardından 10 µL numune, 3 µL XOD ve 200 µL test reaktifi eklenmiştir.

Karışımlar 25 °C'de 20 dakika süreyle inkübe edilip ve ardından spektrofotometrede 560 nm dalga boyunda absorbans ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Hesaplama aşağıdaki gibi yapılmıştır.

$$\% \text{ İnhibisyon} = \frac{(\text{Körün Absorbanst}-\text{Numunenin Absorbanst})}{\text{Körün Absorbanst}}$$

$$\text{Spesifik aktivite (EU/mg protein)} = \frac{\text{EU/mL}}{\text{mg protein/mL}}$$

$$\text{Eu/M} = \frac{\% \text{ inhibisyon}}{50 \times 0,01}$$

GSH seviyelerinin tayini

Aktif glutatyon (GSH), birçok canlı organizmanın dokularında yaygın olarak bulunan bir maddedir. Hem indirgenmiş hem de oksitlenmiş çeşitli formlarda bulunur ve hücreleri zararlı kimyasallardan ve reaktif maddelerden korumakla görevlidir. Glutatyon, 37 °C'de 30 dakika boyunca 2-nitro benzoik aside maruz kaldığında sararır ve numuneler 412 nm'de okunur (Sedlak *et al.* 1968).

Katalaz (CAT) aktivitesi tayini

Aebi (1984) tarafından açıklanan yöntemle göre katalaz (CAT) aktivitesi belirlenmiştir. 50 mmol fosfat tampon çözeltisi (pH 7,4) hazırlanmış ve 240 nm'de 0,5 optik yoğunluğa ayarlanan fosfat tampon çözeltisine substrat olarak %30 H₂O₂ ilave edilmiştir. Ölçüm için, H₂O₂ içeren 290 µl fosfat çözeltisi 10 µl enzim çözeltisi ile karıştırıldı ve reaksiyonun başlangıcından itibaren bir dakika boyunca her 15 saniyede bir spektrofotometre kullanılarak 240 nm'de absorbans değerleri kaydedilmiştir. Fosfat çözeltisi, aynı koşullar altında boş numunelerde numune yerine kullanıldı. Enzim aktivitesi, optik yoğunluktaki değişim oranı (ΔA_{240}), sönm katsayısı, toplam reaksiyon hacmi, enzim hacmi ve seyreltme faktörü temel alınarak hesaplanmıştır.

Malondialdehit (MDA) seviyesi ölçümü

Malondialdehit (MDA) seviyesi, Ohkawa *et al.* (1979) tarafından belirtilen tiyobarbitürik asit (TBA) metodu ile tespit edilmiştir.

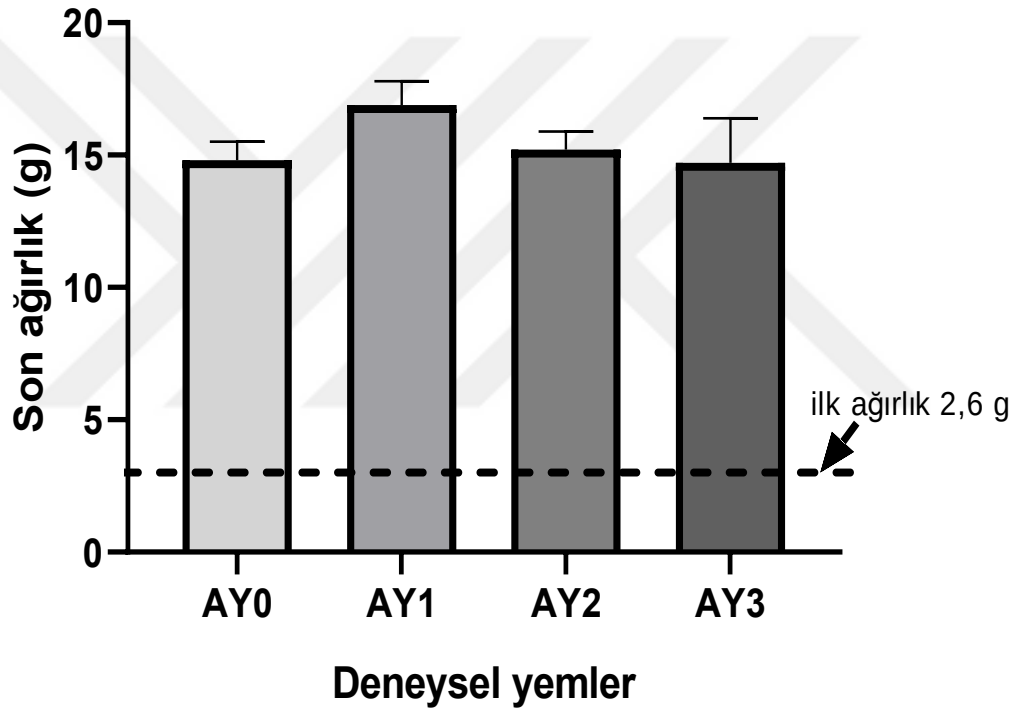
İstatistik Analizler

Çalışma 3 tekerrürlü olarak gerçekleştirilmiştir. Veriler ortalama $\pm$ standart sapma (SD) olarak verilmiştir. Hedef parametrelerin diyet uygulamalarından etkilenip etkilenmediğini test etmek için veriler tek yönlü varyans analizine (one way ANOVA) tabi tutulmuştur. Gruplar arasındaki farkları ortaya koymak için Duncan çoklu karşılaştırma testi kullanılmıştır. Elde edilen sonuçların tamamında önem seviyesi (p) 0,05 olarak alınmıştır.

ARAŞTIRMA BULGULARI

Büyüme Performansı

Sekiz haftalık besleme deneyi sonunda elde edilen büyüme performansı sonuçları Tablo 5’de verilmiştir. Balıklarda vücut ağırlığı 5,7-6,5 katına çıkarak (Şekil 17) yaklaşık 15 g’a ulaşmışlardır. Gruplar arasında istatistiki açıdan fark oluşmamış; son ağırlık, %ağırlık kazancı, yem değerlendirme katsayısı, spesifik büyüme oranı ve yaşama oranı sırasıyla ortalama 15,4 g, %494,9, 1,03, 3,18 ve %86,7 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 17. Farklı Oranlarda Argan yağı (*Argania spinosa*) İçeren Yemlerle 8 Hafta Boyunca Beslenen Gökkuşaağı alabalığında ortalama son ağırlık (ortalama±std sapma). Sütunlar üzerinde harf olmaması istatistik olarak önemli fark olmadığını göstermektedir.

Tablo 4. Farklı Oranlarda Argan yağı (*Argania spinosa*) İçeren Yemlerle 8 Hafta Boyunca Beslenen Gökkuşluğu Alabalığında Büyüme Performansı (ortalama $\pm$ std sapma). Değerler Üzerinde Harf Olmaması İstatistik Olarak Önemli Fark Olmadığını Göstermektedir

Parametre	Deneyisel yemler			
	AY0	AY1	AY2	AY3
Son ağırlık (g)	14,8 $\pm$ 0,7	16,9 $\pm$ 0,9	15,2 $\pm$ 0,7	14,7 $\pm$ 1,7
Ağırlık kazancı (%) ¹	477,0 $\pm$ 30,5	552,6 $\pm$ 39,3	482,2 $\pm$ 24,5	467,9 $\pm$ 65,2
FCR ²	1,08 $\pm$ 0,07	0,97 $\pm$ 0,03	1,02 $\pm$ 0,09	1,08 $\pm$ 0,21
SB ³	3,13 $\pm$ 0,09	3,35 $\pm$ 0,11	3,14 $\pm$ 0,08	3,09 $\pm$ 0,21
Yaşama oranı (%) ⁴	84,0 $\pm$ 0,0	84,0 $\pm$ 8,0	92,0 $\pm$ 6,9	86,7 $\pm$ 8,3

¹Ağırlık kazancı (%) = [(son ağırlık – ilk ağırlık) x 100] / ilk ağırlık

²Yem değerlendirme katsayısı (FCR) = tüketilen yem miktarı (g) / ağırlık artışı (g)

³Spesifik büyüme (SB) = [(ln son ağırlık – ln ilk ağırlık) x 100] / deneme süresi (gün)

⁴Yaşama oranı (%) = 100-((Deneme başındaki balık sayısı)-(Deneme sonundaki balık sayısı)) *100/ (Deneme başındaki balık sayısı)

Tüm Vücut Proksimet Değerleri

Sekiz hafta boyunca beslenen gökkuşluğu alabalığında tespit edilen tüm vücut proksimet sonuçları Tablo 5’te verilmiştir. Elde edilen veriler incelendiğinde, farklı düzeylerde argan yağı içeren yemlerle beslenen balıkların tüm vücut proksimet değerlerinde istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamıştır. Protein, lipit, nem ve kül değerleri ortalama %15,5, %9,4, %72,3 ve %2,1 olarak hesaplanmıştır.

Tablo 5. Farklı Oranlarda Argan Yağı İçeren Yemlerle 8 Hafta Boyunca Beslenen Gökkuşluğu Alabalığında Tüm Vücut Proksimet İçeriği (%) (ortalama $\pm$ std sapma). Değerler Üzerinde Harf Olmaması İstatistik Olarak Önemli Fark Olmadığını Göstermektedir

Parametre	Deneyisel yemler			
	AY0	AY1	AY2	AY3
Protein	15,6 $\pm$ 0,3	15,2 $\pm$ 0,4	15,5 $\pm$ 0,2	15,6 $\pm$ 0,3
Yağ	9,6 $\pm$ 0,1	9,3 $\pm$ 0,7	9,4 $\pm$ 0,1	9,1 $\pm$ 0,4
Nem	72,4 $\pm$ 0,5	72,4 $\pm$ 0,5	72,4 $\pm$ 0,2	72,2 $\pm$ 0,6
Kül	2,15 $\pm$ 0,10	2,01 $\pm$ 0,08	2,02 $\pm$ 0,03	2,16 $\pm$ 0,30

Tüm Vücut Yağ Asidi Profili

Farklı oranlarda argan yağı içeren yemlerle 8 hafta boyunca beslenen balıklardan alınan tüm vücut örneklerine ait yağ asidi profili sonuçları Tablo 6’da verilmiştir. Tüm vücut yağ asidi kompozisyonu üzerinde istatistiksel açıdan önemli etkiler oluşturduğunu göstermiştir. Gruplar arasında özellikle bazı doymuş yağ asitleri (14:0, 16:0), tekli doymamış yağ asitleri (16:1,

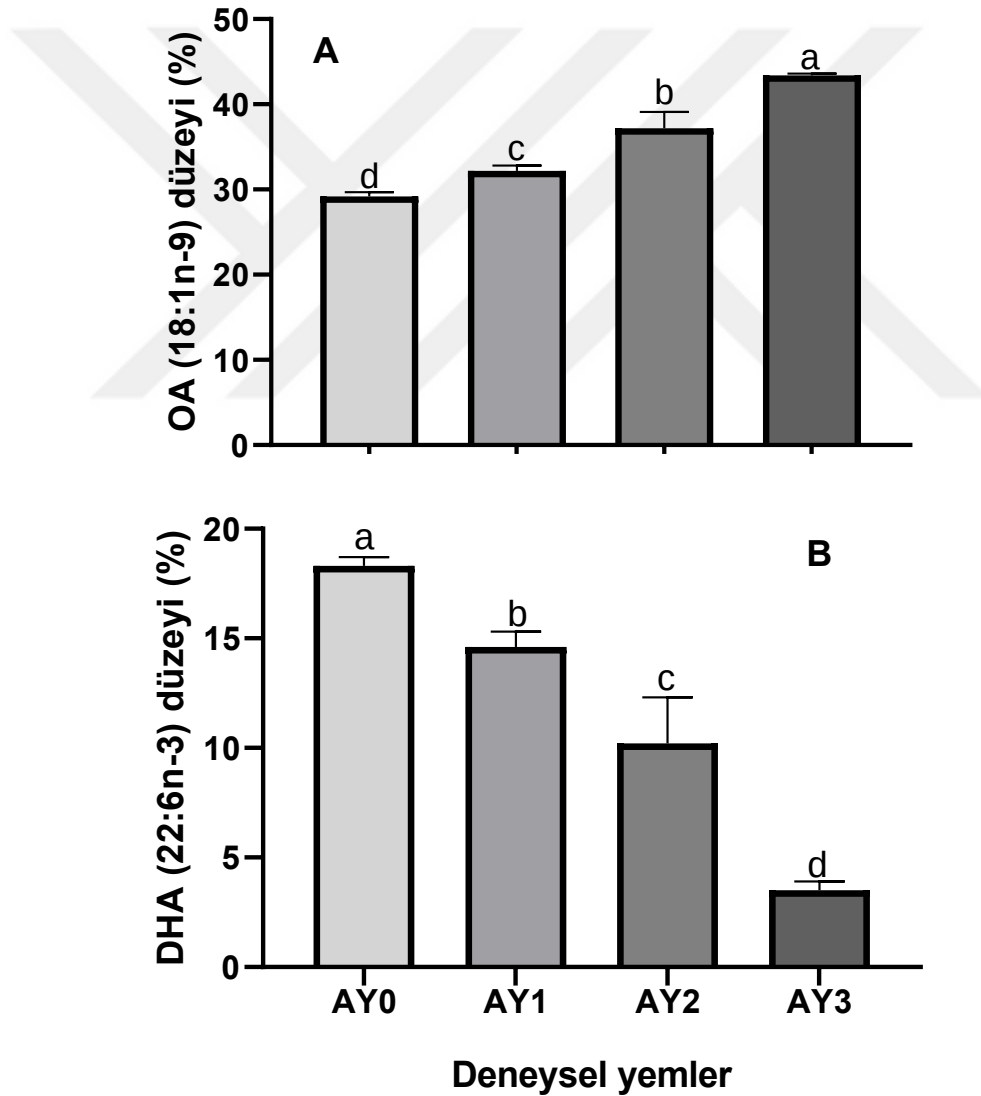
18:1n-9) ve çoklu doymamış yağ asitleri (18:2n-6, 20:5n-3, 22:6n-3) düzeylerinde anlamlı farklılıklar tespit edilmiştir. Tüm gruplarda en yüksek oranda bulunan yağ asidi oleik asit (18:1n-9) olup, AY0, AY1, AY2 ve AY3 gruplarında sırasıyla %29,2; %32,2; %37,2 ve %43,4 değerlerinde bulunmuştur. Bu yağ asidini palmitik asit (16:0) (%16,8; %16,2; %15,3; %14,6) ve DHA (22:6n-3) (%18,1; %14,6; %10,2; %3,5) takip etmiştir. Argan yağı oranı arttıkça, oleik asit ve linoleik asit (18:2n-6) seviyelerinde belirgin artış gözlenirken, DHA seviyesinde belirgin bir azalış kaydedilmiştir (Şekil 18). Toplam doymuş yağ asitleri (Σ SFA) AY0 grubunda %27,80 ile en yüksek seviyede iken, argan yağı oranının yükselmesiyle azalmış ve AY3 grubunda %23,30'e düşmüştür. Buna karşılık toplam tekli doymamış yağ asitleri (Σ MUFA) artış eğilimi göstermiştir. Toplam çoklu doymamış yağ asitleri (Σ PUFA) ise n-6 grubundaki artış ve n-3 grubundaki düşüşün etkisiyle kompozisyonel değişim sergilemiştir. n-3 yağ asitleri AY0 grubunda %26,70 iken, AY3 grubunda %5,80'e gerilemiş, buna karşın n-6 yağ asitleri %10,10'ten %24,60'e yükselmiştir.

Tablo 6. Farklı Düzeylerde Argan Yağı İçeren Yemlerle Beslenen Gökkuşuğu Alabalığında Tüm Vücut Yağ Asidi Kompozisyonu (%) (Ortalama $\pm$ Std Sapma). Aynı Satırdaki Farklı Harfler Değerler Arasında İstatistik Açısından Önemli Fark Olduğunu Göstermektedir ($P<0,05$)

Yağ asidi	Deneysel yemler			
	AY0	AY1	AY2	AY3
14:0	5,7 $\pm$ 0,2 ^a	5,5 $\pm$ 0,2 ^a	4,0 $\pm$ 0,2 ^b	2,8 $\pm$ 0,3 ^c
14:1	0,6 $\pm$ 0,0 ^a	0,5 $\pm$ 0,0 ^b	0,3 $\pm$ 0,1 ^c	0,2 $\pm$ 0,1 ^d
16:0	16,8 $\pm$ 0,5 ^a	16,2 $\pm$ 0,4 ^a	15,3 $\pm$ 0,3 ^b	14,6 $\pm$ 0,2 ^c
16:1	5,1 $\pm$ 0,1 ^a	4,0 $\pm$ 0,3 ^b	3,0 $\pm$ 0,3 ^c	2,0 $\pm$ 0,4 ^d
17:0	0,4 $\pm$ 0,0 ^a	0,4 $\pm$ 0,0 ^a	0,3 $\pm$ 0,0 ^b	0,2 $\pm$ 0,0 ^c
17:1	0,4 $\pm$ 0,3	0,5 $\pm$ 0,1	0,4 $\pm$ 0,0	0,6 $\pm$ 0,0
18:0	4,3 $\pm$ 0,1 ^b	4,3 $\pm$ 0,1 ^b	4,5 $\pm$ 0,0 ^b	4,7 $\pm$ 0,1 ^a
18:1n-9	29,2 $\pm$ 0,5 ^d	32,2 $\pm$ 0,6 ^c	37,2 $\pm$ 1,9 ^b	43,4 $\pm$ 0,2 ^a
18:2n-6	8,5 $\pm$ 0,2 ^d	13,5 $\pm$ 1,5 ^c	18,4 $\pm$ 1,9 ^b	22,3 $\pm$ 1,0 ^a
20:0	0,2 $\pm$ 0,0	0,2 $\pm$ 0,0	0,2 $\pm$ 0,0	0,2 $\pm$ 0,0
18:3n-3	1,7 $\pm$ 0,4 ^a	1,3 $\pm$ 0,1 ^{ab}	1,1 $\pm$ 0,1 ^b	1,0 $\pm$ 0,3 ^b
18:4n-3	1,6 $\pm$ 0,1 ^a	1,2 $\pm$ 0,1 ^b	0,8 $\pm$ 0,1 ^c	0,5 $\pm$ 0,1 ^d
21:0	0,4 $\pm$ 0,0 ^d	0,6 $\pm$ 0,1 ^c	0,7 $\pm$ 0,1 ^b	0,8 $\pm$ 0,1 ^a
20:2n-6	0,4 $\pm$ 0,0 ^b	0,4 $\pm$ 0,0 ^b	0,6 $\pm$ 0,1 ^b	1,2 $\pm$ 0,3 ^a
20:3n-3	0,1 $\pm$ 0,0 ^a	0,1 $\pm$ 0,0 ^{ab}	0,0 $\pm$ 0,0 ^{bc}	0,0 $\pm$ 0,0 ^c
20:3n-6	0,7 $\pm$ 0,1	0,5 $\pm$ 0,0	0,7 $\pm$ 0,0	0,7 $\pm$ 0,2
20:4n-6	0,6 $\pm$ 0,3	0,5 $\pm$ 0,3	0,4 $\pm$ 0,1	0,4 $\pm$ 0,4

Tablo 6. (Devamı)

20:5n-3	5,1±0,1 ^a	3,7±0,2 ^b	2,1±0,6 ^c	0,7±0,5 ^d
22:6n-3	18,3±0,4 ^a	14,6±0,7 ^b	10,2±2,1 ^c	3,5±0,4 ^d
ΣSFA	27,8±0,8 ^a	27,1±0,5 ^a	24,9±0,5 ^b	23,3±0,4 ^c
ΣMUFA	35,4±0,3 ^c	37,1±0,3 ^c	41,0±1,6 ^b	46,3±0,7 ^a
ΣPUFA	36,8±1,0 ^a	35,8±0,2 ^{ab}	34,1±1,1 ^b	30,4±1,0 ^c
Σn3	26,7±0,7 ^a	20,9±1,0 ^b	14,2±2,9 ^c	5,8±0,4 ^d
Σn6	10,1±0,5 ^d	15,0±1,2 ^c	20,0±1,8 ^b	24,6±1,4 ^a
n3/n6	2,7±0,1 ^a	1,4±0,2 ^b	0,7±0,2 ^c	0,2±0,0 ^d

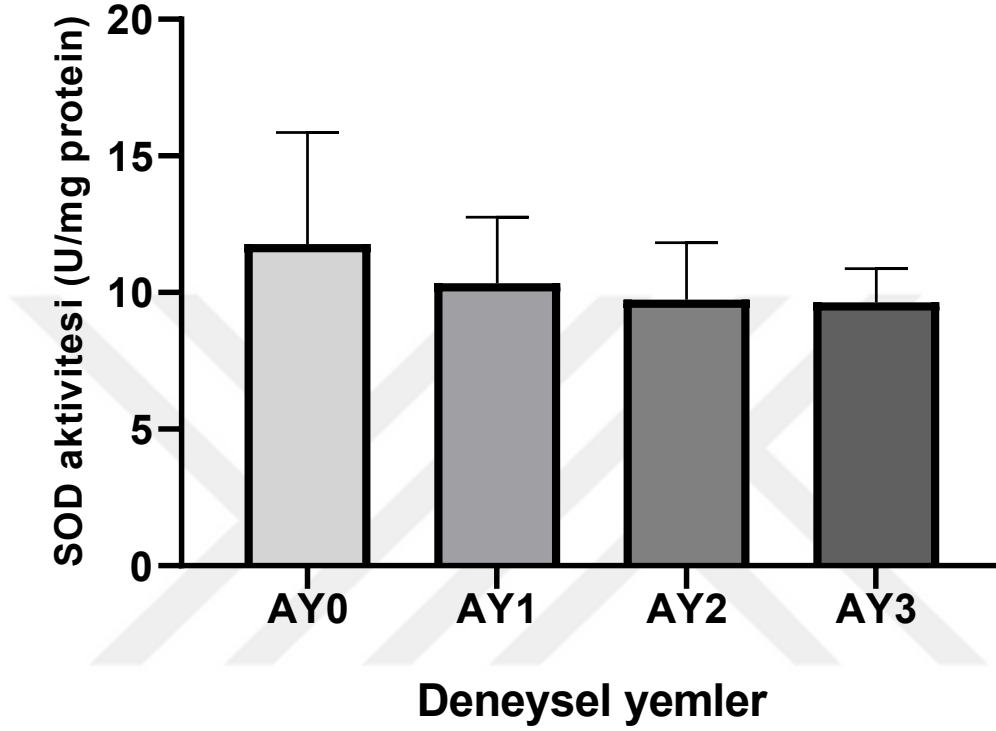


Şekil 18. DiyetSEL argan yağının artışıyla balıklardaki OA (A) ve DHA (B) oranlarındaki değişimler. Farklı harflerle işaretlenen sütunlar istatistik olarak birbirinden farklıdır ($P<0,05$).

Oksidatif Stres Parametreleri

Süperoksit Dismutaz (SOD)

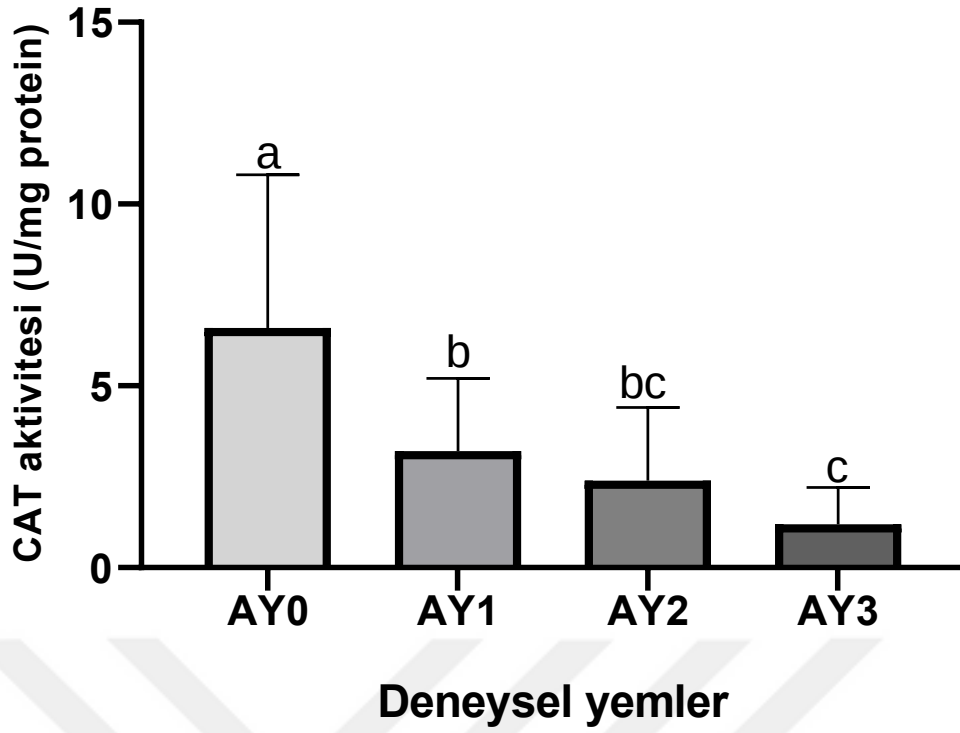
Hepatik süperoksit dismutaz aktivitesi tüm gruplarda benzer seviyelerde ölçülmüş (ortalama 10,4 U/mg protein) ve kontrol grubu ile deney grubu arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamıştır (Şekil 19).



Şekil 19. Sekiz hafta boyunca farklı seviyelerde argan yağı içeren diyetlerle beslenen gökkuşuğı alabalıklarında hepatik süperoksit dismutaz aktivitesi.

Katalaz aktivitesi

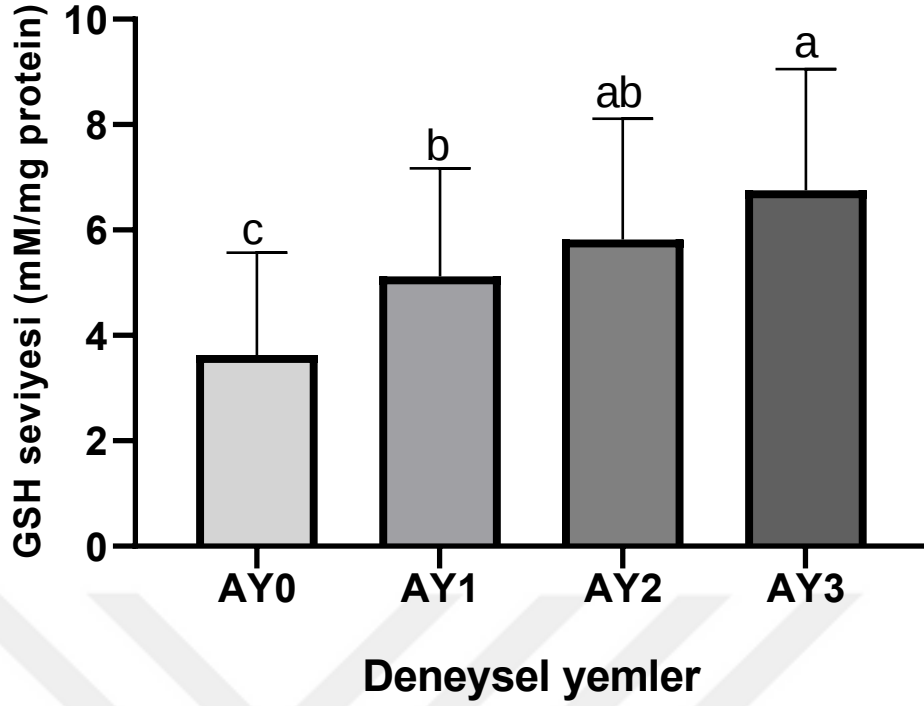
Katalaz aktivitesi deneysel uygulamalardan önemli derecede etkilenmiştir ($P<0,05$). En yüksek CAT enzim aktivitesi 6,3 U/mg protein değeri ile kontrol grubunda gözlenmiştir. Argan yağı oranı yükseldikçe gruplar arasında kademeli bir azalma tespit edilmiştir (Şekil 20). En düşük CAT seviyesi (1,2 U/mg protein), en yüksek miktarda argan yağı içeren grupta (AY3) kaydedilmiştir.



Şekil 20. Sekiz hafta boyunca farklı seviyelerde argan yağı ile beslenen gökkuşağı alabalıklarında hepatik katalaz aktivitesi. Farklı harflerle işaretlenen sütunlar istatistik olarak birbirinden farklıdır ($P<0,05$).

Glutasyon (GSH) seviyesi

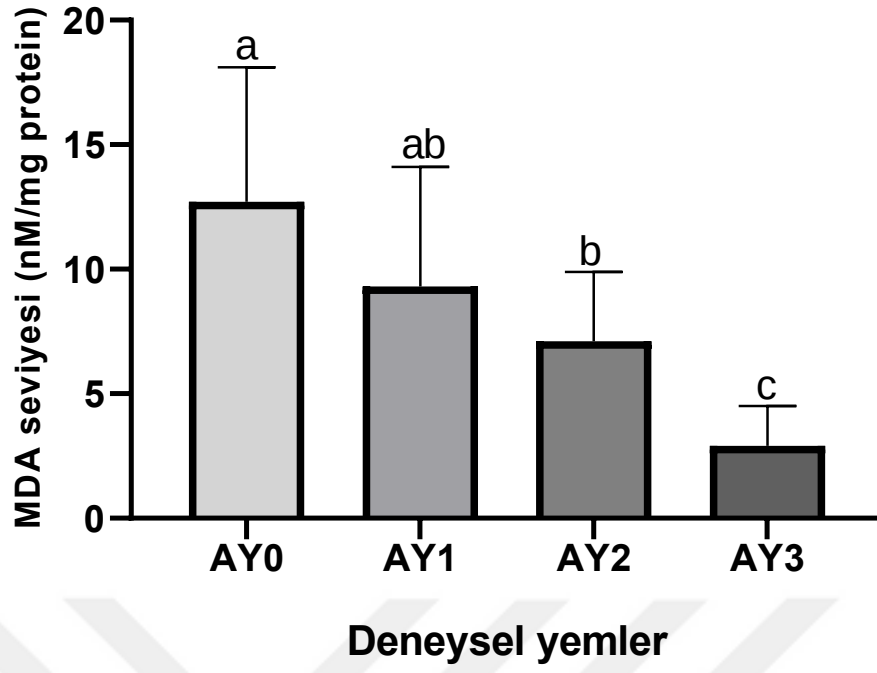
İndirgenmiş glutasyon seviyesi diyetel argan yağı düzeyinden önemli derecede etkilenmiştir ($P<0,05$). Genel anlamda diyetel argan yağındaki artış karaciğer GSH seviyesinin de kademeli olarak artmasına sebep olmuştur (Şekil 21). En düşük ve en yüksek GSH seviyesi sırasıyla kontrol ve AY3 yemi ile beslenen balıklarda 3,6 ve 5,8 mM/mg protein olarak ölçülmüştür.



Şekil 21. Sekiz hafta boyunca farklı seviyelerde argan yağı ile beslenen gökkuşağı alabalıklarında hepatik glutatyon (GSH) düzeyleri. Sütunlar üzerindeki farklı harfler istatistiksel olarak anlamlı farklılıkları göstermektedir ($P<0,05$).

Lipit peroksidasyon seviyesi

Lipit peroksidasyon seviyesi deneysel yemlerden önemli derecede etkilenmiştir ($P<0,05$). Yemlerdeki argan yağı düzeyi arttıkça karaciğerdeki MDA düzeyinde düşüşler gözlenmiştir (Şekil 22). En yüksek MDA (12,7 nm/mg protein) kontrol grubunda (AY0) bulunurken, en düşük değer (2,9 nm/mg protein) AY3 yemi ile beslenen balıklarda tespit edilmiştir.



Şekil 22. Sekiz hafta boyunca farklı seviyelerde argan yağı ile beslenen gökkuşuğu alabalıklarında hepatik lipid peroksidasyon seviyesi (MDA). Sütunlar üzerindeki farklı harfler istatistiksel olarak anlamlı farklılıkları göstermektedir ($P<0,05$).

TARTIŞMA VE SONUÇ

Diyetsel lipitler, balıkların büyümesi, sağlığı, üremesi ve genel fizyolojik işlevlerinin düzenlenmesinde büyük önem taşıyan esansiyel yağ asitlerinin sağlanmasında hayati bir rol oynamaktadır. Geleneksel olarak, balık yağı ticari balık yemlerinde esas yağ kaynağı olarak kullanılmaktadır. Ancak, balık yağının azalan mevcudiyeti ve artan maliyeti nedeniyle, su ürünleri yetiştiriciliğinin sürdürülebilir büyümesi önünde engeller oluşturmaktadır. Öte yandan, bitkisel yağların, bol miktarda bulunması, maliyet etkinliği ve zengin esansiyel C18 yağ asitleri içeriği nedeniyle balık yemleri için umut verici bir alternatif yağ kaynağı olarak ortaya koymaktadır (Gu *et al.* 2025). Mevcut çalışmada başlangıç ağırlıkları 2,6 g olan gökkuşağı alabalığı yemlere farklı düzeylerde eklenen argan yağı içeren yemlerle beslenmiştir. Deneme sonunda balıkların büyüme performansı, yağ asidi profili ve antioksidan savunma sistemi incelenmiştir.

Bitkisel yağların balık yağına alternatif olarak su ürünleri yetiştiriciliğinde kullanılabileceği ve balıkların büyümesi ve sağlığı için gerekli yağ asitlerini sağlayabileceği bildirilmiştir (Gasco *et al.* 2018; Glencross, 2009). Gökkuşağı alabalığı, diğer türlere kıyasla bitkisel yağları etkili bir şekilde kullanabileceği bildirilmiştir (Qian *et al.* 2024). Balık yağının ikamesi, kapsamlı araştırmaların konusu olmuş, kolza yağı, keten tohumu yağı ve soya fasulyesi yağı gibi bitkisel yağlar, gökkuşağı alabalığı beslenmesinde umut vaat eden alternatifler olarak belirlenmiştir (Martins *et al.* 2005; Trullàs *et al.* 2017; Yıldız *et al.* 2015). Kanola yağı, geleneksel düşük erusik asitli kolza tohumu yağı olarak, triploid gökkuşağı alabalığı diyetinde balık yağının %100'üne kadar ikame edildiği ve büyüme performansı üzerinde olumsuz bir etki yaratmadığı gösterilmiştir (Guan *et al.* 2023). Benzer şekilde farklı bitkisel yağların kullanımı da, balık yağı ile bitkisel yağların kısmen veya tamamen değiştirilmesinin, yavru gökkuşağı alabalığı büyüme performansı ve yem verimliliği üzerinde herhangi bir olumsuz etkiye yol olmadığını göstermiştir (Ghaedi *et al.* 2024). Sarı croaker, balık yağının yemlerde kısmen palm veya keten yağı ile ikame edilmesinin sarı croakerin büyümesini etkilemediğini, ancak tamamen ikame edilmesinin büyümeyi sınırladığını göstermiştir (Mu *et al.* 2020). Levrek yavrularını, balık yağı ile beslenen grup en yüksek canlı ağırlık kazanımı ve spesifik büyüme hızı göstermiş, buna karşın, soya, ayçiçek, mısır ve zeytinyağı içeren yemlerle beslenen gruplarda büyüme daha düşük ve birbirine yakın seviyelerde gerçekleşmiştir (Yıldız and Şener, 2004). Benzer şekilde, çilli çarpan yavrularında yapılan çalışmada da balık yağı ile beslenen gruplar, bitkisel yağ diyetlerine kıyasla daha yüksek canlı ağırlık artışı, son vücut ağırlığı ve büyüme hızı sergilemiş; yem değerlendirme açısından en iyi performans balık yağıyla sağlanırken, bitkisel yağlar içinde soya yağı diğerlerine göre daha olumlu sonuçlar vermiştir.

(Abdel-Aziz et al., 2022). Öte yandan Balık yağı , kadife balığı yavrularının diyetlerinde %30 keten tohumu yağı, %20 mısır yağı ve %50 zeytinyağı içeren bir karışım ile tamamen ikame edilebilir ve bu ikame, hayatta kalım oranı ve büyüme performansı üzerinde olumsuz bir etki yaratmamıştır (Sáez-Royuela *et al.* 2022).

Bu genel bulgular ışığında balık beslenmesinde argan yağının kullanımına dair verilerin sınırlı olmasına rağmen, mevcut çalışma bu yağın büyüme performansı herhangi bir olumsuzluğa sebep olmadığını göstermiştir. Baba *et al.* (2017) çalışmasında, %1 argan yağı ile beslenen Nil tilapiyası, kontrol grubu ve argan yağı ile beslenen diğer gruplara kıyasla daha yüksek büyüme performansı göstermiştir. Düşük ve orta dozlarda argan yağı eklenmesi yavru gökkuşağı alabalığı büyümesini arttığı görülmüştür, yüksek dozda ise sınırlı bir azalma gözlenmiştir (Abba *et al.* 2024). Bu bulguların aksine, bizim çalışmamızda argan yağının kısmen veya tamamen balık yağı yerine kullanılması büyümede her hangi bir olumsuzluğa sebep olmamıştır.

Çalışmamızda, gökkuşağı alabalığında beslenmesinde farklı dozlarda argan yağı, protein, lipit, nem ve kül oranlarını önemli derecede etkilememiştir. Benzer şekilde (Kowalska *et al.* 2012), levrek balığında farklı oranlarda keten ve ayçiçek yağı kullanıldığında, tüm vücut proximet kompozisyonu (ham protein, lipit, nem ve kül) içerikleri üzerinde diyetler arasında önemli bir etki göstermemiştir. Fakat Erondur *et al.* (2023) çalışmasında, Nil tilapiyasında tüm vücut proksimat kompozisyonunun kullanılan yağ kaynağına göre değiştiği, palm yağı ile beslenenlerde nem ve protein düzeylerinin en düşük, soya yağı ile beslenenlerde lipidin en yüksek ve külün en düşük, balık yağı ile beslenenlerde ise protein düzeyinin en yüksek olduğu görülmüştür. Benzer şekilde, Sáez-Royuela *et al.* (2022) çalışmasında diyetlerin kadife balığı yavrularının bütün vücut kompozisyonu üzerinde etkili olduğu bildirilmiş; özellikle %100 bitkisel yağ karışımı ile beslenen grupta lipid içeriğinin anlamlı şekilde azaldığı, buna karşın protein, kül ve nem içeriklerinde önemli bir değişim gözlenmemiştir.

Farklı balık türleri üzerinde yapılan birçok çalışma, balıkların yağ asidi bileşiminin beslenme rejimlerindeki yağ asidi profilini yansıttığını göstermektedir (Arslan *et al.* 2012; Falahatkar *et al.* 2018). Genellikle, balık diyetlerine bitkisel yağ eklenmesi, EPA ve DHA gibi n-3 çoklu doymamış yağ asitlerinde azalmaya yol açarken, OA, LA ve ALA gibi 18 karbonlu yağ asitlerinin içeriğinde artışa neden olur (Bell *et al.* 2003; Mourente *et al.* 2005). Bu bulgular, mevcut çalışmamızı desteklemektedir. Yağ asidi profili diyetset profili yansıtmış ve deneysel yemlerden önemli derecede etkilenmiştir. Diyetset balık yağı yerine argan yağı kullanımı ile gökkuşağı alabalığında tüm vücut yağ asidi bileşiminde önemli değişiklikler gözlenmiştir. Özellikle, oleik asit ve linoleik asit içeriği artarken, EPA ve DHA içeriği azalmıştır. Ofori-

Mensah *et al.* (2020) tarafından çipurada yapılan bir çalışmada da mevcut çalışmamızdan elde edilen sonuçlara benzer şekilde sonuçlar elde edilmiştir. Balık yağı içeren diyette bulunan EPA ve DHA gibi n-3 LC-PUFA'lar, kamelina yağı veya chia yağı gibi bitkisel yağlarla kısmen veya tamamen ikame edilmesi sonucunda azaldığını bildirmiştir. Öte yandan, LA ve ALA gibi 18 karbonlu yağ asitleri artmıştır. Reis *et al.* (2022), balıkların tüm vücut yağ asidi kompozisyonunun, verilen farklı bitkisel ve balık yağı diyetlerinin yağ asidi profillerini genel olarak yansıttığını göstermiştir. Özellikle, zeytinyağı diyetindeki MUFA, keten yağı diyetindeki n-3 PUFA ve balık yağı diyetindeki doymuş yağ asitleri ve DHA seviyelerinin artması, diyet yağ asidi içeriğinin balığın dokularına yansıdığını kanıtlıyormuş.

Uzun levrek yemlerinde balık yağının keten tohumu yağı ve soya yağı ile kısmen ikame edilmesi, 57 günlük beslenme deneyi sonunda büyük ölçüde diyet yağ asitlerini yansıtan bir tüm vücut yağ asidi profili ortaya çıkarmıştır. Keten tohumu içeren yemle beslenen balıklarda ALA, soya yağı içeren yemlerle beslenenlerde LA ve balık yağı içeren yemlerle beslenen balıklarda ise EPA ve DHA seviyeleri yükselmiştir. Çalışma, balık yağının kısmen bitkisel yağlarla ikame edilebileceğini ve doku yağ asidi profilinin diyetle bağlı olarak değiştiğini göstermiştir (Schulz *et al.* 2005). Balık yağının perilla yağı ile kısmi ve tam olarak değiştirilmesi, %33,3 ile %100 arasında değişen oranlarda linolenik asit, toplam PUFA ve n-3 PUFA miktarını artırırken, aynı zamanda Asya levreği etinde EPA ve DHA birikimini azalttığı (Tola *et al.* 2025). Garcia *et al.* (2023) alışmasında, yavru kadife balığı diyetlerinde kamelina yağı ile balık yağının değiştirilmesinin, toplam vücut yağ içeriğinde bir düşüş yarattığı, ALA düzeylerinde bir artış olduğu ve toplam yağ asidi içeriğinde bir değişiklik olmadığı, ancak EPA ve DHA içeriğinde önemli bir azalma olduğu görülmüştür. Benzer şekilde, Sáez-Royuela *et al.* (2022) alışmasında balık yağının kısmen veya tamamen bitkisel yağ karışımı (%30 keten tohumu, %20 mısır, %50 zeytinyağı) ile ikamesi, yavru kadife balıklarında bütün vücut lipid içeriğini azaltmış ve ALA seviyelerini yükseltmiştir; PUFA artışı bazı doymuş ve tekli doymamış yağ asitlerinde düşüşle eşleşmiştir.

Oksidatif stres, balıkların hücre yapısı ve bağışıklık fonksiyonu üzerinde zararlı etkilere sahiptir ve bu etkiler, reaktif oksijen türlerinin (ROS) birikmesinden kaynaklanmaktadır. Başta SOD ve CAT olmak üzere antioksidan enzimler, bu hasarı sınırlamada önemli bir rol oynamaktadır. Malondialdehit, oksidatif hasarın derecesini gösteren lipid peroksidasyonunun bir biyomarkeri olarak tanımlanmaktadır (Livingstone, 2001; Birnie-Gauvin *et al.* 2017). Çalışmamızda, argan yağı içeren diyetlerin gökkuşağı alabalığı karaciğer dokusunda antioksidan savunma sistemleri üzerindeki etkileri ilk defa değerlendirilmiştir. Var olan çalışmalar, argan yağının bağışıklık sistemi veya enfeksiyon önleyici etkileri üzerine

odaklanmıştır (Baba *et al.* 2017). Bu nedenle, elde edilen veriler argan yağının balık fizyolojisinde oksidatif stresle mücadelede önemini vurgulamakta ve önemli bir bilimsel katkı sağlamaktadır. Çalışmamızdan elde edilen bulgular, antioksidan savunma sisteminin argan yağında olumlu olarak etkilendiğini göstermektedir. Argan yağı seviyesi arttıkça, gruplar arasında SOD seviyelerinde istatistiksel olarak anlamlı bir fark gözlemlenmemiştir, ancak, GSH seviyesi artmış, MDA seviyesi ve CAT aktivitesinde düşüşler gözlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, argan yağının antioksidan savunma sistemini desteklediğini ve potansiyel olarak lipid peroksidasyonunu sınırladığını göstermektedir. Benzer şekilde, Huang and Huang (2004) çalışmasında, okside yağa maruz kalan melez tilapiyada MDA seviyesinin yükseldiğini ve bunun nedeninin okside yağın lipid peroksidasyonunu tetiklemesi ve ROS üretimini artırması olduğunu bildirmiştir. Aynı araştırmada, E vitamini takviyesinin antioksidan savunmayı güçlendirdiği, MDA seviyelerini düşürdüğü ve GSH seviyelerini artırdığı görülmüştür. Bu sonuçlar, argan yağının da glutatyon seviyelerini yükselterek ve MDA seviyelerini düşürerek antioksidan savunmayı güçlendirebileceğini göstermektedir. Mevcut bulgular, argan yağının glutatyon artışı ve MDA azalmasında gözlemlenen mekanizmalara yoluyla antioksidan destek sağlama potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir. (Tocher *et al.* 2002). Lushchak (2011), balıklarda bitkisel yağların antioksidan enzim ve lipid peroksit aktiviteleri üzerindeki etkilerini incelemiş ve yağ kaynağının enzim aktiviteleri ve MDA düzeylerini etkilediğini göstermiştir. Bu çalışmalar, özellikle argan yağının antioksidan kapasitesi üzerindeki etkisinin, genel olarak bitkisel yağların antioksidan kapasitesi üzerindeki etkileriyle uyumlu olduğunu doğrulamaktadır. Gou *et al.* (2020), yavru (*Onychostoma macrolepis*) balıklarında balık yağı yerine farklı bitkisel yağların kullanımının antioksidan sistem üzerinde belirgin farklılıklara yol açtığını bildirmiştir. Alg yağı ile beslenen grupta karaciğerde en yüksek MDA ve en düşük SOD seviyeleri gözlenirken, keten tohumu yağı grubunda daha dengeli sonuçlar elde edilmiştir. Bu durum, bitkisel yağların türüne bağlı olarak oksidatif stres yanıtının değişebileceğini göstermektedir. Larbi *et al.* (2018), Nil tilapyası yavrularında balık yağı yerine palm yağı kullanımının GST aktivitesi, diyet palm yağı oranı arttıkça anlamlı şekilde yükselmiş, buna karşın, balık yağı'nın palm yağı ile ikamesi GR, TAC ve MDA düzeylerini anlamlı şekilde düşürmüştür ve böylece genel antioksidan kapasitenin zayıflamasına neden olmuştur. Sönmez *et al.* (2015) yavru gökkuşağı alabalığında yapılan çalışmada, adaçayı ve kekik yağları karaciğer SOD, G6PD ve GPx aktivitelerini artırırken, CAT, GST ve GR aktivitelerinde azalma görülmüş ve MDA seviyeleri önemli ölçüde düşmüştür. Bu sonuçlar, bu yağların düşük dozlarda (500 mg/kg) antioksidan sistemi destekleyeceğini göstermektedir.

Sonuç olarak, çalışmamız, diyetel argan yağının gökkuşağı alabalığının büyüme performansı ve yem değerlendirme parametreleri üzerinde olumsuz bir etkisi bulunmamıştır.

Özellikle %67 oranında argan yağı içeren AY2 grubu, büyüme üzerinde herhangi bir olumsuz etki göstermemiş ve uzun zincirli n-3 yağ asitlerinden EPA ve DHA düzeylerini belirli bir seviyede koruyabilmiştir. Karaciğer lipid peroksidasyon düzeylerinde gözlenen azalma, diyetset argan yağının balıklarda antioksidan savunma mekanizmalarını güçlendirdiğini ortaya koymaktadır. Bu durum, argan yağının nispeten yüksek düzeylerde kullanılmasına rağmen büyüme performansını sürdürdüğünü, antioksidan savunmayı desteklediğini ve besinsel açıdan kritik öneme sahip EPA ve DHA seviyelerini belirli bir eşik değerin altına düşürmeden sürdürülebilir bir alternatif oluşturabileceğini göstermektedir. Bu sonuçlar, argan yağının büyüme performansı ve balık sağlığı açısından dengeli ve işlevsel bir bitkisel yağ alternatifi olarak değerlendirilebileceğini ortaya koymaktadır. İleriye dönük araştırmalarda, argan yağının antioksidan kapasitesinin özellikle son ürün (fileto) kalitesi üzerindeki etkilerinin incelenmesi, su ürünleri yetiştiriciliğinde bilimsel ve endüstriyel açıdan değerli katkılar sağlayabilir.

KAYNAKLAR

- Abba, E. H., Hachi, T., Khaffou, M., ElAdel, N., Zraouti, A., ElIdrissi, H., 2024. Effect of feed additives, *Allium sativum* and *Argania spinosa* oil on the growth of rainbow trout fingerlings (*Oncorhynchus mykiss*) in Morocco. *Environmental Engineering & Management Journal (EEMJ)*, 23(6).
- Abdel-Aziz, M. F. A., Zied, R. M. A., Hassan, H. U., Sayed, A. D., Ahmad, H., Mushtaq, S., Arai, T., 2022. Effects of replacement of dietary fish oil with plant oil on growth performance and fatty acid composition of spinefoot rabbitfish, *Siganus rivulatus*. *Brazilian Journal of Biology*, 84, e262969.
- Aebi, H., 1984. Catalase in vitro. In L. Packer (Ed.), *Methods in enzymology* (Vol. 105, pp. 121–126). Academic Press.
- Ahmed, I., Ahmad, I., Malla, B. A., 2024. Effects of dietary tryptophan levels on growth performance, plasma profile, intestinal antioxidant capacity and growth related genes in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fingerlings. *Aquaculture*, 585, 740710.
- Allison, E. H., 2011. *Aquaculture, fisheries, poverty and food security*.
- Arslan, M., Sirkecioglu, A. N., Bayir, A., Arslan, H., Aras, M., 2012. The influence of substitution of dietary fish oil with different vegetable oils on performance and fatty acid composition of brown trout, *Salmo trutta*. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 12, 575–583.
- Asbbane, A., Ibourki, M., Hallouch, O., Oubannin, S., El Boukhari, A., Bouyahya, A., Gharby, S., 2025. A comparative evaluation of the physico- and bio-chemical characteristics and antioxidant activities of six Argan (*Argania spinosa* (L.) Skeels) varieties. *Journal of Agriculture and Food Research*, 19, 101582.
- Auchterlonie, N. A., 2024. Fishmeal and fish oil in aquaculture feeds: global food security questions. *International Journal of Environmental Studies*, 81(2), 896–913.
- Baba, E., Acar, Ü., Yılmaz, S., Öntaş, C., Kesbiç, O. S., 2017. Pre-challenge and post-challenge haemato-immunological changes in *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758) fed argan oil against *Lactococcus garvieae*. *Aquaculture Research*, 48(8), 4563–4572.
- Bakour, M., Soulo, N., Hammas, N., Fatemi, H. E., Aboulghazi, A., Taroq, A., Lyoussi, B., 2018. The antioxidant content and protective effect of argan oil and *Syzygium aromaticum* essential oil in hydrogen peroxide-induced biochemical and histological changes. *International Journal of Molecular Sciences*, 19(2), 610.
- Bell, JG., McGhee, F., Campbell, PJ., Sargent, JR., 2003 Rapeseed oil as an alternative to marine fish oil in diets of post-smolt Atlantic salmon (*Salmo salar*): changes in flesh fatty acids composition and effectiveness of subsequent fish oil 'wash out'. *Aquaculture* 218:515-528
- Birnie-Gauvin, K., Costantini, D., Cooke, S. J., & Willmore, W. G., 2017. A comparative and evolutionary approach to oxidative stress in fish: A review. *Fish and Fisheries*, 18(5), 928–942.
- Bouchab, H., Essadek, S., El Kamouni, S., Moustaid, K., Essamadi, A., Andreoletti, P., Nasser, B., 2023. Antioxidant effects of argan oil and olive oil against iron-induced oxidative stress: in vivo and in vitro approaches. *Molecules*, 28(15), 5924.
- Boyd, C. E., D'Abramo, L. R., Glencross, B. D., Huyben, D. C., Juarez, L. M., Lockwood, G. S., Valenti, W. C., 2020. Achieving sustainable aquaculture: Historical and current

- perspectives and future needs and challenges. *Journal of the World Aquaculture Society*, 51(3), 578–633.
- Cashion, T., Le Manach, F., Zeller, D., Pauly, D., 2017. Most fish destined for fishmeal production are food-grade fish. *Fish and Fisheries*, 18, 837–844.
- Daoudi, N. E., El Assri, S., Aziz, M., Choukri, M., Mekhfi, H., Legssyer, A., Bnouham, M., 2024. The effect of *Argania spinosa* seed oil on diabetic nephropathy in streptozotocin-induced diabetes in Wistar rats. *Journal of Ethnopharmacology*, 328, 118083.
- DGFA. 2024. *Fisheries statistics*. Ministry of Agriculture and Forestry, General Directorate of Fisheries and Aquatic Products, Information Documents.
- El Abbassi, A., Khalid, N., Zbakh, H., Ahmad, A., 2014. Physicochemical characteristics, nutritional properties, and health benefits of argan oil: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 54(11), 1401–1414.
- El Midaoui, A., Haddad, Y., Couture, R., 2016. Beneficial effects of argan oil on blood pressure, insulin resistance, and oxidative stress in rat. *Nutrition*, 32(10), 1132–1137.
- El-Farhoudi, E., Alkayed, F., Dugani, A., 2025. Effects of single and repeated doses of argan oil (*Argania spinosa* L.) on ethanol-induced gastric ulcers in rats. *Academic Journal of Science and Technology*, 5(1), 247–252.
- Erondu, E. S., Akpoilih, B. U., John, F. S., 2023. Total replacement of dietary fish oil with vegetable lipid sources influenced growth performance, whole body composition, and protein retention in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fingerlings. *Journal of Applied Aquaculture*, 35(2), 330–349.
- Falahatkar, B., Asheri, S., Safarpour Amlashi, A., Ershad Langroudi, H., 2018. Canola oil, as a good alternative dietary lipid source in sturgeon: Effects on growth, physiology and fatty acid profile in Beluga sturgeon (*Huso huso* L.). *Aquaculture Nutrition*, 24(4), 1263–1273.
- FAO. 2022. *The State of World Fisheries and Aquaculture 2022. Towards Blue Transformation*. Rome, FAO.
- FAO. 2024. *Fishery and aquaculture statistics – Yearbook 2021*. FAO Yearbook of Fishery and Aquaculture Statistics, Rome.
- Folch, J., Lees, M., Stanley, G. H. S., 1957. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. *Journal of Biological Chemistry*, 226, 497–509.
- Ganoudi, M., Calonne-Salmon, M., Ibriz, M., Declerck, S., 2021. In vitro mycorrhization of *Argania spinosa* L. using germinated seeds. *Symbiosis*, 85(1), 57–68.
- García van Gein, M. T., 2023. *Cría de juveniles de tenca (Tinca tinca L.): dietas compuestas y alternativas para una acuicultura sostenible* (Doctoral dissertation, Universidad de León).
- Garlock, T., Anderson, J. L., Anderson, T. M., Kumar, G., 2025. Aquaculture in the United States: An analysis of seven aquaculture sectors from the aquaculture performance indicators perspective. *Aquaculture Economics & Management*, 29(2), 304–322.
- Garlock, T., Asche, F., Anderson, J., Bjørndal, T., Kumar, G., Lorenzen, K., Tveterås, R., 2020. A global blue revolution: Aquaculture growth across regions, species, and countries. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 28(1), 107–116. <https://doi.org/10.1080/23308249.2019.1678111>
- Gasco, L., Gai, F., Maricchiolo, G., Genovese, L., Ragonese, S., Bottari, T., Caruso, G., 2018. Sustainable alternatives for dietary fish oil in aquafeeds: Actual situation and future

- perspectives. In *Feeds for the Aquaculture Sector: Current Situation and Alternative Sources* (pp. 49–61). Cham: Springer International Publishing.
- Gatlin III, D. M., Barrows, F. T., Brown, P., Dabrowski, K., Gaylord, T. G., Hardy, R. W., Wurtele, E., 2007. Expanding the utilization of sustainable plant products in aquafeeds: A review. *Aquaculture Research*, 38(6), 551–579.
- Gephart, J. A., Henriksson, P. J. G., Parker, R. W. R., Shepon, A., Gorospe, K. D., Bergman, K., Troell, M., 2021. Environmental performance of blue foods. *Nature*, 597(7876), 360–365. <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03889-2>
- Ghaedi, A., Mozanzadeh, M. T., Zargham, D., Hosseini, S. A., 2024. Effect of dietary fish oil sparing with blended vegetable oils on growth, fatty acid composition and lipid-metabolism-related genes expression in juvenile rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Annals of Animal Science*, 24(2), 519–531.
- Gharby, S., Charrouf, Z., 2022. Argan oil: Chemical composition, extraction process, and quality control. *Frontiers in Nutrition*, 8, 804587.
- Gil, M., Rudy, M., Duma-Kocan, P., Stanisławczyk, R., Krajewska, A., Dziki, D., Hassoon, W. H., 2024. Sustainability of alternatives to animal protein sources, a comprehensive review. *Sustainability*, 16(17), 7701.
- Glencross, B. D., 2009. Exploring the nutritional demand for essential fatty acids by aquaculture species. *Reviews in Aquaculture*, 1, 71–124.
- Golden, C. D., Koehn, J. Z., Shepon, A., Passarelli, S., Free, C. M., Viana, D. F., Thilsted, S. H., 2021. Aquatic foods to nourish nations. *Nature*, 598(7880), 315–320. <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03917-1>
- Gou, N., Ji, H., Zhong, M., Chang, Z., Deng, W., 2021. Effects of dietary fish oil replacements with three vegetable oils on growth, fatty acid composition, antioxidant capacity, serum parameters and expression of lipid metabolism related genes in juvenile *Onychostoma macrolepis*. *Aquaculture Nutrition*, 27(1), 163–175.
- Gozlan, R. E., 2025. *Understanding AMR. Antimicrobial resistance in aquaculture and aquatic environments*. Springer Nature Singapore.
- Gökalg, H. Y., Kaya, M., Zorba, O., 2012. *Et ürünleri işleme mühendisliği* (9. Baskı). Atatürk Üniversitesi Yayın No: 786, Ziraat Fakültesi Yayın No: 70, Ziraat Fakültesi Ofset Tesisi, Erzurum.
- Gu, X., Ding, Z. L., Yuan, Z. Z., Yang, S., Fei, H., 2025. Recent developments and applications of vegetable oil in fish feed. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 127(3), e202300235.
- Guan, L., Zhuo, L., Tian, H., Li, C., Li, J., Meng, Y., Ma, R., 2023. Canola oil substitution doesn't affect growth but alters fillet quality of triploid rainbow trout. *Aquaculture*, 569, 739385.
- Hardy, R. W., 2002. Rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. In *Nutrient requirements and feeding of finfish for aquaculture* (pp. 184–202). CABI Publishing.
- Hilali, M., Charrouf, Z., Aziz Soulhi, A. E., Hachimi, L., Guillaume, D., 2005. Influence of origin and extraction method on argan oil physico-chemical characteristics and composition. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(6), 2081–2087.
- Hodar, A. R., Vasava, R. J., Mahavadiya, D. R., Joshi, N. H., 2020. Fish meal and fish oil replacement for aqua feed formulation by using alternative sources: A review. *Journal of Experimental Zoology India*, 23(1), 13–21.

- Huang, C. H., Huang, S. L., 2004. Effect of dietary vitamin E on growth, tissue lipid peroxidation, and liver glutathione level of juvenile hybrid tilapia, *Oreochromis niloticus* × *O. aureus*, fed oxidized oil. *Aquaculture*, 237(1–4), 381–389.
- Ibourki, M., Gharby, S., Guillaume, D., Sakar, E. H., Laknifli, A., El Hammadi, A., Charrouf, Z., 2021. Profiling of mineral elements and heavy metals in argan leaves and fruit by-products using inductively coupled plasma optical emission spectrometry and atomic absorption spectrometry. *Chemical Data Collections*, 35, 100772.
- Kizir, D., Toraman, E., Karaman, M., 2025. Molecular changes associated with inflammation and reproduction in cadmium-induced testicular toxicity: Mitigating effect of *Lactobacillus plantarum*. *Biological Trace Element Research*, 1–8.
- Kowalska, A., Zakęś, Z., Siwicki, A. K., Jankowska, B., Jarmołowicz, S., Demska-Zakęś, K., 2012. Impact of diets with different proportions of linseed and sunflower oils on the growth, liver histology, immunological and chemical blood parameters, and proximate composition of pikeperch *Sander lucioperca* (L.). *Fish Physiology and Biochemistry*, 38(2), 375–388.
- Larbi Ayisi, C., Zhao, J., Wu, J. W., 2018. Replacement of fish oil with palm oil: Effects on growth performance, innate immune response, antioxidant capacity and disease resistance in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *PloS one*, 13(4), e0196100.
- Livingstone, D. R., 2001. Contaminant-stimulated reactive oxygen species production and oxidative damage in aquatic organisms. *Marine Pollution Bulletin*, 42(8), 656–666.
- Lushchak, V. I., 2011. Environmentally induced oxidative stress in aquatic animals. *Aquatic Toxicology*, 101(1), 13–30.
- Machado, M., Rodriguez-Alcalá, L. M., Gomes, A. M., Pintado, M., 2023. Vegetable oils oxidation: Mechanisms, consequences and protective strategies. *Food Reviews International*, 39(7), 4180–4197.
- Martins, D. A., Gomes, E., Rema, P., Dias, J., Ozório, R. O. A., Valente, L. M. P., 2006. Growth, digestibility and nutrient utilization of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) juveniles fed different dietary soybean oil levels. *Aquaculture International*, 14(3), 285–295.
- Metcalfe, L. D., Schmitz, A. A., 1961. The rapid preparation of fatty acid esters for gas chromatographic analysis. *Analytical Chemistry*, 33, 363–364.
- Mourente, G., Good, J.E., Bell, J.G., 2005 Partial substitution of fish oil with rapeseed, linseed and olive oils in diets for European sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.): effects on flesh fatty acids composition, plasma prostaglandins E2 and F2a, immune function and effectiveness of fish oil finishing diet. *Aquaculture Nutrition* 11:25-40
- Moutik, S., Benali, A., Bendaou, M., Maadoudi, E. H., Kabbour, M. R., El Housni, A., Es-Safi, N. E., 2021. The effect of using diet supplementation based on argane (*Argania spinosa*) on fattening performance, carcass characteristics and fatty acid composition of lambs. *Heliyon*, 7(2).
- Mu, H., Wei, C., Zhang, Y., Zhou, H., Pan, Y., Chen, J., Mai, K., 2020. Impacts of replacement of dietary fish oil by vegetable oils on growth performance, anti-oxidative capacity, and inflammatory response in large yellow croaker (*Larimichthys crocea*). *Fish Physiology and Biochemistry*, 46(1), 231–245.
- Nabi, N., Ahmed, I., Qadir, M., Reshi, Q. M., 2025. Global aquaculture: Scenarios and nutritional implications. In *Aquaculture: Enhancing food security and nutrition* (pp. 121–137). Springer Nature Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-031-XXXXX-X_XX

- Necib, Y., Bahi, A., Zerizer, S., 2013. Argan oil (*Argania spinosa* L) provides protection against mercuric chloride induced oxidative stress in rat Albinos Wistar. *International Journal of Basic and Applied Sciences*, 2, 73–80.
- Ofori-Mensah, S., Yıldız, M., Arslan, M., Eldem, V., Gelibolu, S., 2020. Substitution of fish oil with camelina or chia oils in gilthead sea bream (*Sparus aurata*, L.) diets: Effect on growth performance, fatty acid composition, haematology and gene expression. *Aquaculture Nutrition*, 26(6), 1943–1957.
- Ohkawa, H., Ohishi, N., Yagi, K., 1979. Assay for lipid peroxides in animal tissues by thiobarbituric acid reaction. *Analytical Biochemistry*, 95(2), 351–358.
- Qian, Y. F., Wang, J. X., Qiao, F., Luo, Y., Chen, L. Q., Zhang, M. L., Du, Z. Y., 2024. Modelling the impact of replacing fish oil with plant oils: A meta-analysis to match the optimal plant oil for major cultured fish. *Reviews in Aquaculture*, 16(3), 1395–1422.
- Reis, İ.K., Yıldız, M., Çakiris, A., 2023. Effects of Different Vegetable Oils on the Fatty Acid Metabolism Based on Whole Body Fatty Acid Balance Method and Gene Expression of Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 23, TRJFAS20667.
- Saber, T. M., Mansour, M. F., Abdelaziz, A. S., Mohamed, R. M., Fouad, R. A., Arisha, A. H., 2020. Argan oil ameliorates sodium fluoride-induced renal damage via inhibiting oxidative damage, inflammation, and intermediate filament protein expression in male rats. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(24), 30426–30436.
- Sáez-Royuela, M., García, T., Carral, J. M., Celada, J. D., 2022. Fish Oil Replacement by a Blend of Vegetable Oils in Diets for Juvenile Tench (*Tinca tinca* Linnaeus, 1758): Effects on Growth Performance and Whole-Body Composition. *Animals* : an open access journal from MDPI, 12(9), 1113.
- Sáez-Royuela, M., García, T., Carral, J. M., Celada, J. D., 2022. Fish oil replacement by a blend of vegetable oils in diets for juvenile tench (*Tinca tinca* Linnaeus, 1758): Effects on growth performance and whole-body composition. *Animals*, 12(9), 1113.
- Schulz, C., Knaus, U., Wirth, M., Rennert, B., 2005. Effects of varying dietary fatty acid profile on growth performance, fatty acid, body and tissue composition of juvenile pike perch (*Sander lucioperca*). *Aquaculture Nutrition*, 11(6), 403–413.
- Sedlak, J., Lindsay, R. H., 1968. Estimation of total, protein-bound, and nonprotein sulfhydryl groups in tissue with Ellman's reagent. *Analytical Biochemistry*, 25, 192–205.
- Sönmez, A. Y., Bilen, S., Alak, G., Hisar, O., Yanık, T., Biswas, G., 2015. Growth performance and antioxidant enzyme activities in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) juveniles fed diets supplemented with sage, mint and thyme oils. *Fish physiology and biochemistry*, 41(1), 165–175.
- Sprague, M., Dick, J. R., Tocher, D. R., 2016. Impact of sustainable feeds on omega-3 long-chain fatty acid levels in farmed Atlantic salmon, 2006–2015. *Scientific Reports*, 6, 21892.
- Sun, Y., Oberley, L. W., Li, Y., 1988. A simple method for clinical assay of superoxide dismutase. *Clinical Chemistry*, 34, 497–500.
- Tacer-Tanas, S., Arslan, M., 2023. Can dietary hazelnut oil inclusion alleviate the negative effects of oxidized fish oil in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) juveniles? *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 23(10).

- Tacon, A. G. J., Hasan, M. R., Metian, M., 2011. *Demand and supply of feed ingredients for farmed fish and crustaceans: Trends and prospects* (FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 564). FAO.
- Tacon, A. G. J., Metian, M., 2013. Fish matters: Importance of aquatic foods in human nutrition and global food supply. *Reviews in Fisheries Science*, 21, 22–38.
- Tacon, A. G., Metian, M., 2008. Global overview on the use of fish meal and fish oil in industrially compounded aquafeeds: Trends and future prospects. *Aquaculture*, 285(1–4), 146–158.
- Tocher, D. R., Mourente, G., Van der Eecken, A., Evjemo, J. O., Diaz, E., Bell, J. G., Olsen, Y., 2002. Effects of dietary vitamin E on antioxidant defence mechanisms of juvenile turbot (*Scophthalmus maximus* L.), halibut (*Hippoglossus hippoglossus* L.) and sea bream (*Sparus aurata* L.). *Aquaculture Nutrition*, 8(3), 195–207.
- Tola, S., Adepoju, M. S. K., Yuangsoi, B., Charoenwattanasak, S., Jatuwong, K., Seel-audom, M., 2025. Effects of partial and complete replacement of fish oil with perilla oil on growth performance, feed efficiency, health status, and fatty acid accumulation in flesh of Asian seabass (*Lates calcarifer*) reared in freshwater. *Animal Feed Science and Technology*, 323, 116277.
- Trullàs, C., Tres, A., Saldo, J., Fontanillas, R., Sala, R., 2017. Quality characteristics of fillets of rainbow trout fed acid or re-esterified rapeseed oils as dietary fat sources. *Aquaculture*, 480, 22–31.
- Tuna Kelestemur, G., 2023. Selection and use of appropriate feed additives in the fishing industry. *Journal of Balıkesir University Institute of Science and Technology*, 25(2), 783–793. <https://doi.org/10.25092/baunfbed.1234567>
- Turchini, G. M., Francis, D. S., 2009. Fatty acid metabolism (desaturation, elongation and β -oxidation) in rainbow trout fed fish oil- or linseed oil-based diets. *British Journal of Nutrition*, 102(1), 69–81.
- TÜİK. 2024. *Su ürünleri istatistikleri*. Türkiye İstatistik Kurumu. <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=97&locale=tr>
- Yildiz, M., Köse, İ., Issa, G., Kahraman, T., 2015. Effect of different plant oils on growth performance, fatty acid composition and flesh quality of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture Research*, 46(12), 2
- Yildiz, M., Şener, E., 2004. The effect of dietary oils of vegetable origin on the performance, body composition and fatty acid profiles of sea bass (*Dicentrarchus labrax* L., 1758) juveniles. *Turkish Journal of Veterinary & Animal Sciences*, 28(3), 553–562.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı:	Chaimae SAID
Doğum tarihi:	
Doğum Yeri:	
Uyruğu:	
Adres:	
Tel:	
E-mail:	
Eğitim	
Lise:	Zaggota
Lisans:	Atatürk Üniversitesi, Su ürünleri fakültesi
Yüksek lisans:	Atatürk üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, Su Ürünleri Mühendisliği Anabilim Dalı
Doktora:	
Yabancı Dil Bilgisi	
İngilizce:	iyi
Fransızca:	Dalf C2
Arapça:	İyi
İspanyolca:	C1
Üye Olunan Mesleki Kuruluşlar	
Tezden Üretilmiş Yayınlar	