



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



DOKTORA TEZİ

**BİTKİSEL YAĞ İÇEREN DİYETLERLE BESLENEN GÖKKUŞAĞI
ALABALIĞININ (*Oncorhynchus mykiss*) YAĞ ASİDİ
METABOLİZMASI**

İrem KÖSE REİS

Su Ürünleri Yetiştiriciliği Anabilim Dalı

Yetiştiricilik Programı

**DANIŞMAN
Prof. Dr. Mustafa YILDIZ**

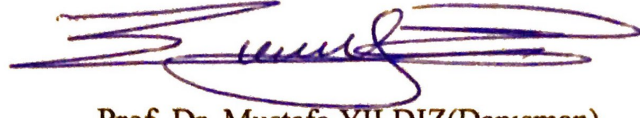
**II. DANIŞMAN
Prof. Dr. Duran ÜSTEK**

Aralık, 2017

İSTANBUL

Bu çalışma, 8.12.2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Su Ürünleri Yetiştiriciliği Anabilim Dalı, Yetiştiricilik Programında Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

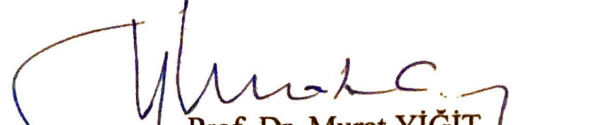
Tez Jürisi



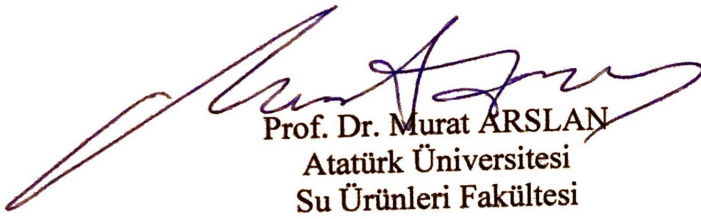
Prof. Dr. Mustafa YILDIZ (Danışman)
İstanbul Üniversitesi
Su Bilimleri Fakültesi



Prof. Dr. Devrim MEMİŞ
İstanbul Üniversitesi
Su Bilimleri Fakültesi



Prof. Dr. Murat YİĞİT
Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi
Deniz Bilimleri ve Teknolojisi Fakültesi



Prof. Dr. Murat ARSLAN
Atatürk Üniversitesi
Su Ürünleri Fakültesi



Doç. Dr. Aygül EKİCİ
İstanbul Üniversitesi
Su Bilimleri Fakültesi



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

Bu tez, İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yürütücü Sekreterliğinin ID: 1008 ve Proje Kodu: 37351 numaralı projesi ile desteklenmiştir.

Bu tez, 113O798 numaralı TÜBİTAK 1002 Hızlı Destek projesi ile desteklenmiştir.

ÖNSÖZ

Bu tez çalışması, juvenil gökkuşağı alabalığı (*Oncorhynchus mykiss* W., 1792) diyetlerinde balık yağı yerine kullanılan susam, keten tohumu ve zeytin yağlarının balıklarda büyüme performansı, yemden yararlanma oranı, vücut kompozisyonu, vücut ve karaciğer yağ asidi kompozisyonuna etkileri ile birlikte yağ asidi metabolizmasını belirlemek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Yemleme deneyleri İstanbul Üniversitesi Su Bilimleri Fakültesi Sapanca İç Su Ürünleri Üretimi Uygulama ve Araştırma Birimi'nde yapılmıştır. Araştırmanın yem, balık eti, balık karaciğeri ve balık dışkılarındaki yağ asitleri analizi Tarım Bakanlığı tarafından akredite edilmiş özel bir laboratuvarında yapılmıştır. Araştırmamızın enzim transkripsiyon oranı ölçümleri İstanbul Üniversitesi Deneysel Tıp Araştırma Enstitüsü (DETAE) 'de yapılmıştır.

Bu araştırmanın gerçekleştirilmesinde, çalışmalarım süresince yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Prof. Dr. Mustafa YILDIZ'a, ikinci tez danışman hocam Prof. Dr. Duran ÜSTEK'e, yemleme deneylerinin yapılmasında tüm olanakları sağlayan İ.Ü. Su Bilimleri Fakültesi Sapanca İç Su Ürünleri Üretimi Uygulama ve Araştırma Birimi çalışanlarına, İstanbul Üniversitesi Deneysel Tıp Araştırma Enstitüsü (DETAE) Genetik Anabilim Dalı çalışanlarına teşekkür ederim.

Bu tez çalışmamda manevi desteğini esirgemeyen eşim İsmail REİS'e teşekkür ederim.

Aralık 2017

İrem KÖSE REİS

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
ŞEKİL LİSTESİ	viii
TABLO LİSTESİ.....	ix
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ	xi
ÖZET	xii
SUMMARY	xiv
1. GİRİŞ	1
2. GENEL KISIMLAR.....	9
2.1.GÖKKUŞAĞI ALABALIĞI (<i>Oncorhynchus mykiss</i> W., 1792)'NİN BİYOLOJİK VE YETİŞTİRİCİLİK ÖZELLİKLERİ	9
2.2.YAĞ ASİTLERİ VE TÜREVLERİ.....	10
2.2.1. Doymuş Yağ Asitleri	11
2.2.2. Doymamış Yağ Asitleri.....	11
2.2.3. Esansiyel Yağ Asitleri	11
2.3. BALIKLARIN YAĞ VE ESANSİYEL YAĞ ASİDİ İHTİYAÇLARI	12
2.4. BALIKLARDA YAĞ ASİDİ METABOLİZMASI	14
2.5. LİTERATÜR ÖZETİ.....	15
3. MALZEME VE YÖNTEM.....	18
3.1. MALZEME	18
3.1.1. Deney Yeri ve Süresi.....	18
3.1.2. Araştırmada Kullanılan Balıklar.....	18
3.1.3. Deney Tankları, Dışkı Toplama Sistemi ve Kullanılan Su	19
3.1.4. Araştırmada Kullanılan Yemler	19
3.2.YÖNTEM.....	24
3.2.1. Deney Yemlerinin Hazırlanması	24
3.2.2. Yemleme Programının Düzenlenmesi.....	24
3.2.3. Tanklardaki Suyun Fiziksel ve Kimyasal Parametrelerinin Ölçülmesi.....	25
3.2.4. Balıklardaki Büyüme Performansının Hesaplanması.....	25

3.2.5. Balıklardaki Viserosomatik İndeks (VSI) ve Hepatosomatik İndeks (HSİ) Değerlerinin Hesaplanması.....	26
3.2.6. Kimyasal Analizler.....	27
3.2.7. Kuru Madde Miktarının Tayini	27
3.2.8. Ham Protein Miktarının Tayini	27
3.2.9. Ham Yağ Miktarının Tayini	28
3.2.10. Ham Selüloz Miktarının Tayini.....	29
3.2.11. Ham Kül Miktarının Tayini.....	29
3.2.12. Azotsuz Ekstrakt Maddelerin Hesaplanması.....	30
3.2.13. Toplam ve Metabolize Olabilir Enerji Değerlerinin Hesaplanması	30
3.2.14. Balık Yemi, Balık Eti ve Balık Dışkılarındaki Yağ Asidi Analizleri İçin Yağ Tayini	31
3.2.15. Yağ Asidi Metil Esterlerinin Hazırlanması	31
3.2.16. Gaz Kromatografisinde Yağ Asitlerinin Tayini	31
3.2.17. Yağ Asidi Sindirilebilirliğinin Hesaplanması	32
3.2.18. Kromoksit Analizi	33
3.2.19. Yağ Asidi Sindirilebilirliği ve Tüm Vücut Yağ Asidi Denge Metodu Hesaplanması.....	33
3.2.20. Enzim Transkripsiyon Oranı Ölçümleri	35
3.2.20. İstatistiksel Analizler	36
4. BULGULAR.....	37
4.1. DENEY TANKLARINDAKİ SUYUN FİZİKSEL VE KİMYASAL ÖZELLİKLERİ	37
4.2. BALIKLARIN BİREYSEL CANLI AĞIRLIKLARI	37
4.3. BALIKLARIN SPESİFİK BÜYÜME ORANI	39
4.4. YEM TÜKETİMİ VE YEMDEN YARARLANMA ORANLARI.....	39
4.5. BALIKLARIN BİREYSEL BOYLARI VE KONDÜSYON FAKTÖRÜ DEĞERLERİ.....	41
4.6. BALIKLARIN VİSEROSOMATİK VE HEPATOSOMATİK İNDEKS DEĞERLERİ.....	42
4.7. ARAŞTIRMADA KULLANILAN BALIKLARIN VÜCUT KOMPOZİSYONU	43
4.8. DENEY BALIKLARININ TÜM VÜCUDUNDAKİ YAĞ ASİDİ KOMPOZİSYONU	45
4.9. DENEY BALIKLARININ KARACİĞERİNDEKİ YAĞ ASİDİ KOMPOZİSYONU	47
4.10. DENEY BALIKLARININ TÜM VÜCUDUNDAKİ YAĞ ASİDİ SİNDİRİLEBİLİRLİĞİ (%).....	49

4.11. DENEY BALIKLARININ GÖRÜNEN YA DA KAYBOLAN YAĞ ASİDİ MİKTARLARI (MG/BALIK)	51
4.12. DENEY BALIKLARININ GÖRÜNEN YAĞ ASİTLERİNİN ELONGASYON, B-OKSİDASYON VE DESATURASYON MİKTARLARI	53
4.13. DENEY BALIKLARINDAKİ BAZI SPESİFİK YAĞ ASİTLERİNİN ELONGASYON, B-OKSİDASYON, DESATURASYON VE BİRİKİM MİKTARLARI (NMOL G BALIK GÜN) ¹	55
4.14. LİPİTLERİ METABOLİZE EDEN ENZİMLERİN TRANSKRİPSİYON ORANI ÖLÇÜMLERİ	56
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	58
KAYNAKLAR.....	64
ÖZGEÇMİŞ	72

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1.1: Dünya su ürünleri üretimi (FAO, 2016).	1
Şekil 1.2: Dünya nüfus artışı (Anonim, 2012).	2
Şekil 1.3: Yıllar itibarıyla Türkiye'deki akuakültür üretimi (TÜİK, 2016).	3
Şekil 1.4: Dünya balık yemi üretim miktarları (milyon ton/yıl) (Tacon ve diğ., 2010).	3
Şekil 1.5: Dünya balık unu ve balık yağı üretiminin 1985-2011 yılları arasındaki değişimi (bin ton/yıl) (IFFO, 2009; FAO, 2016).	4
Şekil 1.6: Türkiye bitkisel ham yağ üretim miktarları (bin ton/yıl) (BYSD, 2016).	6
Şekil 2.1: Dünyada gökkuşuğu alabalığı yetiştiriciliği yapan ülkelerin dağılımı (FAO, 2010).	9
Şekil 2.2: Gökkuşuğu alabalığı (<i>Oncorhynchus mykiss</i>).	10
Şekil 2.3: Balıklarda yağ asidi metabolizması (Çok doymamış yağ asitleri).	14
Şekil 3.1: Araştırmada kullanılan balıklar.	18
Şekil 3.2: Deney tankları.	19
Şekil 3.3: Deneyde kullanılan yemlerden bir örnek.	21
Şekil 3.4: Yem peletleme makinesi.	24
Şekil 3.5: Protein cihazı.	28
Şekil 3.6: Yağ tayin cihazı.	29
Şekil 3.7: Gaz kromatografi cihazı.	32
Şekil 4.1: Balık yağı (kontrol), susam yağı (SY), keten tohumu yağı (KTY) ve zeytin yağı (ZY) içeren diyetlerle beslenen gökkuşuğu alabalığı karaciğerlerinin $\Delta 6$ desaturaz enzim transkripsiyon oranı ölçümü.	57
Şekil 4.2: Balık yağı (kontrol), susam yağı (SY), keten tohumu yağı (KTY) ve zeytin yağı (ZY) içeren diyetlerle beslenen gökkuşuğu alabalığı karaciğerlerinin elongaz enzim transkripsiyon oranı ölçümü.	57

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 1.1: Dünya bitkisel yağ üretim miktarları (milyon ton/yıl) (USDA, 2016).	5
Tablo 1.2: Türkiye yağlı tohum üretim miktarları (ton/yıl) (TÜİK, 2016).	6
Tablo 2.1: Kültürü yapılan bazı balık türlerinin esansiyel yağ asidi ihtiyaçları (Sargent ve diğ., 2002).	13
Tablo 3.1: Araştırmada kullanılan yem formülasyonu.	20
Tablo 3.2: Yemdeki besin maddeleri ve enerji değerleri ¹	21
Tablo 3.3: Deney yemlerinde kullanılan yağların yağ asidi kompozisyonu ¹	22
Tablo 3.4: Deney yemlerindeki yağ asidi kompozisyonu ¹	23
Tablo 3.5: Primer özellikleri.	36
Tablo 4.1: Deney tanklarındaki suyun sıcaklık ve çözünmüş oksijen değerleri.	37
Tablo 4.2: Balıkların bireysel canlı ağırlıkları (g) ¹	38
Tablo 4.3: Balıkların bireysel canlı ağırlık artışları ¹	38
Tablo 4.4: Balıkların spesifik büyüme oranları ¹	39
Tablo 4.5: Ortalama bireysel yem tüketim miktarları (g) ¹	40
Tablo 4.6: Balıkların yemden yararlanma oranları ¹	40
Tablo 4.7: Balıkların ortalama bireysel boyları (cm) ¹	41
Tablo 4.8: Deney balıklarının kondüsyon faktörü değerleri ¹	42
Tablo 4.9: Viserosomatik ve hepatosomatik indeks değerleri ¹	43
Tablo 4.10: Balıkların vücut kompozisyonu (%) ¹	44
Tablo 4.11: Deney başlangıcında ve deney sonunda balıkların tüm vücudundaki yağ asidi kompozisyonu ¹	46
Tablo 4.12: Deney başlangıcında ve sonunda balık karaciğerindeki yağ asidi kompozisyonu ¹	48
Tablo 4.13: Deney balıklarının tüm vücudundaki yağ asidi sindirilebilirliği (%) ¹	50

Tablo 4.14: Deney balıklarının görünen ya da kaybolan yağ asidi miktarları (mg/balık) ¹	52
Tablo 4.15: Deney balıklarının görünen yağ asitlerinin elongasyon, β -oksidasyon ve desaturasyon miktarları (nmol g balık gün) ¹	54
Tablo 4.16: Deney balıklarının tüm vücut n-3 ve n-6 serisi yağ asidi dönüşüm miktarları (nmol g balık).	56



SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler	Açıklama
A_1	: Periyot başındaki canlı ağırlık değeri
A_2	: Periyot sonundaki canlı ağırlık değeri
W	: Balığın ağırlığı
W_i	: Periyot başındaki bireysel canlı ağırlık
W_f	: Periyot sonundaki bireysel canlı ağırlık
L	: Balığın toplam boyu
t	: Zaman (gün olarak)

Kisaltmalar	Açıklama
AEM	: Azotsuz ekstrakt maddeler
CAA	: Canlı ağırlık artışı
DHA	: Dokosahekzaenik asit
EPA	: Eikosapentaenoik asit
HP	: Ham protein
HSİ	: Hepatosomatik indeks
HUFA	: Highly unsaturated fatty acid
HY	: Ham yağ
KF	: Kondüsyon faktörü
MOE	: Metabolize olabilir enerji
PUFA	: Poly unsaturated fatty acid
SBO	: Spesifik büyüme oranı
TCAA	: Toplam canlı ağırlık artışı
TYTM	: Toplam yem tüketim miktarı
VSİ	: Viserosomatik indeks
YYO	: Yemden yararlanma oranı

ÖZET

DOKTORA TEZİ

BİTKİSEL YAĞ İÇEREN DİYETLERLE BESLENEN GÖKKUŞAĞI ALABALIĞININ (*Oncorhynchus mykiss*) YAĞ ASİDİ METABOLİZMASI

İrem KÖSE REİS

İstanbul Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Su Ürünleri Yetiştiriciliği Anabilim Dalı

Danışman : Prof. Dr. Mustafa YILDIZ

II. Danışman : Prof. Dr. Duran ÜSTEK

Bu araştırmada, balık yağı yerine susam yağı (SY), keten tohumu yağı (KTY) ve zeytin yağının (ZY) ayrı ayrı kullanıldığı diyetlerle beslenen juvenil gökkuşığı alabalığı (*Oncorhynchus mykiss*)'nın büyüme performansı, vücut kompozisyonu ve yağ asidi kompozisyonu ile birlikte yağ asidi metabolizması ölçülmüştür. Toplam 60 gün süren yemleme deneylerinde başlangıç ağırlıkları ortalama 42 g olan balıklar kullanılmıştır.

Balıkların büyüme performansı değerleri yapılan ölçümler sonucunda canlı ağırlık artışı, spesifik büyüme oranı, yemden yararlanma oranı, kondüsyon faktörü, vücut kompozisyonu, hepatosomatik ve viserosomatik indeks değerleri hesaplanmıştır. Araştırmada kullanılan yem ve balık örneklerindeki besin maddeleri miktarı, yağ asidi kompozisyonu ile balıklardan alınan karaciğer örneklerindeki yağ asidi kompozisyonu saptanmıştır.

Deney sonunda balıklardaki en düşük ağırlık artışı (61,17 g) SY grubunda gerçekleşmiş ($P<0,05$) ve bitkisel yağların kullanıldığı diğer deney grupları arasındaki fark önemsiz bulunmuştur ($P>0,05$). Balıkların spesifik büyüme hızları, yemden yararlanma oranları ve kondüsyon faktörü değerlerinde deney grupları arasında istatistiksel olarak önemli bir fark bulunmamıştır ($P>0,05$).

Diyetlerde bitkisel yağ kullanımına bağlı olarak n-6 PUFA oranları artmıştır. Buna karşın KTY diyeti hariç n-3 PUFA ve n-3 HUFA oranları azalmıştır ($P<0,05$). Araştırmamızda, diyetlerde kullanılan yağların balık dokularındaki yağ asidi profilini doğrudan etkilediği görülmüştür.

Araştırmada gökkuşuğu alabalıklarının yağ asidi metabolizmasını belirlemek amacı ile tüm vücut yağ asidi denge metodu kullanılmıştır. Bu metoda göre denemedeki en yüksek oksidasyon miktarlarının 18C'lu yağ asidi gruplarında olduğu saptanmıştır ($P<0,05$). Deney balıklarının 18:2n-6 yağ asidini 20:2n-6 ve 18:3n-6 yağ asitlerine dönüştürebildikleri görülmüştür.

Genetiksel olarak yapılan analizler sonucunda balıkların yağ asidi metabolizmasında etkili olan enzimlerden $\Delta 6$ desaturaz enzimi ve elongaz enzimlerinin transkripsiyon oranı ölçümleri yapıldı. Elde edilen sonuçlara göre $\Delta 6$ desaturaz enzimi aktivitesinin en yüksek olduğu grup n-6 yağ asitlerini yüksek oranda içeren susam yağı (SY) grubunda bulunmuştur. 18:3n-3 yağ asidi bakımından zengin olan keten tohumu (KTY) grubu ile 18:1n-9 yağ asidi bakımından zengin olan zeytin yağı (ZY) grubundaki $\Delta 6$ desaturaz enzim aktivitesi benzer bulunmuştur. Kontrol grubunda ise bu aktivite en düşük oranda görülmüştür. Elongaz enzim transkripsiyon oranı ise deney grupları arasında oldukça farklı bulunmuştur. Elongaz enzim aktivitesi kontrol grubunda en yüksek, SY ile KTY grubunda benzer ve ZY grubunda en düşük bulunmuştur.

Sonuç olarak araştırmamızda genetiksel olarak $\Delta 6$ desaturaz enzim transkripsiyon oranı ölçümü ülkemizde ilk kez çok net bir şekilde yapılmıştır. Ancak diğer yağ asitlerinin metabolizmasında etkili olan $\Delta 5$ ve $\Delta 9$ desaturaz enzimleri transkripsiyon oranı ölçümleri bilim dünyasında henüz tam olarak netleştirilememiştir. Gelecekteki çalışmaların bu konu üzerinde devam etmesine ihtiyaç vardır.

Aralık 2017, 89 sayfa.

Anahtar kelimeler: Besleme, gökkuşuğu alabalığı, bitkisel yağlar, yağ asitleri, metabolizma, desaturaz, elongaz

SUMMARY

Ph.D. THESIS

FATTY ACID METABOLISM OF RAINBOW TROUT (*Oncorhynchus mykiss*) FED DIETS CONTAINING VEGETABLE OIL

İrem KÖSE REİS

İstanbul University

Institute of Graduate Studies in Science and Engineering

Department of Aquaculture

Supervisor : Prof. Dr. Mustafa YILDIZ

Co-Supervisor : Prof. Dr. Duran ÜSTEK

The aim of this study was to investigate the effects of dietary linseed oil (LO), sesame oil (SO) and olive oil (OO) on growth performance, body composition, tissue fatty acid and fatty acid metabolism of juvenile rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. Fish with an initial average weight of 7,42 g were used for feeding trials during a period of 60 days.

Growth performance of fish were calculated as individual growth performance, specific growth rate, feed conversion ratio, condition factor, body composition, hepatosomatic and viscerosomatic index values. Proximate composition and fatty acid composition of experimental feeds or fish and liver fatty acid composition of fish were determined.

At the end of the feeding trials, mean individual weight gain of the fish was found the lowest value (61,17 g) in SO group ($P<0,05$). No significant differences were found among the other experimental diets which were used vegetable oils ($P>0,05$). Specific growth rate, feed conversion ratio and condition factor were not influenced by dietary treatments.

Depending on the use of vegetable oil in diets increased the rates of n-6 PUFA increased. However, n-3 PUFA and n-3 HUFA ratio decreased except for the LO diet ($P<0,05$). In our study, tissue fatty acid profiles of fish were directly affected by oils used in diets.

In the study whole body fatty acid balance method was used to determine the fatty acid metabolism of rainbow trout. According to this method, the highest amounts of oxidation were found in 18C fatty acid groups ($P < 0,05$). Experimental fish were able to convert 18: 2n-6 fatty acids to 20: 2n-6 and 18: 3n-6 fatty acids.

The transcription rate of $\Delta 6$ desaturase and elongase enzymes that are effective in fish fatty acid metabolism measurements were performed. In the result of this measurement $\Delta 6$ desaturase enzyme activity was found the highest in sesame oil (SO) group that contains a high proportion of n-6 fatty acid. $\Delta 6$ desaturase enzyme activity were similar in the groups of linseed oil (LO) and olive oil (OO) which are rich in 18:3n-3 and 18:1n-9, respectively. $\Delta 6$ desaturase enzyme activity was found lowest in the control group. The elongase enzyme transcription rate was significantly different between experimental groups ($P < 0.05$). Elongase enzyme activity is highest in the control group and the lowest in OO group. Elongase enzyme activity of SO and LO groups were found similar.

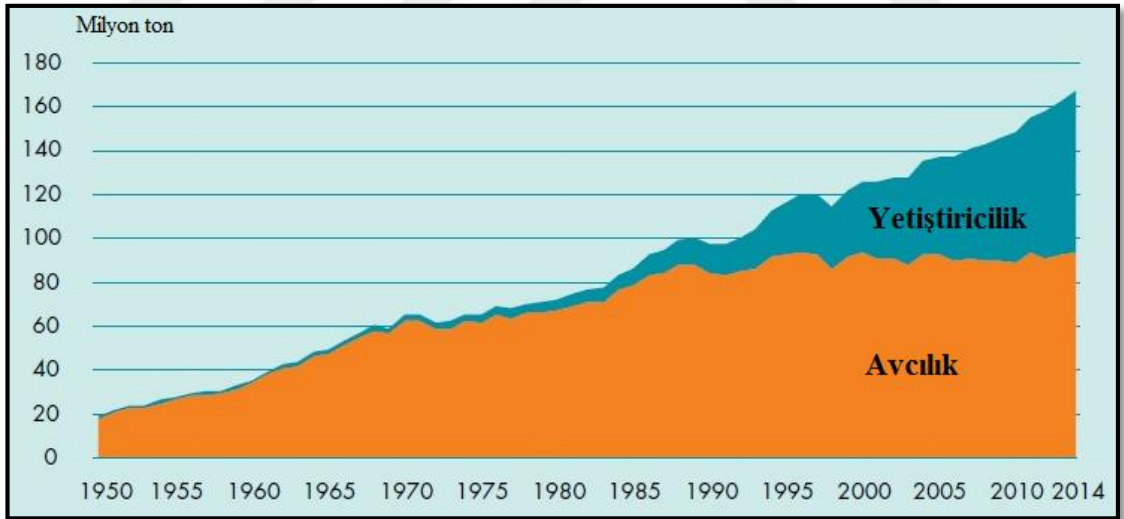
As a result of this research, $\Delta 6$ desaturase enzyme transcription rate measurement was carried out in our country for the first time in a very clear way. However $\Delta 5$ and $\Delta 9$ desaturase enzymes transcription rate measurements has not yet been fully clarified in the scientific world. Future studies are encouraged to conduct on this issue.

December 2017, 89 pages.

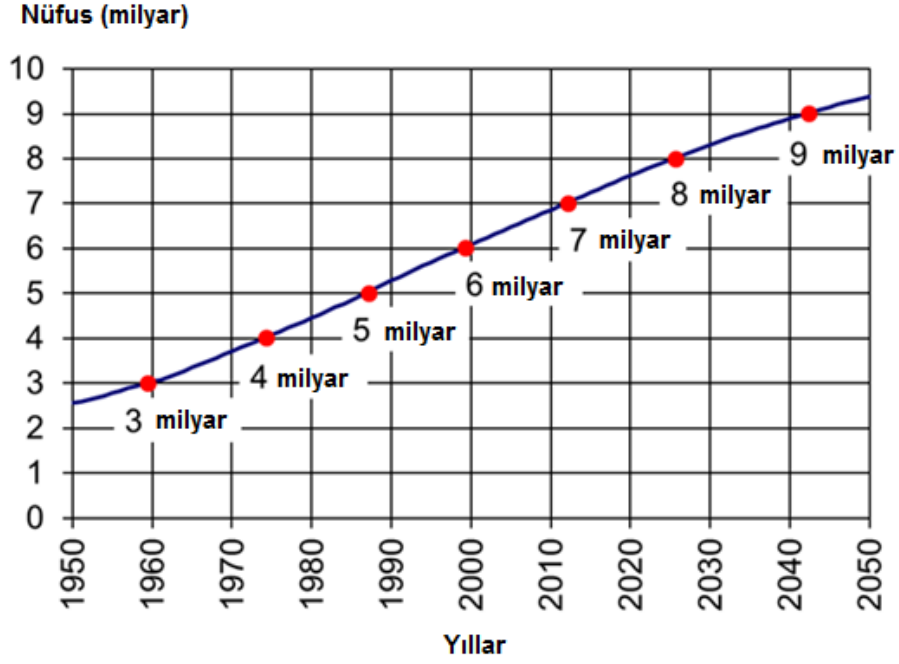
Keywords: Feeding, rainbow trout, vegetable oils, fatty acids, metabolism, desaturase, elongase

1. GİRİŞ

Akuakültür dünyanın hızla gelişen gıda üretim sektörlerinden birisidir. Dünyadaki insan nüfusunun artışıyla ortaya çıkan gıda ihtiyacının karşılanması için akuakültür alanındaki yatırımlara hız verilmiş ve son yıllarda yıllık üretim miktarındaki artışın (Şekil 1.1) yaklaşık olarak % 5 oranında gerçekleştiği bildirilmiştir (Pike ve Barlow, 2002; FAO, 2016). Birleşmiş Milletlerin hazırladığı bir raporda yılda ortalama 78 milyon hızla büyüyen dünya nüfusunun 2030 yılına kadar 8 milyarı bulacağı (Şekil 1.2) ve buna bağlı olarak gelecek 20 yıl içerisinde hayvansal ürün talebinin de iki kat artacağı bildirilmiştir (Anonim, 2008). FAO'nun 2014 yılı verilerine göre dünyadaki toplam su ürünleri üretiminin 167,2 milyon ton olduğu, ancak bu üretimin 93,4 milyon tonunun avcılık ve 73,8 milyon tonunun yetiştiricilik yoluyla elde edildiği rapor edilmiştir (FAO, 2016). Avcılık yoluyla elde edilen su ürünleri üretimi giderek azalmakta ve bu üretim artan dünya nüfusunun talebini karşılayamamaktadır. Bu nedenle gelecekte akuakültür üretiminin artması kaçınılmaz olacaktır (Ng ve diğ., 2007; Bostock ve diğ., 2017).



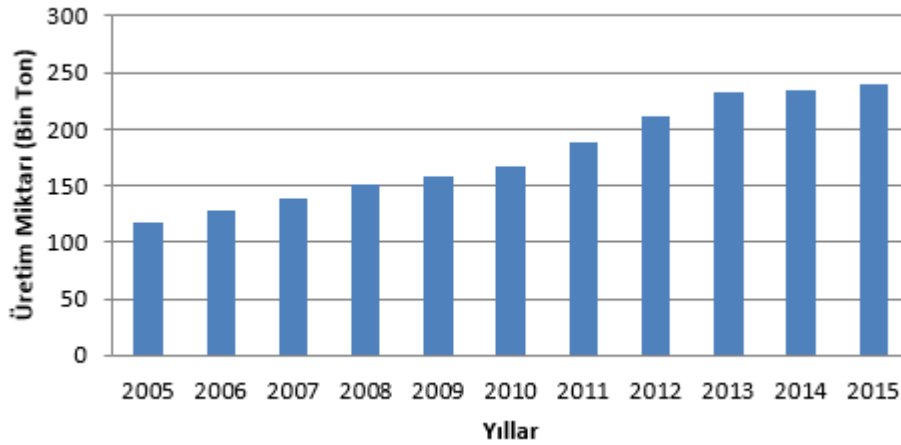
Şekil 1.1: Dünya su ürünleri üretimi (FAO, 2016).



Source: U.S. Census Bureau, International Data Base, June 2012 Update.

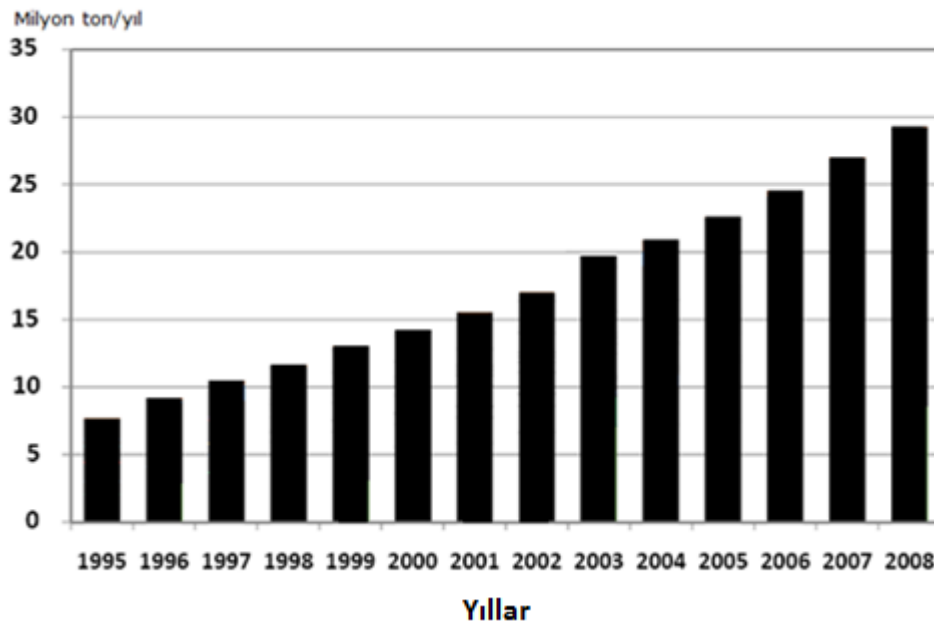
Şekil 1.2: Dünya nüfus artışı (Anonim, 2012).

Dünya akuakültür üretimindeki gelişmelere paralel olarak Türkiye’de de su ürünleri yetiştiriciliği hızlı bir gelişme göstermiştir. Türkiye’de 1971 yılında gökkuşağı alabalığı yetiştiriciliği ile başlayan akuakültür sektörü, 1985’li yıllarda deniz balıkları yetiştiriciliği alanında yapılan yatırımlarla giderek önem kazanmaya başlamıştır. Bu üretim 2000 yılında yaklaşık olarak 79 bin ton/yıl iken 2015 yılında 240,3 bin ton/yıl’a ulaşmıştır. Ülkemizde 2015 yılında yetiştiricilik yoluyla yapılan üretimin % 42,2’si iç sularda ve % 57,8’i ise denizlerde gerçekleşmiştir. Türkiye’de kültürü en çok yapılan türler arasında iç sularda % 42,1 oranı ile gökkuşağı alabalığı (*Oncorhynchus mykiss*), denizlerde % 31,3 oranı ile levrek (*Dicentrarchus labrax*) ve % 21,6 oranıyla çipura (*Sparus aurata*) balıkları yer almıştır (TÜİK, 2016). Türkiye’de, son on yılda yetiştiricilik yoluyla elde edilen su ürünleri üretimi Şekil 1.3’te gösterilmiştir.



Şekil 1.3: Yıllar itibarıyla Türkiye’deki akuakültür üretimi (TÜİK, 2016).

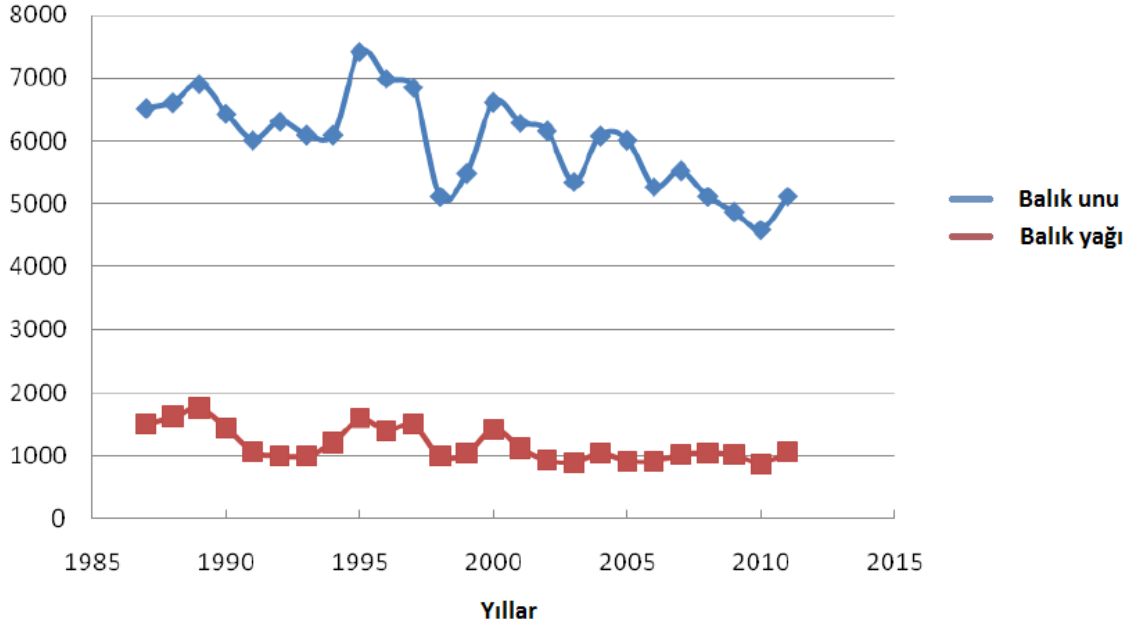
Dünyadaki akuakültür üretiminin artışıyla birlikte yem tüketimi de artmaktadır. Dolayısıyla dünya balık yemi üretiminde (Şekil 1.4) önemli düzeyde artış olmaktadır (FAO, 2008; Tacon ve diğ., 2010). Dünya akuakültür yem üretim miktarı 2008 yılında yaklaşık olarak 29 milyon ton/yıl iken Tacon ve diğ., (2010) nin yaptıkları bir çalışmada bu yem üretim miktarının 2020 yılı itibariyle 70 milyon ton/yıl’ı aşacağı bildirilmiştir.



Şekil 1.4: Dünya balık yemi üretim miktarları (milyon ton/yıl) (Tacon ve diğ., 2010).

Akuakültürde kullanılan yemlerin temel hammaddeleri balık unu ve balık yağıdır. Bilindiği gibi balık yemlerinde balık unu temel protein kaynağı ve balık yağı ise temel enerji kaynağı olarak kullanılmaktadır. Ancak balık unu ve balık yağının dünyadaki üretim miktarları giderek

azalmaktadır (Şekil 1.5). Dolayısıyla bu hammaddelerin fiyatları da artmaktadır (Tacon ve Metian, 2008; IFFO, 2009; Turchini ve diğ., 2011).



Şekil 1.5: Dünya balık unu ve balık yağı üretiminin 1985-2011 yılları arasındaki değişimi (bin ton/yıl) (IFFO, 2009; FAO, 2016).

Entansif balık yetiştiriciliğinde işletme giderlerinin yaklaşık olarak % 40-60'ını kullarılan yemler oluşturmaktadır. Ancak balık yemi fiyatları da formülasyonlarda yüksek oranlarda kullarılan balık unu ve balık yağı fiyatlarının artması nedeniyle giderek artmaktadır (Meyers, 1994; Tacon ve Metian, 2008).

Karnivor beslenme alışkanlığına sahip olan balıkların yemlerinde temel hammadde olarak yüksek oranda balık unu ve balık yağı kullanılmaktadır. Benzer beslenme özelliğine sahip olan gökkuşakğı alabalığının yemlerinde de yaklaşık olarak % 40-50 oranında protein ve % 15-20 oranında yağ bulunması gerekmektedir (FAO, 2012). Bu balık türleri için hazırlanan yemlerde, genel besin maddeleri ile birlikte esansiyel besin maddelerinin yeterli ve dengeli oranlarda bulunması için yüksek oranlarda balık unu ve balık yağının kullanılmasının bir zorunluluk olduğu bilinmektedir. Bu yem hammaddelerinin yüksek oranda kullanılması yem fiyatlarını da önemli ölçüde artırmaktadır. Günümüzde, özellikle balık yağı üretimi artan balık yemi ihtiyacını karşılayamayacak duruma gelmiştir. Bundan dolayı akuakültür yemlerinde balık yağına alternatif yem maddeleri ile ilgili araştırmalar önem kazanmıştır. Balık yemlerinde bitkisel kaynaklı yem hammaddelerinin kullanılması daha ekonomik yemlerin üretilmesini

sağlamaktadır. Bu nedenle yemlerde balık yağı yerine bitkisel kaynaklı yağların kullanılması da yem maliyetini önemli ölçüde düşürürken balık yağına olan bağımlılığı da azaltmaktadır (Mourete ve Bell, 2006; Tacon ve Metian, 2008; Glencross, 2009; Köse ve Yıldız, 2013).

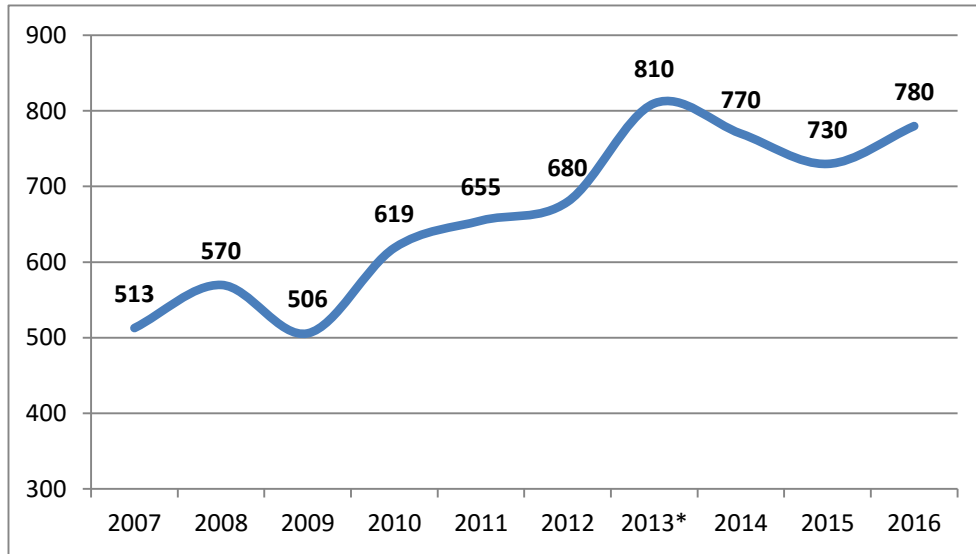
Amerika Birleşik Devletleri Tarım Bakanlığı'nın 2016 yılı verilerine göre dünyadaki bitkisel yağ üretiminin en büyük miktarını palm yağı oluşturmaktadır. İkinci sırada üretimi yapılan en yaygın bitkisel yağ ise soya yağıdır. Bu üretim miktarlarını sırasıyla kolza ve ayçiçek yağları takip etmektedir (USDA, 2016). Bu bitkisel yağlar akuakültür yemlerinde balık yağına alternatif yağ kaynağı olarak denenmektedir. Dünyadaki bitkisel yağ üretim miktarları Tablo 1.1'de sunulmuştur. Türkiye'deki yağlı tohum üretim değerleri Tablo 1.2'de ve bitkisel yağ üretim miktarları ise Şekil 1.6'da gösterilmiştir.

Tablo 1.1: Dünya bitkisel yağ üretim miktarları (milyon ton/yıl) (USDA, 2016).

Yağlar	Yıllar				
	2011	2012	2013	2014	2015
Palm Yağı	52	56	59	63	65
Soya Yağı	43	43	47	47	50
Kolza Yağı	24	25	26	27	27
Ayçiçek Yağı	15	14	16	15	15
Pamuk Yağı	5	5	5	5	5
Diğer Yağlar	19	18	18	18	19
Toplam	158	161	171	175	181

Tablo 1.2: Türkiye yağlı tohum üretim miktarları (ton/yıl) (TÜİK, 2016).

Yağlı tohumlar	Yıllar				
	2011	2012	2013	2014	2015
Ayçiçek	1.335,000	1.370,000	1.523,000	1.637,900	1.680,700
Pamuk	1.527,360	1.373,440	1.287,000	1.391,200	1.213,600
Kolza	91,239	110,000	102,000	110,000	120,000
Yerfıstığı	90,416	122,780	128,265	123,600	147,537
Soya	102,260	122,114	180,000	150,000	161,000
Haşhaş tohumu	45,077	3,844	19,244	16,223	30,730
Susam	18,000	16,221	15,457	17,716	18,530
Aspir	18,228	19,945	45,000	62,000	70,000
Keten tohumu	0	13	0	0	0
Kenevir tohumu	8	4	1	1	1
Toplam	3.227,588	3.138,361	3.299,967	3.508,640	3.442,098



* 2013 yılı itibariyle Aspir, Keten ve Ketencik yağı verileri dahil edilmiştir.

Şekil 1.6: Türkiye bitkisel ham yağ üretim miktarları (bin ton/yıl) (BYSD, 2016).

Bilindiği gibi balık yağları balıkların ihtiyaç duyduğu çok doymamış yağ asitlerinden (PUFA) özellikle eikosapentaenoik asit (EPA, 20:5n-3) ve dokosaheksaenoik asit (DHA, 22:6n-3)'leri yüksek oranda içermektedir. Bitkisel yağlar ise EPA ve DHA'ları içermezken bu yağlar n-6 ve

n-9 serisindeki PUFA'ları yüksek oranda ihtiva etmektedir (Sargent ve diğ., 2002; Yıldız ve Şener, 2004; Mourente ve Bell, 2006; Glencross, 2009; Turchini ve diğ., 2011).

Yapılan bu araştırmada, balık yağı yerine farklı oranlarda susam, keten tohumu ve zeytin yağlarından oluşan formülasyonlar kullanılmıştır. Keten tohumu yaklaşık olarak % 60 oranında linolenik asit serisinden 18 karbonlu (18:3n-3), % 15 oranında linoleik asit serisinden 18 karbonlu (18:2n-6) ve % 17 oranında oleik asit serisinden 18 karbonlu PUFA'ları içermektedir (Pickova ve Mørkøre, 2007). Bu özellikleri nedeniyle keten tohumu yağının tatlı su balığı türlerinin diyetlerinde balık yağına alternatif bitkisel yağ olarak kullanılabileceği rapor edilmiştir (Izquierdo ve diğ., 2005). Yapılan araştırmalarda, salmonidlerde ve diğer deniz balığı türlerinin diyetlerinde kullanılan keten tohumu yağının balıkların büyüme performansını etkilemediği ancak vücuttaki çok doymamış yağ asitlerinden HUFA'ların miktarını büyük bir oranda düşürdüğü belirtilmiştir (Bell ve diğ., 2003). Susam yağının, % 32,7- 53,9 oranları arasında oleik (n-9) ile birlikte % 39,3-59,0 oranları arasında linoleik serisinden (n-6) yağ asitlerini içerdiği rapor edilmiştir (Baydar, 2005; Köse ve Yıldız, 2013; Yıldız ve diğ., 2015). Benzer şekilde zeytin yağı da yüksek oranda (% 75) 18C'lu n-9 yağ asitlerini içermektedir (Yıldız ve Şener, 2004; Canola-council, 2009). Bilindiği gibi gökkuşağı alabalıkları, diyetlerinde linolenik serisindeki yağ asitleri ile birlikte linoleik serisindeki yağ asitlerine de gereksinim duymaktadırlar (Otha ve Watanabe, 1996; Sargent ve diğ., 1997; Kiesling ve diğ., 2001).

Diyetin yağ asidi kompozisyonunun kültürü yapılan balık türlerindeki yağ asitlerinin biyolojik dönüşümlerini etkileyen enzim aktivitesi üzerinde düzenleyici bir etkiye sahip olduğu bilinmektedir. Özellikle, diyetlerde kullanılan balık yağı yerine daha ekonomik alternatif yağ kaynaklarının kullanılması desaturaz ve elongaz enzimlerinin aktivitesini ve transkripsiyon oranını arttırmaktadır. Bu enzimler kısa zincirli olan 18C'lu n-3 ve n-6 serisindeki yağ asitlerinden daha uzun zincirli çok doymamış yağ asitlerinin (LC-PUFA) üretiminden sorumludur (Torstensen ve Tocher, 2010; Thanuthong ve diğ., 2011). Ayrıca 18:3n-3 yağ asidinin n-3 HUFA'ya dönüşüm oranının diyetin yağ asidi kompozisyonundan etkilendiği bilinmektedir (Sargent ve diğ., 2002; Turchini ve diğ., 2006). Tatlı su balığı diyetlerinde balık yağı yerine bitkisel yağ kullanımı $\Delta 6$ desaturaz aktivitesini artırmaktadır (Bell ve diğ., 2002; Zheng ve diğ., 2005). Yapılan araştırmalarda (Sargent ve diğ., 2002; Nakamura ve Nara, 2004; Turchini ve diğ., 2006; Turchini ve diğ., 2011) özellikle tatlısu balıklarının $\Delta 5$, $\Delta 6$ ve $\Delta 9$

enzimleri yardımıyla 18C’lu linolenik, linoleik ve oleik asitleri 20-24C’lu yağ asitlerine dönüştürebildikleri rapor edilmiştir. Deniz balıklarında ise bu durum ya çok sınırlı düzeyde gerçekleşmekte ya da hiçbir şekilde gerçekleşmemektedir (Sargent ve diğ., 2002; Vagner ve Santigosa, 2011). Bu sebeple deniz balıklarının diyetlerinde HUFA’lara gereksinim duyulur (Kanazawa ve diğ., 1978; Sargent ve diğ., 2002). Deniz balıklarında düşük desaturasyon kapasitesinin sebepleri henüz tam olarak bilinmemektedir. Bu durumun karnivor yaşam şekline adaptasyondan kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu konudaki araştırmaların büyük bir çoğunluğu gökkuşağı alabalığı (*Oncorhynchus mykiss*) ile yürütülmüş ve bu türün metabolik reaksiyonlar sonucunda bitkisel yağlarda bulunan 18:3n-3 ve 18:2n-6 yağ asitlerini sırasıyla EPA ve DHA ile araşidonik aside (ArA, 20:4n-3) dönüştürebildikleri belirtilmiştir (Sargent ve diğ., 2002; Nakamura ve Nara, 2004; Turchini ve diğ., 2011). Linoleik (LA, 18:2n-6) ve linolenik (LNA, 18:3n-3) yağ asitleri balıkların da içerisinde bulunduğu omurgalılar tarafından vücutta sentezlenemediklerinden dolayı esansiyel yağ asitleri olarak adlandırılırlar.

Günümüze kadar yapılan balık besleme araştırmalarında, temel yağ asitlerinin balıkların optimum büyüme, gelişme, yaşama oranı ve vücut kompozisyonu üzerindeki etkisi ve balıkların bu yağ asitlerine olan ihtiyaçları ile ilgili konular çalışılmıştır (Bell ve diğ., 2002; Izquierdo ve diğ., 2003; Huang ve diğ., 2008; Köse ve Yıldız, 2013; Yıldız ve diğ., 2013; Yıldız ve diğ., 2015). Ancak bilimsel gelişmelerin artması ve teknolojinin daha fazla kullanılmasıyla birlikte balıklardaki yağ asidi metabolizmasının nasıl gerçekleştiği merak edilen konular arasında yer almıştır. Bu konu ile ilgili yapılan araştırmalarda, deniz ve tatlı su balıkları arasında yağ asitlerini kullanma bakımından farklılıklar olduğu bildirilmiştir. Bu nedenle bazı araştırmacılar (Turchini, ve diğ., 2006; Turchini, ve diğ., 2007) balıklardaki yağ asitleri metabolizmasının sayısal verilerle değerlendirilmesi ve hesaplanması için yöntem geliştirmeye başlamışlardır. Son zamanlarda geliştirilen “Tüm Vücut Yağ Asidi Denge Metodu” yağ asidi metabolizmasını değerlendirmek için kolay ve güvenilir bir in vivo metottur.

Yukarıda verilen bilgilere dayanarak, bu doktora tez çalışmasında gökkuşağı alabalığı (*Oncorhynchus mykiss*) diyetlerinde balık yağı yerine kullanılan keten tohumu, susam ve zeytin yağlarının balıklarda yağ asidi metabolizmasını nasıl etkilediği araştırılmıştır. Ayrıca bu yağların balıklarda büyüme performansına, yem kullanımına, vücuttaki besin maddeleri miktarına ve yağ asidi kompozisyonuna etkileri incelenmiştir.

2. GENEL KISIMLAR

GÖKKUŞAĞI ALABALIĞI (*Oncorhynchus mykiss* W., 1792)'NİN BİYOLOJİK VE YETİŞTİRİCİLİK ÖZELLİKLERİ

Kuzey Amerika kökenli bir balık türü olan gökkuşağı alabalığı Alaska'dan Meksika'ya kadar yayılım göstermektedir. İlk olarak 1879 yılında Kaliforniya'da üretime alınan gökkuşağı alabalığı üretimi 1950'li yılların başlarında akuakültür amacıyla pelet yemlerin oluşturulmasıyla geliştirilmiştir. Dünyada gökkuşağı alabalığı yetiştiriciliğini yapan temel ülkeler; Avrupa ülkeleri, Kuzey Amerika, Avustralya, Şili ve Japonya olarak rapor edilmiştir. Gökkuşağı alabalığının üretildiği bölgeler (Şekil 2.1) şekil üzerinde turuncu renkte belirtilmiştir (FAO, 2010). Türkiye'de ise gökkuşağı alabalığının bilimsel düzeydeki yetiştiriciliğine 1971 yılında başlanmıştır.



Şekil 2.1: Dünyada gökkuşağı alabalığı yetiştiriciliği yapan ülkelerin dağılımı (FAO, 2010).

Gökkuşağı alabalığı fuziform vücut şekline sahip olup, sırtta genellikle kenarları siyah renkte olan bir yağ yüzgeci (adipöz) vardır. Yanal çizgi boyunca uzanan pembe veya kırmızımsı bir bant mevcuttur. Sırt yüzgeci 10-12 adet, anal yüzgeci 8-12 adet yumuşak ışına ve kuyruk yüzgeci ise 19 adet ışına sahiptir (FAO, 2010; FishBase, 2010). Pulları, sikloit olup yanal çizgi, öne doğru 100 ile 150 adet pulla kaplanmıştır. Kafanın üst kısmı ve arkası çelik mavisi, mavi-yeşil, sarı-yeşil ve hemen hemen kahverengidir. Vücut kenarları gümüşü, beyaz veya soluk sarı-yeşilden griye doğru değişen renklindedir. Karın kısmı gümüşü beyaz veya sarıdır. Yüzgecinde ve vücudunda (ventral yüzeyi hariç) bol miktarda küçük siyah benekler bulunmaktadır. Yumurtlama zamanında anaç balıklarda renk koyulaşır ve yanal çizgideki kırmızı renk belirgin hale gelir (Lindhors-Emme, 1990; Emre, 2004; FAO, 2010) (Şekil 2.2).



Şekil 2.2: Gökkuşağı alabalığı (*Oncorhynchus mykiss*).

Gökkuşağı alabalığı, kolay yumurta verebilen, hızlı büyüyen, geniş çevresel değişimlere karşı tolerans yeteneği yüksek olan, kültür koşullarına kolay uyum sağlayabilen, yemden yararlanma kabiliyeti yüksek olan, hastalıklara karşı dayanıklı olan ve yapay besinlerle üretilen bir balık türüdür (Lindhors-Emme, 1990; FAO, 2010).

Gökkuşağı alabalığı genel olarak berrak, temiz, oksijen bakımından zengin ve sıcaklığın 12 °C civarında olduğu sularda yaşamaktadır. Ancak 1°C'den düşük ve 20°C'den yüksek su sıcaklıklarında ölümlerin meydana geldiği bildirilmiştir. Gökkuşağı alabalığı yetiştiriciliği için optimum su sıcaklığı yaklaşık olarak 16-18 °C'dir. Çözünmüş oksijen değerinin 6 mg/l'den daha yüksek ve pH'ının 6,5-8,5 değerleri arasında olması gerektiği belirtilmiştir. Yumurtlama ve büyüme 9-14 °C su sıcaklığında meydana gelir. Balığın yaşadığı su ortamındaki besinlerin varlığı ve uygun su sıcaklığı büyümeyi ve gelişmeyi önemli ölçüde etkiler (Billard, 1990; FAO, 2010; FishBase, 2010).

YAĞ ASİTLERİ VE TÜREVLERİ

Yağ asitleri bitki ve hayvan organizmasında gerek serbest gerekse bileşikler halinde bulunur. Doğada; hayvan, bitki ve mikroorganizmalardan yaklaşık 100'den fazla çeşitte yağ asidi izole edilmiştir. Yağ asitleri, hidrokarbon zincirine sahip mono karboksilik organik asitler olup yapılarında 4-36 karbonlu hidrokarbon zincirinin ucunda karboksil grubu bulunur. Yağ asitleri genellikle kısa sembollerle ifade edilmektedir. Bu sembollerde yağ asitlerinin içerdiği karbon sayısı belirtilir ve içerdiği çift bağın sayısı ve pozisyonu ifade edilir. Doğal yağlarda bulunan yağ asitleri genel olarak düz zincir türevlerine sahip olup doymuş ve doymamış yağ asitleri olarak iki şekilde sınıflandırılmaktadır (Mengi, 1991; Gözükara, 1997).

2.2.1. Doymuş Yağ Asitleri

Karbon-karbon atomları arasında tek bir kovalent bağdan (-C-C-) oluşan, oda sıcaklığında genelde katı halde olan yağ asitleri doymuş yağ asitleri olarak isimlendirilir. Genel formülleri $C_nH_{2n+1}COOH$ 'dir. Sistematik isimlendirmede karbon atomu sayısına -anoik takısı eklenmektedir (Mengi, 1991).

2.2.2. Doymamış Yağ Asitleri

Karbon zinciri üzerinde çeşitli konumlarda, karbon-karbon arasında bir veya daha fazla kovalent çift bağ içeren, oda sıcaklığında sıvı halde olan yağ asitleri doymamış yağ asitleri olarak isimlendirilir. Doymamış yağ asitlerinin $C_nH_{2n-a}COOH$ şeklindeki genel formüllerinde, a yerine çift bağ sayısı konmaktadır. Büyük çoğunluğu bitkisel kaynaklıdır. Doymamış yağ asitleri molekül dizilişlerinde karbon atomları arasında çeşitli sayılarda çift bağ bulundurmaktadır. Karbon zincirinde tek bir çift bağ taşıyan yağ asitleri tek doymamış yağ asitleri (MUFA) olarak adlandırılırlar. Molekül dizilişinde karbon atomu sayısı 18-20 arasında ve 2-4 adet çift bağa sahip olan yağ asitlerine çok doymamış yağ asitleri (PUFA) ve 20'den fazla karbon atomuna sahip olan yağ asitleri ise aşırı doymamış yağ asitleri (HUFA) olarak tanımlanmaktadır (Mengi, 1991; Gözükara, 1997; Onat ve Emerk, 1997).

Doymamış yağ asitleri, karbon zincirinde bulunan ilk çift bağın durumuna göre sınıflandırılırlar. Metil grubundan itibaren üçüncü ve dördüncü karbon atomları arasında çift bağa sahip olanlara omega-3 veya n-3 yağ asitleri, altı ile yedinci karbon atomları arasında çift bağı olanlar omega-6 veya n-6 yağ asitleri ve dokuz ile onuncu karbon atomları arasında çift bağa sahip olan yağ asitleri ise omega 9 ya da n-9 olarak adlandırılırlar (Gözükara, 1997; Onat ve Emerk, 1997).

2.2.3. Esansiyel Yağ Asitleri

Hayvan vücudunda yeterli miktarda sentezlenemeyen ve yemlerinde zorunlu olarak bulunması gereken yağ asitleridir. Diyetlerdeki bu yağ asitlerinin eksikliği veya yetersizliği gibi durumlarda balıklarda büyüme ve gelişmede durma, bazı patolojik belirtiler ve ölümler meydana gelmektedir (Mengi, 1991; Gözükara, 1997; Sargent ve diğ., 2002).

2.3. BALIKLARIN YAĞ VE ESANSİYEL YAĞ ASİDİ İHTİYAÇLARI

Farklı balık türlerinin yemlerinde ihtiyaç duyulan yağ oranları da farklıdır. Genel olarak balık yemlerinde, yemin kuru ağırlığının %10-20'si oranında yağ kullanımı ile balık dokularında yağ birikimi olmamakta ve bununla birlikte büyüme aşamasında proteinlerin de etkili bir şekilde kullanıldığı bilinmektedir (Sargent ve diğ., 2002).

Günümüzde gelişen ekstrüzyon teknolojisiyle birlikte salmonlarda %30-35'e kadar yağ içeren ekstrüde yemler üretilmektedir. Gökkuşuğu alabalığında ise bu yağ oranı %20'ye kadar çıkabilmektedir (FAO, 2012).

Kültürü yapılan balıkların diyetlerinde kullanılan lipitler, balıklarda ihtiyaç duyulan enerjiyi sağlamak üzere önemli olan esansiyel yağ asidi (EFA) kaynağıdır. Balıklar esansiyel yağ asitlerini hücresel yapı ve biyolojik zarların korunması için kullanırlar (Sargent ve diğ., 2002).

Diğer bütün vertebralılarda olduğu gibi balıklar da normal büyüme, gelişme ve üremeleri için uzun zincirli çok doymamış üç yağ asidine (PUFA) ihtiyaç duyarlar. Bu yağ asitleri DHA, EPA ve ARA'lardır (Sargent ve diğ., 1995; Sargent ve diğ., 2002; Mourente ve Bell, 2006).

Balıklardaki lipit metabolizmasıyla ilgili yapılan çalışmalarda esansiyel yağ asidi ihtiyacının türlere, beslenme alışkanlıklarına, fizyolojik duruma ve su sıcaklığına bağlı olarak değiştiği bildirilmiştir. Esansiyel yağ asidi ihtiyacının özellikle türlere göre önemli ölçüde farklı olduğu ve esansiyel yağ asidi ihtiyaçları bakımından en dikkat çekici ve karakteristik farkın tatlı su ve deniz balıkları arasında bulunduğu bilinmektedir (Tablo 2.1). Deniz balıkları n-3 serisindeki HUFA'lara yüksek miktarda ihtiyaç gösterirken tatlı su balıkları n-3 HUFA'lar ile birlikte n-6 serisindeki yağ asitlerine de ihtiyaç göstermektedir. Bu yağ asitleri balıklarda iyi bir büyüme ve yemden yararlanma oranı ile yemdeki proteinden önemli ölçüde tasarruf etmesini sağlamaktadır. Linolenik serisindeki 18 karbonlu yağ asitlerinden DHA ile EPA üretimi ve linoleik serisindeki 18 karbonlu yağ asitlerinden ARA üretiminin tatlı su balıklarında daha yüksek olduğu rapor edilmiştir (Sargent ve diğ., 2002; Glencross, 2009; Tocher, 2010).

Diğer balıklarda olduğu gibi, gökkuşuğu alabalıkları da normal gelişimleri için yemlerinde n-3 serisindeki yağ asitlerinden özellikle EPA ile DHA ve n-6 serisindeki yağ asitlerinden ARA'lara ihtiyaç duyarlar (Sargent ve diğ., 1997; Kiesling ve diğ., 2001; Bell, 2006; Glencross, 2009). Normal gelişim için gökkuşuğu alabalığı yemlerinde yemin % 0,7-1'i oranında 18:3n-3

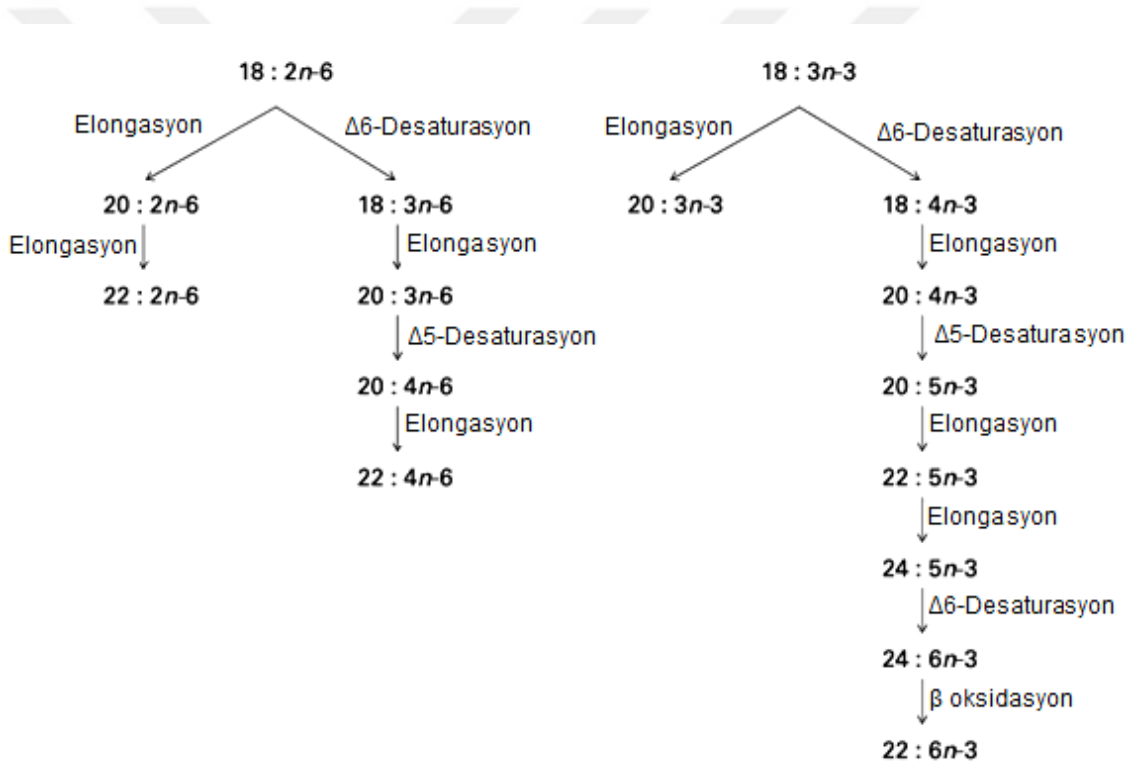
yağ asidinin bulunması gerekmektedir (Castell ve diğ., 1972; Emidio ve diğ., 1993; Otha ve Watanabe, 1996). Yapılan çalışmalarda az ya da aşırı miktarda esansiyel yağ asidi içeren diyetlerle beslenen gökkuşağı alabalıklarının kas lipid düzeyinde azalma olduğu gözlenmiştir (Watanabe, 1982; Grene ve Selivonchick, 1990; Tucker, 1998).

Tablo 2.1: Kültürü yapılan bazı balık türlerinin esansiyel yağ asidi ihtiyaçları (Sargent ve diğ., 2002).

Türler	Esansiyel yağ asidi ihtiyaçları	Kuru diyetle % olarak	Kaynaklar
Gökkuşağı alabalığı (<i>Oncorhynchus mykiss</i>)	18:3n-3 n-3 HUFA	0,7-1,0 0,4-0,5	Castell ve diğ., 1972; Takeuchi ve Watanebe, 1976
Köpek sombalığı (<i>Oncorhynchus keta</i>)	18:2n-6 18:3n-3	1,0 1,0	Takeuchi ve diğ., 1979
Alp alabalığı (<i>Salvelinus alpinus</i>)	18:3n-3	1,0-2,0	Yang ve diğ., 1994
Sazan balığı (<i>Cyprinus carpio</i>)	18:2n-6 18:3n-3	1,0 0,5-1,0	Takeuchi ve Watanebe, 1977
Nil tilapya (<i>Oreochromis niloticus</i>)	18:2n-6	0,5	Takeuchi ve diğ., 1983
Tilapya zilli (<i>Oreochromis zilli</i>)	18:2n-6	1,0	Kanazawa ve diğ., 1980
Japon yılan balığı (<i>Anguilla japonica</i>)	18:2n-6 18:3n-3	0,5 0,5	Takeuchi ve diğ., 1980
Kanal kedi balığı (<i>Ictalurus punctatus</i>)	18:3n-3 n-3 HUFA	1,0-2,0 0,5-0,7	Satoh ve diğ., 1989
Kalkan balığı (<i>Scophthalmus maximus</i>)	n-3 HUFA AA	0,8 ~0,3	Gatesoupe ve diğ., 1977; Castell ve diğ., 1994
Kırmızı mercan balığı (<i>Pagrus major</i>)	20:5n-3 22:6n-3	0,5 0,5	Yone, 1978; Takeuchi ve diğ., 1990
Çipura (<i>Sparus aurata</i>)	n-3 HUFA n-3 HUFA DHA:EPA	0,9 (DHA:EPA)=1 1,9 (DHA:EPA)=0,5 0,5	Kalogeropoulus ve diğ., 1992; Ibeas ve diğ., 1997
Levrek (<i>Dicentrarchus labrax</i>)	n-3 HUFA	1,0	Coutteau ve diğ., 1996

2.4. BALIKLARDA YAĞ ASİDİ METABOLİZMASI

Linoleik ve linolenik yağ asitleri balıkların da içerisinde bulunduğu omurgalılar tarafından vücutta sentezlenemezler ve dolayısıyla esansiyel yağ asitleri olarak adlandırılırlar. Bu 18C'lu esansiyel yağ asitleri desaturasyon (yağ asitlerinin çift bağ sayılarının artırılması) ve elongasyon (yağ asitlerinin karbon atomlarının uzatılması) yoluyla HUFA'ya dönüşmektedir. Bu dönüşüm balık türüne, boyutuna, yaşam evresine, su sıcaklığına ve yemin özelliğine bağlıdır (Tocher ve diğ., 2000; Stubhaug ve diğ., 2005). Şekil 2.3'te balıklardaki iki önemli yağ asidinin ($20:5n-3$ ve $22:6n-3$) n-6 ve n-3 PUFA'lardan nasıl sentezlendiği ile birlikte elongasyon ve desaturasyon geçiş yolları gösterilmiştir.



Şekil 2.3: Balıklarda yağ asidi metabolizması (Çok doymamış yağ asitleri).

Şekilde de görüldüğü gibi $18:3n-3$ 'ün $20:5n-3$ 'e ve daha sonra $22:6n-3$ 'e dönüştürülmesi için $\Delta 6$ ve $\Delta 5$ desaturazlar ile elongaz enzimlerinin vücuttaki mevcudiyeti önemlidir.

2.5. LİTERATÜR ÖZETİ

Balık yemlerinde balık yağına alternatif olarak kullanılan bitkisel yağlar detaylı olarak araştırılmaktadır (Bell ve diğ., 2002; Bell ve Sargent, 2003; Yıldız ve Sener, 2004; Piedecausa ve diğ., 2007; Glencross, 2009; Yıldız ve diğ., 2013; Köse ve Yıldız, 2013). Yemlerde balık yağı yerine bitkisel yağ kullanımı ile balıktaki PUFA sentezinin moleküler ve kimyasal mekanizmasında değişimler meydana geldiği bildirilmiştir (Turchini ve diğ., 2007; Turchini ve diğ., 2009).

Fizyolojik olarak balıklar için esansiyel olan yağ asitleri $20:4n-6$, $20:5n-3$ ve $22:6n-3$ 'tür. Balıkların bu yağ asitlerini mutlaka yemlerle birlikte alması gerekmektedir. Bazı balık türlerinde kısa zincirli PUFA'lardan biyoçeşvim yolu ile $20:4n-6$, $20:5n-3$ ve $22:6n-3$ üretilmektedir. Bu üretim bazı enzimlerin ($\Delta 5$ desaturaz, $\Delta 6$ desaturaz ve elongaz) varlığı ile bağıntılıdır. Radyoaktivite *invivo* çalışmaları $18:2n-6$ 'dan $20:4n-6$ ve $18:3n-3$ 'ten $20:5n-3$ yağ asidi üretiminin olduğunu göstermiştir. Daha sonra yapılan *in vitro* hücre çalışmalarında salmon, kalkan ve çipura balıklarından alınan karaciğer örnekleri incelendiğinde $18:3n-3$ 'ten $20:5n-3$ yağ asidine biyoçeşviminin deniz balıklarında sınırlı olduğu saptanmıştır (Tocher ve Ghioni, 1999; Torstensen ve Tocher, 2010).

Bell ve diğ. (2002) Atlantik salmonu (*Salmo salar*) diyetlerinde balık yağı yerine palm yağı kullanmış ve bu diyetlerle beslenen balıkların büyümeleri ve yemden yararlanmalarında olumsuz bir etki görülmediğini belirtmişlerdir. Ancak balığın doku ve karaciğerindeki yağ asitlerinin diyetle kullanılan palm yağında yüksek oranda bulunan 18 karbonlu $n-9$ ve $n-6$ yağ asitlerinden önemli derecede etkilendiği bildirilmiştir.

Richard ve diğ. (2006) yaptıkları çalışmada, balık yağı yerine palm, kolza ve keten tohumu yağlarını kullanarak hazırladıkları yemlerle deniz levreğini beslemişlerdir. Araştırma sonucunda bitkisel yağların balıkların et ve karaciğerindeki yağ miktarını ve büyüme performansını etkilemediğini belirtmişlerdir.

Benzer şekilde balık yağı yerine soya ve keten tohumu yağları içeren diyetlerle beslenen sivriburun karagöz (*Diplodus puntazzo*) balıklarının büyümelerinde ve yemden yararlanma oranlarında herhangi bir fark görülmediği, ancak soya yağı içeren diyetle beslenen balıklarda hepatosomatik indeksin, balık yağı içeren diyetle beslenenlerden daha yüksek olduğu rapor edilmiştir. Balık kaslarındaki yağ asidi kompozisyonunun diyetle bulunan yağların yağ asidi

kompozisyonunu yansıttığını belirtmişlerdir. Özellikle diyetlerde kullanılan bitkisel yağlarla beslenen balıkların kaslarındaki ARA, EPA ve DHA düzeylerinin önemli ölçüde azaldığı rapor edilmiştir. Ayrıca diyetle kullanılan bitkisel yağların balık vücudundaki 18C'lu n-3 ve n-6 serisindeki yağ asitlerinin miktarlarını artırdığını bildirmişlerdir (Piedecausa ve diğ., 2007).

Köse ve Yıldız (2013) Gökkuşığı alabalığı diyetlerinde balık yağı yerine keten tohumu, susam ve ayçiçek yağlarından oluşan bir karışım kullanmışlardır. Bu diyetlerle beslenen balıkların büyüme performansı ve yağ asidi kompozisyonu incelendiğinde juvenil gökkuşığı alabalığı diyetlerinde keten tohumu, susam ve ayçiçek yağ karışımlarının kısmen (balık yağı yerine %70 oranında) ya da tamamen kullanılması sonucunda olumsuz bir etki görülmediği rapor edilmiştir.

Gökkuşığı alabalığı ile yapılan birçok araştırmada (Greene ve Selivonchek, 1990; Caballero ve diğ., 2002; Yıldız, 2004; Köse ve Yıldız, 2013) bitkisel yağlar içeren yemlerle beslenen balıkların büyüme performansının balık yağı içeren yemlerle beslenen balıklarla benzer bulunduğu rapor edilmiştir. Ancak aynı araştırmalarda, balıkların vücudundaki yağ asidi kompozisyonunun yemlerde kullanılan yağlardan önemli düzeyde etkilendiği de bildirilmiştir. Soya, kanola, palm ve zeytin yağları gibi bitkisel yağlarla beslenen gökkuşığı alabalıklarının dokularındaki EPA miktarının diyetteki oranından daha düşük ve DHA miktarının diyetteki oranından daha yüksek olduğu belirtilmiştir

Günümüze kadar yapılan balık besleme araştırmalarında, temel yağ asitlerinin balıkların optimum büyüme, gelişme, yaşama oranı ve vücut kompozisyonu üzerindeki etkisi ve balıkların bu yağ asitlerine olan ihtiyaçları ile ilgili konular çalışılmıştır (Bell ve diğ., 2002; Izquierdo ve diğ., 2003; Huang ve diğ., 2008; Köse ve Yıldız, 2013). Ancak bilimsel bilgilerin artması ve teknolojinin daha fazla kullanılmasıyla birlikte balıklardaki yağ asidi metabolizmasının nasıl gerçekleştiği merak edilen konular arasında yer almıştır. Bu konu ile ilgili yapılan araştırmalarda deniz ve tatlı su balıkları arasında yağ asitlerini kullanma bakımından farklılıklar olduğu bildirilmiştir.

Balıklarda EPA ve DHA, yağ asitlerinin biyolojik aktiviteleri sonucu meydana gelir. Bu durum tatlı su balıklarında, deniz balıklarına oranla daha belirgindir. Tüm tatlı su balıkları linolenik serisindeki 18 karbonlu yağ asitlerinden 18:3n-3'ün EPA ve DHA'ya ve linoleik serisindeki 18 karbonlu yağ asitlerinden 18:2n-6'nın ARA'ya dönüştürebilme yeteneğindedirler. Bu nedenlerden dolayı araştırmamızda gökkuşığı alabalığının kullanılmasını tercih edilmiştir.

Yapılan literatür taramalarında sayısal verilere dayalı olarak geliştirilen metotla ilgili yeterli sayıda araştırmaya rastlanmamıştır.

Francis ve diğ., (2007) bir tatlı su balığı olan *Maccullochella peelii peelii* ile yaptıkları bir araştırmada, yağ metabolizmasının diyetle kullanılan lipit kaynağından etkilendiğini rapor etmişlerdir. Araştırmacılar diyetlere ilave edilen bitkisel yağlardaki artışa bağlı olarak 18C’lu PUFA’ların elongasyon ve desaturasyon aktivitelerinde artış olduğunu bildirmişlerdir.

Turchini ve Francis (2009) gökkuşağı alabalıklarının 18C’lu yağ asitlerini 20-24C’lu yağ asitlerine nasıl dönüştürebildiklerini ölçmek amacıyla sayısal verilerle hesaplanabilen “Tüm Vücut Yağ Asidi Denge Metodu” nu geliştirmişlerdir. Bu metoda göre gerekli hesaplamaların yapılabilmesi için balıklardaki yağ asitlerinin elongaz ve desaturaz enzimleri ($\Delta 5$, $\Delta 6$ ve $\Delta 9$) vasıtasıyla nasıl dönüştürebildiklerini ölçmek amacıyla enzim aktivitelerinin düzeyini belirleme ihtiyacı duymuşlardır. Yaptıkları bu çalışma ile gökkuşağı alabalıklarındaki yağ asitlerinin elongasyonu ve desaturasyonu hakkında önemli değerlendirmeler yapmışlardır.

Benzer şekilde Francis ve diğ. (2009) *Maccullochella peelii peelii* ile yaptıkları bir çalışmada, 18C’lu çok doymamış yağ asidi metabolizmasının nasıl gerçekleştiğini araştırmışlardır. Araştırmanın sonucunda yüksek miktarda 18C’lu PUFA içeren diyetle beslenen balıklarda $\Delta 6$ enzim aktivitesinin de yüksek olduğu görülmüştür. Enzimlerdeki bu yüksek aktivitenin 18C’lu yağ asitlerinin 20-24 karbonlu yağ asitlerine dönüştürme reaksiyonlarından kaynaklandığı belirtilmiştir.

Abdul Hamid ve diğ. (2016) yaptıkları bir araştırmada gökkuşağı alabalığı (*Oncorhynchus mykiss*) karaciğerinden ikinci bir fads2 cDNA klonladılar. Yaptıkları bu çalışma ile balıklarda lipid metabolizmasını düzenleyen biyosentetik yolların aydınlatılması yüksek seviyelerde n-3 LC-PUFA içeren ticari olarak kârlı bir ürün üreterek yemler için doğal yollarla yakalanan canlılara bağımlılığın azaltılmasını sağlayacağı sonucuna varmışlardır.

Bu araştırmada, gökkuşağı alabalığı (*Oncorhynchus mykiss* W., 1792) yavrularının diyetlerinde balık yağı yerine kullanılan keten tohumu, susam ve zeytin yağlarının balıklarda yağ asidi metabolizmasını nasıl etkilediği incelenmiştir. Ayrıca bu yağların balıklarda büyüme performansına, yem kullanımına, vücuttaki besin maddeleri miktarına ve yağ asidi kompozisyonuna etkileri araştırılmıştır.

3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1. MALZEME

3.1.1. Deney Yeri ve Süresi

Araştırmanın yemleme deneyleri İstanbul Üniversitesi Su Bilimleri Fakültesi Sapanca İçsu Ürünleri Üretimi Uygulama ve Araştırma Birimi'nde yürütülmüştür. Deney 29.04.2014-27.06.2014 tarihleri arasında 15 günlük 4 periyot ve toplam 60 günde tamamlanmıştır.

3.1.2. Araştırmada Kullanılan Balıklar

Araştırmada, 2014 yılı üretim dönemine ait ortalama ağırlıkları $42,18 \pm 0,15$ g olan toplam 240 adet gökkuşağı alabalığı (*Oncorhynchus mykiss* W., 1792) kullanılmıştır. Araştırma Birimi'nin büyütme havuzlarından rastgele seçilen balıklar, her tankta 30 adet olacak şekilde paralelli olarak 8 tanka yerleştirilmiştir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1: Araştırmada kullanılan balıklar.

3.1.3. Deney Tankları, Dışkı Toplama Sistemi ve Kullanılan Su

Deneyde hacimleri 1 m³ olan tabanı silindirokonik olan 8 adet dairesel fiberglass tank kullanılmıştır. Tankların su çıkış kısmına kontrollü vanalarla PVC borulardan dizayn edilmiş dışkı toplama sistemleri monte edilmiştir (Şekil 3.2).



Şekil 3.2: Deney tankları.

Araştırma süresince deneyde kullanılan suyun pH, çözülmüş O₂ (mg/l) ve sıcaklık (°C) değerleri her gün Eutech - CyberScan PD 300 Kİ marka multiparametre ile ölçülerek kaydedilmiştir. Deney tanklarında kaynak suyu kullanılmıştır.

3.1.4. Araştırmada Kullanılan Yemler

Araştırmada kullanılan yemler; İstanbul Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Sapanca İçsu Ürünleri Üretimi Uygulama ve Araştırma Birimi Yem Ünitesi'nde hazırlanmıştır. Yemlerde kullanılan hammaddeler ve yem katkıları ülkemizde balık yemi üreten farklı fabrikalardan temin edilmiştir. Ayrıca deney yemlerinde kullanılan yağlar ülkemizde yağ üretimi yapan fabrikalardan temin edilmiştir.

Deney yemlerinin yapımında % 350 balık unu, % 108 soya unu, % 40 tam buğday unu, % 160 buğday gluteni, % 80 mısır gluteni, % 50 bağlayıcı madde, % 30 vitamin karışımı, % 30 mineral karışımı ve % 2 oranında Cr_2O_3 kullanılmıştır. Enerji kaynağı olarak yem 1’de (Kontrol) % 150 oranında sadece balık yağı kullanılmıştır. Yem 2 (KTY) yem 3 (SY) yem 4’te (ZY) % 150 oranında sırasıyla keten tohumu, susam ve zeytin yağları kullanılmıştır. Deneyde kullanılan yem formülü Tablo 3.1’de, yemlerdeki besin maddeleri ile enerji değerleri Tablo 3.2’de ve deney yemi Şekil 3.3’te gösterilmiştir.

Tablo 3.1: Araştırmada kullanılan yem formülasyonu.

Hammaddeler	Diyetler (g/kg) ¹			
	Kontrol	KTY	SY	ZY
Balık Unu	350	350	350	350
Soya Unu	108	108	108	108
Tam Buğday Unu	40	40	40	40
Buğday Gluteni	160	160	160	160
Mısır Gluteni	80	80	80	80
Jelatin	50	50	50	50
Balık Yağı	150	0	0	0
Keten Tohumu Yağı	0	150	0	0
Susam Yağı	0	0	150	0
ZeytinYağı	0	0	0	150
Vitamin Karışımı ²	30	30	30	30
Mineral Karışımı ³	30	30	30	30
Cr_2O_3	2	2	2	2
Toplam	1000	1000	1000	1000

¹BY: Balık Yağı, KTY: Keten Tohumu Yağı, SY: Susam Yağı, ZY: Zeytin Yağı.

²Vitamin Premiks: A Vitamini 10.582,00 IU; D3 Vitamini 881,84 IU; E Vitamini 176,36 mg; B12 Vitamini 48,52 µg; Riboflavin52,92 mg; Niacin246,92 mg; D-pantothenicacid88,20 mg; Menadione5,28 mg; Folicacid7,04 mg; Pyridoxine17,68 mg; Thiamine31,80 mg; D-biotin1,24 mg.

³Mineral Premix: Calciumcarbonate 2,1g; Calciumphosphatedibasic 73,5 g; Citricacid 0,227 g; Cupriccitrate 0,046 g; Ferriccitrate (16 to 17% Fe) 0,558 g; Magnesiumoxide 2,5 g; Mangesecitrate 0,835 g; Potassiumiodide 0,001 g; Potassiumphosphatedibasic 8,1 g; Potassiumoxide 6,8 g; Sodiumchloride 3,06 g; Sodiumphosphate 2,14 g ve Zincitrate = 0,133 g.

Tablo 3.2: Yemdeki besin maddeleri ve enerji deęerleri¹.

Yemdeki Besin Maddeleri (%) ve Enerji Değerleri	Yem Grupları ²			
	Kontrol	SY	KTY	ZY
Kuru Madde	88,90±0,13	87,29±0,07	88,14±0,09	87,02±0,03
Ham Protein	46,38±0,21	47,11±0,34	47,47±0,71	48,19±0,30
Ham Yağ	17,12±0,66	17,68±0,57	17,56±0,07	18,35±0,45
Ham Kül	10,53±0,15	9,86±0,14	9,99±0,22	10,33±0,04
Ham Selüloz	3,49±0,21	3,61±0,10	3,56±0,13	3,59±0,03
AEM ³	11,38±0,18 ^a	9,03±0,12 ^b	9,56±0,15 ^b	6,56±0,09 ^c
MOE ⁴	19,69±0,19	19,68±0,23	19,81±0,20	19,78±0,22
Toplan Enerji	14,07±0,12	14,22±0,15	14,27±0,14	14,45±1,18

¹Deęerler (n = 3) ortalama ve standart sapma (Ort.±Std) olarak sunulmuştur. Aynı satırda farklı üst harflerle gösterilen değerler arasındaki istatistiki fark Tukey   oklu karşılaştırmaya testine göre % 95 doğruluk düzeyinde önemli bulunmuştur.

²Kontrol: Balık yağı, SY: Susam yağı, KTY: Keten tohumu yağı, ZY: Zeytin yağı kullanılmıştır.

³AEM: Azotsuz Ekstrakt Maddeler.

⁴MOE: Metabolize Olabilir Enerji. 23,6 kl g/protein, 39,5 kl g/yağ, 17 kl g/AEM enerji değerleri üzerinden hesaplanmıştır.

**Şekil 3.3:** Deneyde kullanılan yemlerden bir   rnek.

Yapılan analizler sonucunda araştırmada kullanılan yağların yağ asidi kompozisyonu saptanarak Tablo 3.3'te ve deney diyetlerinin yağ asidi kompozisyonu Tablo 3.4'te sunulmuştur.

Tablo 3.3: Deney yemlerinde kullanılan yağların yağ asidi kompozisyonu¹.

Yağ asitleri (mg g yağ)	Balık yağı	Keten tohumu yağı	Susam yağı	Zeytin yağı
14:0	69,59±0,27 ^a	0,42±0,03 ^c	0,64±0,08 ^b	0,15±0,01 ^d
16:0	212,32±0,54 ^a	60,64±0,11 ^d	70,02±0,16 ^c	127,02±0,12 ^b
18:0	43,16±0,10 ^a	43,41±0,12 ^a	42,10±0,17 ^b	30,03±0,12 ^c
20:0	9,43±0,06 ^a	0,00±0,00	3,24±0,07 ^c	4,69±0,01 ^b
Toplam doymuşlar	334,50±0,97 ^a	104,47±0,26 ^c	116,00±0,48 ^c	161,89±0,26 ^b
16:1n-7	61,91±0,39 ^a	0,83±0,03 ^d	1,05±0,06 ^c	7,77±0,07 ^b
18:1n-9	158,83±0,72 ^d	205,05±0,14 ^c	273,16±0,10 ^b	722,90±0,20 ^a
20:1n-9	5,84±0,02 ^a	1,40±0,03 ^c	1,49±0,010 ^c	3,05±0,06 ^b
22:1n-11	12,71±0,01	0,00±0,00	0,00±0,00	0,00±0,00
Toplam tek doymamışlar	239,29±1,14 ^c	207,28±0,20 ^d	275,70±0,17 ^b	733,72±0,33 ^a
18:2n-6	24,23±0,27 ^d	153,74±0,06 ^b	596,98±0,43 ^a	88,41±0,06 ^c
20:4n-6	10,62±0,08	0,00±0,00	0,00±0,00	0,00±0,00
18:3n-3	12,05±0,13 ^b	529,73±0,36 ^a	1,53±0,09 ^d	5,98±0,05 ^c
20:3n-3	2,34±0,05	0,41±0,07	0,00±0,00	0,00±0,00
20:5n-3	105,45±0,35	0,00±0,00	0,00±0,00	0,00±0,00
22:6n-3	220,28±0,70	0,00±0,00	0,00±0,00	0,00±0,00
Toplam çok doymamışlar	154,69±0,88 ^c	683,88±0,49 ^a	598,51±0,52 ^b	94,39±0,11 ^d
Toplam n-6 PUFA	34,85±0,17 ^d	153,74±0,06 ^b	596,98±0,43 ^a	88,41±0,06 ^c
Toplam n-3 PUFA	340,12±0,73 ^b	530,14±0,22 ^a	1,53±0,09 ^d	5,98±0,05 ^c
Toplam n-3 HUFA	328,07±0,32 ^a	0,41±0,07 ^b	0,00±0,00	0,00±0,00

¹Değerler (n = 3) ortalama ve standart sapma (Ort.±Std) olarak sunulmuştur. Aynı satırda farklı üst harflerle gösterilen değerler arasındaki istatistiksel fark Tukey çoklu karşılaştırma testine göre % 95 doğruluk düzeyinde önemli bulunmuştur.

Tablo 3.4: Deney yemlerindeki yağ asidi kompozisyonu¹.

Yağ Asitleri	Yem Grupları ²			
	Kontrol	SY	KTY	ZY
<i>Yağ Asitleri (mg g yağ)</i>				
14:0	62,93±0,36 ^a	24,14±0,45 ^b	17,97±0,61 ^c	13,21±0,31 ^d
16:0	200,25±0,20 ^a	192,53±0,53 ^a	124,48±0,27 ^c	150,89±0,55 ^b
18:0	53,50±1,59 ^b	65,65±0,93 ^a	49,40±0,73 ^b	37,02±0,69 ^c
20:0	7,44±0,24 ^a	0,00±0,00	0,00±0,00	4,91±0,35 ^b
Toplam doymuşlar	324,12±2,39 ^a	282,32±1,91 ^b	191,85±1,61 ^c	206,03±1,90 ^c
16:1n-7	54,66±0,13 ^a	22,95±1,01 ^b	17,88±0,82 ^{bc}	18,34±0,56 ^{bc}
18:1n-9	169,25±0,80 ^d	222,07±1,03 ^b	182,60±0,66 ^c	530,87±1,22 ^a
20:1n-9	5,84±0,16 ^a	3,81±0,06 ^c	3,89±0,39 ^c	4,71±0,13 ^b
22:1n-11	8,42±0,38 ^a	2,01±0,05 ^b	1,89±0,03 ^b	1,40±0,02 ^c
Toplam tek doymamışlar	183,51±1,47 ^d	250,84±2,15 ^b	206,26±1,29 ^c	555,32±1,93 ^a
18:2n-6	80,50±0,22 ^d	282,20±0,01 ^a	172,11±0,96 ^b	109,18±0,51 ^c
20:4n-6	10,70±0,40 ^a	1,00±1,07 ^b	1,10±0,00 ^b	0,80±0,00 ^b
18:3n-3	19,90±0,21 ^b	12,35±0,06 ^c	329,60±0,43 ^a	12,36±0,25 ^c
20:3n-3	5,86±0,41 ^a	0,00±0,00	2,23±0,43 ^b	0,00±0,00
20:5n-3	97,82±0,40 ^a	2,98±0,30 ^b	3,08±0,28 ^b	3,19±0,02 ^b
22:6n-3	174,98±0,47 ^a	96,70±0,44 ^b	54,51±0,18 ^c	31,69±1,04 ^d
Toplam çok doymamışlar	389,76±2,11 ^c	395,23±1,88 ^b	562,63±2,28 ^a	157,22±1,82 ^c
Toplam n-6 PUFA	91,20±0,31 ^d	283,20±0,54 ^a	273,21±0,48 ^b	109,98±0,25 ^c
Toplam n-3 PUFA	298,56±0,37 ^b	112,03±0,27 ^c	389,42±0,33 ^a	47,24±0,44 ^d
Toplam n-3 HUFA	278,66±0,59 ^a	99,68±0,37 ^b	59,82±0,30 ^c	34,88±0,53 ^d

¹Değerler (n = 3) ortalama ve standart sapma (Ort.±Std) olarak sunulmuştur. Aynı satırda farklı üst harflerle gösterilen değerler arasındaki istatistiksel fark Tukey çoklu karşılaştırma testine göre % 95 doğruluk düzeyinde önemli bulunmuştur.

²Kontrol: Balık yağı, SY: Susam yağı, KTY: Keten tohumu yağı, ZY: Zeytin yağı kullanılmıştır.

3.2.YÖNTEM

3.2.1. Deney Yemlerinin Hazırlanması

Deney yemlerinin üretimi sırasında öncelikle yemlerde kullanılacak hammaddeler değirmende öğütülerek homojen hale getirilmiştir. Bu hammaddeler yem formülasyonunda belirtildiği oranlarda tartılarak homojen hale gelinceye kadar karıştırılmıştır. Bu karışım hazırlanacak dört farklı yem grubu için ayrı ayrı tartılarak ve her yem grubu için formülasyonda belirtilen oranlarda yağlar ilave edilerek yem makinesinde buhar basıncı ile peletlenmiştir. Balıkların büyüklükleri dikkate alınarak yemlerin pelet büyüklükleri ayarlanmıştır. Deney yemlerinin üretiminde kullanılan peletleme makinesi şekil 3.4’ te gösterilmiştir.



Şekil 3.4: Yem peletleme makinesi.

3.2.2. Yemleme Programının Düzenlenmesi

Balıklara verilen günlük yem miktarı balığın büyüklüğüne ve su sıcaklığına bağlı olarak düzenlenmiştir. Balıklar yemleme deneyleri süresince sabah ve akşam olmak üzere günde iki kez ve elle beslenmiştir. Yemleme sırasında balıklar sürekli izlenerek verilen yemin tamamının balıklar tarafından alınmasına dikkat edilmiştir.

Balıklara verilen günlük yem miktarı suyun sıcaklığına ve balığın büyüklüğüne bağlı olarak balıkların canlı ağırlıklarının % 2,5 ve % 3 oranları esas alınarak hesaplanmıştır. Tüm periyotlarda balıklara tartımın yapıldığı günlerde yem verilmemiştir.

3.2.3. Tanklardaki Suyun Fiziksel ve Kimyasal Parametrelerinin Ölçülmesi

Deneme süresince deney tanklarındaki suyun sıcaklık, çözülmüş oksijen ve pH ölçümleri dijital oksijenmetre ve pH metre ile ölçülerek kaydedilmiştir.

3.2.4. Balıklardaki Büyüme Performansının Hesaplanması

Balıkların canlı ağırlıkları, deneme başlangıcında ve 15 günlük periyotlarda tanklardaki bütün balıklara anestezi (1,6 g Benzaquin + 10 ml asetat + 10 l su) uygulanarak 0,1 g'a duyarlı hassas terazi ile bireysel ağırlıkları saptanmış ve ölçüm tahtasında boyları ölçülmüştür (Lindsay ve Barbara, 1984). Tartımlarda her grup için iki tankın ağırlıklarının ortalaması esas alınmıştır.

Bireysel canlı ağırlık artışı (CAA); periyot sonundaki canlı ağırlık değerinden (A_2) periyot başındaki canlı ağırlık değeri (A_1) çıkartılarak hesaplanmıştır.

$$CAA = A_2 - A_1 \quad (3.1)$$

CAA: Canlı ağırlık artışı

A_2 : Periyot sonundaki ortalama bireysel ağırlık (g)

A_1 : Periyot başındaki ortalama bireysel ağırlık (g)

Kondüsyon faktörü ve Spesifik büyüme oranı;

$$KF = (W / L^3) \times 100 \quad (3.2)$$

KF: Kondüsyon faktörü

W: Balığın ağırlığı

L: Balığın toplam boyu

$$SBO= 100 \times (\ln W_f - \ln W_i / t) \quad (3.3)$$

SBO: Spesifik büyüme oranı

W_f: Periyot sonundaki bireysel canlı ağırlık

W_i: Periyot başındaki bireysel canlı ağırlık

t: Zaman (gün olarak)

formülleri ile hesaplanmıştır.

Deney grupları için her periyotta tüketilen yem miktarı ayrı ayrı hesaplanarak bulunmuştur. Periyodik olarak tüketilen toplam yem miktarı tanktaki balık sayısına bölünerek ortalama bireysel yem tüketim miktarı hesaplanmıştır. Yemden yararlanma oranı;

$$YYO= \text{Periyot süresince tüketilen yem miktarı (g) / Periyottaki CAA (g)} \quad (3.4)$$

YYO: Yemden yararlanma oranı

CAA: Canlı ağırlık artışı

şeklinde hesaplanmıştır.

3.2.5. Balıklardaki Viserosomatik İndeks (VSI) ve Hepatosomatik İndeks (HSI) Değerlerinin Hesaplanması

Deney başlangıcında toplam 10 adet balık ve deney sonunda her deney grubundan rasgele alınan 10 adet balığın toplam ağırlığı, karaciğer ağırlığı ve iç organların ağırlığı saptanarak balıkların viserosomatik ve hepatosomatik indeks değerleri hesaplanmıştır.

Viserosomatik indeks ve hepatosomatik indeks değerleri;

$$VSI= [\text{Balığın iç organları ağırlığı (g) / Balığın canlı ağırlığı (g)}] \times 100 \quad (3.5)$$

VSI: Viserosomatik indeks

$$HSI= [\text{Balığın karaciğer ağırlığı (g) / Balığın canlı ağırlığı (g)}] \times 100 \quad (3.6)$$

HSI: Hepatosomatik indeks

formülleriyle hesaplanmıştır (Ricker, 1979).

3.2.6. Kimyasal Analizler

Yem örnekleri 1mm'lik elekten geçecek şekilde öğütülerek analize hazır hale getirilmiştir. Deneyde kullanılan yem örneklerindeki kuru madde, ham protein, ham yağ, ham kül ve ham selüloz miktarları İstanbul Üniversitesi Su Bilimleri Fakültesi Yem Analiz Laboratuvarı'nda yapılan analizler sonucunda saptanmış ve azotsuz ekstrakt maddeler, toplam enerji ve metabolize olabilir enerji değerleri kimyasal analiz sonuçlarına göre hesaplanmıştır. Benzer şekilde deney balıkları bütün olarak ve balık karaciğerleri laboratuvar tipi mikserden geçirilerek analize hazır hale getirilmiştir. Balık etinde yapılan analizlerle kuru madde, ham protein, ham yağ, ham kül ve balık karaciğerindeki ham yağ miktarları saptanmıştır. Yem, balık eti ve balık dışısındaki yağ asitleri analizi akredite edilmiş özel bir laboratuvar da yapılmıştır. Kimyasal analizler AOAC (1995)'ye göre üç tekerrürlü olarak yapılmıştır. Yemlerdeki toplam enerji ve metabolize olabilir enerji (ME KJ/g) değerleri de Arthur ve Philips, (1972)'e göre hesaplanmıştır. Yem, tüm vücut ve balık dışısındaki yağ asitleri kompozisyonunu saptamak amacıyla örneklerdeki yağ miktarları Folch ve diğ. (1957)'ne göre ve yağ asitleri metil esterleri Ichihara ve diğ. (1996)'ne göre yapılmıştır.

3.2.7. Kuru Madde Miktarının Tayini

Analize hazır hale getirilen yem örnekleri daha önce kurutulan ve desikatörde oda sıcaklığına getirilen kurutma kaplarında tartılır. Örnekler 105 °C sabit sıcaklıkta 4-6 saat tutulduktan sonra desikatörde oda sıcaklığına gelinceye kadar bekletilir. İlk tartım ile son tartım arasındaki farkın örnek ağırlığına yüzde oranı ile örnekteki kuru madde miktarı hesaplanır. Analize hazır hale getirilen balık örnekleri 105 °C sıcaklıkta 12 saat bekletilir. Yem örneklerinde olduğu gibi gerekli tartımlar yapılarak aynı yöntemle kuru madde miktarı hesaplanır.

3.2.8. Ham Protein Miktarının Tayini

Analize hazır hale getirilen yem ve balık örneklerinden 0,5-0,8 g tartılarak yağ yakma tüplerine aktarılır. Tüplere iki adet Kjeldahl tableti ve 20 ml sülfirik asit (H₂SO₄) ilave edilerek yakma ünitesine yerleştirilir ve 450 °C sıcaklıkta yaklaşık olarak 1,5 saat süre ile yağ yakma işlemi gerçekleştirilir. Yakma işleminden sonra tüplerdeki sıvı berrak bir hale gelir. Yağ yakma işlemi tamamlandıktan sonra tüpler oda sıcaklığına kadar soğutulur. Soğuk tüpler Kjeldahl cihazına

(GerhardtVapodest, 45s) yerleştirilerek distilasyon ve titrasyon işlemleri gerçekleştirilir. Titrasyon işlemi sonucunda harcanan 0,1 N HCl miktarı saptanır ve elde edilen değerler kullanılarak örnekteki yüzde ham protein oranı hesaplanır. Kjeldahl cihazı şekil 3.5'te gösterilmiştir.



Şekil 3.5: Protein cihazı.

3.2.9. Ham Yağ Miktarının Tayini

Analize hazır hale getirilmiş yem örneklerinden bir miktar tartılarak yağ kartuşlarına aktarılır, kartuşların ağzı örneğin dışarı çıkmasını önlemek amacıyla pamuktan bir tıpa ile kapatılır ve bu kartuşlar soxhelet cihazına (VelpScientifica Ser, 148) yerleştirilir. 105 °C sıcaklıktaki kurutma dolabında kurutulmuş ve desikatörde oda sıcaklığına getirilmiş yağ krozelerinin ağırlıkları saptanarak soxhelet cihazına yerleştirilir. Örnekler cihazda yaklaşık olarak 1 saat süreyle ekstrakte edilir. Ekstraksiyon tamamlandıktan sonra yağ krozeleri alınarak yaklaşık olarak 1 saat süreyle 105 °C sıcaklıktaki kurutma dolabında tutulduktan sonra desikatöre alınarak oda sıcaklığına getirilir. Bu aşamadan itibaren yapılan tartımlar sonucunda kroze ve ham yağ miktarları saptanır. Kroze ve yağ ağırlığından boş kroze ağırlığı çıkarılır, örnek ağırlığına bölünür ve 100 ile çarpımı sonucunda örneklerdeki yüzde ham yağ miktarı hesaplanır. Ham yağ tayininde kullanılan soxhelet cihazı Şekil 3.6'da gösterilmiştir.



Şekil 3.6: Yağ tayin cihazı.

3.2.10. Ham Selüloz Miktarının Tayini

Analize hazır hale getirilen yem örneğinde bulunan ham selüloz dışındaki organik maddeleri eritmek için yem maddesi arka arkaya belirli konsantrasyonlardaki sülfürik asit (H_2SO_4) ve potasyum hidroksit (KOH) ile yarım saat kaynatılır. Eritme işleminden sonra kalması muhtemel organik kalıntılar seyreltik sülfürik asit (H_2SO_4), sodyum hidroksit (NaOH) , su (H_2O) ve asetonla (C_3H_6O) yıkanır. Kalıntılar $130^\circ C$ sıcaklıktaki kurutma dolabında 1 saat kurutulur ve desikatörde oda sıcaklığına getirilerek tartılır. Kuru örnek $550-600^\circ C$ sıcaklıkta yakma fırınında 30 dakika süre ile yakılır ve desikatörde tekrar oda sıcaklığına getirilerek tartılır. İkinci tartım ile birinci tartım arasındaki farkın örnek miktarına bölünmesi ve 100 ile çarpımı sonucunda örnekteki yüzde ham selüloz miktarı hesaplanır.

3.2.11. Ham Kül Miktarının Tayini

Analiz için hazırlanan yem ve balık eti örneklerinden bir miktar tartılarak kül krozelerine aktarılır ve $450-550^\circ C$ sıcaklıktaki kül fırınında 4-6 saat süreyle yakılır. Yakma işleminden sonra kül krozeleri desikatörde oda sıcaklığına getirilinceye kadar soğutulur ve tartılarak örnek ağırlığına bölünür. Elde edilen sonuç 100 ile çarpılarak örneklerdeki yüzde ham kül miktarı hesaplanır.

3.2.12. Azotsuz Ekstrakt Maddelerin Hesaplanması

Yem örneklerindeki azotsuz ekstrakt maddeler analiz yoluyla belirlenememektedir. Ancak yapılan diğer analiz sonuçlarından yararlanarak aşağıda belirtildiği gibi hesaplanır.

$$\% \text{ AEM} = 100 - (\% \text{ su} + \% \text{ HP} + \% \text{ HY} + \% \text{ HS} + \% \text{ HK}) \quad (3.7)$$

AEM: Azotsuz ekstrakt maddeler

HP: Ham protein

HY: Ham yağ

HS: Ham selüloz

HK: Ham kül

3.2.13. Toplam ve Metabolize Olabilir Enerji Değerlerinin Hesaplanması

Yem örneklerinde yapılan kimyasal analizler sonucunda belirlenen besin maddelerinden protein, yağ ve karbonhidratların sahip oldukları enerji miktarlarına göre hesaplanır.

$$\text{Toplam enerji} = [5,65(\% \text{ HP}) + 9,45(\% \text{ HY}) + 4,10 (\% \text{ AEM})] \times 10/1000 \times 4,186 \quad (3.8)$$

HP: Ham protein

HY: Ham yağ

AEM: Azotsuz ekstrakt maddeler

Metabolize olabilir enerji değerinin hesaplanmasında ise enerjisi olan besin maddelerinin karnivor türlerdeki sindirilebilirlik değerleri esas alınarak hesaplanmıştır.

$$\text{MOE} = [3,9(\% \text{ HP}) + 8,0(\% \text{ HY}) + 1,6(\% \text{ AEM})] \times 10/1000 \times 4,186 \quad (3.9)$$

MOE: Metabolize olabilir enerji

HP: Ham protein

HY: Ham yağ

AEM: Azotsuz ekstrakt maddeler

Proteinler için: 3,9 Kkal/g

Yağlar için: 8,0 Kkal/g

Karbonhidratlar için: 1,6 Kkal/g

1 kal = 4,186 Joule

3.2.14. Balık Yemi, Balık Eti ve Balık Dışkılarındaki Yağ Asidi Analizleri İçin Yağ Tayini

Balık yemi, balık eti ve balık dışkılarındaki yağ asidi analizlerinde kullanılan yağlar soğuk ekstraksiyon yöntemiyle elde edilmiştir. Analize hazır hale getirilen balık yemi ve etinden yaklaşık olarak 1 g alınarak 100 ml'lik santrifüj tüpüne aktarılır. Santrifüj tüpündeki örneğe bir miktar petrol eteri, kloroform ve metanol ilave edilerek homojenizatör ile örnek parçalanır. Tüp, santrifüj edildikten sonra yüzeyde biriken yağ tabakası bir pipet yardımıyla alınır ve daha önce kurutulmuş ve ağırlığı belirlenmiş yağ balonuna aktarılır. Evaporatör cihazında yağdaki petrol eteri buharlaştırılır ve tekrar yapılan bir tartım sonucunda örneklerdeki yağ miktarı saptanır.

3.2.15. Yağ Asidi Metil Esterlerinin Hazırlanması

Yağ asidi metil esterleri metanol ve n-heksan da hazırlanan 2 molarlık potasyum hidroksit (KOH) kullanılarak hazırlanmıştır. Soğuk ekstraksiyonla elde edilen yağ örneğinden 10 mg tartılarak önce 2 ml heksan içerisinde çözündürülür ve daha sonra bu örnek 2 molar konsantrasyonundaki metanolik KOH'nın 4 ml'si içerisinde tekrar çözündürülür. Bu karışımı içeren tüpler oda sıcaklığında 2 dakika süreyle vortekste karıştırılır. Tüpler dinlenmeye bırakılır. Daha sonra yağ asidi metil esterleri tüplerin üst tabakasında birikir. Metil esterleri pipet yardımıyla kapalı tüplere aktarılır ve bu tüpler gaz kromatografisine yerleştirilerek yağ asidi analizleri yapmak üzere okutulur.

3.2.16. Gaz Kromatografisinde Yağ Asitlerinin Tayini

Yağ asitlerinin metil esterleri uçucu bileşiklerdir. Metil esterleri gaz kromatografisinde taşıyıcı gaz ile sürüklenir ve dedektörden geçerken yazıcı ile grafik kağıdına pikler şeklinde kaydedilir.

Grafik kağıdı üzerindeki her bir pik belli bir yağ asidine karşılık gelmektedir. Bu pikler standartlarla karşılaştırılarak kalitatif ve kantitatif analizler yapılır (Şekil 3.7).



Şekil 3.7: Gaz kromatografi cihazı.

3.2.17. Yağ Asidi Sindirilebilirliğinin Hesaplanması

Araştırmada yağ asidi sindirilebilirliğinin belirlenmesinde indirekt yöntem kullanılmıştır. Yağ asidi sindirilebilirlik oranının hesaplanması için yeme indikatör olarak % 2 oranında kromoksit (Cr_2O_3) ilave edildi. Yemlemeden sonra balıklar sürekli olarak izlendi ve dışkıdan su ortamına madde kaybını önlemek amacıyla dışkı örneği yemlemeden 3 saat sonra toplandı. Günlük olarak toplanan dışkı örnekleri, analizler yapılncaya kadar $-20\text{ }^\circ\text{C}$ 'de dondurucuda muhafaza edildi. Yağ asitleri sindirilebilirlik oranları aşağıdaki formüllere göre hesaplandı.

Yağ asidi sindirilme oranı (%) =

$$100 - \left[100 \times \left(\frac{\text{yemde \% Cr}_2\text{O}_3}{\text{dışkıda \% Cr}_2\text{O}_3} \right) \times \left(\frac{\text{dışkıda \% yağ asidi}}{\text{yemde \% yağ asidi}} \right) \right] \quad (3.10)$$

(Medale ve diğ., 1991; Degani ve diğ., 1997; Regost ve diğ., 1999; Yiğit ve diğ., 2004)

3.2.18. Kromoksit Analizi

Sindirilebilirlik analizi Kimura ve Miller (1957) tarafından geliştirilen metoda göre yapılmıştır. Bu metoda göre 0,0005 ile 0,004 g arasında 16 farklı ağırlıklardaki kromoksit 0,0001 g'lık hassas terazi ile tartılmıştır. Bu örnekler filtre kağıdına sarılarak 250 ml Kjeldahl tüplerinin içerisine konulmuştur. Ek olarak 2 adet boş (örnek veya filtre kağıdı olmayan) ve 2 adet de kontrol (sadece filtre kağıdı olan) örnekler oluşturulmuştur. Kromik oksitten yem için 0,3 g, dışkı için ise 0,0030-0,0050 g arasında örnek alınmıştır. Bu örneklerin üzerine 3 ml konsantre nitrik asit (HNO_3 , Sigma, CAS 7697-37-2) ilave edilerek örneklerin tamamen ıslanması için tüpler çalkalanmıştır. Daha sonra Kjeldahl tüpleri ilk olarak 150 °C'de 30 dakika daha sonra ise 170 °C'de 1 saat süre ile yakılmıştır. Bu aşamada aşırı buharlaşmanın engellenmesi amacıyla tüplerin ağızlarına 50 ml balon jojeler yerleştirilmiştir. 2 saat sonra yakma ünitesinden çıkarılan tüpler oda sıcaklığında soğumaya bırakılmıştır. Tüpler iyice soğuduktan sonra üzerine 1,5 ml %70'lik perklorik asit (HClO_4 , Sigma, CAS 7601-90-3) ilave edilerek 220°C'de 15 dakika yakılmıştır. Bu sürede tüplerin ağzı açık bırakılmıştır. Tüpler tekrar soğumaya bırakılarak sıvı miktarı 1 ml den az olanlara 0,5 ml %70'lik perklorik asit ilave edilerek 220 °C'de tüplerin ağzı kapalı olacak şekilde yakmaya devam edilmiştir. Bu aşamada örneklerin renk dönüşümleri kontrol edilmiş ve bu renk oluşumu gerçekleşince tüpler soğumaya bırakılmıştır. Bu aşamadan sonra örnekler 50 ml'lik balon jojelere aktarılmıştır. Aktarılan örnekler 50 ml'den az ise örneklere saf su ilave edilerek 50 ml'ye tamamlanmıştır. Daha sonra örnekler 346,5 nm dalga boyunda spektrofotometrede okunmuştur.

3.2.19. Yağ Asidi Sindirilebilirliği ve Tüm Vücut Yağ Asidi Denge Metodu Hesaplanması

Yağ asidi sindirilebilirliği ve yağ asidi metabolizmasının hesaplanması Turchini ve diğ. (2007) tarafından geliştirilen metoda göre yapılmıştır. Deneme sonunda alınan tüm vücut, dışkı ve yem örneklerindeki yağ asitleri (mg olarak) kompozisyonunu saptamak amacıyla örneklerdeki yağ miktarları Folch ve diğ. (1957)'ne göre ve yağ asitleri metil esterleri Ichihara ve diğ. (1996)'ne göre yapılmıştır. Tüm vücut yağ asidi denge metabolizmasının birinci aşamasında Cunnane ve Anderson (1997)'a göre yemle alınan yağ asitlerinin vücutta birikim ve boşaltım süresince görünen ve kaybolan yağ asitlerinin belirlenmesi aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır.

$$\text{Yağ Asidi Alımı} = [(g) \text{ yem alımı} \times (mg) \text{ yemdeki yağ asidi}] \quad (3.11)$$

$$\text{Yağ Asidi Atımı} = [(mg) \text{ yağ asidi alımı} \times \text{dışkıdaki yağ asidi alımı}] \quad (3.12)$$

$$\text{Yağ Asidi Birikimi} =$$

$$[(mg) \text{ final tüm vücut yağ asidi} \times (mg) \text{ başlangıç yağ asidi}] \quad (3.13)$$

$$\text{Görünen veya Kaybolan Yağ Asitleri} = \frac{\text{yağ asidi birikimi}}{\text{yağ asidi alımı} - \text{dışkıdaki yağ asidi}} \quad (3.14)$$

Metodun ikinci aşaması 18:3n-3 dengesinin hesaplanmasını içermektedir. Sunulan yağ asitlerinin miktarı 18:3n-3'ün metabolik yolunda görülen veya kaybolan yağ asitleri şeklinde mg'dan μmol 'e çevirilir. Görünen uzun zincirli yağ asitlerinin sayısı, yağ asitlerinin desaturasyon ve elongasyondaki ilk yağ asitlerinin μmol olarak hesaplanması yapılır.

Metodun üçüncü aşamasında 18:3n-3'ün normal desaturasyon elongasyon miktarının belirlenmesi için, 18:3n-3'ün elongasyon, desaturasyon ve β oksidasyon aşamalarında kullanılan miktarları hesaplanır. Sonuçta, toplam elongasyon, $\Delta 5$ ve $\Delta 6$ desaturasyon aktivitesi, dördüncü ve son aşamasında ise yağ asidi metabolizmasında etkili olan elongaz ve desaturaz ($\Delta 5$, $\Delta 6$ ve $\Delta 9$) enzim aktiviteleri belirlenir.

n-3 serisindeki yağ asitleri için tüm vücut yağ asidi dengesinin hesaplanmasında kullanılan matematiksel metod için aşağıdaki eşitliklerden yararlanılmıştır. Bu eşitlikler excel programında formülize edilerek her grup için tekerrürlü olarak hesaplanır.

$$1. \quad \epsilon(22:5n-3) = \delta(22:6n-3) \quad (3.15)$$

$$2. \quad \epsilon(20:5n-3) = \delta(22:5n-3) + \epsilon(20:5n-3) \quad (3.16)$$

$$3. \quad \epsilon(20:4n-3) = \delta(20:5n-3) + \epsilon(20:5n-3) \quad (3.17)$$

$$4. \quad \epsilon(18:4n-3) = \delta(20:4n-3) + \epsilon(20:4n-3) \quad (3.18)$$

$$5. \quad \epsilon(20:3n-3) = \delta(22:3n-3) \quad (3.19)$$

$$6. \quad \epsilon(18:3n-3) = \delta(20:3n-3) + \epsilon(20:3n-3) + \delta(18:4n-3) + \epsilon(18:4n-3) \quad (3.20)$$

$$7. \quad \text{DE}(18:3n-3) = \delta(20:3n-3) + \epsilon(20:3n-3) \quad (3.21)$$

$$8. \quad \text{NED}(18:3n-3) = \delta(18:4n-3) + \epsilon(18:4n-3) \quad (3.22)$$

$$9. \quad \text{Ox}(18:3n-3) = \phi(18:3n-3) - \text{DE}(18:3n-3) - \text{NED}(18:3n-3) \quad (3.23)$$

10. $DE(18:3n-3) * NI(18:3n-3)-1 \times 100$ [NI= Yağ asidi Alımı-Yağ asidi Atımı ve dönüşümü(μmol)]18:3n-3'ün çıkmaz ürünler için elonge olmuş yüzdesi; (3.24)
11. $NED(18:3n-3) * NI(18:3n-3)-1 \times 100$ (3.25)
12. $Ox(18:3n-3) * NI(18:3n-3)-1 \times 100$ (3.26)
13. $Vücut\ ağırlığı\ (g) / gün = (başlangıç\ vücut\ ağırlığı + final\ vücut\ ağırlığı) * 2^{-1} \times gün$ (3.27)
14. $\Delta-6\ Desaturasyonu = [\delta(18:4n-3) + \epsilon(18:4n-3) + \delta(22:6n-3)] (Vücut\ ağırlığı\ (g) / gün)^{-1}$ (3.28)
15. $\Delta-5\ Desaturasyonu = [\delta(20:5n-3) + \epsilon(20:5n-3)] (Vücut\ ağırlığı(g) / gün)^{-1}$ (3.29)
16. $Elongasyon = [\delta(20:3n-3) + \epsilon(20:3n-3) + \epsilon(18:4n-3) + \epsilon(20:5n-3) + \epsilon(22:5n-3)] (Vücut\ ağırlığı(g) / gün)^{-1}$ (3.30)

3.2.20. Enzim Transkripsiyon Oranı Ölçümleri

$\Delta 6$ desaturaz ve elongaz enzimlerini kodlayan genlerin miktarı kalitatif gerçek zamanlı PCR (Real time PCR) ile ölçüldü. Yaklaşık olarak 10 mg balık karaciğer dokusundan kit (Qiagen, USA) kullanılarak total RNA elde edildi. RNA'nın saflığını belirlemek için Nanodrop 1000 (Thermo Fisher Scientific, Inc USA) kullanıldı, ölçülen A260/A280 oranı değerlerinin 2 civarında olduğu belirlendi. Yüksek kapasiteli 20 μl reaksiyon hacmindeki 2 μg RNA'dan cDNA sentezlemek için ters transkriptaz kiti (PE Applied Biosystems) kullanıldı. Ters transkripsiyon PCR amplifikasyonu, 1:25 oranında seyreltilmiş 1 μl cDNA kullanılarak gerçekleştirildi. Taq DNA polimerazı aktive etmek için 95 °C sıcaklıkta 10 dakika inkübe edildi ve bunu takiben; 15 sn 95 °C'de, 1 dk 60 °C'de ve 15 sn 95 °C olmak üzere 40 döngü gerçekleştirildi. Bu 40 döngü sonunda reaksiyonun özgünlüğünü test etmek amacıyla erime eğrisi analizi uygulanmıştır. Gen ekspresyon analizleri, Primer Express 3.0 yazılımıyla dizayn edilen gen özel primerleri kullanılarak Stratagene MX3000P (SuperArrayBiosciences, Maryland, USA) ile gerçekleştirilmiştir. Her bir primer kümesi Power SYBR Green PCR Master Mix (PE AppliedBiosystems) kullanılarak 14 μl 'lik bir hacimden 200 nM'lik bir konsantrasyonda kullanıldı. PCR primerleri (Tablo 3.3) daha önce yayınlanan $\Delta 6$ desaturaz (GenBank erişim numarası: NM_001124287.1) ve elongaza (GenBank erişim numarası: NM_001124636.1) göre dizayn edilmiştir. Gökkuşluğu alabalığı β -aktini (erişim numarası: NM_001124235.1), gliseraldehid-3-fosfat dehidrojenaz (GAPDH) (erişim numarası: NM_001124209.1) ile standartlaştırılmış bir endojen referans geni olarak kullanılmıştır. Tüm

gen ekspresyon primerleri BLAST sekans hizalama algoritması kullanılarak doğrulandı ve analizleri etkileyebilecek primer-dimerizasyon yokluğunu belirlemek için spesifik PCR ürünleri üretildi. Veriler karşılaştırmalı kritik eşik değeri (Ct) metodu kullanılarak analiz edilmiştir.

Tablo 3.5: Primer özellikleri.

Primer adı	Baz dizisi	Tm
D6DS-F	5'-ACCTAGTGGCTCCTCTGGTC-3'	57,7
D6DS-R	5'- CAGATCCCCTGACTTCTTCA-3'	53,5
ELG-F	5'-GAACAGCTTCATCCATGTCC-3'	53,7
ELG-R	5'-TGACTGCACATATCGTCTGG-3'	54,2
Act-F	5'-CAAGCAGGAGTACGACGAGT-3'	56,1
Act-R	5'-CTGAAGTGGTAGTCGGGTGT-3'	56,0
GAPDH-F	5'-GTCTCAGTGGTGGACCTGAC-3'	57,0
GAPDH-R	5'-GCCGTTGAAGTCTGAAGAGA-3'	54,3

3.2.20. İstatistiksel Analizler

Araştırmanın bütün verileri ortalama ve standart sapma ($\pm$ Std) olarak hesaplanmıştır. Araştırmada elde edilen verilerin ortalama ve standart sapma değerleri Excel programı kullanılarak hesaplanmıştır. Varyans analizi (ANOVA)'nde değerler arasındaki farkın önemi % 95 doğruluk sınırları içinde değerlendirilmiştir. Değerler arasındaki farkın önemli bulunması ($P < 0.05$) durumunda, bu farkın hangi değerler arasında olduğunu saptamak amacıyla SPSS istatistik programı (SPSS 14.0) yardımıyla Tukey çoklu karşılaştırma testi uygulanarak belirlenmiştir.

4. BULGULAR

4.1. DENEY TANKLARINDAKİ SUYUN FİZİKSEL VE KİMYASAL ÖZELLİKLERİ

Deneme süresince sudaki sıcaklık ve çözünmüş oksijen değerleri günlük olarak ölçülmüş ve Tablo 4.1’de gösterilmiştir. Tabloda deneme başlangıcında ve takip eden 15 günlük periyotlarda minimum, maksimum ve ortalama sıcaklık ile çözünmüş oksijen değerleri sunulmuştur. Yapılan ölçümlerde en düşük su sıcaklığı 12 °C ve en yüksek 13,5 °C olarak bulunmuştur. Suyun pH’sı 7,5-8,5 değerleri arasında bulunmuştur. Sudaki pH değerinin deney süresince önemli bir farklılık göstermediği görülmüştür.

Tablo 4.1: Deney tanklarındaki suyun sıcaklık ve çözünmüş oksijen değerleri.

Periyotlar	Sıcaklık (°C)			Çözünmüş Oksijen (mg/l)		
	Minimum	Ortalama	Maksimum	Minimum	Ortalama	Maksimum
Başlangıç	12,0	12,2	12,4	7,1	7,6	7,9
15. gün	12,1	12,3	12,5	7,3	7,8	8,3
30. gün	12,0	12,5	12,8	7,5	8,0	8,6
45. gün	12,2	12,7	12,9	7,1	7,9	7,9
60. gün	12,5	13,0	13,5	7,4	8,0	8,2

4.2. BALIKLARIN BİREYSEL CANLI AĞIRLIKLARI

Araştırmada kullanılan balıkların bireysel canlı ağırlıkları 15 günlük 4 periyotta ve toplam 60 günde yapılan tartımlar sonucunda saptanan verilere göre hesaplanmıştır. Deney başlangıcı ve diğer periyotlardaki bireysel canlı ağırlıklar, deney tanklarındaki balıklarda bireysel olarak yapılan tartımlar sonucunda elde edilen verilerin ortalaması ve standart sapmaları hesaplanarak bulunmuştur. Deney başlangıcında ve deney süresince yapılan tartımlar sonucunda deney grupları için elde edilen ağırlık değerleri arasındaki fark istatistiksel olarak önemsiz görülmüştür ($P>0,05$) (Tablo 4.2).

Tablo 4.2: Balıkların bireysel canlı ağırlıkları (g)¹.

Periyotlar	Deney Grupları ²			
	Kontrol	SY	KTY	ZY
Başlangıç	42,1±0,14	42,1±0,14	42,35±0,10	42,20±0,14
15. gün	51,96±1,26	49,74±2,65	52,04±0,44	52,41±0,10
30. gün	73,49±3,22	68,96±2,72	71,75±1,53	71,14±0,42
45. gün	91,53±1,31	86,79±3,05	92,45±1,27	90,00±1,50
60. gün	108,00±2,69	101,75±4,60	107,35±2,19	107,25±0,21

¹Değerler (n = 3) ortalama ve standart sapma (Ort.±Std) olarak sunulmuştur. Aynı satırda farklı üst harflerle gösterilen değerler arasındaki istatistikî fark Tukey çoklu karşılaştırma testine göre % 95 doğruluk düzeyinde önemli bulunmuştur.

²Kontrol: Balık yağı, SY: Susam yağı, KTY: Keten tohumu yağı, ZY: Zeytin yağı kullanılmıştır.

Deneme süresince periyodik olarak yapılan tartımlar sonucunda balıkların canlı ağırlık artışları hesaplanmış ve Tablo 4.3'te gösterilmiştir. Deneme sonunda yapılan istatistikî analizlerde en düşük toplam canlı ağırlık artışı SY grubunda bulunmuştur (P<0,05). Diğer deneme grupları arasında istatistikî analizlerde gruplar arasında önemli bir fark görülmemiştir (P>0,05).

Tablo 4.3: Balıkların bireysel canlı ağırlık artışları¹.

Periyotlar	Deney Grupları ²			
	Kontrol	SY	KTY	ZY
0-15. gün	9,86±1,12	9,14±1,16	9,69±0,51	10,20±0,24
15-30. gün	21,53±1,97 ^a	19,23±0,07 ^b	19,71±1,09 ^b	18,73±0,52 ^b
30-45. gün	18,03±4,53 ^b	17,83±0,33 ^b	20,70±0,25 ^a	18,87±1,08 ^b
45-60. gün	16,48±3,99 ^{ab}	14,97±1,55 ^c	14,90±0,92 ^c	17,25±1,29 ^a
TCAA (g)³	65,90±4,89 ^a	61,17±4,47 ^b	65,00±5,05 ^a	65,06±4,10 ^a

¹Değerler (n = 3) ortalama ve standart sapma (Ort.±Std) olarak sunulmuştur. Aynı satırda farklı üst harflerle gösterilen değerler arasındaki istatistikî fark Tukey çoklu karşılaştırma testine göre % 95 doğruluk düzeyinde önemli bulunmuştur.

²Kontrol: Balık yağı, SY: Susam yağı, KTY: Keten tohumu yağı, ZY: Zeytin yağı kullanılmıştır.

³TCAA: Toplam canlı ağırlık artışı.

4.3. BALIKLARIN SPESİFİK BÜYÜME ORANI

Spesifik büyüme oranı, periyodik olarak elde edilen canlı ağırlık değerlerinden yararlanılarak hesaplanmış ve Tablo 4.4'te gösterilmiştir. Deney grupları için elde edilen spesifik büyüme oranları arasındaki fark istatistiksel olarak önemsiz görülmüştür ($P>0,05$).

Tablo 4.4: Balıkların spesifik büyüme oranları¹.

Periyotlar	Deney Grupları ²			
	Kontrol	SY	KTY	ZY
0-15. gün	1,40±0,14	1,11±0,38	1,37±0,07	1,44±0,03
15-30. gün	2,31±0,13	2,18±0,09	2,14±0,09	2,04±0,05
30-45. gün	1,47±0,39	1,53±0,03	1,69±0,05	1,57±0,07
45-60. gün	1,18±0,28	1,13±0,07	1,07±0,05	1,25±0,10
OSBO	1,59±0,49	1,59±0,69	1,57±0,46	1,57±0,34

¹Değerler (n = 3) ortalama ve standart sapma (Ort.±Std) olarak sunulmuştur. Aynı satırda farklı üst harflerle gösterilen değerler arasındaki istatistiksel fark Tukey çoklu karşılaştırma testine göre % 95 doğruluk düzeyinde önemli bulunmuştur.

²Kontrol: Balık yağı, SY: Susam yağı, KTY: Ketan tohumu yağı, ZY: Zeytin yağı kullanılmıştır.

³OSBO: Ortalama Spesifik Büyüme oranı.

4.4. YEM TÜKETİMİ VE YEMDEN YARARLANMA ORANLARI

Deneme süresince her periyotta balıkların bireysel yem tüketim değerleri Tablo 4.5'te gösterilmiştir. Balıkların toplam yem tüketim miktarları incelendiğinde en düşük oranın SY diyetiyle beslenen balıklarda olduğu görülmüştür ($P<0,05$). Diğer deney gruplarının yem tüketim miktarları ise benzer bulunmuştur ($P>0,05$).

Tablo 4.5: Ortalama bireysel yem tüketim miktarları (g)¹.

Periyotlar	Deney Grupları ²			
	Kontrol	SY	KTY	ZY
0-15. gün	15,32±0,05	15,32±0,05	15,42±0,03	15,36±0,05
15-30. gün	23,59±1,22 ^a	20,68±0,32 ^b	21,95±0,84 ^b	23,30±1,45 ^a
30-45. gün	27,34±0,81 ^a	24,45±1,43 ^b	26,80±0,05 ^a	27,01±1,07 ^{ab}
45-60. gün	20,37±2,65 ^{ab}	18,84±1,18 ^b	21,14±0,20 ^a	20,91±0,60 ^{ab}
TYTM³	86,62±5,09 ^a	79,30±3,80 ^b	85,31±4,67 ^a	86,59±4,88 ^a

¹Değerler (n = 3) ortalama ve standart sapma (Ort.±Std) olarak sunulmuştur. Aynı satırda farklı üst harflerle gösterilen değerler arasındaki istatistiki fark Tukey çoklu karşılaştırma testine göre % 95 doğruluk düzeyinde önemli bulunmuştur.

²Kontrol: Balık yağı, SY: Susam yağı, KTY: Keten tohumu yağı, ZY: Zeytin yağı kullanılmıştır.

³TYTM: Toplam Yem Tüketim Miktarı.

Deneme süresince balıkların bireysel yemden yararlanma oranları periyodik olarak hesaplanmış ve Tablo 4.6'da gösterilmiştir. Deney grupları için elde edilen yemden yararlanma oranları arasındaki fark istatistiksel olarak önemsiz görülmüştür (P>0,05).

Tablo 4.6: Balıkların yemden yararlanma oranları¹.

Periyotlar	Deney Grupları ²			
	Kontrol	SY	KTY	ZY
0-15. gün	1,56±0,17	1,68±0,13	1,43±0,07	1,50±0,04
15-30. gün	1,10±0,04	1,08±0,02	1,12±0,10	1,25±0,11
30-45. gün	1,56±0,35	1,37±0,11	1,29±0,01	1,44±0,14
45-60. gün	1,29±0,47	1,27±0,21	1,42±0,10	1,21±0,06
Ortalama YYO³	1,38±0,23	1,35±0,25	1,32±0,15	1,35±0,15

¹Değerler (n = 3) ortalama ve standart sapma (Ort.±Std) olarak sunulmuştur. Aynı satırda farklı üst harflerle gösterilen değerler arasındaki istatistiki fark Tukey çoklu karşılaştırma testine göre % 95 doğruluk düzeyinde önemli bulunmuştur.

²Kontrol: Balık yağı, SY: Susam yağı, KTY: Keten tohumu yağı, ZY: Zeytin yağı kullanılmıştır.

³YYO: Yemden yararlanma oranı.

4.5. BALIKLARIN BİREYSEL BOYLARI VE KONDÜSYON FAKTÖRÜ DEĞERLERİ

Balıkların kondüsyon faktörü değerlerini hesaplamak amacıyla deney başlangıcında ve periyodik olarak her deney grubundaki bütün balıkların bireysel boy ve ağırlık değerleri ölçülmüştür.

Ortalama bireysel boy değerleri Tablo 4.7’de ve ortalama bireysel kondüsyon faktörü değerleri Tablo 4.8’de sunulmuştur. Balıkların ortalama bireysel boyları arasında herhangi bir istatistiki fark görülmemiştir ($P>0,05$). Benzer şekilde balıkların kondüsyon faktörü değerleri de incelendiğinde herhangi bir istatistiki fark görülmemiştir ($P>0,05$).

Tablo 4.7: Balıkların ortalama bireysel boyları (cm)¹.

Periyotlar	Deney Grupları ²			
	Kontrol	SY	KTY	ZY
Başlangıç	15,8±0,14	15,95±0,07	15,90±0,00	15,85±0,07
0-15. gün	17,05±0,07	16,95±0,07	17,00±0,14	16,95±0,07
15-30. gün	18,20±0,14	17,85±0,35	17,80±0,28	18,00±0,14
30-45. gün	19,20±0,28	19,00±0,28	19,15±0,35	19,10±0,00
45-60. gün	19,85±0,35	19,45±0,21	19,90±0,00	19,75±0,07

¹Değerler (n = 3) ortalama ve standart sapma (Ort.±Std) olarak sunulmuştur. Aynı satırda farklı üst harflerle gösterilen değerler arasındaki istatistiki fark Tukey çoklu karşılaştırma testine göre % 95 doğruluk düzeyinde önemli bulunmuştur.

²Kontrol: Balık yağı, SY: Susam yağı, KTY: Keten tohumu yağı, ZY: Zeytin yağı kullanılmıştır.

Tablo 4.8: Deney balıklarının kondüsyon faktörü değerleri¹.

Periyotlar	Deney Grupları ²			
	Kontrol	SY	KTY	ZY
Başlangıç	1,07±0,03	1,04±0,02	1,05±0,00	1,06±0,02
0-15. gün	1,05±0,04	1,02±0,04	1,06±0,03	1,08±0,01
15-30. gün	1,22±0,02	1,21±0,03	1,27±0,03	1,22±0,03
30-45. gün	1,29±0,08	1,27±0,01	1,32±0,05	1,29±0,02
45-60. gün	1,38±0,04	1,38±0,02	1,36±0,03	1,39±0,01
Ortalama KF³	1,20±0,14	1,18±0,15	1,21±0,15	1,21±0,14

¹Değerler (n = 3) ortalama ve standart sapma (Ort.±Std) olarak sunulmuştur. Aynı satırda farklı üst harflerle gösterilen değerler arasındaki istatistiki fark Tukey çoklu karşılaştırma testine göre % 95 doğruluk düzeyinde önemli bulunmuştur.

²Kontrol: Balık yağı, SY: Susam yağı, KTY: Keten tohumu yağı, ZY: Zeytin yağı kullanılmıştır.

³KF: Kondüsyon faktörü.

4.6. BALIKLARIN VİSEROSOMATİK VE HEPATOSOMATİK İNDEKS DEĞERLERİ

Viserosomatik ve hepatosomatik indeks değerleri deney başlangıcında ve sonunda yapılan ölçümler sonucunda hesaplanmış ve Tablo 4.9'da sunulmuştur. Araştırmada en düşük hepatosomatik ve viserosomatik indeks değerleri kontrol grubu ve ZY grubu balıklarında bulunmuştur. En yüksek hepatosomatik indeks değeri SY grubu balıklarında görülürken en yüksek viserosomatik indeks değeri ise KTY grubu balıklarında bulunmuştur (P<0,05).

Tablo 4.9: Viserosomatik ve hepatosomatik indeks değerleri¹.

Gruplar ²	Viserosomatik İndeks		Hepatosomatik İndeks	
	Deney Başı	Deney Sonu	Deney Başı	Deney Sonu
Kontrol	23,85±3,72	20,88±2,12 ^c	1,28±0,32	2,04±0,32 ^c
SY	23,85±3,72	21,53±1,13 ^b	1,28±0,32	2,54±0,48 ^a
KTY	23,85±3,72	22,51±2,16 ^a	1,28±0,32	2,24±0,22 ^b
ZY	23,85±3,72	20,13±1,47 ^c	1,28±0,32	2,06±0,33 ^c

¹Değerler (n = 3) ortalama ve standart sapma (Ort.±Std) olarak sunulmuştur. Aynı satırda farklı üst harflerle gösterilen değerler arasındaki istatistiki fark Tukey çoklu karşılaştırma testine göre % 95 doğruluk düzeyinde önemli bulunmuştur.

²Kontrol: Balık yağı, SY: Susam yağı, KTY: Keten tohumu yağı, ZY: Zeytin yağı kullanılmıştır.

4.7. ARAŞTIRMADA KULLANILAN BALIKLARIN VÜCUT KOMPOZİSYONU

Araştırmanın başlangıcında deneme için alınan tüm balıklardan rastgele 10 adet ve deneme sonunda her deney grubundan 30 adet balık örneği alınarak kullanılan yöntemin gereği olarak bütün bir şekilde homojen hale getirildikten sonra kuru madde, ham protein, ham yağ ve ham kül değerleri yapılan kimyasal analizler sonucunda saptanmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 4.10'da gösterilmiştir. Deney sonunda balıkların tüm vücudundaki kuru madde oranı incelendiğinde en düşük kontrol grubunda bulunurken bitkisel yağlar ile beslenen balıkların tüm vücut kuru madde oranları benzer bulunmuştur. Balıkların vücudundaki ham yağ oranı incelendiğinde ise en düşük ZY grubunda bulunurken diğer deney gruplarında benzer bulunmuştur.

Tablo 4.10: Balıkların vücut kompozisyonu (%)¹.

Tüm Vücutta								
Gruplar ²	Kuru Madde		Ham Kül		Ham Protein		Ham Yağ	
	Deney Başı	Deney Sonu	Deney Başı	Deney Sonu	Deney Başı	Deney Sonu	Deney Başı	Deney Sonu
Kontrol	27,74±0,76	30,77±0,19 ^b	2,60±0,10	1,93±0,41	17,35±0,58	17,47±0,10	5,07±0,08	16,73±0,45 ^a
SY	27,74±0,76	33,21±0,54 ^a	2,60±0,10	1,82±0,14	17,35±0,58	17,64±0,35	5,07±0,08	15,44±0,35 ^a
KTY	27,74±0,76	33,62±0,21 ^a	2,60±0,10	2,00±0,39	17,35±0,58	17,24±0,29	5,07±0,08	15,77±0,39 ^a
ZY	27,74±0,76	35,52±0,77 ^a	2,60±0,10	1,77±0,42	17,35±0,58	17,38±0,20	5,07±0,08	13,18±0,06 ^b

¹Değerler (n = 3) ortalama ve standart sapma (Ort.±Std) olarak sunulmuştur. Aynı satırda farklı üst harflerle gösterilen değerler arasındaki istatistiki fark Tukey çoklu karşılaştırma testine göre % 95 doğruluk düzeyinde önemli bulunmuştur.

²Kontrol: Balık yağı, SY: Susam yağı, KTY: Keten tohumu yağı, ZY: Zeytin yağı kullanılmıştır.

4.8. DENEY BALIKLARININ TÜM VÜCUDUNDAKİ YAĞ ASİDİ KOMPOZİSYONU

Araştırmanın başlangıcında ve sonunda her deney grubundan rastgele alınan 10 adet balığın tüm vücuttaki yağ asidi kompozisyonu yapılan kimyasal analizler sonucunda saptanmıştır (Tablo 4.11). Genel olarak araştırmada kullanılan deney yemleri balıkların tüm vücuttaki yağ asidi düzeylerini önemli ölçüde etkilemiştir. Balıkların vücutlarındaki doymuş yağ asitlerinin düzeyleri değerlendirildiğinde, kontrol grubunda 14:0 ve 16:0 yağ asitleri belirgin bir şekilde diğer deney gruplarından daha yüksek bulunmuştur ($P<0,05$). Tek doymamış yağ asitlerinin düzeyleri incelendiğinde, kontrol grubunda 16:1n-7 en yüksek değerde bulunmuştur ($P<0,05$). ZY grubunda 18:1n-9 yağ asidi önemli miktarda yüksek bulunmuştur ($P<0,05$). Aynı yağ asidi SY grubunda, ZY grubundan düşük ve diğer deney gruplarından daha yüksek bulunmuştur ($P<0,05$). ZY ve SY gruplarındaki 18:1n-9 yağ asidi düzeyi başlangıç balıklarından da yüksek bulunmuştur ($P<0,05$). SY grubundaki balıkların tüm vücudundaki 18:2n-6 yağ asidi en yüksek düzeyde bulunmuştur ($P<0,05$). Kontrol grubundaki balıkların tüm vücudundaki 20:4n-6, 20:5n-3 ve 22:6n-3 düzeyleri diğer deney gruplarından daha yüksek bulunmuştur ($P<0,05$). KTY grubunda ise 18:3n-3 ve 20:3n-3 yağ asitlerinin oranları diğer deney gruplarından belirgin bir şekilde yüksek bulunmuştur ($P<0,05$). Bununla birlikte bitkisel yağların kullanıldığı deney grupları arasında KTY grubundaki 20:5n-3 ve 22:6n-3 yağ asidi düzeyleri daha yüksek bulunmuştur ($P<0,05$).

Tablo 4.11: Deney başlangıcında ve deney sonunda balıkların tüm vücudundaki yağ asidi kompozisyonu¹.

Yağ Asitleri (mg g yağ)	Balık Grupları ²				
	Başlangıç	Kontrol	SY	KTY	ZY
14:0	20,30±0,17 ^b	43,80±0,12 ^a	13,23±0,07 ^d	13,96±0,48 ^c	12,05±0,09 ^e
16:0	118,07±0,56 ^d	170,59±0,29 ^a	123,01±0,18 ^c	122,87±0,63 ^c	142,78±0,15 ^b
18:0	39,69±0,12 ^{ab}	39,81±0,25 ^{ab}	40,53±0,32 ^{ab}	45,83±0,82 ^a	32,07±0,91 ^b
Toplam doymuşlar	178,06±0,85 ^c	254,20±0,66 ^a	176,77±0,57 ^c	182,66±1,93 ^{bc}	186,90±1,15 ^b
16:1n-7	28,02±0,13 ^b	58,63±0,46 ^a	24,58±0,33 ^b	26,26±0,34 ^b	28,50±0,18 ^b
18:1n-9	398,16±1,17 ^c	236,90±1,54 ^e	403,67±0,23 ^b	259,34±1,04 ^d	534,94±0,51 ^a
20:1n-9	21,57±0,02 ^a	11,29±0,07 ^d	15,69±0,35 ^c	10,02±0,43 ^d	18,66±0,10 ^b
22:1n-11	9,89±0,08 ^b	10,49±0,09 ^a	7,09±0,32 ^c	5,33±0,11 ^d	3,45±0,00 ^e
Toplam tek doymamışlar	457,64±1,40 ^b	317,31±2,16 ^c	451,03±1,23 ^b	300,95±1,92 ^c	585,59±0,79 ^a
18:2n-6	193,61±0,38 ^b	100,48±0,20 ^e	236,75±0,40 ^a	152,00±1,03 ^c	115,69±0,46 ^d
20:4n-6	4,66±0,04 ^b	9,10±0,19 ^a	3,87±0,36 ^{bc}	2,55±0,00 ^c	2,20±0,03 ^c
18:3n-3	40,02±0,15 ^b	27,80±0,20 ^c	27,37±0,32 ^c	226,03±0,05 ^a	19,65±0,11 ^d
20:3n-3	2,95±0,01 ^b	2,57±0,13 ^b	1,36±0,25 ^c	7,15±0,38 ^a	1,27±0,09 ^c
20:5n-3	15,78±0,06 ^c	53,05±0,12 ^a	7,93±0,22 ^d	16,45±0,14 ^b	6,37±0,04 ^e
22:6n-3	60,03±0,14 ^c	199,29±0,13 ^a	47,17±0,30 ^d	63,57±0,95 ^b	40,71±0,49 ^e
Toplam çok doymamışlar	317,05±0,78 ^c	392,29±0,97 ^b	324,45±1,85 ^c	467,75±2,55 ^a	185,89±1,22 ^d
Toplam n-6 PUFA	198,27±0,21 ^b	109,58±0,19 ^e	240,62±0,38 ^a	154,55±0,51 ^c	117,89±0,25 ^d
Toplam n-3 PUFA	118,78±0,08 ^c	282,71±0,14 ^b	83,83±0,30 ^d	313,2±0,38 ^a	68,00±0,18 ^e
Toplam n-3 HUFA	78,76±0,07 ^c	254,91±0,13 ^a	56,46±0,26 ^d	87,17±0,49 ^b	48,35±0,21 ^e

¹Değerler (n = 3) ortalama ve standart sapma (Ort.±Std) olarak sunulmuştur. Aynı satırda farklı üst harflerle gösterilen değerler arasındaki istatistiksel fark Tukey çoklu karşılaştırma testine göre % 95 doğruluk düzeyinde önemli bulunmuştur.

²Kontrol: Balık yağı, SY: Susam yağı, KTY: Keten tohumu yağı, ZY: Zeytin yağı kullanılmıştır.

4.9. DENEY BALIKLARININ KARACİĞERİNDEKİ YAĞ ASİDİ KOMPOZİSYONU

Denemenin başlangıcında ve sonunda her deney grubundan rastgele alınan 10 adet balık örneklerine ait karaciğer yağ asidi kompozisyonu yapılan kimyasal analizler sonucunda bulunmuştur (Tablo 4.12). Genel olarak tablodaki doymuş yağ asitlerinin oranları incelendiğinde istatistiki olarak gruplar arasında bazı farklar bulunmaktadır. Balık karaciğerlerindeki tek doymamış yağ asitlerinin düzeyleri ile balık yemlerindeki tek doymamış yağ asitlerinin oranları arasında bir paralellik olduğu görülmektedir ($P<0,05$). 18:2n-6 yağ asidi en yüksek düzeyde SY grubundaki balık karaciğerlerinde bulunmuştur ($P<0,05$). Aynı yağ asidi diğer deney gruplarında yüksekten düşüğe doğru sırasıyla KTY, ZY, kontrol ve başlangıç karaciğerlerinde bulunmuştur ($P<0,05$). 18:3n-3 ve 20:3n-3 yağ asitleri KTY grubu balık karaciğerinde en yüksek düzeyde bulunmuştur ($P<0,05$). Diğer deney gruplarındaki 18:3n-3 düzeyleri benzer bulunmuştur ($P>0,05$). Başlangıç ve kontrol grubu karaciğerlerindeki 20:3n-3 düzeyleri SY ve ZY gruplarından daha yüksek bulunmuştur ($P<0,05$). Başlangıç ve kontrol balığı karaciğerlerindeki 20:5n-3 yağ asidi düzeyleri bitkisel yağ içeren diğer deney gruplarından doğal olarak daha yüksek bulunmuştur ($P<0,05$). Ancak SY, KTY ve ZY gruplarındaki 20:5n-3 düzeyleri arasında istatistiksel olarak önemli bir fark bulunmamıştır ($P>0,05$). 22:6n-3 yağ asidi düzeyi başlangıç karaciğerlerinde en yüksek düzeyde bulunmuştur ($P<0,05$). Diğer deney grubu balıkların karaciğerlerindeki 22:6n-3 yağ asidi düzeyleri ise benzer bulunmuştur ($P>0,05$).

Tablo 4.12: Deney başlangıcında ve sonunda balık karaciğerindeki yağ asidi kompozisyonu¹.

Yağ Asitleri (mg g yağ)	Balık Grupları ²				
	Başlangıç	Kontrol	SY	KTY	ZY
14:0	15,2±0,20 ^a	4,7±0,01 ^d	11,1±0,01 ^b	8,6±0,02 ^c	14,9±0,03 ^a
16:0	108,2±0,44 ^b	88,2±0,18 ^c	116,5±0,26 ^b	83,9±0,19 ^c	146,3±0,36 ^a
18:0	53,3±0,17	53,9±0,16	53,6±0,21	50,9±0,25	58,6±0,33
Toplam doymuşlar	176,7±0,71 ^b	146,8±0,35 ^c	181,2±0,48 ^b	143,4±0,46 ^c	219,8±0,72 ^a
16:1n-7	35,0±0,19 ^a	20,7±0,16 ^b	27,9±0,13 ^{ab}	18,6±0,26 ^b	19,9±0,17 ^b
18:1n-9	250,4±0,48 ^e	317,7±0,49 ^c	328,2±0,37 ^b	263,0±0,45 ^d	435,5±0,63 ^a
20:1n-9	30,2±0,17 ^c	41,9±0,29 ^b	16,5±0,12 ^e	21,0±0,22 ^d	72,9±0,51 ^a
22:1n-11	19,0±0,11 ^b	28,9±0,18 ^a	27,9±0,12 ^a	21,4±0,12 ^b	16,9±0,24 ^b
Toplam tek doymamışlar	334,6±0,95 ^c	409,2±1,12 ^b	400,5±0,74 ^b	324,0±1,05 ^c	545,2±1,55 ^a
18:2n-6	58,3±0,35 ^e	77,1±0,64 ^d	150,0±0,66 ^a	136,8±0,54 ^b	95,2±0,61 ^c
20:4n-6	15,0 ±0,12 ^a	13,8±0,17 ^a	3,5±0,04 ^b	7,1±0,08 ^b	4,5±0,03 ^b
18:3n-3	14,4±0,15 ^b	12,5±0,13 ^b	11,5±0,36 ^b	196,5±0,51 ^a	10,9±0,12 ^b
20:3n-3	29,1±0,17 ^b	30,9±0,26 ^b	4,0±0,03 ^c	41,1±0,22 ^a	3,2±0,02 ^c
20:5n-3	32,2±0,38 ^a	26,4±0,22 ^a	15,8±0,08 ^b	16,2±0,12 ^b	12,8±0,23 ^b
22:6n-3	242,7±1,26 ^a	137,4±0,96 ^b	128,3±0,64 ^b	140,1±1,17 ^b	135,7±1,12 ^b
Toplam çok doymamışlar	391,7±2,43 ^b	298,1±2,38 ^c	313,1±1,81 ^c	537,88±2,64 ^a	259,6±2,13 ^d
Toplam n-6 PUFA	73,3±0,23 ^d	90,9±0,40 ^c	153,5±0,35 ^a	143,9±0,31 ^b	97,00±0,32 ^c
Toplam n-3 PUFA	318,4±0,49 ^b	207,2±0,37 ^c	159,6±0,28 ^d	393,9±0,53 ^a	162,6±0,37 ^d
Toplam n-3 HUFA	304,00±0,60 ^a	194,7±0,47 ^b	148,1±0,25 ^c	197,4±0,50 ^b	151,7±0,46 ^c

¹Değerler (n = 3) ortalama ve standart sapma (Ort.±Std) olarak sunulmuştur. Aynı satırda farklı üst harflerle gösterilen değerler arasındaki istatistiki fark Tukey çoklu karşılaştırma testine göre % 95 doğruluk düzeyinde önemli bulunmuştur.

²Kontrol: Balık yağı, SY: Susam yağı, KTY: Keten tohumu yağı, ZY: Zeytin yağı kullanılmıştır.

4.10. DENEY BALIKLARININ TÜM VÜCUDUNDAKİ YAĞ ASİDİ SİNDİRİLEBİLİRLİĞİ (%)

Yapılan yemleme deneyleri sırasında kullanılan yemlerin ve toplanan balık dışkılarındaki yağ asidi kompozisyonu saptanmıştır. Deney yemlerinde ve balık dışkılarında kromoksit analizleri yapılmış ve kromoksit miktarlarından yararlanılarak yağ asitlerinin balıklar tarafından hangi oranda sindirilebildiği hesaplanmıştır (Tablo 4.13).

Yağ asitlerinin sindirilebilirlikleri incelendiğinde doymuş yağ asitlerinden 16:0 ve 18:0 yağ asitleri sindirilebilirlikleri istatistiki açıdan farklılık göstermiştir ($P<0,05$). 16:0 ve 18:0 yağ asidi sindirilebilirlikleri en düşük kontrol grubu balıklarında bulunmuştur. 24:1n-9, 20:0, 20:1n-11 ve 20:2n-6 yağ asitleri sindirilebilirlikleri incelendiğinde istatistiki açıdan farklılık göstermiştir ($P<0,05$). 24:1n-9, 20:0, 20:1n-11 ve 20:2n-6 yağ asitlerinin en düşük sindirilebilirlikleri kontrol grubu balıklarında bulunmuştur. 20:4n-6 ve 20:5n-3 yağ asidi sindirilebilirlikleri incelendiğinde her bir yağ asidi için en yüksek değer kontrol grubu balıklarında bulunurken diğer deneme grupları bireylerinde sindirilebilirlik oranları benzer bulunmuştur ($P<0,05$). 22:5n-3 yağ asidi ise kontrol grubu balıkları (% 97) tarafından etkin bir şekilde sindirilmiştir. Diğer deneme gruplarında ise bu yağ asidinin etkin bir şekilde sindirilmediği görülmüştür ($P<0,05$).

Tablo 4.13: Deney balıklarının tüm vücudundaki yağ asidi sindirilebilirliği (%)¹.

Sindirilebilirlik	Balık Grupları ²			
	Kontrol	SY	KTY	ZY
14:0	87,31±0,32	91,82±0,38	90,72±0,27	91,29±0,18
16:0	85,53±0,14 ^b	94,73±0,41 ^a	93,75±0,36 ^a	89,82±0,49 ^{ab}
16:1n-7	95,81±0,36	93,72±0,29	93,70±0,46	93,79±0,28
18:1n-7	92,37±0,45	98,95±0,36	92,97±0,48	96,28±0,51
18:0	75,36±0,37 ^b	94,44±0,39 ^a	95,26±0,51 ^a	93,82±0,54 ^a
18:1n-9	93,48±0,33	97,10±0,41	94,39±0,42	95,10±0,28
20:1n-9	87,12±0,38	87,20±0,58	85,23±0,25	83,87±0,32
22:1n-9	83,80±0,25	90,21±0,36	91,70±0,45	89,90±0,53
24:1n-9	82,46±0,30 ^b	93,45±0,27 ^a	95,21±0,39 ^a	92,40±0,28 ^a
20:0	75,92±0,32 ^b	91,96±0,58 ^a	89,90±0,29 ^a	90,95±0,38 ^a
20:1n-11	85,18±0,29 ^b	97,62±0,36 ^a	98,50±0,48 ^a	96,63±0,33 ^a
22:1n-11	83,72±0,36	89,34±0,48	90,21±0,57	87,32±0,38
22:0	78,10±0,28	78,37±0,34	79,39±0,32	80,00±0,28
22:1n-13	100±0,00	100±0,00	100±0,00	100±0,00
24:0	100±0,00	100±0,00	100±0,00	100±0,00
18:2n-6	95,34±0,53	96,17±0,43	95,12±0,54	97,96±0,50
20:2n-6	74,92±0,24 ^b	99,50±0,54 ^a	98,43±0,23 ^a	97,26±0,41 ^a
22:2n-6	96,37±0,35	100±0,00	100±0,00	100±0,00
18:3n-6	97,85±0,43	97,92±0,37	97,86±0,45	96,95±0,52
20:3n-6	93,60±0,18	91,57±0,28	92,65±0,43	93,70±0,52
20:4n-6	97,78±0,29 ^a	85,10±0,23 ^b	86,12±0,35 ^b	84,19±0,37 ^b
22:4n-6	95,45±0,56	96,38±0,27	97,33±0,58	95,34±0,56
24:4n-6	100±0,00	100±0,00	100±0,00	100±0,00
24:5n-6	100±0,00	100±0,00	100±0,00	100±0,00
22:5n-6	100±0,00	100±0,00	100±0,00	100±0,00
18:3n-3	96,28±0,32	98,29±0,30	98,00±0,15	98,04±0,41
20:3n-3	88,57±0,23	91,39±0,19	92,38±0,42	92,46±0,17
22:3n-3	100±0,00	100±0,00	100±0,00	100±0,00
18:4n-3	98,58±0,42	93,36±0,12	93,37±0,52	93,35±0,45
20:4n-3	97,27±0,28	96,47±0,27	97,40±0,38	92,76±0,48
20:5n-3	99,16±0,35 ^a	94,55±0,42 ^b	95,25±0,29 ^b	94,20±0,12 ^b
22:5n-3	97,08±0,52 ^a	74,30±0,31 ^c	78,29±0,35 ^b	76,30±0,19 ^{bc}
24:5n-3	100±0,00	100±0,00	100±0,00	100±0,00
24:6n-3	100±0,00	100±0,00	100±0,00	100±0,00
22:6n-3	97,76±0,52 ^a	88,24±0,35 ^b	87,10±0,43 ^b	87,92±0,35 ^b

¹Değerler (n = 3) ortalama ve standart sapma (Ort.±Std) olarak sunulmuştur. Aynı satırda farklı üst harflerle gösterilen değerler arasındaki istatistikî fark Tukey çoklu karşılaştırma testine göre % 95 doğruluk düzeyinde önemli bulunmuştur.

²Kontrol: Balık yağı, SY: Susam yağı, KTY: Keten tohumu yağı, ZY: Zeytin yağı kullanılmıştır.

4.11. DENEY BALIKLARININ GÖRÜNEN YA DA KAYBOLAN YAĞ ASİDİ MİKTARLARI (MG/BALIK)

Balıklarda görünen ve kaybolan yağ asitlerinin sonuçları “Tüm Vücut Yağ Asidi Denge Metodu”na göre hesaplanarak Tablo 4.14’te sunulmuştur. Eksi (-) ile gösterilen rakamlar balık vücudunda azalan miktarları (oksidasyona uğrayan) ve pozitif olan değerler balık vücudunda artan (vücutta birikmiş yada sentezlenmiş) miktarları göstermektedir. Deney balıklarının görünen ya da kaybolan yağ asidi miktarları incelendiğinde ZY grubu balıkların 18:1n-9 yağ asidini okside ederken diğer deneme gruplarının bu yağ asidini vücutta biriktirdikleri görülmüştür. 18:2n-9 yağ asidinin yalnızca SY grubu balıklar tarafından okside edildiği ve diğer deneme grubu balıklarının vücudunda biriktiği görülmüştür. 18:3n-3 yağ asidinin ise yalnızca KTY grubu balıklar tarafından okside edildiği ve diğer deneme grubu balıklarının vücudunda biriktiği görülmüştür. Ayrıca en yüksek oksidasyon miktarlarının 18C’lu yağ asidi gruplarında olduğu saptanmıştır. Bu tez çalışmasında 14:1n-5, 16:0, 16:1n-7, 20:1n-9, 20:2n-6, 18:3n-6, 20:3n-3, 20:3n-6, 20:4n-3, 22:5n-3 ve 22:6n-3 yağ asitlerinin tüm deney gruplarında balık vücudundaki düzeylerinin arttığı görülmüştür. 22:2n-6 yağ asidi ise tüm deneme grubu balıklarında okside olmuştur. Bu yağ asidi için en yüksek oksidasyon oranı SY grubu balıklarında bulunurken en düşük oksidasyon oranı kontrol grubu balıklarında bulunmuştur ($P<0,05$). 18:1n-7 yağ asidi için en yüksek oksidasyon kontrol grubu balıklarında bulunurken en düşük oksidasyon oranı SY grubu balıklarında görülmüştür ($P<0,05$).

Tablo 4.14: Deney balıklarının görünen ya da kaybolan yağ asidi miktarları (mg/balık)¹.

Görünen/Kaybolan yağ asitleri	Balık Grupları²			
	Kontrol	SY	KTY	ZY
14:0	-276,19±8,83 ^a	68,98±4,92 ^b	12,52±0,63 ^d	20,87±0,96 ^c
14:1n-5	15,64±0,87 ^c	181,00±11,94 ^b	241,47±7,06 ^a	236,35±8,16 ^a
16:0	306,87±15,78 ^c	239,08±9,18 ^d	598,93±29,17 ^a	329,31±18,32 ^b
16:1n-7	245,65±6,43 ^a	246,57±10,06 ^a	210,72±8,48 ^b	145,96±14,87 ^c
18:1n-7	285,60±9,76 ^a	-16,33±0,91 ^d	-52,93±3,18 ^c	-90,67±5,12 ^b
18:0	113,96±12,09 ^c	-56,55±3,19 ^d	148,31±12,56 ^b	325,47±17,90 ^a
18:1n-9	1247,07±38,10 ^c	2380,81±101,06 ^a	1265,42±42,11 ^c	-1438,68±49,0 ^b
20:1n-9	85,44±6,12 ^c	184,68±14,10 ^a	115,11±9,04 ^b	185,13±10,12 ^a
22:1n-9	-33,51±4,56 ^c	89,81±6,13 ^b	98,27±8,02 ^a	33,86±1,98 ^c
24:1n-9	-73,91±3,98 ^b	20,95±2,01 ^c	28,24±3,10 ^c	-211,08±6,04 ^a
20:0	-30,10±3,67 ^a	-27,81±2,98 ^a	3,72±0,42 ^c	-18,05±0,86 ^b
20:1n-11	-26,03±3,08 ^a	-13,41±0,73 ^b	0,24±0,06 ^c	-22,82±1,01 ^a
22:1n-11	-1,85±0,09 ^b	10,48±1,56 ^a	10,34±1,28 ^a	-11,54±1,21 ^a
22:0	-3,01±0,85 ^c	-11,99±1,42 ^b	-12,98±0,97 ^b	-26,96±1,03 ^a
22:1n-13	0,00	0,00	0,00	0,00
24:0	-18,46±0,78 ^a	-2,38±0,04 ^b	0,00	11,42±0,98 ^a
18:2n-6	342,99±19,64 ^b	-464,69±16,40 ^a	236,58±17,43 ^c	6,34±0,62 ^d
20:2n-6	40,71±1,50 ^d	157,74±9,75 ^a	92,19±14,11 ^b	72,77±5,73 ^c
22:2n-6	-16,00±1,02 ^d	-137,97±11,92 ^a	-32,89±2,68 ^c	-77,38±6,14 ^b
18:3n-6	7,42±0,89 ^d	63,84±4,95 ^a	37,32±3,21 ^b	14,37±1,16 ^c
20:3n-6	24,22±2,64 ^c	102,66±15,30 ^a	38,72±2,79 ^b	47,35±3,52 ^b
20:4n-6	-0,07±0,00 ^c	22,94±1,03 ^b	53,07±3,12 ^a	24,40±2,10 ^b
22:4n-6	0,00	0,00	0,00	0,00
24:4n-6	0,00	0,00	0,00	0,00
24:5n-6	0,00	0,00	0,00	0,00
22:5n-6	0,00	0,00	0,00	0,00
18:3n-3	167,51±12,18 ^b	163,38±10,09 ^b	-1445,11±46,13 ^a	125,90±8,56 ^c
20:3n-3	13,49±1,02 ^c	31,34±3,15 ^b	224,43±12,84 ^a	18,95±1,04 ^c
22:3n-3	0,00	0,00	0,00	0,00
18:4n-3	-68,33±5,07 ^b	25,77±1,12 ^c	236,35±14,98 ^a	17,03±1,14 ^c

Tablo 4.14 (devam): Deney balıklarının görünen ya da kaybolan yağ asidi miktarları (mg/balık)¹.

20:4n-3	7,50±0,86 ^c	20,51±3,16 ^b	50,83±5,04 ^a	40,44±2,86 ^a
20:5n-3	-288,90±18,37 ^a	-6,64±0,79 ^d	44,27±4,08 ^c	-124,75±13,21 ^b
22:5n-3	139,52±12,84 ^a	85,91±4,99 ^c	117,68±13,97 ^b	57,36±8,02 ^d
24:5n-3	0,00	0,00	0,00	0,00
24:6n-3	0,00	0,00	0,00	0,00
22:6n-3	1368,73±31,10 ^a	267,54±26,05 ^c	562,66±39,16 ^b	92,04±8,04 ^d

¹Değerler (n = 3) ortalama ve standart sapma (Ort.±Std) olarak sunulmuştur. Aynı satırda farklı üst harflerle gösterilen değerler arasındaki istatistiksel fark Tukey çoklu karşılaştırma testine göre % 95 doğruluk düzeyinde önemli bulunmuştur.

²Kontrol: Balık yağı, SY: Susam yağı, KTY: Keten tohumu yağı, ZY: Zeytin yağı kullanılmıştır.

4.12. DENEY BALIKLARININ GÖRÜNEN YAĞ ASİTLERİNİN ELONGASYON, B-OKSİDASYON VE DESATURASYON MİKTARLARI

Tüm vücut yağ asidi denge metoduna göre yağ asitlerinin elongasyon, β -oksidasyon ve desaturasyon miktarları nmol g balık gün olarak ifade edilmiştir (Tablo 4.15). Tüm yağ asidi sınıfları içerisinde Δ -5 desaturasyon aktivitesi bulunmazken, Δ -6 ve Δ -9 desaturasyon aktiviteleri tüm yağ asidi grupları için hesaplanmıştır. Doymuş ve tek doymamış yağ asitleri için β -oksidasyon değeri tespit edilememiştir. Toplam β -oksidasyon değeri n-6 PUFA'lar için incelendiğinde en yüksek değer SY diyetiyle beslenen balıklarda görülmüşken en düşük β -oksidasyon değeri kontrol diyetiyle beslenen balıklarda görülmüştür ($P<0,05$). n-3 PUFA'lar için β -oksidasyon değeri KTY diyetiyle beslenen balıklarda tespit edilirken diğer diyetlerle beslenen balıklarda saptanamamıştır.

Tablo 4.15: Deney balıklarının görünen yağ asitlerinin elongasyon, β -oksidasyon ve desaturasyon miktarları (nmol g balık gün)¹.

Balık Grupları²				
	Kontrol	SY	KTY	ZY
<i>Doymuş ve Tek</i>				
<i>Doymamış Yağ Asitleri</i>				
Toplam Elongasyon	4.833,44±78,90 ^b	7.789,79±316,70 ^d	5.801,19±112,81 ^c	2.032,07±63,28 ^a
Toplam β -oksidasyon	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.
Toplam Δ -9 desaturasyon	1.495,878±53,21 ^b	2.575,54±110,15 ^c	1.590,79±29,45 ^b	360,84±9,86 ^a
<i>n-6 PUFA</i>				
Toplam Elongasyon	46,85±1,20 ^a	213,54±7,87 ^d	133,46±10,65 ^c	104,94±11,21 ^b
Toplam β -oksidasyon	10,61±0,18 ^a	212,23±10,48 ^d	21,77±0,20 ^b	51,29±3,95 ^c
Toplam Δ -6 desaturasyon	23,47±0,38 ^a	148,19±10,32 ^d	96,76±6,70 ^c	63,84±4,45 ^b
<i>n-3 PUFA</i>				
Toplam Elongasyon	2.766,53±64,28 ^d	720,83±36,54 ^b	1.535,51±28,16 ^c	216,32±8,12 ^a
Toplam β -oksidasyon	T.E.	T.E.	271,59	T.E.
<i>Toplam</i>				
Elongasyon	7.646,82±289,95 ^b	8.724,16±312,43 ^c	7.470,16±298,06 ^b	2.353,33±109,18 ^a
β -oksidasyon	10,61±0,18 ^a	212,23±10,48 ^c	293,36±20,17 ^d	51,29±3,95 ^b
Δ -6 desaturasyon	23,47±0,38 ^a	148,19±10,32 ^d	96,76±6,70 ^c	63,84±4,45 ^b
Δ -9 desaturasyon	1.495,878±53,21 ^b	2.575,54±110,15 ^c	1.590,79±29,45 ^b	360,84±9,86 ^a

¹Değerler (n = 3) ortalama ve standart sapma (Ort.±Std) olarak sunulmuştur. Aynı satırda farklı üst harflerle gösterilen değerler arasındaki istatistiksel fark Tukey çoklu karşılaştırma testine göre % 95 doğruluk düzeyinde önemli bulunmuştur.

²Kontrol: Balık yağı, SY: Susam yağı, KTY: Keten tohumu yağı, ZY: Zeytin yağı kullanılmıştır.
T.E. = Tespit edilememiştir.

4.13. DENEY BALIKLARINDAKİ BAZI SPESİFİK YAĞ ASİTLERİNİN ELONGASYON, B-OKSİDASYON, DESATURASYON VE BİRİKİM MİKTARLARI (NMOL G BALIK GÜN)¹

Bazı spesifik yağ asitlerinin dönüşüm, oksidasyon, desaturasyon ve birikim değerleri “Tüm Vücut Yağ Asidi Denge Metodu” na göre hesaplanarak Tablo 4.16’da nmol g balık gün olarak gösterilmiştir. Deney balıklarının 18:2n-6 yağ asidini 20:2n-6 ve 18:3n-6 yağ asitlerine dönüştürebildikleri görülmüştür. 18:2n-6 yağ asidinin elongasyon yolu ile 20:2n-6 yağ asidine dönüşüm miktarları incelendiğinde en yüksek değer SY grubu balıklarında görülürken en düşük değer kontrol grubu balıklarında saptanmıştır ($P<0,05$). Benzer şekilde 18:2n-6 yağ asidinin desaturasyon yolu ile 18:3n-6 yağ asidine dönüşüm miktarları incelendiğinde en yüksek değer SY grubunda ve en düşük değer kontrol grubunda olduğu görülmüştür ($P<0,05$). Ayrıca 18:3n-3 yağ asidinin elongasyon yolu ile 20:3n-3 yağ asidine dönüşüm miktarları incelendiğinde en yüksek değer KTY grubunda görülürken en düşük değer kontrol ve ZY gruplarında gerçekleştiği görülmüştür ($P<0,05$). 18:3n-3 yağ asidinin desaturasyon yolu ile 18:4n-3 yağ asidine dönüşüm miktarları incelendiğinde ise Kontrol ve ZY gruplarında en yüksek düzeylerde olduğu görülürken KTY grubunda ise en düşük düzeyde olduğu saptanmıştır ($P<0,05$). Diğer taraftan SY grubundaki balıklarda 18:2n-6 yağ asidi için β -oksidasyon değeri tespit edilirken diğer gruplar için tespit edilememiştir. 18:3n-3 yağ asidinin β -oksidasyon değerleri incelendiğinde KTY grubu balıklarda bu değer saptandığı ancak diğer balık gruplarında tespit edilemediği görülmüştür. Bununla birlikte 18:2n-6 yağ asidinin birikim değerleri incelendiğinde en yüksek değer kontrol grubu balıklarında görülmüş ve en düşük değer ise ZY grubu balıklarında görülmüştür ($P<0,05$). 18:3n-3 yağ asidinin birikim değerleri incelendiğinde ise en yüksek birikimin kontrol ve SY grubu balıklarında, en düşük birikimin ise ZY grubu balıklarında olduğu görülürken KTY grubu balıklarında ise birikim tespit edilememiştir ($P<0,05$). 22:6n-3 yağ asidinin birikim değeri incelendiğinde en yüksek değer kontrol grubu balıklarında en düşük değer ise ZY grubu balıklarında olduğu görülmüştür ($P<0,05$).

Tablo 4.16: Deney balıklarının tüm vücut n-3 ve n-6 serisi yağ asidi dönüşüm miktarları (nmol g balık).

Yağ asitleri	Kontrol	SY	KTY	ZY
18:2n-6				
Elongasyon (18:2n-6→20:2n-6)	29,31±0,39 ^d	118,48±9,56 ^a	66,54±1,28 ^b	52,61±0,89 ^c
Desaturasyon (18:2n-6→18:3n-6)	23,47±0,12 ^d	148,19±12,54 ^a	96,77±9,10 ^b	63,84±3,27 ^c
β-oksidasyon	T.E.	117,22±10,93	T.E.	T.E.
Birikim	271,54±28,42 ^a	T.E.	187,8±29,65 ^b	5,04±0,18 ^c
18:3n-3				
Elongasyon (18:3n-3→20:3n-3)	9,78±0,21 ^c	23,69±1,12 ^b	163,05±36,20 ^a	13,79±0,26 ^c
Desaturasyon (18:3n-3→18:4n-3)	757,55±69,12 ^a	281,07±22,06 ^b	720,76±56,18 ^a	52,58±1,99 ^c
β-oksidasyon	T.E.	T.E.	271,59±36,43	T.E.
Birikim	133,57±19,54 ^a	135,95±26,15 ^a	T.E.	100,83±12,11 ^b
22:2n-6				
β-oksidasyon	10,56±0,76 ^d	95,01±16,12 ^a	21,77±0,98 ^c	51,29±1,29 ^b
22:6n-3				
Birikim	925,29±76,49 ^a	188,72±18,97 ^c	381,39±26,09 ^b	62,49±2,18 ^d

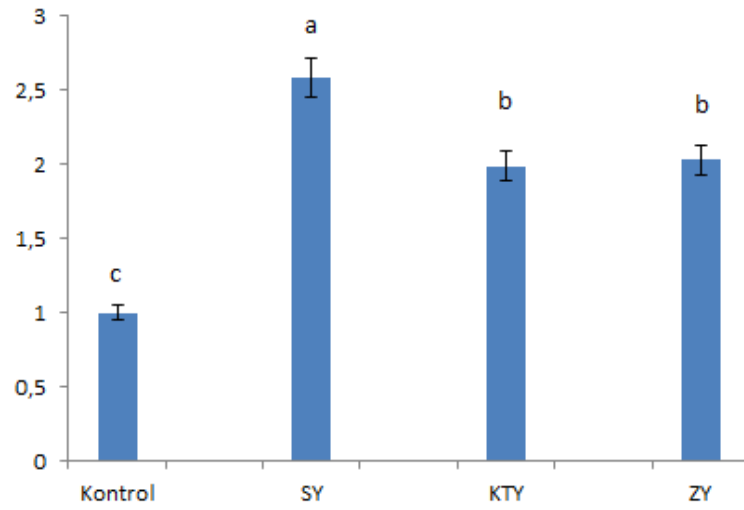
¹Değerler (n = 3) ortalama ve standart sapma (Ort.±Std) olarak sunulmuştur. Aynı satırda farklı üst harflerle gösterilen değerler arasındaki istatistiki fark Tukey çoklu karşılaştırma testine göre % 95 doğruluk düzeyinde önemli bulunmuştur.

²Kontrol: Balık yağı, SY: Susam yağı, KTY: Keten tohumu yağı, ZY: Zeytin yağı kullanılmıştır.
T.E. = tespit edilememiştir.

4.14. LİPİTLERİ METABOLİZE EDEN ENZİMLERİN TRANSKRİPSİYON ORANI ÖLÇÜMLERİ

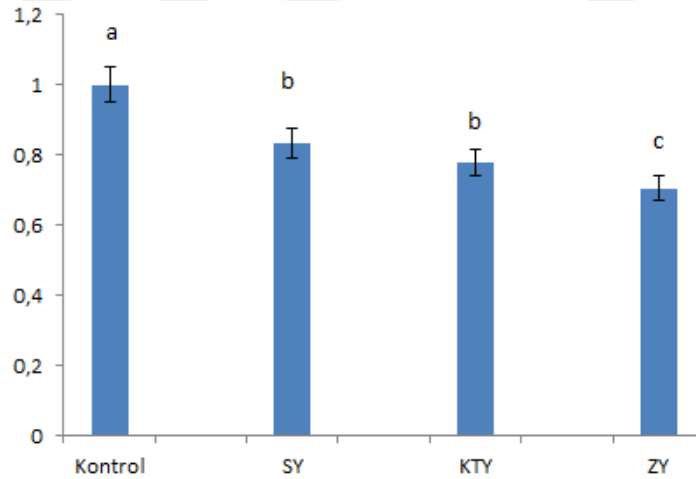
Δ6 desaturaz ve elongaz enzimlerini kodlayan genlerin miktarı kalitatif gerçek zamanlı PCR (Real time PCR) ile ölçüldü. Δ6 desaturaz ve elongaz enzimlerinin transkripsiyon oranları şekil 4.1 ve 4.2’de sunulmuştur.

Araştırmamızda elde edilen Δ6 desaturaz enzim transkripsiyon oranlarına yönelik yapılan istatistiki analizlere göre en yüksek oran SY yemiyle beslenen balıklarda ve en düşük oran kontrol yemiyle beslenen balıklarda saptanmıştır (P<0,05). KTY ve ZY yemleriyle beslenen balıklarda Δ6 desaturaz enzim transkripsiyon oranları benzer bulunmuştur (P>0,05).



Şekil 4.1: Balık yağı (kontrol), susam yağı (SY), keten tohumu yağı (KTY) ve zeytin yağı (ZY) içeren diyetlerle beslenen gökkuşuğu alabalığı karaciğerlerinin $\Delta 6$ desaturaz enzim transkripsiyon oranı ölçümü.

Araştırmamızda elde edilen elongaz enzim transkripsiyon oranlarına yönelik yapılan istatistiki analizlere göre en yüksek oran Kontrol yemiyle beslenen balıklarda ve en düşük oran ZY yemiyle beslenen balıklarda saptanmıştır ($P < 0,05$). KTY ve SY yemleriyle beslenen balıklarda elongaz enzim transkripsiyon oranları benzer bulunmuştur ($P > 0,05$).



Şekil 4.2: Balık yağı (kontrol), susam yağı (SY), keten tohumu yağı (KTY) ve zeytin yağı (ZY) içeren diyetlerle beslenen gökkuşuğu alabalığı karaciğerlerinin elongaz enzim transkripsiyon oranı ölçümü.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Balıkların beslenmesi ile ilgili yapılan araştırmaların önemli bir kısmını yemlerde kullanılan alternatif hammaddelerin balıkların büyüme performansına ve vücut kompozisyonuna etkisi ile ilgili konular oluşturmaktadır. Ancak bilimsel gelişmelerin artması ve teknolojinin daha fazla kullanılmasıyla birlikte balıklardaki yağ asidi metabolizmasının nasıl gerçekleştiği merak edilen konular arasında yer almıştır.

Bu araştırmada, gökkuşağı alabalığı (*Oncorhynchus mykiss* W., 1792) diyetlerinde balık yağının tamamı yerine kullanılan keten tohumu, susam ve zeytin yağlarının balıklarda yağ asidi metabolizmasını nasıl etkilediği incelenmiştir. Ayrıca bu yağların balıklarda büyüme performansına, yem kullanımına, vücuttaki besin maddeleri miktarına ve yağ asidi kompozisyonuna etkileri araştırılmıştır.

Araştırmamızın yemleme deneylerinin gerçekleştirildiği deney tanklarında kullanılan sudaki sıcaklık ve çözülmüş oksijen (Tablo 4.1) gökkuşağı alabalığı yetiştiriciliği için literatürlerde belirtilen 10-15 °C su sıcaklığı, 6 mg/l'den daha yüksek oranda suda çözülmüş oksijen miktarı ve 6,5-8,5 pH değerleriyle benzerlik göstermektedir (Billard, 1990; Lindhors-Emme, 1990; FAO, 2010).

Gökkuşağı alabalığının normal gelişimi için yemlerinde % 40-50 oranında proteine, %10-15 oranında yağa ve %5-10 gibi düşük oranda karbonhidrata ihtiyaç duyduğu bildirilmiştir (Edwards, 1978; Billard, 1990; NRC, 1993). Araştırmamız için hazırlanan deney diyetlerinde bulunan ortalama % 47 oranındaki protein düzeyinin balıkların ihtiyacını karşıladığı görülmüştür. Günümüzde balık yemi üretimindeki teknolojik gelişmelerle birlikte balıkların farklı yaşam evreleri için besin değeri yüksek olan yemler üretilmektedir. Yem üretimindeki gelişmeler sayesinde balıklar için hazırlanan diyetlerde yüksek oranda yağ kullanabilme olanağı sağlanabilmiştir (FAO, 2010). Gökkuşağı alabalığı için hazırlanan yüksek enerjili yemlerde %16-22 oranları arasında yağa ihtiyaç duyulduğu bilinmektedir (FAO, 2010). Araştırmamızda da ortalama % 17,7 oranında yağ içeren diyetler kullanılmıştır (Tablo 2).

Araştırmamızdaki balıkların büyüme performansı değerleri incelendiğinde, juvenil gökkuşağı alabalığı ile ilgili yapılan araştırmaların sonuçları ile benzerlik gösterdiği görülmüştür (Koskela vd., 1997; Caballero vd., 2002; Bransden vd., 2003; Richard vd., 2006).

Araştırmada, yapılan analizler sonucunda balıkların vücut kompozisyonundaki besin maddelerinin oranları saptanmıştır (Tablo 4.10). Araştırmamızın deney gruplarındaki balıkların vücutundaki protein oranlarının (yaklaşık olarak %17) benzer olduğu görülmüştür. Ancak deney gruplarındaki balıkların vücutundaki yağ oranları incelendiğinde en düşük (%13,18) zeytin yağı grubunda bulunurken diğer deney grupları arasında istatistiksel olarak önemli bir fark bulunmamıştır. ZY yemi ile beslenen balıkların tüm vücut lipid miktarının diğer gruplara göre daha düşük çıkmasının sebebinin yağ asitlerinden enerji üretebilmek amacıyla balıkların vücutlarında depoladıkları yağları kullanması ile açıklanabilir. Araştırmamızda tüm balık vücutunda elde edilen protein ve yağ oranları literatürlerde belirtilen oranlarla benzerlik göstermiştir (Torstensen vd., 2000; Piedecausa vd., 2007).

Araştırmada kullanılan deney yemlerindeki yağ asidi kompozisyonu incelendiğinde balık yağı yerine bitkisel yağ kullanımına bağlı olarak n-6 PUFA oranlarının arttığı ve buna karşın n-3 PUFA miktarlarının önemli oranda azaldığı görülmüştür. Güler ve Yıldız (2009)'da araştırmamızla benzer koşullarda ve pamuk tohumu yağı kullanarak yaptıkları çalışmada gökkuşuğu alabalıklarında bitkisel yağ kullanımına bağlı olarak balık etindeki n-6 PUFA oranının arttığını ve n-3 PUFA oranının azaldığını bildirmişlerdir. Farklı bitkisel yağlar içeren diyetlerle beslenen gökkuşuğu alabalığı (Caballero ve diğ., 2002; Ballestrazzi ve diğ., 2006), Atlantik salmonu (Menoyo ve diğ., 2005), Pasifik salmonu (Huang ve diğ., 2008) ve Rus mersini (Şener ve diğ., 2005) balıklarında da benzer sonuçlar elde edildiği rapor edilmiştir. Deney gruplarına göre yağ asidi kompozisyonu detaylı bir şekilde incelendiğinde doğal olarak kontrol grubunda 22:6n-3 ve 20:5n-3 yağ asitleri balık yağı kullanımına bağlı olarak yüksek oranda bulunmuştur. Bununla birlikte araştırmada kullanılan keten tohumu yağı % 52 oranında 18C'lu n-3 PUFA içermesi nedeniyle bu yağın kullanıldığı KTY diyetinde 18C'lu n-3 PUFA oranları yüksek bulunmuştur. Zeytin yağı içeren diyetle beslenen balıklarda 18:1n-9 belirgin bir şekilde yüksek bulunmuştur. Susam yağı içeren diyetle beslenen balıklarda ise 18:2n-6 yağ asidi tüm gruplardan daha yüksek bulunmuştur. Araştırmamızda elde edilen yağ asidi oranları ile farklı araştırmalarda elde edilen sonuçlar uyum içerisindedir (Cabellero vd., 2002; Jutfelt vd., 2007; Köse ve Yıldız, 2013). Gökkuşuğu alabalığı yemlerinde % 0,4-0,5 oranında n-3 HUFA'ların (Sargent ve diğ., 2002) ve % 1 oranında 18:3n-3 yağ asitlerine gereksinim duyduğu rapor edilmiştir (Castell ve diğ., 1972; Emidio ve diğ., 1993; Otha ve Watanabe, 1996). Gökkuşuğu alabalıklarının yağ asidi ihtiyaçları ile ilgili yukarıda belirtilen değerlere

bakıldığında, araştırmamız için hazırlanan diyetlerin bu balık türü için uygun olduğu görülmektedir.

Yemlerdeki, balıkların tüm vücudundaki ve balık karaciğerlerindeki 14:0 ve 16:0 yağ asitleri düzeyleri incelendiğinde, ZY grubu dışında diğer gruplarda tüm vücut ve karaciğerde düşük olması balığın bu yağ asidini enerji amaçlı kullandığını göstermektedir. Daha önce yapılan bazı araştırmalarda gökkuşağı alabalığının doymuş yağ asitlerini de enerji amaçlı kullandığı bildirilmiştir (Sargent vd., 2002) Araştırmada kullanılan bitkisel yağlarda 22:1n-11 yağ asidi saptanamamıştır. Bu yağ asidinin balık yemlerinde bulunmasının nedeni yemlerde kullanılan balık ununda bulunan yağlardır. Balıkların tüm vücudundaki 16:1n-7, 18:1n-9, 20:1n-9 ve 22:1n-11 yağ asitleri incelendiğinde, vücuttaki düzeylerin yemlerdeki oranlardan daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu durum deney balıklarının bu yağ asitlerinin doymamışlık derecesini arttırdıklarını göstermektedir. Aynı yağ asitlerinin balık karaciğerlerindeki miktarlarına bakıldığında, genellikle 16:1n-7 ve 18:1n-9 yağ asitlerinin düzeyleri (KTY grubundaki 18:1n-9 yağ asidi dışında) azalmış ancak 20:1n-9 ile 22:1n-11 yağ asitlerinin düzeyi belirgin bir şekilde artmıştır. Bu sonuçlar da deney balıklarının 16:1n-7 ve 18:1n-9 yağ asitlerini 20:1n-9 ve 22:1n-11 yağ asitlerine dönüştürebildiklerini göstermektedir.

Deney yemlerindeki ve balıkların tüm vücudundaki 18:2n-6 ve 20:4n-6 yağ asitleri incelendiğinde yemlerdeki yağ asidi düzeylerinin balıkların tüm vücutlarına doğrudan yansıdığı görülmektedir. Balıkların tüm vücudundaki 18:2n-6 yağ asidi oranı kontrol grubu dışındaki diğer deney gruplarında düşmüştür. Buna karşın balıkların tüm vücudundaki 20:4n-6 yağ asidi düzeylerinin yemlere göre önemli ölçüde arttığı görülmüştür. Bu sonuçlar balıkların 18:2n-6 yağ asidinden 20:4n-6 yağ asidini sentezleyebildiğini belirtmektedir. Gökkuşağı alabalığının 18 C’lu n-6 serisindeki yağ asitlerinden 20C’lu araşidonik asidi sentezleyebildiği başka araştırmalarda da rapor edilmiştir (Cabellero vd., 2002; Turchini ve Francis, 2009).

Deney yemlerindeki ve balıkların tüm vücudundaki n-3 serisi yağ asitleri oranları incelendiğinde bu yağ asitlerinin doğrudan balık vücuduna yansıdığı görülmektedir. Özellikle 20:3n-3 yağ asidi SY ve ZY yemlerinde saptanamamıştır. Bu yağ asidi KTY yeminde düşük düzeyde bulunmuştur. Balığın tüm vücudundaki 20:3n-3 yağ asidi oranlarına bakıldığında tüm deney gruplarındaki balıklarda bu yağ asidinin bulunduğu görülmüştür. Hatta KTY grubundaki balıkların vücudundaki 20:3n-3 düzeyi diğer gruplardan oldukça yüksek bulunmuştur. Bu

sonuç balıkların 18:3n-3 yağ asidinden 20:3n-3 yağ asidini sentezleyebildiğinin önemli bir kanıtı olarak değerlendirilebilir. Benzer durumlar 20:5n-3 ve 22:6n-3 yağ asitleri için de görülmüştür. Bitkisel yağların çoğu 18C'lu (18:1n-9; 18:2n-6; 18:3n-3) doymamış yağ asitleri bakımından zengin kaynaklar olmasına rağmen n-3 HUFA'lar bakımından yetersizdirler. Gökkuşığı alabalığı gibi birçok tatlı su balığı diyetinde bulunan LA ve LNA yağ asitlerini ARA, EPA ve DHA gibi HUFA'lara dönüştürebilmektedir (Sargent ve diğ., 2002; Caballero ve diğ., 2002; Tocher 2010).

Balıkların karaciğerlerindeki n-6 ve n-3 serisindeki yağ asitleri incelendiğinde 22:6n-3 yağ asidi dışında diğer yağ asitlerinin oranları balıkların yemleri ve vücutlarındaki oranlar ile bir paralellik gösterdiği görülmüştür. Ancak 22:6n-3 yağ asidi bitkisel yağlarla beslenen balık karaciğerlerinde oldukça yüksek bulunmuştur. Bu yağ asidinin karaciğerde yüksek oranda bulunması balıklar tarafından sentezlenebildiğini gösteren bir sonuç olarak ortaya çıkmıştır. Bu sonuçlar, balıkların 18C'lu n-3 yağ asitlerinden 20:3n-3 ve DHA yağ asitlerini sentezlediklerini göstermektedir. Gökkuşığı alabalığı gibi bazı tatlı su balıklarının 18C'lu n-3 yağ asitlerinden 20-22C'lu yağ asitlerini sentezleyebilme yeteneğinde oldukları farklı araştırmalarda bildirilmiştir (Sargent ve diğ., 2002; Tocher, 2010).

Araştırmanın tüm vücut yağ asidi denge metodu sonuçları incelendiğinde gökkuşığı alabalığının n-6 PUFA'ları enerji olarak kullandıkları ve bunun n-3 uzun zincirli PUFA'ların oksidasyonunu etkileyerek vücutta birikimlerini sağladıkları sonucuna varılmıştır. Bununla birlikte SY diyetiyle beslenen balıklarda 18:2n-6 yağ asidinin β -oksidasyona uğradığı saptanmıştır. 18:3n-3 yağ asidinin β -oksidasyonu incelendiğinde ise en yüksek değer KTY grubunda olduğu görülmüştür. Bunun sebebi 18:3n-3 ve 18:2n-6 yağ asidi yemlerde yüksek konsantrasyonlarda bulunduklarında, kolaylıkla β -okside olabilmektedirler. Benzer şekilde gökkuşığı alabalığı ve atlantik salmonu üzerine yapılan çalışmalarda, MUFA (18:1n-9 ve 22:1n-11)'lar kadar 18:3n-3 ve 18:2n-6'nın yemlerde yüksek konsantrasyonlarda bulunduğu β -okside oldukları rapor edilmiştir (Stubhaug vd., 2007; Turchini ve Francis, 2009). Bu veriler yemlerdeki yağ asitlerinin kullanılabilirlik doğrultusunda β -okside olduklarını göstermektedir.

Araştırmamızın yağ asidi metabolizmasında etkili olan $\Delta 6$ desaturaz (Şekil 4.1) ve elongaz (Şekil 4.1) enzimlerinin miktarları balık karaciğerlerinden alınan örneklerle yapılan genetiksel

analizler sonucunda bulunmuştur. Yapılan hesaplamalar sonucunda linoleik serisindeki (n-6) yağ asitlerinin çift bağ sayısının arttırılmasında etkili olan $\Delta 6$ desaturaz enzimi ile tüm yağ asitlerinin karbon sayısındaki artışı etkileyen elongaz enziminin gruplara göre oranları bulunmuştur. $\Delta 6$ desaturaz enzimi dışında linolenik serisindeki (n-3) yağ asitlerinin çift bağ sayısını arttıran $\Delta 5$ desaturaz enzimi ile oleik asit serisindeki (n-9) yağ asitlerinin çift bağ sayısını arttıran $\Delta 9$ desaturaz enzim aktivitesinin genetiksel olarak analiz edilememesinin nedeni gökkuşaklı alabalığı için bu enzimleri kodlayan genlerin primerlerinin bilim dünyasında henüz tam olarak tanımlanamamış olmasından kaynaklanmaktadır. Benzer yaklaşımlar bu konuda yapılan bir araştırmada belirtilmiştir (Thanuthong vd., 2011). Yapılan çalışmalarda (Tocher, 2003; Torstensen ve Tocher, 2010) diyetlere bitkisel yağ ilavesine bağlı olarak $\Delta 6$ desaturaz enzim transkripsiyon oranının arttığı bildirilmiştir. Diyetlerin yağ asidi kompozisyonunu gösteren tablo (Tablo 3.4) incelendiğinde 18:2n-6 yağ asidi en yüksek oranda susam yağı grubunda en düşük kontrol grubunda ve keten tohumu yağı ile zeytin yağı gruplarında orta düzeyde bulunmuştur. $\Delta 6$ desaturaz enzim transkripsiyon oranını gösteren Şekil 4.1 incelendiğinde $\Delta 6$ desaturaz enzim transkripsiyon oranları yemlerdeki 18:2n-6 düzeyleri ile paralel bir şekilde bulunmuştur. Araştırmamızda elde ettiğimiz sonuçları gökkuşaklı alabalığı ile yapılan benzer araştırmalar da desteklemektedir (Tocher, 2003; Torstensen ve Tocher, 2010).

Elongaz enzim transkripsiyon oranını gösteren şekil 4.2 incelendiğinde kontrol grubunda en yüksek, keten tohumu ve susam yağı grubunda ikinci sırada ve benzer, ancak zeytin yağı grubunda en düşük düzeyde bulunmuştur. Diyetlerin yağ asidi kompozisyonu (Tablo 3.4) incelendiğinde kontrol grubunda HUFA düzeylerinin, keten tohumu grubunda 18:3n-3 yağ asidi düzeyinin, susam yağı grubunda 18:2n-6 düzeyinin ve zeytin yağı grubunda ise 18:1n-9 yağ asidi düzeyinin en yüksek olduğu görülmektedir. Ayrıca susam yağı diyetinde 18:1n-9 yağ asidi de önemli bir oranda bulunmaktadır. Elongaz enzim transkripsiyon oranları ile diyetlerdeki yağ asidi oranları bir arada değerlendirildiğinde bu enzimin HUFA içeren grupta (kontrol) en yüksek düzeyde, 18:3n-3 yağ asidi içeren grup (KTY) ile 18:2n-6 yağ asidini en yüksek oranda ve 18:1n-9 yağ asidini önemli bir oranda içeren grupta (SY) ikinci sırada ve 18:1n-9 yağ asidini en yüksek oranda içeren grupta (ZY) ise en düşük düzeyde olduğu görülmektedir. Bu sonuçlar elongaz enzim aktivitesinin HUFA'ların hakim olduğu grupta en yüksek, 18:3n-3 yağ asidi ile 18:2n-6 yağ asidinin hakim olduğu gruplarda ikinci sırada ve

18:1n-9 yağ asidinin hakim olduğu deney grubunda üçüncü sırada etkin olduğunu göstermektedir. Ancak gökkuşuğı alabalıklarında elongaz enzim aktivitesi ile ilgili çok farklı sonuçlar rapor edilmiştir. Bu farklı sonuçların gökkuşuğı alabalığının elongaz enzim aktivitesinin günümüze kadar tam olarak saptanamamış olmasından kaynakladığı belirtilmektedir (Thanuthong vd., 2011).

Bu çalışmanın sonuçları yemlerde balık yağı yerine % 100 oranında susam, keten tohumu ve zeytin yağlarının kullanımının balıkların büyüme performansı üzerinde olumsuz bir etkisi olmadığını göstermiştir. Ayrıca çalışmadaki büyüme performansı ve kimyasal analiz sonuçları susam, keten tohumu ve zeytin yağlarının gökkuşuğı alabalığı diyetleri için balık yağının tamamı yerine kullanılabileceğini göstermiştir. Bununla birlikte çalışmamızın sonuçları diyetlere bitkisel yağ ilavesinin esansiyel yağ asitlerinin sentezlenmesini sağlayan genlerin artışına yol açtığı belirlemiştir. Gelecekte yürütülecek çalışmaların yağ asitlerinin biyosentezinde işlev gören enzimlerin artırılmasını amaçlayan genetik çalışmalara yönelik yapılması gerektiği kanaatine varılmıştır.

KAYNAKLAR

- Abdul Hamid, N.K., Carmona-Antoñanzas, G., Monroig, Ó., Tocher, D.R., Turchini, G.M., Donald, J.A., 2016, Isolation and functional characterisation of a fads2 in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) with $\Delta 5$ desaturase activity, Plos one, DOI:10.1371/journal.pone.0150770.
- Anonim, 2008, World Feed Panorama: Growth areas in global feed production, <http://www.wattagnet.com/3361.html>, 2008-01-15.
- AOAC, 1995, Official methods of analysis of AOAC International, 16th edn. Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC, Arlington, VA.
- Arthur, M., Phillips, J.R., 1972, Caloric and energy requirement, (Edited by John E. HALVER), *Fish Nutrition*. Academic Press, London, 713 pp., 1- 27.
- Baydar, H., 2005, Susamda (*Sesamum indicum* L.) verim, yağ, oleik ve linoleik tipi hatların tarımsal ve teknolojik özellikleri, *Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 18(2): 267-272.
- Bell, J.G., Henderson, R.J., Tocher, D.R., Mcghee, F., Dick, J.R., Porter A., Smullen R.P., Sargent J.R., 2002, Substituting fish oil with crude palm oil in the diet of Atlantic Salmon (*Salmo salar*) affects muscle fatty acid composition and hepatic fatty acid metabolism, *Journal of Nutrition*, 132: 222-230.
- Bell, J.G., Sargent, J.R., 2003, Arachidonic acid in aquaculture feeds: current status and future opportunities, *Aquaculture*, 218: 491–499.
- Bell, J.G., Tocher, D.R., Henderson, R.J., Dick, J.R., Crampton, V.O., 2003, Altered fatty acid compositions in Atlantic Salmon (*Salmo salar*) fed diets containing linseed and rapeseed oil can be partially restored by a subsequent fish oil finishing diet, *Journal of Nutrition*, 133: 2793-2801.
- BILLARD, R., 1990, Culture of Salmonids in fresh water, In: Barnabe, G. (Editor), *Aquaculture*, Volume 2., Ellis Horwood Limited, London.
- Bransden, M.P., Carter, C.G., Nichols, P.D., 2003, Replacement of fish oil with sunflower oil in feeds for Atlantic salmon (*Salmo salar* L.): effect on growth performance, tissue fatty acid composition and disease resistance, *Comparative Biochemistry and Physiology, Part B* 135: 611–625.
- BYSD, 2016, Bitkisel Yağ Sanayicileri Derneği Türkiye İstatistikleri 2015, <http://www.bysd.org.tr/Istatistikler.aspx> [Ziyaret tarihi: 15 Nisan 2017]
- Caballero, M.J., Obach, A., Rosenlund, G., Montero, D., Gısvold, M., Izquierdo, M.S., 2002, Impact of different dietary lipid sources on growth, lipid digestibility, tissue fatty acid composition and histology of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*, *Aquaculture*, 214: 253-271.

- Castell, J.D., Sinnhuber, O., Wales, J.H., Lee, D.J., 1972, Essential fatty acids in the diet of rainbow trout (*Salmo gairdneri*): growth, feed conversion and some gross deficiency symptoms, *Journal of nutrition*, 102: 77-86.
- Castell, J.D., Bell, J.G., Tocher, D.R., Sargent, J.R., 1994, Effects of purified diets containing different combinations of arachidonic and docosahexaenoic acid on survival, growth and fatty acid composition of juvenile turbot (*Scophthalmus maximus*), *Aquaculture*, vol:128, 3-4, 315-333.
- Cunnane, S.C., and Anderson, M.J., 1997, The majority of dietary linoleate in growing rats is β -oxidized or stored in visceral fat. *Journal of Nutrition* 127:146-152.
- Degani, G., Viola, S., Yehuda, Y., 1997, Apparent digestibility of protein and carbohydrate in feed ingredients for adult tilapia (*Oreochromis aureus* * *O. niloticus*). *Israeli J. Aquacult.*, 49 (3): 115-123
- Emidio, F., Gomes, G.C., Kaushik, S., 1993, Effects of dietary incorporation of a co-extruded plant protein (rapeseed and peas) on growth, nutrient utilization and muscle fatty acid composition of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*), *Aquaculture*, 113(4):339-353.
- Emre, Y., 2004, Alabalık Yetiştiriciliği, T.C. Başbakanlık Güneydoğu Anadolu Projesi Bölge Kalkınma idaresi Başkanlığı, <http://www.gap.gov.tr/Turkish/Tarim/Suurunyt/alabalik.pdf>- [Ziyaret Tarihi: 5 Kasım 2010].
- FAO, 2008, The State of World Fisheries and Aquaculture 2007, Fisheries & Aquaculture Department, 160-162 pages, Food and Agriculture Organisation of the United Nations, Rome.
- FAO, 2010, http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Oncorhynchus_mykiss/en [Ziyaret Tarihi: 10 Ocak 2011].
- FAO, 2012, <http://www.fao.org/fishery/affris/species-profiles/rainbow-trout/nutritional-requirements/en/> [Ziyaret Tarihi: 16 Kasım 2016].
- FAO, 2016, The State of World Fisheries and Aquaculture 2016. Contributing to food security and nutrition for all. Rome. 200 pp.
- FISHBASE, 2010, <http://www.fishbase.org/summary/speciessummary.php?id=239> [Ziyaret Tarihi: 10 Ocak 2011].
- Folch, J., Lees, M., Sloane Stanley, G.H., 1957, A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues, *Journal of Biological Chemistry*, 226: 497-509.
- Francis, D. S., Turchini, G. M., Jones, P. L., De Silva, S. S., 2007, Effects of fish oil substitution with a mix blend vegetable oil on nutrient digestibility in Murray cod, *Maccullochella peelii peelii*. *Aquaculture*, 269, 447-455.

- Francis, D. S., Peters, D. J., Turchini, G. M., 2009, Apparent in vivo Δ -6 desaturase activity, efficiency, and affinity are affected by total dietary C18 PUFA in the freshwater fish Murray Cod, *J. Agric. Food Chem.* 57, 4381–4390
- Gatesoupe, F.J., Leger, C., Metailler, R., Luquet, P., 1977, Alimentation lipidique du turbot (*Scophthalmus maximus* L.): I. Influence de la longueur de chaire de acides gras de la serie Ω 3. *Ann. Hydrobiol.* 8, 89–97.
- Glencross, B.D., 2009, Exploring the nutritional demand for essential fatty acids by aquaculture species, *Aquaculture*, 1:71-124.
- Gözükara, E.M., 1997, Biyokimya, Nobel Tıp Kitapevleri (Üçüncü Baskı), Cilt 1, S. 242-276, İstanbul.
- Greene, D.H.S., Selivonchek, D.P., 1990, Effects of dietary vegetable, animal and marine lipids on muscle lipid and hematology of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*), *Aquaculture*, 89: 165–182.
- Huang, S.S.Y., Fu, C.H.L., Higgs, D.A., Balfry, S.K., Schulte, P.M., Brauner, C.J., 2008, Effects of dietary canola oil level on growth performance, fatty acid composition and ionoregulatory development of spring chinook salmon parr, *Oncorhynchus tshawytscha*, *Aquaculture*, 274: 109–117.
- Ibeas, C., Cejas, J., Badia, P., Gomez, T., Lorenzo, A., 1997, Influence of eicosapentaenic to docosahexaenoic acid ratio (EPA/DHA) of dietary lipids on growth and fatty acid composition of gilthead sea bream (*Sparus aurata*) juveniles. *Aquaculture*, 150, 91 – 102.
- Ichihara, K., Shibahara, A., Yamamoto, K., Nakayama, T., 1996, An improved method for rapid 304 analysis of the fatty acids of glycerolipids, *Lipids*, 31: 535-539.
- IFFO, 2009, Fishmeal and fish oil statistical yearbook. St Albans, UK: International Fishmeal and Fish Oil Organisation. <http://www.iffonet.net>.
- Izquierdo, M.S., Obach, A., Arantzamendi, L., Montero, D., Robaina, L., Rosenlund, G., 2003, Dietary lipid sources for seabream and seabass: growth performance, tissue composition and flesh quality, *Aquaculture Nutrition*, 9: 397–407.
- Izquierdo, M.S., Montero, D., Robaina, L., Caballero, M.J., Rosenlund, G., Gines, R., 2005, Alterations in fillet fatty acid profile and flesh quality in gilthead seabream (*Sparus aurata*) fed vegetable oils for a long term period. Recovery of fatty acid profiles by fish oil feeding, *Aquaculture*, 250: 431-444.
- Jutfelt, F., Olsen, R.E., Björnsson, B.T., Sundell, K., 2007, Parr-smolt transformation and dietary vegetable lipids affect intestinal nutrient uptake, barrier function and plasma cortisol levels in Atlantic salmon, *Aquaculture*, 273: 298-311.
- Kalogeropoulou, N., Alexis, M.N., Henderson, R.J., 1992, Effect of dietary soybean and cod liver oil levels on growth and body composition of gilthead seabream (*Sparus aurata*). *Aquaculture*, 104, 293–308.

- Kanazawa, A., Teshima, S.I., Ono, K., 1978, Relationship between essential fatty acid requirements of aquatic animals and the capacity for bioconversion of linoleic acid to highly unsaturated fatty acids. *Comp. Biochem. Physiol.* 63B, 295–298.
- Kanazawa, A., Teshima, S. and Sakamoto, M., 1980. Requirement of *Tilapia zillii* for essential fatty acids. *Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish.*, 46: 1353-1356.
- Kiesling, A., Pickova, J., Johansson, L., Asgard, T., Storebakken, T., Kiessling, K.H., 2001, Changes in fatty acid composition in muscle and adipose tissue of farmed rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) in relation to ration and age, *Food Chemistry*, 73: 271-284.
- Kimura, F.T., and Miller, V.L., 1957, Improved determination of chromic oxide in cow feed and feces. *J. Agr. Food Chem.* 5:216.
- Koskela, J., Pirhonen, J., Jobling, M., 1997, Growth and feeding responses of a hatchery population of brown trout (*Salmo trutta* L.) at Low Temperatures, *Ecology of Freshwater Fish*, 6:116-121.
- Köse, I. and Yildiz, M., 2013, Effect of diets containing sesame oil on growth and fatty acid composition of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Journal of Applied Ichthyology*, 29, 1318–1324.
- Lindhors-Emme, W., 1990, Forellenzucht, Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin, 1575.
- Lindsay, G.R., and Barbara, R., 1984, Anaesthetic and sedative techniques for fish, Institute of Aquaculture, Stirling Scotland, ISBN: 0901636525.
- Medale, F., Blanc, D., Kaushik, S.J., 1991, Studies on the Nutrition of Siberian Sturgeon *Acipenser baerii*. 2. Utilization of dietary non-protein energy by sturgeon. *Aquaculture* 71(3), 235-245.
- Mengi, A., 1991, Biyokimya, İstanbul Üniversitesi, Yayın No: 3654, ISBN 975- 404232.
- Meyers, S.P., 1994, Developments in world aquaculture, feed formulations, and role of carotenoids, *Pure and Applied Chemistry*, 66: 1069-1076.
- Mourete, G., Bell, J.G., 2006, Partial replacement of dietary fish oil with blends of vegetable oils (rapeseed, linseed and palm oils) in diets for European sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.) over a long term growth study: Effects on muscle and liver fatty acid composition and effectiveness of a fish oil finishing diet, *ScienceDirect*, 145:389-399.
- Nakamura, M.T., Nara, T.Y., 2004, Structure, Function, and Dietary Regulation of $\Delta 6$, $\Delta 5$, and $\Delta 9$ Desaturases, *Annu. Rev. Nutr.*, 24:345-76
- Ng, W.K., Tocher, D., Bell, G., 2007, The use of palm oil in aquaculture feeds for salmonid species, *Eur. J. Lipid Sci. Technol.*, 109: 394-399.
- Onat, T., and Emerk, K., 1997, Temel Biyokimya, Saray Medikal Yayıncılık (2. Baskı), İzmir.

- Otha, M., and Watanabe, T., 1996, Energy requirements for maintenance of body weight and activity and for maximum growth in rainbow trout, *Fisheries Science*, 62 (5): 737-744.
- Pickova, J., Mørkøre, T., 2007, Alternate oils in fish feeds, *Eur. J. Lipid Sci. Technol.*, 109: 256–263.
- Piedecausa, M.A., Mazon, M.J., Garcia, B., Hernandez, M.D., 2007, Effects of total replacement of fish oil by vegetable oils in the diets of sharpsnout seabream (*Diplodus puntazzo*), *Aquaculture*, 263: 211-219.
- Pike, I.H., and Barlow, S.M., 2002, Impact of fish farming on fish stocks, Proceedings of the Bordeaux Aquaculture and Environment Symposium, 18-20 September Bordeaux, France, p. 6-7. <http://www.iffco.org.uk/tech/bordeaux.htm> [Ziyaret Tarihi: 25 Kasım 2010].
- Regost, C., Arzel, J., Kaushik, S.J., 1999, Partial or total replacement of fish meal by corn gluten meal in diet for turbot (*Psetta maxima*), *Aquaculture*, 180, 99-117.
- Richard, N., Mourente, G., Kaushik, S., Corraze, G., 2006, Replacement of a large portion of fish oil by vegetable oils does not affect lipogenesis, lipid transport and tissue lipid uptake in European seabass (*Dicentrarchus labrax* L.). *Aquaculture*, 261, 1077-1087.
- Ricker, W. E., 1979: Growth Rates and Models. In: Fish physiology, Vol. 8., W.S. Hoar, D.J. Randall, J.R. Brett (Eds.). Academic Press, New York, NY, pp. XVII+786
- Sargent, J.R., Bell, J.G., Bell, M.V., Henderson, R.J., and Tocher, D.R., 1995, Requirement criteria for essential fatty acids, *J. Appl. Ichthyol.* 11, 183–198.
- Sargent, J.R., Bell, M.V., Bell, J.G., Henderson, R.J., And Tocher, D.R. (1995) Origins and Functions of (n–3) Polyunsaturated Fatty Acids in Marine Organisms, in Phospholipids: Characterization, Metabolism and Novel Biological Applications (Cevc, G., and Paltauf, F., eds.), pp. 248–259, AOCS Press, Champaign.
- Sargent, J.R., Mcevoy, L.A., Bell, J.G., 1997, Requirements, presentation and sources of polyunsaturated fatty acids in marine fish larval feeds, *Aquaculture*, 155:117-127.
- Sargent, J.R., Tocher, D.R., Bell, J.G., 2002, The lipids. In: Halver JE, Hardy RW (eds), Fish nutrition, 3rd edn. Academic, San Diego, USA, pp. 181–257.
- Satoh, S., Poe, W.E., Wilson, R. P., 1989, Studies on the essential fatty acid requirement of channel catfish, *Ictalurus punctatus*. *Aquaculture*, 79(1-4), 121-128.
- Stubhaug, I., Froyland, L., Torstensen, B.E., 2005, Beta-oxidation capacity of red and white muscle and liver in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) effects of increasing dietary rapeseed oil and olive oil to replace capelin oil. *Lipids* 40, 39–47.
- Tacon, A.G.J., Metian, M., 2008, Global overview on the use of fish meal and fish oil in industrially compounded aquafeeds: Trends and future prospects, *Aquaculture*, 285: 146-158.

- Tacon A.G.J., Metian, M., Turchini, G.M., 2010, Responsible aquaculture and trophic level implications to global fish supply. *Rev. Fish. Sci.* 18:94–105.
- Takeuchi, T., and Watanabe, T., 1976, Nutritive value of ω 3 highly unsaturated fatty acids in pollock liver oil for rainbow trout. *B.Jpn. Soc. Sci. Fish.* 42:907–919.
- Takeuchi, T., and Watanabe, T., 1977, Requirement of carp for essential fatty acids. *Bull. Jpn. Sot. Sci. Fish.*, 43:541-551.
- Takeuchi, T., Watanabe, T. and Ogino, C., 1979. Availability of carbohydrate and lipid as dietary energy sources for carp. *Bull. Jpn. Sot. Sci. Fish.*, 45: 977-982.
- Takeuchi, T., Arai, S., Watanabe, T., Shimma, Y., 1980, Requirement of eel *Anguilla japonica* for essential fatty acids. *Nippon Suisan Gakkaishi* 46, 345–353.
- Takeuchi, T., Satoh, S. and Watanabe, T., 1983, Requirement of *Tilapia nilotica* for essential fatty acids. *Bull. Jpn. Sot. Sci. Fish.*, 49: 1127-1 134.
- Takeuchi, T., Toyota, M., Satoh, S., Watanabe, T., 1990, Requirement of juvenile red sea bream *Pagrus major* for eicosapentaenoic and docosahexaenoic acids. *Nippon Suisan Gakkaishi* 56, 1263-1269.
- Thanuthong, T., Francis, D.S., Senadheera, S.D., Jones, P.L., Turchini, G.M., 2011, Fish oil replacement in rainbow trout diets and total dietary PUFA content: I) Effect on feed efficiency, fat deposition and the efficiency of a finishing strategy. *Aquaculture*, 320, 82-90.
- Tocher, D.R., Ghioni, C., 1999, Fatty acid metabolism in marine fish: Low activity of fatty acyl Δ 5 desaturation in gilthead sea bream (*Sparus aurata*) cells, *Lipids*, 34(5): 433–440.
- Tocher, D.R., Bell, J.G., Henderson, R.J., Mcghee, F., Mitchell, D., Morris, P.C., 2000, The effect of dietary linseed and rapeseed oils on polyunsaturated fatty acid metabolism in Atlantic salmon (*Salmo salar*) undergoing parr–smolt transformation. *Fish Physiol. Biochem.* 23, 59–73.
- Tocher, D.R., 2003, Metabolism and functions of lipids and fatty acids in teleost fish, *Reviews in Fisheries Science*, 11, Iss. 2.
- Tocher, D.R., 2010, Fatty acid requirements in ontogeny of marine and freshwater fish, *Aquacult. Res.*, 41, 717–732.
- Torstensen, B.E., Lie, O., Froyland, L., 2000, Lipid metabolism and tissue composition in Atlantic Salmon (*Salmo salar* L.) effects of capelin oil, palm oil and oleic acid-enriched sunflower oil as dietary lipid sources, *Lipids*, 35: 653-64.
- Torstensen, B.E. and Tocher, D.R., 2010, The effects of fish oil replacement on lipid metabolism of fish. In: G.M.N. Turchini, W.K. Ng, R.D. Tocher (Eds.), *Fish oil replacement and alternative lipid sources in aquaculture feeds*. CRC Press, Taylor and Francis Group, Boca Raton, FL, USA: 405-438

- Tucker, J.W.Jr., 1998, Marine Fish Culture. Kluwer Academic Publishers, Boston, USA, p 750.
- Turchini, G. M., Francis, D. S., Silva, S.S.D., 2006, Modification of tissue fatty acid composition in Murray cod (*Maccullochella peelii peelii*, Mitchell) resulting from a shift from vegetable oil diets to a fish oil diet, *Aquaculture Research*, 37, 570-585.
- Turchini, G. M., Francis, D. S., Silva, S.S.D., 2007, A whole body, in vivo, fatty acid balance method to quantify pufa metabolism (Desaturation, Elongation and Beta- oxidation), *Lipids*, 42:1065–1071.
- Turchini, G.M., and Francis, D.S., 2009, Fatty acid metabolism (desaturation, elongation and betaoxidation) in rainbow trout fed fish oil or linseed oilbased diets. *British Journal of Nutrition*, 102: 69-81.
- Turchini, G. M., Ng, W. K., Tocher, D. R., 2011, Fish oil replacement and alternative lipid sources in aquaculture feeds. CRC Press, Boca Raton.
- TÜİK, 2016, TÜİK Su Ürünleri İstatistikleri 2015, T.C. Başbakanlık Türkiye İstatistik Kurumu, Ankara.
- TÜİK, 2016, TÜİK Türkiye yağlı tohum üretim miktarları 2015, T.C. Başbakanlık Türkiye İstatistik Kurumu, Ankara.
- USDA (United States Department of Agriculture), 2016, Oil seeds: world market and trade. <http://www.usda.gov.tr> [Ziyaret Tarihi: 5 Ocak 2011].
- Vagner, M., and Santigosa, E., 2011, Characterization and modulation of gene expression and enzymatic activity of delta-6 desaturase in teleosts: A review, *Aquaculture*, 315, 131-143.
- Yang, X., Tabachek, J.L., Dick, T.A., 1994, Effects of dietary n-3 polyunsaturated fatty acids on lipid and fatty acid composition and haematology of juvenile Arctic charr *Salvelinus alpinus* (L), *Fish Physiology and Biochemistry*, 12(5), 409-420.
- Yıldız, M., Eroldoğan, O.T., Engin K., Gülçubuk, A., Baltacı, M.A., 2013, Effects of dietary cottonseed and/or canola oil inclusion on the growth performance, FA composition and organ histology of the juvenile rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 13, 453–464.
- Yıldız, M., Kose, I., 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, 2885-2896.
- Yıldız, M., and Şener, E., 2004, Farklı bitkisel yağlar ilave edilen diyetlerin levrek (*Dicentrarchus labrax* L., 1758) yavrularında büyüme performansı ve vücut kompozisyonuna etkileri, *İstanbul Üniversitesi Veterinerlik Fakültesi Dergisi*, 30: 75-88.
- Yiğit, M., Koshio, S., Teshima, S., and Ishikawa, M., 2004. Dietary Protein and Energy Requirements of Juvenile Japanese Flounder, *Paralichthys olivaceus*. *Journal of Applied Sciences* 4(3), 486-492.

- Yone, Y., 1978, Essential fatty acids and lipid requirements of marine fish. In: Jpn. Soc. Sci. Fish. (eds.), Dietary Lipids in Aquaculture.
- Zheng, X., Tocher, D.R., Dickson, C.A., Dick, J.R., Bell, J.G., Teale, A.J., 2005. Highly unsaturated fatty acid synthesis in vertebrates: new insights with the cloning and characterization of a $\Delta 6$ desaturase of Atlantic salmon. *Lipids* 40, 13–24.
- Watanabe, T., 1982, Lipid Nutrition in Fish, Comp. Biochem. Physiol. Vol. 73B, No. 1, pp. 3 to 15, 1982.



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	İrem KÖSE REİS
Doğum Yeri	Üsküdar
Doğum Tarihi	31.08.1985
Uyruğu	☒ T.C. ☐ Diğer:
Telefon	
E-Posta Adresi	
Web Adresi	

Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fakülte	Su Ürünleri Fakültesi
Bölümü	Su Ürünleri
Mezuniyet Yılı	2008

Yüksek Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi
Enstitü Adı	Fen Bilimleri Enstitüsü
Anabilim Dalı	Su Ürünleri Yetiştiriciliği Anabilim Dalı
Programı	Yetiştiricilik
Mezuniyet Tarihi	2011

Doktora	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi
Enstitü Adı	Fen Bilimleri Enstitüsü
Anabilim Dalı	Anabilim Dalı
Programı	Program Adı
Mezuniyet Tarihi	08.12.2017

Makale ve Bildiriler	
Yildiz M., Köse I., Issa G., Kahraman T., Güven E., Baltacı M.A., et al., "Cold storage effects on flesh quality of rainbow trout <i>Oncorhynchus mykiss</i> (Walbaum, 1792) fed diets containing different vegetable oils", <i>Journal of Applied Ichthyology</i> , vol.32, pp.569-576, 2016.	
Yildiz M., Kose I., Issa G., Kahraman T., "Effect of different plant oils on growth performance, fatty acid composition and flesh quality of rainbow trout (<i>Oncorhynchus mykiss</i>)", <i>Aquaculture Research</i> , vol.46, pp.2885-2896, 2015.	

- Köse İ., Yildiz M., "Effect Of Diets Containing Sesame Oil On Growth And Fatty Acid Composition Of Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*)", *Journal of Applied Ichthyology*, vol.29, pp.1318-1324, 2013.
- Köse İ., Yildiz M., Üstek D., "Effects of different dietary lipid sources on fatty acid metabolism of juvenile rainbow trout", World Aquaculture Society, LACQUA16, Lima, PERU, 28 Kasım - 1 Aralık 2016, pp.326-326.
- Yildiz M., Köse I., Üstek D., "Effects of different dietary lipid sources on body fatty acid composition and gene expression of juvenile rainbow trout", World Aquaculture Society, FENACAM & LACQUA/SARA (WAS) '15, FORTALEZA, BREZILYA, 16-19 Kasım 2015, pp.60-60.
- Güven E., Yildiz M., Köse I., "Alternatif Bir Tür Olarak Yılan Balığı Yetiştiriciliği", II. Balıklandırma ve Rezervuar Yönetimi Sempozyumu, ISPARTA, TÜRKİYE, 20-22 Mayıs 2015, ss.93-94.
- Yildiz M., Akın V., Köse I., "Hayvansal Protein Atıklarının Gökkuşığı Alabalığı (*Oncorhynchus mykiss*) Yemlerinde Kullanılması", III. Balık Besleme ve Yem Teknolojisi Çalıştayı, İZMİR, TÜRKİYE, 4-5 Eylül 2014.
- Yildiz M., Köse I., Issa G., Kahraman T., "Effect of Different Plant Oils on Growth Performance, Fatty Acid Composition and Flesh Quality of Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*)", 16th International Symposium on Fish Nutrition and Feeding, Cairns, AVUSTRALYA, 25-30 Mayıs 2014, pp.66-66.
- Köse İ., Yildiz M., Issa G., Kahraman T., "Diyetlerde Kullanılan Farklı Bitkisel Yağların Gökkuşığı Alabalığı (*Oncorhynchus mykiss*)'nın Et Kalitesine Etkisi", 17. Ulusal Su Ürünleri Sempozyumu, İSTANBUL, TÜRKİYE, 3-6 Eylül 2013, ss.153-153.
- Yildiz M., Köse İ., "Adıyaman İli Su Ürünleri Potansiyelinin İlin Ekonomisindeki Yeri", Dördüncü Medeniyetler Kavşağı Adıyaman Sempozyumu, ADIYAMAN, TÜRKİYE, 31 Mayıs-2 Haziran 2012, ss.103-115.
- Yildiz M., Köse İ., "Balıklarda Yağ Asidi Metabolizması", Faba 2013, Balıkçılık ve Akuatik Bilimler Sempozyumu, ERZURUM, TÜRKİYE, 30 Nisan - 1 Haziran 2013, ss.464-465.

Yildiz M., Köse İ., Güven E., Baltacı M.A., Yürüten K., "Dietary Influence Of Replacing Fish Oil With Different Vegetable Oils On Growth, Fillet And Liver Fatty Acid Composition In Juvenile Rainbow Trout", The First International Fisheries Symposium in Cyprus, KUZLEY KIBRIS TÜRK CUM., 24-27 Mart 2013.

Köse İ., Yıldiz M., "Farklı Bitkisel Yağlar İçeren Diyetlerin Gökkuşuğu Alabalığı (*Oncorhynchus mykiss*)'nın Büyümesine ve Yağ Asidi Kompozisyonuna Etkisi", II. Balık Besleme ve Yem Teknolojisi Çalıştayı., YALOVA, TÜRKİYE, 11-12 Ekim 2012, ss.56-57.

Köse İ., Yıldiz M., "Effect Of Diets Containing Vegetable Oils On Growth And Fatty Acid Composition Of Rainbow Trout", Aqua 2012, CEK CUM., 1-5 Eylül 2012.

Yildiz M., Köse İ., Güven E., Baltacı M.A., Yürüten K., "Dietary Influence Of Replacing Fish Oil With Different Vegetable Oils On Growth, Fillet And Liver Fatty Acid Composition In Juvenile Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*)", Balık Besleme ve Yem Teknoloji Çalıştayı, ISPARTA, TÜRKİYE, 30 Haziran-1 Temmuz 2011, ss.24-25.

Yildiz M., Köse İ., Güven E., Baltacı M.A., Yürüten K., "Effects Of Different Dietary Lipid Sources On Growth Performance, Fillet And Liver Fatty Acid Composition Of The Juvenile Rainbow Trout, *Oncorhynchus mykiss*", World Aquaculture 2011, BREZILYA, 6-10 Haziran 2011.