



T. C.

**ORDU ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**GÖKKUŞAĞI ALABALIĞI (*Oncorhynchus mykiss*) YAN  
ÜRÜNLERİ KULLANILARAK ELDE EDİLEN PROTEİN  
HİDROLİZATI YAĞININ YANIT YÜZEY YÖNTEMİ İLE  
OPTİMİZASYONU VE KALİTESİNİN BELİRLENMESİ**

**SERPİL ÖZTÜRK**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**BALIKÇILIK TEKNOLOJİSİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ORDU 2024**

## **TEZ BİLDİRİMİ**

Tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan ve kullanılan intihal tespit programının sonuçlarına göre; bu tezin yazılmasında bilimsel ahlak kurallarına uyulduğunu, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezin içerdiği yenilik ve sonuçların başka bir yerden alınmadığını, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, tezin herhangi bir kısmının bu üniversite veya başka bir üniversitedeki başka bir tez çalışması olarak sunulmadığını beyan ederim.

**SERPİL ÖZTÜRK**

**Bu çalışma Ordu Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğünün B-2207 numaralı projesi ile desteklenmiştir.**

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

## ÖZET

### GÖKKUŞAĞI ALABALIĞI (*Oncorhynchus mykiss*) YAN ÜRÜNLERİ KULLANILARAK ELDE EDİLEN PROTEİN HİDROLİZATI YAĞININ YANIT YÜZEY YÖNTEMİ İLE OPTİMİZASYONU VE KALİTESİNİN BELİRLENMESİ

SERPİL ÖZTÜRK

ORDU ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BALIKÇILIK TEKNOLOJİSİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ, 86 SAYFA

(TEZ DANIŞMANI: DR. ÖĞR. ÜYESİ KORAY KORKMAZ)

Dünyada her geçen yıl nüfus artışıyla birlikte, yeni gıda maddelerine yönelim ve bunların üretimi de önemli bir konu haline gelmektedir. Su ürünleri yan ürünleri kirlilik unsuru olmaktan ziyade yüksek potansiyele sahip geri dönüşüm kaynaklarıdır. Bu yan ürünlerin değerlendirilmesi, ülke ekonomisi açısından katma değeri yüksek ürünlerin üretilmesi ve çevre kirliliğinin önlenmesi açısından oldukça önem taşımaktadır. Balık yağı  $\omega$ -3 PUFA'ların temel kaynağı olduğundan, elde edilen bu lipid insan ve hayvan tüketimi için umut verici bir potansiyele sahiptir. Besin zinciri içinde, gökkuşağı alabalığı (*Oncorhynchus mykiss*) balıkçılık endüstrisi tarafından üretilen büyük miktardaki atık, çoklu doymamış yağ asitleri, vitaminler, amino asitler (AA'lar) ve peptitler de dahil olmak üzere zengin bir biyoaktif molekül havuzunu temsil etmektedir. Bu çalışmada, alabalık (*Oncorhynchus mykiss*) atıkları ticari enzimler kullanılarak optimum hidroliz prosesinde en uygun süre, sıcaklık ve enzim oranı belirlenmiştir. Bu süreç sırasında ortaya çıkan yağın verimi (%5.75-11.46) arasında değişmiş ve en iyi sonuç 40 °C deki enzimatik hidroliz sonucu elde edilmiştir. Lipit kalitesi açısından, PV değerleri (1.78-3.47 meq O<sub>2</sub>/kg) arasında bulunmuş, hidroliz süresi arttıkça PV değerlerinde artış gözlenmiştir, TBA değerleri (0.41-1.41 MDA/kg) arasında bulunmuş ve hidroliz sıcaklığı artışı TBA'da artışa sebep olmuştur. FFA (%0.27-4.12) arasında bulunmuştur. Yağ asidi bileşimi kalitesi ve dengesi insan ve hayvan tüketimine uygunluğu açısından incelenmiştir. SFA (%22.5), MUFA (%46.31), PUFA (%23.52) bulunmuştur. Balık yan ürünlerinden geri kazanılan balık yağlarının, özellikle EPA ve DHA olmak üzere yüksek düzeyde PUFA içerdiği görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Lipit Kalitesi, Balık Protein Hidrolizat, Yan Ürün, Döngüsel Biyoekonomi, Atık Balık Yağı

## ABSTRACT

### DETERMINATION OF OPTIMIZATION AND QUALITY OF PROTEIN HYDROLYSATE OIL OBTAINED USING RAINBOW TROUT (*Oncorhynchus mykiss*) BY-PRODUCTS BY RESPONSE SURFACE METHOD

SERPİL ÖZTÜRK

ORDU UNIVERSITY INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED  
SCIENCES

FISHERIES TECHNOLOGY ENGINEERING

MASTER THESIS, 86 PAGES

(SUPERVISOR: Assistant Professor Koray KORKMAZ)

With the population increasing every year in the world, the trend towards new foodstuffs and their production is also becoming an important issue. Aquaculture by-products are high potential recycling resources rather than pollution. The evaluation of these by-products is very important in terms of producing high value-added products for the country's economy and preventing environmental pollution. Since fish oil is the main source of  $\omega$ -3 PUFAs, this resulting lipid has promising potential for human and animal consumption. Within the food chain, the large amount of waste produced by the rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fishing industry represents a rich pool of bioactive molecules, including polyunsaturated fatty acids, vitamins, amino acids (AA), and peptides. In this study, the most appropriate time, temperature, and enzyme rate were determined in the optimum hydrolysis process of trout (*Oncorhynchus mykiss*) waste using commercial enzymes. The yield of the oil produced during this process varied between (5.75-11.46%) and the best result was obtained because of enzymatic hydrolysis at 40 °C. In terms of lipid quality, PV values were found between (1.78-3.47 meq O<sub>2</sub>/kg), as the hydrolysis time increased, an increase was observed in PV values, TBA values were found between (0.41-1.41 MDA/kg) and the increase in hydrolysis temperature caused an increase in TBA. FFA was found between (0.27-4.12%). Its fatty acid composition, quality and balance were examined for suitability for human and animal consumption. SFA (22.5%), MUFA (46.31%), PUFA (23.52%) were found. Fish oils recovered from fish by-products have been shown to contain high levels of PUFA, especially EPA and DHA.

**Keywords:** Lipid Quality, Fish Protein Hydrolyzate, By-Product, Circular Bioeconomy, Waste Fish Oil

## TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans eğitimim sürecinde ve çalışmalarımın sonuçlandırılmasında büyük emeği geçen, bilgi birikimiyle her zaman yardımcı olan, desteğini her daim hissettiğim değerli danışmanım Doç. Dr. Koray KORKMAZ' a, çalışmalarım boyunca bilgisi ve tecrübesi ile yanımda olan değerli hocam Prof. Dr. Bahar TOKUR 'a, laboratuvar çalışmalarında yardımlarını esirgemeyen saygıdeğer hocam Doç. Dr. Yılmaz UÇAR' a, desteklerini sürekli hissettiğim dostlarıma,

Varlığı ile gerçek insanın ne kadar mükemmel olacağının kanıtı olan, deneyimlerimin ilham kaynağı, hayattaki en büyük şansım canım babama, hayatımın her anında, her koşulda ilgisi ve sevgisiyle beni destekleyen anneme, kardeşlerime, bana verdiği hayat enerjisi ile her şartta devam edebilmemi sağlayan Paskal' a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışma Ordu Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi (ODÜ/BAP) tarafından B-2207 numaralı proje ile desteklenmiştir.

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
<b>TEZ BİLDİRİMİ</b> .....	I
<b>ÖZET</b> .....	II
<b>ABSTRACT</b> .....	III
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	IV
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	V
<b>ŞEKİL LİSTESİ</b> .....	VII
<b>ÇİZELGE LİSTESİ</b> .....	VIII
<b>SİMGELER ve KISALTMALAR LİSTESİ</b> .....	IX
<b>1. GİRİŞ</b> .....	1
<b>2. GENEL BİLGİLER</b> .....	6
2.1 Türk Somonu .....	8
2.2 Su Ürünleri Atıkları ve Yan Ürünler.....	9
2.3 Balık Atığının Döngüsel Biyoekonomide Yeri .....	16
2.4 Balık Atıklarının Değerlendirilmesinde Pazar Eğilimleri.....	21
2.5 Balık Atığı Bileşimi .....	22
2.6 Balık Yağı ve Kullanım Alanları .....	24
2.7 Balık Protein Hidrolizatı Üretiminden Balık Yağı Üretimi.....	33
2.7.1 Balık Atığından Protein Hidrolizi Üretimi.....	33
2.7.2 Enzimatik Hidroliz.....	34
2.8 Cevap Yüzeyi Yöntemi (Responce Surface Methodology) .....	36
<b>3. MATERYAL ve YÖNTEM</b> .....	38
3.1 Materyal.....	38
3.2 Yöntem .....	39
3.2.1 Besin Kompozisyonu Analizleri .....	42
3.2.1.1 Lipid Analizi .....	42
3.2.1.2 Kül Analizi.....	43
3.2.1.3 Nem analizi.....	43
3.2.1.4 Protein Analizi .....	43
3.2.2 Yağ Verimi .....	43
3.2.3 Hidrolizat Yağının Kalite Analizleri.....	44
3.2.3.1 Peroksit Değeri (PV) .....	44
3.2.3.2 Tiyobarbitürik Asit (TBA) Analizi .....	45
3.2.3.3 Serbest Yağ Asitleri (FFA) Analizi.....	46
3.2.3.4 Yağ Asidi Analizi.....	47
3.2.4 İstatistiksel Analizler.....	48
<b>4. BULGULAR ve TARTIŞMA</b> .....	49
4.1 Gökkuşuğu Alabalığı ( <i>Oncorhynchus mykiss</i> ) ve Atığın Besin Kompozisyonu...49	
4.2 Balık Protein Hidrolizatı Üretiminde Yan Ürün Olarak Yağ Eldesi ve Kalitesi..51	
4.2.1 Yağ Verimi .....	52
4.3 Hidrolizat Yağının Kalite Analizleri.....	54
4.3.1 Peroksit Değeri (PV).....	54
4.3.2 Tiyobarbitürik Asit (TBA).....	57
4.3.3 Serbest Yağ Asitleri (FFA).....	59
4.3.4 Yağ Asitleri.....	61
<b>5. SONUÇ ve ÖNERİLER</b> .....	65

<b>6. KAYNAKLAR</b> .....	67
<b>ÖZGEÇMİŞ</b> .....	81

## ŞEKİL LİSTESİ

		<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1	Su Ürünlerinin Sürdürülebilirliği .....	6
Şekil 2.2	Türk Somonu .....	8
Şekil 2.3	Balık Atığı Çeşitleri .....	10
Şekil 2.4	Su Ürünleri Yem Hammaddesi Kaynakları .....	15
Şekil 2.5	2022 Yılı Dünya Balık Unu ve Balık Yağının Hammaddesini Oluşturan Kaynaklar .....	15
Şekil 2.6	2022 Balık Yağı Kaynağını Oluşturan Türler .....	16
Şekil 2.7	Balık Kalıntıları veya Atıklar Temasını Ele Alan Makalelerde En Çok Alıntı Yapılan 50 Anahtar Kelimeyi İçeren Wordcloud (2012–2022).....	19
Şekil 2.8	<i>Oncorhynchus mykiss</i> Yan Ürünleri(%) .....	24
Şekil 2.9	Balık Yağı Kullanım Alanları .....	27
Şekil 2.10	Balık Unu ve Balık Yağının Azaltılmasında Kullanılan Hammaddenin Payı .....	28
Şekil 3.1	Balık Protein Hidrolizat Üretiminde Kullanılan Hammadde .....	38
Şekil 3.2	Balık Atıklarının Flavourenzim İle Optimizasyonunda Balık Protein Hidrolizat Yağı Üretim Akış Şeması .....	40
Şekil 3.3	Santrifüj Sonrası Yağ Fazı ve Yağ Fazının Alınması.....	41
Şekil 3.4	Çalışmada Elde Edilen Balık Protein Hidrolizat Yağı .....	42
Şekil 3.5	Çalışmada Elde Edilen Hidrolizat Yağının Kalite Analizleri .....	44
Şekil 3.6	Çalışmada PV Analiz Fotoğrafı .....	45
Şekil 3.7	Çalışmada TBA Analiz Fotoğrafı .....	46
Şekil 3.8	Çalışmada FFA Analiz Fotoğrafı .....	47
Şekil 4.1	Tüm Balık ve Atığın Besin Kompozisyonu.....	50
Şekil 4.2	Balık Protein Hidrolizatı Üretimi Sonucu Fazlara Ayrılması.....	52
Şekil 4.3	Balık Protein Hidrolizatı Üretimi Sonucu Yağ Fazı Alınması.....	52
Şekil 4.4	Araştırmada İncelenen Balık Protein Hidrolizat Yağ Verimi (%).....	53
Şekil 4.5	Tüm Balık, Yan Ürün ve Optimize Hidrolizat Yağının Yağ Asidi Profili.....	62



## ÇİZELGE LİSTESİ

		<u>Sayfa</u>
<b>Çizelge 3.1</b>	Bağımsız Değişken ve Kodlanmış Düzeyler.....	39
<b>Çizelge 4.1</b>	Gökkuşığı Alabalığı Etinin ve Atığının Besin Kompozisyon.....	49
<b>Çizelge 4.2</b>	Araştırmada İncelenen Hidrolizat Balık Yağının PV (Meq/Kg) Değerleri.....	55
<b>Çizelge 4.3</b>	Araştırmada İncelenen Hidrolizat Balık Yağının TBARS Değerleri (Mg MA/Kg).....	57
<b>Çizelge 4.4</b>	Araştırmada İncelenen Hidrolizat Balık Yağının FFA Değerleri (% Oleik Asit).....	59
<b>Çizelge 4.5</b>	Gökkuşığı Alabalığı Fileto, Atık ve Optimizasyon Sonucu Elde Edilen Balık Protein Hidrolizatı Yan Ürünü Balık Yağlarının Yağ Asidi Profili.....	61

## SİMGELER ve KISALTMALAR LİSTESİ

---

<b>AA</b>	:	Amino asit
<b>AB</b>	:	Avrupa Birliği
<b>ArA</b>	:	Araşidonik asit
<b>BA</b>	:	Balık Atığı
<b>BBD</b>	:	Box-Benkhen Modeli
<b>BM</b>	:	Birleşmiş Milletler
<b>Ca</b>	:	Kalsiyum
<b>CAGR</b>	:	Bileşik Yıllık Büyüme Oranı
<b>CCD</b>	:	Merkezi Komposit Dizayn
<b>CCY</b>	:	Cevap Yüzey Yöntemi
<b>DHA</b>	:	Dokosaheksaenoik Asit
<b>DKİB</b>	:	Doğu Karadeniz İhracatçılar Birliği
<b>EC</b>	:	Avrupa Komisyonu
<b>EPA</b>	:	Eikosapentaenoik Asit
<b>FAME</b>	:	Yağ Asitleri Metil Esterleri
<b>FAO</b>	:	Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü
<b>FFA</b>	:	Serbest Yağ Asitleri
<b>FFO</b>	:	Geri Kazanılmış Balık Yağı
<b>FID</b>	:	Alev İyonizasyon Dedektörü
<b>GC</b>	:	Gaz Kromatografisi
<b>GC/MS</b>	:	Gaz Kromatografisi-Kütle Spektrometresi
<b>GOED</b>	:	EPA ve DHA Omega-3 alanında Küresel Organizasyon
<b>HCl</b>	:	Hidroklorik Asit
<b>HUFA</b>	:	Yüksek Doymamış Yağ Asitleri
<b>IFFO:</b>	:	Deniz Malzemeleri Organizasyonu
<b>IFOMA</b>	:	Uluslararası Balık Unu ve Yağı Üreticileri Birliği
<b>KOH</b>	:	Potasyum Hidroksit
<b>MDA</b>	:	Malondialdehit
<b>mEq</b>	:	miliEkivalan
<b>Mg</b>	:	Magnezyum
<b>MT</b>	:	Metrik Ton
<b>Na</b>	:	Sodyum
<b>NaOH</b>	:	Sodyum Hidroksit
<b>OECD</b>	:	Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü
<b>P</b>	:	Fosfor
<b>PUFA</b>	:	Çoklu Doymamış Yağ Asitleri
<b>PV</b>	:	Peroksit Değeri
<b>RSM</b>	:	Yanıt Yüzey Yöntemi
<b>S</b>	:	Kükürt
<b>SOFİA</b>	:	Dünya <i>Balıkçılık</i> ve Su Ürünleri Yetiştiriciliğinin Durumu
<b>TBA</b>	:	Tiyobarbitürik Asit
<b>TUİK</b>	:	Türkiye İstatistik Kurumu
<b>YA</b>	:	Yağ Asitleri
<b>YBBO</b>	:	Yıllık Bileşik Büyüme Oranı

---

## 1. GİRİŞ

İnsanlığın şu anda karşı karşıya olduğu en kritik zorluklardan biri, 2050 yılına kadar beklenen 9.6 milyarlık nüfus için, yeterli miktarda gıda üretimi yapmaktır. Balıkçılık, dünya ekonomisinde en hızlı büyüyen sektördür ve dünya çapında milyonlarca kişiye gıda güvenliği, beslenme ve istihdam sağlayarak sosyoekonomik kalkınmada önemli bir rol oynamıştır (The Food and Agriculture Organization (FAO) (Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü, 2020). Son yıllarda, en ucuz hayvansal protein kaynağı olarak balığın görülmesi, balık ve ürünlerine olan talebi arttırmıştır. Dünya protein tüketiminin yaklaşık %17'si bu kaynaklardan sağlanmaktadır. Balık; sığır eti, domuz eti ve kümes hayvanları gibi diğer protein kaynaklarına sağlıklı bir alternatif olarak ön plana çıkmaktadır. Aynı zamanda kalsiyum, fosfor, demir, D vitamini, iyot ve uzun zincirli çoklu doymamış yağ asitleri (PUFA) gibi birçok temel mikro ve makro besin maddesinin de iyi bir kaynağıdır. Dünyada artan nüfusun, protein ihtiyacının desteklenmesi için su ürünleri yetiştiriciliği, en hızlı büyüyen gıda üretim sektörü olmuştur (FAO, 2017). Dünya çapında balık üretimi, 2018 de yaklaşık 179 Milyon tona (Mt) ulaşmıştır ve yaklaşık %46' sını su ürünleri yetiştiriciliğinden elde edilmiştir (FAO, 2020). Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü (OECD) ve Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO)' na göre, 2019-2021 temel dönemine göre toplam 25 Mt artışla 2031 yılına kadar 203 Mt' a ulaşması bekleniyor (Economic Co-operation and Development (OECD)/FAO, 2022 ). Talep ve üretimdeki bu önemli artış, ham, işlenmiş ve katma değerli kaliteli balık ürünleri sağlayan balıkçılık sektörlerinin (işleme, konserve, dondurma, kurutma ve pazarlama gibi) çeşitlenmesine yol açmıştır. Bununla birlikte, artan işleme faaliyetleri aynı zamanda önemli miktarda balıkçılık atıklarının oluşmasına da yol açmıştır (OECD/FAO, 2022). Son FAO değerlendirmesi, yan ürünler de dahil olmak üzere balıkçılıktan kaynaklanan küresel atıkların yılda yaklaşık 27.85 milyon ton olduğunu bildirmiştir (FAO, 2022).

Balık ıskartaları ve ayrıca balık işleme endüstrilerinde üretilen atıklar, ekolojik ve çevresel kaygıları içerir (Morales-Medina ve ark., 2016; Korkmaz ve Tokur, 2021). Bu ürünler, sadece çevre kirliliğine neden olmazlar, aynı zamanda protein, lipid ve mineraller gibi değerli bileşenlerin kaybına da yol açarlar. Önemli miktarda besin

maddesi içeren bu atıklar, gübre, hayvan yemi katkı maddeleri ve balık unu ve yağı gibi değeri düşük yan ürünlerin üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır (Renuka ve ark., 2016; Korkmaz ve Tokur, 2019; Korkmaz ve Tokur, 2020; Korkmaz ve ark., 2021). Balık atıklarından enzimatik hidroliz işlemi ile yem maddeleri, gıda katkı maddeleri ve takviyeleri, sıvı organik gübre, balık yağı, hidroksiapatit gibi katma değeri yüksek ürünler elde edilebilir (Korkmaz, 2018). Düşük değerli balık işleme atıklarının çoklu doymamış yağ asitleri (PUFA), fizyolojik olarak önemli peptitler, sakkaritler ve diğer biyoaktif bileşikler gibi yüksek değerli ürünlere dönüştürülmesi için yeni yaklaşımlar geliştirilmiştir (Al-Hilphy ve ark., 2019). Bu geri kazanılabilir bileşikler, insan sağlığını iyileştirmeye ve atık kullanımını artırmaya neden olabilirler (Dekkers ve ark., 2011).

Tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de her yıl milyonlarca balık yan ürünleri değerlendirilmeden doğaya atılmaktadır (Ghosh ve ark., 2022; Rizliya ve Mendis, 2014). Bu yan ürünler doğal kaynaklarımızı kirletmenin yanı sıra insan sağlığı ve çevre için büyük risk oluşturmaktadır. Balık yan ürünleri; balıkların temizlendikten sonra geride kalan kullanılmayan (baş, iskelet, pul, iç organlar bağırsak vb.) ve işleme tesislerinde ürünün hazırlanış aşamasında ortaya çıkan kullanılmayan kısımlardır. Bu katı atıklar oldukça önemli bir potansiyeli oluşturmaktadır. Su ürünleri işleme prosesinde ortaya çıkan yan ürünlerin etkin kullanımı, bir yandan çevre kirliliğinin önlenmesi, diğer yandan işleme değeri yüksek ürünlerin üretilmesi ve ürün çeşitliliğinin artırılması açısından önemlidir. Son yıllarda, dengeli ve sağlıklı beslenme bilincinin artmasıyla su ürünlerine olan talep artmış ve bunun sonucunda işlenmiş katma değeri ve fonksiyonel su ürünleri üretimi de artış eğilimi göstermiştir. Bu durum, su ürünleri yetiştiriciliği ve gıda işleme tesislerinin sayısının önemli oranda artış göstermesine ve dolayısıyla gıda atık miktarının ve atık sorunlarının da artmasına sebep olmuştur. Yeni ürünlerin üretiminde, gıda güvenliği açısından önemli risk oluşturan su ürünleri atıklarının, toplanması ve bertarafı, özellikle çevre kirliliği, insan sağlığı ve ülke ekonomisi açısından oldukça önemlidir. Halbuki bu su ürünleri yan ürünleri, kirlilik unsuru olmaktan ziyade yüksek potansiyele sahip oldukça önemli geri dönüşüm kaynaklarıdır. Bu yan ürünlerin değerlendirilmesi, dünya ekonomisi açısından katma değeri yüksek ürünlerin üretilmesi ve çevre sorunları oluşturma potansiyelinin önlenmesi bakımından oldukça önem taşımaktadır. Bugüne kadar balık

atıkları kısmen düşük kârlılıkla balık unu, gübre, balık yağı üretimi için ve su ürünleri yetiştiriciliğinde doğrudan yem için hammadde olarak kullanılmış (Mo ve ark., 2018; Hasselberg ve ark., 2020) veya kısmen atılmıştır (Guillen ve ark., 2018). Halbuki, biyokütlenin tam olarak kullanılması, çevresel sorunların üstesinden gelinmesi ve aynı zamanda ticari değeri yüksek ürünler elde edilmesi için daha iyi bir balık-atık yönetimine ihtiyaç vardır. Bu bağlamda, son zamanlarda balık yan ürünlerinin alternatif kullanımlarına artan ilgi, ekonomik büyüme ve sürdürülebilir kalkınmada önemli bir rol oynamaktadır. Balık yan ürünleri enzimler, biyoaktif peptitler ve biyo-polimerler dahil olmak üzere zengin bir katma değerli bileşik kaynağını temsil ettikleri ve çeşitli alanlarda birçok olası kullanımları olduğu için, bilimadamları tarafından mümkün olabilecek kullanımlarını tespit etmek amacıyla bir çok çalışma yapılmıştır. (Shahidi ve ark., 2019; Shavandi ve ark., 2019).

Balık yağları, eikosapentaenoik (EPA) ve dokosaheksaenoik (DHA) gibi sağlığı teşvik eden yağ asitleri (YA) balmumu esterlerini, gliserol eterlerini, trigliseritleri ve fosfolipidleri içerir (Saleh ve ark., 2022). EPA ve DHA, zincir uzamasını ve desatürasyonu içeren bir metabolik yol yoluyla alfa-linolenik asitten (ALA) üretilen iki çoklu doymamış omega-3 yağ asididir (PUFA). DHA ve EPA kanser, diyabet, kardiyovasküler hastalık ve depresyon gelişme şansını azaltır, bağışıklık sistemini etkiler ve sağlıklı nörolojik gelişimi sürdürür (Pradeepkiran, 2019; Ciriminna ve ark., 2017). Dünya Balık Yağı Pazarının 2030 yılına kadar yaklaşık 3,62 Milyar ABD Doları değerinde olması bekleniyor (ReportlinkerGlobal, 2023). Bu pazar talebinin, iç organlar gibi balık atıklarından yağın çıkarılmasıyla karşılanabileceği öne sürülmektedir (Al-Hilphy ve ark., 2019).

Döngüsel biyoekonomiye ve sıfır atık kavramlarına bağlı kalarak, balık yağının balık atığından (BA) izolasyonu ve saflaştırılması güçlü bir şekilde teşvik edilmelidir. Bunun nedeni, prosesin tüm ara ürünlerinin daha sonra değerlendirilmiş ürünlere dönüştürülebilmesidir.

Balık atıklardan enzimatik yöntem ile çok değerli protein hidrolizatu üretilmekte ve bunun sonucunda da yan ürün olarak balık yağı elde edilebilmektedir. Ortaya çıkan bu yağlar PUFA açısından çok değerli olduğu görülmektedir.

Bu çalışma ile Gökkuşığı alabalığı işleme yan ürünlerinden protein hidrolizatı üretimi sonrası ortaya çıkan balık yağının fonksiyonel gıda hammaddesi olarak kullanım olanakları, kalite parametre analizleri yapılarak değerlendirilecek ve insan veya hayvan tüketimine uygunluğu araştırılarak ülke ve bölge ekonomisine katma değeri yüksek ürün kazandırılması hedeflenmiştir. Bu çalışmada balıkçılık ve diğer deniz ürünleri endüstrilerinden kaynaklanan atık ve yan ürünlerin yeterince kullanılmaması ile ilgili sorunlara ve risklere odaklanmaktadır. Özellikle, bu doğal paha biçilmez kaynakların değerlendirilmesi için önemi ortaya konulmaya çalışılmıştır.

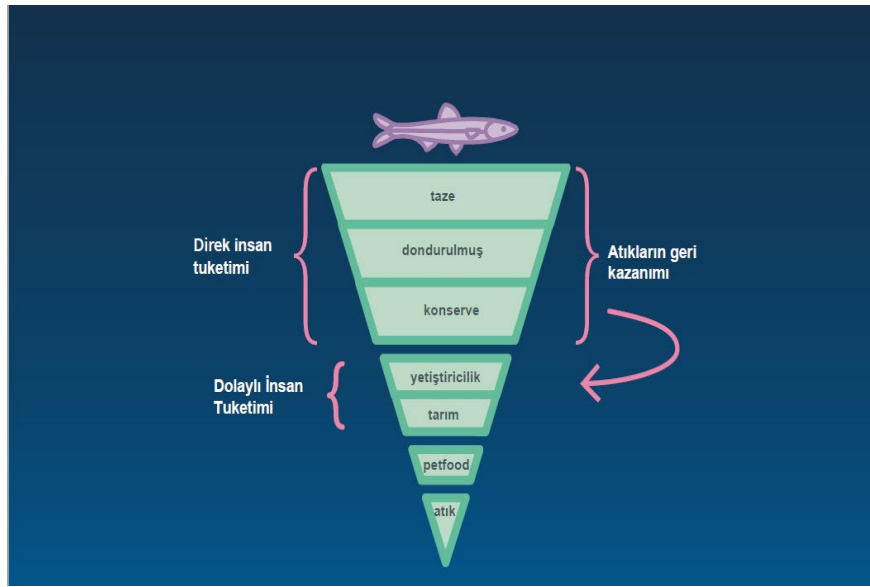
Gökkuşığı alabalığı (*Oncorhynchus mykiss*), ülkemizde en çok üretimi yapılan türler arasında olup 2022 yılı üretim miktarı 145 bin 649 ton olarak gerçekleşmiştir (TÜİK 2023). Türkiye, AB gökkuşığı alabalığı yetiştiriciliğinin yaklaşık %78'ini, Dünya'da gökkuşığı alabalığı üretiminin de %15'ini oluşturmaktadır (FAO, 2022b). İşleme sonrası oldukça yüksek miktarda atık ve yan ürünleri ortaya çıkmaktadır. Alabalık yan ürünlerinden elde edilecek balık yağı, insan tüketimi veya hayvan yemi bileşenleri için alternatif bir kaynak olacağı yönünde güçlü kanıtlar bulunmaktadır. Bu çalışma ile Gökkuşığı alabalığı işleme yan ürünlerinden protein hidrolizatı üretimi sonrası ortaya çıkan balık yağının fonksiyonel gıda hammaddesi olarak kullanım olanakları, kalite parametre analizleri yapılarak değerlendirilecek ve insan veya hayvan tüketimine uygunluğu araştırılarak ülke ve bölge ekonomisine katma değeri yüksek ürün kazandırılması hedeflenmiştir. Bu çalışmada balıkçılık ve diğer deniz ürünleri endüstrilerinden kaynaklanan atık ve yan ürünlerin yeterince kullanılmaması ile ilgili sorunlara ve risklere odaklanmaktadır. Özellikle, bu doğal paha biçilmez kaynakların değerlendirilmesi için önemi ortaya konulmaya çalışılmıştır. Bu nedenle çalışmamızın amacı, Gökkuşığı alabalığı yan ürünlerinden enzimatik hidrolizle balık yağı üretiminin optimizasyonunu belirleyip elde edilen yağdaki lipid oksidatif olarak değerlendirilmesidir. Bu durumun, insan sağlığı bakımından fonksiyonel bir gıda kaynağı olan balık yağının alternatif bir yöntemle üretimi için bir model olarak kullanılacağı düşünülmektedir.

Bu çalışmada, alabalık (*Oncorhynchus mykiss*) atıkları ticari enzim kullanılarak farklı enzim oranı, süre ve sıcaklık koşullarında hidroliz edilmiştir. Optimum lipid kalitesine göre sıcaklık, süre ve enzim oranı bakımından en uygun

hidrolizat kořulları belirlenmiřtir. Bu sűreç sırasında ortaya çıkan yađın lipid kalitesinin peroksit deđeri (PV), serbest yađ asitleri (FFA), tiyobarbitűrik asit (TBA) deđerleri ve yađ asidi bileřiminin insan ve hayvan tűketime uygunluđu incelenmiřtir.

## 2. GENEL BİLGİLER

Son on yıl, doğrusal ekonomik modelden, küresel kaynak verimliliğinde önemli ve kalıcı iyileştirmeler sağlayan onarıcı bir sisteme istikrarlı bir geçişe tanık oldu. Bu senaryoda ortaya çıkan mavi ekonomi kavramı okyanuslar, denizler ve kıyılarla ilgili tüm endüstrileri ve sektörleri içermektedir. Mavi ekonomi modeli, deniz yan ürünlerinin yeniden kullanılması yoluyla gıda atık üretiminin en aza indirilmesini de içeren, sürdürülebilirliğe yönelik bir dizi eylemi desteklemektedir. Şekil 2.1 Su ürünlerinin sürdürülebilirliği, The Marine Ingredients Organisation (IFFO).



Şekil 2.1 Su Ürünlerinin Sürdürülebilirliği (IFFO, 2022)

Dünya nüfusunun yaklaşık yarısının deniz ürünlerinden elde edilen proteine ihtiyaç duyduğu günümüzde, avcılık stokları hızla tükenmekte ve su ürünleri yetiştiriciliği ciddi zorluklarla karşı karşıya kalmaktadır. (Natarajan ve Ponnusamy 2022; Rowan 2022; Yue ve Shen 2022 ). Bu sebeple, su ürünleri yan ürünlerinden geri kazanımı sağlanan ürünlerin önemi daha da artmaktadır. Ayrıca, deniz ürünleri endüstrisinden üretilen atık ve yan ürünler, toplam gıda işleme atıklarının yaklaşık %20'sini oluşturmaktadır (Sharma ve ark., 2022).

Katma değerli ürünlerin üretimi için mevcut ve yüksek potansiyele sahip yan ürünlerin ve yan akışların değerlendirilmesi, döngüsel ekonominin hedeflerini desteklemektedir. (Zhao ve ark., 2022).



Balıkçılık ve su ürünleri yetiştiriciliğine ilişkin en son FAO raporu, dünya balıkçılık ve su ürünleri üretiminin 2020'de 214 milyon tona ulaştığını ortaya koymaktadır (Zhao ve ark., 2022). Su ürünlerinin yapısındaki dayanıksızlık, küçük boyuta sahip olan ürünler, ve özellikle balıkçı teknelerindeki altyapı eksikliği nedeniyle ürünün çoğu atılıyor. Ayrıca, balıkçılık atıklarının payının yaklaşık 10 milyon ton olduğu, işlenmiş balık ürünleri atıklarının ise 15 milyon ton olduğu ve artmakta olduğu tahmin edilmektedir. Su ürünleri atığı ve yan ürünlerindeki büyüme nedeniyle, özellikle yengeç, ıstakoz, karides ve balıklarda toplam ıslak ağırlığın %70'e kadarının atıldığı gözönüne alındığında, yenmeye hazır su ürünlerine yönelik artan taleple bağlantılı olduğu görülmektedir. Bu nedenle su ürünleri atığının, üstesinden gelinmesi gereken acil bir çevresel, sosyal ve ekonomik sorun haline geldiği düşünülmektedir.

Balıkçılık ve su ürünleri yetiştiriciliğinden elde edilen su ürünleri, insan beslenmesinde ve sağlığında çok önemli bir rol oynamaktadır ve küresel gıda beslenme güvenliğine önemli ölçüde katkıda bulunmaktadır. Ancak, bu değerli kaynakların önemli bir kısmı, tüketiciye ulaşmadan önce balıkçılık, hasat, nakliye, işleme ve dağıtım sırasında kaybolmakta veya israf edilmektedir (Roobab ve ark., 2022 ; Venugopal, 2021 ). Su ürünleri artıkları ve yan ürünleri, farklı gıda ve biyoteknolojik uygulamalarda kullanılabilir (Karkal ve ark., 2020; Karkal ve Kudre, 2022 ; Nag ve ark., 2022 ; Shahidi ve ark., 2019). Kafa, yüzgeçler, pullar, kemikler, iç organlar, kırpıntılar, deri ve diğer balık artıkları gibi yeterince kullanılmayan balık parçaları, yenilebilir proteinler, balık yağları, ve diğer nitrojenli bileşikler, kitin ve diğer polisakkaritler için değerli kaynaklar olabilir (Hassoun ve ark., 2022 ; Ozogul ve ark., 2021 ; Venugopal, 2022 ). Bununla birlikte, gıda atıklarının ve geri kalan hammaddelerin ve bunların türevlerinin yüksek oranda bozulabilirliği, tüketici tarafından kabul edilmesi ve yeterli altyapı eksikliği gibi çeşitli engeller nedeniyle tam potansiyelleri henüz gerçekleştirilememiştir (Han ve ark., 2021 ; Hassoun ve ark., 2022a ,Hassoun ve ark., 2022b , Hassoun ve ark., 2022c , Hassoun ve ark., 2022d ,Hassoun ve ark., 2022e , Hassoun ve ark., 2022f , Hassoun ve ark., 2022g ; Kang ve ark., 2022 ).

İklim değişikliği, artan küresel nüfus, aşırı avlanma ve balık stoklarının tükenmesi ve deniz ekosisteminin yok edilmesi gibi son küresel zorluklar, insanlara

yeni yöntemler ve daha verimli stratejiler geliştirmek ve alternatif çözümler aramak için daha fazla yenilik yapmak ve araştırmaktan başka seçenek bırakmamıştırdı. Deniz Su ürünleri atıklarının ve yan ürünlerinin oluşumunun azaltılmasına ve bunların mümkün olan en iyi şekilde değerlendirilmesi gerekmektedir. (Hassoun ve ark., 2023)

Verimli atık yönetimi yoluyla net sıfıra geçiş sağlamak için dögüsel ekonomiyi teşvik etmede Endüstri 4.0 teknolojilerinin rolü yakın zamanda vurgulanmıştır (Kurniawan ve diğlerleri, 2023 ). Bu ileri teknolojilerin su, enerji ve gıda atıklarının azaltılmasındaki etkileri de önemli konular arasında tartışılmaktadır (David ve ark., 2022).

## 2.1 Türk somonu

Gökkuşığı alabalığı ülkemizde en çok üretimi yapılan türler arasında olup işleme sonrası oldukça yüksek miktarda atık ve yan ürünleri (yaklaşık %40) ortaya çıkmaktadır (Korkmaz&Tokur 2022a). Tarım ve Orman Bakanlığı, su ürünleri yetiştiriciliğinde son dönemlerde somon üretimini öne çıkarmışve yerli somon “Türk Somonu” adıyla markalaştırılmıştır. Somon, 2013’ten bu yana ticareti yapılan önemli bir ürün haline gelmiş ve 2016 yılında uluslararası ticarete konu olan su ürünlerinin toplam değerinin yaklaşık %18’ini oluşturmuştur. Doğu Karadeniz İhracatçılar Birliği (DKİB) verilerine göre, 2021 yılının ilk iki ayında 30 ülkeye 7.376 ton Karadeniz somonu ihraç edilmiştir. Hatta pandemi ve ardından savaş süresi sonrası Rusya en büyük pazarımızı oluşturmuştur.



Şekil 2.2 Türk Somonu (Orijinal)

Bu nedenle ülkemizde üretimi yapılan ve ekonomik anlamda potansiyeli olan somonun değerlendirilemeyen kısımlarının ekonomiye kazandırılması son derece önemlidir.

## **2.2 Su Ürünleri Atıkları ve Yan Ürünler**

2050 yılına kadar, dünya nüfusunun yaklaşık üçte bir oranında artarak, gıda, nutrasötikler ve ilaçlara yönelik artan talebi karşılayabilecek alternatif, sürdürülebilir ve yenilenebilir yüksek kaliteli protein kaynaklarına yönelik küresel ihtiyacı artıracığı beklenmektedir. Sürdürülebilir dögüsel ekonomi bu, mevcut kaynaklardan en iyi ve en verimli şekilde yararlanmanın yanı sıra tüketici için aynı anda hem güvenli hem de kabul edilebilir olan ek veya alternatif yüksek kaliteli protein kaynakları bulmayı gerektirir (Venugopal ve Sasidharan, 2022; Visconti ve ark., 2020).

Deniz ürünleri, yüksek kaliteli protein ve diğer temel besinler açısından zengin değerli deniz kaynaklarıdır. Deniz ürünlerinin protein miktarı, bir deniz ürününün doğasına ve yaşam alanlarına bağlı olarak %18 ile %23 arasında değişir (Venugopal 2009). Ayrıca, sadece doğrudan insan tüketimi için kullanılan deniz ürünleri eti değil, aynı zamanda dolaylı olarak kullanılan deniz ürünlerinin diğer kısımları da yüksek kaliteli protein açısından zengindir. Çalışmalar, değerli biyoaktif proteinlerin deniz ürünlerinin iç organlar, karaciğer, böbrek, yumurta, kafa, omurga ve deri gibi yan ürünlerde kayda değer miktarlarda bulunduğunu göstermiştir (Ananey-Obiri ve ark., 2019; Coppola ve ark., 2021; Mutalipassi ve ark., 2021; Nirmal ve ark., 2022a ).



**Şekil 2.3** Balık Atığı Çeşitleri (Orijinal)

Küresel balık üretiminin 2029 yılına kadar 200 metrik tona (Mt) ulaşması bekleniyor. Bu, 2017-2019 (OECD/FAO 2022) COVID öncesi döneme kıyasla %14'lük bir artışı (25 Mt) temsil ediyor. Ek olarak, küresel deniz ürünleri tüketiminin önümüzdeki on yılda et tüketiminden daha hızlı bir oranda gözle görülür şekilde artması bekleniyor. Şu anda, dünya çapında kişi başına deniz ürünleri tüketimi 20,1 kg'a eşittir ve toplam ortalama hayvansal protein alımının yaklaşık %20'sini karşılamaktadır. Bu nedenle, 2050 yılına kadar sürekli artan protein talebini karşılamak için, tek başına su ürünleri üretiminin mevcut tüketime göre 129 Mt'a ulaşması beklenmektedir (Boyd ve ark., 2022; Peñarubia 2021). Bununla birlikte, balık işleme endüstrisinde, balık ham maddesinin yalnızca %30-40'ı insan tüketimi için yüksek kaliteli ürünlere (balık biftekleri veya filetolar) dönüştürülür. Böylece yüzgeçler, kafalar, deri ve iç organlar dahil olmak üzere geri kalan ham maddenin (%25 ila %70) büyük miktarı atılır veya balık unu, balık yağı veya hayvan yemi gibi düşük değerli uygulamalar için kullanılır (Peñarubia, 2021). Bu ürünleri üretmek için yılda 15 milyon ton balık avlanmaktadır (Olsen ve ark., 2014). Dünya Balıkçılık ve Su Ürünleri Yetiştiriciliğinin Durumu raporunda (SOFIA 2018) bildirildiği gibi, BM FAO, toplam küresel balık avcılığının yılda 100 milyon ton (2018'de 96,4 milyon ton) civarında olduğunu tahmin etmektedir. Bu avcılık seviyeleri, esas olarak sürdürülebilir balıkçılığa duyulan ihtiyaç konusunda farkındalığın artması nedeniyle 1980'lerin

sonlarından bu yana nispeten sabit kalmıştır. Bu durum sucul kaynaklarımızdaki potansiyelin yetiştiricilikte kullanılma oranını yan ürünlere bırakması zorunluluğunu ortaya koymaktadır. SOFIA raporunda yer alan rakamlara göre, 2018 yılında doğrudan insan tüketimi için kullanılan avlanan balıkların payı yaklaşık 74 milyon tondu ve kalan avlanan balığın yaklaşık 14 milyon tonu yetiştiricilik faaliyetlerinde hammadde olarak kullanıldı. Su ürünleri avcılığına ek olarak, su ürünleri endüstrisi insan tüketimine yönelik balık tedarikinde etkileyici bir büyümeden sorumludur ve 2018'de yaklaşık 82 milyon ton balık üretmiştir. Son 70 yılda toplam yıllık balıkçılık ve su ürünleri üretiminin (algler hariç) önemli ölçüde arttığı ve 19 milyon ton dan (1950) 178 milyon tona (2020) çıktığı bildirilmektedir. Bunun sonucunda atık üretim miktarında artış olduğu bildiriliyor (FAO 2022).

İstenmeyen özellikler nedeniyle ticari değeri olmayan veya düşük ticari değeri olan “hedef olmayan” balık türleri, deniz ürünleri işleme artıkları ve yan ürünler de dahil olmak üzere balık değer zincirinde büyük miktarda kayıp ve atık meydana gelmektedir (Hassoun ve ark., 2022; Özoğul ve ark., 2021). Her yıl, dünyadaki balıkçılıktan ıskartalar 9 milyon tonu aşmaktadır ve yıllık avlanma miktarının yaklaşık %10' una denk gelmektedir (FAO, 2020a). Küresel olarak yılda 20 Mt' dan fazla balık atığı üretilmektedir (Caruso 2016; de la Fuente ve ark. 2020). Hasat edilen balıkların %20-80 inin, işleme operasyonları yöntemlerine (kafa kesme, fileto çıkarma, kabuk soyma, derisi yüzme, iç organ çıkarma gibi) bağlı olarak balık atığı ile sonuçlanabileceği tahmin edilmektedir. Balık atığı aynı zamanda avlanma mevsimine, balık türlerinin türüne, balığın büyüklüğüne ve kötü taşıma, nakliye, paketlenme ve depolama sorunlarından kaynaklanan bozulmaya da bağlıdır (Ghaly ve ark., 2013; Joseph ve ark., 2019). Küresel balık artıkları ve kalıntı biyokütle; hedef dışı avlanma, gemide elleçleme, karaya çıkarma merkezleri, nakliye, depolama, perakendeciler ve tüketiciler gibi değer zincirinin farklı noktalarında üretilir. Bu şekilde değerlendirilemeyen su ürünlerinin bir kısmı genellikle biyogaz, kompost üretimi veya yakma gibi katma değeri düşük olan uygulamalara maruz kalmaktadır (Venugopal, 2021; Venugopal ve Sasidharan, 2022). AB Atık Çerçeve Direktifi, atık değerlendirme uygulamaları için mümkün olan en iyi seçeneklerin hiyerarşisini belirler (European Commission (EC), 2006). 21. yüzyılın başından bu yana, Avrupa Parlamentosu ve Avrupa Birliği Konseyi, hedef dışı avlananların “denize atılması”

uygulamasıyla oluşan yüksek artık hacimler konusunda uyarı yapmıştır (Olsen ve ark., 2014).

Balık atığı (BA), baş, kuyruk, deri, iskelet, kırpıntılar, pullar, kemikler, iç organlar, ölü ve hasarlı balıklardan oluşan katı atıklardan ve kan, salamura ve balçıktan oluşan sıvı atıklardan oluşur. Aynı zamanda yenmeyen veya hoş olmayan tat ve koku nedeniyle önemsiz olduğu düşünülen pek çok balık türünü veya hedef dışı avlanan türler yanı sıra ticari önemi yüksek olan ancak yeterli miktarda avlanmayan türleri de içerir (FAO 2020b; Ghaly ve ark., 2013).

Balıkçılık yan ürünlerine geleneksel olarak atfedilen düşük değere rağmen, kullanılmayan/yeterince kullanılmayan kaynakların büyük bir kısmından, protein bileşenleri de dahil olmak üzere önemli sayıda biyoaktif bileşik ekstrakte edilebilir ve değerlendirilebilir. Bu nedenle, önleme ve azaltma ilkesini bir kenara bırakırsak, deniz ürünleri atıklarını azaltmak için en verimli ve karlı seçenek, katma değeri yüksek ürün ve bileşenlerin (enzimler, biyoaktif peptidler, protein hidrolizatlar, kollajen ve jelatin peptidler gibi) çıkartılması ve üretilmesidir. Ayrıca, bu atıklardan uzun zincirli çoklu doymamış yağ asitleri ve kitin ve kitosan açısından zengin lipidlerde ortaya çıkarmaktır (Venugopal, 2009).

Yan ürün olarak da adlandırılan balık atığı, enzimler, peptitler, oligosakkaritler, yağlar, kollajen, jelatin, vitaminler, mineraller vb. gibi çeşitli biyomoleküllerin geri kazanımı için ucuz ve üstün bir kaynaktır. Değerlendirilmiş bu ürünlerin balık atıklarından geri kazanılması, balık atıklarını azaltmak, imha maliyetlerini düşürmek ve ek gelir elde etmek için önemli bir stratejidir. Bu biyoaktif bileşiklerin basit veya karmaşık teknolojiler kullanılarak BA'dan izole edilmesi ve bunların hayvan yemi, gıda bileşenleri ve ambalaj malzemesi kaynağı olarak daha fazla kullanılması için çok sayıda çalışma yürütülmektedir (Radziemska ve ark. 2019). BA, ilaç formülasyonu, spor içecekleri ve gıda takviyeleri için yaygın olarak kullanılan proteinli gıdalar ve taurin ve kreatin gibi bileşikler de dahil olmak üzere değeri yüksek ürünler üretmek için olağanüstü bir hammaddedir. BA'dan türetilen biyoaktif bileşiklerin bazılarının aynı zamanda nutrasötik ve biyomedikal uygulamalara sahip olduğu da bilinmektedir (Shahidi ve ark. 2019). 2018 yılına kadar balıkçılık yan ürünlerinin kullanımına ilişkin

71 farklı patent tescil edilmiş olup, bunların 24'ü gıda sektörüne aittir (de la Fuente et al., 2020)

BA'nın yüksek değerli biyoaktif bileşiklerin etkili bir kaynağı olarak uygulanması, biyoteknolojik, farmasötik, biyomedikal, polimer, tekstil ve yüksek pazar değeri olan gıda uygulamalarında giderek daha fazla ilgi görmektedir. Ekonomik anlamda düşük değerli balık işleme atıklarının çoklu doymamış yağ asitleri (PUFA), fizyolojik olarak önemli peptitler, sakkaritler ve diğer biyoaktif bileşikler gibi yüksek değerli ürünlere dönüştürülmesi için yeni yaklaşımlar geliştirilmiştir. Bu geri kazanılabilir bileşikler, insan sağlığını iyileştirmeye ve atık kullanımını artırmaya olanak sağlamaktadır (Coppola ve ark., 2021; Dekkers ve ark., 2011)

İşleme yan ürünleri ham ürünün yüksek mikrobiyal ve enzim içeriği nedeni ile hızlı bozulmaya karşı duyarlı olduğu için uygun şekilde işlenememekte veya depolanamamaktadır. Yan ürünlerin zamanında toplanması ve işlenmesi çok önemlidir. Balık yan ürünlerinden elde edilen alternatif ürünlerin potansiyelini artırmak, ekonomik kaybın önlenmesi, tüketicilere besleyici değeri yüksek düşük maliyetli gıda üretilmesi ve yan ürünlerin çevresel etkisini azaltması açısından önemlidir.

Balıkçılık işleme atıklarından yenilebilir gıda maddesinin geri kazanılması, ekonomik fayda ve sürekli artan küresel nüfusu beslemek için gıda güvenliğinin genişletilmesi açısından değerli bir hedeftir. Eşsiz proteini, esansiyel amino asidi, yağ asidi ve besin bileşimi nedeniyle BA, gıda takviyesi ve nutrasötik endüstrilerinin yanı sıra artan nüfusta açlık ve yetersiz beslenmeyle mücadelede büyük bir potansiyele sahiptir. Kesilen iskelet, deri ve filetolar gibi BA'nın bazı bileşenleri; doğrudan insan tüketimine yönelik gıda olarak kullanılabilir veya daha sonra atıştırmalıklar, sosisler, balık kroketleri, balık köfteleri, balık burgerleri, surimi, soslar ve çorbalar vb. şeklinde işlenebilir (FAO, 2020). Ayrıca Japonya'da balık yağıyla formüle edilmiş 200'den fazla gıdanın bulunduğu da bildirildi. Amizate, Protizen ve Seacure gibi BPH'den türetilen ürünler aynı zamanda nutrasötik veya fonksiyonel gıdalar formunda da mevcuttur. (Lobine ve ark., 2022)

Ton balığı en popüler ve ticari açıdan değerli balıklardan biridir. Ton balığı konserve endüstrisi, koyu renkli kas, solungaçlar, kafa, kuyruk, deri, kemik ve iç

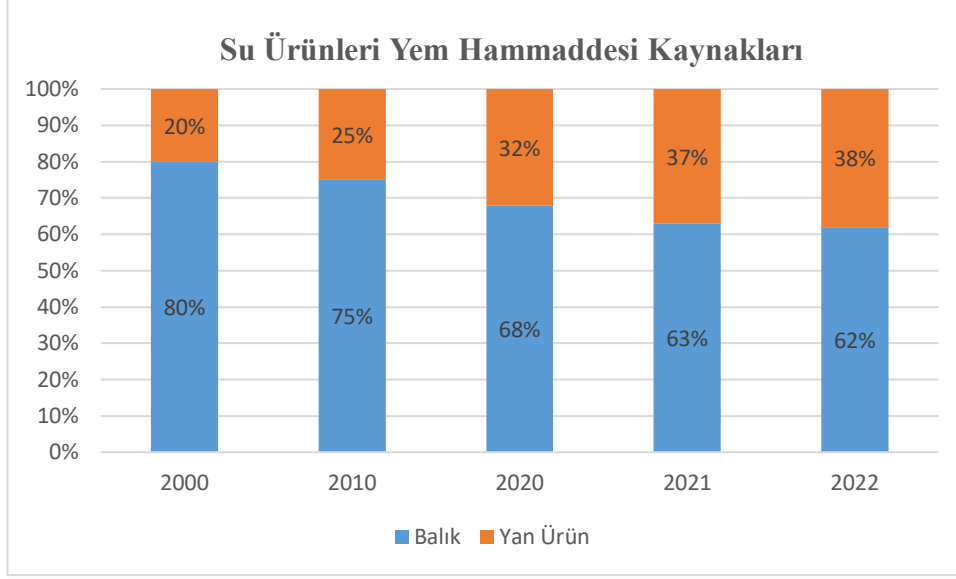
organlardan oluşan orijinal malzemenin %70'ine varan miktarda ıskarta üretmektedir (Cutajar ve ark., 2022 ). Bu malzemedan gübre, evcil hayvan yemi, balık unu ve balık silajı gibi yalnızca ekonomik değeri düşük ürünler elde edilir (Coppola ve ark., 2021). Ancak bu atık malzeme, çoklu doymamış yağ asitleri (PUFA'lar), aminoasitler (AA'lar), enzimler, peptitler, mineraller ve vitaminler gibi katma değerli ürünlerin üretiminde birçok olası kullanıma sahip yüksek değer üreten moleküller içerir (Rigano ve ark., 2021; Donnarumma ve ark., 2021).

Jelatin, pigmentler, antifriz proteinleri ve BA'dan elde edilen  $\omega$ -3 yağ asitleri gibi değerli bileşikler, gıda matrisinde zenginleştirme malzemesi olarak kullanılabilir. Ancak besin maddesi biyoyararlılığı, ön işlem, parçacıkların boyutu, dini kısıtlamalar, düzenleyici gereklilikler ve eklenen bileşenin duyuşal özelliğı gibi farklı faktörler gıda takviyesinde BA formülasyonlarının potansiyelini belirler (Sindhu ve ark. 2019; Yin ve ark., 2014 ).

Korkmaz, (2022c) İsrail sazanı eti, pulu, iç organı ve kemiksi yapılarını besinsel içerikler açısından karşılaştırdığı çalışmada, bu bileşenlerin kendi aralarındaki oransal miktarları 46% ile iç organ, 27% et, 16% pul ve 11% kemiksi yapılar şeklinde olmuştur. İstilacı ve ekonomik olmayan bir tür olan İsrail sazanında total oransal açıdan 27% oranındaki etin düşük olması nedeniyle diğer kısımların (63%) alternatif olarak kullanımı önem arz etmektedir.

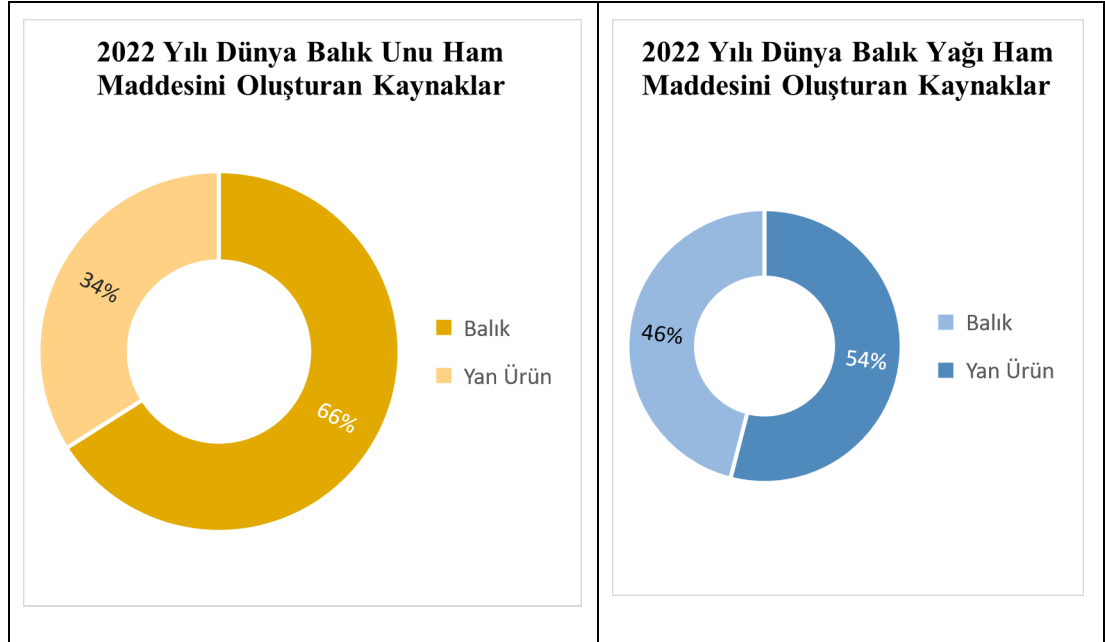
Balık işleme yan ürününün, su ürünleri yetiştiriciliğı yemi bileşenlerini üretmek için hammadde olarak giderek daha fazla kullanılması umut vericidir. Yan ürünlerin kullanımı, israfın azaltılmasına yardımcı olur ve aynı zamanda insan ve hayvan sağılığını destekleyen yüksek değerli ürünlerin üretilmesine katkıda bulunur. 2000 yılından bu yana yan ürünlerin, su ürünleri yetiştiriciliğinde kullanılan yemi üretmek için kullanımının artışı şekil 2.4'de görölmektedir (IFFO 2024).





**Şekil 2.4** Su Ürünleri Yem Hammaddesi Kaynakları (IFFO, 2024)

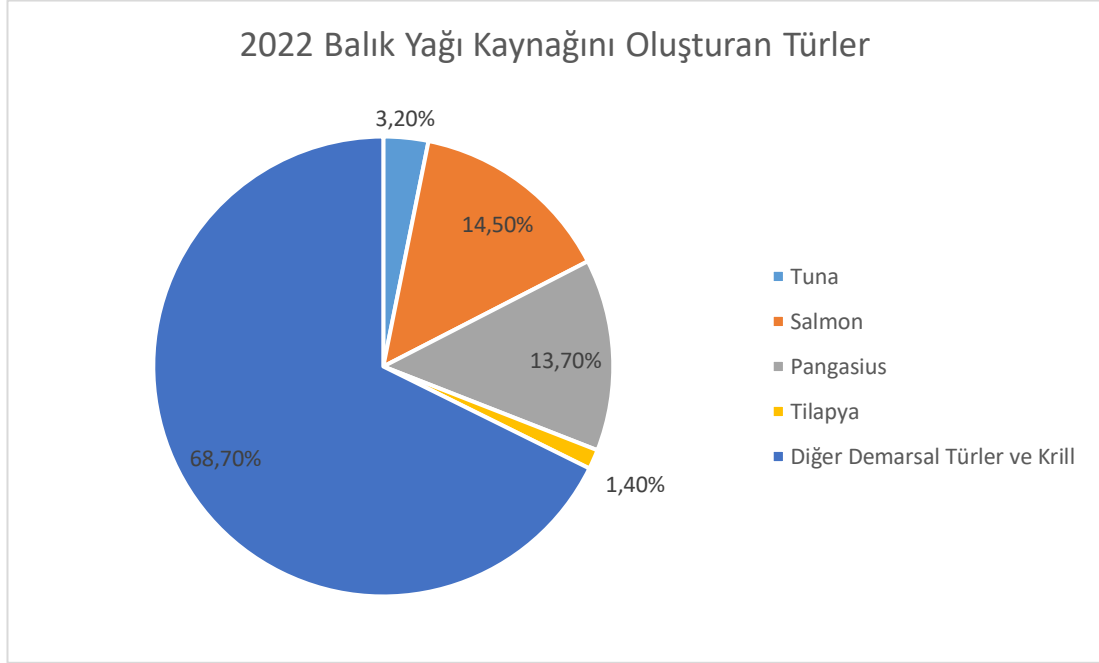
Balık unu ve balık yağını ayrı ayrı ele aldığımızda, 2022 yılında balık unu üretiminin %34'ünü yan ürünler oluşturmuştur ve balık yağı üretiminin %54'ünü temsil ettiğini görülmektedir. (Şekil 2.5). (IFFO, 2024).



**Şekil 2.5** 2022 Yılı Dünya Balık Unu ve Balık Yağının Hammaddesini Oluşturan Kaynaklar (IFFO, 2024)

Balık unu ile karşılaştırıldığında balık yağı üretiminde daha yüksek yan ürün kullanımının nedeni, esas olarak somon ve pangasius kırpıntılarının yüksek yağ veriminden kaynaklanmaktadır. Balık yağı için kullanılan ham maddeye bakıldığında (Şekil 2.6), balık yağı üretimi için somon yan ürünleri oranının %14,5 ve pangasius

yan ürünleri oranının ise %13,7 olduğu görülmektedir. Ayrıca, küresel balık yağı arzının %3,2'si tuna balığı ve %1,4'ü tilapia yan ürünlerinden sağlanmaktadır- (IFFO, 2024).



Şekil 2.6 2022 Balık Yağı Kaynağını Oluşturan Türler (IFFO, 2024)

### 2.3 Balık Atığının Döngüsel Biyoekonomide Yeri

Döngüsel biyoekonomi, hem döngüsel ekonominin ayrılmaz bir parçasıdır hem de kaynaklar ve çevresel sürdürülebilirlik açısından sürdürülebilirliğin sağlanmasında esastır. Biyoekonomi, biyolojik kökenli malzemeleri kullanır ve kaynaklar açısından verimli bir kullanım elde etmek için doğa tarafından geliştirilen süreçleri taklit eder veya kullanır (Mohan ve ark., 2020). Avrupa Komisyonu'na göre biyoekonomi, "yenilenebilir biyolojik kaynakların üretimi ve bu kaynakların ve atık akışlarının gıda, yem, biyo-bazlı ürünler ve biyoenerji dahil olmak üzere katma değerli ürünlere dönüştürülmesi" olarak tanımlanmaktadır (EC, 2020).

Bu bağlamda, daha yeşil ve daha sürdürülebilir süreçlerin geliştirilmesine yönelik artan bir farkındalık ve özel ilgi, balıkçılık ve su ürünleri yetiştiriciliği yoluyla elde edilen büyük miktardaki atık gibi istenmeyen deniz kaynaklarının kullanımına yüksek piyasa değeri olan ürünlerin umut verici kaynağı olarak daha fazla ilgi gösterilmesine yol açmıştır. (Shahidi ve ark., 2019; Shavandi ve ark., 2019; D' Ambra ve Lauritano, 2020). Her yıl, çok büyük miktarda biyokütle atılır, genellikle yakılır,

enerji tüketimini, maliyeti ve yönetim süreçlerinin çevresel etkisini artırır (Arvanitoyannis ve Kassaveti, 2008) veya düşük değerli ürünler için kullanılır. Bugüne kadar balık atıkları, balık eti ile hemen hemen aynı miktarda protein içerdiğinden, esas olarak balık unu endüstrisinde kullanılmaktadır (Mo ve ark., 2018; Stevens ve ark.,2018; Beheshti Foroutani ve ark., 2018). Balık yan ürünleri, bileşimleri balık filetosu ve tüketim için kullanılan diğer gıda ürünlerine benzer olduğundan, besin açısından önemli bir protein, yağ asidi ve mineral kaynağıdır.

Döngüsel Ekonomi sürdürülebilirlik, ekonomik, çevresel ve sosyal yükleri dengelemek amacıyla değer zincirini doğrusaldan döngüsel döndürmek ve kaynak kullanımının verimliliğini artırmak için geliştirilmiştir (Ghisellini ve ark., 2022; Ang ve ark., 2019; Silk ve ark., 2020; Udugoma ve ark., 2020). Bu, diğer faaliyetlerin yanı sıra, biyokütle kaynaklarının ve organik atıkların çeşitlendirilmiş son ürün ve malzemelere dönüştürülmesi ve yeniden kullanılması anlamına gelir (Gani ve ark., 2020). Bunlara gıda, biyo bazlı kimyasallar, biyopolimerler, yakıtlar ve biyoenerji dahildir. Bu bağlamda, birçok ürünün ekonomik olarak işlenmesine de yol açabilecek önemli miktarda yağ/lipit içeren potansiyel hammaddeyi araştırmak için çok sayıda girişimde bulunulmuştur (Sharma ve ark., 2014; Perederic ve ark., 2020).

Döngüsel ekonomi yaklaşımıyla su ürünleri atıklarının yeniden değerlendirilmesi, gıda-su-enerji bağımlı bir arada tutarak ve sürdürülebilir bir ilerleme perspektifini geliştirmek için bir fırsattır. Doğrudan insan tüketimi için kullanılan dünya balık üretimindeki paya ek olarak, yüksek kollajen, peptit, yüksek piyasa değerine sahip biyoteknolojik veya farmasötik uygulamalar için uygun kitin, çoklu doymamış yağ asitleri (PUFA'lar), enzimler ve mineraller çok önemli fonksiyonel ürünler olarak kullanılabilir (Esteban ve ark., 2007; Granito ve ark., 2018; Shadidi ve ark., 2019; Shavandi ve ark., 2019; D'Ambra ve Lauritano 2020;).

Döngüsel biyoekonomiye ve sıfır atık kavramlarına bağlı kalarak, balık yağının BA'dan izolasyonu ve saflaştırılması güçlü bir şekilde teşvik edilmelidir. Bunun nedeni, prosesin tüm ara ürünlerinin daha sonra değerlendirilmiş ürünlere dönüştürülebilmesidir. Örneğin protein kısmı hayvan yemi ve enzim ve biyoaktif peptit kaynağı olarak kullanılabilirken gliserol, sıvı biyoyakıt olarak kısa zincirli doymamış yağ asitlerinin üretiminde kullanılabilir. BA'nın değerlendirilmesi ayrıca kırsal,

kıyı ve deniz bölgelerine yeni iş fırsatları, yatırım ve istihdam getirilmesine, bölgesel kalkınmanın teşvik edilmesine, küçük ve orta ölçekli işletmelerin desteklenmesine yardımcı olacaktır (de la Caba ve ark., 2019; Hou ve ark., 2022). İskoçya'da somon işleme atıklarıyla ilgili bir çalışmada, kırpıntılardan, karışık yan ürünlerden, iskelet, iç organlardan ve deriden oluşan toplam atık içerisinde; atıkların %75'i hayvan yemi olarak değerlendirilmiştir. Bu oran ayrıca evcil hayvan gıdaları (%22), hayvancılık (%46) ve su ürünleri yemi (%7) oranında kullanılmıştır. Kan-su formundaki yan ürünlerin %10'u yakıt ve gübre endüstrilerinde, kırpıntı ve kafaların ise %15'i insan gıdası olarak kullanılmıştır (Stevens ve ark. 2018). Araştırmacılar ayrıca balık konserve endüstrisinden gelen atıkların değerlendirilmesinin, sırasıyla gıda ve biyodizel endüstrilerinde kullanılabilir ω-3 PUFA açısından zengin bir sıvı fraksiyon ve katı bir bileşen ürettiğini de bildirmişlerdir (de la Fuente ve ark., 2020).

Balık israfı sadece büyük bir çevre sorunu değil, aynı zamanda büyük bir ekonomik kayıptır. Bu nedenle, bu önemli sorunların üstesinden gelmek için daha iyi bir balık atık yönetimine ihtiyaç vardır. Bu nedenle, günümüzde, sürdürülebilir bir balık atığı yönetiminin geliştirilmesi, atık oluşumunu mümkün olduğunca önlemeyi ve oluşan atığı kaynak olarak kullanmayı amaçlayan Atık Çerçeve Direktifi ile yakından ilgili olduğundan kilit bir rol oynamaktadır. Yeniden kullanım, geri dönüşüm ve geri kazanım için. Bu sayede balık yan ürünlerinin kullanılması ticari değeri yüksek ürünlerin geliştirilmesine ve dolayısıyla ekonomik büyümeye katkı sağlayabilir.

Çalışmalar, balık atıklarından ve yan ürünlerden elde edilebilecek bileşikler kapsamlı bir şekilde gösteriyor ve bu atığın katma değerli ürünlerin (örneğin peptitler, proteinler, kollajen, kitin, yağ ve enzimler) üretimi için nasıl muazzam bir kaynak haline gelebileceğini vurguluyor. Ekstraksiyon ve saflaştırma teknikleri temel olarak asit ekstraksiyonu, enzimatik hidroliz ve fermantasyon gibi prosedürlere dayanmaktadır. En iyi ekstraksiyon tekniğini seçerken dikkat genellikle nihai verime ve özellikle muhtemelen insan tüketimine yönelik bileşikler söz konusu olduğunda, besin değerinin mümkün olduğunca korunmasına odaklanır.

Balık atıklarının değerlendirilmesi ile elde edilen tüm bileşiklerin uygulama aralığı, tıp, ilaç ve paketleme, gıda ve biyoyakıt üretim alanlarını kapsayarak çok geniştir.



WordCloud (şekil 2.7), "döngüsel ekonomi" teriminin son bilimsel araştırmalarda sıklıkla alıntılanan anahtar kelimelerden biri olarak görüldüğünü göstermektedir. Gıda ürünlerine yönelik döngüsel ekonomi modeli, bir değer zincirindeki yan ürünlerin ve atıkların diğer değer zincirleri için girdi haline getirilecek şekilde yeniden kullanılmasıyla ilgilidir (Global Seafood Alliance, 2021). Bu bağlamda, balığın işlenmesi sırasında oluşan kalıntı ve atıklar, ticari ve/veya endüstriyel açıdan katma değerli ürünlerin çıkarılmasında kaynak olarak kullanılabilir.

Şekil 2.7'de gösterilen terimler arasında göze çarpan "balık yağı", "atık balık yağı", "biyo-yağ" ve "yağ asitleri" yağın ekstraksiyonuyla ilgilidir ve "transesterifikasyon" terimi doğrudan "biyodizel" üretimi için kullanılan bir işlem. Protein geri kazanımı ("protein") aynı zamanda "kollajen" veya "balık proteini hidrolizatı" elde etmek için de incelenmiştir. Ayrıca "biyobirikim", antioksidan potansiyeli olan bir pigment olan astaksantin gibi endüstriyel açıdan ilgi çekici belirli bileşiklerin balıklarda birikmesiyle ilişkili olabilir.

Balık ve deniz ürünleri, diğer hayvansal protein kaynaklarına göre daha yüksek gıda dönüşüm oranlarının bilinmesi nedeniyle, gıda tüketiminde giderek artan bir paya sahiptir. Bu bağlamda döngüsel ekonomi, balık üretimi ve tüketimini yeniden tasarlamak ve yenilemek, kaynak verimliliğini artırmak ve kapsayıcı ve sürdürülebilir kalkınmaya katkıda bulunmak için yeni perspektifler aramaktadır (Fadeeva ve Van Berkel 2023). Mavi ekonomi modeli, sürdürülebilirlik ve yeniden kullanıma ilişkin döngüsel ekonomi ilkelerini dünyanın su ekosistemlerini etkileyen faaliyetlere kadar genişletiyor. Amaç, su ortamını (denizler ve kıyı şeridi, okyanuslar, nehirler ve göller dahil) korumak için gerekli tüm stratejileri uygulamaktır (Vierros ve De Fontaubert 2017)

Balık ve diğer deniz ürünleri, insan beslenmesi için değerli birçok besin ve mikro besin kaynağını temsil eder ve küresel gıda güvenliğine önemli ölçüde katkıda bulunur. Bununla birlikte, deniz ürünleri değeri ve tedarik zinciri boyunca, denizden tüketici sofrasına kadar önemli miktarlarda deniz ürünleri atığı ve yan ürünleri üretilmekte, ciddi çevresel hasara ve önemli ekonomik kayıplara neden olmaktadır. Bu nedenle, deniz ürünleri atıklarının daha iyi yönetilmesini sağlamak ve ekonomik ve çevresel yüklerini azaltmak için acilen yenilikçi çözümlere ve alternatif yaklaşımlara

ihtiyaç duyulmaktadır. Dördüncü sanayi devrimi (Endüstri 4.0) yenilikleri dahil olmak üzere gelişen teknolojilerin kullanımı ve diğer ileri teknolojiler deniz ürünleri atıklarını ve yan ürünlerini azaltmak ve değerlendirmek, dünya çapında mavi ekonomiyi ve gıda sürdürülebilirliğini geliştirmek için umut verici bir strateji olabilir.

Endüstriyel büyümenin çevre üzerindeki olumsuz etkilerine ilişkin artan farkındalık, geleneksel doğrusal ekonomi modelinden döngüsel ekonomi olarak bilinen daha sürdürülebilir bir stratejiye geçişi güçlü bir şekilde zorlamaktadır (European Commission, Directorate-General for Environment (2020). Gıda zinciri içinde döngüsel ekonomi modeli, atık bertarafını ve hammadde tüketimini en aza indirmek için atıkların yeniden kullanımı yoluyla değerlendirilmesine vurgu yapar (Morseletto 2020; Martínez-Vázquez ve ark., 2021). Gerçekten de, klasik üretim-kullanım-imha yaklaşımlarının zaman içinde etkisiz ve sürdürülemez olduğu kanıtlanmış olup, alternatif bir modelin ortaya çıkmasına neden olmuştur (Di Vaio ve ark., 2023; Esposito ve ark., 2018).

#### **2.4 Balık Atıklarının Değerlendirilmesinde Pazar Eğilimleri**

Katma değerli ürünlerin geliştirilmesi için balıkçılık atıklarının kullanılması, küresel deniz ürünleri endüstrisinde yeni ortaya çıkan bir eğilimdir. Tüketiciler sürdürülebilirlik ve atık azaltma konusunda daha bilinçli hale geldikçe şirketler, bir zamanlar atık olarak kabul edilen balık yan ürünlerinden değer elde etmenin farklı yollarını aramaktadırlar (Cooney ve ark., 2023). 2015'ten 2020'ye kadar balıkçılık atıklarının katma değerli ürünlerin geliştirilmesinde kullanılmasında önemli bir artış yaşanmıştır. Önemli büyüme alanlarından biri balık unu ve balık yağı üretimidir. Bu ürünler tipik olarak düşük değerli balık türlerinden veya yan avlananlardan yapılır ve hayvan ve su ürünleri yemlerinde protein ve  $\omega$ -3 yağ asitleri kaynağı olarak kullanılır (FAO, 2020). Balık atıklarından üretilen balık unu ve balık yağı 2015-2020 döneminde istikrarlı bir büyüme kaydetmiştir. Dünya çapında balık yağı pazarının 2019'da 1,91 milyar dolar olduğu tahmin ediliyor ve 2021'den 2027'ye kadar %5,79'luk Bileşik yıllık büyüme oranıyla (CAGR) 2027'de 2,84 milyar dolara ulaşması beklenmektedir. Ayrıca, kolajen ve kolajen bazlı ürünler kozmetik, gıda ve içecek endüstrisinde kullanımları nedeniyle talep kazanmıştır. Deniz kollajeninin pazar büyüklüğünün 2025 yılına kadar %7,4'lük bir CAGR ile 0,983 milyar ABD dolarına ulaşacağı

değerlendirilmektedir. Balıkçılık atıklarından türetilen proteinler, sürdürülebilir ve çevre dostu ürün geliştirme pazarındaki bir başka büyüme alanıdır. Küresel BPH pazarının büyüklüğü 2019'da yaklaşık 0,42 milyar ABD dolardı ve 2020 ile 2026 arasında %4,5'lik bir Bileşik Büyüme Oranında artması bekleniyor (Coppola ve ark., 2021). Balıkçılıktan elde edilen hayvan yemi ve nutrasötik ürünler geniş çapta ticarileştirilmektedir.

## 2.5 Balık Atığı Bileşimi

Balıkların ve yan ürünlerinin besin değeri genel olarak cinsine, balığın yaşına, hasat mevsimine ve beslenmesine bağlıdır (Ghaly ve ark., 2013). Genel olarak, balık yan ürününde ham protein içeriğinin %8-35 arasında olduğu belirtilmektedir (Gao ve ark., 2021). Renuka ve ark., (2016), *Otolithes ruber* yan ürünlerinin bileşimini incelemişler ve yüzme kesesinde yüksek kaliteli protein verimi (%21) olduğunu bildirmişlerdir. Ayrıca bu araştırma sonucunda, baş bölgesinde yüksek bir lipit içeriği (%4,1), kül (%2,26), Ca, Na ve Mg mevcutken, protein olmayan nitrojen ve peroksit değeri gibi diğer kalite endeksleri bağırsaklarda, iç kısımlara göre daha yüksek tespit edilmiştir.

BA'daki lipitler, omega-3 ( $\omega$ -3) yağ asitleri, yağlar, yağda çözünen vitaminler, skualen, fosfolipitler ve kolesterol fraksiyonlarından oluşur ve balık iç organlarında %19 ila %21 arasında değişir. Ancak baş, bağırsak ve kemikler, yağ asitleri (özellikle oleik, palmitik, linoleik ve eikosenoik asitler) açısından zengin bir kaynaktır; oysa kırpıntılar, pullar ve kemikler zengin bir kalsiyum kaynağı olan hidroksiapatit açısından zengindir (Kandyliari ve ark., 2020 ; Nam ve ark., 2019 ).

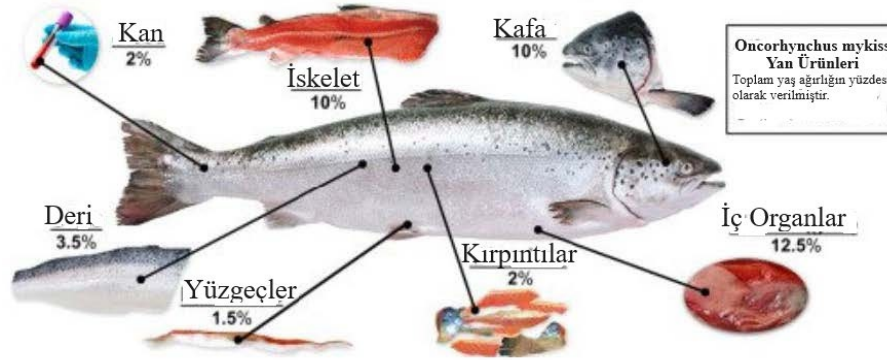
Deniz ürünleri yan ürünlerinin ve yan akışlarının bir protein, polisakkarit, lipit, enzim, pigment ve mineral kaynağı olarak kullanılması, çeşitli endüstriyel uygulamalar için giderek daha popüler hale geldi (Nirmal ve Maqsood, 2022). Balık işleme atığı ve yan ürünleri daha yüksek protein konsantrasyonu (%58) içerirken (Nirmal ve ark., 2022b), kabuklu deniz hayvanı işleme atığı daha yüksek konsantrasyonda polisakkaritler (%20-46) ve mineraller (%30-60) içerir (Nirmal ve ark., 2020).

Deri ve kemikler, BA' nın büyük bir bölümünü oluşturur (toplam ağırlığın %30'u) ve başta kollajen, jelatin ve hidroksiapatit olmak üzere yüksek miktarda



biyoaktif bileşik içerir (Coppola ve ark., 2021). Balık kılıcı %60-70 oranında minerallerden oluşur ve bunların büyük kısmını kalsiyum, fosfor ve hidroksiapatit oluşturur (Ghaly ve ark., 2013). BA'nın ikinci ana fraksiyonu, tüm balığın %12-18 ini oluşturan ve bol miktarda proteolitik enzim kaynağı olan balık iç organlarından oluşur (Caruso, 2016; FAO, 2020a). Balık iç organlarından ekstrakte edilen proteolitik enzimlerin çoğu, çok düşük konsantrasyonlarda ve düşük sıcaklıklarda bile yüksek katalitik aktivite ve iyi verim sergiler (Joseph ve ark., 2019). Baş, BA'nın %9-12sini oluşturur ve çoğunluğu diğer hayvan ve bitki proteinlerinden besin açısından üstün olan kayda değer miktarda protein içerir (FAO, 2020; Joseph ve ark., 2019). Balığın baş bölgesi aynı zamanda kaliteli yağlar ve başta A vitamini olmak üzere birçok vitamin açısından da zengindir. Bu vitamin göz sağlığına ve beyin gelişimine faydalıdır. Balık iskeleti, balık işleme sırasında filetoların çıkarılmasından sonra elde edilen artıklardır ve kalsiyum, eikosapentaenoik asit (EPA), dokosaheksaenoik asit (DHA) ve kollajenden oluşur. İskeletler, miyofibriller ve sarkoplazmik proteinlerden oluşan önemli miktarda kas içerir ve lizin, valin ve fenilalanin gibi esansiyel amino asitleri içerir (Gajanan ve ark., 2016). Balık pulları, balığın vücut ağırlığının %2 sini temsil eder ve kollajen çekirdeği çevreleyen bir hidroksiapatit ve kalsiyum karbonat tabakasından oluşur. Kollajen ve hidroksiapatit balık pullarında sıkı bir şekilde birbirine bağlıdır ve ayrılmaları zordur. Pullar aynı zamanda özellikle nitrojen ve organik bileşenler (yağ, kollajen, lesitin, skleroproteinler ve birçok vitamin) açısından zengin bir besin kaynağıdır. Ayrıca düşük konsantrasyonda Ca, Mg, P, Na ve S içerirler (Harikrishna ve ark., 2017). Çipura yan ürünleri üzerinde yapılan araştırmalar, derinin en önemli protein kaynağı olduğunu, kırpıntuların ve kemiklerin kalsiyum açısından zengin olduğunu ve baş, bağırsaklar ve kemiklerin iyi bir lipit kaynağı olduğunu göstermiştir (Kandyliari ve ark., 2020). Spesifik olarak, tüm balık yan ürünlerinin kuru ağırlık bazında hesaplanan ortalama değeri protein içeriği için %49,22–57,92, kül içeriği için %21,79–30,16 ve yağ içeriği için %7,16–19,10'dur (Esteban ve ark., 2007; Abbey ve ark., 2017).

Akhtar ve ark., (2017) 400 g tilapyanın işlenmesinden kaynaklanan atık bileşenlerin %4,42'sinin pullardan, %1,75'inin kuyruktan, %7,65'inin bağırsaklardan, %3,50'sinin deriden, %19,70'inin kafadan, %68'inin kemikten ve %54,34'ünün kastan oluştuğunu bildirmiştir.



**Şekil 2.8** *Oncorhynchus mykiss* Yan Ürünleri (%) (FAO, 2014)

Yan ürünler genellikle kafalar (%9-12), iç organlar (%12-18), deri (%1-3), kemikler (%9-15) ve pullardan (%5) oluşmaktadır (FAO 2014).

## 2.6 Balık Yağı ve Kullanım Alanları

Çoklu doymamış yağ asitleri (PUFA), özellikle cis-5,8,11,15,17-eikosapentaenoik asit (EPA) ve cis-4,7,10,13,16,19-dokosaheksaenoik asit (DHA)'den oluşmaktadır. PUFA'ların kalp-damar hastalıkları, kanser ve oto-immün bozuklukların önlenmesi, beyin ve retina gelişimi ve majör depresif bozukluğun tedavisi gibi hastalıklarda sağlık üzerinde yararlı etkileri bilinmektedir (Rissanen ve ark., 2000; Harris ve ark., 2008; Swanson ve ark., 2012; Hamazaki ve ark., 2013; Laino ve ark., 2014; Byelashov ve ark., 2015). Bu nedenle, yeterli miktarda omega ( $\omega$ -3) PUFA alımı önemli olmaktadır. Su ürünleri içerisinde özellikle balıklar, insan diyetindeki en zengin PUFA kaynaklarıdır. Avrupa Gıda Güvenliği Otoritesi, uzun zincirli  $\omega$ -3PUFA'lar EPA + DHA için etiket referans alım miktarı olarak 250 mg/gün (haftada 1--2 porsiyon yağlı balık) önermektedir (EFSA, 2009). Balık yağı esas olarak tüm balıktan veya karaciğerlerden elde edilir. Bununla birlikte, yağlı balıkların işlenmesinden kaynaklanan bazı balık yan ürünleri ve ayrıca atılan balıklar (avlanan balığın ticari değeri olmayan ve balıkçılık faaliyetleri sırasında gemide tutulmayan ve genellikle ölü olarak denize dökülen kısmı) insan tüketimi için kaliteli balık yağı kaynağı olarak kullanılabilir (Aidos ve ark., 2001; Wu ve Bethel, 2008; Rubio-Rodriguez ve ark., 2012). Balık yağı yüksek oranda doymamış yağ asitleri ve özellikle esansiyel yağ asitlerini içeren mükemmel bir enerji kaynağıdır (Strobel ve ark., 2012).

Bunun yanında, kalsiyum, fosfor, magnezyum ve iz elementler gibi esansiyel mineraller ve vitaminleri de içermektedir (Guillaume ve ark., 2001). Uzmanlar su ürünleri kaynaklı omega-3 yağ asitlerinin, kanser, kardiyovasküler hastalıklar, hipertansiyon, bağışıklık sistemi ve iltihaplı hastalıklarda koruyucu etkiye sahip olduğunu bildirmektedirler (Strobel ve ark., 2012). Ayrıca omega-3 yağ asidi ile zenginleştirilmiş ürünlerin, bebek mamalarında, diyet takviyelerinde ve 'fonksiyonel' gıda-meşrubatlarda gıda destek ürünü olarak kullanıldığı da ifade edilmektedir (Rustad, 2003).

Balık yağı, yağda çözünen vitaminler ve çoklu doymamış yağ asitleri (PUFA), özellikle de EPA ve DHA gibi  $\omega$ -3 yağ asitleri açısından zengin bir kaynaktır. Balık yağı, genellikle %2-30 yağdan oluşan yağlı balıkların deri, karaciğer, kafa, iskelet, yüzgeç, et gibi yağ açısından zengin dokularından ve bağırsak çevresindeki boşluklardan elde edilebilmektedir (Joseph ve ark., 2019; Karkal ve Kudre, 2020). Balık yağının üretimindeki artış, esas olarak su ürünleri yetiştiriciliği endüstrisinde ve gıda formülasyonunda bir bileşen olarak balık yağına olan talebin artmasından kaynaklanmaktadır (Finco ve ark., 2017). Balık yağının bileşimi esas olarak balık türüne, yağın çıkarıldığı yan ürüne, yaşa, cinsiyete, sağlık durumuna, hasat mevsimine ve ekstraksiyon yöntemine bağlıdır (Karkal ve Kudre., 2020). Somon, sardalya ve ton balığı gibi pelajik balıklar genellikle vücutlarında yağ depolar ve balıkta bulunan toplam lipidin %35'ine kadar yüksek miktarda uzun zincirli  $\omega$ -3 yağ asitleri içeriğine sahip olabilirler. Orta düzey balıklar %18 ila %25 arasında değişen yağ oranına sahip olabilir ve morina ve pisi balığı gibi dip balıkları düşük miktarda  $\omega$ -3 yağ asidi içeriğine (%15 ila %20) sahiptir ve genellikle yağı karaciğerlerinde depolar (Pike ve Jackson., 2010)

Küresel balık yağı pazarının büyüklüğü 2019'da 1.905,77 milyon dolar değerindeydi ve 2021'den 2027'ye kadar %5,79'luk bir yıllık bileşik büyüme oranı (YBBO) ile 2027'de 2844,12 milyona ulaşacağı tahmin ediliyor. AB, her yıl yaklaşık 120.000 ton balık yağı üretmektedir ve bu konuda en büyük üretici ülke Danimarkadır. Bu üretimin artışı, su ürünleri yetiştiriciliğinde balık yağına olan büyük talepten kaynaklanmaktadır (Wijesundera ve ark., 2011). Bununla birlikte, balık yağı üretiminde özellikle balık yan ürünlerinden yüksek kaliteli/yüksek değerli pazarlar için de iyi bir potansiyel vardır. Balık ürünleri işlemeye yönelik artan küresel eğilim, yan

ürün hacimlerini de artırmıştır. 2016 yılında, yan üründen elde edilen küresel balık yağı üretimi, toplam balık yağı üretiminin %26'sını oluşturmaktadır (Jackson ve Newton, 2016). Hem balıkçılık hem de su ürünleri yetiştiriciliği endüstrilerinde sıvı ve katı yağlar, balık işleme atıklarının önemli bir bölümünü temsil etmektedir ve bunların miktarı, belirli balık türlerinin yağ içeriğine, yağın balık kısımlarındaki dağılımına, yaşına, cinsiyetine, beslenme durumuna bağlıdır. (Karkal ve Kudre, 2020). Örneğin, atılan balıkların iç organ kütlelerinin, proteinler dışında önemli miktarda sıvı veya katı yağ içerdiği iyi bilinmektedir (Kudre ve ark., 2017). Balık yağı, balığın etinde, başında, iskeletinde, yüzgecinde, kuyruğunda, derisinde ve bağırsaklarında değişen miktarlarda bulunur. Genel olarak, balıklar %2-30 oranında yağ içerir ve balık işleme operasyonu sırasında vücut ağırlığının yaklaşık %50'si atık olarak ortaya çıkmaktadır (Ramakrishnan, 2013). Bu durum değerlendirilmeyen yağın esas olarak insan tüketimi veya biyodizel üretimi için değerlendirilmesi için büyük bir potansiyel olduğu anlamına gelmektedir. Balık yağı, değişken miktarlarda fosfolipitler, gliserol eterler ve mum esterler ile esas olarak yağ asitlerinin trigliseritlerini içerir ve çiftlik balıkları için en besleyici ve en sindirilebilir bileşen olarak kabul edilir. Balıklardaki lipid bileşimi, eikosapentaenoik asit (EPA, C20:5,  $\omega$ -3) ve dokosaheksaenoik asit (DHA, C22:6, n) dahil olmak üzere büyük miktarda uzun zincirli PUFA'lar nedeniyle kara hayvanı lipidlerinden ve bitkisel yağlardan oldukça farklıdır ve omega-3 olarak bilinir. İnsan vücudu tarafından sentezlenemeyen bu yağ asitleri, insan sağlığı için çok çeşitli kritik fonksiyonları kapsamaktadır (Khoddami ve ark., 2012). En iyi EPA ve DHA içeren yağlı balık kaynakları arasında somon, ringa, uskumru, hamsi, sardalya ve ton balığı gelmektedir (Ashraf ve ark., 2020). Balıklar omega-3'ü sentezleyemezler, ancak diyetlerinde algler ve mikroalgler veya plankton yoluyla dışarıdan almaları gerekir.

Biyofarmasötik, nutrasötik ve gıda sektörleri, omega-3 konsantrilerine artan bir pazar ilgisi yaşamaktadır. Balık ve balık işleme yan ürünleri, omega-3 açısından zengin lipidlerin ana kaynağını temsil eder.

Günümüzde balık yağı ve daha sıklıkla balık yağından elde edilen omega-3 konsantreleri , piyasada omega-3 ile zenginleştirilmiş gıda ürünleri olarak reklamı yapılan günlük gıdaların büyük bir kısmına eklenmektedir : süt, yoğurt, peynir, unlu mamuller, bebek maması vb. Omega -3 Balık yağından elde edilen konsantreleri

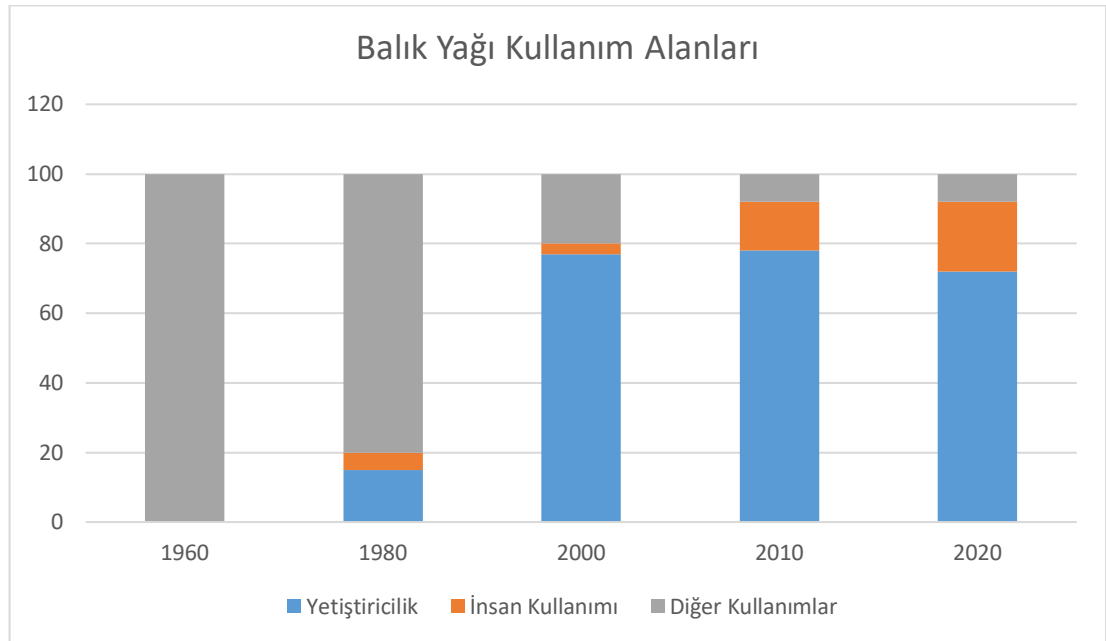
birçok nutrasötik üründe önemli bileşenlerdir ve eczanelerde haplar halinde satılmaktadır. Omega-3'ün yararları ve üretimi ile ilgili son incelemeler literatürde mevcuttur (Sahena ve ark., 2009; Rubio-Rodríguez ve ark., 2010).

Balıkçılık endüstrisinde atık balık yağı, sağlık üzerindeki yararlı etkileri geniş çapta belgelenen ( $\omega$ -3) çoklu doymamış yağ asitleri içeriği nedeniyle yüksek besin değerine sahip bir yan ürün olarak kabul edilebilir (Bimbo, 2013).

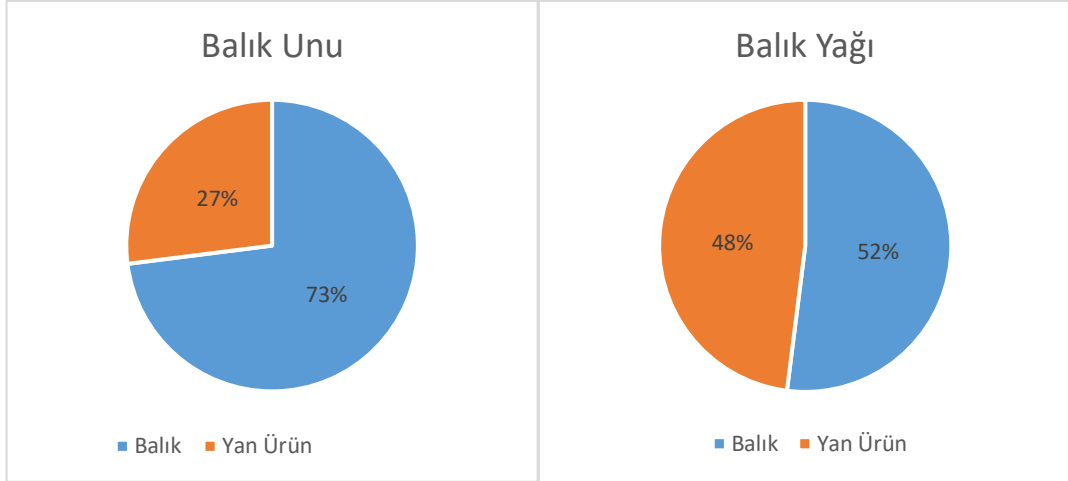
Balıklarda balık yağları genellikle balık derilerinin deri altı dokuları altında depolanırlar ve kalite parametreleri ticari yenilebilir yağlarla karşılaştırılabilir niteliktedir (Şimat ve ark., 2019 ).

Mutalipassi ve ark., (2021) EPA ve DHA izolasyonu için Hint uskumrusunun öğütülmüş derisi üzerinde çalışmışlardır. Araştırmacılar, balık yağının, anti-hipertansif, anti-inflamatuar ve anti-diyabetik özellikler gösterdiğini ve gıda takviyesinde bir bileşen olarak kullanıma uygun hale getirilebileceğini önermişlerdir.

Su ürünleri üretimi ve işleme teknolojisinin gelişmesi ile artan yan ürünlerin sektörde geri dönüştürülerek üretime katılması büyük önem arz etmektedir. Şekil 2.9 da balık yağı kullanım alanları gösterilmiştir.



Şekil 2.9 Balık Yağı Kullanım Alanları (IFFO, 2022)



**Şekil 2.10** Balık Unu ve Balık Yağının Azaltılmasında Kullanılan Hammaddenin Payı (IFFO, 2022)

Balık yağı esas olarak tüm balıktan veya karaciğerlerden elde edilir. Balık unu üretimi sırasında açığa çıkan yağ, balık yağı üretiminde hammadde olarak kullanılmaktadır (Hardy ve Tacon, 2002). Fakat bu süreçten elde edilen yağ oldukça kaliteli olup maliyeti de artırmaktadır. Buna alternatif olarak hem çevreci hem de yüksek katma değerli ürünlerin ortaya çıkması açısından yan ürünlerde kullanılmaya başlanmıştır. Yağlı balıkların işlenmesinden kaynaklanan bazı balık yan ürünleri ve ıskarta türler insan tüketimi için kaliteli balık yağı kaynağı olarak kullanılabilir (Aidos ve ark., 2001; Wu ve Becthel, 2008; Rubio-Rodriguez ve ark., 2012).

Atık balıklardan elde edilen yağ, bakteriyel enzimlerin üretimini teşvik etmek için de kullanılmıştır. Özellikle, mikrobiyal lipaz üretiminin, lipaz üretimini uyarabilen veya baskılayabilen nitrojen kaynakları, yağ asitleri, trigliseritler ve karbonhidratlar gibi karbon kaynakları gibi orta bileşenlerden oldukça etkilendiği bilinmektedir. *Staphylococcus epidermidis* bir büyüme ortamına eklenen %1.5 morina karaciğeri yağı, hint yağı, hurma yağı ve diğer bitkisel yağlarla karşılaştırıldığında lipaz üretimini (14.8 U/mL) artırmak için uygun bir trigliserit kaynağı olduğunu göstermiştir (Esakkiraj ve ark., 2010).

Inguglia ve ark., (2020) *S. salar*'dan ekstrakte edilen balık yağının antimikrobiyal etkilerini kalitatif olarak karakterize etmiş ve araştırmıştır. Araştırmacılar, İtalyan balık pazarlarından elde edilen atık numuneleri ve bu bileşiklerin patojen enfeksiyonlarının tedavisinde potansiyel kullanımını değerlendirdi. GC/MS kullanarak, somon atık yağlarının spesifik yağ asidi bileşiminin, omega-3, -6, -7, -9

yağ asitlerine özel referansla, MUFA'lar ve PUFA'lar açısından zenginleştiğini gösterdiler. Balık atıklarından elde edilen yağın bir diğer ilgili uygulaması, çevre dostu yakıtların, özellikle biyodizelin üretilmesidir. Atık yağlar, atık kullanımı ve yakıt üretimi, bertarafı, daha düşük fiyat (galon başına 1,19 \$' a kıyasla balık yağı için galon başına 25 sent) yaşam döngüsü boyunca emisyonları genel olarak düşürmesi nedeniyle petrol ve işlenmemiş bitkisel yağ bazlı yakıtlara (dizel yakıt) göre potansiyel olarak avantajlıdır ve petrol distilatlarına benzer kalori değerine sahiptir (Yahyaee ve ark., 2013). Bu nedenlerden dolayı, birkaç çalışma balık atık yağının biyodizel üretimi potansiyelini araştırmış ve doğrulamıştır. Yenilenemeyen fosil yakıtlarla ilgili başta maliyet, enerji krizi ve küresel ısınma olmak üzere olumsuzluklar nedeniyle çevre dostu yakıt üretimi ivme kazanıyor. Tanınmış hammaddelerle ilgili dezavantajlar, biyoyakıt üretimi için yeni hammaddelerin keşfedilmesi ihtiyacını doğurur. Balık işleme birimleri ve yerel pazarlar her yıl milyonlarca ton lipid (%30-35 w/w) açısından zengin balık atığı üretiyor. Bununla birlikte, bu balık artıkları genellikle hayvan yemi ve gübre hazırlamak için kullanılır, ancak ana kütle çevreye atılarak kirliliğe neden olur. Son yıllarda, balık atıkları, sürdürülebilir biyoyakıt (biyodizel ve biyogaz) üretimi için umut verici bir alternatif hammadde olarak tetiklendi. Yaklaşık %90 biyodizel baz katalizör kullanılarak balık atıklarından verim kaydedilmiştir. Ek olarak, balık atık yağı kalitesi, biyodizel hazırlama yöntemi, alkol yağ oranı, katalizörün türü ve miktarı, reaksiyon sıcaklığı ve süresi gibi bazı faktörler de balık atıklarından (yağ) biyodizelin dönüşüm verimini ve kalitesini etkiler. Bu nedenle, mevcut iletişim, balık işleme endüstrileri, balıkçılık atıkları yönetimi ve biyoyakıt üretimi üzerinde çalışan bir grup insan için bu tür yüksek organik atıkların olumsuz etkisini azaltmak ve biyoyakıt üretimi için alternatif yenilenebilir ham maddeyi tanıtmak için faydalıdır.

Martins ve ark., (2015) arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada, tilapia atık yağından elde edilen balık bazlı biyodizelin fizikokimyasal özellikleri, Brezilya Ulusal Petrol Ajansı tarafından belirlenen standart gerekliliklere göre kontrol edildi. Elde edilen biyodizelin özgül kütle, kinematik viskozite, su içeriği, asitlik seviyesi, parlama noktası ve oksidasyon kararlılığı özelliklerine uygun olduğunu doğruladılar ve tilapia atıklarından elde edilen artık yağın biyodizel üretiminde kaliteli bir hammadde olarak kullanılma potansiyelini kanıtladılar. Aynı sonuçlar, hayvansal bir trigliserit kaynağı

olarak atık balık yağının 525 °C'de pirolizi ile elde edildi ve bu, petrol bazlı yakıtlara iyi bir benzerlik gösteren biyoyakıtların elde edilmesinin mümkün olduğunu gösterdi (Wisniewski ve ark., 2010).

Ching-Velasques ve arkadaşları bir balık pazarında toplanan Meksika snook (*Centropomus Poeyi*), karadeniz balığı (*Spondyliosoma cantharus*), kral uskumru (*Scomberomorus cavalla*) ve çizgili mojarra (*Eugerres plumieri*) iç organlarından elde edilen yağın enzimatik yöntem ile başarılı bir şekilde yağ asidi metil esterine dönüştürülebileceğini gösterdi. (Ching-Velasques ve ark., 2020)

Prakash ve arkadaşları balık yağı metil esterinin (FOME) performansını ve emisyonlarını fosil dizel ile karşılaştırdı ve FOME'nin sabit dizel motorlarda dizele alternatif yakıt olarak kullanılabilceğini gösterdi (Prakash ve ark., 2019).

Balık atıklarından elde edilen yağın yakın tarihli bir uygulaması, deri işlemede yağlama maddesi olarak kullanılmasıydı. Aslında, sülfatlanmış balık yağı yağ (sülfürik asit kullanılarak bir sülfasyon işlemiyle yağa dönüştürülen balık yağı) ile yağlanan derinin fiziksel ve mekanik özellikleri, ticari yağ çözücü madde kullanılarak işlenenlerden daha iyiydi (Saranya ve ark., 2020). Araştırmacılar, bu tür bir uygulamanın tekno-ekonomik fizibilitesini hesapladılar. Hammaddeler, nakliye ve insan gücü dahil, balık yağı yağının fiyatı yaklaşık 1,98 USD/L'dir, bu da ticari yağlama maddesine kıyasla 0.07-0.35 USD/L tasarruf sağlayabilir, bu da tabakhanelerin balık atık yağı kullanma eğiliminde olacağını düşündürmektedir.

Balıkların, yemlerinde kullanılan yağ kaynağı yetiştiriciliği yapılan türün büyüme performansını, yem tüketimi ve proteinden faydalanma oranını arttırmaktadır (Bell ve ark., 2000; Montero ve ark., 2005). Deniz balıklarının semirtilmesi esnasında, yemlerdeki yağ miktarı ve yağların kullanımı balığın büyümesi açısından oldukça önemlidir. Bilindiği gibi deniz balıklarının yemlerindeki en önemli enerji kaynağı protein ve yağlardır. Ticari yemlerin tamamında bu iki önemli enerji kaynağının dengeli bir şekilde formülize edilmesi gerekmektedir. Son yıllardaki çalışmalar karnivor türlerin yemlerindeki yağ ve protein oranının dengelenmesine, böylece yemlerdeki enerji oranının ayarlanmasına yöneliktir (Fountoulaki ve ark., 2005).

Balıklarda bulunan uzun zincirli çoklu doymamış yağ asitleri, özellikle eikosapentaenoik asit (EPA, 20:5 $\omega$ -3) ve dokosaheksaenoik asit (DHA, 22:6 $\omega$ -3)



sağlığa yararları ile tanınmaktadır. Bu yağ asitleri, hücre zarları dahil olmak üzere vücudun birçok yerinde bulunur ve anti-inflamatuar süreçlerde ve hücre zarlarının viskozitesinde rol oynarlar. EPA ve DHA'nın uygun fetal gelişim ve sağlıklı yaşlanma için gerekli olduğu bilinmektedir. Aynı zamanda çeşitli metabolitlerin öncüleri olan EPA ve DHA, birçok araştırmacı tarafından çeşitli hastalıkların önlenmesinde veya tedavisinde faydalı olarak kabul edilmektedir. Mevcut literatür, EPA ve DHA eksikliğinin ateroskleroz, obezite, hipertansiyon, metabolik sendrom, bağışıklık sistemi bozuklukları, kollajen vasküler hastalıklar ve muhtemelen kanser insidansının artmasına katkıda bulunduğunu belirtmektedir. Geçen yüzyılda modern beslenmedeki büyük değişiklikler, genel  $\omega$ 3 yağ asidi tüketiminde bir azalmaya yol açmıştır. Çoğu batı diyetinde günlük EPA ve DHA alımı önerilen oranların oldukça altındadır. Bu nedenle, bu yağ asitlerinin diyet takviyesi, birçok tüketici tarafından  $\omega$ 3 PUFA'ları karşılamının alternatif bir yolu gibi görünmektedir

EPA ve DHA'nın insan sağlığı üzerindeki bilinen faydaları göz önüne alındığında, tüketicilere diyet omega-3 sağlamanın alternatif yolları araştırılmıştır. Balık yağı kapsülleri aynı zamanda düşük seviyedeki  $\omega$ -3 PUFA alımını yükseltmek için diyet takviyesi olarak da kullanılabilir. Literatür çalışmaları, rafine soya fasulyesi salatası yağı, elma pancar suyu, aromalı yoğurt, portakal içeceği ve sofraya yağları gibi gıdalara uzun zincirli  $\omega$ -3 yağ asitleri için zenginleştirme malzemesi olarak balık yağının dahil edildiğini göstermektedir. Ekmek, yumurta, bisküvi, kek, dondurma, portakal suyu, milkshake, sürülebilir ürünler, çikolata, makarna, mayonez ve salata sosuna katılan balık yağından elde edilen  $\omega$ -3 çoklu doymamış yağ asitlerinin tüketimine ilişkin çalışmalar da mevcuttur (de la Fuente et al., 2020; Jamshidi ve ark., 2020; Ojagh ve Hasani., 2018). Ancak balık yağının gıda formülasyonunda kullanımı güçlü balık kokusu ve oksidasyona yatkınlığı nedeniyle engellenmektedir. Bununla birlikte, kapsüllenenek ve gıda takviyesi için daha fazla kullanılarak kullanımı artırılabilir (Jamshidi ve ark., 2020). Çalışmalar, nano lipozomal balık yağı ile zenginleştirilmiş ekmeğin, kontrol numunelerine göre %14 daha yüksek somun hacmine sahip olduğunu bildirmiştir. Ayrıca kapsüllenmiş balık yağı ilavesinin ekmeğin yumuşaklık, yapışkanlık, çiğnenebilirlik ve sakızimsılık açısından dokusal ve duyu kalitesi üzerinde olumsuz bir etkisi olmamıştır (Ojagh ve Hasani., 2018). EPA ve DHA'nın balık yağında arap zankı ve sodyum kazeinat ile nanokapsülasyonu,

ayrıca meyve sularını ve az yağlı içecekleri zenginleştirmek için kullanılmıştır. Zenginleştirilmiş meyve suyunun EPA ve DHA'nın %47.37 biyoerişilebilirliğine sahip olduğu görülmüştür (İlyasoğlu ve ark., 2014). Benzer şekilde, kapsüllenmiş nano-lipozom balık yağıyla zenginleştirilmiş yoğurt, kapsüllenmemiş balık yağıyla karşılaştırıldığında %52 ve %50 daha yüksek DHA ve EPA tutma oranına sahip olmuştur (Ghorbanzade ve ark., 2017).

Muhammed ve ark., (2015) *Hint sazın türleri Rohu (Labeo rohita)* ve *Catla'nın (Catla catla)* BA'ından elde edilen yağın değerini bildirmiş ve kümes hayvanı piliçlerinin büyümesi ve kompozisyonu açısından yem olarak performansını değerlendirmiştir. Tavukların diyetine farklı konsantrasyonlarda fermentatif geri kazanılmış balık yağı (FFO) ekledi, bu da hayvanda EPA + DHA'nın dahil edilmesiyle sonuçlandı ve bunun sonucunda kolesterolde kontrol grubu ile karşılaştırıldığında %9,2 ila %16,6 aralığında bir azalma gözlemlenmiştir. FFO ile beslenen tavukların serum, karaciğer ve etlerindeki ve trigliserit konsantrasyonları kontrol ile karşılaştırıldığında %1,5 ila %3,1 aralığında bir azalma tespit edilmiştir. Bu, balık atıklarından elde edilen yağın, tavuk eti yoluyla dolaylı olarak insan sağlığına fayda sağlayabileceğini göstermiştir (Muhammed ve ark., 2015).

Marzo ve ark., (2023) büyüyen kuzuların diyetine mikrokapsüllenmiş balık yağını dahil etmiş ve  $\omega$ -3 yağ asitlerinin miktarını değerlendirmiştir. Yazarlar, kuzu kaslarında linolenik asit, heptadekanoik asit, EPA ve DHA seviyelerinde önemli bir artış olduğunu ve canlı ağırlık ile yemden yararlanma üzerinde olumlu bir etki olduğunu bildirdiler. Ayrıca kuzunun iç organlarında ve kaslarında makroskobik morluklar veya patolojik değişiklikler gözlenmediğini, bunun da yağın büyüme özellikleri ve et kalitesi üzerinde zararlı bir etkisinin olmadığını kanıtlamıştır.

Sellami ve ark., (2018) tarafından üç vatoz türünde yapılan bir çalışmada, vatozların karaciğerinden ekstrakte edilmiş yağın yağ asidi profillerinde, toplam yağ asidi içeriğinin %65'inden fazlasının doymamış yağ asitlerinden (PUFA) oluştuğu bulunmuştur. Yazarlar aynı zamanda, bu yağların karotenoidler ve fenolik bileşikler içerdiğini ve zeytinyağınıniki ile karşılaştırılabilir antioksidan aktivite sergilediğini bulmuşlardır.

## **2.7 Balık Protein Hidrolizatı Üretiminden Balık Yağı Üretimi**

Bütün balıktan veya balık atıklarından yağ çıkarmak için çok çeşitli teknikler kullanılmış ve çeşitli çalışmalar ortaya konulmuştur (Khoddami ve ark., 2012; Ghaly ve ark., 2013; Karkal ve Kudre, 2020). En uygun yöntemin seçimi, özellikle atığın doğası, biyodizel üretimi ve gıda takviyeleri en yaygın olan yağın nihai uygulaması olmak üzere farklı faktörlere bağlıdır (Kerton ve ark., 2013; Bonilla-Mendez ve ark., 2018). Uygulanan teknolojiler, kimyasal ve enzimatik işlemler, pişirme ve preslemeden mikrodalga ve süperkritik sıvılar gibi daha yeni yeşil teknolojilere kadar uzanmaktadır. (Bonilla-Mendez ve ark., 2018). Balık yağı üretimi için uygulanan farklı ekstraksiyon yöntemleri incelendiğinde solventlerle ıslak presleme ve kimyasal ekstraksiyon en yaygın yaklaşımlardır, ancak yüksek basınç/sıcaklık ve solventlerin artık varlığı (fazla enerji kullanılarak uzaklaştırılması gerekir) kullanımlarını sınırlandırır. Daha elverişli yöntem olarak enzimatik hidroliz ön plana çıkmaktadır. Proteazlar tarafından enzimatik hidroliz kullanılır. Farklı enzimler uygulanabilir, ancak birkaç çalışma, alkalazların kullanımının daha verimli bir süreç olduğunu göstermiştir (Linder ve ark., 2005; Batista ve ark., 2009). Genel olarak enzimatik hidroliz, hızlı ve kolayca tekrarlanabilir bir yöntemdir; aşırı fiziksel ve kimyasal olumsuzlukları önler, kimyasal hidroliz ile karşılaştırıldığında, balık atığının değerlendirilmesi için büyük bir potansiyel göstererek daha kolay kontrol edilmesinin yanı sıra kimyasal atık oluşumunu önleme avantajına sahiptir.

### **2.7.1 Balık Atığından Protein Hidrolizi Üretimi**

Balık atığı için en yaygın atık değerlendirme tekniği hidrolizdir. Hidrolizat; proteinlerin kimyasal veya enzimatik yollarla çeşitli boyutlarda peptitlere ayrılmasıdır. Yapılan bilimsel araştırmalar balıklardan elde edilen protein hidrolizatlarının besleyici özelliklerinin diğer protein hidrolizatlarından daha dengeli ve üstün olduğunu göstermektedir. Hidroliz işlemi, balık atıkları veya ıskarta balık türlerini daha organoleptik, fonksiyonel ve besinsel öğeleri içeren ürünlere dönüştürmek için geliştirilmiş bir yöntemdir. Protein hidrolizatı üretimi esnasında katma değeri yüksek yan ürünler elde edilebilmektedir.

Balık protein hidrolizatları (BPH) ticari ürün olarak fonksiyonel gıda, hayvansal yem, organik gübre ve evcil hayvan gıdası olarak kullanıldığı gibi BPH'

larının içerdikleri nutrasötik özellikteki biyoaktifpeptitler ile antihipertensif, antitrombotik, antikanser, immunomodulator ve antioksidan aktivitesi gösterdikleri için tıp ve farmakoloji alanında da değerlendirilmektedir. Yapılan bilimsel araştırmalar balıklardan elde edilen protein hidrolizatlarının besleyici özelliklerinin diğer protein hidrolizatlarından daha dengeli ve üstün olduğunu göstermektedir.

Protein hidrolizi üretmek için kimyasal ve enzimatik olmak üzere iki farklı yöntem kullanılmaktadır. Kimyasal yöntemde, yüksek sıcaklık (120 ° C) ve basınç (100 kPa) altında asit veya alkali koşullar uygulanmaktadır. Bu yöntem daha ekonomik üretim maliyetine sebep olsa da hidrolizatta arzu edilen fonksiyonel özelliklerinin kaybolmasına ve ekipman korozyonuna sebep olduğu için son yıllarda çok tercih edilmemektedir. Enzimatik yöntemde ise, daha düşük sıcaklık, basınç ve 5-8 arası bir pH aralığı kullanıldığı için bu dezavantajların büyük bir çoğunluğu oluşmaz. Bu durum, son zamanlarda enzimatik yöntemle hidrolizat üretimini daha cazip hale getirmiştir (Diniz ve Martin, 1997; Sathivelve ark., 2005; Slizyteve ark., 2005). Enzimatik hidroliz ayrıca fizikokimyasal, fonksiyonel ve / veya duyuşsal özellikleri iyileştirmek veya değiştirmek içinde kullanılmaktadır (Althouse ve ark., 1995; Kuipers ve ark., 2005). Balık protein hidrolizatlarının fonksiyonel özellikleri, protein kaynaklarına, kullanılan proteazlara (Sugiyama ve ark., 1991), hidroliz derecesine, reaksiyonun süre ve sıcaklığına (Feng ve Xiong, 2003) ve tampon pH'sına (Doucet ve ark., 2003) göre değişirken, duyuşsal özellikleri ise kullanılan proteolitik enzim türüne ve hidroliz reaksiyon koşullarının etkisine bağılı olarak değişmektedir (Lin ve ark., 1997). Enzimatik hidroliz, balık atıklarının substrat olarak kullanılmasında çoğı araştırmacının izlediğı yaygın bir yöntemdir. Balık atığı sadece enzimatik hidroliz kullanılarak organik gübreye dönüştürülmekle kalmaz, aynı zamanda balık proteini hidrolizatı, yağ, kitin vb. ekstraksiyonu için de kullanılabilir.

### **2.7.2 Enzimatik Hidroliz**

Çevre dostu doğası nedeniyle enzimatik hidroliz, biyomoleküllerin tek başına veya bir amalgam halinde BA dan ekstraksiyonu için yaygın olarak kullanılan bir tekniktir. Enzimatik hidroliz işlemi, bitkiler (papain, fisin vb.), hayvanlar (pepsin, tripsin vb.) ve mikroorganizmalar (örneğin proteaz) gibi farklı kaynaklardan endojen veya eksojen enzimin uygulanmasını içerir (Nirmal ve ark., 2022). Balık ve

atıklarından protein hidrolizati üretmek için ticari olarak kullanılan birçok enzim bulunmaktadır. Bromelain (Horn ve ark., 2005) ve papain (Hoyle ve Merritt, 1994) gibi bitkisel kaynaklı, kimotripsin, tripsin (Simpson ve ark., 1998) ve pepsin (Viera ve ark., 1995) gibi hayvansal kaynaklı veya alkalaz, nötraz, flavourenzim, protameks ve proteaz N (Kristinsson ve Rasco, 2000a; Guèrard ve ark., 2001; Liaset ve ark., 2002) gibi mikrobiyolojik kaynaklı enzimler balık protein hidrolizatının üretiminde kullanılmıştır. Enzimatik hidroliz, son ürün gereksinimine bağlı olarak uygun enzim veya enzim kombinasyonunun seçilmesiyle başlar. Ardından, gerekli hidroliz derecesini elde etmek için seçilen enzim-deniz ürünü artık ham madde oranı, optimum pH ve sıcaklık koşulları kullanılır. Son olarak, istenen hidroliz elde edildiğinde reaksiyon sonlandırılır (Fan ve ark., 2019; Gao ve ark., 2021). Bu işlemler, gerekli nihai ürün miktarına, işlevselliğe ve biyoaktiviteye göre kontrol edilebilir veya modüle edilebilir. Bununla birlikte, enzim stabilitesi ve saflaştırılmış enzimin maliyeti, ölçek büyütme işlemi için en önemli iki engel olmaya devam etmektedir (Gui ve ark., 2022).

Enzimatik hidrolize tam hakim olmak ve acı peptitlerin oluşumunu önlemek için balığın doğal endojen enzimlerini etkisiz hale getirmek gerekir. Hidroliz tamamlandıktan sonra eklenen eksojen enzimin deaktive edilmesi gerekir (Araujo ve ark., 2021). Santrifüj sonrası enzimatik hidroliz genellikle üst yağ tabakası, orta protein, emülsiyon tabakası ve alt çamur tabakasının oluşmasına yol açar. Farklı koşullarda (%0,01–5 enzim konsantrasyonu, 30–60 °) proteaz, flovourenzyme, protameks , pepsin, papain, aromazim, tripsin, pronaz, alkalaz, validaz, nötraz ve lesitaz ultra gibi ticari olarak değerlendirilebilen farklı enzimlerin bir kombinasyonu yoluyla enzimatik hidroliz ( pH 4.5–11), süre (10–120 dakika) BA dan yağ ve proteinlerin geri kazanılması için kullanılmıştır (Araujo ve ark., 2021; Wisuthiphaet ve ark., 2015; Villamil ve ark., 2017 ). Enzimatik hidroliz, ara bir ekstraksiyon süresi (1-4 saat) gerektirir ve diğer yöntemlere kıyasla daha düşük sıcaklıklar (35-55°C) kullanan yeşil ve güvenli bir yöntem olarak kabul edilir; bu da, ek olarak daha düşük enerji maliyetleri anlamına gelir. solvent ve proses değişkenlerinin daha fazla kontrolü; ancak sınırlaması, büyük ölçekli uygulama için enzimin maliyeti ve miktarıyla ilgilidir (Babajafari ve ark., 2017; Iberahim ve ark., 20). Sürecin maliyetini düşürme ve sürdürülebilirliği artırma olasılıklarından biri, daha düşük sıcaklıklar, daha az toksik çözücüler ve daha az enzim konsantrasyonu kullanan, daha az ılımlı ve

sürdürülebilir yöntemler için geleneksel tekniklerin optimizasyonudur (Mgbechidinma ve ark., 2023).

Enzimatik hidroliz ayrıca, sert doğalarından dolayı asit/alkali hidrolizi ile genellikle zarar gören asparajın, triptofan, glutamin gibi amino asitlerin ve diğer birçok hassas kalıntının tespit edilmesine de olanak sağlar (Özoğul ve ark., 2021).

Araujo ve ark., (2021) tarafından yapılan bir çalışmada alkalazın başlangıç konsantrasyonunu ( $E_0$  0,94 AU/1'den 4,68 AU/1'e) artırarak sabit bir başlangıç substrat konsantrasyonunda ( $S_0 = 25$  g protein/litre) hidroliz derecesinin ve 1000 gr balık atığından 430 gr protein hidrolizat, 10 gr kollajen ve 350 gr yağ elde edilerek yağ veriminin arttığı saptanmıştır (Araujo ve ark., 2021).

## **2.8 Cevap Yüzeyi Yöntemi (Response Surface Methodology)**

Cevap yüzeyi yöntemi (CYY), bir cevabın birçok değişkenle değiştiği ve amacın bu cevabı optimize etmek olduğu herhangi bir problemin analiz ve modellenmesinde kullanılan istatistiksel bir yöntemdir. CYY çok değişkenli deneylerde bağımsız değişkenleri parametre veya faktör, bağımlı değişkenleri tepki veya çıktı olarak değerlendirmektedir. CYY ile birden fazla bağımsız değişkenin tepki üzerine olan etkisi belirlenmekte ve optimum çalışma koşullarının hatasız bir şekilde seçilmesi sağlanmaktadır (Neter ve ark., 1999; Myers ve ark., 2002;). Bu yöntemde, proses için uygun optimum koşullar belirlenerek istenilen özellikte ürün elde edilmesi amaçlanmaktadır (Tzia, 2003). Tepki yüzey modellerinde yürütülecek deney sayısı, modeldeki faktör sayısına ve değişken sayısına bağlı olarak seçilecek polinomların dereceleri kıstas alınarak belirlenmektedir (Nakai ve ark., 2006). CYY'nin en önemli avantajı istatistiksel değerlendirme için gerekli deney sayısını en aza indirmesidir. Ayrıca diğer tekniklere göre daha hızlı sonuç vermekte ve daha düşük maliyetle gerçekleştirilebilmektedir (Baş, 2006). Endüstriyel uygulamalarda yer alan enzimatik modifikasyon işlemlerinde ürün kalitesini arttırmak ve maliyeti düşürmek amacıyla çeşitli optimizasyon modelleri uygulanmaktadır (Xu, 2003).

Bu çalışmalardan bazıları, tıp, kimya, ilaç sanayi, gıda, bilgisayar ve otomotiv alanları olduğu görülmektedir. Aynı zamanda son yıllarda su ürünleri sektöründe de bu optimizasyon modellerinden faydalanılmaktadır. (Korkmaz ve Tokur, 2022).

Cevap Yüzey Yöntemi (CYY, Response Surface Methodology), gıda üretimlerinde verimlilik ve optimizasyonu sağlayan matematiksel ve istatistiksel modelleme tekniğinin kullanıldığı etkili bir yöntemdir (Wangtueai ve Noomhorm, 2009). Bu yöntemde, hedef parametrelerle, istenilen ürün özelliği arasındaki ilişki regresyon denklemiyle tespit edilerek bir model oluşturulur (Cho ve ark., 2004). Bu yöntemin en büyük avantajı, birçok faktörü ve aralarındaki ilişkiyi değerlendirmek için gerekli olan deneme sayısını en aza indirmesidir. CYY yöntemi içinde, iki faktörlü-üç düzeyli Merkezi Komposit Dizaynı (CCD) ve 3 faktörlü- 3 düzeyli Box-BeachkenDizaynı sıklıkla karşılaşılan teknikler arasındadır. Maksimum lipit kalitesini elde etmek için en ideal üretim koşulları Cevap Yüzey Yöntemi ile belirlenebilmektedir.

### 3.MATERYAL ve YÖNTEM

#### 3.1 Materyal

Araştırmada, Türkiye de en fazla balık atığı olarak ortaya çıkan gökkuşuğu alabalığı (*Onchoryncus mykiss*) işleme atıkları Ordu ilindeki su ürünleri satışı yapan işletmelerden temin edilmiştir.



**Şekil 3.1** Balık Protein Hidrolizat Üretiminde Kullanılan Hammadde (Orijinal)

Atıklar, soğuk zincir altında Ordu Üniversitesi Fatsa Deniz Bilimleri Fakültesi Balıkçılık Teknolojisi Mühendisliği Bölümü İşleme Teknolojisi Anabilim Dalı laboratuvarına getirilip protein hidrolizatı elde edilene kadar -40 °C’ de (Premium U410, New Brunswick Scientific, Eppendorf AG, Almanya) depolanmıştır.

#### 3.2 Yöntem

Bu çalışmada alabalık yan ürünlerinin enzimatik hidroliz ve optimizasyon değerleri Korkmaz ve Tokur, 2021 ‘e göre yapılmıştır .Flavourenzim ticari bir enzim firması Novozymes A/S'den (Bagsvaerd, Danimarka) temin edilmiştir ve gökkuşuğu



alabalık işleme atıklarının hidrolizinde kullanılmış ve elde edilen yağın lipid kalitesi değerlerine göre Cevap Yüzey Yönteminde (CYY) Box-Benhken (BBD) modeli kullanılarak optimize edilmiştir. Hidroliz koşulları, daha önce (Klompong ve ark., 2009); Korkmaz ve Tokur, 2021 tarafından uygulanan yöntemlere bazı değişikliklerle RSM kullanılarak optimize edilerek gerçekleştirilmiştir). Merkezi Bileşik Tasarıma (CCD) göre rastgele otuz hidroliz denemesi yapılmıştır. Sıcaklık (A: °C); süre (B: dk); enzim-substrat konsantrasyonu (C: %, v/w); eşit uzaklıktaki üç seviyede (-1, 0 ve +1) kullanıldı.

Maksimum lipid kalitesi elde etmek için en ideal üretim koşulları Cevap Yüzey Yöntemi (CYY) ile belirlenebilmektedir. Bu çalışmada, flavourenzim, gökkuşacağı alabalık işleme atıklarının hidrolizinde kullanılmış ve bu süreç sırasında ortaya çıkan yağın lipid kalitesinin tiyobarbitürik asit (TBA), peroksit değeri (PV), serbest yağ asitleri (FFA), değerlerine göre Cevap Yüzey Yönteminde (CYY) Box-Benhken (BBD) modeli kullanılarak optimize edilmiştir. Ayrıca, optimizasyon sonucu elde edilen ürünün yağ asidi kompozisyonu belirlenmiştir.

**Çizelge 3.1** Bağımsız Değişken ve Kodlanmış Düzeyler

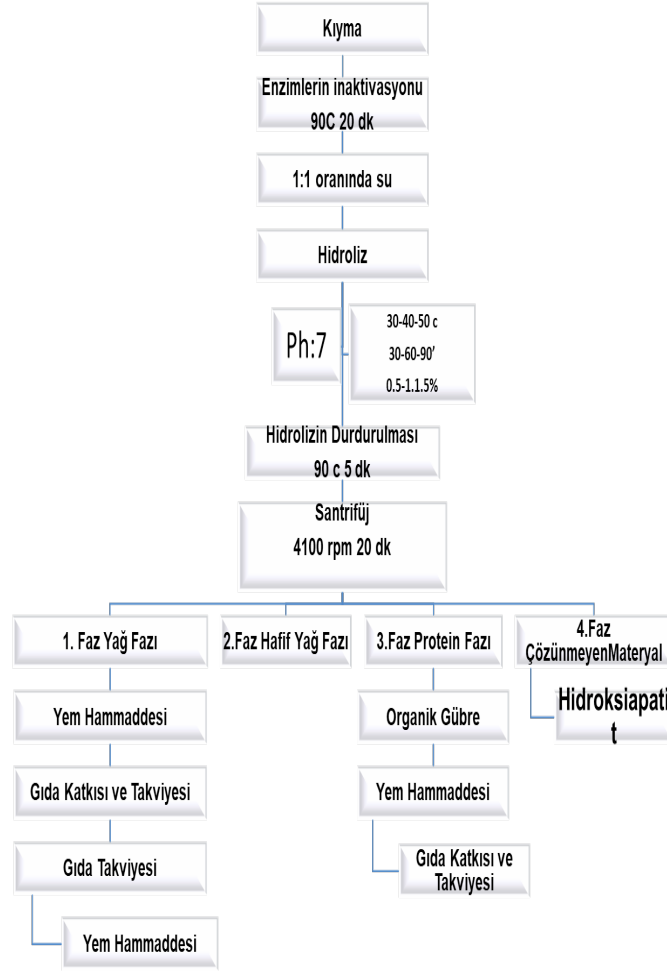
Bağımsız Değişken	Kodlanmış Düzeyler		
	-1	0	+1
Sıcaklık (°C)(X <sub>1</sub> )	30	40	50
Zaman (Saat)(X <sub>2</sub> )	30	60	90
Enzim (%) v/w(X <sub>3</sub> )	0.5	1	1.5

Flavourenzim ile elde edilen hidrolizatların lipid kalitesi için Box-Benkhan (1960) modeli kullanılmıştır. Farklı değişkenlerin üç seviyedeki etkilerini değerlendirmek için iki kez ekstraksiyon deneyleri gerçekleştirilmiştir. Tarama deneylerinin ilk kümesinde, üç değişkenin lipid kalitesi üzerindeki etkileri: X<sub>1</sub> (sıcaklık 30-40-50 °C), X<sub>2</sub> ( zaman 30,60 ve 90 dakika), X<sub>3</sub> (enzim oranı 0.5,1,1.5 %) en yüksek lipid kalitesi koşulları etkili bir şekilde belirlemek için Tepki Yüzey Metodolojisi kullanılarak araştırılmıştır

Bu süreç sırasında ortaya çıkan yağın lipid kalitesinin tiyobarbitürik asit (TBA), peroksit değeri (PV), serbest yağ asitleri (FFA) açısından optimizasyon değerlerine göre belirlenerek en uygun ürünün yağ asidi bileşimi kalitesi ve dengesi insan ve hayvan tüketimine uygunluğu açısından incelenmiştir.

## Enzimatik Hidroliz

Alabalık atıklarının flavourenzim ile optimizasyonunda balık protein hidrolizat yağı üretim akış şeması Şekil 3.2. de gösterilmiştir.



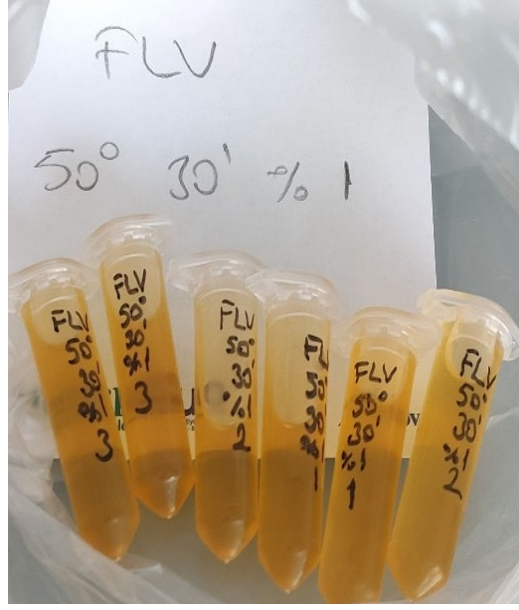
**Şekil 3.2** Balık Atıklarının Flavourenzim İle Optimizasyonunda Balık Protein Hidrolizat Yağı Üretim Akış Şeması (Korkmaz&Tokur 2022a ; Korkmaz&Tokur 2022b)

5 kg'lık ambalajlarda saklanan dondurulmuş yan ürünler, oda sıcaklığında çözdürüldükten sonra kıyma makinesinde (Empero, EMP.12.01.P, Türkiye) işlendi. Daha sonra endojen enzimlerin inaktivasyonunu sağlamak için yan ürünler su banyosunda (Memmert, WNB 22, Schwabach, Almanya) 90°C'de 20 dakika ısıtıldı. Enzimleri inaktive edilen balık kıyması soğutulduktan sonra distile su 1:1 oranında homojenize edildi (ultra turrax, IKA T25). Ticari olarak uluslar arası platformda BPH üretiminde kullanılan flavourenzimin (APU/g) optimum hidroliz sıcaklığı, pH değeri ve inaktivasyon süre ve sıcaklıkları üretilen firma tarafından belirtilmiştir. Flavourenzimin optimum aktivite gösterdiği pH düzeyi 2 N NaOH kullanılarak 7

olarak ayarlanmıştır (Metler Toledo). Alabalık yan ürünleri, üç farklı enzim oranı (%0.5, 1 ve 1.5), üç farklı süre (30, 60 ve 90 dakika) ve üç farklı sıcaklık uygulanarak hidrolize edildi (30, 40 ve 50°C). Belirli süre, sıcaklık ve enzim-substrat konsantrasyonu uygulanan örneklerdeki hidrolizin sona erdirilmesi için flavourenzime ait inaktivasyon süre ve sıcaklığı firmanın önerisine göre uygulanmıştır. Flavourenzim için 90°C ' de 5 dakika ve daha sonra 15 dakika soğutulmuştur. Soğutulan hidroliz solüsyonu, daha sonra 4100 rpm' de 20 dakika santrifuj edilerek fazlara ayrılması sağlanmıştır (Sigma 3-30KS, Almanya). Burada en üst fazda yağ fazı, 2. fazda hafif protein yağ fazı, 3. fazda proteinli faz ve son fazda çözünemeyen maddelerin fazı olmak üzere 4 farklı fazın oluşması sağlanmıştır. Daha sonra yağ fazı su trompu ile alınarak biriktirilmiştir (Şekil3.4).



**Şekil 3.3** Santrifüj Sonrası Yağ Fazı ve Yağ Fazının Alınması (Orijinal)



**Şekil 3.4** Çalışmada Elde Edilen Balık Protein Hidrolizat Yağı (Orijinal)

### 3.2.1 Besin Kompozisyonu Analizleri

Ham materyal olarak kullanılacak alabalıklarda (fileto), atıklarda ve elde edilen hidrolizatlarda ham protein (NX6.25) Kjeldahl metoduna göre (AOAC, 1998), ham yağ analizi Bligh ve Dyer (1959)' a göre, nem AOAC (1990)' a göre ve ham kül analizi AOAC 935.47 (1998)' a göre belirlenmiştir.

#### 3.2.1.1 Lipid Analizi

Lipit analizi Bligh ve Dyer (1959)'in uyguladığı yönteme göre yapılmıştır. 15 g homojenize edilmiş örnek, üzerine 120 ml metanol/kloroform (1/2) eklendikten sonra Warring blender ile karıştırılmıştır. Daha sonra bu örnekler üzerine 20 ml %0.4'lük CaCl<sub>2</sub> solüsyonundan eklenerek süzme kağıdından (Sleicher&Schuell, 5951/2 185 mm) süzülen örnekler, 105 °C'de 2 saat etüvde bekletilip darası alınmış olan balon jöjelere süzdürülmüştür. Bu balonlar, ağızları hava almayacak şekilde kapatılıp 1 gece karanlık bir ortamda bekletilmiş ve ertesi gün metanol-sudan oluşan üst tabaka bir ayırma hunisi yardımıyla alınmıştır. Balonların içinde kalan kloroform lipit kısmından kloroform 60 °C'de su banyosunda rotary evaporatör kullanılarak uçurulmuştur. Daha sonra balonlar etüvde 1 saat süreyle 60 °C'de bekletilerek içerisindeki kloroformun tamamının uçması sağlanmış ve bir desikatör içerisinde oda sıcaklığına kadar soğutulup 0.1 mg duyarlı hassas terazide tartılmıştır. Lipit oranının hesaplanmasında aşağıdaki formül kullanılmıştır.

$$\text{Lipit Miktarı (\%)} = [\text{Balon Darası(g)} + \text{Lipit (g)}] - [\text{Balon Darası (g)}] \times 100 / \text{Örnek Miktarı (g)}$$

### 3.2.1.2 Kül Analizi

Ham kül analizinde kullanılan porselen krezeler ilk önce 103 °C’de 2 saat süreyle etüvde kurutulup daha sonra desikatörde soğutulduktan sonra 0.1 mg duyarlı hassas terazide daraları alınmıştır. Krezeler içerisine homojenize edilmiş örnekten 3.3-5 g tartılıp bu örnekler 4 saat +550 °C’de rengi açık gri oluncaya kadar yakılmış ve ardından desikatör içinde oda sıcaklığına kadar soğutulduktan sonra, hassas terazide tartılmıştır. (AOAC, 1990). Örneğe ait % ham kül sonuçları aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanmıştır.

$$\text{Ham Kül (\%)} = [\text{Dara (g)} + \text{Ham Kül(g)}] - \text{Dara(g)} \times 100 / \text{Örnek Miktarı}$$

### 3.2.1.3 Nem analizi

Nem analizi AOAC (1990)’in uyguladığı yöntem esas alınarak yapılmıştır. Petri kutuları etüvde 105°C’de 1 saat süreyle kurtulmuş ve desikatörde 30 dakika süreyle soğutulduktan sonra 0.1mg duyarlı hassas terazide darası alınmıştır. Daha sonra homojenize edilmiş örnekten darası alınan petrilere yaklaşık 4-5g koyularak sabit bir ağırlığa ulaşana kadar (8 saat) kurutulmuştur. Bu işlemin ardından oda sıcaklığına kadar soğumaları için desikatöre yerleştirilmiş ve 0.1mg duyarlı hassas terazide tartılarak sonuçlar kaydedilmiştir. Analiz sonucunda örneğe ait nem miktarı aşağıdaki formülle hesaplanmıştır.

$$\text{Nem miktarı (\%)} = \frac{\text{İlk Tartım} - \text{Son Tartım} \times 100}{\text{Örnek Miktarı (g)}}$$

### 3.2.1.4 Protein Analizi

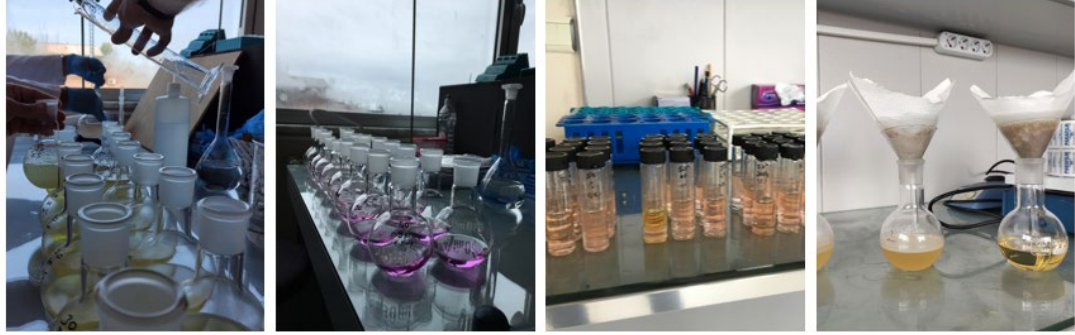
Hidroliz solüsyonunda, hidroliz işleminin optimizasyonun belirlenmesi için protein miktarı Lowry metodu (1951)’ na göre belirlenmiştir. Protein miktarları oluşturulan standart kalibrasyon grafiğinden yararlanarak hesaplanmıştır. Protein standartı olarak bovine serum albümin kullanılmıştır.

### 3.2.2 Yağ verimi

Yağ verimi somon protein hidrolizat üretimi sonucunda yan ürün olarak 1. fazdan elde edilen yağın verimi Samaranayaka ve Li-Chan 2008’e göre hesaplanmıştır.

$$\text{Verim} = \frac{\text{Hidrolizattan elde edilen yağın ağırlığı (g)}}{\text{Hidrolizat ağırlığı(g)}} \times 100$$

### 3.2.3 Hidrolizat Yağının Kalite Analizleri



Şekil 3.5 Çalışmada Elde Edilen Hidrolizat Yağının Kalite Analizleri (Orijinal)

#### 3.2.3.1 Peroksit Değeri (PV)

Peroksit değeri AOCS (Ja 8-87, 1994) metoduna göre kg yağ başına meq cinsinden gerçekleştirilmiştir. Peroksitlerin iyodür iyonu ile reaksiyonu sonucu oluşan iyot miktarı, peroksit değerini hesaplamak için kullanılır. Nişastayı gösterge olarak kullanarak, serbest kalan iyot, sodyum tiyosülfat ile titre edilir. Ekstrakte edilmiş 1g lipit örneği üzerine 20 ml kloroform (Merck) ilave edilmiş ardından, 50ml asetik asit:kloroform (60:40) çözeltisi ilave edilerek lipit tamamen çözülene kadar çalkalanmıştır. Lipiti çözme işleminin ardından 1ml, doymuş potasyum iyodür ilave edilerek, 20 saniye gibi bir süre döndürerek çalkalama işleminin ardından karanlık bir ortamda 30 dakika bekletilmiştir. Daha sonra 100 ml distile su ilave edilip ardından %1'lik nişasta solüsyonundan 4-5 damla damlatılıp berrak renk oluşana kadar 0.002 M'lık sodyum tiyosülfatla (Merck) titre edilmiştir. Aynı uygulama lipit olmaksızın kör içinde yapılmıştır. Hesaplama ise aşağıdaki formül yardımıyla gerçekleştirilmiştir.

**C:** Harcanan 0.002 M'lık sodyum tiyosülfat (mL cinsinden)

**B:** Kör için harcanan 0.002 M'lık sodyum tiyosülfat (mL cinsinden)

**W:** Örnek Ağırlığı

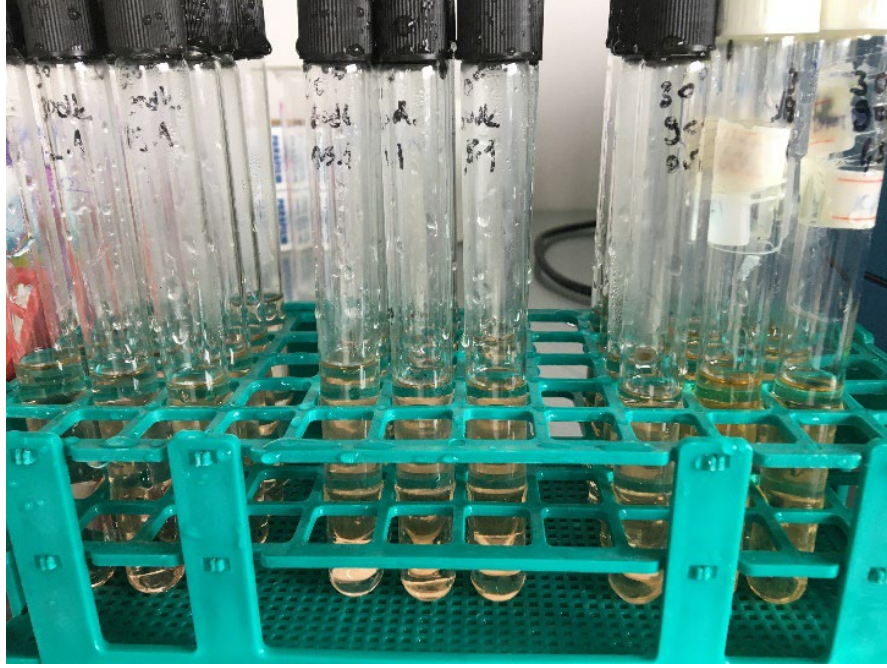


**Şekil 3.6** Çalışmada PV Analiz Fotoğrafı (Orijinal)

### 3.2.3.2 Tiyobarbitürik Asit (TBA) Analizi

Tarladgis ve ark., (1960)'nın uyguladığı yönteme göre tiyobarbitürik asit değerini (TBAR, mg malonaldehit/kg) belirlemek için spektrofotometrik bir yöntem kullanılmıştır. Bu amaçla homojenize edilmiş (Ultraturax T25, Ika-Werke, Steufen, Almanya) örnekten 10 g örnek 0.1mg duyarlı hassas terazide tartılarak (Precisa). Kjeldahl cihazının (BÜCHI Labortechnik) tüplerine aktarılmıştır. Daha sonra örneğin üzerine 97.5ml distile su ve 2.5 ml (1:2)'lik HCl (Merck) çözeltisi ilave edilerek destilasyon işlemine geçilmiş ve 200 ml destilat elde edilinceye kadar kaynatılmaya devam edilmiştir. Kaynatma işleminin sona ermesinin ardından destilat karıştırılarak, 5 ml' si cam kapaklı deney tüpüne yerleştirilmiş ve üzerine de %90'lık 100ml glacial asetik asit içerisinde 0.2883g çözdürülmüş 5ml TBA reaktifi ilave edilerek tüpün kapağı kapatılıp, bir vorteks kullanılarak karıştırılmıştır. Kör için ise bir başka deney tüpüne 5ml TBA reaktifi (Sigma-Aldrich) ve 5ml distile su ilave edilerek kapağı kapatılıp yine vorteksle karıştırıldıktan sonra, tüpler kaynayan su banyosunda 35 dakika tutulup, soğumaya bırakılmıştır. Daha sonra spektrofotometre (Perkin Elmer) tüplerine aktarılarak 538 nm dalga boyunda köre karşı, optik dansitesi okunmuştur. Elde edilen dansite değeri ise 7.8 ile çarpılarak 1000g örnekteki mevcut malonaldehit miktarı mg olarak saptanmıştır.





Şekil 3.7 Çalışmada TBA Analiz Fotoğrafi (Orijinal)

### 3.2.3.3 Serbest Yağ Asitleri (FFA) Analizi

Oleik asit yüzdesi olarak ifade edilen serbest yağ asidini (FFA) ölçmek için; Serbest yağ asit analizi AOCS (Ca 5a-40, 1997) metoduna göre belirlenmiştir. FFA'nın değerlendirilmesi, gösterge olarak fenolftalein ve normal bir alkali (0,1 M NaOH) kullanan bir titrasyon işlemine dayanmaktadır. Önceden ekstrakte edilmiş lipitten 0.5g örnek tartılarak, dietileter:ethanol (25:25 mL oranında) içerisinde nötralize edilmiştir. Daha sonra bu dietileter:etanol içerisine 1ml %1'lik fenolftalein indikatörü ilave edilmiştir. Elde edilen bu karışım 0.1 M'lık sodyum hidroksit (Merck) ile kalıcı pembe renk oluşuna kadar (en az 15 saniye) titre edilmiştir. Aynı işlemler yağ kullanmadan kör deneme için tekrarlanmıştır. % serbest yağ asit miktarı oleik asit cinsinden aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanmıştır.

**C:** Harcanan 0.1M'lık NaOH miktarı mL cinsinden

**B:** Kör için harcanan 0.1M'lık NaOH miktarı mL cinsinden

**W:** Örnek ağırlığı

**2.805:** Dönüşüm faktörü





**Şekil 3.8** Çalışmada FFA Analiz Fotoğrafı (Orijinal)

### 3.2.3.4 Yağ Asidi Analizi

Balık protein hidrolizat üretim sürecinde elde edilmiş lipitten, yağ asidi metil esterleri Ichihara ve ark. (1996) metoduna göre yapılmıştır. 25 mg ekstrakte edilmiş yağ örneği üzerine 4ml 2M'lık KOH ve 2ml n-heptan ilave edilmiştir. Daha sonra oda sıcaklığında 2 dakika vortekste karıştırılmış ve 4000 rpm' de 10 dakika süreyle santrifüj edilmiş ve heptan tabakası gaz kromatografisi (GC) cihazında analiz için alınmıştır.

Yağ asitleri kompozisyonu alev iyonizasyon dedektörlü (FID) ve 30m x 0.32mm ID x 0.25µm film kalınlığında SGE kolonlu otomatik örnekleme (Perkin Emler, USA) GC (Gaz kromatografik) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Enjektör ve detektör sıcaklıkları sırasıyla önce 220 °C sonra 280 °C' ye ayarlanmıştır. Bu esnada fırın sıcaklığı 5 dakikada 140 °C'de tutulmuştur. Sonrasında 200 °C'ye kadar, her dakika 4 °C arttırılarak, 200 °C'den 220'ye de her dakika 1°C arttırılarak getirilmiştir. Örnek miktarı 1 ml olup taşıyıcı gazı kontrolü 16 ps'de olması sağlanmıştır. Split uygulaması 1:50 oranında gerçekleştirilmiştir. Yağ asitleri standart 37 bileşenden oluşan FAME karışımının gelme zamanlarına bağlı olarak karşılaştırılmasıyla

tanımlanmıştır. Aynı şekilde yapılan iki GC analiz sonuçları  $\pm$  standart sapma değerleri ile % olarak ifade edilmiştir.

### **3.2.4 İstatistiksel Analizler**

İstatistik analizler SPSS 18.0 (SPSS Inc., Chicago, IL. USA) kullanılarak yapılmıştır.  $p < 0.05$  olarak tanımlanan önemli farklılıkları belirlemek için ANOVA kullanılacaktır. Her muamele grupları için üç tekrarlı olarak istatistik karşılaştırma yapılmıştır.

Optimizasyon deneyleri, cevap yüzey yöntemi (CYY) faktörel tasarım modellerinden BBD STATISTICA deneysel tasarım modülü kullanılarak analiz edilmiştir. Optimize edilmiş koşulları elde etmek için CYY vasıtasıyla elde edilen verilerin analizinde, aynı yazılım kullanılmıştır.

Bu çalışmada, flavourenzim, gökkuşuğu alabalık işleme atıklarının hidrolizinde kullanılmış ve bu süreç sırasında ortaya çıkan yağın lipit kalitesinin tiyobarbitürik asit (TBA), peroksit değeri (PV), serbest yağ asitleri (FFA), değerlerine göre Cevap Yüzey Yönteminde (CYY) Box-Benken(BBD) modeli kullanılarak optimize edilmiştir. Ayrıca, optimizasyon sonucu elde edilen ürünün yağ asidi kompozisyonu belirlenmiştir.

## 4. BULGULAR ve TARTIŞMA

### 4.1 Gökkuşığı Alabalığı (*Oncorhynchus mykiss*) ve Atığının Besin Kompozisyonu

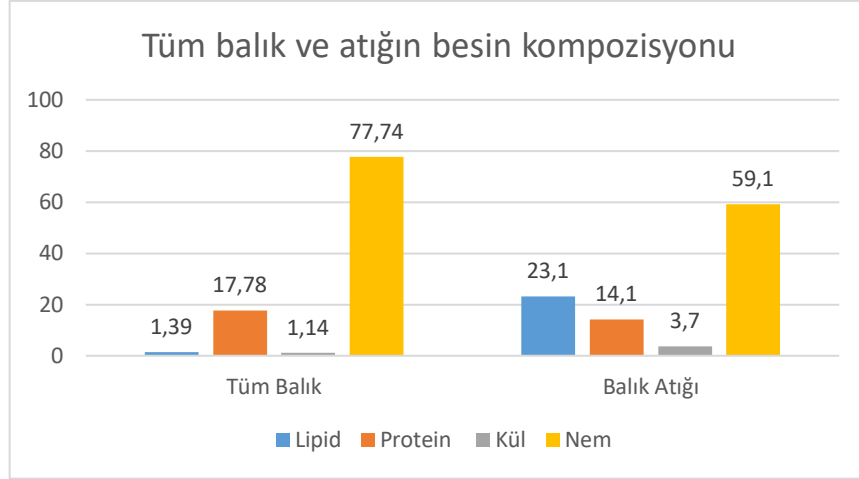
Gökkuşığı alabalığı (*Oncorhynchus mykiss*) ve atığının (baş, kırpıntı, içorganlar ve iskelet) lipit (%), protein (%), kül (%) ve nem miktarları (%) Çizelge 4.1 de verilmiştir.

**Çizelge 4.1** Gökkuşığı Alabalığı Etinin ve Atığının Besin Kompozisyonu

Besin Unsurları (%)	Gökkuşığı Alabalığı eti	Gökkuşığı Alabalığı atığı
<b>Lipit</b>	1.39±0.17	23.10±0.72
<b>Protein</b>	17.78±0.33	14.10±0.45
<b>Kül</b>	1.14±0.34	3.70±0.19
<b>Nem</b>	77.74±0.44	59.10±0.87

Balık protein hidrolizatı üretiminde kullanılan Gökkuşığı alabalığı (*Oncorhynchus mykiss*) filetosunun besin kompozisyonu incelendiğinde lipit içeriği %1.39, protein içeriği %17.78, kül içeriği %1.14 ve nem içeriği %77.74 bulunmuştur. Suvanich ve arkadaşlarına (2006) göre, kedi balığı, morina, dil, uskumru ve somonun besin bileşimindeki farklılıkların türlere bağlı olduğu belirtilmiştir. Araştırmacılar; en yüksek yağ içeriğini uskumruda (%11.7) en düşük yağ içeriğini ise morinada (%0.1) bulmuşken en yüksek protein içeriğini somonda (%23.5), en düşük protein içeriğini ise dil balıklarında (%14) olduğunu bulmuşlardır. Aynı çalışmada, beş balık türünün nem içeriklerinin %69 ile %84.6 arasında değiştiği saptanmıştır. Yapılan başka bir çalışmada, somonun koyu kaslarında %12.5 lipit ve % 17.5 protein bulunurken, somonun beyaz kasında %20.4 protein tespit etmiştir (Yoshida ve ark., 2003)

Gökkuşığı Alabalığı (*Oncorhynchus mykiss*) atığının besin kompozisyonu incelendiğinde lipit içeriği %23.10, protein içeriği %14.10, kül içeriği %3.70 ve nem içeriği ise %59.10 bulunmuştur (Şekil 4.1).



**Şekil 4.1** Tüm Balık ve Atığın Besin Kompozisyonu

Korkmaz (2018) tarafından yapılan çalışmada, Mezgit ve hamsi atıklarında (baş,iskelet iç organlar) lipit içeriği yağ ağırlıkta sırasıyla %6.06 ve %7.23 en yüksek lipit içeriği ise %22.11 ile alabalık atıklarında-bulunmuştur. Hamsi atıkları %4.0 ile en yüksek kül oranına sahipken, alabalık (%3.06) ve mezgit atıkları (%3.22) bulunmuştur. Koç (2016) tarafından rapor edilen hamsi atıkları ilişkin sonuçlar nem, ham protein, yağ ve ham kül içeriğini sırasıyla %73.85, %14.54, %6.60 ve %5.00 olarak bulunmuştur. Roslan ve ark., (2015) tilapia (*Oreochromis niloticus*) atıklarının %14.60 ham protein, %66.57 nem, %5.50 yağ ve %8.93 kül içerdiğini tespit etmişlerdir. Esteban ve ark., (2007) balık satan işletmelerden elde edilen yan ürünlerin besinsel kompozisyonunu incelemiştir. Dolayısıyla yan ürünlerin besinsel bileşiminin protein için %58, yağ için ise %19 olduğu bulunmuş ve yan ürünlerin önemli bir mineral kaynağı olduğu rapor edilmiştir. Ayrıca araştırmacılar balık yan ürünlerindeki tekli doymamış yağ asitleri olan palmitik asit ve oleik asit miktarlarının oldukça yüksek (%22) olduğunu bulmuştur. Korkmaz ve Tokur (2022) İsrail sazani eti, pulu, iç organı ve kemiksi yapılarını besinsel içerikler açısından karşılaştırdığı çalışmada, en yüksek ham protein oranı pullarda (%21.31) görülmesine rağmen en düşük oran ise iç organlarda (%1.08) tespit edilmiştir. Lipit oranına bakıldığında ise en yüksek oran iç organlarda (%22.38) en düşük ise kas dokusunda (%1.43) gözlenmiştir. Nem içerikleri açısından oran balık etinden pullara doğru düşüş eğiliminde olmuştur. En yüksek oran kasta (%80.59) gözlenirken bunu iç organlar (%77.62), kemiksi yapılar (%71.83) ve pullar (%67.31) takip etmektedir. Kül oranları da en yüksekten en düşüğe

doğru pul (%9.07), kemiksi yapılar (%7.20), iç organlar (%3.25) ve kas (%1.27) şeklinde olmuştur.

Detkamhaeng ve ark., (2016) sarıkuyruk ve skipjack türü ton balığı atığında sırasıyla ham protein için %10.91 ve %17.5, yağ için %4.42 ve %2.60, ham kül için %1.88, %1.90 ve nem için %73.17, %74.51 olarak bulmuşlardır. Koç (2016) hamsi atığının nem, ham protein, yağ ve ham kül içeriklerini sırasıyla %73.85, %14.54, %6.60 ve %5.00 olarak saptamıştır. Yapılan başka bir çalışmada araştırmacılar, somonun iç organlarında filetodan daha yüksek yağ içeriği bulmuştur (Sun ve ark., 2006). Tilapia iç organlarının bileşimi ise %14.62 protein, %10,75 lipit, %60.44 nem ve %4.90 ± 0.61 mineraldir (Shirahigue ve ark., 2016). Bu sonuçlar bizim verilerimizle karşılaştırılabilir niteliktedir. Literatürdeki araştırmalarda da görülebileceği gibi, balık yan ürünlerinin kimyasal bileşimi balık türüne, yan ürünlerin vücut kısım oranlarına, mevsime ve balığın büyüklüğüne bağlıdır (Benjakul ve Morisey, 1997., Korkmaz ve Tokur 2022, a,b).

#### **4.2 Balık Protein Hidrolizatı Üretiminde Yan Ürün Olarak Yağ Eldesi ve Kalitesi**

Balık işleme atıkları uygun şekilde ele alındığında, yüksek kaliteli balık unu, balık yağı ve silaj yapılabilir. Balık protein hidrolizatı (BPH), proteinleri kullanmanın yeni bir yoludur. Protein hidrolizatları daha küçük proteinlere ve farklı boyutlarda peptitlere ayrılmış olan hidroliz denilen işlem vasıtasıyla elde edilen proteinlerdir. Balık protein hidrolizatı üretim prosesinde önemli miktarda yağ ortaya çıkmaktadır (şekil 4.2- şekil 4.3) Döngüsel biyoekonomiye ve sıfır atık kavramlarına bağlı kalarak, balık yağının BA'dan izolasyonu ve saflaştırılması güçlü bir şekilde teşvik edilmelidir. Bunun nedeni, prosesin tüm ara ürünlerinin daha sonra değerlenmiş ürünlere dönüştürülebilmesidir.



Şekil 4.2 Balık Protein Hidrolizatı Üretimi Sonucu Fazlara Ayrılması (Orijinal)

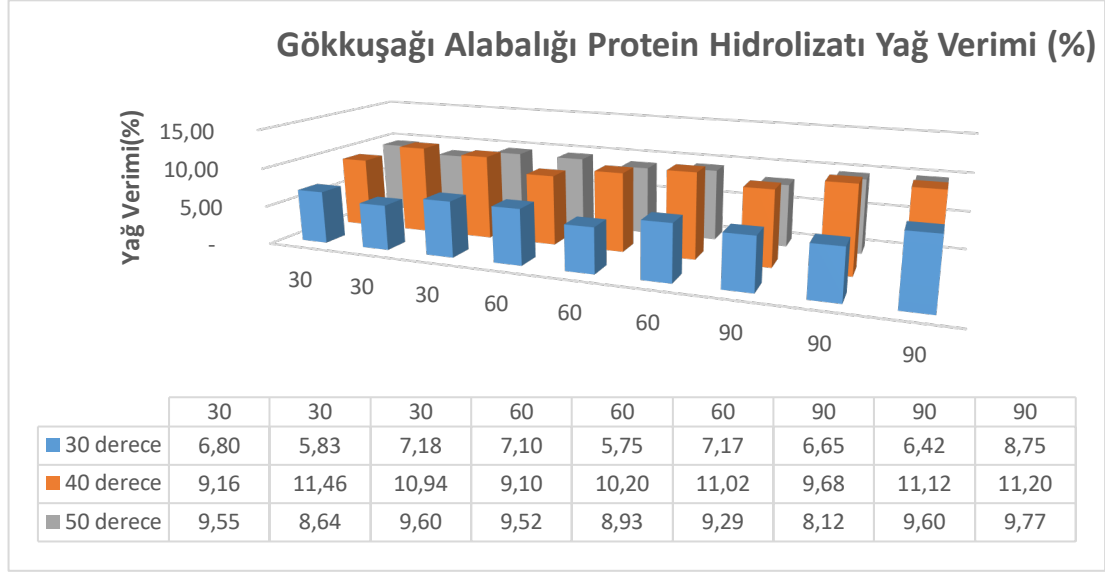


Şekil 4.3 Balık Protein Hidrolizatı Üretimi Sonucu Yağ Fazı Alınması (Orijinal)

#### 4.2.1 Yağ Verimi

Yağlar düşük sıcaklık, yüksek sıcaklık ve enzimatik yollarla ekstrakte edilebilir. Yağ veriminde enzimatik ekstraksiyonunun en etkili yöntem olduğu görülmektedir (Cutajar ve ark., 2022). Bu çalışmada hidrolizat yağı elde etmek için balık protein hidrolizatı, üç farklı sıcaklık (30 °C , 40 °C ve 50 °C), üç farklı flavourenzimin (APU/g) oranı (%0.5, 1 ve 1.5) ve üç farklı süre (30, 60 ve 90 dakika) de gerçekleştirilmiştir. Buna göre, balık protein hidrolizatından elde edilen yağların verimleri; sıcaklık, enzim oranı ve zamana göre önemli farklılıklar göstermiştir. Yağ verimi %5.75-11.46 arasında değişmiştir. Çalışma sonucunda elde edilen balık protein hidrolizatı yağı istatistik ve optimizasyon sonuçlarına göre 40 °C %1 enzim oranı ve 1 saat hidroliz süresi optimum sonuç olarak belirlenerek yağ asidi profili açısından değerlendirilmiştir. Sıcaklık bakımından karşılaştırıldığında en yüksek verimi 40 °C

de enzimatik hidroliz sonucu elde edilen yağ verimlerinde tespit edilmiştir. (Şekil 4.4 ).



**Şekil 4.4** Araştırmada İncelenen Balık Protein Hidrolizat Yağ Verimi (%)

Enzim oranı bakımından karşılaştırıldığında en yüksek verimin artan enzim oranlarında yağ verimlerinde tespit edilmiştir (Şekil 4.4). Enzim oranı arttıkça yağ verimi artması sebebiyle, sıcaklık kaynaklı yağ oksidasyonu engellenerek, daha düşük sıcaklıklarda elde edilen yağ verimi artırılabilir.

Yüksek sıcaklıkta ekstraksiyon, geleneksel ekstraksiyon yöntemine en benzer yöntemdir. Soğuk ekstraksiyon yöntemiyle karşılaştırıldığında daha da etkilidir. Bunun nedeni, katı ve sıvı fraksiyonların mekanik olarak ayrılmasına, adiposit dokusunun yırtılmasına ve daha sonra yağların sıvı fazda salınmasına izin veren daha yüksek sıcaklıktan kaynaklanmaktadır. Pepsin gibi enzimlerin kullanımı dokuların daha düşük sıcaklıklarda parçalanmasını sağlar; bu yöntemin adiposit dokusundaki yağ küreciklerinin serbest bırakılmasında daha etkili olduğu görülmektedir (Bimbo, 1990; Taati ve ark., 2018). Deniz yan ürünlerinin değerlendirilmesi için enzimatik protein hidrolizine dayanan yeni süreçler geliştirilmektedir. Bu enzimatik proseslerin ıslak işleme prosesine göre avantajı, daha iyi biyolojik, sindirilebilir ve fonksiyonel özelliklere sahip bir protein ürünü olmasıdır (Udenigwe ve Aluko, 2012). Enzimatik süreçte kıyılmış yan ürünler 50-60°C'de ticari proteolitik enzimlerle işlenir, ardından 90°C'de birkaç dakika boyunca enzim

inaktivasyonu yapılır ve ardından çökelti, hidrolizat ve yağ olmak üzere üç aşamaya ayrılır (Xu ve ark.,2007; Gildberg, 1994 ).

Purnamayati ve ark., (2023) tilapia (*Oreochromis niloticus*) iç organ yağı ekstraksiyonunu yaptıkları çalışmada, en düşük verim değeri 70 °C' de 15.85 dakikada %15.6 iken en yüksek verim değeri 80 °C'de 40 dakika ekstraksiyon süresinde % 33.93 tespit edilmiştir. Suseno ve ark., (2014) ıslak işleme yöntemi ile tilapia'dan yaklaşık %1.49-6.44 oranında yağ verimi elde ederken, Nazir ve ark., (2017) ıslak işleme ekstraksiyonu ile %12.8 en yüksek verimi sağladı.Bu sonuçlar bizim bulgularımızı destekler niteliktedir. Ekstraksiyonda sıcaklık ve zaman artışına bağlı olarak yağ verimi yüzdesinin artırmaktadır (Suseno ve ark., 2014; Suseno ve ark., 2021).

### **4.3 Hidrolizat Yağının Kalite Analizleri**

Alabalık atıklarından enzimatik hidroliz yöntemiyle balık protein hidrolizat üretim sürecinde; yan ürün olarak kazanılan yağ fazının, lipit kalitelerini belirlemek için peroksit (PV), serbest yağ asidi (FFA) ve tiyobarbitürik asit reaktif maddeler (TBARs) analizleri gerçekleştirilmiştir.

#### **4.3.1 Peroksit Değeri (PV)**

Peroksit sayısı, yağ içinde bulunan oksijen miktarının bir ölçüsüdür ve 1000 gram yağdaki aktif oksijenin miliekivalenti olarak ifade edilmektedir. Peroksitlerin oluşumu lipit oksidasyonunun ilk basamağınının göstergesi olarak kabul edilmektedir. Yağın oksidasyon derecesi hakkında bilgi vermekte ve duyuşsal olarak algılanamamakla birlikte istenmeyen tat ve koku oluşumundan sorumlu olmaktadırlar (Rustad, 2009).

Lipit oksidasyonunun birincil fazı olan PV (mEq/kg), birincil oksidasyon ürünleri olan lipit peroksitlerin ve hidroperoksitlerin içeriğini belirler (Gray, 1978). PV (mEq/kg) ölçümleri, lipit oksidasyonunun başlangıç safhalarında meydana gelen hidroperoksitlerin kantitatif olarak belirlenmesine imkân tanıdığı için endüstride standart bir yöntem olarak önerilmektedir (Shahidi ve Zhong, 2005). Peroksit değerindeki artış, oksidasyonun başlangıç aşamalarının bir göstergesi olarak kullanılır, ancak oksidasyon ilerledikçe peroksit değeri düşmeye başlayabilir (EFSA, 2010). Bu nedenle, PV (mEq/kg) ölçümü yalnızca mevcut oksidasyon durumunun bir indeksi



olarak kullanılabilir. Ham yağlardaki PV (mEq/kg) değeri, yağ çıkarma yöntemine, yağ çıkarma için kullanılan balıkların kalitesine ve ham yağın saklama koşullarına bağlı olarak değişiklik gösterebilmektedir. Kötü işleme ve saklanma koşulları yüksek PV (mEq/kg)' ne sahip ham yağların (örn. 10 meq/kg'ın üzerinde) elde edilmesine neden olmaktadır (EFSA, 2010).

Enzimatik hidroliz yöntemi ile üretilen alabalık protein hidrolizatından yan ürün olarak elde edilen balık yağının PV (mEq/kg) değerlerine sıcaklık (30-40-50 °C), enzim oranı (%0.5, %1, %1.5) ve zamanın (30',60',90') etkisi çizelge 4.2'de verilmiştir.

**Çizelge 4.2** Araştırmada İncelenen Hidrolizat Balık Yağının PV (mEq/kg) Değerleri

Sıcaklık (°C)	Zaman (Dakika)	Enzim Oranı (%)		
		0.5	1	1.5
30°	30'	2.15±0.03 <sup>a1</sup>	2.15±0.27 <sup>a1</sup>	2.26±0.43 <sup>a1</sup>
	60'	2.26±0.14 <sup>a1</sup>	2.37±0.29 <sup>a12</sup>	2.68±0.14 <sup>a1</sup>
	90'	2.92±0.27 <sup>a2</sup>	3.04±0.17 <sup>a2</sup>	3.12±0.30 <sup>a1</sup>
40°	30'	1.87±0.12 <sup>a1</sup>	1.96±0.29 <sup>a1</sup>	1.89±0.42 <sup>a1</sup>
	60'	2.46±0.15 <sup>a2</sup>	2.66±0.15 <sup>a2</sup>	2.48±0.13 <sup>a12</sup>
	90'	3.41±0.12 <sup>a3</sup>	3.46±0.10 <sup>a3</sup>	3.22±0.19 <sup>a2</sup>
50°	30'	2.25±0.23 <sup>a1</sup>	1.97±0.30 <sup>a1</sup>	1.78±0.00 <sup>a1</sup>
	60'	2.27±0.18 <sup>a1</sup>	2.36±0.28 <sup>a1</sup>	2.46±0.14 <sup>a2</sup>
	90'	3.23±0.08 <sup>a2</sup>	3.47±0.13 <sup>a2</sup>	3.43±0.11 <sup>a3</sup>

(± Standart sapmayı göstermektedir. n=3. Aynı satırdaki üstsel harfler günler arasındaki istatistikî farklılıkları(p<0.05), aynı sütündeki üstsel rakamlar ise gruplar arasındaki istatistikî farklılıkları (p<0.05); belirtmektedir).

30 °C de PV (mEq/kg) değerleri 2.15 – 3.12 meq O<sub>2</sub>/kg aralığında gözlenmiş olup, farklı enzim oranlarının (%0.5, %1, %1.5) peroksit değerleri üzerine etkisi, istatistiksel olarak gözlenmemiştir (p>0.05). Buna rağmen zamanın (30',60',90') peroksit değerleri üzerine etkisi incelendiğinde, istatistiksel olarak önemli farklılıkların olduğu gözlenmiştir (p<0.05).

40 °C de PV (mEq/kg) değerleri 1.87 – 3.46 meq O<sub>2</sub>/kg aralığında gözlenmiş olup, istatistiksel olarak farklı enzim oranlarının (%0.5, %1, %1.5) peroksit değerleri üzerine önemli bir etkisinin olmadığı gözlenmiştir (p>0.05). Bununla birlikte, peroksit

değerleri üzerine zamanın (30',60',90') önemli bir etkisi olduğu gözlenmiştir ( $p<0.05$ ).

50 °C de PV (mEq/kg) değerleri 1.78 – 3.47 meq O<sub>2</sub>/kg aralığında gözlenmiş olup, istatistiksel olarak farklı enzim oranlarının (%0.5, %1, %1.5) peroksit değerleri üzerine etkisi, gözlenmezken ( $p>0.05$ ), zamanın (30',60',90') istatistiksel olarak önemli bir etki yaptığı gözlenmiştir ( $p<0.05$ ). En düşük ve en yüksek değerler sırasıyla 30 dakika ve 90 dakikada gözlenmiştir. Hidroliz süresi arttıkça PV (mEq/kg) değerinde artış gözlenmiştir. Enzimatik hidroliz yöntemi ile üretilen alabalık protein hidrolizatından yan ürün olarak elde edilen balık yağının PV (mEq/kg) değerlerine sıcaklık (30-40-50 °C) ve enzim oranı (%0.5, %1, %1.5) istatistiksel olarak birbirine benzer sonuçlar sergilemişlerdir. Diğer yandan hidroliz süresi (30',60',90') arttıkça PV (mEq/kg) değerinde artış gözlenmiştir ( $p<0.05$ ). Özyurt ve ark., (2018 ) levrek yan ürünlerinden kullanılarak asit silajı ile elde edilen balık yağlarının peroksit (PV) (2.12 meq aktif O<sub>2</sub> /kg yağ başına) tespit etmişlerdir. Monsiváis-Alonso ve ark., (2020) ton balığı yağı peroksit değeri PV (8.65 meq O<sub>2</sub>/kg) olarak belirtmişlerdir. Yeşilyurt (2018) Hamsi yağının peroksit değerinin 3.03 mEqO<sub>2</sub>/kg olarak tespit etmiştir.

Codex (1999) de yenilebilir yağlar için 10 meq/kg<sup>-1</sup> PV sınırı verilmiştir. Bununla birlikte, Avrupa farmakopesinde (tıbbi ilaçların dozları, formülleri ve kullanımlarını içeren listelere ait bilgilerin bulunduğu kitap), diyet takviyeleri için kullanılan rafine balık yağlarında PV'nin 10 meq/kg'ı geçmemesi gerektiği belirtilmektedir (EFSA, 2010). EFSA (2010) PV değeri 5-10 meq/kg olan balık yağlarının gıda ürünlerine dahil edilmelerinin uygun olmayacağını, GOED (2008) ise iyi kalitede bir balık yağının PV değerinin 5 meq/kg'ın altında olması gerektiğini vurgulamıştır.

Codex Alimentarius ve Avrupa Gıda Güvenliği Dairesi (EFSA), 1000 gram ham balık yağındaki peroksit miktarının 10 miliEkivalanın (mEq) altında olmasını kabul edilebilir olarak açıklamıştır (Özyurt ve ark., 2013; NN, 2016). Çalışma sonuçları incelendiğinde tüm grupların kabul edilebilir peroksit değeri sınırları içinde kaldığı görülmüştür.

### 4.3.2 Tiyobarbitürik Asit (TBA)

İkincil bir lipit peroksidasyon ürünü olan malondialdehit (MDA), balık kasında bir lipit peroksidasyonun biyolojik bir belirteci olarak kullanılmıştır ve TBARs analizi, çok çeşitli gıdalarda MDA'yı değerlendirmek ve ölçmek için en yaygın kullanılan araçtır. TBARs analizi, lipit oksidasyonunun saptanması için kullanılan en yaygın yöntemlerden biridir (Kishida ve ark, 1993, Shahidi ve Wanasundara, 2002). Yöntem, tiyobarbitürik asit (TBA) ve doymamış yağ asitlerinden açığa çıkan oksidasyon ürünleri reaksiyona girdiğinde oluşan pembe rengin, 532-535 nm'de absorbanasının belirlenmesine dayanır. Reaksiyonda birden fazla ikincil oksidasyon ürünü belirlenebileceğinden, yöntem ikincil ürünlerin toplamını ifade eden TBA reaktif maddeler olarak anılır.

Enzimatik hidroliz yöntemi ile alabalık protein hidrolizatından yan ürün olarak elde edilen balık yağının TBA değerlerine sıcaklık (30-60-90 °C), enzim oranı (%0.5,%1,%1.5) ve zamanın (30',60',90') etkisi Çizelge 4.3' de gösterilmiştir.

**Çizelge 4.3** Araştırmada İncelenen Hidrolizat Balık Yağının TBARs Değerleri (mg MA/kg)

Sıcaklık (°C)	Zaman (Dakika)	Enzim Oranı (%)		
		0.5	1	1.5
30°	30'	0.59±0.04 <sup>a2</sup>	0.58±0.08 <sup>a1</sup>	0.51±0.07 <sup>a2</sup>
	60'	0.49±0.04 <sup>a12</sup>	0.52±0.04 <sup>a1</sup>	0.55±0.08 <sup>a2</sup>
	90'	0.48±0.10 <sup>ab1</sup>	0.55±0.09 <sup>b1</sup>	0.41±0.04 <sup>a1</sup>
40°	30'	0.74±0.08 <sup>a1</sup>	0.55±0.02 <sup>a1</sup>	0.75±0.22 <sup>a1</sup>
	60'	1.04±0.30 <sup>a1</sup>	0.70±0.08 <sup>a2</sup>	0.87±0.58 <sup>a12</sup>
	90'	0.95±0.46 <sup>a1</sup>	0.72±0.14 <sup>a2</sup>	1.41±0.09 <sup>b2</sup>
50°	30'	1.28±0.23 <sup>a1</sup>	1.24±0.51 <sup>a1</sup>	0.97±0.09 <sup>a2</sup>
	60'	0.84±0.11 <sup>a1</sup>	1.05±0.49 <sup>a1</sup>	0.85±0.13 <sup>a12</sup>
	90'	1.12±0.58 <sup>a1</sup>	0.73±0.03 <sup>a1</sup>	0.71±0.08 <sup>a1</sup>

(± Standart sapmayı göstermektedir. n=3. Aynı satırdaki üstsel *harfler* zaman arasındaki istatistikî farklılıkları (p<0.05), aynı sütündeki üstsel *rakamlar* ise gruplar arasındaki istatistikî farklılıkları (p<0.05); belirtmektedir).

Enzimatik hidroliz yöntemi ile alabalık protein hidrolizatından yan ürün olarak elde edilen balık yağının TBA değerlerine, 30 °C' nin olan etkisi incelendiğinde, değerlerin farklı süre ve sıcaklıklarda 0.41 – 0.59 MDA/kg aralığında gözlendiği

bulmuştur. Farklı enzim oranlarının (%0.5, %1, %1.5), 30 ve 60 dakika hidroliz sürelerinde TBA değerlerine istatistiksel olarak önemli bir etki gözlenmezken ( $p>0.05$ ), 90 dakikalık hidroliz sonunda %1 ve %1.5 luk enzim oranları arasında TBA değerleri bakımından istatistiksel farklılıklar gözlenmiştir ( $p<0.05$ ).

40 °C de TBA değerleri, 0.55 – 1.41 MDA/kg aralığında gözlenmiş olup, farklı enzim oranları (%0.5, %1, %1.5) ile elde edilen hidrolizat yağlarının TBA değerleri arasında, 30 ve 60 dakika hidroliz süreleri için istatistiksel farklılıklar gözlenmezken ( $p>0.05$ ), 90 dakikada ve %1,5 enzim oranında TBA değerinin önemli bir şekilde arttığı gözlenmiştir ( $p<0.05$ ).

50 °C de abalalık hidrolizat yağındaki TBA değerleri 0.71 – 1.28 MDA/kg aralığında saptanmıştır. Farklı enzim oranlarının (%0.5, %1, %1.5), TBA değerleri üzerine önemli bir etkisi gözlenmemiştir ( $p>0.05$ ). Zamanın (30',60',90') etkisi, %1.5 enzim oranlarında TBA değerleri bakımından istatistiksel farklılıklar gözlenmiştir ( $p<0.05$ ). Enzimatik hidroliz yöntemi ile üretilen-alabalık protein hidrolizatından yan ürün olarak elde edilen balık yağının TBA değerlerine hidroliz süresi (30',60',90') ve enzim oranı (%0.5, %1, %1.5) istatistiksel olarak birbirine benzer sonuçlar sergilemişlerdir. Diğer yandan 30°C'den yüksek sıcaklıklarda TBA değerlerinde artış gözlenmiştir ( $p<0.05$ ). Tiyobarbitürik asit değeri, lipit oksidasyonunun ikincil bozulma ürünleri olan malondialdehitleri temsil etmektedir ve yağlardaki acılaşmayı gösteren ölçütlerden biridir. 1000 g balık yağında 19 mmol MDA miktarının üstüne çıkıldığında ürünün kabul edilemez sınırlarda olduğu bildirilmiştir (Kaitaranta,1992). Wang ve ark., 2022 altın pompanoda TBA'yı 1.4 mg MDAeq/kg olarak buldu. Albendea ve ark., 2023 balık yağı TBA'sının 0.4 mg MDA/kg'a ulaştığını gösterdi. Özyurt ve ark., (2018 ) Levrek yan ürünlerinden ayrıca asit silajından ve balıkların bakteriyel fermentasyonundan elde edilen yağların asit silajından elde edilen balık yağlarının TBA değerleri (1.07 mg malonaldehit (MA) g<sup>-1</sup> yağ) tespit etmişlerdir.

TBA ikincil oksidasyon ürünlerini izler ve bu da onu doymamış yağ asitleri (aldehitler) içeren yağların oksidasyon düzeyinin değerlendirilmesinde en önemli tekniklerden biri haline getirir. Schormüller (1969)'a göre, TBA değerinin iyi bir materyalde 3 mg MA/kg'dan az olması gerektiği bildirilmiştir. Buna göre,

çalışmamızdaki tüm balık yağı kapsüllerinin bu sınırı aşmadığı tespit edilmiştir. Çalışma sonuçları incelendiğinde tüm grupların kabul edilebilir TBA sınırları içinde kaldığı görülmüştür.

#### 4.3.3 Serbest Yağ Asitleri (FFA)

Enzimatik hidroliz yöntemi ile üretilen somon protein hidrolizatından yan ürün olarak elde edilen balık yağının FFA değerlerine sıcaklık (30-60-90 °C), enzim oranı (%0.5, %1, %1.5) ve zamanın (30',60',90') etkisi, Çizelge 4.4' de gösterilmiştir.

**Çizelge 4.4** Araştırmada İncelenen Hidrolizat Balık Yağının FFA Değerleri (% Oleik Asit)

Sıcaklık (°C)	Zaman (Dakika)	Enzim Oranı (%)		
		0.5	1	1.5
30°	30'	0.51±0.14 <sup>a1</sup>	2.48±0.11 <sup>b1</sup>	4.12±0.54 <sup>c1</sup>
	60'	0.27±0.02 <sup>a1</sup>	3.52±1.69 <sup>b1</sup>	3.24±1.15 <sup>b1</sup>
	90'	0.25±0.12 <sup>a1</sup>	3.46±0.15 <sup>b1</sup>	2.26±0.24 <sup>b1</sup>
40°	30'	3.22±0.78 <sup>a1</sup>	3.24±0.47 <sup>a1</sup>	2.45±0.02 <sup>a1</sup>
	60'	3.26±0.03 <sup>c1</sup>	2.54±0.00 <sup>b1</sup>	2.44±0.03 <sup>a1</sup>
	90'	3.26±0.35 <sup>a1</sup>	2.57±0.08 <sup>a1</sup>	2.67±0.41 <sup>a1</sup>
50°	30'	2.00±0.14 <sup>a1</sup>	2.22±0.25 <sup>b1</sup>	3.28±0.21 <sup>b1</sup>
	60'	2.25±0.02 <sup>a1</sup>	3.30±0.18 <sup>a1</sup>	3.32±0.62 <sup>a1</sup>
	90'	2.78±0.53 <sup>a1</sup>	2.97±0.08 <sup>a1</sup>	2.59±0.10 <sup>a1</sup>

(± Standart sapmayı göstermektedir. n=3. Aynı satırdaki üstsel *harfler* zaman arasındaki istatistikî farklılıkları(p<0.05), aynı sütündeki üstsel *rakamlar* ise gruplar arasındaki istatistikî farklılıkları (p<0.05); belirtmektedir).

30 °C de FFA açısından değerler %0.27 – 4.12 aralığında gözlenmiş olup, farklı enzim oranlarının (%0.5, %1, %1.5) etkisi, hidroliz sürelerine göre FFA değerleri bakımından istatistiksel farklılıklar gözlenmiştir (p<0.05). Tüm sıcaklıklardaki zaman (30',60',90') ve farklı enzim oranları (%0.5, %1.0, %1.5) 'nın etkisi incelendiğinde, FFA değerleri üzerine istatistiksel bir fark yaratmadığı gözlenmiştir (p>0.05).

40 °C de FFA açısından değerler %2.44 – 3.56 aralığında gözlenmiş olup, farklı enzim oranlarının (%0.5, %1, %1.5) etkisi, 30 ve 90 dakika hidroliz sürelerinde FFA değerleri bakımından istatistiksel farklılıklar gözlenmezken (p>0.05), 60 dakikada

FFA değerleri bakımından istatistiksel farklılıklar gözlenmiştir ( $p < 0.05$ ). Tüm sıcaklıklardaki zaman (30', 60', 90') ve farklı enzim oranları (%0.5, %1.0, %1.5) 'nın etkisi incelendiğinde, sıcaklığın FFA değerleri üzerine istatistiksel bir fark yaratmadığı gözlenmiştir ( $p > 0.05$ ).

50 °C de FFA açısından değerler % 2.00- 3.32 aralığında gözlenmiş olup, %1.5 enzim oranının ve 30 dakikalık hidrolizin FFA değerleri bakımından önemli bir etkisi olduğu, gözlenmiştir ( $p < 0.05$ ). Tüm sıcaklıklardaki zaman (30', 60', 90') ve farklı enzim oranları (%0.5, %1.0, %1.5) 'nın etkisi incelendiğinde, sıcaklığın FFA değerleri üzerine istatistiksel bir fark yaratmadığı gözlenmiştir ( $p > 0.05$ ).

Yüksek otolitik aktiviteye ve çoklu doymamış yağ asitleri içeriğine sahip balık yağları lipoliz ve oksidasyona karşı oldukça eğilimlidir. Bu nedenle de genellikle yüksek serbest yağ asidi (FFA) içeriği içerirler (Soldo ve ark., 2019). FFA'lar, yağın hidrolizi ile oluşurlar ve yağın organoleptik özelliklerini etkilerler (Ashton ve ark., 2002). Uluslararası Balık Unu ve Yağı Üreticileri Birliği (IFOMA) tarafından kabul edilen ham balık yağı için izin verilen FFA değeri sınırı, oleik asidin % 1-7'si (genellikle % 2-5) aralığındadır (Bimbo, 1998). Ancak genel tavsiye, yemeklik yağların FFA değerlerinin %3'ün altında olması gerektiğidir (Özyurt ve ark., 2013; Soldo ve ark., 2019). Balık yağlarının FFA değerlerindeki farklılıklar, yağların elde edildiği balık ve atıkların tazeliği, depolanma koşullarının yanısıra, bu yağların elde edilme yöntemlerine ve rafine edilme aşamalarına göre de farklılıklar gösterebilmektedir. García-Moreno ve ark., (2014) 45 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda ekstrakte edilen yağlarda düşük FFA değerleri elde ettiklerini ve bunun lipazların kararsız hale gelmesinden dolayı olabileceğini belirtmişlerdir. Soldo ve ark., (2019) ham balık yağının rafine edilmesi aşamalarında koku giderme ve nötralizasyon aşamalarından sonra FFA değerinde düşüş olduğunu belirtmişlerdir. Abd El-Rahman ve ark., (2018) tilapyanın iç organ yağının %3 FFA içerdiğinden bahsetmiştir. Suseno ve ark., (2015) Tilapia balığından ekstrakte edilen yağ için FFA'nın %3.85 ila 7.15 arasında olduğunu bulmuştur. Monsiváis-Alonso ve ark., (2020) ton balığı yağı FFA değerini (%7.07) olarak belirtmişlerdir. Bu sonuçlar bizim verilerimizle karşılaştırılabilir niteliktedir.

#### 4.3.4 Yağ Asitleri

Çalışma sonucunda elde edilen balık protein hidrolizatı yağı optimizasyon sonuçlarına göre 40 °C %1 enzim oranı ve 1 saat hidroliz süresi optimum sonuç olarak belirlenerek yağ asidi profili açısından değerlendirilmiştir.

Alabalık eti, atığı ve enzimatik hidroliz yöntemi ile optimize edilerek üretilen protein hidrolizatından yağın yağ asitleri, kompozisyonu Çizelge 4.5’de gösterilmiştir.

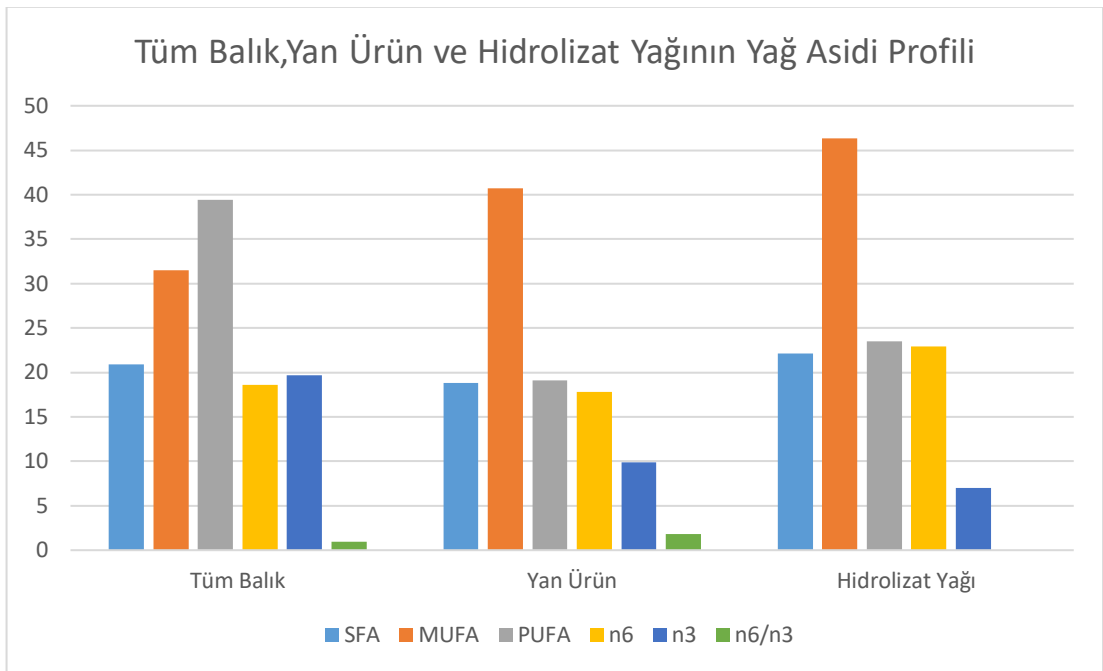
**Çizelge 4.5** Gökkuşluğu Alabalığı Fileto, Atık ve Optimizasyon Sonucu Elde Edilen Balık Protein Hidrolizatı Yan Ürünü Balık Yağlarının Yağ Asidi Profili

	<b>Fileto</b>	<b>Atık</b>	<b>Bph Yan Ürünü</b>
<b>ΣSFA</b>	20.94±0.67	18.81±1.54	22.15±0.15
<b>ΣMUFA</b>	31.48±0.20	40.72±2.74	46.31±0.17
<b>ΣPUFA</b>	39.39±0.73	19.11±1.65	23.52±0.03
<b>n6</b>	18.57±1.12	17.83±1.29	22.89±0.03
<b>n3</b>	19.71±0.78	9.92±1.35	6.99±0.05
<b>n6/ n3</b>	0.95±0.11	1.80±0.92	3.27±1.17

Bu çalışmada, elde edilen sonuçlara göre fileto balıklardan elde edilen yağlarda SFA oranlarının %20.94 olduğu, balık yan ürünlerinden elde edilen yağlarda %18.81, optimizasyon sonucu elde edilen balık protein hidrolizatı yağında ise %22.15 saptanmıştır. Benzer şekilde Gamsız ve ark., (2019) SFA oranlarının tüm vücutlu balıklardan elde edilen yağlarda %15,57-33,38, balık atıklarından elde edilen yağlarda ise %16,3-31,89 arasında bulmuştur. Ayrıca fileto balıklardan elde edilen yağlarda MUFA oranı %31.48, balık yan ürünleri yağlarında ise % 40.72, optimizasyon sonucu elde edilen balık protein hidrolizatı yağında ise % 46.31 saptanmıştır. Benzer şekilde Gamsız ve ark., (2019), tüm vücutlu balıklardan elde edilen yağlarda MUFA oranlarının %24-38.69 arasında, atık yağlarında ise %25.81-47.57 arasında bulmuştur. Fileto balıklardan elde edilen yağlarda PUFA oranının %39.39, alabalık hidrolizat yağında ise %19.11, optimizasyon sonucu elde edilen alabalık hidrolizat yağında ise % 23.52 saptanmıştır.

Balık beslemede yağlar enerji kaynağı olmasının yanı sıra gerekli olan yağ asitlerinin balıklara iletilmesinde de görev alırlar. Özellikle, deniz balıklarının beslenmesinde yüksek zincirli doymamış yağ asitlerine ihtiyaç vardır. Besleme

açısından en önemli PUFA'lar dan olan DHA (docosaheptaenoic asit) ve EPA (eicosapentaenoic asit) oranlarına baktığımızda, DHA oranının tüm balıklardan elde edilen yağlarda %18.57, balık yan ürünleri yağında ise %17.83, optimizasyon sonucu elde edilen balık protein hidrolizatı yağında ise %22.89 saptanmıştır. EPA oranlarının ise tüm balıklardan elde edilen yağlarda %19.71, balık yan ürünleri yağlarında ise %9.92, optimizasyon sonucu elde edilen alabalık hidrolizatı yağında ise % 6.99 olarak saptanmıştır. Ayrıca tüm vücutlu balıklardan elde edilen yağlarda n6/n3 oranı 0.95, balık yan ürünleri yağlarında 1.80, optimizasyon sonucu elde edilen balık protein hidrolizatı yağında ise 3.27 olarak bulunmuştur.



**Şekil 4.5** Tüm Balık, Yan Ürün ve Optimize Hidrolizat Yağının Yağ Asidi Profili

Özyurt ve ark., (2018), levrek yan ürünlerinden ayrıca asit silajından ve balıkların bakteriyel fermentasyonundan elde edilen yağların yağ asidi bileşimini ve oksidatif stabilitesini araştırmış ve PUFA içeriklerini (%23.27-23.64) arasında bulmuştur. Monsiváis-Alonso ve ark., (2020) ton balığı yağı yağ asidi sonuçlarını MUFA %13.90 ve PUFA %38.80 olarak bulmuştur. Sonuçlar, önemli miktarlarda (%26.90)  $\omega$ -3 PUFA'nın, özellikle de dokosaheptaenoik asidin (C20:5  $\omega$ -3, DHA) varlığını ortaya koymaktadır. Bu yağın geri kazanılmasının ve bundan faydalanmanın mümkün olduğunu göstermektedir.



Giogios ve ark., (2009) farklı balık yağlarının yağ asidi kompozisyonlarını incelemişler ve SFA değerlerinin %19.1 ile %28.3 arasında, MUFA değerlerinin %26.3 ile %48.3 arasında, PUFA değerlerinin ise %28.7 ile %44 arasında değiştiğini bulmuşlardır.

Durmuş, (2018) Kuzeydoğu Akdeniz kıyılarında avlanan 13 farklı deniz ürünü türünün yenilebilir etlerinin yağ asidi bileşimlerini %27.68 ila %36.59 doymuş yağ asitleri, %8.99 ila %35.84 tekli doymamış yağ asitleri ve %10.69 ila %39.57 çoklu doymamış yağ asitleri arasında değiştiğini tespit etmiştir.

Araştırma sonuçlarına göre, tüm balıklardan üretilen yağların DHA içeriği, işleme atıklarından elde edilen yağlara göre daha yüksektir. Bunun temel nedeni ise bu yağların pelajik ve yağlı balık adı verilen balık türlerinden elde edilmesidir. Alkio ve ark., (2000) yaptıkları çalışmada, ton balığı yağının %18.3'ünün DHA olduğunu bildirmişlerdir. Çalışmamızda bulunan %22.89 'lik DHA içeriği Alkio ve ark.'ninkine benzer bulunmuştur. Birçok araştırmacı, ton balığı yağının DHA içeriğini farklı oranlarda bildirmektedir. Ancak bu değerler genel olarak %9.3 ile %25 arasında değişmektedir. Bu farklılıkların ton balığının beslenme ortamındaki farklılıklardan kaynaklandığı rapor edilmiştir (Haraldsson ve Kristinsson, 1998; Halldorsson ve ark., 2003; Giogios ve ark., 2009; Susena ve ark., 2014). Gamsız ve ark., (2019) EPA oranlarının tüm balıklardan elde edilen yağlarda %8-9.89 arasında, balık yan ürünleri yağlarında ise %2.63-15.28 arasında değiştiği tespit edilmiştir. Çalışmamızda optimizasyon sonucu elde edilen alabalık hidrolizat yağında ise literatüre benzer EPA oranları %6.99 tespit edilmiştir. Selmi ve ark., (2008) yılın farklı zamanlarında avlanan ton balığının atık iç organlarındaki yağ ve yağ asidi kompozisyonlarını incelemişler ve yağ içeriğinin %1.49 ile %14.26 arasında, EPA değerlerinin ise %4 ile %14,26 arasında değiştiğini bildirmişlerdir.

Özellikle DHA, EPA ve ArA gibi yüksek oranda doymamış yağ asitleri hücre zarlarının yapısında ve bakımında rol oynar ve steroid hormonları ve prostaglandinlerin salgılanmasının öncüleri olarak işlev görür. Bu nedenle, bu yağ asitleri balıklarda olduğu gibi diğer canlı organizmaların da hayatta kalması için gerekli olan yağ asitleridir. Tatlı su balıklarının yüksek doymamış yağ asitleri olan linolenik asiti DHA ve EPA'ya, linoleik asidi ise ArA'ya dönüştürebilme yeteneği, tatlı

su balıklarının beslenmesinde karasal yağların kullanımının mümkün olduğunu göstermektedir. Ancak tuzlu su balıklarındaki ihtiyacı karşılamak için balık yemlerine yüksek HUFA içeriğine sahip kaynakların eklenmesi gerekmektedir (Sargent, 1999; Tocher, 2015).

Genel olarak balık yemlerinde balık yağı kullanımının azaltılması, sürdürülebilir su ürünleri yetiştiriciliği için esastır. Ancak balığın yüksek oranda doymamış yağ asitleri ihtiyacını karşılamak için değerli yeni kaynakların bulunması gerekmektedir. Akla gelen ilk kaynaklar yine sudaki organizmalardır. Özellikle fitoplankton ve zooplankton türleri (kopepodlar), kril türleri ve tek hücreli organizmalar sucul alanlardan elde edildiği düşünülen yüksek oranda doymamış yağ asitlerinin kaynaklarıdır. Ayrıca transgenik çalışmalarda deniz alglerindeki uzun zincirli yağ asitlerinin sentezinde görev alan genlerin karasal yağlı tohum bitkilerine aktarılması ve bu bitkilerden DHA ve EPA'nın sağlanması denenmiştir (Bou ve ark., 2017; Shepherd ve ark., 2017; Jobling, 2016; Tocher, 2015; Sprague ve ark., 2016; Sprague ve ark., 2017). Linder ve ark., (2010) bazı fitoplankton türlerinin %14.97 oranında DHA ve %9.28 oranında EPA içerdiğini, Krill türlerinin ise %15.8-28.3 oranında DHA ve %6.7-31.6 oranında EPA içerdiğini bildirmiştir. Yeşilyurt (2018), hamsi yağının EPA oranının %10.21, DHA oranının ise %18.10 olduğunu bildirmiştir.

Goosen ve ark. (2014), gökkuşağı alabalığı silaj yağının, bazı geleneksel balık yağlarına göre avantajları olan, tilapia diyetleri için uygun maliyetli bir alternatif diyet yağı olduğunu bildirmiştir.

Araştırmacılar Mgbechidinma ve ark., (2023) atık ham balık yağının yağ asitlerinin ortalama besin kalitesi değerlerinin şu şekilde olduğunu belirtmişlerdir: Besin değeri indeksi (0.87–1.68), sağlığa yararlı indeks (2.19–2.82), balık lipid kalitesi (24.18–28.88), çoklu doymamış/doymuş (0.85–1.33), omega-6/omega-3 (0.18–0.22), aterojenik indeks (0.35–0.46), trombojenik indeks (0.23–0.33), hipokolesterolemik/hiperkolesterolemik oran (2.21–2.77).

## 5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Gökkuşacağı alabalığı yan ürünlerinden elde edilen balık yağının optimizasyonu belirlenip kullanılabilirliği değerlendirilmiştir. Bu durumun gıda endüstrisi açısından alternatif balık yağı üretimi için bir model olarak kullanılacağı düşünülmektedir. Bu değerli hammadde kaynağının toplanması, işlenmesinin geliştirilmesi ve optimize edilmesi mümkün olduğunca teşvik edilmelidir. Yeni yağ asitlerinin kaynakları aranırken, proses atıklarının kullanımının önemi unutulmamalıdır. Balık işleme atıklarının balık yağı üretiminde kullanılması sürdürülebilir su ürünleri yetiştiriciliği açısından önemlidir. İnsan kullanımı için gereken kaliteye çok daha yakın olan yüksek değerli fraksiyonların üretimine odaklanarak, hem balık protein hidrolizat hem de lipit üretim protokollerinin optimizasyonuna yönelik çalışmalar yürütülmesi gereklidir.

Bu çalışma, mevcut olan yüksek değerli biyomateryallerin döngüsellik yoluyla daha iyi kullanılmasına yönelik önemli bir adımdır. Bu sonuçlar, halihazırda denize atılan büyük miktardaki biyokütlenin azaltılmasının mümkün olabileceğini göstermektedir.

Döngüsel biyoekonomiye ve sıfır atık kavramlarına bağlı kalarak, balık yağının BA'dan izolasyonu ve saflaştırılması güçlü bir şekilde teşvik edilmelidir. Bunun nedeni, prosesin tüm ara ürünlerinin daha sonra değerlendirilmiş ürünlere dönüştürülebilmesidir.

Balık kafası ve iç organları gibi yağ asitleri ve diğer yağda çözünen vitaminler açısından zengin olan diğer kısımlar için ise ilaç endüstrisine yönelik omega-3 kapsüllerinin üretimi umut vericidir. Ayrıca elde edilen yağın beslenme parametrelerine uymaması durumunda biyodizel üretimi için de uygulanabilmektedir.

Bu nedenle, balıkçılık endüstrisinde yaygın olarak üretilen balık atıklarının yeniden kullanılması, çeşitli sürdürülebilir kalkınma hedeflerini olumlu yönde etkileyebilir, çünkü bu alternatif kaynaklardan çeşitli katma değerli ürünler elde edilebilir, bu da atıkların değerlendirilmesine ve katı atık zincirinde döngüsel bir ekonomiye katkıda bulunur.

Döngüsel ekonominin günümüzdeki önemi açısından kollajen, jelatin, yağ ve astaksantin başta olmak üzere katma değerli ürünler elde etmek için farklı türdeki balık atıklarının kullanımına ve bunların ana uygulamalarına odaklanılmalıdır.

Su ürünleri işleme endüstrisinde elde edilen yan ürünlerin değerlendirilmesi ve yeni fonksiyonel ürünlerin geliştirilmesi, ekonomik getiri sağlaması açısından son zamanlarda önemi artmaktadır. Bu bilgiler ışığında çalışmadan elde edilen sonuçlar genel olarak kabul edilebilir sınırlar içerisinde olduğundan Gökkuşığı alabalığı (*Oncorhynchus mykiss*) yan ürünleri kullanılarak enzimatik hidroliz yöntemi ile elde edilen protein hidrolizati yağının alternatif lipit kaynağı olarak kullanılması düşünülebilir.

- ✓ Halihazırda kullanılmayan yan ürün hammadde miktarı ve bundan elde edilebilecek potansiyel balık unu ve yağı kaynağı göze çarpmaktadır.
- ✓ Elde edilebilecek potansiyel ekstra EPA ve DHA kaynağı çok önemlidir.
- ✓ Yan ürünlerden elde edilen balık unu ve balık yağı miktarında genel bir artış eğilimi ortaya çıkmıştır.
- ✓ Bütün balığın giderek daha fazla doğrudan insan tüketimine yöneleceği ve deniz içeriklerinin daha fazla yan ürünlerden elde edilmesi gerekeceği düşünülmektedir.

## 6. KAYNAKLAR

- Abbey, L., Glover-Amengor, M., Atikpo, MO., Atter, A. & Toppe, J. (2017). Nutrient content of fish powder from low value fish and fish by-products. *Food Science and Nutrition*, 5(3), 374-379. <https://doi.org/10.1002/fsn3.402>
- Abuine, R., Rathnayake, AU. & Byun, HG. (2019). Biological activity of peptides purified from fish skin hydrolysates. *Fisheries and Aquatic Sciences*, 22(1), 1-14.
- Aidos, I., van der Padt, A., Boom, RM. & Luten, JB. (2001). Upgrading of maatjes herring byproducts: production of crude fish oil. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49(8), 3697-3704.
- AOAC, (1990). Official Methods of Analysis of the Association of the Official Analysis Chemists (15th ed.). Washington, DC: Association of Official Analytical Chemists.
- AOCS, (1994). Official methods and recommended practices of the american oil chemists society. Champaign, IL: American Oil Chemistry Society.
- AOCS Official Method Ca 5a-40, (1997). Free fatty acids. In: Firestone, D.E. (Ed.), Official Methods and Recommended Practices of the American Oil Chemists' Society, fifthed. AOCS Press, Champaign, Illinois, USA.
- Aria, M. & Cuccurullo, C. (2017). bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. *Journal of informetrics*, 11(4), 959-975.
- Albendea, P., Tres, A., Rafecas, M., Vichi, S., Sala, R. & Guardiola, F. (2023). Effect of Feeding Acid Oils on European Seabass Fillet Lipid Composition, Oxidative Stability, Color, and Sensory Acceptance. *Aquaculture Nutrition*.
- Ali, A., Wei, S., Liu, Z., Fan, X., Sun, Q., Xia, Q., Liu, S., Hao, J. & Deng, C. (2021). Non-thermal processing technologies for the recovery of bioactive compounds from marine by-products. *Lwt*, 147, 111549.
- Althouse, PJ., Dinakar, P. & Kilara, A. (1995). Screening of proteolytic enzymes to enhance foaming of whey protein isolates. *Journal of food science*, 60(5), 1110-1112.
- Al-Hilphy, AR., Al-Shatty, SM., Al-Mtury, AAA. & Gavahian, M. (2020). Infrared-assisted oil extraction for valorization of carp viscera: Effects of process parameters, mathematical modeling, and process optimization. *Lwt*, 129, 109541.
- Ananey-Obiri, D., Matthews, LG. & Tahergorabi, R. (2019). Proteins from fish processing by-products. In Proteins: Sustainable source, processing and applications (pp. 163-191). Academic Press.
- Ang, TN., Udugama, IA., Mansouri, SS., Taylor, M., Burrell, R., Young, BR. & Baroutian, S. (2019). A techno-economic-societal assessment of recovery of waste volatile anaesthetics. *Separation and purification technology*, 226, 304-314.
- Araujo, J., Sica, P., Costa, C. & Márquez, MC. (2021). Enzymatic hydrolysis of fish waste as an alternative to produce high value-added products. *Waste and Biomass Valorization*, 12, 847-855.

- Arvanitoyannis, IS. & Kassaveti, A. (2008). Fish industry waste: treatments, environmental impacts, current and potential uses. *International journal of food science & technology*, 43(4), 726-745.
- Ashraf, SA., Adnan, M., Patel, M., Siddiqui, AJ., Sachidanandan, M., Snoussi, M. & Hadi, S. (2020). Fish-based bioactives as potent nutraceuticals: Exploring the therapeutic perspective of sustainable food from the sea. *Marine drugs*, 18(5), 265.
- Akhtar, AA., Hossain Zamal, HZ., Naser, MN., Islam, MS., Bhuyan, MS. & Fakruddin, M. (2017). Production of microbial silages from animal wastes as fishmeal replacer in the aquaculture diets.
- Babajafari, S., Moosavi-Nasab, M., Nasrpour, S., Golmakani, MT. & Nikaein, F. (2017). Comparison of enzymatic hydrolysis and chemical methods for oil extraction from rainbow trout (*Oncorhynchus Mykiss*) waste and its influence on omega 3 fatty acid profile. *International Journal of Nutrition Sciences*, 2, 58–65.
- Baş, C. (2010). Cevap Yüzeyi Tasarımları ve Sinir Ağları Yaklaşımı. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İstatistik Ana Bilim Dalı, Doktora Tezi.
- Batista, I., Ramos, C., Mendonça, R. & Nunes, ML. (2009). Enzymatic hydrolysis of sardine (*Sardina pilchardus*) by-products and lipid recovery. *Journal of aquatic food product technology*, 18(1-2), 120-134.
- Beheshti Foroutani, M., Parrish, CC., Wells, J., Taylor, RG., Rise, ML. & Shahidi, F. (2018). Minimizing marine ingredients in diets of farmed Atlantic salmon (*Salmo salar*): Effects on growth performance and muscle lipid and fatty acid composition. *PloS one*, 13(9), e0198538.
- Bell, JG., McEvoy, J., Tocher, DR. & Sargent, JR. (2000). Depletion of  $\alpha$ -tocopherol and astaxanthin in Atlantic salmon (*Salmo salar*) affects autoxidative defense and fatty acid metabolism. *The Journal of nutrition*, 130(7), 1800-1808.
- Benjakul, S. & Morrissey, MT. (1997). Protein hydrolysates from Pacific whiting solidwastes. *Journal of Agricultural ve Food Chemistry*, 45(9): 3423–3430.
- Bimbo, AP. (1998). Guidelines for characterizing food-grade fish oils. *Inform*, 9(5).
- Bimbo, AP. (1990) Fish Meal and Oil. In *The Seafood Industry*; Martin, R.E., Flick, G.J., Eds.; Springer: Boston, MA, USA.
- Bimbo, AP. (2013). Sources of omega-3 fatty acids. In *Food enrichment with omega-3 fatty acids* (pp. 27-107). Woodhead Publishing.
- Bonilla-Méndez, JR. & Hoyos-Concha, JL. (2018). Methods of extraction refining and concentration of fish oil as a source of omega-3 fatty acids. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 19(3), 645-668.
- Boyd, C.E., McNevin, AA. & Davis, RP. (2022). The contribution of fisheries and aquaculture to the global protein supply. *Food security*, 14(3), 805-827.
- Byelashov, OA., Sinclair, AJ. & Kaur, G. (2015). Dietary sources, current intakes, and nutritional role of omega-3 docosapentaenoic acid. *Lipid technology*, 27(4), 79-82.

- Calder, PC. (2014). Very long chain omega-3 (n-3) fatty acids and human health. *European journal of lipid science and technology*, 116(10), 1280-1300.
- Caruso, G. (2016). Fishery wastes and by-products: A resource to be valorised. *Journal of Fisheries Sciences.com* 10 (1):0.
- Ching-Velasquez, J., Fernández-Lafuente, R., Rodrigues, RC., Plata, V., Rosales-Quintero, A., Torrestiana-Sánchez, B. & Tacias-Pascacio, VG. (2020). Production and characterization of biodiesel from oil of fish waste by enzymatic catalysis. *Renewable Energy*, 153, 1346-1354.
- Cho, SM., Kwak, KS., Park, DC., Gu, YS., Ji, CI., Jang, DH., Lee, YB. & Kim, S. (2004). Processing optimization and functional properties of gelatin from shark (*Isurus oxyrinchus*) cartilage. *Food hydrocolloids*, 18(4), 573-579.
- Ciriminna, R., Meneguzzo, F., Delisi, R. & Pagliaro, M. (2017). Enhancing and improving the extraction of omega-3 from fish oil. *Sustainable chemistry and pharmacy*, 5, 54-59.
- Codex Alimentarius Commission. (2017). Standards for fish oils. Codex Alimentarius Commission: Rome, Italy.
- Commission, E. A Sustainable Bioeconomy for Europe. (2018). Strengthening the Connection between Economy, Society and the Environment. Available online: [https://ec.europa.eu/research/bioeconomy/pdf/ec\\_bioeconomy\\_strategy\\_2018.pdf](https://ec.europa.eu/research/bioeconomy/pdf/ec_bioeconomy_strategy_2018.pdf) (accessed on 17 September 2020).
- Coppola, D., Lauritano, C., Palma Esposito, F., Riccio, G., Rizzo, C. & de Pascale, D. (2021). Fish waste: From problem to valuable resource. *Marine drugs*, 19(2), 116.
- Cooney, R., de Sousa, DB., Fernández-Ríos, A., Mellett, S., Rowan, N., Morse, AP., Hayes, M., Laso, J., Regueiro, L., Wan AHL. & Clifford, E. (2023). A circular economy framework for seafood waste valorisation to meet challenges and opportunities for intensive production and sustainability. *Journal of Cleaner Production*, 392, 136283.
- Cutajar, N., Lia, F., Deidun, A., Galdies, J., Arizza, V. & Zammit Mangion, M. (2022). Turning Waste into A Resource: Isolation and Characterization of High-Quality Collagen and Oils from Atlantic Bluefin Tuna Discards. *Applied Sciences*, 12(3), 1542.
- D'Adamo, I. (2019). Adopting a circular economy: Current practices and future perspectives. *Social Sciences*, 8(12), 328.
- D'Ambra, I. & Lauritano, C. (2020). A review of toxins from Cnidaria. *Marine drugs*, 18(10), 507.
- David, LO., Nwulu, NI., Aigbavboa, CO. & Adepoju, OO. (2022). Integrating fourth industrial revolution (4IR) technologies into the water, energy & food nexus for sustainable security: A bibliometric analysis. *Journal of Cleaner Production*, 363, 132522.
- Dekkers, E., Raghavan, S., Kristinsson, HG. & Marshall, MR. (2011). Oxidative stability of mahi mahi red muscle dipped in tilapia protein hydrolysates. *Food Chemistry*, 124(2), 640-645.

- de la Caba, K., Guerrero, P., Trung, TS., Cruz-Romero, M., Kerry, JP., Fluhr, J., Maurer, M., Kruijssen, F., Albalat, A., Bunting, S., Burt, S., Little, D. & Newton, R. (2019). From seafood waste to active seafood packaging: An emerging opportunity of the circular economy. *Journal of cleaner production*, 208, 86-98.
- de La Fuente, B., Tornos, A., Príncipe, A., Lorenzo, JM., Pateiro, M., Berrada, H., Barba, FJ., Ruiz, MJ. & Martí-Quijal, FJ. (2020). Scaling-up processes: Patents and commercial applications. In *Advances in food and nutrition research* (Vol. 92, pp. 187-223). Academic Press.
- Detkamhaeng, N., Worawattanamateekul, W. & Hinsui, J. (2016). Production of protein hydrolysate from yellowfin (*Thunnus albacares*) and skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) viscera.
- Diniz, FM. & Martin, AM. (1997). Effects of the extent of enzymatic hydrolysis on functional properties of shark protein hydrolysate. *LWT-food Science and Technology*, 30(3), 266-272.
- Di Vaio, A., Hasan, S., Palladino, R., & Hassan, R. (2023). The transition towards circular economy and waste within accounting and accountability models: A systematic literature review and conceptual framework. *Environment, development and sustainability*, 25(1), 734-810.
- Donnarumma, D., La Tella, R., Vento, F., Salerno, TMG., Micalizzi, G., Rigano, F. & Mondello, L. (2021). Evaluation of the level of toxic contaminants and essential molecules in the context of the re-use of tuna fishery industry by-products. *Food Analytical Methods*, 14(10), 2161-2174.
- Doucet, D., Gauthier, SF., Otter, DE. & Foegeding, EA. (2003). Enzyme-induced gelation of extensively hydrolyzed whey proteins by alcalase: comparison with the plastein reaction and characterization of interactions. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(20), 6036-6042.
- Durmuş, M. (2018). Fish oil for human health: omega-3 fatty acid profiles of marine seafood species. *Food Science and Technology*, 39, 454-461.
- European Food Safety Authority (EFSA). (2009). Labelling reference intake values for n-3 and n-6 polyunsaturated fatty acids. *EFSA Journal*, 7(7), 1176..
- Esakkiraj, P., Rajkumarbharathi, M., Palavesam, A. & Immanuel, G. (2010). Lipase production by *Staphylococcus epidermidis* CMST-Pi 1 isolated from the gut of shrimp *Penaeus indicus*. *Annals of microbiology*, 60, 37-42.
- Esposito, M., Tse, T. & Soufani, K. (2018). Introducing a circular economy: New thinking with new managerial and policy implications. *California Management Review*, 60(3), 5-19.
- European Commission Regulation (EC). (2006). Setting maximum levels for certain contaminants in food stuffs, No 1881.
- El-Rahman, A., Mahmoud, N., Badawy, AEK., & Younis, S. (2018). Extraction of fish oil from fish viscera. *Egyptian Journal of Chemistry*, 61(2), 225-235.



- Esteban, MB., Garcia, AJ., Ramos, P. & Marquez, MC. (2007). Evaluation of fruit-vegetable and fish wastes as alternative feedstuffs in pig diets. *Waste Management*, 27, 193-200.
- European Commission, Directorate-General for Environment. (2020) Investing in the circular economy: a blueprint for a green recovery. Publications Office. <https://doi.org/10.2779/48431>
- Fadeeva, Z. & Van Berkel, R. (2023). Towards circular economy of food systems: an explorative appraisal of opportunities in fish, seafood value chains. In *Sustainable Food Value Chain Development: Perspectives from Developing and Emerging Economies* (pp. 61-86). Singapore: Springer Nature Singapore.
- Fan, W., Tan, X., Xu, X., Li, G., Wang, Z. & Du, M. (2019). Relationship between enzyme, peptides, amino acids, ion composition, and bitterness of the hydrolysates of Alaska pollock frame. *Journal of Food Biochemistry*, 43(4), e12801.
- FAO, (1990). Energy and protein requirements Report of joint FAO/WHO/ UNU Expert Consultation Technical Report (Vol. 724, pp. 116-129). FAO/WHO and United Nations University, Geneva, Series. Cited 30 March 2022. [www.fao.org/flw-in-fish-valuechains/en](http://www.fao.org/flw-in-fish-valuechains/en)
- FAO, (2010). Fats and fatty acids in human nutrition. Report of an expert consultation, 10-14 November 2008, Geneva.
- FAO, (2014). The state of world fisheries and aquaculture opportunities and challenges. Food and Agriculture Organization of the United Nations. 223 s.
- FAO, (2016). Fish meal and Fish oil. Commodity Statistics Update. Rome, Italy.
- FAO, (2017). Committee on fisheries, sub-committee on fish trade, Sixteenth Session Busan, Republic of Korea, 4-8 September 2017, Reduction of Fish Food Loss and Waste.
- FAO, (2018). The State of World Fisheries and Aquaculture 2018 (SOFIA): meeting the sustainable development goals.
- FAO, (2020a). The state of world fisheries and aquaculture 2020. Sustainability in action, 244. Rome, Italy. doi: 10.4060/ca9229en.
- FAO, (2020b). Food loss and waste in fish value chains. In: FAO. Rome. Cited 30 March 2022. [www.fao.org/flw-in-fish-valuechains/en](http://www.fao.org/flw-in-fish-valuechains/en)
- FAO, (2022) The state of world fisheries and aquaculture 2022. Towards Blue Transformation. FAO, Rome. <https://doi.org/10.4060/cc0461en>
- Feng, J. & Xiong, YL. (2003). Interaction and functionality of mixed myofibrillar and enzyme-hydrolyzed soy proteins. *Journal of Food Science*, 68(3), 803-809.
- Finco, AMDO., Mamani, LDG., Carvalho, JCD., de Melo Pereira, GV., Thomaz-Soccol, V. & Soccol, CR. (2017). Technological trends and market perspectives for production of microbial oils rich in omega-3. *Critical reviews in biotechnology*, 37(5), 656-671.

- Fountoulaki, E., Alexis, MN., Nengas, I. & Venou, B. (2005). Effect of diet composition on nutrient digestibility and digestive enzyme levels of gilthead sea bream (*Sparus aurata L.*). *Aquaculture Research*, 36(13), 1243-1251.
- Gamsız, K., Korkut, AY. & Kop, A. (2019). Comparison of fatty acid compositions of commercial fish and fish by-products oils used in fish feed industry in Turkey. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 7(11), 1941-1946.
- Gani, R., Bałdyga, J., Biscans, B., Brunazzi, E., Charpentier, JC., Drioli, E., Feise, H., Furlong, A., Van Geem, KM., de Hemptinne, JC., ten Kate AJB., Kontogeorgis, PM., Manenti, F., Marin, GB., Mansouri, SS., Piccione, PM., Povoas, A., Rodrigo, MA., Sarup, B., Sorensen, E. & Woodley, JM. (2020). A multi-layered view of chemical and biochemical engineering. *Chemical Engineering Research and Design*, 155, A133-A145.
- Gajanan, PG., Elavarasan, K. & Shamasundar, BA. (2016). Bioactive and functional properties of protein hydrolysates from fish frame processing waste using plant proteases. *Environmental Science and Pollution Research*, 23, 24901-24911.
- Gao, R., Yu, Q., Shen, Y., Chu, Q., Chen, G., Fen, S., Yang, M., Yuan, Li., McClements, DJ. & Sun, Q. (2021). Production, bioactive properties, and potential applications of fish protein hydrolysates: Developments and challenges. *Trends in Food Science & Technology*, 110, 687-699.
- Ghaly, AE., Ramakrishnan, VV., Brooks, MS., Budge, SM. & Dave, D. (2013). Fish processing wastes as a potential source of proteins. *Amino acids and oils: A critical review. Journal of Microbial & Biochemical Technology*, 5(4), 107-129.
- Gildberg, A. (1993). Enzymic processing of marine raw materials. *Process Biochemistry*, 28(1), 1-15.
- Granito, RN., Renno, ACM., Yamamura, H., de Almeida, MC., Ruiz, PLM. & Ribeiro, DA. (2018). Hydroxyapatite from fish for bone tissue engineering: A promising approach. *International journal of molecular and cellular medicine*, 7(2), 80.
- Gui, M., Gao, L., Rao, L., Li, P., Zhang, Y., Han, JW. & Li, J. (2022). Bioactive peptides identified from enzymatic hydrolysates of sturgeon skin. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 102(5), 1948-1957.
- Guillen, J., Holmes, SJ., Carvalho, N., Casey, J., Dörner, H., Gibin, M., Mannini, A., Vasilakopoulos, P. & Zanzi, A. (2018). A review of the European Union landing obligation focusing on its implications for fisheries and the environment. *Sustainability*, 10(4), 900.
- Ghisellini, P., Cialani, C. & Ulgiati, S. (2016). A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. *Journal of Cleaner production*, 114, 11-32.
- Ghisellini, P., Ncube, A., Casazza, M. & Passaro, R. (2022). Toward circular and socially just urban mining in global societies and cities: Present state and future perspectives. *Frontiers in Sustainable Cities*, 4, 930061.

- Ghorbanzade, T., Jafari, SM., Akhavan, S. & Hadavi, R. (2017). Nano-encapsulation of fish oil in nano-liposomes and its application in fortification of yogurt. *Food chemistry*, 216, 146-152.
- Ghosh, SK., Reddy, R., Xavier, KM., Balange, AK., Kumar, HS. & Nayak, BB. (2023). Comparative Evaluation of Microbial Ensilaging of Fish, Vegetable and Fish-Vegetable Composite Wastes. *Waste and Biomass Valorization*, 14(5), 1657-1666.
- Global Seafood Alliance. (2022). An introduction to circular economy principles in aquaculture. Retrieved from <https://www.globalseafood.org/advocate/an-introduction-to-circular-economy-principles-in-aquaculture/>
- Guérard, F., Dufosse, L., de La Broise, D. & Binet, A. (2001). Enzymatic hydrolysis of proteins from yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) wastes using Alcalase. *Journal of molecular catalysis B: Enzymatic*, 11(4-6), 1051-1059.
- Guillaume, J., Kaushik, S., Bergot, P. & Metailler, R. (2001). Nutrition and feeding of fish and crustaceans. Springer Science & Business Media.
- Gulzar, S. & Benjakul, S. (2020). Impact of pulsed electric field pretreatment on yield and quality of lipid extracted from cephalothorax of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) by ultrasound-assisted process. *International journal of food science & technology*, 55(2), 619-630.
- Hadnađev, M., Kalić, M., Krstonošić, V., Jovanović-Lješkovčić, N., Erceg, T., Škrobot, D. & Dapčević-Hadnađev, T. (2023). Fortification of chocolate with microencapsulated fish oil: Effect of protein wall material on physicochemical properties of microcapsules and chocolate matrix. *Food Chemistry: X*, 17, 100583.
- Hamazaki, K., Hamazaki, T. & Inadera, H. (2013). Abnormalities in the fatty acid composition of the postmortem entorhinal cortex of patients with schizophrenia, bipolar disorder, and major depressive disorder. *Psychiatry research*, 210(1), 346-350.
- Han, JW., Zuo, M., Zhu, WY., Zuo, JH., Lü, EL. & Yang, XT. (2021). A comprehensive review of cold chain logistics for fresh agricultural products: Current status, challenges, and future trends. *Trends in Food Science & Technology*, 109, 536-551.
- Hardy, RW. & Tacon, AG. (2002). Fish meal: historical uses, production trends and future outlook for sustainable supplies. *Responsible marine aquaculture*, 311-325.
- Harikrishna, N., Mahalakshmi, S., Kiran Kumar, K. & Reddy, G. (2017). Fish scales as potential substrate for production of alkaline protease and amino acid rich aqua hydrolyzate by *Bacillus altitudinis* GVC11. *Indian journal of microbiology*, 57, 339-343.
- Harris, WS., Miller, M., Tighe, AP., Davidson, MH. & Schaefer, EJ. (2008). Omega-3 fatty acids and coronary heart disease risk: clinical and mechanistic perspectives. *Atherosclerosis*, 197(1), 12-24.

- Hasselberg, AE., Aakre, I., Scholtens, J., Overå, R., Kolding, J., Bank, MS., Atter, A. & Kjelleveid, M. (2020). Fish for food and nutrition security in Ghana: Challenges and opportunities. *Global food security*, 26, 100380.
- Hassoun, A., Rustad, T. & Bekhit, AEDA. (2022a). Bioconversion of marine by-products into edible protein. In *Alternative proteins* (pp. 297-327). CRC Press.
- Hassoun, A., Aït-Kaddour, A., Abu-Mahfouz, AM., Rathod, NB., Bader, F., Barba, FJ., Biancolillo, A., Crobotova, J., Galanakis, CM., Jambrak, AR., Lorenzo, JM., Mage, I., Ozogul, F. & Regenstein, J. (2023). The fourth industrial revolution in the food industry—Part I: Industry 4.0 technologies. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 63(23), 6547-6563.
- Hassoun, A., Bekhit, AED., Jambrak, AR., Regenstein, JM., Chemat, F., Morton, JD., Gudjonsdottir, M., Carpena, M., Prieto, MA., Varela, P., Arshad, RN., Aadil, RM., Bhait, Z. & Ueland, Ø. (2024). The fourth industrial revolution in the food industry—part II: Emerging food trends. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 64(2), 407-437.
- Hassoun, A., Crobotova, J., Trif, M., Rusu, AV., Bobiș, O., Nayik, GA., Jagdale, YD., Saeed, F., Afzaal, M., Mostashari, P., Khaneghah, AM. & Regenstein, JM. (2022). Consumer acceptance of new food trends resulting from the fourth industrial revolution technologies: A narrative review of literature and future perspectives. *Frontiers in nutrition*, 9, 972154.
- Hassoun, A., Prieto, MA., Carpena, M., Bouzembrak, Y., Marvin, HJ., Pallarés, N., Barba, FJ., Bangar, SP., Chaudhary, V., Ibrahim, S. & Bono, G. (2022). Exploring the role of green and Industry 4.0 technologies in achieving sustainable development goals in food sectors. *Food Research International*, 162, 112068..
- Hassoun, A., Anusha Siddiqui, S., Smaoui, S., Ucak, İ., Arshad, RN., Bhat, ZF., Bhat, HF., Carpena, M., Prieto, MA., Ait-Kaddour, A., Pereira, JAM., Zacometti, C., Tata, A., Ibrahim, SA., Ozogul, F. & Camara, JS. (2024). Emerging technological advances in improving the safety of muscle foods: framing in the context of the food revolution 4.0. *Food reviews international*, 40(1), 37-78.
- Hassoun, A., Siddiqui, SA., Smaoui, S., Ucak, İ., Arshad, RN., Garcia-Oliveira, P., Prieto, MA., Ait-Kaddour, A., Perestrelo, R., Camara, JS. & Bono, G. (2022). Seafood processing, preservation, and analytical techniques in the age of Industry 4.0. *Applied Sciences*, 12(3), 1703.
- Hassoun, A., Jagtap, S., Garcia-Garcia, G., Trollman, H., Pateiro, M., Lorenzo, JM., Trif, M., Rusu, AV., Aadil, RM., Simat, V., Crobotova, J. & Câmara, JS. (2023). Food quality 4.0: From traditional approaches to digitalized automated analysis. *Journal of Food Engineering*, 337, 111216.
- Haq, M., Ahmed, R., Cho, YJ. & Chun, BS. (2017). Quality properties and biopotentiality of edible oils from Atlantic salmon by-products extracted by supercritical carbon dioxide and conventional methods. *Waste and Biomass Valorization*, 8, 1953-1967.
- Hemker, AK., Nguyen, LT., Karwe, M. & Salvi, D. (2020). Effects of pressure-assisted enzymatic hydrolysis on functional and bioactive properties of tilapia (*Oreochromis niloticus*) by-product protein hydrolysates. *Lwt*, 122, 109003.

- Horn, S.J., Aspino, S.I. & Eijsink, V.G.H. (2005). Growth of *Lactobacillus plantarum* in media containing hydrolysates of fish viscera. *Journal of Applied Microbiology*, 99(5), 1082-1089.
- Hou, E.J., Huang, C.S., Lee, Y.C. & Chu, H.T. (2022). Upcycled aquaculture waste as textile ingredient for promoting circular economy. *Sustainable Materials and Technologies*, 31, e00336.
- Hoyle, N.T. & Merritt, J.H. (1994). Quality of Fish Protein Hydrolysates from Herring (*Clupea harengus*). *Journal of Food Science*, 59 (1): 76-79.
- Ichihara, K.I., Shibahara, A., Yamamoto, K. & Nakayama, T. (1996). An improved method for rapid analysis of the fatty acids of glycerolipids. *Lipids*, 31(5), 535-539.
- IFFO (Marine Ingredients Organisation), (2021). By-product. In: IFFO. Cited 30 March 2022. [www.iffo.com/product](http://www.iffo.com/product) January 2024
- IFFO (Marine Ingredients Organisation), (2024). The sources of marine ingredients: Whole fish & by-products. In: IFFO. <https://www.iffo.com/sources-marine-ingredients-whole-fish-products> January 2024
- Ilyasoglu, H. & El, S.N. (2014). Nanoencapsulation of EPA/DHA with sodium caseinate–gum arabic complex and its usage in the enrichment of fruit juice. *LWT-Food Science and Technology*, 56(2), 461-468.
- Inguglia, L., Chiaramonte, M., Di Stefano, V., Schillaci, D., Cammilleri, G., Pantano, L., Mauro, M., Vazzana, M., Ferrantelli, V., Nicolosi, R. & Arizza, V. (2020). Salmo salar fish waste oil: Fatty acids composition and antibacterial activity. *PeerJ*, 8, e9299.
- Iberahim, N.I., Hamzah, Z., Yin, Y.J. & Sohaimi, K.S.A. (2018). Extraction and characterization of Omega-3 Fatty acid from catfish using enzymatic hydrolysis technique. *MATEC Web of Conferences*, 187, 01005. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201818701005>
- Jackson, A. & Newton, R.W. (2016). Project to model the use of fisheries by-products in the production of marine ingredients with special reference to omega-3 fatty acids EPA and DHA. *A report by IFFO and the University of Stirling*, 12.
- Jamshidi, A., Cao, H., Xiao, J. & Simal-Gandara, J. (2020). Advantages of techniques to fortify food products with the benefits of fish oil. *Food Research International*, 137, 109353.
- Joseph, T.C., Remya, S., Renuka, V. & Jha, A.K. (2019). Fishery industry waste: A resource to be valorised. Veraval Research Centre of ICAR-CIFT, Veraval, Gujarat.
- Kandyliari, A., Mallouchos, A., Papandroulakis, N., Golla, J.P., Lam, T.T., Sakellari, A., Karavoltos, S., Vasiliou, V. & Kapsokefalou, M. (2020). Nutrient composition and fatty acid and protein profiles of selected fish by-products. *Foods*, 9(2), 190.
- Kang, Z., Zhao, Y., Chen, L., Guo, Y., Mu, Q. & Wang, S. (2022). Advances in machine learning and hyperspectral imaging in the food supply chain. *Food Engineering Reviews*, 14(4), 596-616.

- Karkal, SS. & Kudre, TG. (2020). Valorization of fish discards for the sustainable production of renewable fuels. *Journal of cleaner production*, 275, 122985.
- Karkal, SS. & Kudre, TG. (2023). Valorization of marine fish waste biomass and *Gallus gallus* eggshells as feedstock and catalyst for biodiesel production. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 20(7), 7993-8016.
- Kerton, FM., Liu, Y., Omari, KW. & Hawboldt, K. (2013). Green chemistry and the ocean-based biorefinery. *Green Chemistry*, 15(4), 860-871.
- Khoddami, A., Ariffin, AA., Bakar, J. & Ghazali, HM. (2012). Quality and fatty acid profile of the oil extracted from fish waste (head, intestine and liver) (*Euthynnus affinis*). *African Journal of Biotechnology*, 11(7), 1683-1689.
- Kim, SK. & Venkatesan, J. (2014). Introduction to seafood science. *Seafood Science*, 16(19.8), 1.
- Klompong, V., Benjakul, S., Yachai, M., Visessanguan, W., Shahidi, F. & Hayes, KD. (2009). Amino acid composition and antioxidant and peptides from protein hydrolysates of yellow stripetrevally (*Selaroides leptolepis*). *Journal of Food Science*, 74: 126–133.
- Koç, S. (2016). Hamsi (*Engraulis encrasicolus*) işleme atıklarından elde edilen protein hidrolizatlarının besleyici, fonksiyonel ve biyoaktif özelliklerinin araştırılması, Doktora Tezi, Ç.O.M.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, Çanakkale.
- Kosman, VM., Demchenko, DV., Pozharitskaya, ON., Shikov, AN., Selesneva, AI., Makarov, VG. & Makarova, MN. (2016). Cardioprotective effect of new functional food containing salmon oil with motherwort oil extract. *Voprosy Pitaniia*, 86(1), 58-63.
- Korkmaz, K. (2018). Ticari enzimler kullanılarak farklı balık türü atıklarından hidrolizat üretimi ve kalitesinin belirlenmesi. Doktora Tezi, Ordu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkçılık Teknolojisi Anabilim Dalı, Ordu
- Korkmaz, K. & Tokur, B. (2019). Proximate composition of three different fish (trout, anchovy and whiting) waste during catching season *Turkish Journal of Maritime and Marine Sciences*, 5(2), 133-140.
- Korkmaz, K. & Tokur, B. (2020). Effect of different time and temperature on fatty acid composition of trout waste hydrolyzed by alkalı protease enzyme. *Turkish Journal of Maritime and Marine Sciences*, 6(2), 239-251.
- Korkmaz, K., Tokur, B. & Uçar, Y. (2021). Enzimatik hidroliz yöntemi kullanılarak balık işleme atıklarından balık protein hidrolizatı üretimi. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 31(2), 502-513.
- Korkmaz, K. & Tokur, B. (2022a). Investigation of the quality parameters of hydrolysates obtained from fish by-products using response surface methodology. *Journal of Food Processing and Preservation*, 46(3), e16296.
- Korkmaz, K. & Tokur, B. (2022b). Optimization of hydrolysis conditions for the production of protein hydrolysates from fish wastes using response surface methodology. *Food Bioscience*, 45(2),1-8..

- Korkmaz, K. (2022c) Comparison of Israeli Carp Meat, Scales, Visceral Organs and Bone Structures in Terms of Nutritional Content, VI. International Anatolian Agriculture, Food, Environment and Biology Congress (Targid 2022), 7-9 Ekim, Kütahya/Türkiye
- Kristinsson, HG. & Rasco, BA. (2000). Biochemical and functional properties of Atlantic salmon (*Salmo salar*) muscle proteins hydrolyzed with various alkaline proteases. *Journal of agricultural and food chemistry*, 48(3), 657-666.
- Kudre, TG., Bhaskar, N. & Sakhare, PZ. (2017). Optimization and characterization of biodiesel production from rohu (*Labeo rohita*) processing waste. *Renewable Energy*, 113, 1408-1418.
- Kuipers, BJ., van Koningsveld, GA., Alting, AC., Driehuis, F., Gruppen, H. & Voragen, AG. (2005). Enzymatic hydrolysis as a means of expanding the cold gelation conditions of soy proteins. *Journal of agricultural and food chemistry*, 53(4), 1031-1038.
- Kurniawan, TA., Meidiana, C., Othman, MHD., Goh, HH. & Chew, KW. (2023). Strengthening waste recycling industry in Malang (Indonesia): Lessons from waste management in the era of Industry 4.0. *Journal of Cleaner Production*, 382, 135296.
- Laino, CH., Garcia, P., Podestá, MF., Höcht, C., Slobodianik, N. & Reinés, A. (2014). Fluoxetine potentiation of omega-3 fatty acid antidepressant effect: evaluating pharmacokinetic and brain fatty acid-related aspects in rodents. *Journal of pharmaceutical sciences*, 103(10), 3316-3325.
- Liaset, B., Nortvedt, R., Lied, E. & Espe, M. (2002). Studies on the nitrogen recovery in enzymic hydrolysis of Atlantic salmon (*Salmo salar*, L.) frames by Protamex™ protease. *Process Biochemistry*, 37(11), 1263-1269.
- Lin, SB., Chiang, WD., Cordle, CT. & Thomas, RL. (1997). Functional and immunological properties of casein hydrolysate produced from a two-stage membrane system. *Journal of food science*, 62(3), 480-483.
- Linder, M., Fanni, J. & Parmentier, M. (2005). Proteolytic extraction of salmon oil and PUFA concentration by lipases. *Marine Biotechnology*, 7, 70-76.
- Lobine, D., Rengasamy, KR. & Mahomoodally, MF. (2022). Functional foods and bioactive ingredients harnessed from the ocean: Current status and future perspectives. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 62(21), 5794-5823.
- Lowry, OH., Rosebrough, NJ., Farr, AL. & Randall, RJ. (1951). Protein measurement with the Folin phenol reagent. *Journal Biology Chemistry*, 193(1), 265-275.
- Martínez-Vázquez, RM., Milán-García, J. & de Pablo Valenciano, J. (2021). Challenges of the Blue Economy: evidence and research trends. *Environmental Sciences Europe*, 33(1), 61.
- Martins, GI., Secco, D., Rosa, HA., Bariccatti, RA., Dolci, BD., de Souza, SNM., Santos, RF., da Silva, TRB. & Gurgacz, F. (2015). Physical and chemical properties of fish oil biodiesel produced in Brazil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 42, 154-157

- Mgbechidinma, CL., Zheng, G., Baguya, EB., Zhou, H., Okon, SU. & Zhang, C. (2023). Fatty acid composition and nutritional analysis of waste crude fish oil obtained by optimized milder extraction methods. *Environmental Engineering Research*, 28(2).
- De Marzo, D., Bozzo, G., Ceci, E., Losacco, C., Dimuccio, MM., Khan, RU., Laudadio, V. & Tufarelli, V. (2023). Enrichment of dairy-type lamb diet with microencapsulated omega-3 fish oil: Effects on growth, carcass quality and meat fatty acids. *Life*, 13(2), 275.
- Monsiváis-Alonso, R., Mansouri, SS. & Román-Martínez, A. (2020). Life cycle assessment of intensified processes towards circular economy: Omega-3 production from waste fish oil. *Chemical Engineering and Processing-Process Intensification*, 158, 108171.
- Montero, D., Robaina, L., Caballero, MJ., Gines, R. & Izquierdo, MS. (2005). Growth, feed utilization and flesh quality of European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) fed diets containing vegetable oils: A time-course study on the effect of a re-feeding period with a 100% fish oil diet. *Aquaculture*, 248(1-4), 121-134.
- Morales-Medina, R., Tamm, F., Guadix, AM., Guadix, EM. & Drusch, S. (2016). Functional and antioxidant properties of hydrolysates of sardine (*S. pilchardus*) and horse mackerel (*T. mediterraneus*) for the microencapsulation of fish oil by spray-drying. *Food chemistry*, 194, 1208-1216.
- Morseletto, P. (2020). Targets for a circular economy. *Resources, conservation and recycling*, 153, 104553.
- Mo, WY., Man, YB. & Wong, MH. (2018). Use of food waste, fish waste and food processing waste for China's aquaculture industry: Needs and challenge. *Science of the Total Environment*, 613, 635-643.
- Mohan, SV., Hemalatha, M., Chakraborty, D., Chatterjee, S., Ranadheer, P. & Kona, R. (2020). Algal biorefinery models with self-sustainable closed loop approach: Trends and prospective for blue-bioeconomy. *Bioresource technology*, 295, 122128.
- Muhammed, MA., Domendra, D., Muthukumar, SP., Sakhare, PZ. & Bhaskar, N. (2015). Effects of fermentatively recovered fish waste lipids on the growth and composition of broiler meat. *British Poultry Science*, 56(1), 79-87.
- Mutalipassi, M., Esposito, R., Ruocco, N., Viel, T., Costantini, M. & Zupo, V. (2021). Bioactive compounds of nutraceutical value from fishery and aquaculture discards. *Foods*, 10(7), 1495.
- Myers, RH. & Montgomery, DC. (2002). Response Surface Methodolgy Process ve Product Optimization Using Designed Experiments, John Wiley & Sons; Inc. New York.
- Nag, M., Lahiri, D., Dey, A., Sarkar, T., Pati, S., Joshi, S., Bunawan, H., Mohammed, A., Edinur, HA., Ghosh, S. & Ray, RR. (2022). Seafood discards: a potent source of enzymes and biomacromolecules with nutritional and nutraceutical significance. *Frontiers in Nutrition*, 9, 879929.



- Nakai, S., Li-Chan, E.C. & Dou, J. (2006). Experimental Design and Response-Surface. In *Handbook of food and bioprocess modeling techniques* (pp. 293-322). CRC Press.
- Nam, P.V., Van Hoa, N. & Trung, T.S. (2019). Properties of hydroxyapatites prepared from different fish bones: A comparative study. *Ceramics International*, 45(16), 20141-20147.
- Narendran, R., Frankle, W.G., Mason, N.S., Muldoon, M.F. & Moghaddam, B. (2012). Improved working memory but no effect on striatal vesicular monoamine transporter type 2 after omega-3 polyunsaturated fatty acid supplementation.
- Natarajan, S. & Ponnusamy, V. (2022). A Review on Fish Species Classification and Determination Using Machine Learning Algorithms. *Intelligent Sustainable Systems: Proceedings of ICISS 2022*, 643-656.
- Nazir, N., Diana, A. & Sayuti, K. (2017). Physicochemical and fatty acid profile of fish oil from head of tuna (*Thunnus albacares*) extracted from various extraction method. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 7(2), 709-715.
- Neter, J., Wassermann, W. & Whitmore, G.A. (1999). *Applied Statistics*, Allyn ve Bacon, New York.
- Nirmal, N.P., Santivarangkna, C., Rajput, M.S. & Benjakul, S. (2020). Trends in shrimp processing waste utilization: An industrial prospective. *Trends in Food Science & Technology*, 103, 20-35.
- Nirmal, N.P. & Maqsood, S. (2022). Seafood waste utilization: Isolation, characterization, functional and bio-active properties, and their application in food and nutrition. *Frontiers in Nutrition*, 9, 948624.
- Nirmal, N.P., Santivarangkna, C., Rajput, M.S., Benjakul, S. & Maqsood, S. (2022a). Valorization of fish byproducts: sources to end-product applications of bioactive protein hydrolysate. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, 21(2), 1803-1842.
- Nirmal, N.P., Santivarangkna, C., Rajput, M.S., Benjakul, S. & Maqsood, S. (2022b). Valorization of fish byproducts: sources to end-product applications of bioactive protein hydrolysate. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, 21(2), 1803-1842.
- OECD/FAO, (2022). *OECD-FAO agricultural outlook 2022-2031*. OECD, Paris
- Ojagh, S.M. & Hasani, S. (2018). Characteristics and oxidative stability of fish oil nano-liposomes and its application in functional bread. *Journal of Food Measurement and Characterization* 12 (2):1084–92. doi: 10.1007/s11694-018-9724-5.
- Olsen, R.L., Toppe, J. & Karunasagar, I. (2014). Challenges and realistic opportunities in the use of by-products from processing of fish and shellfish. *Trends in Food Science & Technology*, 36(2), 144-151.
- Ozogul, F., Cagalj, M., Šimat, V., Ozogul, Y., Tkaczewska, J., Hassoun, A., Ait Kaddour, A., Kuley, E., Rathod, N.B. & Phadke, G.G. (2021). Recent developments in valorisation of bioactive ingredients in discard/seafood processing by-products. *Trends in Food Science & Technology*, 116, 559-582.

- Özyurt, G., Şimşek, A., Etyemez, M. & Polat, A. (2013). Fatty acid composition and oxidative stability of fish oil products in Turkish retail market. *Journal of aquatic food product technology*, 22(3), 322-329.
- Özyurt, G., Özkütük, AS., Uçar, Y., Durmuş, M. & Özoğul, Y. (2018). Fatty acid composition and oxidative stability of oils recovered from acid silage and bacterial fermentation of fish (Sea bass–*Dicentrarchus labrax*) by-products. *International Journal of Food Science & Technology*, 53(5), 1255-1261.
- Peñarubia, Omar, (2021). Fish By-Products Utilization, Getting More Benefits from Fish Processing. FAO. Retrieved. <https://www.fao.org/flw-in-fish-value-chains/resources/articles/fish-by-products-utilization-getting-more-benefits-from-fish-processi ng/en/>.
- Perederic, OA., Mansouri, SS., Appel, S., Sarup, B., Gani, R., Woodley, JM. & Kontogeorgis, GM. (2020). Process analysis of shea butter solvent fractionation using a generic systematic approach. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 59(19), 9152-9164.
- Pike, IH. & Jackson, A. (2010). Fish oil: production and use now and in the future. *Lipid Technology*, 22(3), 59-61.
- Pozharitskaya, ON., Shikov, AN., Kosman, VM., Selezneva, AI., Urakova, IN., Makarova, MN. & Makarov, VG. (2015). Immunomodulatory and antioxidants properties of fixed combination of fish oil with plant extracts. *Synergy*, 2(3), 19-24.
- Pradeepkiran, JA. (2019). Aquaculture role in global food security with nutritional value: a review. *Translational Animal Science*, 3(2), 903-910.
- Prakash, S., Prabhakar, M., Sendilvelan, S., Venkatesh, R., Singh, S. & Bhaskar, K. (2019). Experimental studies on the performance and emission characteristics of an automobile engine fueled with fish oil methyl ester to reduce environmental pollution. *Energy Procedia*, 160, 412-419.
- Radziemska, M., Vaverková, MD., Adamcová, D., Brtnický, M. & Mazur, Z. (2019). Valorization of fish waste compost as a fertilizer for agricultural use. *Waste and Biomass Valorization*, 10, 2537-2545.
- Puja, N., Rout, RK., Kumar, TD., Joshi, J. & Sivaranjani, S. (2024). Technologies for management of fish waste & value addition. *Food and Humanity*, 100228.
- Purnamayati, L., Dito, BS., Dewi, EN. & Suharto, S. (2023). Optimization of tilapia (*Oreochromis niloticus*) viscera oil extraction using response surface methodology. *Food Research*, 7(3), 12-20.
- Ramakrishnan, V. (2013). Enzymatic Extraction of Proteins and Amino Acids From Whole Fish and Fish Waste.
- ReportlinkerGlobal (2023). Fish Oil Market, Size, Forecast 2023–2030, Industry Trends, Growth, Share, Outlook, Impact of Inflation, Opportunity Company Analysis, Report ID:6470987, Publisher:Renub Research. [https://www.reportlinker.com/p06470987/?utm\\_source=GNW](https://www.reportlinker.com/p06470987/?utm_source=GNW)

- Renuka, V., Zynudheen, AA., Panda, SK. & Ravishankar, CNR. (2016). Nutritional evaluation of processing discards from tiger tooth croaker, *Otolithes ruber*. *Food science and biotechnology*, 25(5), 1251-1257.
- Rigano, F., Arena, P., Mangraviti, D., Donnarumma, D., Dugo, P., Donato, P., Mondello, L. & Micalizzi, G. (2021). Identification of high-value generating molecules from the wastes of tuna fishery industry by liquid chromatography and gas chromatography hyphenated techniques with automated sample preparation. *Journal of Separation Science*, 44(8), 1571-1580.
- Rissanen, T., Voutilainen, S., Nyyssönen, K., Lakka, TA. & Salonen, JT. (2000). Fish oil-derived fatty acids, docosahexaenoic acid and docosapentaenoic acid, and the risk of acute coronary events: the Kuopio ischaemic heart disease risk factor study. *Circulation*, 102(22), 2677-2679.
- Rizliya, V. & Mendis, E. (2013). Biological, physical, and chemical properties of fish oil and industrial applications. In *Seafood processing by-products: Trends and applications* (pp. 285-313). New York, NY: Springer New York.
- Roobab, U., Fidalgo, LG., Arshad, RN., Khan, AW., Zeng, XA., Bhat, ZF., Bekhit, AEDA., Batool, Z. & Aadil, RM. (2022). High-pressure processing of fish and shellfish products: Safety, quality, and research prospects. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, 21(4), 3297-3325.
- Rowan, NJ. (2023). The role of digital technologies in supporting and improving fishery and aquaculture across the supply chain—Quo Vadis? *Aquaculture and Fisheries*, 8(4), 365-374.
- Rubio-Rodríguez, N., De Diego, SM., Beltrán, S., Jaime, I., Sanz, MT. & Rovira, J. (2012). Supercritical fluid extraction of fish oil from fish by-products: A comparison with other extraction methods. *Journal of Food Engineering*, 109(2), 238-248.
- Rubio-Rodríguez, N., Beltrán, S., Jaime, I., de Diego, SM., Sanz, MT. & Carballido, J. R. (2010). Production of omega-3 polyunsaturated fatty acid concentrates: A review. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 11(1), 1-12.
- Rigueto, CVT., de Oliveira, R., Gomes, KS., Alessandretti, I., Nazari, MT., Rosseto, M., Krein, DDC., Loss, RA. & Dettmer, A. (2023). From waste to value-added products: A review of opportunities for fish waste valorization. *Environmental Quality Management*, 33(1), 203-221.
- Rudin, DO. (1996). Omega 3 oils. *Penguin*.
- Rustad, T. (2003). Utilisation of Marine byProducts. *Journal of Environmental Agricultural Food Chemistry*. 2: 458-463.
- Sahena, F., Zaidul, ISM., Jinap, S., Saari, N., Jahurul, HA., Abbas, KA., & Norulaini, NA. (2009). PUFAs in fish: extraction, fractionation, importance in health. *Comprehensive Reviews in food science and food safety*, 8(2), 59-74.
- Saleh, NE., Wassef, EA., & Abdel-Mohsen, HH. (2022). Sustainable fish and seafood production and processing. In *Sustainable Fish Production and Processing* (pp. 259-291). Academic Press.

- Samaranayaka, AG. & Li-Chan, EC. (2008). Autolysis-assisted production of fish protein hydrolysates with antioxidant properties from Pacific hake (*Merluccius productus*). *Food chemistry*, 107(2), 768-776.
- Saranya, R., Tamil Selvi, A., Jayapriya, J. & Aravindhnan, R. (2020). Synthesis of fat liquor through fish waste valorization, characterization and applications in tannery industry. *Waste and Biomass Valorization*, 11, 6637-6647.
- Sathivel, S., Smiley, S., Prinyawiwatkul, W. & Bechtel, PJ. (2005). Functional and nutritional properties of red salmon (*Oncorhynchus nerka*) enzymatic hydrolysates. *Journal of Food Science*, 70(6), 401-406.
- Sellami, M., Rebah, FB., Gargouri, Y. & Miled, N. (2018). Lipid composition and antioxidant activity of liver oils from ray species living in Tunisian coasts. *Arabian Journal of Chemistry*, 11(2), 233-239.
- Shahidi, F. & Ambigaipalan, P. (2018). Omega-3 polyunsaturated fatty acids and their health benefits. *Annual review of food science and technology*, 9, 345-381.
- Shahidi, F., Varatharajan, V., Peng, H. & Senadheera, R. (2019). Utilization of marine by-products for the recovery of value-added products. *Journal of Food Bioactives*, 6.
- Sharma, YC., Singh, B. & Madhu, D. (2014). Fast synthesis of high quality biodiesel from 'waste fish oil' by single step transesterification, *Biofuel research journal*, 3, 78-80.
- Sharma, P., Vimal, A., Vishvakarma, R., Kumar, P., porto de Souza Vandenberghe, L., Gaur, VK. & Varjani, S. (2022). Deciphering the blackbox of omics approaches and artificial intelligence in food waste transformation and mitigation. *International Journal of Food Microbiology*, 372, 109691.
- Shavandi, A., Hou, Y., Carne, A., McConnell, M. & Bekhit, AEDA. (2019). Marine waste utilization as a source of functional and health compounds. *Advances in food and nutrition research*, 87, 187-254.
- Shirahigue, LD., Silva, MO., Camargo, AC., Sucasas, LFDA., Borghesi, R., Cabral, ISR., da Silva, LKS., Galvao, JA. & Oetterer, M. (2016). The feasibility of increasing lipid extraction in Tilapia (*Oreochromis niloticus*) waste by proteolysis. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 25(2), 265-271.
- Silk, D., Mazzali, B., Gargalo, CL., Pinelo, M., Udugama, IA. & Mansouri, SS. (2020). A decision-support framework for techno-economic-sustainability assessment of resource recovery alternatives. *Journal of cleaner production*, 266, 121854.
- Simpson, BK., Nayeri, G., Yaylayan, V. & Ashie, NA. (1998). Enzymatic hydrolysis of shrimp meat. *Food Chemistry*, 61(1/2): 131-138.
- Šližytė, R., Rustad, T. & Storrø, I. (2005). Enzymatic hydrolysis of cod (*Gadus morhua*) by-products: Optimization of yield and properties of lipid and protein fractions. *Process Biochemistry*, 40(12), 3680-3692.
- Šimat, V., Vlahović, J., Soldo, B., Skroza, D., Ljubenković, I. & Generalić Mekinić, I. (2019). Production and refinement of omega-3 rich oils from processing by-products of farmed fish species. *Foods*, 8(4), 125.

- Sindhu, R., Gnansounou, E., Rebello, S., Binod, P., Varjani, S., Thakur, IS., Nair, RB. & Pandey, A. (2019). Conversion of food and kitchen waste to value-added products. *Journal of environmental management*, 241, 619-630.
- Sugiyama, K. (1991). Hypotensive effect of fish protein hydrolysate. *Nippon Nogeikagaku Kaishi*, 65, 35-43.
- Stevens, JR., Newton, RW., Tlusty, M. & Little, DC. (2018). The rise of aquaculture by-products: Increasing food production, value, and sustainability through strategic utilisation. *Marine Policy*, 90, 115-124.
- Strobel, C., Jahreis, G. & Kuhnt, K. (2012) Survey of n-3 and n-6 polyunsaturated fatty acids in fish and fish products. *Lipids in Health and Disease*. 11: 144- 152.
- Sun, T., Xu, Z. & Prinyawiwatkul, W. (2006). FA composition of the oil extracted from farmed Atlantic salmon (*Salmo salar L.*) viscera. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 83, 615-619.
- Suseno, SH., Syari, C., Zakiyah, ER., Jacob, AM., Izaki, AF. & Saraswati, HS. (2014). Low temperature extraction and quality of oil from spotted sardinella (*Amblygaster sirm*) and goldstrip sardinella (*Sardinella gibbosa*). *World Journal of Fish and Marine Sciences*, 6(5), 435-440.
- Suseno, SH., Nurjanah, N., Yoshiara, Y. & Saraswati, S. (2015). Determination of extraction temperature and period of fish oil from tilapia (*Oreochromis niloticus*) by product using wet rendering method. *KnE Life Sciences*, 125-135.
- Suseno, SH., Rizkon, AK., Jacob, AM. & Listiana, D. (2021). Fish oil extraction as a by-product of Tilapia (*Oreochromis sp.*) fish processing with dry rendering method. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 679, No. 1, p. 012009). IOP Publishing.
- Suvanich, V., Ghaedian, R., Chanamai, R., Decker, EAEA. & McClements, DJ. (2006). Prediction of proximate fish composition from ultrasonic properties: catfish, cod, flounder, mackerel and salmon. *Journal of Food Science*, 63: 966-968.
- Swanson, D., Block, R. & Mousa, SA. (2012). Omega-3 fatty acids EPA and DHA: health benefits throughout life. *Advances in nutrition*, 3(1), 1-7.
- Taati, MM., Shabanpour, B. & Ojagh, M. (2018). Investigation on fish oil extraction by enzyme extraction and wet reduction methods and quality analysis.
- Tarladgis, BG., Watts, BM., Younathan, MT. & Dugan, L. (1960). A distillation method for the quantitative determination of malonaldehyde in rancid foods. *Journal of the American Oil Chemists Society*, 37, 44-48.
- Thirukumar, R., Priya, VKA., Krishnamoorthy, S., Ramakrishnan, P., Moses, JA. & Anandharamakrishnan, C. (2022). Resource recovery from fish waste: Prospects and the usage of intensified extraction technologies. *Chemosphere*, 299, 134361.
- Tokur, B. (2023). The lipid quality of commercial fish oil supplements. *Food Bulletin*, 2(1), 1-7.
- TÜİK, (2023). Türkiye Su Ürünleri İstatistikleri <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Fishery-Products-2022-49678>

- Tzia, C. & Liadakis, G. (2003). Extraction Optimization in Food Engineering. CRC Press, USA., 170-171.
- Udenigwe, CC. & Aluko, RE. (2012). Food protein-derived bioactive peptides: production, processing, and potential health benefits. *Journal of food science*, 77(1), R11-R24.
- Udugama, IA., Petersen, LA., Falco, FC., Junicke, H., Mitic, A., Alsina, XF., Mansouri, SS. & Gernaey, KV. (2020). Resource recovery from waste streams in a water-energy-food nexus perspective: Toward more sustainable food processing. *Food and Bioproducts Processing*, 119, 133-147.
- van de Rest, O., Geleijnse, JM., Kok, FJ., van Staveren, WA., Dullemeijer, C., OldeRikkert, MG., ... & De Groot, CPGM. (2008). Effect of fish oil on cognitive performance in older subjects: a randomized, controlled trial. *Neurology*, 71(6), 430-438.
- Venugopal, V. (2008). Marine products for healthcare: functional and bioactive nutraceutical compounds from the ocean. CRC press.
- Venugopal, V. (2021). Valorization of seafood processing discards: Bioconversion and bio-refinery approaches. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 5, 611835.
- Venugopal, V. & Sasidharan, A. (2022). Functional proteins through green refining of seafood side streams. *Frontiers in Nutrition*, 9, 974447.
- Viera, GHF., Martin, AM., Sampaiao, SS., Omar, S. & Gonsalves, RCF. (1995). Studies on the enzymatic hydrolysis of Brazilian lobster (*Panulirus spp.*) processing wastes. *Journal of Food Science and Agriculture*, 69: 61–65.
- Vierros M. & De Fontaubert C. (2017). The potential of the blue economy: increasing long-term benefits of the sustainable use of marine resources for small island developing states and coastal least developed countries. World Bank Group, Washington, D.C. [https:// documents. world bank. org/ curat ed/ en/ 52315 14963 89684076/ The- poten tial- of- the- blue- econo my- incre asing- long- term benef its- of- the- susta inable- use- of- marine- resou rces- for- smallisland-devel oping- states- and- coast al- least- devel oped- count ries](https://documents.worldbank.org/curated/en/523151496389684076/The-potential-of-the-blue-economy-increasing-long-term-benefits-of-the-sustainable-use-of-marine-resources-for-small-island-developing-states-and-coastal-least-developed-countries)
- Villamil, O., Váquiro, H. & Solanilla, JF. (2017). Fish viscera protein hydrolysates: Production, potential applications and functional and bioactive properties. *Food chemistry*, 224, 160-171.
- Visconti, P., de Fazio, R., Velázquez, R., Del-Valle-Soto, C. & Giannoccaro, NI. (2020). Development of sensors-based agri-food traceability system remotely managed by a software platform for optimized farm management. *Sensors*, 20(13), 3632.
- Wisniewski Jr, A., Wiggers, VR., Simionatto, EL., Meier, HF., Barros, AC. & Madureira, LAS. (2010). Biofuels from waste fish oil pyrolysis: Chemical composition. *Fuel*, 89(3), 563-568.
- Yahyaee, R., Ghobadian, B. & Najafi, G. (2013). Waste fish oil biodiesel as a source of renewable fuel in Iran. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 17, 312-319.
- Yin, T., Reed, ZH. & Park, JW. (2014). Gelling properties of surimi as affected by the particle size of fish bone. *LWT-Food Science and Technology*, 58(2), 412-416.

- Yoshida, H., Takahashi, Y. & Terashima, M. (2003). A simplified reaction model for production of oil, amino acids, and organic acids from fish meat by hydrolysis under sub-critical and supercritical conditions. *Journal of chemical engineering of Japan*, 36(4), 441-448.
- Yue, K. & Shen, Y. (2022). An overview of disruptive technologies for aquaculture. *Aquaculture and Fisheries*, 7(2), 111-120.
- Wang, S., Liu, Z., Zhao, M., Gao, C., Wang, J., Li, C., ... & Zhou, D. (2023). Chitosan-wampee seed essential oil composite film combined with cold plasma for refrigerated storage with modified atmosphere packaging: A promising technology for quality preservation of golden pompano fillets. *International Journal of Biological Macromolecules*, 224, 1266-1275.
- Wangtueai, S. & Noomhorm, A. (2009). Processing optimization and characterization of gelatin from lizardfish (*Saurida spp.*) scales. *Food Science and Technology*, 42(4):825-834.
- Wijesundera, C., Kitessa, S., Abeywardena, M., Bignell, W. & Nichols, PD. (2011). Long-chain omega-3 oils: Current and future supplies, food and feed applications, and stability. *Lipid Technology*, 23(3), 55-58.
- Wisuthiphaet, N., Kongruang, S. & Chamcheun, C. (2015). Production of fish protein hydrolysates by acid and enzymatic hydrolysis. *Journal of Medical and Bioengineering* 4 (6):466–70. doi: 10.12720/jomb.4.6.466-470.
- Wu, TH. & Bechtel, PJ. (2008). Salmon by-product storage and oil extraction. *Food Chemistry*, 111(4), 868-871.
- Xiao, S. & Ahn, DU. (2023). Co-encapsulation of fish oil with essential oils and lutein/curcumin to increase the oxidative stability of fish oil powder. *Food Chemistry*, 410, 135465.
- Xu, X. (2003). Engineering of enzymatic reactions ve reactors for lipid modification ve synthesis, *European Journal of Lipid Science and Technology*, 105: 289-304.
- Xu, X., Aran, H. & Zhang, H. (2007). Enzymatic processing of omega-3 speciality oils. In *Long-Chain Omega-3 Specialty Oils* (pp. 141-164). The Oily Press.
- Yoshida, H., Takahashi, Y. & Terashima, M., (2003), A simplified reaction model for production of oil, amino acids, and organic acids from fish meat by hydrolysis under sub-critical and supercritical conditions. *Journal of chemical engineering of Japan*, 36(4):441-448.
- Zhao, Z., Li, Y. & Du, Z. (2022). Seafood waste-based materials for sustainable food packing: From waste to wealth. *Sustainability*, 14, 16579.

## ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Serpil ÖZTÜRK
Doğum Yeri	
Doğum Tarihi	
Uyruğu	<input checked="" type="checkbox"/> T.C. <input type="checkbox"/> Diğer:
Telefon	
E-Posta Adresi	
Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	Ondokuz Mayıs Üniversitesi
Fakülte	Amasya Eğitim Fakültesi
Bölümü	Fen Bilimleri Öğretmenliği
Mezuniyet Yılı	2005
Yüksek Lisans	
Üniversite	Ordu Üniversitesi
Enstitü Adı	Fen Bilimleri Enstitüsü
Anabilim Dalı	Balıkçılık Teknolojisi Mühendisliği Anabilim Dalı
Mezuniyet Tarihi	2024
Yayınlar	
Korkmaz Koray, Ucar Yılmaz, Özturk Serpil, Tokur Bahar “Comparison of protein hydrolysate oil obtained by two different enzymes using rainbow trout ( <i>Oncorhynchus mykiss</i> ) by-products in terms of lipid oxidation parameters” International Symposium on Fisheries and Aquatic Sciences SOFAS 2022	