(DOI): 10.22092/ISFJ.2025.133111 33(6) 83-97 Iranian Scientific Fisheries Journal

Growth indices and muscle fatty acid content of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed whole plant meal diet contained different levels of monounsaturated fatty acids and linoleic acid to linolenic acid ratios

Mahmoudikia Z.[1]; Imani A.[1]; Manaffar R.[1]; Noori F.[2]; Jalili R.[3]

*a.imani@urmia.ac.ir

1- Department of Fisheries, Faculty of Natural Resources, Urmia University, Urmia, Iran
2-Artemia and Aquaculture Research Institute, Urmia University, Urmia, Iran
3- National Artemia Research Center, National Fisheries Science Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Urmia, Iran

Introduction

During the previous couple of decades, the world aquaculture industry has considerably developed and remained one of the fastest-growing food-producing sectors. The global increase in aquaculture production has resulted in increased worldwide demand for fish oil to meet ever developing aquafeed industry. It has been shown that terrestrial lipid sources including vegetable oils are promising alternatives for dietary fish oil due to their increased production, price stability, and availability. Incorporating vegetable oil instead of fish oil in aquafeed formulation could improve the sustainability of aquaculture development and also increase the profitability of aquaculture industry (Xie *et al.*, 2018; FAO, 2020). The present research was conducted to elucidate the effects of different dietary MUFA contents and LA:ALA ratios, by dietary incorporation of different propositions of vegetable oils including sunflower, linseed, coconut and olive oils instead of fish oil on growth indices and muscle fatty acids profile of *Oncorhynchus mykiss* fed on a plant-based diet without any marine ingredients.

Methodology

This study was conducted to evaluate the effect of different dietary levels of MUFA and different ratios of linoleic acid (LA) to linolenic acid (ALA) on growth performance and muscle fatty acid profile of rainbow trout fingerlings. 650 juveniles of triploid rainbow trout with an average initial body weight of 14.5 ± 0.17 g were randomly allocated into seven triplicated experimental groups in 300-liter polyethylene tanks. Therefore, seven iso-nitrogenous and iso-lipid experimental diets including diet 1 (55.33, 1.00; dietary MUFA content and LA:ALA ratio), diet 2 (25.30, 1.00), diet 3 (55.13, 2.05), 4 (24.92, 2.03), diet 5 (54.94, 8.06) and diet 6 (24.91, 8.06) and a control diet containing fish oil, diet 7 (33.60, 5.97) were formulated. The basal diet did not contain any fish meal. The experimental fish were fed the diets for 4 months during the first stage of the trial. Afterwards, during the second stage of the trial, all experimental groups were fed diet 7, the basal diet which contained

[Downloaded from isfj.ir on 2025-12-26]

fish oil as the only dietary lipid source for one month. At the end of each stage, the fish were weighed to the nearest 0.1 g to calculate growth indices. Muscle samples were also taken after humanly sacrificing fish for fatty acid profile studies.

Results

At the end of the first four-month feeding period, there was no significant difference among various experimental groups regarding weight gain (WG), relative WG, daily weight gain (DWG), specific growth rate (SGR), and survival rate (p>0.05). Similarly, feeding various experimental groups with diet containing only fish oil as the only dietary lipid source for one month also did not result in any significant differences among the groups (p>0.05). At the end of the first stage, there were no significant differences regarding muscle SFA contents of various experimental groups (p>0.05). Muscle MUFA contents reflected dietary MUFA content so that the highest MUFA proposition was observed in treatment 1 (p<0.05). However, n-6 PUFA and n-6 HUFA contents of fish in treatments 5 and 6 fed diets contained the highest dietary LA:ALA ratio (i.e., 8.0) was the highest (p<0.05). Muscle n-3 HUFA contents of the fish fed diets with lower dietary LA:ALA diet (≤2.0) were considerably higher than treatments 5 and 6 (p<0.05). However, those fish fed with diet 7 showed the highest muscle n-6 HUFA content (p<0.05). At the end of the first experimental period, muscular contents of EPA, DHA and PUFA of all experimental groups were significantly decreased (p<0.05) comparing to those fish fed diet containing fish oil (treatment 7). At the end of the both periods, muscle n-6 PUFA/n-3PUFA was significantly increased in treatment 5 (fish fed diet containing 55% MUFA and LA:ALA ratio of 8) compared to the control group (treatment 7, p<0.05). At the end of the second feeding period, there were no significant differences regarding muscle SFA and PUFA contents among various experimental groups (p>0.05). Similar to the previous stage, muscle MUFA contents of those fish that had previously been fed diets with higher MUFA contents was higher but the difference was milder compared to the first feeding period. Muscle n-3 PUFA and n-3 HUFA contents of fish did not show any differences among various experimental groups (p>0.05). However, muscle C20:4n-6, n-6 PUFA and n-6 HUFA contents still showed significant differences among groups to the extent that treatments 5 and 6 showed the highest propositions (p<0.05). Feeding all experimental groups with the finisher diet containing fish oil could to some extent restore the muscular contents of the aforementioned fatty acids, although muscle DHA content of treatment 5 was significantly lower compared to treatment 7 (p<0.05).

Discussion and conclusions

Our results showed that different vegetable oils blends could replace fish oil in plate-sized rainbow trout feed. Complete replacement of dietary fish oil by such terrestrial oils blends with different MUFA contents and LA:ALA ratios could affect muscle fatty acid profiles of fish which were characterized by high MUFA, ArA, and LA and lower EPA and DHA contents when compared to those fish fed diet containing fish oil. Although, rainbow trout was considerably able to *de novo* synthesis of EPA and DHA, increasing dietary LA:ALA ratio, i.e., >2.0, resulted in decreased muscle

[Downloaded from isfj.ir on 2025-12-26]

EPA and DHA content revealing that increased dietary LA:ALA ratio might affect liver desaturation and elongation enzymes activity which finally affect muscle fatty acid deposition requiring further studies regarding the enzymes activity and expression. Such decreased EPA and DHA contents warrant further consideration in terms of the nutritional quality of fish fillet for human consumption when replacing dietary fish oils with vegetable oils. In addition, feeding the fish with a finisher diet contained fish oil for a short period could restore the muscular fatty acids profile to improve the nutritional quality of fish. The efficacy of such a feeding strategy was considerably higher in those fish previously been fed diet 2 contained 25% MUFA with LA:ALA ratio of 1.0. However, the complete conclusion warrants more detailed studies in in terms of nutrient digestion and absorption, immune competence and finally reproductive performance of fish.

Conflict of Interest

The authors declare that they have no conflict of interest.

Acknowledgment

We are grateful to the technicians and staff of the Fisheries Department of Natural Resources Faculty and Artemia and Aquaculture Research Institute, Urmia University for their sincere assistance during the experiment.

[Downloaded from isfj.ir on 2025-12-26]

مجله علمی شیلات ایران
(DOI): 10.22092/ISFJ.2025.133111 ۳۳ (٦) ۸۳-۹۷ مجله علمی شیلات ایران

مقاله علمی - پژوهشی:

شاخص‌های رشد و محتوای اسیدهای چرب عضله ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان (*Oncorhynchus mykiss*) تغذیه شده با خوراک کاملاً گیاهی حاوی سطوح مختلف اسیدهای چرب تک غیر اشباع و نسبت‌های لینولئیک اسید به لینولنیک اسید

زهرا محمودی‌کیا[۱]، احمد ایمانی*[۱]، رامین مناف‌فر[۱]، فرزانه نوری[۲]، رضا جلیلی[۳]

*a.imani@urmia.ac.ir

۱- گروه شیلات و آبزیان، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران
۲- پژوهشکده آرتمیا و آبزی‌پروری، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران
۳- مرکز تحقیقات آرتمیای کشور، موسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ارومیه، ایران

تاریخ دریافت: مهر ۱۴۰۳ تاریخ پذیرش: دی ۱۴۰۳

چکیده

افزایش جهانی تولیدات آبزی‌پروری باعث افزایش نیاز به روغن ماهی جهت تولید خوراک آبزیان پرورشی شده است. استفاده از روغن گیاهی به جای روغن ماهی، سبب افزایش پایداری تولید آبزی‌پروری و افزایش سوددهی مزارع پرورش آبزیان می‌شود. مطالعه حاضر برای ارزیابی اثر سطوح مختلف اسیدهای چرب تک غیر اشباع (۲۵ و ۵۵ درصد) خوراک با نسبت‌های مختلف لینولئیک اسید (LA): لینولنیک اسید (ALA) (۱، ۲ و ۸) در خوراک فاقد پودر و روغن ماهی بر عملکرد رشد و الگوی اسیدهای چرب عضله ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان (*Oncorhynchus mykiss*) مورد بررسی قرار گرفت. تعداد ۶۵۰ قطعه ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان تریپلوئید با وزن متوسط ۰/۱۷± ۱۴/۵ گرم به صورت تصادفی میان ۷ تیمار آزمایشی با ۳ تکرار در مخازن پلی اتیلنی ۳۰۰ لیتری توزیع شدند. ماهیان به مدت ۴ ماه با جیره‌های آزمایشی تغذیه شدند. پس از طی این مدت، گروه‌های مختلف آزمایشی به مدت یک ماه نیز با جیره پایانی که دارای روغن ماهی بود، تغذیه شدند. شاخص‌های رشد ماهیان گروه‌های مختلف آزمایشی در پایان هر دو دوره فاقد تفاوت آماری معنی‌دار بود (p>۰/۰۵). نسبت اسیدهای چرب چندغیراشباع سری۳-n به سری۶-n (n-6 PUFA/n-3PUFA) عضله ماهی در هر دو دوره در تیمار ۵ (ماهیان تغذیه شده با خوراک حاوی ۵۵ درصد MUFA و نسبت LA:ALA برابر ۸) نسبت به تیمار شاهد به طور معنی‌داری افزایش یافت (p<۰/۰۵). در دوره اول پرورش محتوای دوکوزاهگزانوئیک اسید (DHA)، ایکوزاپنتانوئیک اسید (EPA) و اسیدهای چرب چندغیراشباع (PUFA) عضله ماهیان همه تیمارها نسبت به گروه شاهد کاهش معنی‌داری داشت (p<۰/۰۵). تغذیه پایانی با جیره حاوی روغن ماهی توانست محتوای اسیدهای چرب مذکور را در عضله ماهیان بازسازی نماید، البته محتوای DHA عضله ماهیان تیمار ۵ نسبت به گروه شاهد به طور معنی‌داری پایین بود (p<۰/۰۵). نتایج مطالعه حاضر نشان داد که ترکیب مناسب روغن‌های گیاهی بدون اثر منفی بر رشد ماهیان حتی تا وزن قابل ارائه به بازار می‌تواند جایگزین روغن ماهی شود. همچنین می‌توان با استفاده از یک دوره تغذیه پایانی کوتاه‌مدت با خوراک حاوی روغن ماهی، محتوای اسیدهای چرب عضله ماهیان را برای افزایش ارزش غذایی آن بازسازی نمود.

لغات کلیدی: خوراک، روغن گیاهی، اسیدهای‌چرب، شاخص‌های رشد، قزل‌آلای‌رنگین‌کمان

*نویسنده مسئول

Copyright: © 2023 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

[Downloaded from isfj.ir on 2025-12-26]

مقدمه

افزایش روز افزون جمعیت جهان، بهبود شرایط مالی جوامع نسبت به گذشته و آگاهی از منافع سلامتی مصرف آبزیان سبب روی‌آوردن انسان به منابع پروتئین حیوانی به‌ویژه منابع پروتئین آبزیان شده است. آبزی‌پروری یکی از راه‌های تأمین پروتئین آبزیان است (Lee and Donaldson, 2001). طی ۴۰ سال گذشته، صنعت آبزی‌پروری رشد قابل‌توجه و پیوسته‌ای داشته به‌طوری‌که هر ۱۰ سال کم و بیش تولید آبزیان دو برابر شده است (FAO, 2020). همچنین گسترش آبزی‌پروری طی دهه گذشته، آبزیان را به عنوان یک منبع پروتئینی حیوانی مهم در سراسر جهان تبدیل کرده است (Martinez *et al.*, 2016). افزایش جهانی تولیدات آبزی‌پروری و ثابت ماندن میزان صید ماهیان سطح‌زی باعث افزایش قیمت پودر و روغن ماهی شده است. وابستگی به پودر و روغن‌ماهی برای تولید خوراک آبزیان به عنوان مانع جدی جهت توسعه پایدار پرورش آزاد ماهیان، ماهیان دریایی و میگو، عنوان شده است. بنابراین، برای کاهش وابستگی به این اقلام خوراکی، توجه زیادی به جستجوی جایگزین‌های پایدار و مناسب معطوف شده است (Chen *et al.*, 2017; Xie *et al.*, 2018). محصولات جانبی غلات و دانه‌های روغنی یکی از گزینه‌های مناسب برای تأمین منابع پروتئین وانرژی خوراک آبزیان هستند (Hardy, 2000).

روغن‌های گیاهی به دلیل در دسترس بودن، قیمت نسبتاً پایین، فقدان دیوکسین‌ها و آلاینده‌ها، به عنوان جایگزین ایده‌آل روغن‌ماهی در ساخت خوراک آبزیان به‌شمار می‌روند (Chen *et al.*, 2017; Xie *et al.*, 2018). تولید جهانی روغن‌ها و چربی‌های گیاهی در سال ۲۰۰۶، ۱۱۵ میلیون تن بوده که حدود ۱۰۰ برابر بیشتر از تولید روغن‌ماهی در مدت مشابه است (Menoyo *et al.*, 2004)، با این تفاوت که روغن ماهی دارای مقادیر بالایی از اسیدهای چرب به‌شدت غیراشباع (HUFA) به‌ویژه اسید ایکوزاپنتانوئیک (EPA) و اسید دکوزاهگزانوئیک (DHA) است که نقش به‌سزایی در ساختار سلولی و فرآیندهای فیزیولوژیک ایفاء می‌کنند (Greone and Selivonchik, 1990) درحالی‌که روغن‌های گیاهی غنی از اسیدهای چرب ۱۸ کربنی با چند پیوند دوگانه (C18 PUFA) نظیر ALA (α- لینولنیک اسید) و LA (لینولئیک اسید) هستند (Nayak *et al.*, 2017). ماهیان آب شیرین از جمله قزل‌آلای رنگین‌کمان از توانایی تبدیل زیستی LA به آراشیدونیک اسید (ArA) و ALA به اسیدهای چرب بلندزنجیره DHA و EPA برخوردارند (Bell *et al.*, 2001). بنابراین، به‌نظر می‌رسد که امکان ساخت جیره‌های حاوی روغن‌های گیاهی ارزان‌تر به جای روغن ماهیان دریایی غنی از EPA و DHA وجود دارد (Webster and Lim, 2002; Masiha *et al.*, 2013; Xie *et al.*, 2018).

روغن‌های گیاهی می‌توانند به طور بالقوه در جیره آزاد ماهیان بدون به خطر انداختن سلامت، رشد یا بقاء آنها استفاده شوند. این مزیت در استفاده از روغن‌های گیاهی را می‌توان با توانایی هضم مقادیر بیشتری از چربی‌ها و غیراشباع و طویل‌کردن کارآمد اسیدهای چرب غیر اشباع با ۱۸ اتم کربن C18 PUFAs (n-3 و n-6) به‌وسیله این گروه از آبزیان قابل توجیه باشد (Marotta Lima *et al.*, 2019). پژوهش‌های مختلفی در مورد جایگزینی روغن ماهی با روغن‌های گیاهی بر گونه‌های ماهیان مختلف صورت گرفته است. در برخی از این مطالعات سطح جایگزینی تا ۱۰۰ درصد روغن گیاهی در فرمولاسیون خوراک آزاد ماهیان بدون اثر منفی بر شاخص‌های رشد آنها ممکن بوده است (Dernekbasi *et al.*, 2021). Yildiz و همکاران (۲۰۱۵) گزارش کردند که جایگزینی ۱۰۰ درصد روغن ماهی با روغن گیاهی (آفتابگردان، کنجد و روغن بزرک) منجر به کاهش سطح کل n-3 PUFA و افزایش سطح n-6 PUFA در فیله و کبد ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان تغذیه شده با خوراک‌های آزمایشی به‌جز خوراک حاوی روغن بزرک می‌شود. همچنین محتوای اسیدهای چرب سری n-6 و LA در عضله وکبد ماهیان تغذیه شده با خوراک حاوی روغن آفتابگردان افزایش داشت. Caballero و همکاران (۲۰۰۲) مشاهده کردند که جایگزینی ۹۰ - ۸۰ درصد روغن ماهی با روغن‌های گیاهی (روغن سویا، کلزا، زیتون و پالم) در خوراک ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان (*O. mykiss*) را

[Downloaded from isfj.ir on 2025-12-26]

می‌توان بدون به اثر منفی بر رشد ماهی استفاده کرد. همچنین Richard و همکاران (۲۰۰۶) روغن ماهی را به طور کامل با ترکیب روغن‌های گیاهی (۵۵ درصد روغن کلزا، ۳۰ درصد روغن پالم، ۱۵ درصد روغن بزرک) در خوراک ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان بدون تأثیر منفی بر رشد و محتوای چربی عضله ماهیان جایگزین نمودند. Bell و همکاران (۲۰۰۱) به این نتیجه رسیدند که جایگزینی روغن کلزا در جیره ماهیان آزاد اقیانوس اطلس (*Salmo salar*) تاثیری بر رشد آنها نداشت. البته بررسی‌های مختلف نشان می‌دهد که جایگزینی روغن ماهی با روغن‌های گیاهی باعث افزایش درصد اسیدهای چرب 18:2 n-6 و 18:3 n-3 و کاهش میزان اسیدهای چرب 20:4 n-6، 20:5 n-3 و 22:6 n-3 در بافت عضلهٔ ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان می‌شود (Drew *et al.*, 2007; Oo *et al.*, 2007). Guler و Yildiz(۲۰۱۱) به بررسی اثر جایگزینی روغن ماهی با روغن پنبه دانه بر رشد و ترکیب اسید چرب ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان پرداختند. آنها با توجه به شاخص‌های رشد و ترکیب اسیدهای چرب، جایگزینی ۵۰ درصد روغن پنبه دانه را پیشنهاد کردند. همچنین استفاده از روغن کانولا به عنوان جایگزین روغن ماهی در خوراک ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان اثر نامطلوبی بر رشد، ضریب تبدیل خوراک و ترکیب اسیدهای چرب عضله نداشت (Turchini *et al.*, 2013).

در مطالعه حاضر، اثر طولانی‌مدت تغذیه ماهیان انگشت‌قد قزل‌آلای رنگین‌کمان با جیره‌های آزمایشی حاوی پروتئین گیاهی و ترکیب مختلف روغن‌های گیاهی به عنوان جایگزین روغن ماهی جهت ایجاد سطوح مختلف MUFA (۲۵ و ۵۵ درصد) با نسبت‌های مختلف LA به ALA (۱، ۲ و ۸) در خوراک فاقد پودر و روغن ماهی به همراه یک دوره تغذیه با جیره غذایی حاوی روغن ماهی بر شاخص‌های رشد و الگوی اسیدهای چرب عضله این ماهیان تا وزن بازاری مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش کار

نگهداری ماهیان و جیره‌های آزمایشی

تعداد ۶۵۰ قطعه ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان تریپلوئید با وزن متوسط ۰/۱۷± ۱۴/۵ گرم از یکی از مراکز خصوصی پرورش ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان تهیه و به سالن تکثیر و پرورش آبزیان دانشگاه ارومیه منتقل شد. ماهیان پس از دو هفته قرنطینه و سازش با شرایط جدید، به صورت تصادفی میان ۷ تیمار با ۳ تکرار و با تراکم ۳۰ قطعه ماهی در مخازن پلی اتیلنی ۳۰۰ لیتری توزیع شدند. در این مطالعه به طور کامل از منابع پروتئین و چربی گیاهی استفاده شد. جیره‌های آزمایشی به لحاظ میزان چربی، پروتئین و انرژی یکسان بودند (جدول ۱) و فقط نوع روغن‌های مورد استفاده در تأمین چربی آن‌ها متفاوت بود (جدول ۲). در این مطالعه از ترکیب روغن‌های گیاهی آفتابگردان، زیتون، بزرک و نارگیل جهت تأمین چربی خوراک و ایجاد سطوح مختلف اسیدهای چرب MUFA (۲۵ و ۵۵ درصد) و نسبت‌های مختلف LA به ALA (۱، ۲ و ۸) استفاده شد. پس از تهیه اجزای غذایی و انجام تجزیه‌وتحلیل‌های شیمیایی (جدول ۳)، اجزاء غذایی به طور کامل آسیاب شده و با استفاده از الک اندازه ۳۰۰ میکرون غربال و طبق فرمولاسیون خوراک با هم ترکیب شدند. سپس با افزودن رطوبت و به کمک چرخ گوشت خانگی، دان‌های غذایی تهیه شد. جیره‌ها در آون در دمای ۶۰-۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت یک شبانه روز خشک گردیدند. جیره‌های خشک شده تا زمان مصرف در یخچال و در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. در طول دوره پرورش، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آب (دما و میزان اکسیژن محلول)، به طور مرتب روزانه اندازه‌گیری و ثبت شد. این مقادیر درمحدوده مناسب برای پرورش ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان قرار داشت (۰/۵±۱۵/۵ درجه سانتی‌گراد و ۰/۶±۸/۰ میلی‌گرم در لیتر). ماهیان به مدت ۴ ماه با جیره‌های آزمایشی تغذیه شدند. ماهیان تیمارهای مختلف پس از طی این مدت، در نهایت به مدت یک ماه نیز با هدف بهبود میزان اسیدهای چرب بلند زنجیره امگا ۳ فیله ماهیان با خوراک پایه که فقط دارای روغن ماهی بود (مانند جیره ۷)، تغذیه شدند. غذادهی روزانه نیز طی ۳ نوبت و بر اساس درصد وزن بدن طبق جدول استاندارد تغذیه ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان انجام شد.

[Downloaded from isfj.ir on 2025-12-26]

جدول ۱: جیره‌های آزمایشی مورد استفاده در مطالعه حاضر

Table 1: Experimental diets used in the present study

Ingredients(٪)	Experimental diets						
	1	2	3	4	5	6	7
Corn gluten	10	10	10	10	10	10	10
Wheat gluten	25	25	25	25	25	25	25
Yeast	13	13	13	13	13	13	13
Blood meal	2	2	2	2	2	2	2
Wheat bran	5	5	5	5	5	5	5
Soybean meal	20	20	20	20	20	20	20
Fish oil	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	18.91
Sunflower oil	0.00	5.77	2.31	10.67	5.23	16.62	0.00
Linseed oil	5.69	12.05	3.56	7.83	0.97	2.29	0.00
Coconut oil	0.00	0.23	0.6	0.00	0.00	0.00	0.00
Olive oil	13.23	0.87	12.98	0.41	12.71	0.00	0.00
Vitamin premix	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
Mineral premix	1	1	1	1	1	1	1
Methionine	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
Lysine	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
Di-calcium phosphate	1	1	1	1	1	1	1
Vit D3 + lecithin	1	1	1	1	1	1	1
Betaine	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Choline	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Proximate composition							
Crude protein (% in dry matter)	40.9	40.9	40.9	40.9	40.9	40.9	40.9
Crude lipid (% in dry matter)	20.7	20.7	20.7	20.7	20.7	20.7	20.7
Gross energy (KJ/Kg)	18.5	18.5	18.5	18.5	18.5	18.5	18.5
Digestible energy (KJ/Kg)*	16.1	16.1	16.1	16.1	16.1	16.1	16.1

Vitamin premix (IU or g/kg): Vit.A, 8,00,000 IU; Vit.D3, 300,000, IU; Vit. E, 2,500 mg; Vit. K 1,000

زیست‌سنجی ماهیان و تجزیه‌وتحلیل اسیدهای چرب بافت عضله

به منظور محاسبه شاخص‌های رشد ماهیان تیمارهای مختلف در ابتدا و انتها دوره‌های آزمایشی، وزن ماهیان با ترازوی دیجیتال تا حد ۰/۱ گرم پس از قطع غذا به مدت ۲۴ ساعت و بیهوشی با محلول پودر گل میخک با غلظت ۲۰۰ppm اندازه‌گیری شد (Mohammadi *et al.*, 2020):

وزن اولیه (گرم) - وزن نهایی (گرم) = افزایش وزن بدن (گرم)

وزن اولیه بدن (گرم) / (وزن اولیه بدن (گرم) - وزن نهایی بدن (گرم)) = درصد افزایش وزن بدن×۱۰۰

طول دوره پرورش (روز)/ (میانگین وزن اولیه بدن (گرم) - میانگین وزن نهایی بدن (گرم)) = افزایش وزن روزانه (گرم)

۱۰۰× (طول دوره پرورش (روز)/(لگاریتم طبیعی وزن اولیه (گرم)-لگاریتم طبیعی وزن نهایی (گرم)) = نرخ رشد ویژه

(تعداد ماهیان در پایان آزمایش /تعداد ماهیان در آغاز آزمایش) = درصد بازماندگی×۱۰۰

۱۰۰×(وزن نهایی بدن/وزن کبد) = شاخص کبدی

میانگین افزایش وزن بدن (گرم)/میزان غذای داده شده (گرم) = ضریب تبدیل خوراک

[Downloaded from isfj.ir on 2025-12-26]

جدول ۲: پروفایل اسیدهای چرب روغن‌های مورد استفاده در جیره‌های آزمایشی (درصد از متیل استر)

Table 2: Fatty acids profile of oils used in the experimental diets (% of methyl-esters)

Fatty acid	Fish oil	Sunflower oil	Linseed oil	Coconut oil	Olive oil
C14:0	2.82	0.08	0.03	41.47	0.09
C16:0	20.67	0.00	0.01	23.24	10.85
C18:0	5.89	0.00	0.06	6.99	0.05
SFA [a]	29.51	0.34	0.11	71.79	11.66
C18:1n-9	33.34	3.98	7.22	18.39	73.47
MUFA [b]	40.67	34.84	33.06	18.98	74.76
C18:2n-6 (cis) (LA)	2.81	59.51	11.51	4.19	7.77
C20:4n-6 (ARA)	0.72	0.00	0.00	0.00	0.00
n-6 PUFA [c]	3.68	59.51	11.51	4.19	7.77
C18:3n3 (ALA)	1.92	0.31	50.32	0.04	0.81
C20:5n-3 (EPA)	5.62	0.00	0.00	0.00	0.00
C22:6n-3 (DHA)	13.55	0.00	0.00	0.00	0.00
n-3 PUFA [d]	21.13	0.31	50.32	0.04	0.81
PUFA [e]	24.81	59.82	61.83	4.23	8.58
HUFA [f]	20.09	0.00	0.00	0.00	0.00

ArA: arachidonic acid, DHA: docosahexaenoic acid, EPA: eicosapentaenoic acid, LA: linoleic acid, HUFA: highly polyunsaturated fatty acid, ALA: linolenic acid, MUFA: monounsaturated fatty acid, n-3 PUFA n-3 polyunsaturated fatty acid, n-6 PUFA: n-6 polyunsaturated fatty acid, PUFA: polyunsaturated fatty acid, SFA: saturated fatty acid.

[a] includes 20:0 and 22:0
[b] includes 14:1n-5, 18:1n-7, 20:1n-9, 22:1n-9 and 24:1n-9
[c] includes 20:2n-6 and 20:3n-6
[d] includes 20:3n-3 and 22:5n-3
[e] LA + ALA
[f] 20:2n-6 + 20:3n-6 + ARA + 20:3n-3 + EPA + 22:5n-3 + DHA

جدول ۳: پروفایل اسیدهای چرب جیره‌های آزمایشی (درصد از متیل استر)

Table 3: Fatty acids profile of experimental diets (% of methyl-esters)

Fatty acids	Experimental diets						
	1	2	3	4	5	6	7
SFA	15.95	15.14	16.42	15.36	16.71	16.26	25.04
C18:1n-9	54.04	24.16	53.74	23.62	53.44	23.38	26.65
MUFA	55.33	25.30	55.13	24.92	54.94	24.91	33.60
C18:2n-6	14.32	29.75	19.12	40.00	25.22	52.34	19.51
C18:3n-3	14.39	29.80	9.32	19.72	3.13	6.49	3.27
PUFA	28.71	59.55	28.44	59.72	28.34	58.83	22.78
n-6/n-3	1.00	1.00	2.05	2.03	8.06	8.06	5.97
MUFA/PUFA	1.93	0.42	1.94	0.42	1.94	0.42	1.47

زیست‌سنجی ماهیان و تجزیه‌وتحلیل اسیدهای چرب بافت عضله

ترکیب اسیدهای چرب عضله ماهیان (۳ نمونه از هر تکرار) در انتهای هر دوره پرورش با استریفیکاسیون در ترکیب محلول استیل کلراید و متانول و ترکیب اسیدهای چرب نمونه‌های جیره‌های آزمایشی (۳ سنجش از هر خوراک) پس از استخراج چربی با حلال اتر و متیل استر شدن بر اساس روش Lepage و Roy (۱۹۸۴) با دستگاه کروماتوگرافی گازی (Agilent 7890A GC System, USA) تعیین شد.

[Downloaded from isfj.ir on 2025-12-26]

روش تجزیه‌وتحلیل آماری داده‌ها

قبل از انجام آزمون آنالیز واریانس یک‌طرفه، نرمال بودن توزیع داده‌ها و همگنی واریانس گروه‌های آزمایشی به‌ترتیب با استفاده از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف و آزمون لِوِن بررسی شد. برای مقایسه میانگین تیمارهای مختلف از آزمون توکی استفاده شد. حداقل سطح معنی‌دار بودن آزمون‌ها $p<۰/۰۵$، در نظر گرفته شد. تمامی نتایج به صورت Mean±SE گزارش شدند. برای بررسی آماری داده‌ها از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۱ استفاده شد.

نتایج

نتایج شاخص‌های رشد ماهیان گروه‌های آزمایشی در پایان ۴ ماه نخست آزمایش (دوره‌ی اول) در جدول ۴ ارائه شده است. نتایج نشان داد که شاخص کبدی (HSI)، افزایش وزن بدن (WG)، درصد افزایش وزن بدن (%WG)، رشد روزانه (DWG)، نرخ رشد ویژه (SGR) و درصد بازماندگی (SR) تیمارهای مختلف آزمایشی اختلاف معنی‌داری با هم نداشتند ($p>۰/۰۵$).

جدول ۴: شاخص‌های رشد ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان تغذیه شده با جیره‌های مختلف آزمایشی در پایان مرحله اول آزمایش (n=3, Mean±SE)

Table 4: Growth indices of rainbow trout fed different experimental diets at the end of the first stage of the experiment (n=3, Mean±SE)

Growth indices	Experimental groups						
	1	2	3	4	5	6	7
WG (g)	297.437±52.44[a]	284.96±24.25[a]	279.15±29.34[a]	281.74±28.00[a]	269.86±3.59[a]	266.04±9.31[a]	277.76±21.96[a]
%WG	2033.77±336.86[a]	1941.94±144.53[a]	1888.77±193.86[a]	898.34±169.60[a]	1847.13±20.92[a]	1850.68±108.44[a]	1892.94±129.60[a]
DWG (g)	2.47±0.43[a]	2.37±0.20[a]	2.32±0.24[a]	2.34±0.23[a]	2.24±0.02[a]	2.21±0.07[a]	2.31±0.18[a]
SGR (% per day)	2.54±0.12[a]	2.51±0.05[a]	2.48±0.07[a]	2.49±0.06[a]	2.47±0.00[a]	2.47±0.04[a]	2.49±0.05[a]
Survval rate	100±0.00[a]	100±0.00[a]	100±0.00[a]	100±0.00[a]	100±0.00[a]	100±0.00[a]	100±0.00[a]
HSI	1.19±0.17[a]	1.12±0.09[a]	1.06±0.07[a]	1.00±0.07[a]	1.00±0.05[a]	1.12±0.03[a]	1.11±0.12[a]

In each row, the means with different letters are significantly different (p<0.05).
Experimental groups are 1 (55.33, 1.00), 2 (25.30, 1.00), 3 (55.13, 2.05), 4 (24.92, 2.03), 5 (54.94, 8.06), 6 (24.91, 8.06), and 7 (33.60, 5.97)

نتایج شاخص‌های رشد ماهیان گروه‌های آزمایشی مختلف در دوره‌ی پایانی و پس از یک ماه تغذیه با خوراک حاوی روغن ماهی (جدول ۵) نشان داد که از نظر شاخص کبدی، افزایش وزن بدن، درصد افزایش وزن بدن، رشد روزانه، درصد نرخ رشد ویژه و درصد بازماندگی تفاوت آماری معنی‌داری میان تیمارهای مختلف آزمایشی وجود نداشت ($p>۰/۰۵$).

الگوی اسیدهای چرب عضله ماهی در پایان دوره اول پرورش در جدول ۶ ارائه شده است. با توجه به میزان LA خوراک، تیمار ۶ و ۴ دارای بیشترین مقدار و تیمار ۱ و ۷ دارای کمترین میزان LA در جیره بودند، محتوای LA عضله ماهیان تیمارهای ۶ و ۴ نیز بیشترین (۳۱/۷۳ و ۲۶/۱۲ درصد) و تیمار ۱ و ۷ کمترین (۱۵/۳۳ و ۱۵/۶۰ درصد) بود ($p<۰/۰۵$). در سایر تیمارها نیز با افزایش محتوای LA در خوراک به‌تدریج محتوای LA در عضله افزایش یافت. بر این اساس، ترکیب اسیدچرب عضله بازتابی از ترکیب اسید چرب خوراک مصرفی بود. همچنین با افزایش محتوای ALA خوراک، مقدار آن در عضله هم افزایش نشان داد؛ تیمار ۲ و ۴ بیشترین (۱۲/۶۹، ۹/۴۶ درصد) و تیمارهای ۵ و ۷ کمترین (۲/۰۷ و ۲/۴۹ درصد) میزان ALA را به‌خود اختصاص دادند ($p<۰/۰۵$). محتوای ALA تیمارهای ۳ و ۶ نسبت به تیمار شاهد افزایش معنی‌داری داشت ($p<۰/۰۵$). با وجود این، تیمار ۵ اختلاف معنی‌داری با تیمار شاهد نداشت ($p>۰/۰۵$). از نظر محتوای ArA، تیمارهای ۶ و ۵ بیشترین (۵/۲۱ ۴/۵۸ درصد) و تیمار ۷ (تیمار ۷، تغذیه شده با خوراک حاوی روغن ماهی) کمترین (۱/۲۱ درصد) میزان ArA را به‌خود اختصاص داد ($p<۰/۰۵$).

[Downloaded from isfj.ir on 2025-12-26]

جدول ۵: شاخص‌های رشد ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان در پایان مرحله دوم آزمایش با تغذیه جیره نهایی حاوی روغن ماهی به عنوان منبع چربی جیره (n=3, Mean±SE)

Table 5. Growth indices of rainbow trout at the end of the second stage of the experiment feeding the finisher diet contained fish oil as the dietary lipid source (n=3, Mean±SE)

Growth indices	Experimental groups						
	1	2	3	4	5	6	7
WG (g)	232.28±35.48[a]	228.22±17.63[a]	236.41±31.93[a]	212.71±31.02[a]	209.75±34.01[a]	243.29±48.94[a]	219.01±23.16[a]
%WG	76.58±22.17[a]	76.65±10.28[a]	81.43±17.37[a]	72.76±16.46[a]	73.66±11.27[a]	86.79±17.42[a]	74.99±7.02[a]
DWG (g)	7.49±1.14[a]	7.36±0.56[a]	7.62±1.03[a]	6.86±1.00[a]	6.76±1.09[a]	7.84±1.57[a]	7.06±0.74[a]
SGR (% per day)	1.81±0.39[a]	1.83±0.18[a]	1.91±0.30[a]	1.75±0.31[a]	1.77±0.21[a]	2.00±0.29[a]	1.8±0.13[a]
Survival rate	100±0.00[a]	100±0.00[a]	100±0.00[a]	100±0.00[a]	100±0.00[a]	100±0.00[a]	100±0.00[a]
HSI	0.91±0.08[a]	0.94±0.16[a]	1.00±0.06[a]	0.99±0.10[a]	1.02±0.07[a]	1.02±0.20[a]	0.95±0.10[a]

In each row, the means with different letters are significantly different (p<0.05).
Experimental goups are 1 (55.33, 1.00), 2 (25.30, 1.00), 3 (55.13, 2.05), 4 (24.92, 2.03), 5 (54.94, 8.06), 6 (24.91, 8.06), and 7 (33.60, 5.97)

همچنین از این نظر تیمار ۴ نسبت به شاهد افزایش معنی‌داری داشت (*p*<۰/۰۵). با توجه به این‌که LA پیش‌ساز ArA است، با افزایش میزان LA در خوراک، محتوای ArA در عضله افزایش پیدا کرد. میزان EPA در تیمار شاهد (۳/۸۹) و تیمار ۲ (۲/۹۵ درصد) بیشترین مقدار و در تیمار ۵ (۰/۸۱ درصد) کمترین بود (*p*<۰/۰۵). بیشترین مقدار DHA در تیمار شاهد (۲۰/۶۴ درصد) مشاهده شد و تمام تیمارها نسبت به شاهد کاهش معنی‌داری داشتند به‌طوری‌که تیمار ۵ (۸/۳۷ درصد) دارای کمترین مقدار بود (*p*<۰/۰۵). از نظر محتوای SFA میان سایر تیمارها با گروه شاهد اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (*p*>۰/۰۵). تیمار ۵ بیشترین (۲۶/۲۹ درصد) و تیمارهای ۴ و ۲ دارای کمترین (۱۲/۴۷ و ۱۴/۵۲ درصد) محتوای MUFA بودند (*p*<۰/۰۵). محتوای PUFA تمام تیمارها به‌جز تیمار ۵ با تیمار شاهد اختلاف معنی‌داری نداشت (*p*>۰/۰۵). از نظر میزان n-3PUFA اختلاف معنی‌داری میان تیمارها مشاهده نشد (*p*>۰/۰۵)، ولی محتوای n-6PUFA تیمار ۶ بیشترین (۴۰/۷۳ درصد) و تیمار شاهد و ۵ کمترین (۲۰/۷۴ و ۲۶/۷۲ درصد) بود (*p*<۰/۰۵). محتوای HUFA تیمارها با گروه شاهد اختلاف معنی‌داری نداشت (*p*>۰/۰۵). بیشترین میزان n-6HUFA در تیمار ۵ (۷/۲۱ درصد) و کمترین میزان آن در تیمارهای ۷ و ۲ (۱/۲۱ و ۱/۳۶ درصد) مشاهده شد (p<۰/۰۵). محتوای n-6HUFA سایر تیمارها نسبت به تیمار شاهد اختلاف معنی‌داری نداشت (*p*>۰/۰۵). تیمار ۵ دارای بیشترین نسبت n-6PUFA/n-3PUFA (۲/۳۸ درصد) بود (*p*<۰/۰۵) و سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری با تیمار شاهد نداشتند (*p*>۰/۰۵). همچنین نسبت MUFA/PUFA همه گروه‌های آزمایشی اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشتند (*p*>۰/۰۵).

ترکیب اسیدهای چرب عضله ماهیان گروه‌های مختلف آزمایشی یک ماه پس از تغذیه با خوراک حاوی روغن ماهی، در جدول ۷ ارائه شده است. نتایج نشان داد که میزان LA در تمام تیمارها با گروه شاهد فاقد اختلاف آماری معنی‌دار بود (*p*>۰/۰۵). تیمار ۷ (شاهد) دارای کمترین (۰/۹۵ درصد) میزان ArA (C20:4n-6) بوده و تیمارهای ۵ و ۶ دارای بیشترین (۲/۹۰، ۲/۹۵ درصد) مقدار بودند (*p*<۰/۰۵). از نظر محتوای EPA تفاوت آماری معنی‌داری میان گروه‌های مختلف آزمایشی مشاهده نشد (*p*>۰/۰۵). بیشترین مقدار DHA متعلق به تیمار شاهد (۳۲/۱۴ درصد) و کمترین میزان آن به تیمار ۵ (۱۴/۵۳ درصد) تعلق داشت (*p*<۰/۰۵)؛ البته تفاوت آماری معنی‌داری میان سایر تیمارها با گروه شاهد

[Downloaded from isfj.ir on 2025-12-26]

مشاهده نشد (p>۰/۰۵). مشابه دوره اول آزمایش، از نظر محتوای SFA تفاوت آماری معنی‌داری میان تیمارها مشاهده نشد (p>۰/۰۵). تیمار ۱ بیشترین (۲۹/۴۴ درصد) و تیمارهای ۲، ۴ و ۶ کمترین (۱۷/۴۰، ۱۷/۶۱ و ۱۵/۸۶ درصد) محتوای عضلانی MUFA بودند (p<۰/۰۵). همچنین تیمار ۳ و ۵ با تیمار شاهد اختلاف معنی‌داری نداشتند (p>۰/۰۵).

جدول ۶: الگوی اسید چرب عضله (درصد از متیل استر) ماهی قزل آلای رنگین کمان تغذیه شده با جیره‌های مختلف آزمایشی در پایان مرحله اول آزمایش (n=3, Mean±SE)

Table 6: Muscle fatty acid profile (% of total methyl ester) of rainbow trout fed different experimental diets at the end of the first stage of the experiment (n=3, Mean±SE)

Fatty Acids	Experimental groups						
	1	2	3	4	5	6	7
C14:0	3.49±0.84^{ab}	2.56±0.94^{ab}	2.73±1.02^{ab}	1.97±1.03^{ab}	0.19±0.27^{a}	1.24±0.10^{ab}	3.85±1.11^{b}
C16:0	24.19±0.06^{c}	20.26±0.99^{ab}	21.08±0.14^{b}	19.23±0.44^{a}	18.96±0.28^{a}	19.56±0.39^{ab}	24.51±0.56^{c}
C16:1n-7	2.23±0.24^{a}	1.37±0.99^{a}	1.53±0.73^{a}	1.20±0.83^{a}	1.72±0.29^{a}	1.19±0.02^{a}	2.87±1.22^{a}
C18:0	4.30±0.74^{a}	5.19±1.14^{a}	3.68±0.29^{a}	4.61±0.03^{a}	4.35±0.38^{a}	4.91±0.07^{a}	4.11±0.70^{a}
C18:1n-9	20.79±1.83^{bc}	13.15±2.25^{ab}	17.42±3.38^{ab}	11.27±1.01^{a}	27.02±0.17^{c}	14.46±0.18^{ab}	15.13±4.31^{ab}
C182n-6Cis	15.33±1.02^{a}	19.80±1.09^{ab}	21.40±0.41^{b}	26.12±1.03^{c}	20.55±0.28^{b}	31.73±0.98^{d}	15.60±3.03^{a}
C18:3n-3	7.49±0.33^{cd}	12.69±1.47^{e}	5.68±0.44^{bc}	9.46±0.37^{c}	2.07±0.17^{a}	3.48±0.32^{ab}	2.49±1.07^{a}
C20:2n-6	4.79±1.54^{a}	3.67±0.65^{a}	8.31±6.11^{a}	3.40±0.00^{a}	1.60±0.54^{a}	3.80±1.38^{a}	3.93±3.01^{a}
C20:4n-6	1.84±0.32^{ab}	1.36±0.28^{ab}	2.66±0.30^{ab}	2.67±0.13^{b}	4.58±0.05^{c}	5.21±0.64^{c}	1.21±0.49^{a}
C20:3n-3	0.45±0.00^{a}	0.67±0.04^{a}	0.25±0.05^{a}	0.33±0.04^{a}	0.040±0.06^{a}	0.27±0.13^{a}	0.77±0.53^{a}
C20:5n-3	2.30±0.42^{cd}	2.95±0.12^{d}	1.87±0.12^{bc}	2.55±0.01^{cd}	0.81±0.04^{a}	1.13±0.16^{ab}	3.89±0.38^{g}
C22:6n-3	11.70±3.03^{a}	13.49±1.58^{a}	10.18±1.51^{a}	13.00±0.10^{a}	8.37±0.98^{a}	8.40±1.36^{a}	20.64±2.43^{b}
SFA	31.97±1.65^{a}	28.02±1.19^{a}	27.48±0.60^{a}	25.81±0.83^{a}	23.51±0.38^{a}	25.70±0.57^{a}	32.48±0.98^{a}
MUFA	23.01±2.06^{ab}	14.52±3.25^{a}	18.95±4.11^{ab}	12.47±1.84^{a}	29.26±0.07^{b}	15.66±0.15^{ab}	18.65±2.17^{ab}
PUFA	43.90±3.59^{ab}	54.62±4.67^{b}	50.36±4.08^{b}	57.55±0.41^{b}	38.02±0.34^{a}	54.01±0.06^{b}	48.52±0.73^{b}
n-3 PUFA	21.95±3.79^{a}	29.80±3.22^{a}	17.98±2.14^{a}	25.35±0.50^{a}	11.29±1.11^{a}	13.28±1.65^{a}	27.78±1.20^{a}
n-6 PUFA	21.96±0.20^{ab}	24.82±1.45^{ab}	32.38±6.21^{ab}	32.20±0.90^{ab}	26.72±0.78^{a}	40.73±1.72^{b}	20.74±0.48^{a}
HUFA	16.29±3.78^{a}	18.47±1.46^{a}	14.97±2.00^{a}	18.56±0.26^{a}	13.80±0.99^{a}	15.01±1.98^{a}	26.51±1.78^{a}
n-3HUFA	14.45±3.46^{a}	17.11±1.74^{ab}	12.30±1.69^{a}	15.89±0.13^{ab}	9.22±0.94^{a}	9.80±1.33^{a}	25.30±2.27^{b}
n6HUFA	1.84±0.32^{ab}	1.36±0.28^{a}	2.67±0.30^{ab}	2.67±0.13^{ab}	7.21±0.05^{b}	5.21±0.64^{ab}	1.21±0.49^{a}
n-6PUFA/n-3PUFA	1.02±0.18^{a}	0.84±0.04^{a}	1.83±0.56^{ab}	1.27±0.06^{ab}	2.38±0.30^{b}	3.10±0.51^{ab}	0.75±0.05^{a}
MUFA/PUFA	0.53±0.09^{a}	0.27±0.08^{a}	0.38±0.11^{a}	0.22±0.03^{a}	0.77±0.01^{a}	0.29±0.00^{a}	0.38±0.05^{a}

In each row, the means with different letters are significantly different (p<0.05)

[Downloaded from isfj.ir on 2025-12-26]

جدول ۷: الگوی اسید چرب عضله (درصد از متیل استر) ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان در پایان مرحله دوم آزمایش با تغذیه جیره نهایی حاوی روغن ماهی به عنوان منبع چربی جیره (n=3, Mean±SE)

Table 7: Muscle fatty acid profile (% of total methyl ester) of rainbow trout at the end of the second stage of the experiment feeding the finisher diet contained fish oil as the dietary lipid source (n=3, Mean±SE)

Fatty acids	Experimental groups						
	1	2	3	4	5	6	7
C14:0	2.37±0.30^{a}	3.30±1.03^{a}	2.84±1.16^{a}	3.91±1.71^{a}	4.36±0.13^{a}	3.28±1.98^{a}	1.74±0.66^{a}
C16:0	21.35±0.02^{a}	21.80±0.92^{a}	22.63±0.61^{a}	21.88±0.16^{a}	23.76±0.56^{a}	20.69±0.10^{a}	21.28±2.41^{a}
C16:1n7	3.04±0.48^{a}	2.82±0.34^{a}	2.93±0.93^{a}	1.87±0.27^{a}	2.26±0.32^{a}	1.69±0.02^{a}	2.57±1.23^{a}
C18:0	4.13±0.52^{a}	4.69±0.77^{a}	4.26±0.43^{a}	4.06±0.50^{a}	4.34±0.03^{a}	4.05±0.36^{a}	4.47±0.60^{a}
C18:1n-9	26.41±0.25^{b}	14.58±0.44^{a}	22.07±0.63^{ab}	15.74±3.48^{a}	20.01±0.01^{ab}	14.17±2.63^{a}	17.62±5.13^{ab}
C18:2n-6 Cis	14.15±0.01^{a}	15.37±4.35^{a}	14.08±0.81^{a}	16.81±1.53^{a}	17.11±1.77^{a}	17.08±2.09^{a}	9.93±2.98^{a}
C18:3n-3	4.16±0.33^{ab}	5.66±0.39^{b}	3.27±0.44^{ab}	5.05±0.29^{b}	0.98±1.38^{a}	3.83±1.58^{ab}	1.17±0.10^{a}
C202n-6	0.99±0.17^{a}	3.49±1.40^{a}	2.84±0.37^{a}	3.03±0.81^{a}	3.84±0.03^{a}	3.00±2.51^{a}	1.81±0.71^{a}
C20:4n-6	1.40±0.15^{ab}	1.44±0.37^{ab}	1.84±0.11^{ab}	1.86±0.16^{ab}	2.90±0.29^{b}	2.95±1.09^{b}	0.95±0.13^{a}
C20:3n-3	0.53±0.38^{a}	0.32±0.14^{a}	0.31±0.09^{a}	1.03±0.19^{a}	0.66±0.12^{a}	0.53±0.15^{a}	0.42±0.32^{a}
C20:5n-3	3.90±0.03^{a}	4.95±0.14^{a}	3.87±0.52^{a}	4.29±0.66^{a}	3.44±0.24^{a}	4.50±0.42^{a}	4.90±0.85^{a}
C22:6n-3	15.40±0.90^{ab}	19.17±0.63^{ab}	17.00±0.30^{ab}	18.71±2.50^{ab}	14.53±1.98^{a}	21.60±0.37^{ab}	32.14±10.12^{b}
SFA	27.85±0.80^{a}	29.79±0.66^{a}	29.73±2.21^{a}	29.84±1.37^{a}	32.45±0.46^{a}	28.02±1.53^{a}	27.49±2.47^{a}
MUFA	29.44±0.23^{b}	17.40±0.11^{a}	25.01±0.30^{ab}	17.61±3.75^{a}	22.27±0.31^{ab}	15.86±2.65^{a}	20.19±6.36^{ab}
PUFA	40.52±0.55^{a}	50.40±1.14^{a}	43.20±1.72^{a}	50.79±3.50^{a}	43.46±0.79^{a}	53.50±1.85^{a}	51.30±9.26^{a}
n-3PUFA	23.99±0.22^{a}	30.10±4.25^{a}	24.44±1.17^{a}	29.08±3.06^{a}	19.61±0.72^{a}	30.46±2.52^{a}	38.62±11.39^{a}
n-6PUFA	16.53±0.32^{ab}	20.30±5.38^{ab}	18.75±0.55^{ab}	21.71±0.44^{ab}	23.85±1.52^{b}	23.04±0.67^{b}	12.69±2.13^{a}
HUFA	21.24±0.70^{a}	25.88±5.00^{a}	23.01±0.84^{a}	25.89±3.51^{a}	21.53±2.40^{a}	29.59±0.15^{a}	38.40±11.42^{a}
n-3HUFA	19.84±0.55^{a}	24.44±4.64^{a}	21.18±0.73^{a}	24.03±3.35^{a}	18.63±2.11^{a}	26.63±0.94^{a}	37.45±11.29^{a}
n-6HUFA	1.40±0.15^{ab}	1.44±0.37^{ab}	1.84±0.11^{ab}	1.86±0.16^{ab}	2.90±0.29^{b}	2.95±1.09^{b}	0.95±0.13^{a}
n-6PUFA/n-3PUFA	0.69±0.01^{ab}	0.69±0.28^{ab}	0.77±0.01^{ab}	0.75±0.06^{ab}	1.22±0.12^{b}	0.76±0.08^{ab}	0.35±0.16^{a}
MUFA/PUFA	0.73±0.00^{b}	0.35±0.01^{a}	0.58±0.02^{ab}	0.35±0.10^{a}	0.51±0.00^{ab}	0.30±0.06^{a}	0.41±0.20^{ab}

In each row, the means with different letters are significantly different (p<0.05)

[Downloaded from isfj.ir on 2025-12-26]

محتوای PUFA تیمارهای مورد مطالعه تفاوت معنی‌دار آماری با یکدیگر نداشتند ($p>۰/۰۵$). همچنین، میزان n-3PUFA همه تیمارها فاقد اختلاف آماری معنی‌داری بود ($p>۰/۰۵$). ولی n-6PUFA تیمار ۵ و ۶ بیشترین (۲۳/۸۵ و ۲۳/۰۴ درصد) و تیمار شاهد کمترین (۱۲/۶۹ درصد) بود ($p<۰/۰۵$). همچنین از نظر میزان HUFA و n-3HUFA عضله ماهیان تفاوت آماری معنی‌داری میان گروه‌های مختلف آزمایشی وجود نداشت ($p>۰/۰۵$). بیشترین میزان n-6HUFA متعلق به تیمارهای ۵ و ۶ (۲/۹۰ و ۲/۹۵ درصد) و کمترین میزان آن متعلق به تیمار ۷ (۰/۹۵ درصد) بود ($p<۰/۰۵$). تیمار ۵ بیشترین نسبت n-6PUFA/n-3PUFA (۱/۲۲ درصد) و تیمار شاهد کمترین (۰/۳۵ درصد) نسبت را داشت ($p<۰/۰۵$). همچنین، بیشترین نسبت MUFA/PUFA در تیمار ۱ (۰/۷۳ درصد) و کمترین آن در تیمارهای ۲ و ۴ (۰/۳۵ و ۰/۳۵ درصد) مشاهده شد ($p<۰/۰۵$).

بحث

روغن ماهی برای تأمین اسیدهای چرب ضروری به‌ویژه EPA، DHA و ArA در خوراک ماهیان پرورشی استفاده می‌شود. در سال‌های اخیر، تولید روغن ماهی به دلیل کاهش ذخایر ماهی کاهش یافته که باعث افزایش قابل توجه هزینه خوراک شده است. یکی از راه‌کارهای رفع این مسئله، استفاده از روغن گیاهی است. با این‌حال، استفاده از روغن گیاهی به عنوان جایگزین روغن‌ماهی در خوراک به دلیل فقدان اسیدهای چرب بلند زنجیره چند غیر اشباع، ممکن است سبب تغییر نامطلوب در محتوای این اسیدهای چرب در عضله ماهیان پرورشی شود. استفاده از خوراک پایانی حاوی روغن ماهی قبل از برداشت و ارائه ماهیان به بازار جهت بهبود ارزش غذایی فیله این ماهیان، قابل پیشنهاد است.

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که جایگزینی کامل روغن ماهی با ترکیب روغن‌های گیاهی بر پایه یک خوراک کاملاً گیاهی در دوره اول پرورش، اثر قابل‌توجهی بر شاخص‌های رشد ماهیان قزل‌آلای رنگین‌کمان نداشت. همچنین در پایان دوره پرورش دوم نیز تفاوتی میان گروه‌های آزمایشی مورد مطالعه مشاهده نشد. رشد مناسب و عدم اختلاف معنی‌دار شاخص‌های رشد ماهیان مورد آزمایش نشان می‌دهد که منابع روغن‌های پیشنهادی اثر منفی بر رشد، بقاء و سلامتی ماهیان پرورشی نداشت.

در مطالعه Benitez-Dorta و همکاران (۲۰۱۳) جایگزینی کامل روغن ماهی با روغن‌های گیاهی هیچ تغییر نامطلوبی بر رشد ماهی *Solea senegalensis* نداشت. اثر جایگزینی روغن ماهی با روغن‌های گیاهی (روغن کانولا، روغن بزرک و روغن پالم) در جیره غذایی ماهی بأس دریایی اروپایی (*Dicentrarchus labrax*) بر شاخص‌های رشد بررسی توسط Mourente and Bell (2006) بررسی شد. نتایج آن‌ها نشان داد که ماهیان تغذیه شده با ۶۰ درصد روغن گیاهی، شاخص کبدی پایین‌تری نسبت به ماهیان تغذیه شده با ۱۰۰ درصد روغن ماهی و مخلوط ۴۰ درصد روغن ماهی به همراه ۶۰ درصد روغن گیاهی داشتند. Drew و همکاران (۲۰۰۷) تأثیر جایگزینی پودر و روغن ماهی با کنسانتره پروتئین کانولا و ترکیب روغن کانولا و روغن بزرک بر عملکرد رشد ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان را بررسی کردند. مشابه مطالعه حاضر، جایگزینی روغن ماهی با ترکیبی از روغن‌های کانولا و بزرک اثر منفی بر روند رشد ماهیان نداشت. نتایج مطالعه Guler و Yildiz (۲۰۱۱) نیز نشان داد که جایگزینی روغن ماهی با روغن بزرک به صورت جزیی و کامل در جیره ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان بر شاخص‌های رشد تأثیر نگذاشت.

ترکیب اسیدهای چرب لاشه ماهیان بازتابی از الگوی اسیدهای چرب خوراک مصرفی آنهاست (Eroldoğan *et al.*, 2012). نتایج مطالعه حاضر نشان داد، با افزایش روغن بزرک در جیره شماره ۲، میزان ALA عضله تیمار ۲ نسبت به سایر تیمارها افزایش چشمگیری داشت که مطابق با بررسی منابع صورت گرفته توسط Tocher (2003) در ماهی آزاد اقیانوس اطلس تغذیه شده با سطوح مختلف روغن بزرک در خوراک است؛ به‌طوری‌که تمام جیره‌های غذایی ۱ الی ۶ به‌جز خوراک شماره ۷، فاقد ArA، EPA و DHA بودند. محتوای ArA، EPA و DHA عضله ماهیان تغذیه شده با خوراک‌های ۱ الی ۶ در

[Downloaded from isfj.ir on 2025-12-26]

مطالعه حاضر نشان می‌دهد که ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان پرورشی قادر به طویل و غیراشباع سازی LA به ArA و ALA به EPA و بعد DHA بوده، زیرا میزان LA و ALA در عضله ماهی‌ها کمتر از میزان این اسیدهای چرب در خوراک بوده است. تغذیه ماهیان با جیره پایانی حاوی روغن ماهی باعث بهبود ArA، EPA و DHA در عضله ماهی‌هایی که قبلاً با جیره‌های مبتنی بر ترکیب روغن‌های گیاهی تغذیه شدند، گردید. میزان ذخیره‌سازی عضلانی HUFA در قزل‌آلای رنگین‌کمان در مطالعه حاضر از الگوی DHA > ArA > EPA پیروی کرد. اسیدهای چرب به‌ویژه HUFA، برای رشد بهینه قزل‌آلای رنگین‌کمان بسیار مهم هستند. ذخیره‌سازی ترجیحی DHA نسبت به EPA می‌تواند به این دلیل باشد که EPA نسبت به DHA راحت‌تر دچار بتا اکسیداسیون می‌شود و نشان‌دهنده استفاده انتخابی از EPA نسبت به DHA هنگام کاهش سطح جیره‌ای آنها برای حفظ یکپارچگی و عملکرد غشاء بافتی باشد (Yıldız *et al.*, 2018). Yıldız و همکاران (۲۰۱۸) اثرات جایگزینی روغن ماهی با روغن‌های گیاهی را بر رشد و الگوی اسیدهای چرب ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان به مدت ۱۲ هفته با استفاده از پنج جیره آزمایشی شامل جیره حاوی ۱۰۰ درصد روغن ماهی (FO) (گروه شاهد)، ۱۰۰ درصد روغن پنبه دانه (CSO)، ۱۰۰ درصد روغن کانولا (CO)، جیره‌ی مخلوط ۱(۲۵ درصدFO + ۲۵ درصدCO +۵۰ درصد CSO)، مخلوط ۲ (۵۰ درصدCO +۵۰ درصد CSO) مورد مطالعه قرار دادند. تمام گروه‌های آزمایشی به مدت ۱۲ هفته دیگر با جیره پایانی حاوی ۱۰۰ درصد روغن ماهی تغذیه شدند. مشابه نتیجه پژوهش حاضر، آنها دریافتند که می‌توان روغن ماهی را به طور کامل با جیره‌های مبتنی بر روغن گیاهی در ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان جایگزین کرد بدون این‌که تأثیر قابل‌توجهی بر رشد و استفاده از خوراک داشته باشد. محتوای اسیدهای چرب کل بدن ماهی بازتابی از ترکیب اسیدهای چرب خوراک بود به‌نحوی‌که با کاهش محتوای ArA، EPA و DHA لاشه ماهی همراه گردید. تغذیه با خوراک پایانی حاوی FO به طور موثری توانست محتوای ArA لاشه را احیاء نماید و به‌عبارتی منجر به بهبود قابل‌توجه HUFA لاشه شد و ماهیان تغذیه شده با خوراک MIX1 از نظر الگوی اسیدهای چرب کل بدن مشابه ماهیان تغذیه شده با خوراک حاوی روغن ماهی بودند که تا حدودی با نتایج مطالعه حاضر از نظر بازسازی محتوای اسیدهای چرب بلند زنجیره عضله ماهیان در پایان دوره دوم آزمایش همخوانی داشت. Bell و همکاران (۲۰۰۴) ماهی آزاد اقیانوس اطلس (*Salmo salar*) را به مدت ۴۰ هفته با جیره حاوی ۱۰۰ درصد روغن بذر کتان و با جیره پایانی روغن ماهی به مدت ۲۴ هفته تغذیه کردند. آنها دریافتند که با تغذیه پایانی، غلظت DHA و EPA بازسازی شد. Caballero و همکاران (۲۰۰۲) تأثیر منابع مختلف چربی جیره بر ترکیب اسیدهای چرب عضله ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان را با پنج جیره غذایی شامل تیمار شاهد، ۱۰۰ درصد روغن ماهی کاپلین، تیمار AS (۵۰ درصد روغن سویا + ۵۰ درصد روغن ماهی آنچوی)، تیمار AR(۶۱ درصد روغن کلزا + ۳۹ درصد روغن ماهی آنچوی) تیمار AOL (۱۰ درصد روغن ماهی آنچوی+ ۳۰ درصد روغن زیتون+ ۶۰ درصد روغن خوک)، تیمار CRP (۲۰ درصد روغن ماهی کاپلین+ ۴۰ درصد روغن کلزا+ ۴۰ درصد روغن پالم) به مدت ۶۴ روز مورد بررسی قرار دادند. نتایج مطالعه آنها نشان داد که بیشترین سطوح EPA در تیمار شاهد و تیمار AS و کمترین سطح در تیمار CRP بوده و بیشترین سطوح DHA در تیمار شاهد و تیمار AS بود که از نظر ترکیب اسیدهای چرب عضله منعکس‌کننده رژیم غذایی بود. اما سطوح EPA و DHA بافت به‌ترتیب کمتر و بیشتر از محتوای این اسیدهای چرب در خوراک مربوطه بود که مشابه یافته‌های پژوهش حاضر است.

Arslan و همکاران (۲۰۱۲) تأثیر جایگزینی روغن ماهی جیره با روغن‌های گیاهی مختلف شامل منابع چربی جیره غذایی (جیره MO[1])، روغن فندق (جیره HO)، ترکیبی از روغن بزرک و روغن سویا (۱:۱) (جیره LO+SO) و لسیتین سویا (جیره LE)، را بر شاخص‌های و ترکیب اسیدهای چرب ماهی قزل‌آلای قهوه‌ای (*Salmo trutta*) را به مدت ۶ هفته مطالعه کردند. الگوی اسیدهای چرب

[1] Menhaden oil

[Downloaded from isfj.ir on 2025-12-26]

بدن ماهی منعکس‌کننده ترکیب اسیدهای چرب جیره‌های آزمایشی بود. سطح بالای DHA در چربی‌های کل بدن ماهی‌های تغذیه شده با جیره‌ی غذایی LO+SO با سطح بالای ALA در جیره غذایی مطابقت دارد. ماهی‌های تغذیه شده با جیره غذایی LE که غنی از LA بود، دارای بالاترین سطح ArA در بدن خود بودند. بر این اساس، کارایی افزایش طول زنجیره کربنی و غیراشباع شدن اسیدهای چرب ضروری ۱۸ کربنی، ALA و LA، به منبع چربی جیره بستگی دارد و قزل‌آلای قهوه‌ای از توانایی لازم برای تبدیل LA و ALA به‌ترتیب به ArA و DHA برخوردار بوده که مشابه نتایج مطالعه حاضر است. Masiha و همکاران (۲۰۱۳) تأثیر روغن‌های گیاهی را بر ترکیب اسیدهای چرب ماهیان انگشت قد قزل‌آلای رنگین‌کمان به مدت ۸ هفته بررسی کردند. هفت جیره آزمایشی شامل گروه ۱۰۰ درصد روغن ماهی (FO)، ۱۰۰ درصد روغن کانولا (CO)، ۱۰۰ درصد روغن بذر کتان (FxO)، مخلوط ۱:۱ از روغن ماهی و روغن بذر کتان (FFxO)، مخلوط ۱:۱ روغن کانولا و بذر کتان (CFxO) و مخلوط ۱:۱:۱ روغن ماهی، روغن کانولا و روغن بذر کتان (FCFxO) بودند. نتایج حاصل از الگوی اسیدهای چرب نشان داد که ترکیب اسیدهای چرب عضله ماهی تحت تأثیر ترکیب اسیدهای چرب جیره قرار گرفت. بیشترین مقدار n-3 HUFA در عضله ماهیان تغذیه شده با روغن ماهی مشاهده شد که تفاوت معنی‌داری با سایر تیمارها داشت. افزایش زیادی در سطوح LA و ALA به ترتیب در عضله ماهی‌های تغذیه شده با CO و FxO وجود داشت. در این مطالعه، محتوای ALA عضله نسبت به جیره‌های غذایی آزمایشی پایین بود که می‌تواند ناشی از مشارکت بالای این اسید چرب در تولید انرژی، بتا اکسیداسیون یا اشباع و طویل‌سازی باشد. این موضوع با حضور محصولات حدواسط فرآیندهای غیراشباع و طویل شدن اسیدهای چرب سری n-۳ (18:4n-3 و 20:3n-3) در ماهیان تغذیه شده با خوراک‌های FxO، FFxO و FCFxO تأیید می‌شود. ماهی‌های تغذیه شده با خوراک‌های آزمایشی CO، FCO و FCFxO حاوی سطوح بالای اسیدهای چرب حدواسط سری n-۶ نظیر 18:3n-6: و 20:3n-6: بودند که موید عملکرد آنزیم غیر اشباع ساز زنجیره کربنی Δ6 بر LA در بدن بچه‌ماهیان مورد مطالعه است. آنها نتیجه گرفتند که امکان جایگزینی روغن ماهی خوراک با روغن کانولا در خوراک بچه‌ماهیان وجود دارد.

به طور کلی، با توجه به این‌که از نظر شاخص‌های رشد تفاوتی میان ماهیان تغذیه شده با خوراک حاوی روغن‌های گیاهی با ماهیان تغذیه شده با خوراک حاوی روغن‌ماهی، گروه شاهد (تیمار ۷) وجود نداشت، می‌توان از ترکیب این روغن‌ها برای تغذیه ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان تا اوزان نزدیک عرضه به بازار بدون نگرانی از افت سرعت رشد، استفاده کرد. همچنین نتایج اسیدهای چرب عضله نشان داد ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان از توانایی غیراشباع‌کردن و طویل‌سازی زنجیره کربنی اسیدهای چرب ۱۸ کربنی موجود در روغن‌های گیاهی به طور موثری برخوردار است. با وجود این، از نظر محتوای اسیدهای چرب EPA و DHA تیمار دوم وضعیت بهتری در پایان دوره اول آزمایش نسبت به سایر گروه‌های آزمایشی تغذیه شده با خوراک‌های حاوی روغن‌های گیاهی داشت. همچنین نتایج پژوهش حاضر نشان داد که تغذیه با جیره پایانی حاوی روغن ماهی باعث بهبود محتوای اسیدهای چرب LC-PUFA ماهیان گروه‌های آزمایشی شد. در پایان مرحله دوم آزمایش، از نظر محتوای اسیدهای چرب EPA و DHA تیمار ۲ و ۶ وضعیت بهتری نسبت به سایر گروه‌های آزمایشی تغذیه شده با خوراک‌های حاوی روغن‌های گیاهی داشتند.

تشکر و قدردانی

نویسندگان از ریاست و کارشناسان پژوهشکدهٔ آرتمیا و آبزی‌پروری و کارشناس آزمایشگاه گروه شیلات دانشکده منابع طبیعی دانشگاه ارومیه به جهت همکاری‌هایشان طی مراحل مختلف انجام آزمایش صمیمانه سپاسگزاری می‌نمایند.

[Downloaded from isfj.ir on 2025-12-26]

منابع

Arslan, M., Sirkecioglu, N., Bayir, A., Arslan, H. and Aras, M., 2012. The influence of substitution of dietary fish oil with different vegetable oils on performance and fatty acid composition of brown trout, *Salmo trutta*. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 12(3). DOI:10.4194/1303-2712-v12_3_04

Bell, J.G., McEvoy, J., Tocher, D.R., McGhee, F., Sargent, J.R. and Campbell, P.J., 2001. Replacement of fish oil with rapeseed oil in diets of Atlantic salmon (*Salmo salar*) affects tissue lipid compositions and hepatocyte fatty acid metabolism. *The Journal of Nutrition*, 131(5), 1535-1543. DOI:10.1093/jn/131.5.1535

Bell, J.G., Henderson, R.J., Tocher, D. R. and Sargent, J.R., 2004. Replacement of dietary fish oil with increasing levels of linseed oil: modification of flesh fatty acid compositions in Atlantic salmon (*Salmo salar*) using a fish oil finishing diet. *Lipids*, 39, 223-232. DOI:10.1007/s11745-004-1223-5

Benítez-Dorta, V., Caballero, M.J., Izquierdo, M., Manchado, M., Infante, C., Zamorano, M. J. and Montero, D., 2013. Total substitution of fish oil by vegetable oils in Senegalese sole (*Solea senegalensis*) diets: effects on fish performance, biochemical composition, and expression of some glucocorticoid receptor-related genes. *Fish Physiology and Biochemistry*, 39, 335-349. DOI:10.1007/s10695-012-9703-4

Caballero, M.J., Obach, A., Rosenlund, G., Montero, D., Gisvold, M. and Izquierdo, M.S., 2002. Impact of different dietary lipid sources on growth, lipid digestibility, tissue fatty acid composition and histology of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Aquaculture*, 214(1-4), 253-271. DOI:10.1016/S0044-8486(01)00852-3

Chen, C. Chen, J. Wang, S. You, C. and Li, Y., 2017. Effects of different dietary ratios of linolenic to linoleic acids or docosahexaenoic to eicosapentaenoic acids on the growth and immune indices in grouper, *Epinephelus coioides*. *Aquaculture*, 473, 153–160. DOI:10.1016/j.aquaculture.2017.02.010

Dernekbasi, S., Akyuz, A.P. and Karayucel, İ., 2021. Effects of total replacement of dietary fish oil by vegetable oils on growth performance, nutritional quality and fatty acid profiles of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) at optimum-and high temperature conditions. *Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 38(2), 237-246. DOI: 10.12714/egejfas.38.2.14

Drew, M.D., Ogunkoya, A.E., Janz, D.M. and Van Kessel, A.G., 2007. Dietary influence of replacing fish meal and oil with canola protein concentrate and vegetable oils on growth performance, fatty acid composition and organochlorine residues in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, 267(1-4), 260-268. DOI:10.1016/j.aquaculture.2007.01.002

Eroldogan, T., Turchini, G.M., Yılmaz, A. H., Taşbozan, O., Engin, K., Olculu, A., Ozsahinoglu1, I. and Mumogullarında, P., 2012. Potential of cottonseed oil as fish oil replacer in European sea bass feed formulation. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 12, 787-797. DOI:10.4194/1303-2712-v12_4_07

[Downloaded from isfj.ir on 2025-12-26]

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2020. The state of world fisheries and aquaculture 2020: *Sustainability in action*. *Food and Agriculture Organization of the United Nations*.1-28

Greone, D.H.S. and Selivonchik, D.P., 1990. Effects of dietary vegetable, animal and marine lipids on muscle lipid and hematology of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, 89, 165–182. DOI:10.1016/0044-8486(90)90308-a

Guler, M. and Yildiz, M., 2011. Effects of dietary fish oil replacement by cottonseed oil on growth performance and fatty acid composition of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Turkish Journal of Veterinary & Animal Sciences*, 35(3), 157-167. DOI:10.3906/vet-1002-252

Hardy, R.W., 2000. New developments in aquatic feed ingredients, and potential of enzyme supplements. *Avances en Nutrición Acuicola*, 19-22.

Lee, C.S. and Donaldson, E.M., 2001. General discussion on reproductive biotechnology in finfish aquaculture. *Aquaculture*, 197, 303-320. DOI:10.1016/s0044-8486(01)00591-9

Lepage, G. and Roy, C.C., 1984. Improved recovery of fatty acid through direct transesterification without prior extraction or purification. *Journal Lipid Research* 25, 1391–1396. DOI:10.1016/S0022-2275(20)34457-6

Marotta Lima, B.T. Takahashi, N.S. Tabata, Y.A. Shohei Hattori, R. Silva Ribeiro, C.D. and Guimaraes Moreira. R., 2019. Balanced omega-3 and -6 vegetable oil of Amazonian sacha inchi act as LC- PUFA precursors in rainbow trout juveniles: Effects on growth and fatty acid biosynthesis. *Aquaculture*, 509, 236–245. DOI:10.1016/j.aquaculture.2019.05.004

Masiha, A., Ebrahimi, E., Soofiani, N.M. and Kadivar, M., 2013. Effect of dietary vegetable oils on the growth performance and fatty acid composition of fingerlings of Rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Food Science and Technology*, 1(2), 21-29. DOI:10.13189/fst.2013.010202

Martinez, J.L., Petranovic, D. and Nielsen, J., 2016. Heme metabolism in stress regulation and protein production: From Cinderella to a key player. *Bioengineered*, 7(2):112-5. DOI:10.1080/21655979.2015.1126016

Menoyo, D., Izquierdo, M.S., Robaina, L., Gines, R., Lopez-Bote, C.J. and Bautista, J.M., 2004. Adaptation of lipid metabolism, tissue composition and flesh quality in gilthead sea bream (*Sparus aurata*) to the replacement of dietary fish oil by linseed and soyabean oils. *British Journal of Nutrition*, 92(1), 41-52. DOI:10.1079/BJN20041165

Mohammadi, M., Imani, A., Farhangi, M., Gharaei, A. and Hafezieh, M., 2020. Replacement of fishmeal with processed canola meal in diets for juvenile Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*): Growth performance, mucosal innate immunity, hepatic oxidative status, liver and intestine histology. *Aquaculture*, 518, 734824. DOI:10.1016/j.aquaculture.2019.734824

Mourente, G. and Bell, J.G., 2006. Partial replacement of dietary fish oil with blends of vegetable oils (rapeseed, linseed and

[Downloaded from isfj.ir on 2025-12-26]

palm oils) in diets for European sea bass (*Dicentrarchus labrax L.*) over a long term growth study: Effects on muscle and liver fatty acid composition and effectiveness of a fish oil finishing diet. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology*, 145(3-4), 389-399. DOI:10.1016/j.cbpb.2006.08.012

Nayak, M. Saha, A. Pradhan, A. Samanta, M. and Shankar Giri, S., 2017. Dietary fish oil replacement by linseed oil: Effect on growth, nutrient utilization, tissue fatty acid composition and desaturase gene expression in silver barb (*Puntius gonionotus*) fingerlings. *Comparative Biochemistry and Physiology, Part B: Biochemistry and Molecular Biology*, 205, 1–12. DOI:10.1016/j.cbpb.2016.11.009

Oo, A.N., Satoh, S. and Tsuchida, N., 2007. Effect of replacements of fishmeal and fish oil on growth and dioxin contents of rainbow trout. *Fisheries Science*, 73, 750-759. DOI:10.1111/j.1444-2906.2007.01393. x

Richard, N., Kaushik, S., Larroquet, L., Panserat, S. and Corraze, G., 2006. Replacing dietary fish oil by vegetable oils has little effect on lipogenesis, lipid transport and tissue lipid uptake in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *British Journal of Nutrition*, 96*(2)*, 299-309. DOI:10.1079/bjn20061821

Tocher, D.R., 2003. Metabolism and functions of lipids and fatty acids in teleost fish. *Reviews in Fisheries Science*, 11(2), 107-184. DOI:10.1080/713610925

Turchini, G.M., Moretti, V.M., Hermon, K., Caprino, F., Busetto, M.L., Bellagamba, F. and Francis, D. S., 2013. Monola oil versus canola oil as a fish oil replacer in rainbow trout feeds: effects on growth, fatty acid metabolism and final eating quality. *Food Chemistry*, 141(2), 1335-1344. DOI:10.1016/j.foodchem.2013.03.069

Webster, C.D. and Lim, C., 2002. Nutrient requirements and feeding of finfish for aquaculture. CABI Publishing. *New York, USA*, 418 P. DOI:10.1079/9780851995199.0327.

Xie, D. Liu, X. Wang, S. You, C. and Li, Y., 2018. Effects of dietary LNA/LA ratios on growth performance, fatty acid composition and expression levels of elovl5, Δ4 fad and Δ6/Δ5 fad in the marine teleost *Siganus canaliculatus*. *Aquaculture*, 484, 309–316. DOI:10.1016/j.aquaculture.2017.08.039

Yildiz, M., Köse, I., Issa, G. and Kahraman, T., 2015. Effect of different plant oils on growth performance, fatty acid composition and flesh quality of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture Research*, 46, 2885–2896. DOI:10.1111/are.12441

Yıldız, M., Eroldogan, T.O., Ofori-Mensah, S., Engin, K. and Baltacı, M.A., 2018. The effects of fish oil replacement by vegetable oils on growth performance and fatty acid profile of rainbow trout: Re-feeding with fish oil finishing diet improved the fatty acid composition. *Aquaculture*, 488, 123-133. DOI:10.1016/j. aquaculture.2017.12.030

[Downloaded from isfj.ir on 2025-12-26]