



University of Guilan

University of Guilan with collaboration of Iranian
Aquaculture Society

Aquatic Animals Nutrition

Vol. 7, No. 1, 2021, pages: 15-26



Effects of partial replacement of fish oil by beef tallow fat and canola oil on growth and feeding parameters and carcass composition of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*)

Hamid Jafar Nodeh, Afshin Ghelichi*, Sarah Jorjani, Reza Akrami

Department of Fisheries, Faculty of Agriculture Sciences and Natural Resources, Islamic Azad University, Azadshahr Branch, Azadshahr, Golestan, Iran

Received 10 December 2020

Accepted 15 March 2021

KEYWORDS

Rainbow trout
Beef tallow fat
Canola oil
Growth and feeding parameters
Carcass composition

ABSTRACT

To investigate the effects of partial replacement of calf fat and canola oil instead of dietary fish oil on the growth performance and chemical composition of rainbow trout, 250 fish with an average weight of 22.2 ± 0.6 g and a density of 20 fish per 500-liter fiberglass tank were distributed and fed over a 90-day period. Experimental treatments (3 replicates each) were as follows: Treatment 1 (control = T₁): adding 100% fish oil to the diet; Treatment 2 (T₂): replacement of fish oil with 50% canola oil; Treatment 3 (T₃): replacement of fish oil with 50% beef tallow fat; Treatment 4 (T₄): replacement of fish oil with 25% beef tallow fat and 25% canola oil. According to the results, the highest rate of weight gain, biomass increase, survival rate and the lowest feed conversion ratio were observed in the control and T₄. The lowest percentage of weight gain, specific growth rate, daily growth index and feed, protein and fat efficiency ratios were measured in T₃. According to the results, the protein production and fat production values were the highest in T₃, exhibiting significant differences with other experimental treatments. The results showed that the amount of moisture in T₃ was significantly lower than in the other treatments. In addition, the amounts of fat in T₃ and T₄ were significantly higher than in the control and T₂. The lowest percentage of protein was observed in T₂. In conclusion, using a combination of animal fats with vegetable oils and fish oil has a much better effect compared to using each of them alone with fish oil. Therefore, treatment 4 (replacement of fish oil with 25% beef tallow fat and 25% canola oil) is recommended in terms of the studied parameters.

*Corresponding author: afshin.ghelichi@yahoo.com



"مقاله پژوهشی"

تأثیر جایگزینی چربی پیه گوساله و روغن کانولا به جای بخشی از روغن ماهی جیره بر فراسنجه‌های رشد، تغذیه و ترکیب شیمیایی ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان (*Oncorhynchus mykiss*)

حمید جعفرنوده، افشین قلیچی*، سارا جرجانی، رضا اکرمی

گروه شیلات، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد آزادشهر، آزادشهر، گلستان

تاریخ پذیرش: ۹۹/۱۲/۲۵

تاریخ دریافت: ۹۹/۰۹/۲۰

کلمات کلیدی

چکیده

به منظور بررسی تأثیر جایگزینی بخشی از روغن ماهی جیره با چربی گوساله و روغن کانولا بر عملکرد رشد و ترکیب شیمیایی ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان، تعداد ۲۵۰ عدد ماهی با وزن متوسط $22/2 \pm 0/6$ گرم و با تراکم ۲۰ عدد در حوضچه‌های ۵۰۰ لیتری فایبرگلاس توزیع و طی یک دوره ۹۰ روزه تغذیه شدند. تیمارهای آزمایشی (هر کدام ۳ تکرار) به شرح زیر بودند: تیمار ۱ (شاهد)، تیمار ۲: جایگزینی روغن ماهی با روغن کانولا به میزان ۵۰٪، تیمار ۳: جایگزینی روغن ماهی با چربی پیه گوساله به میزان ۵۰٪، تیمار ۴: جایگزینی روغن ماهی با چربی پیه گوساله به میزان ۲۵٪ و روغن کانولا به میزان ۲۵٪. بیشترین میزان افزایش وزن، افزایش زی‌توده، نرخ زنده‌مانی و کمترین میزان ضریب تبدیل غذایی در گروه شاهد و تیمار ۴ مشاهده شد. کمترین درصد افزایش وزن، نرخ رشد ویژه، شاخص رشد روزانه و نسبت کارایی غذا، پروتئین و چربی در تیمار ۳ اندازه‌گیری شد. با توجه به نتایج حاصله، فراسنجه ارزش تولید پروتئین و ارزش تولید چربی در تیمار ۳ بیشترین مقدار بود ($p < 0/05$). نتایج سنجه ترکیب شیمیایی نشان داد که میزان رطوبت در تیمار ۳ کمتر از دیگر تیمارها بود ($p < 0/05$). همچنین، میزان چربی در ماهیان تیمارهای ۳ و ۴، نسبت به گروه شاهد و تیمار ۲ به‌طور معنی‌دار بیشتر بود. کمترین درصد پروتئین در ماهیان تیمار ۲ مشاهده شد. می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از ترکیب چربی‌های حیوانی به همراه روغن‌های گیاهی و روغن ماهی تأثیر بسیار بهتری در مقایسه با استفاده از هر کدام از آنها به تنهایی در کنار روغن ماهی دارد. بنابراین استفاده از تیمار ۴ به لحاظ برتری فراسنجه‌های مورد بررسی، پیشنهاد می‌شود.

مقدمه

امروزه ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان (*Oncorhynchus mykiss*) مهم‌ترین گونه پرورشی در اکثر کارگاه‌های تکثیر و پرورش ماهیان سردآبی در بیشتر نقاط جهان است. در حال حاضر، قزل‌آلای رنگین‌کمان اساس صنعتی را تشکیل می‌دهد که در حال توسعه است و اهمیت آن به خصوص در کشورهایی که قادر به تدارک شرایط و مهیا کردن محیط آب شیرین، یا شور برای پرورش آن هستند، در حال افزایش است.

در پرورش ماهی، غذا و تغذیه از نکات مهم بوده که هر تولیدکننده باید به آن توجه خاصی داشته باشد، زیرا قسمت اعظم پرورش (۵۰ الی ۶۰٪) را تشکیل می‌دهد (فکراندیش و همکاران، ۱۳۸۵). واضح است که توسعه آبی‌پروری شدیداً به در دسترس بودن آرد ماهی و روغن ماهی بستگی دارد. دلیل آن هم میزان قابل توجه روغن ماهی در جیره آزادماهیان است. در نتیجه، از زمانی که تولید سالانه روغن ماهی ثابت ماند و ذخایر ماهیان سطح‌زی کوچک محدود شد، این امر موجب بروز نگرانی‌هایی شده است. بنابراین، در حال حاضر صنعت خوراک آبیان، نیاز شدیدی به یافتن و پیاده‌سازی جایگزین‌های مناسب برای روغن ماهی دارد. در سال‌های اخیر، تلاش‌های تحقیقاتی قابل توجهی برای یافتن جایگزین‌های مناسب برای روغن ماهی انجام شده است. چالش اصلی در این گونه تحقیقات، حفظ تأثیرات مثبت شناسایی شده برای اسیدهای چرب EPA و DHA در ماهیان مصرفی است، ضمن اینکه به طور همزمان سلامت ماهیان و رشد بهینه ماهیان تأمین شود. چربی در جیره غذایی ماهی نه تنها یک منبع انرژی است، بلکه نقش مهمی در بسیاری از فعالیت‌های فیزیولوژیک بدن دارد. این اسیدهای چرب و به‌خصوص اسیدهای چرب ضروری در تکامل جنینی، تخم‌ریزی، دستگاه ایمنی، عکس‌العمل‌های استرسی و در روند سازگاری نقش بسیار مهمی دارند (Bell and Sargent 2003). مطالعات در مورد ده گونه ماهی مهم پرورشی نشان داده که به‌طور میانگین برای تولید یک کیلوگرم ماهی پرورشی که با غذاهای تجاری پرورش می‌یابند، تقریباً ۱/۹ کیلوگرم ماهی وحشی، برای تولید آرد و روغن ماهی مصرف می‌شود (Naylor et al. 2009). دانشمندان پیش‌بینی کرده‌اند که تا سال ۲۰۵۰

کاهش شدیدی در صید تمامی گونه‌های وحشی آبیان رخ خواهد داد و این امر می‌تواند صنعت آبی‌پروری را به دلیل عدم امکان تهیه آرد و روغن ماهی، تهدید کند. لذا، صنعت آبی‌پروری به منظور کاهش این فقدان باید به دنبال منابع پایدارتر و کم‌هزینه‌تر دیگر باشد (Turchini et al. 2009). روغن‌های گیاهی دارای مقادیر کمی از EPA، DHA و 18:2n-6 هستند (Bell et al. 2002). در این بین، روغن کانولا دارای بیشترین سطح اسید چرب آلفالینولنیک اسید 18:3n-3 در بین دیگر روغن‌های گیاهی است که نشان‌دهنده توان بالقوه بالای آن برای تبدیل به EPA و DHA در صورت استفاده در جیره ماهیان پرورشی آب شیرین است.

تولیدات صنایع کشاورزی-غذایی همراه با ایجاد محصولات جنبی کم‌ارزش مانند منابع چربی است که می‌توان در خوراک آبیان استفاده کرد. چربی‌های دامی غنی از اسیدهای چرب اشباع شده (SFA) هستند (Turchini et al. 2009). با وجود این، به علت قیمت کم و در دسترس بودن، جایگزینی جزئی روغن‌های حیوانی به جای روغن ماهی در جیره غذایی ماهیان باید بررسی شود (Bureau et al. 2002; Turchini et al. 2009)، هرچند که نباید این جایگزینی باعث کاهش شاخص‌های رشد و ارزش غذایی ماهی شود. از طرفی، روغن‌های حیوانی را می‌توان به عنوان جایگزینی پایدار استفاده کرد. استفاده از روغن‌های دامی هنوز به‌ندرت در صنعت آبی‌پروری مورد توجه است (Friesen et al. 2013; Gause and Trushenski, 2013; Emery et al. 2016; Monteiro et al. 2018; Carvalho et al. 2020) و تنها چند مطالعه در این خصوص انجام شده است که می‌توان به تحقیق روی شاه‌ماهی دم‌زرد (*Seriola lalandi*) (Bowyer et al. 2012)، سیم دریایی (*Sparus aurata*) (Perez et al. 2014) و باس دریایی اروپایی (*Dicentrarchus labrax*) (Monteiro et al. 2018) اشاره کرد.

با توجه به اینکه یکی از پرهزینه‌ترین بخش‌های غذایی ماهی قزل‌آلا را روغن ماهی تشکیل می‌دهد، در این تحقیق به بررسی اثرات جایگزینی جزئی روغن ماهی با روغن پیه گوساله، روغن گیاهی کانولا و مخلوط روغن پیه گوساله و

ماهی و ۵۰٪ روغن دامی (پیه گوساله)، تیمار ۳: جیره حاوی ۵۰٪ روغن ماهی و ۵۰٪ روغن گیاهی (کانولا)، تیمار ۴: جیره حاوی ۵۰٪ روغن ماهی و ۲۵٪ روغن دامی (پیه گوساله) و ۲۵٪ روغن گیاهی (کانولا).

تهیه جیره‌های غذایی

جیره‌های غذایی تهیه شده در تحقیق طبق معیارهای NRC طراحی شدند (جدول ۱). سپس، خوراک بر روی سطحی تمیز پخش شد تا در مجاورت هوا خشک شوند. سپس هر جیره در ظرف‌های جداگانه که قبلاً توسط برچسب کدگذاری شده بود، قرار داده شد. روغن ماهی و روغن گیاهی کانولا از شرکت‌های معتبر تهیه شد. چربی دامی (پیه گوساله) از کشتارگاه‌های صنعتی تهیه و براساس روش‌های معمول، روغن‌گیری شد. به این ترتیب که بعد از پاک کردن، به قطعات کوچک‌تر بریده و درون ظرفی بر روی شعله کم قرار داده شد. بعد از ذوب شدن روغن، از صافی عبور داده و در یخچال نگهداری شد. ترکیب شیمیایی جیره نیز در جدول ۲ آورده شده است.

روغن کانولا بر فراسنجه‌های رشد، تغذیه و ترکیب شیمیایی ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان پرداخته شده است.

مواد و روش‌ها

تهیه ماهی

بچه ماهیان از یکی از مراکز پرورشی ماهیان سردابی استان گلستان تهیه شد. تعداد ۲۵۰ عدد ماهی با وزن متوسط ۰/۶ ± ۲۲/۲ گرم انتخاب و بعد از سازگاری به حوضچه‌های ۵۰۰ لیتری منتقل شد. قبل از انتقال ماهیان به حوضچه‌ها، وزن و درازای کل ماهیان اندازه‌گیری شد. سپس در هر یک از ۱۲ حوضچه فایبرگلاس ۵۰۰ لیتری، ۲۰ عدد ماهی قرار داده شد. تمام مراحل اجرایی این تحقیق در کارگاه آموزشی و پژوهشی آبری‌پروری دانشگاه آزاد اسلامی واحد آزادشهر انجام شد. دمای آب کارگاه در طول دوره پرورش ۱۴/۸۵ ± ۰/۶۷ درجه سانتی‌گراد و pH آب ۰/۱۷ ± ۷/۳۵ بود.

تیمارهای آزمایشی

چهار تیمار به شرح زیر طراحی شد: تیمار ۱ (شاهد): جیره حاوی ۱۰۰٪ روغن ماهی، تیمار ۲: جیره حاوی ۵۰٪ روغن

جدول ۱ اجزای جیره‌های غذایی فرموله شده مورد استفاده در تحقیق حاضر.

اجزاء (گرم در کیلوگرم)	تیمار ۱ (شاهد)	تیمار ۲	تیمار ۳	تیمار ۴
آرد ماهی	۳۶۰	۳۶۰	۳۶۰	۳۶۰
پودر سویا	۱۲۰	۱۲۰	۱۲۰	۱۲۰
پودر گوشت	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
پودر طیور	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
آرد گندم	۱۲۰	۱۲۰	۱۲۰	۱۲۰
روغن ماهی	۱۵۰	۷۵	۷۵	۷۵
چربی پیه گوساله	۰	۷۵	۰	۳۷/۵
روغن کانولا	۰	۰	۷۵	۳۷/۵
مکمل مخلوط ویتامینه	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵
مکمل مخلوط مواد معدنی	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵
لازین	۱/۵	۱/۵	۱/۵	۱/۵
میونین	۱/۵	۱/۵	۱/۵	۱/۵
کولین کلراید	۲	۲	۲	۲
بنتونیت	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵

جدول ۲ ترکیب شیمیایی جیره‌های غذایی فرموله شده مورد استفاده در تحقیق حاضر.

ترکیب شیمیایی (%)	تیمار ۱ (شاهد)	تیمار ۲	تیمار ۳	تیمار ۴
پروتئین خام	۴۲/۰۰	۴۲/۳۰	۴۲/۲۰	۴۲/۲۸
چربی خام	۱۸/۳۵	۱۷/۹۵	۱۸/۲۰	۱۸/۱۵
فیبر خام	۲/۸	۲/۹	۳/۰	۳/۰
خاکستر	۸/۰۰	۷/۹۰	۸/۱۰	۷/۹۸
رطوبت	۱۰/۰۰	۹/۸۰	۹/۹۰	۹/۸۵
عصاره عاری از نیتروژن	۱۸/۸۵	۱۹/۱۵	۱۸/۷۰	۱۸/۷۴
انرژی ناخالص (کیلوژول در گرم)	۲۰/۵۱	۲۰/۴۸	۲۰/۴۸	۲۰/۴۸

نحوه غذادهی

ماهیان روزانه طبق جداول غذادهی در ۲ وعده صبح و عصر به صورت دستی به مدت ۹۰ روز غذادهی شدند. بعد از هر بار زیست‌سنجی و تعیین متوسط زی‌توده موجود در حوضچه‌ها، میزان غذای مورد نیاز بر اساس وزن بدن ماهیان با استفاده از جداول غذادهی، تعیین شد.

تعیین فراسنجه‌های رشد

برای بررسی چگونگی عملکرد جیره‌های مختلف و مقایسه آنها، در فواصل زمانی مشخص از طریق داده‌های به‌دست آمده از زیست‌سنجی و انجام آزمایش‌های تغذیه‌ای بر اساس فرمول-های موجود، برخی از شاخص‌های رشد و تغذیه به شرح زیر تعیین شد (Liland et al. 2013).

- میانگین وزن ابتدای دوره به گرم - میانگین وزن انتهایی دوره به گرم = افزایش وزن بدن (گرم)
- $100 \times$ [(میانگین وزن انتهایی دوره به گرم) / (میانگین وزن ابتدای دوره به گرم) - میانگین وزن انتهایی دوره به گرم] = درصد افزایش وزن بدن
- $100 \times$ [(دوره پرورش) / (لگاریتم طبیعی میانگین وزن ابتدای دوره به گرم - لگاریتم طبیعی میانگین وزن انتهایی دوره به گرم)] = نرخ رشد ویژه^۱ (درصد در روز)
- $100 \times$ [(دوره پرورش به روز) / (میانگین وزن ابتدای دوره به گرم - میانگین وزن انتهایی دوره به گرم)] = شاخص رشد روزانه^۲ (گرم در روز)
- $100 \times$ (تعداد ماهیان در ابتدای دوره / تعداد ماهیان در انتهایی دوره) = میزان زنده‌مانی (درصد)
- (میانگین وزن ماهیان ابتدای دوره × تعداد ماهیان در انتهایی دوره) - (میانگین وزن ماهیان ابتدای دوره × تعداد ماهیان در انتهایی دوره) = افزایش بیوماس (واحد وزن دوره)
- $100 \times$ (میانگین طول ماهی به سانتی‌متر / میانگین وزن ماهیان در انتهایی دوره به گرم) = فاکتور وضعیت^۳
- افزایش وزن به گرم / مقدار غذای دریافت شده به گرم = ضریب تبدیل غذایی^۴
- $100 \times$ [(۲/دوره پرورش) × (وزن ماهیان در ابتدای دوره + وزن ماهیان در انتهایی دوره)] / (کل غذای دریافت شده) = دریافت غذای روزانه^۵ (درصد)
- مقدار غذای دریافت شده به گرم / افزایش وزن به گرم = نسبت کارایی غذا^۶
- مقدار پروتئین دریافت شده به گرم / افزایش وزن به گرم = نسبت کارایی پروتئین^۷
- مقدار چربی دریافت شده به گرم / افزایش وزن به گرم = نسبت کارایی چربی^۸
- پروتئین مصرف شده / (مقدار پروتئین در عضله ماهی در ابتدای دوره - مقدار پروتئین در عضله ماهی در انتهایی دوره) = ارزش تولید پروتئین^۹
- چربی مصرف شده / (مقدار چربی در عضله ماهی در ابتدای دوره - مقدار چربی در عضله ماهی در انتهایی دوره) = ارزش تولید چربی^{۱۰}

¹ SGR: Specific growth rate

² DGI: Daily growth index

³ CF: Condition factor

⁴ FCR: Food conversion ratio

⁵ DFI: Daily feed intake

⁶ FER: Food efficiency ratio

⁷ PER: Protein efficiency ratio

⁸ LER: Lipid efficiency ratio

⁹ PPV: Protein productive value

¹⁰ LPV: Lipid productive value

۱۰۰ × (مقدار پروتئین دریافت شده / افزایش میزان پروتئین در عضله ماهی) = کارایی تثبیت پروتئین
 ۱۰۰ × (مقدار چربی دریافت شده / افزایش میزان چربی در عضله ماهی) = کارایی تثبیت چربی

نتایج

با توجه به نتایج حاصله، بیشترین میزان افزایش وزن در گروه شاهد و تیمار ۴ مشاهده شد که با تیمار ۳ اختلاف معنی دار داشتند ($p \leq 0.05$). همچنین، بیشترین درصد افزایش وزن نیز در گروه شاهد اندازه‌گیری شد که با دیگر تیمارهای آزمایشی دارای اختلاف معنی دار بود ($p \leq 0.05$). بیشترین میزان افزایش زی‌توده در گروه شاهد و تیمار ۴ مشاهده شد که با تیمارهای ۲ و ۳ دارای اختلاف معنی دار بود ($p \leq 0.05$). کمترین میزان شاخص نرخ رشد ویژه و رشد روزانه در تیمار ۳ مشاهده شد، به طوری که با دیگر تیمارهای تحقیق اختلاف معنی دار داشت ($p \leq 0.05$). همچنین نتایج حاصله نشان داد که با توجه به نتایج حاصله، بیشترین میزان زنده‌مانی در گروه شاهد و تیمار ۴ مشاهده شد که با تیمارهای ۲ و ۳ اختلاف معنی دار داشتند ($p \leq 0.05$). بیشترین میزان شاخص وضعیت نیز در گروه شاهد اندازه‌گیری شد که دارای اختلاف معنی دار با تیمار ۴ بود ($p \leq 0.05$ ؛ جدول ۳).

اندازه‌گیری ترکیب شیمیایی بدن

اندازه‌گیری رطوبت، چربی (سوکسله: Gerhardt, Germany)، پروتئین (کلدال: Thermo, England) و خاکستر (کوره در دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد: A.O.A.C., USA) طبق روش استاندارد انجام شد (2000).

تجزیه و تحلیل آماری

نرمال بودن داده‌ها توسط آزمون Shapiro-Wilk بررسی شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها از طریق آزمون تجزیه واریانس یک‌طرفه (= One-Way analysis of variance) و مقایسه میانگین بین تیمارها بر اساس آزمون دانکن (ANOVA) و مقایسه میانگین بین تیمارها بر اساس آزمون دانکن (Duncan's multiple-range test) انجام شد. وجود یا عدم وجود اختلاف معنی دار در سطح ۰.۵٪ با استفاده از نرم‌افزار SPSS (نسخه ۲۰) در محیط ویندوز انجام، و مقادیر $p < 0.05$ معنی دار تلقی شد.

جدول ۳ فراسنجه‌های رشد ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان در تیمارهای مختلف غذایی.

تیمار ۴	تیمار ۳	تیمار ۲	تیمار ۱ (شاهد)	ترکیب شیمیایی
۲۲/۹۳ ± ۱/۱۲	۲۲/۸۶ ± ۱/۵۷	۲۲/۷۶ ± ۱/۱۱	۲۲/۳۹ ± ۱/۷۳	وزن ابتدایی (گرم)
۷۰/۹۷ ± ۱/۲۱ ^a	۶۶/۸۹ ± ۲/۳۲ ^b	۶۹/۴۳ ± ۱/۷۸ ^{ab}	۷۱/۸۵ ± ۱/۲۷ ^a	وزن نهایی (گرم)
۴۷/۹۱ ± ۲/۵۲ ^{bc}	۴۳/۸۹ ± ۱/۳۵ ^c	۴۷/۱۱ ± ۱/۲۱ ^b	۴۹/۳۴ ± ۱/۳۸ ^a	میزان افزایش وزن (گرم)
۲۰۸/۹ ± ۲/۵۲ ^{ab}	۱۹۱/۲۳ ± ۳/۳۱ ^b	۲۰۷/۱۱ ± ۲/۷۱ ^{ab}	۲۲۰/۱۵ ± ۳/۳۲ ^a	میزان افزایش وزن (درصد)
۳/۱۱ ± ۰/۳۷ ^a	۲/۵۶ ± ۰/۹۱ ^b	۲/۶۶ ± ۰/۲۵ ^b	۳/۱۹ ± ۰/۷۲ ^a	میزان افزایش زی‌توده (کیلوگرم)
۱/۱۳ ± ۰/۰۳ ^a	۱/۰۷ ± ۰/۰۵ ^b	۱/۱۲ ± ۰/۰۱ ^a	۱/۱۶ ± ۰/۰۳ ^a	نرخ رشد ویژه (درصد در روز)
۱/۴۵ ± ۰/۰۴ ^a	۱/۳۶ ± ۰/۰۴ ^b	۱/۴۴ ± ۰/۰۳ ^a	۱/۴۸ ± ۰/۰۵ ^a	رشد روزانه (گرم در روز)
۹۶/۸۸ ± ۱/۰۵ ^a	۹۲/۴۳ ± ۲/۱۵ ^b	۹۱/۰۱ ± ۱/۷۲ ^b	۹۷/۲۲ ± ۱/۲۱ ^a	میزان زنده‌مانی (درصد)
۱/۲۲ ± ۰/۳۱ ^b	۱/۲۳ ± ۰/۱۳ ^{ab}	۱/۲۳ ± ۰/۱۲ ^{ab}	۱/۲۵ ± ۰/۲۱ ^a	فاکتور وضعیت

حروف لاتین مشابه نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح $p \leq 0.05$ است.

دریافت غذای روزانه در تیمار ۳ اندازه‌گیری شد که با گروه شاهد و تیمار ۴ دارای اختلاف معنی دار بود ($p \leq 0.05$). کمترین میزان نسبت‌های کارایی غذا، کارایی پروتئین و کارایی چربی در تیمار ۳ مشاهده شد، به طوری که با گروه

با توجه به نتایج حاصل از بررسی‌های مربوط به فراسنجه‌های تغذیه، کمترین میزان ضریب تبدیل غذایی در گروه شاهد و تیمار ۴ مشاهده شد، به طوری که دارای اختلاف معنی دار با تیمار ۳ بود ($p \leq 0.05$). همچنین، بیشترین میزان

شاهد و تیمار ۴ اختلاف معنی دار داشت ($p \leq 0.05$). با توجه به نتایج حاصله، فراسنجه ارزش تولید پروتئین در تیمار ۳ بیشترین مقدار بود، به طوری که دارای اختلاف معنی دار با تیمارهای ۲ و ۴ بود ($p \leq 0.05$) (جدول ۴). همچنین، ارزش تولید چربی نیز در تیمار ۳ بیشترین مقدار بود، به طوری که دارای اختلاف معنی دار با دیگر تیمارهای آزمایشی بود ($p \leq 0.05$). بیشترین میزان کارایی حفظ پروتئین در گروه شاهد اندازه گیری شد که دارای اختلاف معنی دار با تیمار ۲ بود ($p \leq 0.05$). بیشترین میزان کارایی حفظ چربی در تیمار ۴ و کمترین میزان در تیمار ۲ اندازه گیری شد (جدول ۴).

جدول ۴ فراسنجه های تغذیه ماهی قزل آلابی رنگین کمان در تیمارهای مختلف غذایی.

تیمار ۴	تیمار ۳	تیمار ۲	تیمار ۱ (شاهد)	
۱/۱۱ ± ۰/۰۵ ^{bc}	۱/۲۱ ± ۰/۰۲ ^a	۱/۱۳ ± ۰/۰۲ ^b	۱/۰۸ ± ۰/۰۳ ^c	ضریب تبدیل غذا
۱/۲۸ ± ۰/۱۲ ^b	۱/۳۴ ± ۰/۰۸ ^a	۱/۳۱ ± ۰/۱ ^{ab}	۱/۲۸ ± ۰/۰۹ ^b	دریافت غذای روزانه (درصد)
۰/۹۰ ± ۰/۰۲ ^{ab}	۰/۸۳ ± ۰/۰۳ ^b	۰/۸۸ ± ۰/۰۲ ^{ab}	۰/۹۳ ± ۰/۰۳ ^a	نسبت کارایی غذا
۲/۲۵ ± ۰/۰۹ ^{ab}	۲/۰۶ ± ۰/۱۶ ^b	۲/۲۱ ± ۰/۰۶ ^{ab}	۲/۳۱ ± ۰/۱۲ ^a	نسبت کارایی پروتئین
۵/۹۵ ± ۰/۱۹ ^{ab}	۵/۴۵ ± ۰/۲۱ ^b	۵/۸۳ ± ۰/۱۷ ^{ab}	۶/۱۵ ± ۰/۲۲ ^a	نسبت کارایی چربی
۰/۲۴۷ ± ۰/۰۳ ^{ab}	۰/۲۴۸ ± ۰/۰۱ ^{ab}	۰/۲۱۷ ± ۰/۰۲ ^b	۰/۲۵۴ ± ۰/۰۲ ^a	ارزش تولید پروتئین
۰/۰۹۲ ± ۰/۰۲ ^a	۰/۰۷۹ ± ۰/۰۳ ^b	۰/۰۴۲ ± ۰/۰۳ ^d	۰/۰۶۷ ± ۰/۰۳ ^c	ارزش تولید چربی
۲۴/۶۷ ± ۱/۳۹ ^a	۲۴/۸۵ ± ۱/۱۶ ^a	۲۲/۱۷ ± ۱/۲۲ ^b	۲۵/۳۸ ± ۱/۳۲ ^a	کارایی حفظ پروتئین
۹/۲۵ ± ۰/۵۹ ^a	۸/۰۹ ± ۰/۶۷ ^b	۴/۱۸ ± ۰/۷۲ ^d	۶/۸۸ ± ۰/۷۲ ^c	کارایی حفظ چربی

حروف لاتین مشابه نشان دهنده عدم وجود اختلاف معنی دار در سطح $p \leq 0.05$ است.

در تیمار ۲ و بیشترین میزان در تیمار ۳ مشاهده شد، به طوری که دارای اختلاف معنی دار با یکدیگر و دیگر تیمارها بودند ($p \leq 0.05$). درصد خاکستر در ماهیان تیمار ۳ بیشترین مقدار بود، به طوری که دارای اختلاف معنی دار با دیگر تیمارهای آزمایشی بود ($p \leq 0.05$)؛ (جدول ۵).

با توجه به جدول ۳، میزان رطوبت در ماهیان تیمار ۳ به طور معنی داری کمتر از ماهیان دیگر تیمارها بود ($p \leq 0.05$). میزان رطوبت در ماهیان تیمارهای مختلف با یکدیگر اختلاف معنی دار داشت ($p \leq 0.05$). همچنین، میزان چربی در ماهیان تیمارهای ۳ و ۴، نسبت به ماهیان گروه شاهد و تیمار ۲ به طوری که دارای اختلاف معنی دار بود ($p \leq 0.05$). کمترین درصد پروتئین

جدول ۵ ترکیب شیمیایی ماهی قزل آلابی رنگین کمان در تیمارهای مختلف غذایی.

تیمار ۴	تیمار ۳	تیمار ۲	تیمار ۱ (شاهد)	ترکیب شیمیایی
۷۵/۹۰ ± ۰/۵۰ ^c	۷۴/۱۷ ± ۰/۱۰ ^d	۷۷/۶۵ ± ۰/۹۶ ^a	۷۶/۲۵ ± ۰/۳۶ ^b	رطوبت (%)
۳/۳۳ ± ۰/۰۱۴ ^a	۳/۲۷ ± ۰/۰۱۷ ^a	۲/۴۵ ± ۰/۰۵۷ ^c	۲/۸۰ ± ۰/۰۲۸ ^b	چربی کل (%)
۱۸/۷۷ ± ۰/۷۱ ^b	۱۹/۹۳ ± ۰/۷۸ ^a	۱۷/۶۳ ± ۰/۳۵ ^c	۱۸/۷۰ ± ۰/۰۸۷ ^b	پروتئین کل (%)
۱/۸۲ ± ۰/۰۳۵ ^c	۲/۳۰ ± ۰/۰۸۲ ^a	۲/۱۶ ± ۰/۰۳۵ ^b	۲/۱۵ ± ۰/۰۲۵ ^b	خاکستر (%)

حروف لاتین مشابه نشان دهنده عدم وجود اختلاف معنی دار در سطح $p \leq 0.05$ است.

زندهمانی (%)، متعلق به گروه شاهد (۱۰۰٪ روغن ماهی) و همچنین، تیمار ۴ (۵۰٪ روغن ماهی و ۲۵٪ روغن دامی و ۲۵٪ روغن کانولا) بود. کمترین میانگین وزن نهایی، افزایش

بحث

بر اساس نتایج این تحقیق، بالاترین میانگین وزن نهایی، میزان افزایش وزن (گرم)، زی توده نهایی (کیلوگرم) و میزان

آلای رنگین کمان در طی ۸ هفته پرورش شد. دلیل مغایرت ممکن است تفاوت در نوع روغن مورد استفاده حیوانی، طول دوره پرورش و اندازه اولیه ماهی باشد.

طبق نتایج حاصل از این تحقیق با افزایش درصد جایگزینی روغن حیوانی در جیره ماهی قزل‌آلای رنگین کمان ضریب تبدیل غذایی و درصد دریافت غذای روزانه افزایش یافت.

Nogales-Mérida و همکاران (۲۰۱۱) گزارش کردند که جایگزینی روغن ماهی با روغن خوک تا ۷۵٪ در ماهی *Diplodus puntazzo* تفاوت معنی‌داری در ضریب تبدیل غذایی ایجاد نمی‌کند، ولی جایگزینی کامل روغن ماهی با مخلوط روغن پیه گاو و روغن خالص لینولنیک ذرت در ماهی *Sparus aurata* منجر به افزایش ضریب تبدیل غذایی می‌شود (Perez et al. 2014). در مطالعه حاضر، بالاتر بودن ضریب تبدیل غذایی در تیمار ۳ احتمالاً به دلیل بالاتر بودن میزان دریافت غذای روزانه است. به نظر می‌رسد بالا بودن میزان دریافت غذای روزانه به علت انرژی قابل هضم پایین‌تر جیره غذایی تیمار ۳ به واسطه حضور چربی قابل هضم پایین‌تر باشد، زیرا ماهی قادر است مقدار دریافت غذای روزانه را بر اساس نیاز انرژی روزانه خود تنظیم کند. Caballero و همکاران (۲۰۰۲) نیز در تحقیق خود چنین نظریه‌ای را مطرح کرده بود.

در تحقیق حاضر، بیشترین نسبت کارایی غذا، کارایی پروتئین و کارایی چربی در گروه شاهد و سپس در تیمار ۴ محاسبه شد. کمترین نسبت کارایی پروتئین نیز در تیمار ۳ مشاهده شد. افزایش سهم روغن دامی در جیره غذایی ماهی قزل‌آلای رنگین کمان در این تحقیق، کارایی غذا، کارایی پروتئین و کارایی چربی را تحت تأثیر قرار داد و باعث کاهش آنها شد. قابلیت هضم چربی جیره اساساً مربوط به منابع چربی، پروفایل اسید چرب، درجه اشباعیت، طول زنجیره اسید چرب، محل پیوند دوگانه، محل جاگیری اسید چرب روی ساختمان گلیسرول و همچنین به نقطه ذوب روغن است (Monteiro et al. 2018). در ماهیان هضم‌پذیری اسیدهای چرب با کاهش درجه غیراشباعیت کاهش می‌یابد (Olsen et al. 1998). سطوح بالای اسیدهای چرب MUFA و MUFAs در منابع چربی حیوانات خشکی، باعث بالاتر شدن نقطه ذوب آنها در مقایسه با روغن ماهی می‌شود

وزن، نرخ رشد ویژه، شاخص رشد روزانه، زی‌توده نهایی و میزان زنده‌مانی متعلق به تیمار ۳ (۵۰٪ روغن ماهی و ۵۰٪ روغن دامی) بود و تیمار ۲ (۵۰٪ روغن ماهی و ۵۰٪ روغن گیاهی) مشاهده شد.

نتایج تحقیق Sankian و همکاران (۲۰۱۹) در ماهی ماندترین جوان (*Siniperca scherzeri*) نشان داد که جایگزینی کلی منابع چربی مختلف (روغن بذر کتان، روغن سویا و روغن خوک) تأثیری بر شاخص‌های رشد ندارد. Monteiro و همکاران (۲۰۱۸) گزارش کردند که در ماهی باس دریایی اروپایی جایگزینی تا ۷۵٪ تأثیری در فراسنجه‌های رشد مانند وزن نهایی و شاخص رشد روزانه ندارد. Babbar و Baweja (۲۰۱۵) در بررسی فراسنجه‌های رشد ماهی کپور معمولی (*Cyprinus carpio*) پرورش یافته با جیره محتوی روغن‌های حیوانی (چربی طیور و چربی غاز) به جای روغن ماهی نشان دادند که جایگزینی ۲۵ تا ۵۰٪ روغن ماهی با روغن‌های حیوانی تأثیر منفی بر شاخص‌های رشد، بقا و ترکیب شیمیایی عضله ماهی ندارد. Bayir و Bayraktar (۲۰۱۲) تأثیر جایگزینی کلی روغن ماهی جیره با چربی‌های مختلف حیوانی (چربی غاز، چربی دنبه گوسفند و چربی گاو) را به مدت شش هفته در ماهی قزل‌آلای رنگین کمان جوان بررسی کردند. نتایج آنها نشان داد که وزن نهایی و نرخ رشد ویژه تیمارهای مختلف در انتهای دوره با یکدیگر اختلاف معنی‌داری نداشت.

Nogales-Merida و همکاران (۲۰۱۱) نیز در جایگزینی تا ۷۵٪ مخلوط روغن خوک به جای روغن ماهی در جیره غذایی ماهی سیم دریایی (*Diplodus puntazzo*) تفاوت معنی‌داری در فراسنجه‌های رشد و تغذیه بین تیمارهای مختلف مشاهده نکردند. نتایج تحقیق حاضر مغایر با برخی از مطالعات قبلی است که گزارش کرده بودند روغن‌های جایگزین متعددی را می‌توان جایگزین کامل روغن ماهی در جیره ماهیان آب شیرین کرد، بدون اینکه تأثیر سوئی بر فراسنجه‌های رشد و تغذیه داشته باشند (Turchini et al. 2011; Kowalska et al. 2012; Jiang et al. 2013; Han et al. 2016; Zhou et al. 2013). در مطالعه حاضر، جایگزینی ۵۰٪ روغن پیه گوساله به جای روغن ماهی باعث ایجاد تغییرات سوئی در فراسنجه‌های رشد و تغذیه ماهی قزل-

(Bureau et al. 2002). به نظر می‌رسد افزایش سهم روغن دامی به خاطر افزایش اسیدهای چرب اشباع در جیره همراه با کاهش قابلیت هضم و جذب چربی، باعث کاهش کارایی غذا، کارایی چربی و به دنبال آن کاهش فراسنجه‌های رشد، مانند میانگین وزن نهایی، میزان افزایش وزن و زی توده نهایی شده است.

با توجه به نتایج به دست آمده، بیشترین ارزش تولید پروتئین (PPV) در گروه شاهد و تیمار ۴ به دست آمد. تیمار ۲ به طور معنی‌دار کمترین PPV را داشت. یکی از دلایل اساسی در کاهش معنی‌دار PPV در تیمار ۲ ممکن است حضور ترکیبات ضدتغذیه‌ای در جیره غذایی تیمار ۲ به خاطر سهم بالاتر روغن کانولا باشد. احتمالاً وجود ترکیبات ضد تغذیه‌ای در روغن کانولا مانند اسید اروسیک، اسید فنلیک، تانن‌ها و گلوکوزینولات‌ها و اسید فایتیک (فیتات) باعث کاهش معنی‌دار PPV در تیمار ۲ شده است. یکی از مواد ضدتغذیه‌ای در روغن کانولا، فیتات است که ترکیبی از اینوزیتول و فسفر است. فیتات یک ترکیب زیستی قابل دسترس نیست، زیرا حیوانات پستان‌دار نشخوارکننده و همچنین، ماهی‌ها به خاطر فقدان آنزیم تجزیه‌کننده فیتات فسفوروز، قابلیت استفاده از فیتات را ندارند (Bonnardeaux, 2007). همچنین، اسید فایتیک با توجه به خاصیت شدید الکترون‌خواهی به شدت با پروتئین‌ها و املاح به خصوص کاتیون‌ها ترکیب شده و قابلیت جذب پروتئین و املاح را کاهش می‌دهد و در سوخت و ساز موجودات تک‌معدده‌ای به خصوص آبزیان ایجاد مشکل می‌کند (Bonnardeaux, 2007).

در تحقیق حاضر، بیشترین درصد چربی در ماهیان تیمار ۳ و تیمار ۴ و کمترین مقدار در گروه شاهد مشاهده شد. جرجانی و همکاران (۱۳۹۳) نیز گزارش کردند که جایگزینی کامل روغن ماهی با روغن‌های گیاهی در جیره ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان بر محتوای چربی کل، رطوبت، خاکستر و پروتئین کل بین تیمارهای مختلف تأثیر معنی‌دار نداشته است. Todorcevic و همکاران (۲۰۱۰) گزارش کردند که تغذیه با روغن ماهی در ماهی آزاد اقیانوس اطلس (*Salmo salar*) به مدت ۲۱ روز باعث کاهش محتوای چربی و افزایش فعالیت بتا‌اکسیداسیون اسید چرب در مقایسه با ماهیان تغذیه شده با روغن بذر کتان شد. طبق گزارش

Monteiro و همکاران (۲۰۱۸) جایگزینی تا ۷۵٪ مخلوط روغن‌های حیوانی با روغن ماهی تأثیری بر ترکیب شیمیایی لاشه ماهی باس دریایی اروپایی نداشته است. Sankian و همکاران (۲۰۱۹) تأثیر جایگزینی کلی روغن ماهی با منابع چربی مختلف (روغن بذر کتان، روغن سویا و روغن خوک) را در ماهی ماندرین جوان (*Siniperca scherzeri*) بررسی کردند. نتایج آنها نشان داد که جایگزینی کامل منابع چربی مختلف (روغن بذر کتان، روغن سویا و روغن خوک) تأثیری بر درصد پروتئین، رطوبت و خاکستر نداشت، ولی مقدار چربی لاشه در تیمار روغن ماهی کمترین مقدار و در تیمار تغذیه شده با روغن بذر کتان و سویا بالاترین مقدار بود.

نتایج تحقیق حاضر با نتایج Sankian و همکاران (۲۰۱۹) و Todorcevic و همکاران (۲۰۱۰) مطابقت دارد. در این تحقیق گنجاندن ۱۰۰٪ روغن ماهی در جیره، باعث کاهش چربی لاشه ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان نسبت به تیمارهای دیگر شد. علت این موضوع را می‌توان به بالا بودن سهم اسیدهای چرب بلند زنجیره امگا ۳، کاهش تولید اسیدهای چرب، تحریک بتا‌اکسیداسیون اسیدهای چرب، فعال شدن لیپوپروتئین‌های لیپاز و یا کاهش تولید تری‌اسیل گلیسرول نسبت داد. کمترین درصد پروتئین در تیمار ۲ و بیشترین درصد پروتئین در تیمار ۳ مشاهده شد و درصد پروتئین عضله در گروه‌های شاهد و تیمار ۴ اختلاف معنی‌دار با یکدیگر نداشتند. یکی از دلایل کاهش پروتئین در تیمار ۲ ممکن است وجود مواد ضدتغذیه‌ای در روغن کانولا باشد که باعث کاهش قابلیت جذب پروتئین می‌شود. دلایل احتمالی اختلاف در نتایج تحقیقات مختلف را می‌توان به گونه ماهی، نوع روغن افزوده شده به جیره، درصد جایگزینی روغن ماهی، اندازه ماهی، تفاوت در قابلیت هضم روغن‌های مختلف، تفاوت در ترکیب اسیدهای چرب مختلف، تفاوت در قابلیت ماهی در طول‌سازی زنجیره کربنی و غیر اشباع‌سازی اسیدهای چرب و دمای آب نسبت داد.

در مجموع می‌توان عنوان کرد که برای افزایش هضم و جذب چربی جیره در زمان جایگزینی با روغن ماهی، استفاده از ترکیب اسیدهای چرب اشباع (چربی‌های حیوانی) به همراه اسیدهای چرب غیراشباع (روغن‌های گیاهی و روغن ماهی) به لحاظ قابلیت هضم بالاتر چربی، تأثیر بسیار

فکراندیش، ح.، عابدیان کناری، ع.، متین فر، ع. ۱۳۸۵. تأثیر جادب‌های غذایی بتائین و متیونین در جیره بر رشد و بازماندگی بچه‌میگوی سفید هندی (*Fenneropeneus indicus*). پژوهش و سازندگی ۷۳: ۱۳۷-۱۳۱.

جرجانی، س.، قلیچی، ا.، بغدادی، آ. ۱۳۹۳. اثرهای جایگزینی کامل روغن ماهی با روغن‌های گیاهی بر پارامترهای رشد، کارایی غذا و پروفایل اسیدهای چرب عضله ماهیان قزل-آلای رنگین کمان (*Oncorhynchus mykiss*). توسعه آبی‌پروری (علوم زیستی) ۸: ۳۰-۱۳.

- Baweja, S., Babbar, B.K. 2015. Growth performance and tissue fatty acid composition of *Cyprinus Carpio* (Linn.) reared on feeds containing animal fats as fish oil replacement. The Bioscan An International Quarterly Journal of Life Sciences 10: 655-660.
- Bayraktar, K., Bayır, A. 2012. The effect of the replacement of fish oil with animal fats on the growth performance, survival and fatty acid profile of rainbow trout juveniles, *Oncorhynchus mykiss*. Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 12: 661-666.
- Bell, J.G., Henderson, R.J., Tocher, D.R., McGhee, F., Dick, J.R., Porter, A., Smullen, R.P., Sargent, J.R. 2002. Substituting fish oil with crude palm oil in the diet of Atlantic salmon (*Salmo salar*) affects muscle fatty acid composition and hepatic fatty acid metabolism. The Journal of Nutrition 132: 222.
- Bell, J.G., Sargent, J.R. 2003. Arachidonic acid in aquaculture feeds: current status and future opportunities. Aquaculture 218: 491-499.
- Bonnardeaux, J. 2007. Uses for canola meal. Department of Agriculture and Food, Western Australia, Perth.
- Bowyer, J.N., Qin, J.G., Smullen, R.P., Stone, D.A.J. 2012. Replacement of fish oil by poultry oil and canola oil in yellowtail kingfish (*Seriola lalandi*) at optimal and

بهتری در مقایسه با استفاده از هر کدام از آنها به تنهایی در کنار روغن ماهی دارد. بنابراین، با توجه به فراسنجه‌های بررسی شده در این تحقیق و اطلاعات تحقیقات پیشین، تیمار ۴ پیشنهاد می‌شود.

تعارض منافع

بنابر اظهار نویسندگان تعارض منافع وجود ندارد.

منابع

- suboptimal temperatures. Aquaculture 356: 211-222.
- Bureau, D., Gibson, J., El-Mowafi, A. 2002. Review: Use of Animal Fats in Aquaculture Feeds. In: Cruz-Suárez, L. E., Ricque-Marie, D., Tapia-Salazar, M., Gaxiola-Cortés M.G., Simoes N. (Eds.). Advances en Nutrición Acuícola VI. Memorias del VI Simposium.
- Caballero, M.J., Obach, A., Rosenlund, G., Montero, D., Gisvold, M., Izquierdo, M., 2002. Impact of different dietary lipid sources on growth, lipid digestibility, tissue fatty acid and histology of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. Aquaculture 214: 253-271.
- Carvalho, M., Montero, D., Rosenlund, G., Fontanillas, R., Ginés, R., Izquierdo, M. 2020. Effective complete replacement of fish oil by combining poultry and microalgae oils in practical diets for gilthead sea bream (*Sparus aurata*) fingerlings. Aquaculture 529: 735696.
- Emery, J.A., Smullen, R., Keast, R.S.J., Turchini, G.M. 2016. Viability of tallow inclusion in Atlantic salmon diet, as assessed by an on-farm grow out trial. Aquaculture 451: 289-297.
- Friesen, E., Balfry, S.K., Skura, B.J., Ikonou, M., Higgs, D.A. 2013. Evaluation of poultry fat and blends of poultry fat with cold-pressed flaxseed oil as supplemental dietary lipid sources for

- juvenile sablefish (*Anoplopoma fimbria*). *Aquaculture Research* 44: 300-316.
- Gause, B.R., Trushenski, J.T. 2013. Sparing fish oil with beef tallow in feeds for rainbow trout: effects of inclusion rates and finishing on production performance and tissue fatty acid composition. *North American Journal of Aquaculture* 75: 495-511.
- Han, C.Y., Zheng, Q.M., Feng, L.N. 2013. Effects of total replacement of dietary fish oil on growth performance and fatty acid compositions of hybrid tilapia (*Oreochromis niloticus* × *O. aureus*). *Aquaculture International* 21: 1209-1217.
- Jiang, X., Chen, L., Qin, J., Qin, C., Jiang, H., Li, E. 2013. Effects of dietary soybean oil inclusion to replace fish oil on growth, muscle fatty acid composition, and immune responses of juvenile dark barbel catfish, *Pelteobagrus vachelli*. *African Journal of Agricultural Research* 8: 1492-1499.
- Kowalska, A., Zakes, Z., Krzysztof Siwicki, A., Jankowska, B., Jarmołowicz, S., Demska-Zakes, K. 2012. Impact of diets with different proportions of linseed and sun flower oils on the growth, liver histology, immunological and chemical blood parameters, and proximate composition of pikeperch *Sander lucioperca* (L.). *Fish Physiology and Biochemistry* 38: 375-388.
- Liland, N.S., Rosenlund, G., Berntsen, M.H.G., Brattelid, T., Madsen, L., Torstensen, B.E. 2013. Net production of Atlantic salmon (FIFO, Fish in Fish out < 1) with dietary plant proteins and vegetable oils. *Aquaculture Nutrition* 19: 1-12.
- Monteiro, M., Matos, E., Ramos, R., Campos, I., M.P. Valente, L. 2018. A blend of land animal fats can replace up to 75% fish oil without affecting growth and nutrient utilization of European seabass. *Aquaculture* 487: 22-31.
- Naylor, R.L., Hardy, R.W., Bureau, D.P., Chiu, A., Elliott, M., Farrell, A.P., Forster, I., Gatlin, D.M., Goldburgh, R.J., Hua, K., Nichols, P.D. 2009. Feeding aquaculture in an era of finite resources. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 106: 15103-15110.
- Nogales-Mérida, S., Tomás-Vidal, A., Cerdá, M.J., Martínez-Llorens, S. 2011. Growth performance, histological alterations and fatty acid profile in muscle and liver of sharp snout sea bream (*Diplodus puntazzo*) with partial replacement of fish oil by pork fat. *Aquaculture International* 19: 917-929.
- Olsen, R.E., Henderson, R.J., Sountama, J., Hemre, G., Ringo, E., Melle, W., Tocher, D.R. 2004. Atlantic salmon, *Salmo salar*, utilizes wax ester-rich oil from *Calanus finmarchicus* effectively. *Aquaculture* 240: 433-449.
- Pérez, J.A., Rodríguez, C., Bolaños, A., Cejas, J.R., Lorenzo, A. 2014. Beef tallow as an alternative to fish oil in diets for gilthead sea bream (*Sparus aurata*) juveniles: effects on fish performance, tissue fatty acid composition, health and flesh nutritional value. *European Journal of Lipid Science Technology* 116: 571-583.
- Sankian, Z., Khosravi, S., Kim, Y-O., Lee, S-M. 2019. Total replacement of dietary fish oil with alternative lipid sources in a practical diet for Mandarin fish, *Siniperca scherzeri*, juveniles. *Fisheries and Aquatic Sciences* 22: 1-9.
- Todorčević, M., Skugor, S., Ruyter, B. 2010. Alterations in oxidative stress status modulate terminal differentiation in Atlantic salmon adipocytes cultivated in media rich in n-3 fatty acids. *Comparative Biochemistry and Physiology* 156B: 309-318.
- Turchini, G.M., Francis, D.S., Senadheera, S.P.S.D., Thanuthong, T., De Silva, S.S. 2011. Fish oil replacement with different vegetable oils in Murray cod: evidence of

- an“omega-3 sparing effect by other dietary fatty acids. *Aquaculture* 315: 250-259.
- Turchini, G.M., Torstensen, B.E., Ng, W.K. 2009. Fish oil replacement in finfish nutrition. *Reviews in Aquaculture* 1: 10-57.
- Zhou, L., Han, D., Zhu, X., Yang, Y., Jin, J., Xie, S. 2016. Effects of total replacement of fish oil by pork lard or rapeseed oil and recovery by a fish oil finishing diet on growth, health and fish quality of gibel carp (*Carassius auratus gibelio*). *Aquaculture Research* 47: 2961-2975.