

Research Article

Vol. 18, No.2, 2026, p. 317-333



Effect of Fish Meal Replacement by Fermented Sesame Meal in the Diet on Growth Performance, Blood Biochemical and Immunity Indices of Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*)

Ali Aboud¹, Reza Valizadeh^{1*}, Omid Safari^{2*}

1- Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

2- Department of Fisheries, Faculty of Natural Resources and Environment, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

*Corresponding Authors' Email: valizadeh@um.ac.ir, omidsafari@um.ac.ir

Received: 18-03-2024

Revised: 31-07-2024

Accepted: 21-08-2024

Available Online: 22-06-2026

How to cite this article:Aboud, A., Valizadeh, R., & Safari, O. (2026). Effect of fishmeal replacement by fermented sesame meal in the diet on growth performance, blood biochemical and immunity indices of rainbow trout (*Oncorhynchus Mykiss*). *Iranian Journal of Animal Science Research*, 18(2), 317-333. (In Persian)<http://doi.org/10.22067/ijasr.2024.87330.1195>**Introduction:**

Aquaculture is currently considered as one of the fastest-growing global fish industry. However, this sector is facing with fishmeal shortage as the main source of protein in their diets. Therefore, considerable studies have been carried out to find other protein sources instead fishmeal for aquaculture feeding. Protein sources such as vegetable by-products (oil seed meals), animal by-products, biodegradable organic wastes, fermented organic wastes (Ayan, 2018), and insect meal (Gasco et al., 2021; Zarantoniello et al., 2021) have been used in aquatic nutrition. Oilseed by-products such as fermented sesame meal are considered as the best alternative protein sources instead fishmeal. In the sesame oil industry, oil extraction is done either using organic solvents or by mechanical pressing and the by-products is known as sesame meal. Oil extraction leads to an increase of protein content of sesame seed meal (Onsaard et al., 2010) which can be used as a protein source in nutrition of fish culture industry (Onsaard, 2012). Sesame seed meal has been represented as a protein source in aqua feeds replacing soybean meal for reducing the feed costs (Tacon, 1993). The aim of this study was to evaluate the effect of fishmeal substitution levels with fermented sesame seed meal on growth performance, blood biochemical indices, and digestive enzymes activities of Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*).

Materials and Methods:

This study was run at one of the rainbow trout production farms in Ortekand, Kalat of Khorasan Razavi Province, Iran. Three hundred sixty rainbow trout fingerlings ($\approx 2.30\text{g}$) were stocked in the 18 tanks for 63 days. Water physicochemical parameters of rearing unit were measured weekly. Diets were formulated according to NRC standards by the using of UFFDA software. Sesame seed meal was fermented (FSM) by the *Neurospora intermedia* fungus with inoculation level of 10^6 CFU g^{-1} . For sampling and analysis, three fish were chosen randomly from each tank and their plasma samples were preserved at -80°C for next steps. Data analysis was performed using of SPSS version 22, using ANOVA test and mean comparisons was conducted by Duncan's multiple range. The Broken line regression was done for further analysis. Blood biochemistry was measured by the usage of common kits (Zist Azma Chemical Co.) via ELISA method. Immune responses were measured according to methods described by Neissi et al. (2013). Chemical analysis was done according to protocols described in AOAC and glucosamine by methods described by Zheng and Shetty, 1998. Growth performance and nutritional efficiency indices calculated according to models were used in order to determine the optimum



Authors retain the copyright. This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

<http://doi.org/10.22067/ijasr.2024.87330.1195>

inclusion level of dietary FSM.

Results and Discussion:

After 63 days of feeding trial, the highest values of final weight (54.26 g), specific growth rate (SGR; 4.95 % body weight day⁻¹), protein efficiency ratio (PER; 2.86), and protein productive value (PPV; 49.23%) and the best feed conversion ratio (FCR; 1.11) were observed in the rainbow trout fed the diet containing 50% fishmeal substituted level with FSM ($p < 0.05$). With an increment in the fishmeal substitution with FSM from 10 to 100%, the activities of total immunoglobulin, complement, and lysozyme showed increasing trends ($p < 0.05$). The lowest contents of total cholesterol, low-density lipoprotein, and triglyceride were measured in the plasma of fish fed the diet containing 100 % fishmeal substituted with FSM ($p < 0.05$). Based on the broken line regression model, the dietary fishmeal substitution level (%) with FSM for maximum growth (SGR) and weight gain values and the best FCR value of rainbow trout were estimated to be 66.64%, 72.78%, and 71.84%, respectively. These results may be due to the effects of fermentation process on sesame meal and improvement in its palatability, increase of bioactive peptides contents, enhancing apparent digestibility coefficients of nutrients, and reduction of anti-nutritional factors contents. The fermentation process enhanced nutritional and functional properties of original product. Also, the presence of sesamin, one of sesame lignan may has played a role in reducing plasma cholesterol and LDL levels. Furthermore, increase in bioactive peptides after fermentation could act as antimicrobial agents by stimulating or suppressing some immune responses or by interacting with microbial host invaders.

Conclusion:

In general, the results of the present study indicated that replacing 50% of fermented sesame meal instead of fishmeal in the diet of rainbow trout fingerlings (≈ 2.30 g) lead to further improvement of growth performance indices and feeding efficiency such as final weight, specific growth rate, feed conversion ratio, survival rate, and protein production value, etc. In the investigation of plasma biochemical and immunity indices, in most cases the replacement level in the range of 50-100% has shown favorable results compared to that of fed the control diet. Finally, based on the obtained results, it is recommended to replace 50% of fishmeal with fermented sesame meal in the diet of this fish.

Keywords: Blood parameters, Feed conversion ratio, Feed efficiency, Processed sesame meal, Rainbow trout

اثر جایگزینی پودر ماهی با کنجاله تخمیری کنجد در جیره بر عملکرد رشد و شاخصهای بیوشیمیایی و ایمنی خون ماهی قزل‌آلای رنگین کمان (*Oncorhynchus mykiss*)

علی عبود^۱، رضا ولی زاده^{۱*}، امید صفری^{۲*}

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۲/۲۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۵/۳۱

چکیده

این مطالعه با هدف بررسی اثر جایگزینی مقادیر مختلف کنجاله تخمیری کنجد با پودر ماهی در جیره غذایی به نسبت ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۵۰ و ۱۰۰ درصد بر عملکرد رشد، شاخص‌های بیوشیمی خون و ایمنی ماهی قزل‌آلای رنگین کمان با میانگین وزن اولیه 0.06 ± 0.002 گرم انجام شد. ماهیان پس از ۶۳ روز تغذیه با جیره حاوی ۵۰ درصد پودر ماهی جایگزین شده با کنجاله تخمیری کنجد، بالاترین وزن نهایی (۵۴/۲۶ گرم)، نرخ رشد ویژه (۴/۹۵ درصد وزن بدن در روز)، نسبت کارایی پروتئین (۲/۸۶)، ارزش تولیدی پروتئین (۴۹/۲۳) و بهترین ضریب تبدیل غذایی (۱/۱۱) را از خود نشان دادند. با افزایش جایگزینی کنجاله تخمیری کنجد از ۱۰ به ۱۰۰ درصد، فعالیت ایمونوگلوبولین تام و آنزیم لیزوزیم در ماهیان روند افزایشی نشان داد. کمترین غلظت کلسترول تام و لیپوپروتئین با چگالی کم و تری گلیسیرید در پلاسما ماهیان تغذیه شده با جیره حاوی ۱۰۰ درصد پودر ماهی جایگزین شده با کنجاله تخمیری کنجد به دست آمد. براساس مدل رگرسیون خط شکسته، سطح بهینه جایگزینی پودر ماهی جیره (درصد) با کنجاله تخمیری کنجد برای رسیدن به حداکثر رشد، وزن نهایی و بهترین ضریب تبدیل غذایی در ماهی قزل‌آلای رنگین کمان به ترتیب ۶۴/۶۶، ۷۲/۷۸ و ۷۱/۸۴ درصد برآورد شد. به طور کلی، براساس نتایج، این آزمایش می‌تواند از کنجاله تخمیری کنجد در سطح ۵۰ درصد به عنوان جایگزین پودر ماهی در جیره غذایی قزل‌آلای رنگین کمان بدون اثرات منفی بر عملکرد رشد، شاخص‌های بیوشیمیایی خون و فعالیت آنزیم‌های گوارشی استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: ضریب تبدیل غذایی، فراسنجه‌های خون، کارایی تغذیه، کنجاله کنجد فرآوری شده، ماهی قزل‌آلا

مقدمه

رنگین کمان در سال ۲۰۲۱ حدود ۱۹۴۰۰۰ تن گزارش شده است که این مقدار حدود ۲۰/۳ درصد از کل میزان تولید جهانی آن می‌باشد (FAO, 2023).

پودر ماهی، منبع اصلی پروتئین جیره قزل‌آلای رنگین کمان را تشکیل می‌دهد. برخی پیش‌بینی‌ها نشان می‌دهد که تا سال ۲۰۳۰ بخش پرورش آبزیان با کمبود پودر ماهی مواجه خواهد شد (FAO, 2018)، بنابراین انجام مطالعات جهت یافتن منابع پروتئینی جایگزین پودر ماهی حائز اهمیت است. در این رابطه، از پروتئین موجود در محصولات جانبی گیاهی، محصولات جانبی حیوانی، ضایعات زیستی تخریب‌پذیر، تولیدات تخمیری (Ayan, 2018) و پودر حشرات (Gasco et al., 2021; Zarantonello et al., 2021) استفاده شده است.

در بین منابع پروتئین گیاهی، دانه‌های روغنی و کنجاله‌های حاصل از آن‌ها به عنوان رایج‌ترین جایگزین پودر ماهی در صنعت

آبزی‌پروری در کنار صید و صیادی از راه‌های تأمین نیازهای غذایی و پروتئینی سالم در بسیاری از کشورها می‌باشد. متوسط رشد سالانه آبزی‌پروری در جهان بین سال‌های ۲۰۱۸ تا ۲۰۲۰، ۳/۴ درصد گزارش شده است. براساس گزارش فائو (FAO, 2023) حجم تولید آبزیان پرورشی در جهان از ۸۲/۵ تن در سال ۲۰۱۸ به ۹۰/۹ میلیون تن در سال ۲۰۲۱ رسیده است که این میزان رشد ۱۰/۲ درصدی را نشان می‌دهد. در ایران، میزان تولید ماهی قزل‌آلای

۱ و ۲- گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.
۳- گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

(*)- نویسنده گان مسئول: (Email: omidsafari@um.ac)
<http://doi.org/10.22067/ijasr.2024.87330.1195>

جیره غذایی کپور معمولی (*Cyprinus carpio*) شود (Hekmatpour et al., 2023). علاوه بر این، جایگزینی ۳۰ درصد از کنجاله سویای با کنجاله کنجد در ماهی باس اروپایی (*Dicentrarchus labrax*) تأثیری بر رشد ماهی نداشت، اما برخی تغییرات پاتولوژیک را در روده و کبد ماهی ایجاد کرد (Saleh, 2019). عمادی و همکاران (Emadi et al., 2014) دریافتند که با جایگزینی پودر ماهی با کنجاله کنجد (۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد) در جیره قزل‌آلای رنگین کمان (دو گرمی)، در مقایسه با گروه شاهد (۵۹ گرم)، وزن نهایی آن‌ها (به ترتیب ۶۰، ۶۳/۵ و ۷۴ گرم) افزایش یافت. همچنین در سطح ۲۰ درصد جایگزینی پودر ماهی، نرخ رشد ویژه و نسبت کارایی پروتئین افزایش و ضریب تبدیل غذایی بهبود یافت. ترکیب کنجاله کنجد (۳۵ درصد) با پودر ماهی (۵۳ درصد) موجب رشد سریع گربه ماهی آفریقایی (*Clarias gariepinus*) شد (Enyidi et al., 2014). مطالعات دیگر نشان داد که امکان جایگزینی ۴۰ درصد پودر ماهی با گلوتن گندم، گلوتن ذرت و ترکیب کنجاله سویا بدون هیچ‌گونه اثر منفی قابل توجه بر عملکرد رشد و پارامترهای ایمنی قزل‌آلای رنگین کمان وجود دارد (Jalili et al., 2013). همچنین، نانگ و همکاران (Nang et al., 2011) ذکر کردند که حداقل ۵۲ درصد از پودر ماهی را می‌توان با کنجاله کنجد بدون اضافه کردن مکمل اسید آمینه در یک جیره پلت شده عملی برای ماهی قزل‌آلای رنگین کمان بدون تأثیر منفی بر عملکرد رشد در مقایسه با جیره شاهد جایگزین کرد. به‌طور کلی، بررسی منابع نشان می‌دهد که وزن اولیه ماهی، دوره تغذیه، نحوه فرمولاسیون جیره، سطوح جایگزینی، اضافه کردن مکمل (همچون اسیدهای آمینه کریستاله، آنزیم‌های خارجی، تولیدات میکروبی، اسیدی‌کننده‌ها، جاذب‌های غذایی و غیره)، مدت تغذیه و شرایط پرورشی (همچون پارامترهای فیزیکی و شیمیایی و تراکم آبی) در نتایج حاصله اثرگذار می‌باشند. جهت بررسی مطالعات جایگزینی پودر ماهی با منابع پروتئین گیاهی، شاخص‌های کلیدی شامل خوش‌خوراکی، قابلیت هضم، عملکرد رشد و تثبیت مواد مغذی، بیوشیمی خون و هیستوپاتولوژی دستگاه گوارش و بحث شاخص احشایی و کبدی در بخش شاخص عملکرد رشد قابلیت بررسی دارد (Glencross et al., 2007). بنابراین، هدف از این مطالعه بررسی اثر جایگزینی پودر ماهی با سطوح مختلف کنجاله تخمیری کنجد بر عملکرد رشد، شاخص‌های بیوشیمی خون و ایمنی ماهی قزل‌آلای رنگین کمان بود.

مواد و روش‌ها

فرمولاسیون و تهیه جیره غذایی

جیره‌های آزمایشی براساس استانداردهای (National NRC, 1993) و (Research Council, 1993) با استفاده از نرم‌افزار UFFDA

تغذیه آبزیان مطرح هستند. از کنجاله سویا و یا کنسانتره پروتئینی سویا به‌عنوان منبع رایج پروتئین گیاهی در تغذیه ماهی قزل‌آلای رنگین کمان استفاده می‌شود، اما استفاده از این منابع نیز با محدودیت‌هایی همچون گران بودن، وجود عوامل ضد تغذیه‌ای (فیتات و تانن)، کمبود برخی از اسیدهای آمینه، اثرگذاری بر قابلیت هضم و مقدار بالای کربوهیدرات و فیبر غیر قابل دسترس همراه است (Hussain et al., 2017; Brown et al., 2008; Lin et al., 2024). بنابراین، یافتن سایر منابع پروتئینی که بتوانند جایگزین پودر ماهی و کنجاله سویا در تغذیه آبزیان شوند، مورد توجه قرار گرفته است (Reigh, 2008; Hussain et al., 2024).

اخیراً تحقیقات زیادی در رابطه با استفاده از ضایعات کشاورزی و فرآوری آن‌ها از جمله کاربرد روش‌های تخمیری صورت گرفته است (Altup, 2019). تخمیر حالت جامد با استفاده از قارچ (*Saccharomyces cerevisiae* و باکتری *Lactobacillus acidophilus*) باعث افزایش پروتئین خام، محتوای اسید آمینه و کاهش فیبر خام کنجاله کنجد شده است (Hajimohammadi et al., 2020). گزارش شده است که فرآیند تخمیر، تجزیه زیستی مواد آلی را بهبود می‌بخشد و عوامل ضد تغذیه‌ای را کاهش داده و محتوای پروتئین آن را افزایش می‌دهد. تسهیل فعالیت آنزیم‌های افزایش قابلیت هضم مواد مغذی و بهبود فعالیت‌های ایمنی در حیوانات از طریق تولید پروبیوتیک‌ها و پری‌بیوتیک‌ها از دیگر اثرات مثبت فرآیند تخمیر می‌باشند (Kwon et al., 2011). در همین راستا، کوپسون و همکاران (Cowieson et al., 2017) رابطه مثبتی بین کاهش اسید فائیک و افزایش قابلیت هضم اسیدهای آمینه توسط اضافه کردن آنزیم فیتاز را گزارش کردند.

دانه کنجد (*Sesamum indicum* L.) به‌عنوان یک منبع روغن شناخته می‌شود و مقدار چربی آن ۴۴-۵۷ درصد، پروتئین ۱۸-۲۵ درصد و مقدار کربوهیدرات ۱۴-۱۳ درصد می‌باشد (Borchani et al., 2010). استخراج حداکثری روغن از دانه کنجد نیز باعث افزایش محتوای پروتئینی کنجاله آن می‌شود (Onsaard et al., 2010). از کنجاله کنجد می‌توان به‌عنوان یک منبع پروتئینی در صنعت تولید غذای آبزیان استفاده نمود (Onsaard, 2012). این کنجاله به‌عنوان منبع پروتئین گیاهی با قابلیت جایگزینی با کنجاله سویا در تغذیه آبزیان برای کاهش هزینه‌های خوراک معرفی شده است (Tacon, 1993).

در مطالعه‌ای، استفاده از کنجاله کنجد به‌جای کنجاله سویا در جیره غذایی قزل‌آلای رنگین کمان تا سطح ۷۵ درصد، اثر معنی‌داری بر شاخص‌های رشد و تغذیه‌ای ماهی قزل‌آلای رنگین کمان نداشت و همچنین سبب ارتقاء سلامت و کیفیت لاشه این ماهی شد (Hashemipanahmehrabadi et al., 2022). در همین راستا، کنجاله کنجد ۷۵ تا ۱۰۰ درصد می‌تواند جایگزین کنجاله سویا در

انکوبه شد و جذب نوری اولیه در طول موج ۶۰۰ نانومتر اندازه‌گیری شد و سپس ۲۵۰ میکرولیتر محلول شماره دو به محلول فوق اضافه و به مدت پنج دقیقه مجدداً در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد انکوبه شد و جذب نوری توسط دستگاه اسپکتروفتومتری در طول موج ۶۰۰ نانومتر خوانده شد (Wiebe & Warnick, 1997; Nauck et al., 1998). مقدار تری‌گلسیرید سرم به روش GPO-PAP/ Endpoint و با کمک کیت آزمایشگاهی شرکت زیست شیمی اندازه‌گیری شد. در این روش، تری‌گلسیرید توسط آنزیم لیپاز هیدرولیز شده و اسیدهای چرب و گلسیرول آزاد شد. سپس پراکسید هیدروژن آزاد شده با ۴-آمینوآنتی پیرین و فنل در مجاورت آنزیم پراکسیداز کمپلکس رنگی کینونیمین تشکیل داد. شدت رنگ حاصل در طول موج ۵۰۰ نانومتر که متناسب با مقدار تری‌گلسیرید موجود در نمونه است، اندازه‌گیری شد (Fossati & Prencipe, 1982).

جهت محاسبه مقدار LDL سرم خون ماهیان از رابطه Friedewald استفاده شد (Friedewald et al., 1972).

$$\text{VLDL} = \text{Triglycerides}/5 \quad \text{معادله (۹)}$$

$$\text{LDL} = \text{Total cholesterol} - (\text{HDL} + \text{VLDL}) \quad \text{معادله (۱۰)}$$

مقدار گلوکز سرم به روش آنزیمی، کالی‌متری (GOD-PAP) و با استفاده از کیت آزمایشگاهی شرکت پارس آزمون اندازه‌گیری شد. بدین منظور، ۱۰ میکرولیتر محلول استاندارد یا نمونه سرم به یک لوله آزمایش انتقال داده شد. سپس ۱۰۰۰ میکرولیتر از معرف به آن اضافه و به مدت ۲۰ دقیقه در دمای محیط (۲۵-۲۰ درجه سانتی‌گراد) انکوبه شد و میزان جذب نوری در طول موج ۵۴۶ نانومتر در برابر بلانک (۱۰ میکرولیتر آب مقطر به همراه ۱۰۰۰ میکرولیتر معرف) خوانش شد. (Bahram and Trinder, 1972; Sacks, 1999) انسولین به روش الیزا و طول موج ۴۵۰ نانومتر و با استفاده از کیت ELISA (Fish Insulin (INS) kit) اندازه‌گیری شد. جهت سنجش میزان پروتئین کل از کیت آزمایشگاهی شرکت Bionik استفاده شد. ابتدا ۲۵ میکرولیتر از نمونه سرم به همراه معرف و استاندارد در کوت مخلوط و پس از پنج دقیقه در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد، جذب نوری آن در طول موج ۵۴۰ نانومتر در دستگاه اسپکتروفتومتر خوانده شد (Koller, 1984; Young, 2001).

شاخص‌های ایمنی (ایمونوگلوبولین تام، لیزوزیم و کمپلمان) با استفاده از روش‌های توصیف‌شده توسط نیسی و همکاران (Neissi et al., 2013) اندازه‌گیری شد.

متوازن شدند. کنجاله کنجد ابتدا به روش پلت سرد تولید و در ادامه با قارچ *Neurospora intermedia* با سطح تلقیح 10^6 cfu/g تخمیر شد (Aboud, 2024). پنج جیره آزمایشی مشابه از نظر نیتروژن و انرژی با سطح پروتئین یکسان با مقادیر متفاوت پودر ماهی و کنجاله تخمیری کنجد فرموله شدند. در این آزمایش، کنجاله تخمیری کنجد به نسبت ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۵۰ و ۱۰۰ درصد جایگزین پودر ماهی در جیره شاهد شد. اقلام مورد نیاز جیره از بازار محلی تهیه و آسیاب شدند، سپس کلیه مواد تشکیل‌دهنده در ظرفی با یکدیگر مخلوط و روغن و آب به آن اضافه گردید. در ادامه، خمیر حاصله جهت تولید پلت از چرخ گوشت با قطر دو میلی‌متر رد شد. جیره‌های غذایی تا زمان استفاده در فریزر ۲۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. (جدول ۱)

نحوه تهیه ماهی و سیستم پرورش

این مطالعه در یکی از مزارع پرورش ماهی قزل‌آلای رنگین کمان در منطقه ارتکند، شهرستان کلات واقع در خراسان رضوی اجرا شد. ۳۶۰ قطعه بچه ماهی قزل‌آلای رنگین کمان با وزن اولیه $(\sim 2/30)$ گرم) در ۱۸ مخزن به ابعاد $40 \times 40 \times 100$ سانتی‌متر قرارداده شدند (تعداد ۲۰ بچه ماهی در هر مخزن). تغذیه بچه ماهیان پرورشی روزانه سه نوبت در ساعات ۸:۰۰، ۱۲:۰۰ و ۱۶:۰۰ به میزان چهار درصد وزن بدن به مدت ۶۳ روز انجام شد. پارامترهای فیزیوشیمیایی آب واحد پرورش به صورت هفتگی اندازه‌گیری شد. مقادیر اکسیژن محلول (DO)، pH، دمای آب و آمونیم به ترتیب $8/2 \pm 0/8$ میلی‌گرم بر لیتر، $7/5 \pm 0/2$ ، $13/8 \pm 0/5$ درجه سانتی‌گراد و کمتر از ۰/۰۱ میلی‌گرم در لیتر بود.

نمونه‌برداری و سنجش شاخص‌های خونی

در انتهای آزمایش، سه ماهی از هر مخزن (نه ماهی در هر تیمار) به‌طور تصادفی برای نمونه‌گیری و سنجش شاخص‌های خونی انتخاب شدند. با استفاده از سرنگ حاوی هپارین، خون از ساقه دمی ماهی گرفته و پس از سانتریفیوژ (به مدت ۱۰ دقیقه و ۳۰۰۰ دور در دقیقه)، پلاسما جدا و در دمای ۸۰- درجه سانتی‌گراد تا زمان سنجش نگهداری شد.

مقدار کلسترول تام به روش آنزیماتیک و با استفاده از کیت آزمایشگاهی شرکت (من) اندازه‌گیری شد. بدین منظور، جذب ۱۰ میکرولیتر نمونه به همراه ۱۰۰۰ میکرولیتر معرف کاری در کنار محلول استاندارد و بلانک پس از چهار دقیقه انکوبه در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد، در طول موج ۵۰۵ نانومتر خوانده شد (Young, 1995; Naito, 2003; Tietz, 2006). مقدار HDL سرم به روش فتومتریک با استفاده از کیت آزمایشگاهی شرکت پارس آزمون اندازه‌گیری شد. بدین منظور، ابتدا ۱۰ میکرولیتر نمونه و ۱۰۰۰ میکرولیتر محلول اول مخلوط و به مدت پنج دقیقه در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد

جدول ۱- مواد تشکیل دهنده جیره‌های آزمایشی و ترکیب شیمیایی آن‌ها (درصد ماده خشک)

Table 1- Feed ingredients and chemical composition of the experimental diets (% dry matter basis)

اقلام جیره غذایی Feed ingredient	جیره شاهد Control diet	درصد جایگزینی پودر ماهی با کنجاله تخمیری کنجد در جیره Substitution (%) of fish meal with fermented sesame meal in diet				
		10%	20%	30%	50%	100%
پودر ماهی Fishmeal	56	50.4	44.8	39.2	28	0
کنجاله تخمیری کنجد Fermented sesame meal	0	5.43	10.87	16.3	27.17	54.34
کنجاله سویا Soybean meal	12	12	12	12	12	12
گلوتن گندم Wheat gluten	11.21	11.21	11.21	11.21	11.21	11.21
آرد گندم Wheat flour	7	7	7	7	7	7
روغن ماهی Fish oil	4	4	4	4	4	4
روغن سویا Soybean oil	4	4	4	4	4	4
لسیتین Lecitine	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
دی کلسیم فسفات Dicalcium phosphate	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
مخلوط ویتامینی Vitamin premix	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
مخلوط مواد معدنی Mineral premix	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
توکسین بایندر Toxin binder	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
آنتی اکسیدان Antioxidant (BHT)	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
کربوکسی متیل سلولز ^۳ Carboxymethyl cellulose	1.5	1.67	1.83	2	2.33	3.16
اکسید ایتریوم ^۴ Ytterium oxide	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
ترکیب شیمیایی Chemical composition						
ماده خشک (درصد) Dry matter (%)	90.57	90.62	90.67	90.65	90.58	90.62
پروتئین خام (درصد) Crude protein (%)	47.92	47.92	47.92	47.92	47.92	47.92
چربی خام (درصد) Ether extract (%)	11.61	11.61	11.73	11.8	11.92	12.23
فیبر خام (درصد) Crude fiber (%)	1.72	1.85	1.92	2.13	2.42	2.89
عصاره عاری از نیتروژن (درصد) NFE (%)	20.9	20.76	20.53	20.02	19.49	18.55
خاکستر (درصد) Ash (%)	8.42	8.48	8.57	8.78	8.83	9.03
فسفر (درصد) P (%)	1.02	1.11	1.19	1.34	1.43	1.89
فیتات (درصد) Phytate (%)	0.12	0.23	0.36	0.45	0.71	1.24
تانن (درصد) Tannin (%)	0.01	0.02	0.05	0.07	0.10	0.27
گلوکزامین (میلی گرم در گرم) Glucosamine (mg/g)	0	0.96	2.11	3.14	5.34	10.54
انرژی ناخالص (کیلوژول بر گرم) Gross energy (kj/g)	15.88	15.83	15.86	15.87	15.84	15.85

^۱ شرکت سرآمد آکوافید، خراسان رضوی، ایران. ^۲ شرکت خوراک دام نگین، خراسان رضوی، ایران. ^۳ شرکت فرتاک، خراسان رضوی، ایران. ^۴ شرکت Sigma Aldrich، انگلستان

¹Saramad Aquafeed Co., Khorasan Razavi, ²Negin Animal Feed Co., Iran. ³Fartak Co., Iran, ⁴Sigma Aldrich, England

آنالیز شیمیایی

با توجه به روش‌های شرح داده شده در (Association AOAC of Official Analytical Chemists, 2005)، تمام پارامترهای شیمیایی مورد نیاز مواد غذایی، جیره و لاشه اندازه‌گیری شد. به این صورت که ماده خشک در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت، خاکستر با سوزاندن در دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت شش ساعت، پروتئین خام به روش کج‌دال ($N \times 6.25$)، عصاره اتری توسط دستگاه سوکسله، الیاف خام به روش ونسوست توسط دستگاه فایبرتک و فسفر با استفاده از خاکستر به دست آمده از طریق تیتراسیون و در نهایت، توسط اسپکتروفتومتر در طول موج ۷۰۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. فیتات و تانن براساس روش (AOAC, 2012)، اندازه‌گیری شدند. مقدار گلوکز آمین محصولات تخمیر شده از طریق هضم با اسید سولفوریک (۹۸ درصد) سپس در دمای ۱۲۱ درجه سانتی‌گراد به مدت یک ساعت اتوکلاو شده و اندازه‌گیری در طول موج ۶۵۰ نانومتر پس از خنثی شدن با سود به دست آمد (Zheng & Shetty, 1998).

تجزیه و تحلیل داده‌ها

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۲ انجام شد. بدین منظور، ابتدا نرمال بودن داده‌ها و سپس همگنی واریانس داده‌ها مورد ارزیابی قرار گرفتند. جهت مقایسه کلی داده‌ها از روش آنالیز واریانس یک‌طرفه One-way-ANOVA و جهت مقایسه میانگین‌ها از آزمون آماری Duncan در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ استفاده شد. همچنین جهت تعیین سطح بهینه جایگزینی کنجاله تخمیری کنجد از معادله رگرسیون خط شکسته با کمک نرم‌افزار SPSS استفاده گردید. بهترین مدل رگرسیون براساس ضریب تبیین زیاد (R^2) و سطح معنی‌داری کم انتخاب شد و سپس رگرسیون خط شکسته بعد از مشتق‌گیری از معادله و تعیین ریشه‌های حقیقی آن به دست آمد (Zar, 1999).

نتایج و بحث

عملکرد رشد

وزن نهایی ماهیان تغذیه شده با سطوح مختلف کنجاله تخمیری کنجد نسبت به شاهد افزایش معنی‌داری نشان داده است ($P < 0.05$). با افزایش سطح جایگزینی کنجاله تخمیری کنجد از ۱۰ به ۵۰ درصد، وزن نهایی ماهیان آزمایشی از ۲۶/۹۳ گرم به ۵۴/۲۶ گرم افزایش یافت، به طوری که بیشترین وزن نهایی ماهیان در سطح جایگزینی ۵۰ درصد مشاهده شد. بیشترین طول نهایی در ماهیان تغذیه شده با جیره

حاوی ۳۰ درصد کنجاله تخمیری کنجد به دست آمد ($P < 0.05$). با افزایش سطح کنجاله تخمیری کنجد از ۱۰ به ۵۰ درصد، مقدار نرخ رشد ویژه روند افزایشی نشان داد و از ۳/۸۵ به ۴/۹۵ درصد وزن بدن در روز رسید، درحالی‌که کمترین مقدار نرخ رشد ویژه در ماهیان تغذیه شده با جیره شاهد به دست آمد ($P < 0.05$). ضریب تبدیل غذایی در تیمار جایگزینی ۵۰ درصد نسبت به تیمار جایگزینی ۱۰ درصد کنجاله تخمیری کنجد، از ۱/۶۳ به ۱/۱۱ بهبود یافت، در صورتی‌که ضریب تبدیل غذایی شاهد ۱/۷۶ بوده است ($P < 0.05$). با افزایش سطوح جایگزینی کنجاله تخمیری کنجد میزان بقاء ماهیان افزایش معنی‌داری نسبت به ماهیان شاهد از خود نشان دادند ($P < 0.05$). به گونه‌ای که با افزایش سطح جایگزینی از ۱۰ به ۵۰ درصد، میزان بقاء ماهیان آزمایشی از ۷۱/۷۶ درصد به ۹۸/۳۳ درصد افزایش یافت (جدول ۲). براساس مدل رگرسیون خط شکسته، برای شاخص‌های ضریب تبدیل غذایی، نرخ رشد ویژه و وزن نهایی، سطح بهینه جایگزینی کنجاله تخمیری کنجد با پودر ماهی به ترتیب ۷۱/۸۴، ۶۶/۶۴ و ۷۲/۷۸ درصد به دست آمد (شکل ۱ a-c).

تخمیر به عنوان راه حلی مؤثر در جهت کاهش عوامل ضد تغذیه‌ای و افزایش زیست‌فراهمی مواد غذایی می‌باشد (Niba et al., 2009). همچنین سبب افزایش کیفیت مواد غذایی و ارتقاء عملکرد مواد اولیه می‌گردد (Curry, 2011). کاهش مقدار فیتات کنجاله کنجد در طی فرایند تخمیر (Olude et al., 2016) و افزایش قابلیت هضم‌پذیری اسیدهای آمینه ضروری و سایر مواد مغذی همچون پپتیدهای کوچک سبب ارتقاء کیفی سطح تغذیه‌ای کنجاله کنجد می‌گردد (Sun et al., 2012) که این موارد را می‌توان به عنوان مهم‌ترین دلایل نتایج مطالعه حاضر در رابطه با سطوح جایگزینی کنجاله تخمیری کنجد نسبت به شاهد در شاخص‌های عملکرد رشد به حساب آورد. نانگ و همکاران (Nang et al., 2011) کنجاله کنجد را به مقدار ۵۲ درصد جایگزین پودر ماهی در جیره قزل‌آلای رنگین کمان با وزن اولیه ۱/۴۲ گرم کرده و با تغذیه ماهیان بدون اضافه کردن مکمل اسید آمینه به جیره، کاهش در عملکرد رشد ماهیان مشاهده نکردند. جایگزینی پودر ماهی با کنجاله کنجد در سطوح ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد جیره ماهی قزل‌آلای رنگین کمان با وزن اولیه دو گرم موجب افزایش سرعت رشد ویژه و نسبت کارایی پروتئین شد. همچنین ضریب تبدیل غذایی بهبود یافت (Emadi et al., 2014). در مطالعه‌ای دیگر روی قزل‌آلای رنگین کمان، استفاده از کنجاله کنجد به جای کنجاله سویا، تیمارهای جایگزینی نسبت به شاهد تفاوت معنی‌داری در شاخص‌های رشد و تغذیه نشان ندادند (Hashemipanahmehrabadi et al., 2022). در کپور معمولی نیز استفاده از کنجاله کنجد به جای کنجاله سویا اثر منفی بر شاخص‌های

کمان با افزایش جایگزینی کنجاله کنجد می‌باشد، درحالی‌که در کپور معمولی عامل وضعیت در بین تیمارها دستخوش تغییر معنی‌دار نشد (Hekmatpour et al., 2023).

شاخص احشایی با افزایش جایگزینی پودر ماهی با کنجاله تخمیری کنجد روند کاهشی از خود نشان داد و از مقدار ۶/۸۶ درصد در جیره حاوی ۱۰ درصد کنجاله تخمیری کنجد به ۵/۸۵ درصد در جیره حاوی ۱۰۰ درصد کنجاله تخمیری کنجد رسید، درحالی‌که مقدار این شاخص در شاهد بالاترین مقدار (۶/۹۱) بوده است ($P < 0.05$). (جدول ۲). (Francesco et al., 2004) گزارش کردند که جایگزینی کامل پودر ماهی با منابع پروتئین گیاهی (کنجاله گلوتن ذرت، گلوتن گندم، نخود اکستروژ شده و کنجاله کلزا) در قزل‌آلای رنگین کمان ۱۶۲ گرمی، میزان شاخص احشایی را افزایش داده است. نتیجه حاصل در این آزمایش ممکن است ناشی از تخمیر کنجاله کنجد باشد که باعث افزایش پپتیدهای فعال زیستی و کاهش عوامل ضد تغذیه‌ای و بهبود قابلیت هضم شده و فشار کمتری به روده وارد گردیده است.

بالاترین سطح شاخص کبدی به‌میزان ۲/۹ درصد در جیره حاوی ۱۰۰ درصد کنجاله تخمیری کنجد و کمترین آن به شاهد به‌میزان ۲/۲۳ درصد تعلق داشت ($P < 0.05$) (جدول ۲). با افزایش سطوح جایگزینی کنجاله‌های گیاهی با منابع پروتئینی دیگر، مقدار کربوهیدرات جیره غذایی و ترکیبات ضد تغذیه‌ای (تانن، فیتات، پلی ساکاریدهای غیر نشاسته‌ای و ...) در جیره غذایی افزایش می‌یابد (Zhu et al., 2022) که ممکن است باعث افزایش شاخص کبدی شود (Yaghoubi et al., 2016). همچنین افزایش سطح شاخص کبدی در ماهیان تغذیه شده با اقلام غذایی تخمیر شده می‌تواند ناشی از افزایش مقدار ترکیبات نوکلئوتیدی مانند پورین و پیریمیدین باشد (Safari, 2011). افزایش شاخص کبدی در مطالعه حاضر برخلاف گزارش نکرده اند. جلیلی و همکاران (Jalili et al., 2013) پس از جایگزینی ۴۰، ۷۰ و ۱۰۰ درصد پودر ماهی با گلوتن گندم، گلوتن ذرت و کنجاله سویا در جیره غذایی قزل‌آلای رنگین کمان ۱۵ گرمی تفاوت معنی‌داری از شاخص کبدی در بین تیمارها مشاهده نکردند. روند مشابهی توسط پالمجیانو و همکاران (Palmegiano et al., 2006) در تغذیه ماهی قزل‌آلای ۶۴ گرمی با کنسانتره پروتئینی برنج به‌جای پودر ماهی مشاهده شد. همچنین دریو و همکاران (Drew et al., 2007) در تغذیه ماهی قزل‌آلای رنگین کمان ۴۷ گرمی، پودر ماهی را با کنسانتره پروتئینی کانولا در سطوح ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد جایگزین کردند و تفاوتی در شاخص کبدی مشاهده نکردند. در تحقیقات مربوطه شاخص کبدی به گونه ماهی، مراحل تکوین دستگاه گوارش (لارو، بچه ماهی و ماهی پروراری)، فرمولاسیون جیره غذایی و تاریخچه بیماری بستگی دارد.

عملکرد رشد نداشته است (Hekmatpour et al., 2023). با این حال، برخلاف نتایج این آزمایش، مطالعاتی گزارش شده‌اند که استفاده از کنجاله کنجد در جیره‌های غذایی گونه‌های مختلف می‌تواند اثرات منفی بر عملکردهای رشد و تغذیه داشته باشد. استفاده از کنجاله کنجد در تغذیه ماهی کپور معمولی در سطوح ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد باعث کاهش خوش‌خوراکی، مصرف خوراک و عملکرد رشد شد (Hasan et al., 1997). همچنین جایگزینی کنجاله کنجد در جیره گربه ماهی آفریقایی (*Clarias gariepinus*) به‌جای کنجاله سویا سبب کاهش رشد و نیز افزایش ضریب تبدیل غذایی شد (Jimoh & Aroyehun, 2011). این تفاوت در نتایج می‌تواند به دلیل تفاوت در نوع گونه پرورشی، سن، شرایط پرورش، شرایط متفاوت عمل‌آوری جیره غذایی (Hashemipanahmehrabadi et al., 2022)، نوع رژیم غذایی (گوشت‌خوار، گیاه‌خوار و همه‌چیزخوار) گونه کنجد و نوع فرآوری کنجاله آن، طول دوره پرورش، اندازه گونه پرورشی، میزان غذادهی، سطوح جایگزینی و شرایط محیطی باشد.

میزان ارزش تولیدی پروتئین در ماهیان تیمار ۱۰ درصد جایگزینی کنجاله تخمیری کنجد، ۲۶/۷۰ درصد بوده، درحالی‌که این شاخص در سطح جایگزینی ۵۰ درصد به ۴۹/۲۳ درصد رسیده است. کمترین مقدار ارزش تولیدی پروتئین نیز به‌میزان ۲۵/۷۳ درصد در شاهد مشاهده شد ($P < 0.05$). بالاترین نسبت کارایی پروتئین در تیمار حاوی ۵۰ درصد کنجاله تخمیری به‌دست آمد، درحالی‌که کمترین آن متعلق به شاهد بوده است ($P < 0.05$) (جدول ۲). لیم و همکاران (Lim et al., 2020) پودر ماهی را با منابع پروتئین گیاهی در سطوح ۲۵، ۳۰، ۳۵ و ۴۰ درصد در جیره غذایی کفشک زیتونی (*Olive flounder*) جایگزین کردند و تفاوتی در نسبت کارایی پروتئین مشاهده نکردند. اولود و همکاران (Olude et al., 2016) مقادیری از پودر ماهی را با کنجاله کنجد اتوکلاو شده (۷۱/۲، ۱۶۵/۵ و ۲۹۶/۳ گرم بر کیلوگرم) و تخمیر شده (۷۱/۰، ۱۶۴/۳ و ۲۹۲/۲ گرم بر کیلوگرم) در تغذیه ماهیان تیلایا جایگزین کردند که نتایج آن تفاوتی در شاخص ارزش تولیدی پروتئین نشان ندادند، درحالی‌که میزان کارایی پروتئین تیمارهای حاوی کنجاله تخمیری بیشتر از کنجاله کنجد اتوکلاو شده بوده است.

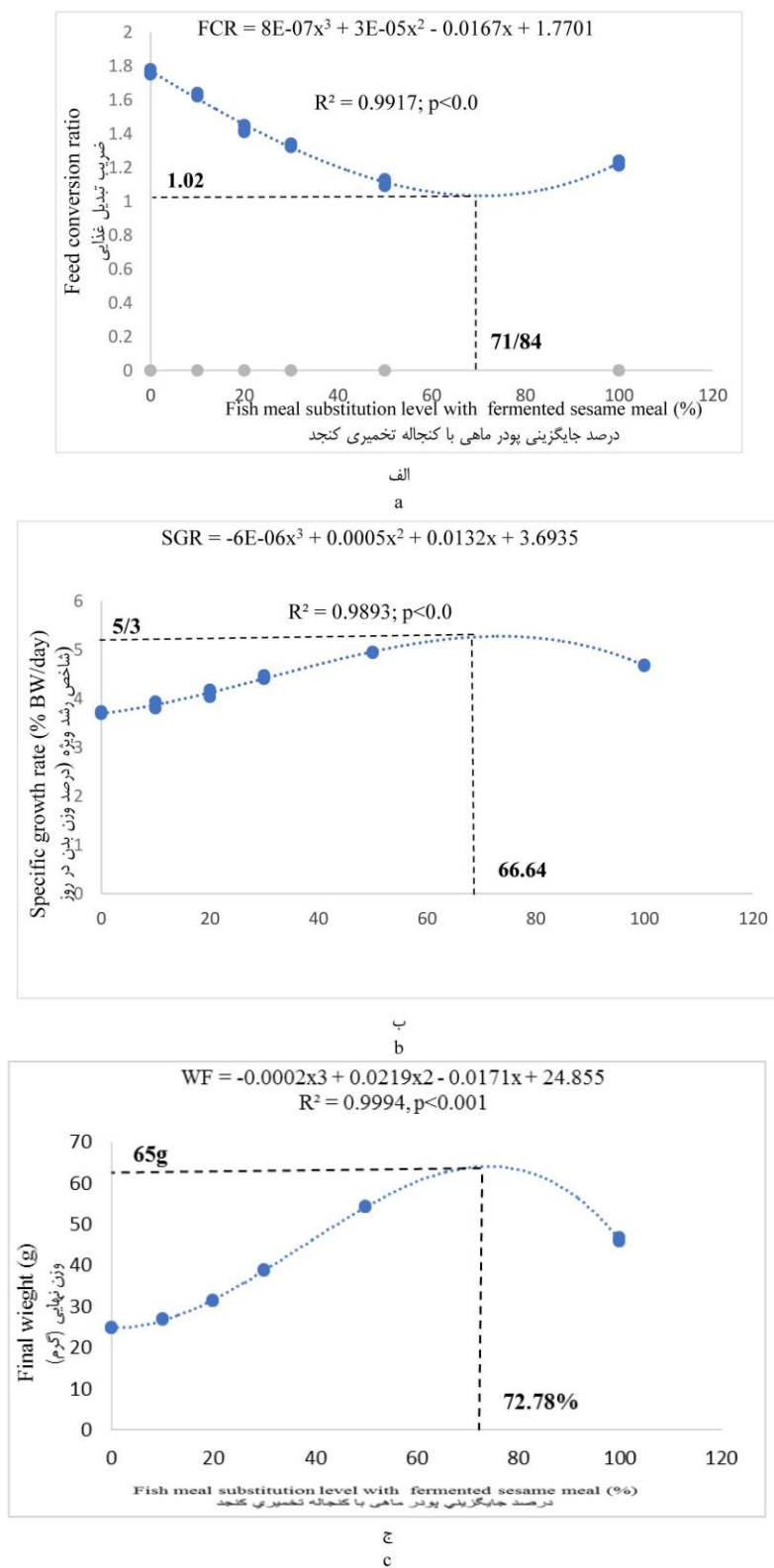
بالاترین فاکتور وضعیت در ماهیان تغذیه شده با جیره حاوی کنجاله تخمیری کنجد در سطح ۵۰ درصد مشاهده شد ($P < 0.05$) (جدول ۲). فاکتور وضعیت تحت تأثیر شرایط فیزیولوژیکی بدن گونه‌های آبی از جمله وضعیت تغذیه‌ای و ذخائر انرژی مورد استفاده آن‌ها می‌باشد و میزان بیش از ۱/۲-۱ از این شاخص، بیانگر سلامت ماهی و سطح بهینه بهداشت آنان می‌باشد (Schulte-Hostedde et al., 2005; Dawood et al., 2017). نتایج هاشمی‌پناه مهرآبادی و همکاران (Hashemipanahmehrabadi et al., 2022) هم‌راستا با نتایج این مطالعه نشان‌دهنده افزایش فاکتور وضعیت قزل‌آلای رنگین

جدول ۲- اثر جایگزینی پودر ماهی با سطوح مختلف کنجاله تخمیری کنجد بر شاخص های رشد ماهیان قزل آبی رنگین کمان^۱
Table 2- Effect of fish meal substitution with fermented sesame meal on growth performance of rainbow trout¹

پارامتر Parameter	جیره شاهد Control diet	Substitution percentage of fish meal with fermented sesame meal in diet				SEM ^۲	-valueP
		10%	20%	30%	50%	100%	
وزن اولیه (گرم) Initial weight	2.40	2.39	2.36	2.36	2.40	2.40	<0.817
وزن نهایی (گرم) Final weight (g)	24.78 ^f	26.93 ^e	31.38 ^d	38.93 ^c	54.26 ^a	46.20 ^b	<0.001
طول نهایی (سانتی متر) Final length (cm)	12.33 ^b	12.53 ^{ab}	12.50 ^{ab}	12.60 ^a	12.43 ^{ab}	12.53 ^{ab}	<0.047
نرخ رشد ویژه (درصد وزن بدن در روز) Specific growth rate (% BW/Day)	3.71 ^f	3.85 ^e	4.11 ^d	4.45 ^c	4.95 ^a	4.65 ^b	<0.001
ضریب تبدیل غذایی Feed conversion ratio	1.76 ^a	1.63 ^b	1.43 ^c	1.33 ^d	1.11 ^f	1.23 ^e	<0.001
نرخ بقا (درصد) Survival rate (%)	63.33 ^e	71.67 ^d	81.67 ^c	88.33 ^b	98.33 ^a	91.67 ^b	<0.001
فاکتور وضعیت (درصد) (%) Condition factor	1.32 ^e	1.37 ^e	1.61 ^d	1.95 ^c	2.82 ^a	2.45 ^b	<0.001
ارزش تولیدی پروتئین (درصد) Protein productive value (%)	25.73 ^f	26.70 ^e	28.24 ^d	31.67 ^c	49.23 ^a	35.93 ^b	<0.001
نسبت کارایی پروتئین Protein efficiency ratio	2.13 ^f	2.24 ^e	2.37 ^d	2.59 ^c	2.86 ^a	2.64 ^b	<0.001
شاخص احشایی (درصد) Hepatic somatic index (%)	6.91 ^a	6.86 ^b	6.34 ^c	6.09 ^d	5.87 ^e	5.85 ^e	<0.001
شاخص کبدی (درصد)	2.32 ^f	2.44 ^e	2.57 ^d	2.64 ^c	2.67 ^b	2.9 ^a	<0.001

^۱ اعداد دارای حروف متفاوت در ردیفها دارای اختلاف معنی دار در سطح $P < 0.05$ می باشند. ^۲ خطای استاندارد

¹ Different superscript within a row indicate significant differences at $P < 0.05$; ² Standard error



شکل ۱- برآورد رگرسیون خط شکسته جایگزینی پودر ماهی با کنجاله تخمیری کنجد در جیره قزل آلائی رنگین کمان برای شاخص‌های ضریب تبدیل غذایی (الف)، نرخ رشد ویژه (ب) و وزن نهایی (ج) ((n=3 p<0.05)

Figure1- Estimation of broken line regression analysis for feed conversion ratio (a) specific growth rate (b) and final weight (c) in the rainbow trout diets containing different substitution level of fish meal with fermented sesame meal (%) (g) (n=3; p<0.05)

از پودر ماهی با گیاه *Jatropha curcas* (کنجاله سویا در کپور معمولی، نتایج مشابهی گزارش کردند. حداکثر سطح پروتئین کل در پلاسماهای ماهیان تغذیه شده با گروه شاهد ۳/۸۹ (گرم در دسی لیتر) ثبت شد، درحالی که پس از جایگزینی کامل پودر ماهی با کنجاله تخمیری کنجد، مقدار این شاخص به کمترین سطح (۳/۱۱ گرم در دسی لیتر) رسیده است (جدول ۳). لین و لو (Lin & Luo, 2011) گزارش کردند که تغذیه کنجاله سویا تخمیر شده سبب کاهش پروتئین کل می شود و با یافته های این مطالعه مطابقت دارد.

شاخص های ایمنی خون

فعالیت ایمونوگلوبولین تام به مقدار ۱/۷۶ واحد در میلی گرم پروتئین در ماهیان شاهد مشاهده شد و با جایگزینی کامل پودر ماهی با کنجاله تخمیری کنجد افزایش یافت و به عدد ۲/۷۰ واحد در میلی گرم پروتئین رسید. با افزایش سطح جایگزینی کنجاله تخمیری کنجد از ۱۰ به ۱۰۰ درصد، میزان کمپلمان از ۲/۶۸ به ۲/۳۷ واحد در میلی گرم پروتئین کاهش یافت ($P < 0.05$). سطح لیزوزیم در ماهیان شاهد ۲/۴۴ واحد در میلی گرم پروتئین بوده است و پس از جایگزینی کامل پودر ماهی با کنجاله تخمیری کنجد به ۲/۸۴ واحد در میلی گرم پروتئین افزایش یافت ($P < 0.05$) (جدول ۴). به طور کلی، پاسخ ایمنی ماهیان آزمایشی با جایگزینی پودر ماهی با کنجاله تخمیری کنجد افزایش یافت. این یافته با نتایج خسروی و همکاران (Khosravi et al., 2018) مطابقت دارد؛ آن ها ترکیبی از کنسانتره پروتئینی سویا و کنجاله گلو تن ذرت را به میزان ۵۰ درصد جایگزین پودر ماهی کردند و به این نتیجه رسیدند که این جایگزینی بر پاسخ های ایمنی کفشد زیتونی (*Olive flounder*) همچون ایمونوگلوبولین تام، فعالیت آنزیم لیزوزیم و بقای ماهیان آلوده به باکتری *Edwardsiella tarda* تأثیرگذار است. برخلاف یافته های این مطالعه، جلیلی (Jalili et al., 2013) اشاره کرد که سطح ایمونوگلوبولین، آنزیم لیزوزیم و کمپلمان با جایگزینی ۴۰، ۷۰ و ۱۰۰ درصد پودر ماهی با منابع پروتئینی گیاهی، تفاوت معنی داری با گروه شاهد در ماهیان قزل آلائی رنگین کمان نشان نداد. جایگزینی کامل پودر ماهی با منابع پروتئینی گیاهی در جیره غذایی ماهی آزاد اقیانوس اطلس (*Salmo salar*) هیچ تفاوتی در فعالیت لیزوزیم و ایمونوگلوبولین تام سرم نداشت (Bransden et al., 2001). باین حال، سیتجا-بوادایلا و همکاران (Sitjà-Bobadilla et al., 2005) با مطالعه بر ماهی شانک سر طلایی (*Sparus aurata*) دریافتند که فعالیت آنتی بادی کل و کمپلمان در سطح ۷۰ و ۱۰۰ درصد جایگزینی پودر ماهی در مقایسه با گروه شاهد به طور قابل توجهی کمتر بود.

شاخص های بیوشیمیایی خون

بیشترین میزان کلسترول تام به میزان ۳۶۰/۳۳ میلی گرم در دسی لیتر در ماهیان شاهد و کمترین میزان کلسترول به میزان ۳۱۵/۷۷ در تیمار حاوی ۵۰ درصد کنجاله تخمیری کنجد مشاهده شد ($P < 0.05$). بیشترین لیپوپروتئین با چگالی بالا در خون ماهیان تغذیه شده با جیره حاوی ۱۰۰ درصد کنجاله تخمیری کنجد و کمترین لیپوپروتئین با چگالی کم در خون ماهیان تغذیه شده با جیره حاوی ۵۰ درصد کنجاله تخمیری به دست آمد ($P < 0.05$). روند مشابهی نیز برای تری گلیسیرید مشاهده شد، بدین صورت که از مقدار ۱۰۵/۰۷ میلی گرم در دسی لیتر شاهد به ۷۰/۷۳ میلی گرم در دسی لیتر در تیمار ۱۰۰ درصد کنجاله تخمیری کنجد رسید. بالاترین سطح VLDL در خون ماهیان شاهد و کمترین آن در خون ماهیان تغذیه شده با جیره حاوی ۵۰ درصد کنجاله تخمیری کنجد بوده است (جدول ۳).

مشابه این آزمایش، مطالعات دیگری گزارش شده است که در آن ها نیز میزان کلسترول تام در پلاسما قزل آلائی رنگین کمان که با جیره های حاوی سطوح فزاینده پودر ماهی جایگزین شده با منابع پروتئینی گیاهی تغذیه شده بودند، کاهش یافته است (Romarheim et al., 2007; Yamamoto et al., 2006). چنین روندی برای لیپوپروتئین با چگالی کم (LDL) نیز مشاهده شده است. همچنین شیمو و همکاران (Shimeno et al., 1994) کاهش غلظت تری گلیسیریدها را با افزایش سطح گلو تن ذرت در جیره غذایی ماهی دم زرد (*Seriola quinqueradiata*) گزارش کردند. با این حال، صالح (Saleh, 2019) نشان داد که با افزایش سطح جایگزینی پودر ماهی با کنجاله کنجد به میزان ۱۰، ۳۰ و ۴۵ درصد، سطح کلسترول پلاسماهای خون ماهی باس اروپایی (*Dicentrarchus labrax*) به تدریج کاهش یافت. این نتیجه ممکن است به دلیل وجود سسامین، به عنوان یکی از لیگنان های کنجد باشد و همین موجب کاهش سطح کلسترول و لیپو پروتئین با چگالی کم پلاسما شده باشد.

با افزایش سطح کنجاله تخمیری کنجد از ۱۰ به ۵۰ درصد، فعالیت انسولین از ۱۳/۸۵ به ۱۷/۸۸ نانوگرم در میلی لیتر افزایش یافت. کمترین میزان انسولین در ماهیان شاهد (۱۳/۳۹ نانوگرم در میلی لیتر) به دست آمد ($P < 0.05$). بیشترین و کمترین میزان گلوکز به ترتیب در جایگزینی ۱۰۰ و ۱۰ درصد کنجاله تخمیری کنجد مشاهده شد (جدول ۳). احتمالاً علت این امر را می توان به تبدیل شدن ترکیبات کربوهیدراتی به واحدهای مونومر گلوکز و افزایش آن در خون نسبت داد. آکار و تورکر (Acar & Türker, 2018) دریافتند که تغذیه ماهیان قزل آلائی رنگین کمان با جیره حاوی کنجاله بادام زمینی (*Arachis hypogaea*) به جای پودر ماهی سبب افزایش غلظت گلوکز سرم خون شده است. مشابه این مطالعه، کومار و همکاران (Kumar et al., 2010) پس از جایگزینی ۵۰ و ۷۵ درصد

جدول ۳ - شاخص‌های بیوشیمیایی ماهیان قزل‌آلای رنگین کمان تغذیه شده با جیره‌های حاوی سطوح مختلف پودر ماهی جایگزین شده با کنجاله تخمیری کنجد^۱
Table 3- Blood biochemical parameters of rainbow trout fed with different substitution levels of fishmeal with fermented sesame meal¹

پارامتر Parameter	جیره شاهد Control diet	Substitution percentage of fish meal with fermented sesame meal in diet (%)				SEM ^۲	-valueP
		10%	20%	30%	50%		
کلسترول (میلی گرم در دسی لیتر) Cholesterol (mg/dL)	360.33 ^a	358.20 ^b	345.60 ^c	338.93 ^d	315.77 ^f	4.31	<0.001
لیپو پروتئین با چگالی بالا (میلی گرم در دسی لیتر) ^۳ HDL (mg/dL)	126.04 ^f	129.93 ^e	134.50 ^d	139.60 ^c	145.60 ^b	1.83	<0.001
لیپو پروتئین با چگالی کم (میلی گرم در دسی لیتر) ^۴ LDL (mg/dL-1)	213.28 ^a	207.59 ^b	198.44 ^c	180.74 ^d	156.28 ^e	5.42	<0.001
تری گلیسرید (میلی گرم در دسی لیتر) ^۵ TG (mg/dL)	105.07 ^a	103.36 ^b	93.28 ^c	87.95 ^d	69.41 ^f	3.45	<0.001
لیپو پروتئین با چگالی خیلی پائین (میلی گرم در دسی لیتر) ^۶ VLDL (mg/dL)	21.07 ^a	20.67 ^b	18.66 ^c	17.59 ^d	13.88 ^f	0.69	<0.001
انسولین (نانوگرم در میلی لیتر) Insulin (ng/ml)	13.39 ^f	13.85 ^e	14.37 ^d	15.44 ^c	17.88 ^a	0.43	<0.001
پروتئین کل (گرم در دسی لیتر) ^۷ TP (g/dL)	3.89 ^a	3.86 ^a	3.80 ^b	3.71 ^c	3.67 ^d	0.06	<0.001
گلوکز (میلی گرم در دسی لیتر) Glucose (mg/dL)	58.67 ^{ab}	58.53 ^b	58.67 ^{ab}	58.63 ^{ab}	58.67 ^{ab}	0.02	<0.001

^۱ اعداد دارای حروف متفاوت در ردیف‌ها دارای اختلاف معنی دار در سطح ۰/۰۵ می‌باشند. ^۲ خطای استاندارد.
^۳ Diffenet superscript within a row indicate significant differences at P<0.05; ^۴ Standard error of mean
^۵ HDL= High-density lipoprotein
^۶ LDL= Low-density lipoprotein
^۷ TG= Triglyceride
^۸ VLDL= Very-low-density lipoprotein
^۹ TP = Total protein

جدول ۴- شاخص‌های ایمنی خون ماهیان قزل‌آلای رنگین کمان آزمایشی تغذیه شده با جیره‌های حاوی سطوح مختلف پودر ماهی و کنجاله تخمیری کنگد^۱
Table 4- Immune response activity of rainbow trout fed by diets containing different levels of fish meal and fermented sesame meal¹

پارامتر Parameter	جیره شاهد Control diet	درصد جایگزینی پودر ماهی با کنجاله تخمیری کنگد در جیره Substitution percentage of fish meal with fermented sesame meal in diet				SEM ^۲	-valueP
		10%	20%	30%	50%	100%	
ایمونوگلوبولین تام (واحد در میلی گرم پروتئین) IMG (unit mg protein-1)	1.76 ^d	1.85 ^c	1.89 ^c	2.38 ^b	2.67 ^a	2.70 ^a	<0.001
کمپلمان (واحد در میلی گرم پروتئین) Complement (unit mg protein ⁻¹)	1.97 ^c	2.68 ^a	2.14 ^d	2.26 ^c	2.37 ^b	2.37 ^b	<0.001
لیزوزیم (واحد در میلی گرم پروتئین) Lysozyme (unit mg protein ⁻¹)	2.44 ^e	2.57 ^d	2.64 ^c	2.78 ^b	2.83 ^a	2.84 ^a	<0.001

^۱ اعداد دارای حروف متفاوت در ردیف‌ها دارای اختلاف معنی‌دار در سطح P<0.05 می‌باشند. ^۲ خطای استاندارد.

^۱ Different superscript within a row indicate significant differences at P<0.05; ² Standard error of mean
³ IMG = Immunoglobulin

این تضاد ممکن است به دلیل تفاوت در طرح آزمایش مختلف، گونه ماهی و نوع منبع پروتئین گیاهی باشد. افزایش پپتیدهای زیست فعال پس از تخمیر می تواند به عنوان عوامل ضد میکروبی از طریق تحریک یا سرکوب برخی از پاسخ های ایمنی یا از طریق تعامل با عوامل بیماری زا عمل کند (Hancock & Sahl, 2006). با این حال، درک بهتر این گونه روابط نیاز به تحقیق بیشتر در آینده دارد.

ضریب تبدیل غذایی، بقاء، ارزش تولیدی پروتئین و ... شده است. در بررسی شاخص های بیوشیمی خون و ایمنی، در بیشتر موارد سطح جایگزینی در دامنه ۵۰-۱۰۰ درصد، نتایج مطلوبی را نسبت به شاهد نشان داده است. لذا براساس نتایج به دست آمده، جایگزینی ۵۰ درصد پودر ماهی با کنجاله تخمیری کنجد در جیره غذایی این ماهی توصیه می شود.

نتیجه گیری کلی

به طور کلی، نتایج مطالعه حاضر بیانگر آن است که جایگزینی ۵۰ درصد کنجاله تخمیری کنجد به جای پودر ماهی در جیره غذایی ماهی قزل آلا رنگین کمان با وزن دو گرم، سبب بهبود بیشتر شاخص های عملکرد رشد و کارایی تغذیه همچون وزن نهایی، نرخ رشد ویژه،

سپاسگزاری

این تحقیق با حمایت مالی معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه فردوسی مشهد با طرح شماره ۵۳۵۳۱ انجام شد که بدینوسیله از یاری و مساعدت این معاونت تشکر و قدردانی می گردد.

References

1. Aboud, A. (2024). Production of sesame protein concentrate by sesame meal processing for its utilization instead fish meal in diet of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. Ph.D. Thesis, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. 200 pp.
2. Acar, Ü., & Türker, A. (2018). The effects of using peanut meal in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) diets on the growth performance and some blood parameters. *Aquaculture Studies*, 18(2), 79-87.
3. Altop, A. (2019). The effects of diets supplemented with fermented or non-fermented cherry kernels (*Prunus avium* L.) on growth performance, ileal histology, caecum microflora, and some meat quality parameters in broiler chickens. *European Poultry Science*, 83, 1-15. <http://dx.doi.org/10.1399/eps.2019.260>
4. Association of Official Analytical Chemists. (2005). Official Methods of Analysis (18th ed.). Arlington, VA: AOAC.
5. Association of Official Analytical Chemists. (2012). Official Methods of Analysis (19th ed.). Arlington, VA: AOAC.
6. Ayan, S. (2018). A review of fish meal replacement with fermented biodegradable organic wastes in aquaculture. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*, 6(6), 203-208.
7. Bahram, D., & Trinder, P. (1972). An improved color reagent for the determination of blood glucose by the oxidase system. *Analyst*, 97, 142-145.
8. Borchani, C., Besbes, S., Blecker, C. H., & Attia, H. (2010). Chemical characteristics and oxidative stability of sesame seed, sesame paste, and olive oils. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 12, 585-596.
9. Bransden, M. P., Carter, C. G., & Nowak, B. F. (2001). Effects of dietary protein source on growth, immune function, blood chemistry and disease resistance of Atlantic salmon (*Salmo salar*) parr. *Animal Science*, 73: 105-113. <http://dx.doi.org/10.1017/S1357729800058100>
10. Brown, P. B., Kaushik, J. S., & Peres, H. (2008). Protein feedstuffs originating from soybeans. In: Alternatives Protein Sources in Aquaculture Diets (C. Lim, C. D. Webster, & C. S. Lee, eds), 205-223. The Haworth Press, New York, USA.
11. Cowieson, A., Ruckebusch, J. P., Sorbara, J. O., Wilson, J. W., Guggenbuhl, P., & Roos, F. (2017). A systematic view on the effect of phytase on ileal amino acid digestibility in broilers. *Animal Feed Science and Technology*, 225, <http://dx.doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2017.01.008>
12. Curry, S. J. (2011). Behavioral medicine interventions and the USPSTF: Opportunities and challenges for SBM. *Annals of Behavioral Medicine*, 41, 123-129.
13. Dawood, M. A. O., Koshio, S., Ishikawa, M., Yokoyama, S., El Basuni, M. F., Hossain, M. S., & Wei, H. (2017). Dietary supplementation of β -glucan improves growth performance, the innate immune response and stress resistance of red sea bream (*Pagrus Major*). *Aquaculture Nutrition*, 23 (1): 148-159. <http://dx.doi.org/10.1111/anu.12376>
14. Drew, M. D., Ogunkoya, A. E., Janz, D. M., & 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, 260-268. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2007.01.002>

15. Emadi, H., Mokhayer, B., & Faal, M. M. (2014). Alternative role of sesame seed replacing fish meal in the diet of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fingerlings. *Iranian Journal of Fisheries Sciences*, 13(3), 608-620. <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.15622916.2014.13.3.9.3>
16. Enyidi, U. D., Pirhonen, J., & Vielma, J. (2014). Effects of sesame seed meal and bambaranut meal on growth, feed utilization and body composition of juvenile African catfish (*Clarias gariepinus*). *Iranian Journal of Fisheries Sciences*, 13(4), 998-1013. <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.15622916.2014.13.4.17.3>
17. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2023). Fishery and aquaculture statistics. Global aquaculture production 1950-2021 (FishStatJ). FAO fisheries and aquaculture division [online]. Rome Updated 2023.
18. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2018). The state of world fisheries and aquaculture. Meeting the sustainable development goals. Rome: FAO.
19. Fossati, P., & Prencipe, L. (1982). *Clinical Chemistry*, 28, 2077-2080.
20. Francesco, M., Parisi, G., Medale, F., Kaushik, S. J., & Poli, B. M. (2004). Effect of long-term feeding with a plant protein mixture-based diet on growth and body/fillet quality traits of large rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, 263, 413-429. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2004.01.006>
21. Friedewald, W. T., Levy, R. I., & Fredrickson, D. S. (1972). Estimation of the concentration of low-density lipoprotein cholesterol in plasma, without use of the preparative ultracentrifuge. *Clinical Chemistry*, 18, 499-502.
22. Gasco, L., Józefiak, A., & Henry, M. (2021). Beyond the protein concept: Health aspects of using edible insects on animals. *Journal of Insects as Food and Feed*, 7, 715-741. <http://dx.doi.org/10.3920/JIFF2020.0077>
23. Glencross, B. D., Booth, M., & Allan, G. L. (2007). A feed is only as good as its ingredients- A review of ingredient evaluation strategies for aquaculture feeds. *Aquaculture Nutrition*, 13, 17-34. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2095.2007.00450.x>
24. Hajimohammadi, A., Mottaghitab, M., & Hashemi, M. (2020). Influence of microbial fermentation processing of sesame meal and enzyme supplementation on broiler performances. *Italian Journal of Animal Science*, 19(1), 712-722. <http://dx.doi.org/10.1080/1828051X.2020.1790045>
25. Hancock, R. E., & Sahl, H. G. (2006). Antimicrobial and host-defense peptides as new anti-infective therapeutic strategies. *Nature Biotechnology*, 24, 1551-1557. <http://dx.doi.org/10.1038/nbt1267>
26. Hasan, M. R., Macintosh, D. J., & Jauncey, K. (1997). Evaluation of some plant ingredients as protein sources for common carp (*Cyprinus carpio* L.) fry. *Aquaculture*, 151, 55-70. [http://dx.doi.org/10.1016/S0044-8486\(96\)01499-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0044-8486(96)01499-8)
27. Hashemipanamhehrabadi, A., Rafie, G., & Bozorgi, S. (2022). Replacement of soybean meal with sesame oil-cake in the rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) diet and its effects on growth indices, nutrition, fillet biochemical compositions, and liver enzymes. *Iranian Scientific Fisheries Journal*, 31(1), 97-108. <http://dx.doi.org/10.22092/isfj.2022.126251>
28. Hekmatpour, F., Amiri, F., Yoonesszadeh Fashalami, M., Nazemroaya, S., Sadr, A., Mousavi, S., Mortezaivazadeh, S. A., Kianersi, F., Ahangarzadeh, M., Houshmand, H., & Sharifian, M. (2023). Research Article: Replacement effects of soybean meal with sesame seed cake on growth, biochemical body composition, and economic efficiency of *Cyprinus carpio* formulated diet. *Iranian Journal of Fisheries Sciences*, 22(3), 678-700. <http://dx.doi.org/10.22092/ijfs.2023.129701>
29. Hussain, S. M., Bano, A. A., Ali, S., Rizwan, M., Adrees, M., Zahoor, A. F., Sarker, P. K., Hussain, M., Arsalan, M. Z., Yong, J. W. H., & Naeem, A. (2024). Substitution of fishmeal: Highlights of potential plant protein sources for aquaculture sustainability. *Heliyon*, 10(4), e26573. <http://dx.doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e26573>
30. Jalili, R., Tukmechi, A., Agh, N., Noori, F., & Ghasemi, A. (2013). Replacement of dietary fish meal with plant sources in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*): Effect on growth performance, immune responses, blood indices and disease resistance. *Iranian Journal of Fisheries Sciences*, 12(3), 577-591. <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.15622916.2013.12.3.7.4>
31. Jimoh, W. A., & Aroyehun, H. T. (2011). Evaluation of cooked and mechanically defatted sesame (*Seasame indicum*) seed meal as a replacer for soybean meal in the diet of African catfish (*Clarias gariepinus*). *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 11, 185-190. <http://dx.doi.org/10.4194/trjfas.2011.0202>
32. Khosravi, S., Bui, H. T. D., Herault, M., Fournier V., Kim, K. D., Lee, B. J., Kim, K. W., & Lee, K. J. (2018). Supplementation of protein hydrolysates to a low fishmeal diet improves growth and health status of juvenile olive flounder, *Paralichthys olivaceus*. *Journal of The World Aquaculture Society*, 49(5), 897-911. <http://dx.doi.org/10.1111/jwas.12436>
33. Koller, A. (1984). Total serum protein. In: Kaplan L. A., Pesce, A. J. (Eds). *Clinical Chemistry: theory, analysis, and correlation*. Mosby Co. St Louis. Toronto. Princeton, 1316-1324.
34. Kumar, V., Makkar, H. P., Amselgruber, W., & Becker, K. (2010). Physiological, haematological and histopathological responses in common carp (*Cyprinus carpio* L.) fingerlings fed with differently detoxified *Jatropha curcas* kernel meal. *Food and Chemical Toxicology*, 48(8-9), 2063-2072. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fct.2010.05.007>

35. Kwon, I. H., Kim, M. H., Yun, C. H., Go, J. Y., Lee, C. H., Lee, H. J., Phipek, W., & Haa, J. K. (2011). Effects of fermented soybean meal on immune response of weaned calves with experimentally induced lipo-polysaccharide challenge. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 24, 957–964. <http://dx.doi.org/10.5713/ajas.2011.10419>
36. Lim, H., Kim, M. G., Shin, J., Hur, S. W., Lee, B. J., & Lee, K. J. (2020). Evaluation of three plant proteins for fish meal replacement in diet for growing olive flounder *Paralichthys olivaceus*. *Korean Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 53(3), 464–470. <https://doi.org/10.5713/ajas.2011.10419>
37. Lin, S., & Luo, L. (2011). Effects of different levels of soybean meal inclusion in replacement for fish meal on growth, digestive enzymes and transaminase activities in practical diets for juvenile tilapia (*Oreochromis niloticus* × *O. aureus*). *Animal Feed Science and Technology*, 168(1-2), 80-87. <http://dx.doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.03.012>
38. Lin, Y. H., & Cheng, M. Y. (2017). Effects of dietary organic acid supplementation on the growth, nutrient digestibility and intestinal histology of the giant grouper *Epinephelus lanceolatus* fed a diet with soybean meal. *Aquaculture*, 469, 106–111. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2016.11.032>
39. Naito, H. K. (2003). Coronary artery disease and disorder of lipid metabolism. *Clinical Chemistry: Theory, Analysis, Correlation*, 4th ed. Kaplan, L.A., Pesce, A.J., Kazmierczak, S. C. (Mosby, Inc. eds. St Louis USA) 603.
40. National Research Council (NRC) (1993). Nutrient requirements of fish. Washington, DC: National Academy Press. 114 p.
41. Nauck, M., Maerz, W., & Wieland, H. (1998). New immunoseparation based hormogenos and two heterogeneous methods for HDL-cholesterol. *Clinical Chemistry*. 44, 443-451.
42. Nang, T., Bodin, N., De Saeger, S., Larondelle, Y., & Rollin, X. (2011). Substitution of fish meal by sesame oil cake (*Sesamum indicum* L.) in the diet of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture Nutrition*, 17, 80-89. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2095.2009.00732.x>
43. Neissi, A., Rafiee, G., Nematollahi, M., & Safari, O. (2013). The effect of *Pediococcus acidilactici* bacteria used as probiotic supplement on the growth and non-specific immune responses of green terror (*Aequidens rivulatus*). *Fish and Shellfish Immunology*, 35, 1976-1980. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fsi.2013.09.036>
44. Niba, A. Beal, J., Kudi, A. & Brooks, P. (2009). Potential of bacterial fermentation as a biosafe method of improving feeds for pigs and poultry. *African Journal of Biotechnology*, 8, 1758-1767.
45. Olude, O., George, F., & Alegbeleye, W. (2016). Utilization of autoclaved and fermented sesame (*Sesamum indicum* L.) seed meal in diets for Til-aqua natural male tilapia. *Animal Nutrition (Zhongguo xu mu shou yi xue hui)*, 2(4), 339–344. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aninu.2016.09.001>
46. Onsaard, E., Pomsamud, P., & Audtum, P. (2010). Functional properties of sesame protein concentrate from sesame meal. *Asian Journal of Food and Agro-Industry*, 3(4), 420-431.
47. Onsaard, E. (2012). Sesame proteins. *International Food Research Journal*, 19(4), 1287-1295.
48. Palmegiano, G. B., Dapra, F., Forneris, G., Gai, F., Gasco, L., Guo, K., Peiretti, P. G., Sicuro, B., & Zoccarato, I. (2006). Rice protein concentrate meal as a potential ingredient in practical diets for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, 258, 357-367. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.04.011>
49. Reigh, R. C. (2008). Underutilized and unconventional plant protein supplements. In C. Lim, C. D. Webster, & C. S. Lee eds., *Alternatives Protein Sources in Aquaculture Diets* (pp. 433-474). Haworth Press.
50. Romarheim, O. H., Skrede, A., Gao, Y., Krogdahl, Å., Denstadli, V., Lilleeng, E., & Storebakken, T. (2006). Comparison of white flakes and toasted soybean meal partly replacing fish meal as protein source in extruded feed for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, 256 (1-4), 354-364 <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.02.006>
51. Sacks, D. B. (1990). Carbohydrates. In: C. A. Burtis, E. R. Ashwood, eds. *Tietz Textbook of Clinical Chemistry*. 3rd ed. Philadelphia: W.B Saunders Company. p. 750-808.
52. Safari, O. (2011). Study on the production of canola protein concentrate through different processing methods (physical, chemical and biological) with the aim of using in the diet of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Ph.D. Thesis, University of Tehran, Tehran, Iran. 250 pp.
53. Saleh, N. E. (2019). Assessment of sesame meal as a soybean meal replacement in European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) diets based on aspects of growth, amino acid profiles, haematology, intestinal and hepatic integrity and macroelement contents. *Fish Physiology and Biochemistry*, 46(3), 861–879. <http://dx.doi.org/10.1007/s10695-019-00756-w>
54. Schulte-Hostedde, A. I., Zinner, B., Millar, J. S., & Hickling, G. J. (2005). Restitution of mass-size residuals: Validating body condition indices. *Ecology*, 86, 155–163.
55. Shimeno, S., Hashimoto, A., Ando, Y., & Hayakawa, K. (1994). Improving the nutritive value of defatted soybean meal through purification and fermentation for fingerling yellowtail. *Suisanzoshoku*, 42, 247-252.4. <https://doi.org/10.1890/04-0232>
56. Sitjà-Bobadilla, A., Peña-Llopis, S., Gómez-Requeni, P., Médale, F., Kaushik, S., & Pérez-Sánchez, J. (2005). Effect of fish meal replacement by plant protein sources on non-specific defence mechanisms and oxidative stress in gilthead sea bream (*Sparus aurata*). *Aquaculture*, 249(1-4), 387-400.

- <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2005.03.031>
57. Sun, H., & Tang, J. W., Yao, X. H., Wu, Y. F., Wang, X., & Feng, J. (2012). Improvement of the nutritional quality of cottonseed meal by *Bacillus subtilis* and the addition of papain. *International Journal of Agriculture and Biology*, 14, 563-568.
 58. Tacon, A. G. J. (1990). Standard methods for the nutrition and feeding of farmed fish and shrimp. *Argent Laboratories Press*, Washington DC. p. 4-24.
 59. Tacon, A. G. J. (1993). Feed ingredients for warm water fish. Fish meal and other processed feedstuffs. *FAO Fisheries Circular No. 856*. FAO, Rome.
 60. Tietz, N. W. (2006). Clinical guide to laboratory tests, 4rd ed. (W. B. Saunders eds. Philadelphia USA), 244.
 61. Wiebe, D. A., & Warnick, G. R. (1997). Measurement of high-density lipoprotein cholesterol. In N. Rifai, G. R. Warnick, Washington, AACC Press, 1997. p. 127-144.
 62. Yaghoubi, M., Mozanzdeh, M. T., Marammazi, J. G., Safari, O., & Gisbert, E. (2016). Dietarty replacement of fish meal by soy products (soybean meal and isolated soy protein) in silvery-black porgy juveniles (*Sparidentex hasta*). *Aquaculture*, 464, 50-59. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2016.06.002>
 63. Yamamoto, T., Suzuki, N., Furuita, H., Sugita, T., Tanaka, N., & Goto, T. (2007). Supplemental effect of bile salts to soybean meal-based diet on growth and feed utilization of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Fisheries Science*, 73(1), 123-131. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1444-2906.2007.01310.x>
 64. Young, D. S. (1995). Effects of drugs on clinical laboratory tests, 4 ed., AACC Press.
 65. Young, D. S. (2001). Effects of disease on Clinical Lab, Tests, 4th ed AACC.
 66. Zar, J. H. (1999). Biostatistical Analysis. New Jersey, USA. Prentice-Hall, Inc.
 67. Zarantoniello, M., Randazzo, B., Secci, G., Notarstefano, V., Giorgini, E., Lock, E. J., Parisi, G., Olivotto, I. (2021). Application of laboratory methods for understanding fish responses to black soldier fly (*Hermetia illucens*) based diets. *Journal of Insects as Food and Feed*, 8(11), 1-24. <http://dx.doi.org/10.3920/JIFF2020.0135>
 68. Zheng, Z., & Shetty, K. (1998). Solid-state of beneficial fungi on apple processing wastes using glucosamine as the indicators of growth. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46, 783-787. <https://doi.org/10.1021/jf970916y>
 69. Zhu, Zh., Yi, Y, Zhang., X, Lin., Y, Chi., Sh, Yang., Q, & Tan., B. (2022). The growth performance, antioxidant capacity, liver fat metabolism and intestinal flora com position responsiveness to fish meal replacement by peanut cake for juvenile hybrid grouper (*Epinephelus fuscoguttatus* ♀ × *Epinephelus lanceolatus* ♂), *Aquaculture Reports*, 23, 101060. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aqrep.2022.101060>