



Effect of different levels of commercial multibehsil probiotic on growth performance and nutrient utilization efficiency in rainbow trout juveniles (*Oncorhynchus mykiss*)

Sozan Nasiripour¹, Hojatollah Jafaryan^{2✉}, Hosna Gholipour Knanni³,
Mohammad Harsij⁴

1. Department of Fisheries, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Gonbad Kavous, Gonbad -e Kavous, Golestan, Iran. sozan.nasiripor1230@gmail.com

2. Corresponding author, Department of Fisheries, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Gonbad Kavous, Gonbad -e Kavous, Golestan, Iran. Email: hojat.jafaryan@gmail.com

3. Department of Fisheries, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Gonbad Kavous, Gonbad -e Kavous, Golestan, Iran. Email: gholipourk@gmail.com

4. Department of Fisheries, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Gonbad Kavous, Gonbad -e Kavous, Golestan, Iran. Email: m_harsij80@yahoo.com

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received 27 July 2026
Revised 23 August 2026
Accepted 3 September 2026

Keywords:
Dietary supplement,
Growth performance,
Feed utilization efficiency,
Protein evaluation,
Lipid evaluation,
Energy evaluation.

ABSTRACT

This study aimed to investigate the effects of different dietary levels of a commercial Multibehsil probiotic on growth performance and some carcass biochemical compositions in juvenile rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). For this purpose, 600 fish with an initial average weight of 18 ± 2 g were randomly assigned, after a one-week acclimation period, to four experimental treatments, including a control group and three probiotic-supplemented groups receiving 100, 200, and 300 mg of probiotic per kg of diet, with three replicates per treatment. The fish were hand-fed three times daily for 45 days at a feeding rate of 4–5% of body weight. The results showed that protein-specific growth rate, protein production value, lipid production value, retained protein, energy-specific growth rate, and energy production value were significantly higher in all probiotic-supplemented treatments compared with the control group ($P < 0.05$). However, weight gain rate, energy utilization efficiency, and retained energy did not differ significantly between the experimental treatments and the control group ($P > 0.05$). Final weight, weight gain, condition factor, feed efficiency ratio, and lipid efficiency ratio were significantly higher in fish receiving 100 mg probiotic/kg diet compared with those receiving 200 mg/kg ($P < 0.05$); however, no significant differences were observed between these treatments and the control group ($P > 0.05$). Similarly, the protein efficiency ratio was significantly higher in the 200 mg/kg treatment than in the 100 mg/kg treatment ($P < 0.05$). The specific growth rate in length was significantly higher in the 200 mg/kg treatment compared with the control group ($P < 0.05$), but showed no significant differences compared with the other experimental treatments ($P > 0.05$). The condition factor in the 200 mg/kg treatment was significantly lower than that of the control group ($P < 0.05$), while no significant differences were observed among the other treatments and the control group ($P > 0.05$). Overall, dietary supplementation with Multibehsil probiotic improved several growth performance indices, feed utilization parameters, and nutrient utilization efficiency in juvenile rainbow trout. However, increasing the probiotic inclusion level did not necessarily result in further improvements in growth responses. The best performance for many evaluated parameters was observed at the supplementation level of 100 mg probiotic per kg diet. These findings indicate that the effects of Multibehsil probiotic are dose-dependent, and selecting an appropriate supplementation level is essential for achieving optimal improvements in fish performance.

Cite this article: Nasiripour, S., Jafaryan, H., Gholipour Knanni, H., Harsij, M. (2026). Effect of different levels of commercial multibehsil probiotic on growth performance and nutrient utilization efficiency in rainbow trout juveniles (*Oncorhynchus mykiss*). *Journal of Aquaculture Sciences*, 14(1), 167-183.



EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Aquaculture has been one of the fastest-growing sectors of food production in recent years and has become a dynamic industry over the past few decades. In recent decades, the aquaculture industry has been using dietary supplements to support health and reduce reliance on certain drugs and antibiotics, including probiotics, prebiotics, and synbiotics, which are considered growth, safety, and health stimulants. While these food supplements provide non-specific protection against pathogens, they also act as growth promoters. Probiotics are beneficial microorganisms that colonize the digestive tract of living organisms and positively affect the host's health and growth. They also affect growth and nutrition in the physiological system of the living organism, as well as the commercial value of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*), the most important non-native species in the country's aquaculture industry. In order to understand some of these effects of commercial prebiotic Behsil on juvenile rainbow trout and to establish a logical relationship between the changes in growth parameters, nutrition, and body chemical compositions and different levels of the probiotic used in the diet, the present study was conducted to determine the possible effects of commercial probiotic Behsil on the growth performance and feeding efficiency of juvenile rainbow trout.

Material and Methods

In a feeding experiment, 600 juvenile rainbow trout with an initial mean body weight of 18 ± 2 g were randomly reared in metal cages measuring $0.6 \times 0.6 \times 1$ m³ across four experimental treatments, with 12 replicate cages in total, at a daily feeding rate of 4% of body weight for 45 days. Treatments B1, B2, and B3, which contained 100, 200, and 300 mg of Behsil probiotic per kg of diet, respectively, were used to prepare 3 diets. To investigate the effect of probiotic consumption on fish growth and nutritional indices, all fish in each cage were caught and anesthetized at the end of the 45-day rearing period using 200 ppm clove powder. The weight of the fish (with an accuracy of 0.01 g) and the length of the fish (with an accuracy of 1 mm) were evaluated using a digital scale (with an accuracy of 0.01 g) and a biometry board (with an accuracy of 1 mm). Using biometry data, the amount of protein in the food and the measurements of protein, fat, and energy of the carcass were calculated to evaluate the growth trend of the fish based on the available resources; using mathematical equations, growth and nutritional indices were calculated.

Results

The results showed that juvenile rainbow trout in the experimental treatments with Behsil probiotic had better growth and nutritional performance than the control group. The results showed that there were significant differences in the indices of final weight, final length, weight gain, daily growth rate, condition factor, feed efficiency rate, protein efficiency ratio, fat efficiency ratio, and energy efficiency ratio in the probiotic-treated treatments compared to the control treatment ($P < 0.05$); while there were no significant differences in the specific growth rate, feed conversion ratio, retained protein, retained fat, and retained energy ($P > 0.05$). The results showed that using probiotics as a dietary supplement at different concentrations affected growth and feed efficiency indices in rainbow trout.

Discussion and Conclusion

Changes in growth and nutrition indices among different treatments in this study at the end of the experimental period showed that using 100 mg of probiotic per kilogram of diet for young rainbow trout fry, the lowest dose used, resulted in a significant increase in final weight, final length, weight gain, daily growth rate, feed efficiency rate, protein efficiency ratio, fat efficiency ratio, and energy efficiency ratio compared to the control treatment. The condition factor (obesity coefficient) in the treatment containing 200 mg of probiotic showed a significant decrease compared to other experimental treatments and the control group. No significant difference was observed between the other treatments and the control group. Also, as the amount of probiotic in the diet increased, no significant differences were

observed between the experimental treatments and the control treatment in specific growth rate, feed conversion ratio, retained protein, retained fat, and retained energy. Improved growth performance at low inclusion levels may be due to increased nutrient efficiency from the fermentative effect of the bacterial enzymes used. Using probiotics at appropriate concentrations improves growth parameters, and increasing the concentration does not necessarily increase growth; it may also reduce it. Several studies have investigated the effect of probiotics in the diets of various aquatic species. Researchers have proven that the secretion of various enzymes, including protease and lipase, from probiotics in the digestive tract of farmed aquatic animals may improve the digestibility of dietary nutrients, especially difficult-to-digest compounds, and ultimately increases the digestibility of protein and fat compounds of the food eaten in the intestine of the aquatic animal, and as a result, these compounds are well absorbed in the aquatic intestine and their percentage in the carcass increases, and protein, fat, and energy indices in farmed fish are improved Overall, the results of this study indicated that the use of probiotic Behsil has different effects on growth performance and feeding efficiency and can improve some of the protein and body fat evaluation indices of juvenile trout.

تأثیر سطوح مختلف پروبیوتیک تجاری مولتی بهسیل بر عملکرد رشد و بهره‌وری مواد مغذی در ماهیان قزل‌آلای رنگین‌کمان (*Oncorhynchus mykiss*)

سوزان نصیری پور^۱، حجت‌الله جعفریان^۲، حسنا قلی‌پور کنعانی^۳، محمد هرسیج^۴

۱. گروه شیلات، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبد کاووس، گنبد کاووس ایران. رایانامه: sozan.nasiripor1230@gmail.com

۲. نویسنده مسئول، گروه شیلات، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبد کاووس، گنبد کاووس ایران. رایانامه: hojat.jafaryan@gmail.com

۳. گروه شیلات، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبد کاووس، گنبد کاووس ایران. رایانامه: gholipourk@gmail.com

۴. گروه شیلات، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبد کاووس، گنبد کاووس ایران. رایانامه: m_harsij80@yahoo.com

چکیده

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:

مقاله پژوهشی،

تاریخچه مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۰۵/۰۵

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۵/۰۶/۰۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۶/۱۲

کلیدواژه‌ها:

مکمل غذایی،

عملکرد رشد،

کارایی تغذیه،

ارزیابی پروتئین،

ارزیابی چربی،

ارزیابی انرژی.

هدف از این پژوهش، بررسی اثر سطوح مختلف پروبیوتیک تجاری مولتی بهسیل بر عملکرد رشد و برخی ترکیبات بیوشیمیایی لاشه استفاده در ماهیان جوان قزل‌آلای رنگین‌کمان (*Oncorhynchus mykiss*) بود. بدین منظور، ۶۰۰ قطعه ماهی قزل‌آلای جوان با میانگین وزن اولیه 18 ± 2 گرم، پس از یک دوره سازگاری یک هفته‌ای، به صورت تصادفی در چهار تیمار آزمایشی شامل یک گروه شاهد و سه تیمار دریافت‌کننده، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی گرم پروبیوتیک در هر کیلوگرم جیره غذایی هر کدام با سه تکرار بودند. ماهیان قزل‌آلای جوان به مدت ۴۵ روز، سه نوبت در روز معادل ۵-۴ درصد وزن بدن به صورت دستی غذادهی شدند. نتایج نشان داد که نرخ رشد ویژه پروتئین، ارزش تولید پروتئین، ارزش تولید چربی، پروتئین ابقاء‌شده، نرخ رشد ویژه انرژی و ارزش تولید انرژی در تمامی تیمارهای آزمایشی به طور معنی‌داری بیشتر از گروه شاهد بود ($P < 0.05$). سرعت رشد وزنی، نسبت کارایی انرژی و انرژی ابقاء‌شده بین تیمارهای آزمایشی و گروه شاهد اختلاف معنی‌داری نداشتند ($P > 0.05$). وزن نهایی، افزایش وزن، فاکتور وضعیت، نرخ کارایی غذا و نسبت کارایی چربی در تیمار ۱۰۰ میلی گرم پروبیوتیک به طور معنی‌داری بیشتر از تیمار ۲۰۰ میلی گرم بود ($P < 0.05$)، اما بین این تیمارها و گروه شاهد اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد ($P > 0.05$). تحت شرایطی مشابه نسبت کارایی پروتئین در تیمار ۲۰۰ میلی گرم به طور معنی‌داری بیشتر از تیمار ۱۰۰ میلی گرم بود ($P < 0.05$). سرعت رشد طولی در تیمار ۲۰۰ میلی گرم به طور معنی‌داری بیشتر از گروه شاهد بود ($P < 0.05$)، اما با سایر تیمارهای آزمایشی اختلاف معنی‌داری نداشت ($P > 0.05$). فاکتور وضعیت در تیمار ۲۰۰ میلی گرم به طور معنی‌داری کمتر از گروه شاهد بود ($P < 0.05$)، ولی بین سایر تیمارها و شاهد اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد ($P > 0.05$). در مجموع، افزودن پروبیوتیک مولتی بهسیل به جیره غذایی ماهیان قزل‌آلای جوان باعث بهبود برخی شاخص‌های رشد، کارایی تغذیه و بهره‌وری استفاده از مواد مغذی شد؛ با این حال، افزایش سطح مصرف پروبیوتیک الزاماً منجر به افزایش بیشتر پاسخ‌های مثبت نشد. بهترین عملکرد در بسیاری از شاخص‌ها در سطح ۱۰۰ میلی گرم پروبیوتیک در هر کیلوگرم جیره ثبت شد. این نتایج نشان می‌دهد که اثرات پروبیوتیک مولتی بهسیل وابسته به سطح مصرف بوده و انتخاب دوز مناسب نقش مهمی در دستیابی به بیشترین بهبود عملکرد دارد.

استناد: نصیری پور، سوزان؛ جعفریان، حجت؛ قلی‌پور کنعانی، حسنا؛ هرسیج، محمد (۱۴۰۵). تأثیر سطوح مختلف پروبیوتیک تجاری مولتی بهسیل بر عملکرد رشد و بهره‌وری مواد مغذی در ماهیان قزل‌آلای رنگین‌کمان (*Oncorhynchus mykiss*). *علوم آبی پروری*، ۱۴(۱)، ۱۸۳-۱۶۷.



مقدمه

آبزی‌پروری در حال حاضر بیش از نیمی از ماهی‌های جهان را تأمین می‌کند و برای افزایش رشد، بهبود بازدهی خوراک و افزایش مقاومت در برابر بیماری‌ها، به‌شدت به افزودنی‌های خوراکی متکی است. (Okon et al., 2025). براساس گزارش FAO SOFIA (۲۰۲۴)، تولیدات جهانی شیلات و آبزی‌پروری در سال ۲۰۲۲ به ۲۲۳/۲ میلیون تن رسید که ۱۳۰/۹ میلیون تن از آبزی‌پروری بود. برای نخستین بار تولید آبزی‌پروری (۹۴/۴ میلیون تن) از صید (۹۱ میلیون تن) فراتر رفت (FAO, 2024). با توجه به رشد جمعیت جهانی و افزایش تقاضا برای پروتئین حیوانی، پیش‌بینی می‌شود این روند در دهه‌های آینده نیز ادامه یابد (Rosle et al., 2024; Okon et al., 2025). افزایش تنوع و شدت فناوری‌های آبزی‌پروری برای حفظ تولید بالا، منجر به تشدید استرس‌های زیست‌محیطی شده است که مهم‌ترین محدودیت در پرورش ماهی محسوب می‌شوند. از این‌رو، استفاده از محرک‌های رشد و جایگزین‌های سازگار با محیط‌زیست به ضرورتی اجتناب‌ناپذیر برای آبزی‌پروری پایدار تبدیل شده است (Boyd et al., 2020). در پاسخ به تقاضای فزاینده برای آبزیان، علاقه به استفاده از افزودنی‌های متنوع خوراکی برای بهبود سلامت و عملکرد این گونه‌ها افزایش یافته است (Bai et al., 2022). افزودنی‌های خوراکی، از جمله محصولات گیاهی و جانوری، مواد معدنی و سایر مکمل‌ها، برای تأمین نیازهای رو به رشد این صنعت به‌کار می‌روند و نشان داده شده است که وابستگی به محصولات طبیعی آبزیان را کاهش داده و بازده در واحد سطح یا حجم آب را افزایش می‌دهند (Boyd and McNevin, 2022). افزودنی‌های خوراکی با تأمین نیازهای تغذیه‌ای، تقویت سیستم ایمنی، تحریک رشد و افزایش پتانسیل تولید، نقش حیاتی در حفظ سلامت، کاهش هزینه‌ها و بهبود عملکرد پرورش گونه‌های مختلف آبزی دارند (Okon et al., 2025). این افزودنی‌ها به‌عنوان مواد غیرتغذیه‌ای یا عملکردی تعریف می‌شوند که به خوراک فرموله‌شده اضافه یا به‌عنوان مکمل ارائه می‌شوند تا رشد، کارایی خوراک، سلامت، کیفیت محصول یا پایداری خوراک را تنظیم کنند (Encarnação, 2016). این مواد شامل پروبیوتیک‌ها، پریبیوتیک‌ها، ایمنی‌تحریک‌کننده‌ها، آنزیم‌ها و مواد مغذی ضروری هستند (Okon et al., 2025).

پروبیوتیک‌ها مکمل‌های میکروبی زنده‌ای هستند که از طریق تعدیل ترکیب و فعالیت جامعه میکروبی روده، اثرات سودمندی بر سلامت میزبان ایجاد می‌کنند (Amenyogbe et al., 2020). این میکروارگانیسم‌های مفید با تولید آنزیم‌های مرتبط با فرآیند هضم، به بهبود تجزیه مواد غذایی، تقویت عملکرد دستگاه گوارش و افزایش مقاومت ماهی در برابر عوامل بیماری‌زا کمک می‌کنند (Muhammad et al., 2021; Nikiforov-Nikishin et al., 2022). فعالیت آنزیم‌های گوارشی، بهبود جذب مواد مغذی و کاهش اختلالات ناشی از عوامل پاتوژن در دستگاه گوارش می‌شود (Weinrauch et al., 2021). از این‌رو، استفاده از این مکمل‌ها در کنار آنزیم‌های گوارشی می‌تواند به‌عنوان راهکاری مؤثر برای بهینه‌سازی تغذیه آبزیان مطرح باشد؛ زیرا با افزایش کارایی خوراک و بهبود رشد، همچنین کاهش اثر ترکیبات ضدتغذیه‌ای موجود در مواد اولیه و تسهیل فرآیند پیش‌هضم، عملکرد تولیدی ماهی را ارتقا می‌دهد (Sparagon et al., 2022; Nikiforov-Nikishin et al., 2022). برای نمونه، استفاده از سویه‌های *Bacillus coagulans* و *Bacillus firmus* در دو فرم زنده و لیوفیلیزه، چه به‌صورت مستقل و چه در ترکیب با اسپیرولینا و مخمر، موجب بهبود معنی‌دار شاخص‌های رشد از جمله افزایش وزن، افزایش طول و نرخ رشد ویژه در آبزیان شده است (Kolanchinathan et al., 2022). مکمل‌سازی جیره با *Saccharomyces cerevisiae* و *Lactobacillus bulgaricus* به‌ویژه به‌صورت ترکیبی، رشد، کارایی تغذیه، ایمنی و محتوای پروتئین و چربی لاشه را در ماهی کفال (*Mugil capito*) به‌طور معنی‌داری بهبود بخشید (Shehata et al., 2024). جداسازی *Bacillus subtilis* و *Bacillus licheniformis* از دستگاه گوارشی میگو (*Penaeus monodon*) و گنجاندن آنها در جیره غذایی، فعالیت آنزیم‌های گوارشی مانند پروتئاز، آمیلاز و سلولاز را به‌طور معنی‌داری افزایش داد، که نشان‌دهنده افزایش بازدهی هضم است (Wang et al., 2020). ترکیب فرآورده‌های جانبی هیدرولیز شده ماهی مرکب در کنار *Bacillus subtilis* BF12 در یک جیره غذایی گیاهی برای گونه *Peanaouus monodon* منجر به بهبود معنی‌دار عملکرد رشد، بازدهی تغذیه، حفظ مواد مغذی و پاسخ‌های ایمنی شد. این ترکیب نه تنها فعالیت آنزیم‌های گوارشی را افزایش داد، بلکه میکروبیوتای مفید روده را نیز تقویت کرد که نشان‌دهنده تأثیر

چندوجهی پروبیوتیک‌ها بر سلامت آبزیان است (Pan et al., 2024). فرمولاسیون پروبیوتیکی مقرون به صرفه حاوی *Bacillus cereus* بهیودهای معنی‌داری در نرخ رشد، پارامترهای ایمنی و نرخ بازماندگی در جیره میگو نشان داد (NavinChandran et al., 2017; Chandran et al., 2014). افزودن *Streptococcus phocae* PI80 به استخرهای میگو از طریق خوراک و آب، رشد و پاسخ‌های ایمنی را به‌طور معنی‌داری افزایش و شیوع باکتری‌های پاتوژن را کاهش داد (Pattukumar et al., 2014). به‌طور مشابه، *Clostridium butyricum* در جیره میگو رشد، فعالیت آنزیم‌های گوارشی و دفاع‌های آنتی‌اکسیدانی را تقویت کرد (Duan et al., 2019). کاربرد *Bacillus* sp. Mk 22 نیز مزایای دوگانه‌ای در تحریک رشد و بازماندگی و همزمان کاهش عفونت‌های مرتبط با *Vibrio* spp. و ویروس لکه سفید نشان داد (Sekar et al., 2016). در نهایت، جدایه *Bacillus* P11 که تحت عنوان *Bacillus subtilis* شناسایی می‌شود، عملکرد رشد و بازدهی تغذیه را به‌طور معنی‌داری بهبود بخشید و منجر به پاسخ ایمنی افزایش یافته در برابر *Vibrio harveyi* شد که اثر بخشی آن را به‌عنوان یک عامل پروبیوتیک برجسته می‌کند (Utiswannahakul et al., 2011). نتایج یک فراتحلیل ارائه‌شده توسط Ariyanto و Anika (۲۰۲۴)، نشان داد که افزودن پروبیوتیک‌ها به جیره غذایی آبزیان به‌طور معنی‌داری موجب بهبود شاخص‌های مرتبط با عملکرد رشد می‌شود.

پروبیوتیک‌ها عموماً از طریق اثرگذاری بر فرایندهای مختلف فیزیولوژیکی، از جمله بهبود عملکرد رشد، ترکیبات لاشه، ضریب تبدیل غذایی، فعالیت آنزیم‌های گوارشی، وضعیت سلامت، مقاومت در برابر بیماری‌ها، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، مورفولوژی روده و ترکیب جمعیت میکروبی دستگاه گوارش، می‌توانند نقش مهمی در توسعه روش‌های پایدار و کارآمد در آبی‌پروری ایفا کنند (Muneeb et al., 2026). از این رو، این ترکیبات به‌عنوان یکی از افزودنی‌های غذایی پایدار در صنعت آبی‌پروری مورد توجه قرار گرفته‌اند. با وجود مطالعات گسترده درباره اثر پروبیوتیک‌های مختلف بر شاخص‌های رشد، تغذیه و ایمنی در گونه‌های پرورشی مختلف، از جمله قزل‌آلای رنگین‌کمان (*Oncorhynchus mykiss*)، اطلاعات موجود درباره اثر پروبیوتیک‌های تجاری چندسویه، به‌ویژه محصول مولتی‌بهسیل، بر شاخص‌های رشد، کارایی استفاده از مواد مغذی و فراسنجه‌های ارزیابی پروتئین، چربی و انرژی در این گونه محدود است.

ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان به‌عنوان مهم‌ترین گونه غیربومی در صنعت آبی‌پروری ایران شناخته می‌شود که دارای ارزش تجاری بالایی است. بهبود عملکرد رشد و کارایی تغذیه این گونه می‌تواند بازده اقتصادی مزارع پرورش ماهی را افزایش دهد. بنابراین، با توجه به ترکیب چندسویه پروبیوتیکی و تنوع سویه‌های باکتریایی و قارچی موجود در پروبیوتیک تجاری مولتی‌بهسیل، انتظار می‌رود این محصول بتواند اثرات متفاوتی نسبت به پروبیوتیک‌های تک‌سویه یا با ترکیبات محدودتر بر عملکرد ماهیان پرورشی داشته باشد. با این وجود، پاسخ دوز-پاسخ این پروبیوتیک و سطح بهینه افزودن آن به جیره ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان هنوز مشخص نیست. بنابراین، پژوهش حاضر با هدف بررسی اثر سطوح مختلف پروبیوتیک تجاری مولتی‌بهسیل بر عملکرد رشد، کارایی تغذیه و شاخص‌های ارزیابی پروتئین، چربی و انرژی در بچه‌ماهیان جوان قزل‌آلای رنگین‌کمان طراحی و اجرا شد.

مواد و روش‌ها

تهیه ماهیان قزل‌آلای جوان و شرایط پرورش: برای انجام این آزمایش، تعداد ۶۰۰ قطعه ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان جوان با میانگین وزن اولیه 18 ± 2 گرم (میانگین $\pm$ انحراف معیار) از یکی از مراکز تکثیر و پرورش ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان (هراز، ایران) تهیه شد. ماهیان توسط کیسه‌های پلاستیکی دولایه به کارگاه خصوصی ماهیان سردابی هامون واقع در استان گلستان، شهرستان آزادشهر منتقل شدند. پس از یک دوره سازگاری ۱۰ روزه با شرایط جدید و جیره پایه، ماهیان در واحدهای آزمایشی توزیع شدند. غذادهی به‌صورت دستی، سه مرتبه در روز (ساعت‌های ۸:۰۰، ۱۴:۰۰ و ۱۹:۰۰) و به‌میزان ۴ تا ۵ درصد وزن بدن انجام شد. دمای آب طی دوره پرورش، روزانه سه مرتبه قبل از غذادهی با استفاده از دماسنج جیوه‌ای اندازه‌گیری و ثبت شد. آب مورد نیاز از چشمه‌ای واقع در نزدیکی مزرعه تأمین شد و به‌منظور حفظ کیفیت آب، تصفیه فیزیکی، زیستی و شیمیایی با استفاده از تجهیزات موجود در مرکز انجام گرفت. دوره نوری در طول آزمایش شامل ۱۲ ساعت روشنایی و ۱۲ ساعت تاریکی بود.

طرح آزمایش: مطالعه حاضر در قالب طرح کاملاً تصادفی^۱ با چهار تیمار آزمایشی و سه تکرار انجام شد. برای اجرای آزمایش، چهار استخر آبراهه‌ای^۲ مورد استفاده قرار گرفت که جهت این منظور برای هر تیمار سه قفسه توری نایلونی با ابعاد $6/0 \times 6/0 \times 6/0$ در نظر گرفته شده و ماهیان هر تیمار در سه سه قفس توری به‌عنوان سه تکرار در نظر گرفته شده و در هر تکرار تعداد ۵۰ قطعه ماهی معرفی و مورد پرورش قرار گرفت هر قفس توری به‌عنوان یک واحد تکرار در نظر گرفته شد؛ بنابراین، در مجموع ۱۲ واحد آزمایشی ایجاد شد که هر واحد شامل ۵۰ عدد بچه‌ماهی بود که به طور تصادفی در هر قفس توری توزیع شدند. تیمارهای آزمایشی شامل یک گروه شاهد بدون دریافت پروبیوتیک و سه تیمار دریافت‌کننده پروبیوتیک تجاری مولتی‌بسیل در سطوح ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی گرم به ازای هر کیلوگرم جیره غذایی بود. هر تیمار دارای سه تکرار مستقل بود و تخصیص واحدهای آزمایشی به تیمارها به‌صورت تصادفی انجام شد. تیمارهای دریافت‌کننده پروبیوتیک به‌ترتیب B1، B2 و B3 نام‌گذاری شدند. کلیه مراحل آماده‌سازی جیره‌های آزمایشی در آزمایشگاه آبی‌پروری دانشگاه گنبدکاووس انجام شد.

پروبیوتیک مورد استفاده: در مطالعه حاضر از پروبیوتیک تجاری مولتی‌بسیل (شرکت آکام فرآورده‌های بهمن آراد، ایران) با غلظت 10^{11} واحد تشکیل‌دهنده کلنی (CFU^۳) در هر گرم مورد استفاده به‌عنوان افزودنی غذایی استفاده شد. این محصول ترکیبی از ۱۲ سویه و گونه میکروبی پروبیوتیکی شامل باکتری‌های اسیدلاکتیک (*L. casei*, *Lactobacillus plantarum*)، *Bacillus acidophilus*، *L. rhamnosus*، *L. delbrueckii*، *Enterococcus faecium*، گونه‌های *Aspergillus oryzae* است. همچنین این محصول حاوی ترکیبات همراه شامل اینولین، بتائین و باکتری‌های تولیدکننده آنتی‌بیوتیک باسیتراسین نیز می‌باشد.

نحوه آماده‌سازی جیره‌های غذایی: به‌منظور آماده‌سازی جیره‌های غذایی ابتدا مقدار غذا برای کل دوره آزمایش (۴۵ روز) برای هر تیمار محاسبه شد. سپس میزان غذای مورد نیاز ماهیا جوان قزل‌آلای رنگین کمان برای کل دوره پرورش محاسبه و توزین شد. مشخصات بیوشیمیایی غذای مورد استفاده در طول دوره پرورش در جدول ۱ ارائه شده است. پس از توزین دقیق پروبیوتیک مورد نیاز برای هر تیمار، درون هاون چینی کاملاً پودر شد. سپس با اضافه کردن مقدار مشخصی آب مقطر (۱۰۰ میلی‌لیتر) درون بشهرهای شیشه‌ای جداگانه با استفاده از همزن برقی برای مدت ۳ دقیقه به‌خوبی هم زده شد و در نهایت سه سو سپانسیون پروبیوتیکی حاوی مقادیر مشخص از پروبیوتیک مولتی‌بسیل (۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی گرم) تهیه گردید. در مرحله بعد، سوسپانسیون‌های پروبیوتیکی تهیه‌شده به‌صورت جداگانه روی غذای اکستروود موجود در سه سینی فلزی اسپری شدند. سپس، هر یک از جیره‌ها با استفاده از دستگاه میکسر به‌طور کامل مخلوط و یکنواخت شد تا جیره‌های آزمایشی حاوی سطوح مختلف پروبیوتیک مولتی‌بسیل تهیه شوند. در ادامه، جیره‌های آماده‌شده پس از یکنواخت‌سازی، در دستگاه خشک‌کن با دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد (Ghosh et al., 2003) به‌مدت ۵ ساعت خشک شدند تا رطوبت آن‌ها به حدود ۱۰ درصد برسد. سپس در کیسه‌های پلاستیکی از جنس پلی‌اتیلن به رنگ مشکی بسته‌بندی و شماره‌گذاری شده و در ظروف درب دار محکم تا زمان مصرف در فریزر با دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند.

جدول ۱- آنالیز تقریبی ترکیب غذای اکستروود قزل‌آلای رنگین‌کمان

غذای پیش‌پروری FFT2-FFT1						نوع غذا
پروتئین خام (%)	چربی خام (%)	فیبر خام (%)	خاکستر (%)	رطوبت (%)	فسفر (%)	ترکیب شیمیایی
۴۴-۴۰	۱۶-۱۲	۴-۲	۱۱-۷	۱۱-۵	۱-۱/۵	

^۱ Completely Randomized Design^۲ Raceway^۳ Colony Forming Unit

زیست‌سنجی و بررسی پارامترهای رشد و تغذیه: به‌منظور بررسی تأثیر پروبیوتیک مصرفی بر شاخص‌های رشد و تغذیه‌ای ماهیان قزل‌آلای جوان، در پایان دوره ۴۵ روزه پرورش، تمامی ماهیان موجود در هر قفس توری صید شدند. سپس، ماهیان با استفاده از ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر پودر گل میخک (Mehrabi, 1998) بیهوش شدند. وزن ماهیان با استفاده از ترازوی دیجیتال (مدل Kern KB 360-3N) با دقت ۰/۰۱ گرم اندازه‌گیری شد و طول آنها نیز با استفاده از تخته زیست‌سنجی با دقت ۱ میلی‌متر ثبت گردید. همچنین، میزان پروتئین موجود در جیره غذایی و مقادیر پروتئین، چربی و انرژی لاشه برای ارزیابی کارایی استفاده از مواد مغذی اندازه‌گیری شد. شاخص‌های رشد و تغذیه‌ای با استفاده از داده‌های حاصل از زیست‌سنجی و آنالیز ترکیبات غذایی و لاشه، براساس معادلات ارائه‌شده در منابع موجود (Douillet and Langdon, 1994; Helland *et al.*, 1996; Lim *et al.*, 2000; Sotoudeh *et al.*, 2010) محاسبه شدند.

میانگین وزن ابتدای دوره به گرم-میانگین وزن انتهای دوره به گرم = افزایش وزن بدن
 [زمان / (لگاریتم طبیعی میانگین وزن اولیه به گرم - لگاریتم طبیعی میانگین وزن نهایی به گرم)] $\times 100$ = نرخ رشد ویژه
 ((میانگین طول انتهای دوره به سانتی‌متر) / میانگین وزن انتهای دوره به گرم)) $\times 100$ = شاخص وضعیت
 افزایش وزن بدن (گرم) / مقدار غذای خورده شده (گرم) = ضریب تبدیل غذایی
 (مقدار غذای خورده شده به گرم / افزایش وزن بدن به گرم) $\times 100$ = کارایی غذا (درصد)
 مقدار مصرف پروتئین (گرم) / افزایش وزن بدن (گرم) = نسبت کارایی پروتئین (گرم/گرم)
 مقدار چربی خورده شده (گرم) / وزن به‌دست‌آمده (گرم) = نسبت کارایی چربی (گرم/گرم)
 میزان انرژی دریافتی (کیلوژول) / وزن اضافه‌شده (گرم) = نسبت کارایی انرژی (گرم / کیلوژول)
 [(مدت مطالعه) / پروتئین اولیه لاشه $\times$ وزن اولیه) - (پروتئین نهایی لاشه $\times$ وزن نهایی)] = پروتئین ابقاء شده^۱
 [(مدت مطالعه) / چربی اولیه لاشه $\times$ وزن اولیه) - (چربی نهایی لاشه $\times$ وزن نهایی)] = چربی ابقاء شده^۲
 [(مدت مطالعه) / انرژی اولیه لاشه $\times$ وزن اولیه) - (انرژی نهایی لاشه $\times$ وزن نهایی)] =
 = انرژی ابقاء شده^۳
 (چربی خورده شده) $\div$ (چربی ابقا شده) = ارزش تولید چربی^۴
 (پروتئین خورده شده) $\div$ (پروتئین ابقا شده) = ارزش تولید پروتئین^۵
 (انرژی خورده شده) $\div$ (انرژی ابقا شده) = ارزش تولید انرژی^۶

تجزیه و تحلیل داده‌ها: پس از بررسی نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کلموگروف-اسمیرنوف^۷، تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از آزمون تجزیه واریانس یک‌طرفه^۸ انجام شد. برای مقایسه میانگین تیمارها، از آزمون چنددامنه‌ای دانکن^۹ استفاده شد. تمامی تحلیل‌های آماری با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۲ و نرم‌افزار Excel نسخه ۲۰۱۹ در محیط ویندوز انجام شد. در تمامی آزمون‌ها، سطح معنی‌داری $P < 0.05$ در نظر گرفته شد.

¹Protein gain²Lipid gain³Protein gain⁴Lipid productive value⁵Protein productive value⁶Energy productive value⁷Kolmogorov-Smirnov⁸One-way analysis of variance ANOVA⁹Duncan's multiple range test

نتایج

پارامترهای رشد: براساس نتایج ارائه شده در جدول ۲، بیشترین مقدار وزن نهایی در تیمار تحت تأثیر ۱۰۰ میلی گرم پروبیوتیک در هر کیلوگرم جیره (B1) ثبت شد که نسبت به تیمار B2 (۲۰۰ میلی گرم پروبیوتیک) اختلاف معنی‌داری داشت ($P < 0.05$). با این حال، وزن نهایی در تیمار B1 با گروه شاهد و تیمار B3 (۳۰۰ میلی گرم پروبیوتیک) اتلاف آماری معنی‌داری نشان نداد ($P > 0.05$). تیمار B2 کمترین مقدار وزن نهایی را بین تیمارهای آزمایشی داشت. افزایش وزن بدن نیز الگوی مشابهی با وزن نهایی نشان داد. بیشترین افزایش وزن در تیمار B1 ثبت شد که به‌طور معنی‌داری بیشتر از تیمار B2 بود ($P < 0.05$). در مقابل، بین تیمار B1 و B3 و گروه شاهد اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد ($P > 0.05$). سرعت رشد وزنی در بین تیمارهای آزمایشی اختلاف معنی‌داری نشان نداد ($P > 0.05$). بررسی سرعت رشد طولی نشان داد که بیشترین مقدار این شاخص در تیمار B2 ثبت شد. این مقدار نسبت به گروه شاهد و تیمار B3 به‌طور معنی‌داری بیشتر بود ($P < 0.05$), در حالی که با تیمار B1 تفاوت معنی‌داری نداشت ($P > 0.05$). همچنین، بین تیمار B1 و سایر تیمارها نیز اختلاف معنی‌داری وجود نداشت ($P < 0.05$). شاخص وضعیت نیز تحت تأثیر تیمارهای آزمایشی قرار گرفت. بیشترین مقدار این شاخص در تیمار B1 مشاهده شد که با گروه شاهد و تیمار B3 اختلاف معنی‌داری نداشت ($P > 0.05$). کمترین مقدار این شاخص در تیمار B2 ثبت شد که به‌طور معنی‌داری کمتر از سایر تیمارهای آزمایشی و گروه شاهد بود ($P < 0.05$).

جدول ۲- مقایسه شاخص‌های رشد ماهیان جوان قزل‌آلای رنگین‌کمان در تیمارهای تحت تأثیر پروبیوتیک مولتی‌پهسل (انحراف معیار $\pm$ میانگین)

تیمار	شاهد	B1	B2	B3
پارامتر	(فاقد پروبیوتیک)	(۱۰۰ میلی گرم)	(۲۰۰ میلی گرم)	(۳۰۰ میلی گرم)
وزن نهایی (گرم)	۶۴/۳±۹/۰۴ ^{ab}	۶۹/۲±۱۲/۱۰ ^a	۶۳/۷±۷/۹۱ ^b	۶۶/۲±۱۱/۶۱ ^{ab}
افزایش وزن بدن (گرم)	۴۶/۳±۹/۰۴ ^{ab}	۵۱/۳±۱۲/۱۰ ^a	۴۵/۷±۷/۹۱ ^b	۴۸/۲±۱۱/۶۱ ^{ab}
سرعت رشد وزنی (درصد)	۲/۷۹±۰/۲۴ ^a	۲/۸۹±۰/۳۳ ^a	۲/۷۸±۰/۲۲ ^a	۲/۸۲±۰/۳۱ ^a
سرعت رشد طولی (درصد)	۱/۱۶±۰/۱۳ ^b	۱/۱۸±۰/۱۶ ^{ab}	۱/۲۳±۰/۱۵ ^a	۱/۱۶±۰/۱۴ ^b
شاخص وضعیت (%)	۱/۱۶±۰/۱۱ ^a	۱/۲۲±۰/۱۹ ^a	۱/۰۵±۰/۱۵ ^b	۱/۱۹±۰/۱۱ ^a

*حروف غیرهمنام در هر ردیف نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌ها می‌باشد ($P < 0.05$).

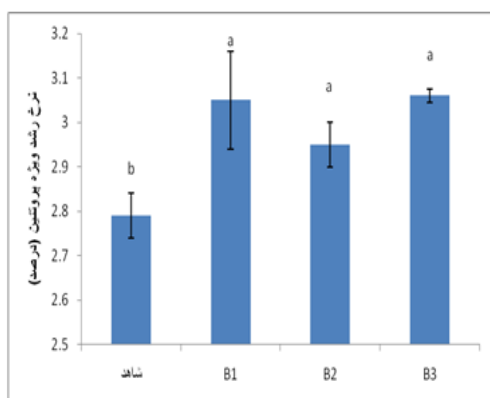
فاکتورهای تغذیه‌ای: بررسی شاخص‌های تغذیه‌ای در جدول ۳ نشان داد که ضریب تبدیل غذایی بین تیمارهای آزمایشی و گروه شاهد اختلاف معنی‌داری نداشت ($P > 0.05$). غذای نسبی خورده‌شده نیز فاقد هرگونه اختلاف آماری معنی‌دار بین تیمارهای آزمایشی و گروه شاهد بود ($P > 0.05$). بالاترین نرخ کارایی غذا در تیمار B1 (۱۰۰ میلی گرم پروبیوتیک در هر کیلوگرم جیره) مشاهده شد که تنها با تیمار B2 (۲۰۰ میلی گرم پروبیوتیک در هر کیلوگرم جیره) اختلاف معنی‌دار داشت ($P < 0.05$). در مقابل، بین تیمار B1 و B3 و گروه شاهد اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد ($P > 0.05$). تیمار B2 با گروه شاهد و تیمار B3 نیز فاقد هرگونه اختلاف آماری معنی‌داری بود ($P > 0.05$).

جدول ۳- مقایسه شاخص‌های تغذیه ماهیان جوان قزل‌آلای رنگین‌کمان در تیمارهای تحت تأثیر پروبیوتیک مولتی‌پهسل (انحراف معیار $\pm$ میانگین)

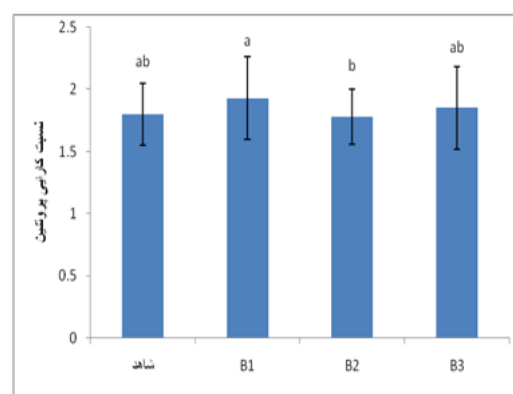
تیمار	گروه شاهد	B1	B2	B3
شاخص	(فاقد پروبیوتیک)	(۱۰۰ میلی گرم)	(۲۰۰ میلی گرم)	(۳۰۰ میلی گرم)
ضریب تبدیل غذایی	۱/۲۵±۰/۱۷ ^a	۱/۱۸±۰/۲۴ ^a	۱/۲۶±۰/۱۶ ^a	۱/۲۳±۰/۲۳ ^a
نرخ کارایی غذا (درصد)	۸۱/۰۹±۱۱/۳۹ ^{ab}	۸۷/۱۹±۱۵/۲۴ ^a	۸۰/۳۰±۹/۹۷ ^b	۸۳/۳۸±۱۴/۶۲ ^{ab}
غذای نسبی خورده شده (درصد)	۷/۹۰±۱/۸۷ ^a	۷/۴۰±۲/۳۷ ^a	۷/۹۵±۱/۴۶ ^a	۷/۷۹±۲/۲۱ ^a

*حروف غیرهمنام در هر ردیف نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌ها می‌باشد ($P < 0.05$).

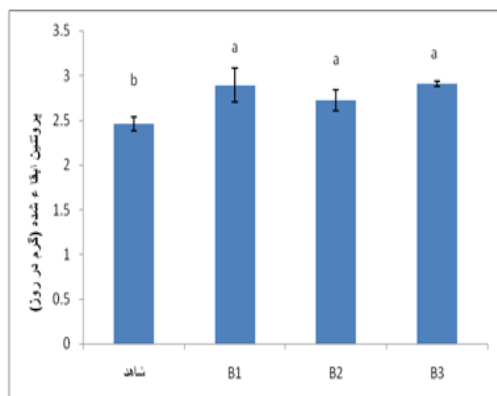
نتایج بررسی شاخص‌های ارزیابی پروتئین (شکل‌های ۱ تا ۴) نشان داد که نسبت کارایی پروتئین تحت تأثیر تیمارهای آزمایشی قرار گرفت. بیشترین مقدار این شاخص در تیمار B1 ثبت شد که تنها نسبت به تیمار B2 دارای اختلاف آماری معنی‌داری بود ($P < 0.05$). در حالی‌که، بین تیمارهای B1، B3 و گروه شاهد و همچنین تیمارهای B2، B3 و گروه شاهد اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد ($P > 0.05$). نرخ رشد ویژه پروتئین و پروتئین ابقاء‌شده در تمامی تیمارهای دریافت‌کننده پروبیوتیک به‌طور معنی‌داری بیشتر از گروه شاهد بود ($P < 0.05$)، در حالی‌که بین تیمارهای حاوی پروبیوتیک اختلاف معنی‌داری وجود نداشت ($P > 0.05$). ارزش تولید پروتئین نیز در تیمارهای دریافت‌کننده پروبیوتیک نسبت به گروه شاهد افزایش معنی‌داری نشان داد ($P < 0.05$). همچنین، مقدار این شاخص در تیمار B2 به‌طور معنی‌داری کمتر از تیمارهای B1 و B3 بود ($P < 0.05$).



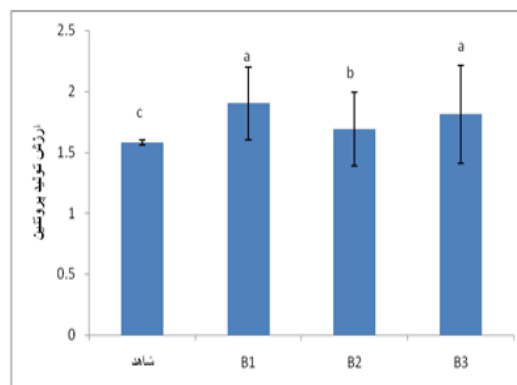
شکل ۲- نرخ رشد ویژه پروتئین (درصد) ماهیان جوان قزل‌آلای رنگین‌کمان در تیمارهای تحت تأثیر پروبیوتیک (انحراف معیار $\pm$ میانگین)



شکل ۱- نسبت کارایی پروتئین در ماهیان جوان قزل‌آلای رنگین‌کمان در تیمارهای تحت تأثیر پروبیوتیک (انحراف معیار $\pm$ میانگین)



شکل ۴- پروتئین ابقاء‌شده (g/day) در ماهیان جوان قزل‌آلای رنگین‌کمان در تیمارهای تحت تأثیر پروبیوتیک (انحراف معیار $\pm$ میانگین)



شکل ۳- ارزش تولید پروتئین در ماهیان جوان قزل‌آلای رنگین‌کمان در تیمارهای تحت تأثیر پروبیوتیک (انحراف معیار $\pm$ میانگین)

نتایج بررسی شاخص‌های ارزیابی چربی بدن (جدول ۳) نشان داد که نسبت کارایی چربی تحت تأثیر تیمارهای آزمایشی قرار گرفت. بیشترین مقدار این شاخص در تیمار B1 مشاهده شد که تنها با تیمار B2 اختلاف معنی‌داری داشت ($P < 0.05$). با این حال، بین تیمار B1 و تیمارهای B3 و گروه شاهد و همچنین بین تیمارهای B2، B3 و گروه شاهد اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد ($P > 0.05$). نرخ رشد ویژه چربی و ارزش تولید چربی در تمامی تیمارهای دریافت‌کننده پروبیوتیک به‌طور معنی‌داری بیشتر از گروه شاهد بود ($P < 0.05$)، در حالی‌که بین تیمارهای دریافت‌کننده پروبیوتیک اختلاف معنی‌داری وجود نداشت ($P > 0.05$). چربی ابقاء‌شده نیز بین تیمارهای دریافت‌کننده پروبیوتیک و گروه شاهد اختلاف معنی‌داری نشان نداد ($P > 0.05$).

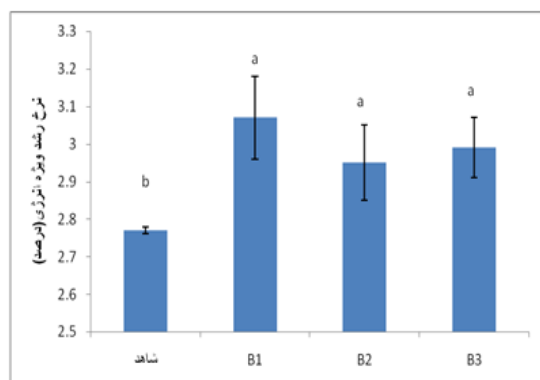
مقایسه تیمارهای مختلف از نظر نسبت کارایی انرژی (شکل ۵) بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار بین برخی تیمارهای آزمایشی بود ($P < 0.05$). در این شاخص، تیمار B1 بالاترین مقدار را به خود اختصاص داد و تنها با تیمار B2 اختلاف آماری معنی‌داری

داشت ($P < 0.05$). در مقابل، اختلاف مشاهده‌شده بین تیمارهای B3، B1 و گروه شاهد و همچنین بین تیمارهای B2 و B3 و گروه شاهد از نظر آماری معنی‌دار نبود ($P > 0.05$). نرخ رشد ویژه انرژی (شکل ۶) و ارزش تولید انرژی (شکل ۷) نیز در تمامی تیمارهای دریافت‌کننده پروبیوتیک نسبت به گروه شاهد افزایش معنی‌داری نشان داد ($P < 0.05$). درحالی‌که، بین تیمارهای دریافت‌کننده پروبیوتیک اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد ($P > 0.05$). انرژی ابقاء شده نیز فاقد هرگونه اختلاف آماری معنی‌دار بین تیمارهای دریافت‌کننده پروبیوتیک و گروه شاهد بود ($P > 0.05$). نشان داد که تیمارهای آزمایشی اختلاف معنی‌داری با یکدیگر داشتند ($P < 0.05$). بیشترین مقدار این شاخص در تیمار B1 مشاهده شد، در حالی‌که گروه شاهد کمترین مقدار را داشت. تیمار B2 در سطح حد واسط قرار گرفت و تیمار B3 نیز با تیمار B1 اختلاف معنی‌داری نشان نداد.

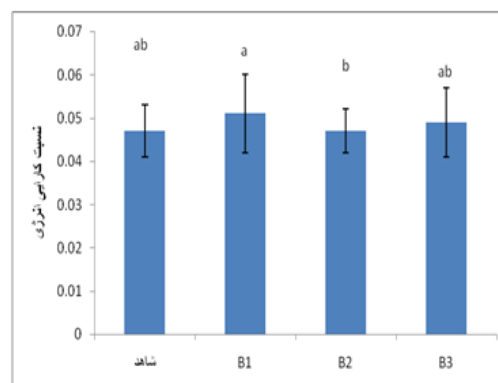
جدول ۳- شاخص‌های ارزیابی چربی بدن ماهیان جوان قزل‌آلای رنگین‌کمان در تیمارهای تحت تأثیر پروبیوتیک مولتی‌بهسیل (انحراف معیار $\pm$ میانگین)

شاخص	تیمار	گروه شاهد (فاقد پروبیوتیک)	B1 (۱۰۰ میلی‌گرم)	B2 (۲۰۰ میلی‌گرم)	B3 (۳۰۰ میلی‌گرم)
نسبت کارایی چربی		7.50 ± 1.05^{ab}	8.07 ± 1.41^a	7.43 ± 0.92^b	7.72 ± 1.35^{ab}
نرخ رشد ویژه چربی (درصد)		2.79 ± 0.23^b	3.08 ± 0.07^a	2.90 ± 0.05^a	3.01 ± 0.03^a
ارزش تولید چربی		0.144 ± 0.006^c	0.165 ± 0.008^a	0.156 ± 0.007^{ab}	0.159 ± 0.006^a
چربی ابقا شده (g/day)		0.073 ± 0.004^a	0.084 ± 0.005^a	0.074 ± 0.001^a	0.080 ± 0.010^a

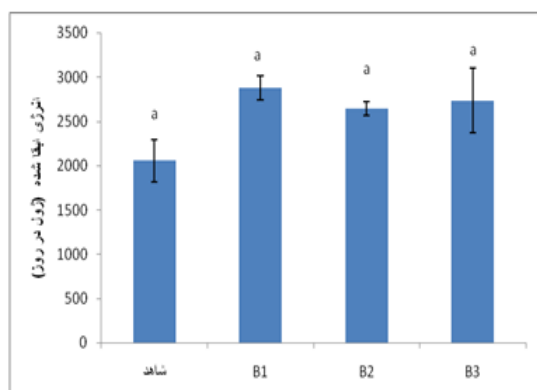
*حروف غیرهمان در هر ردیف نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌ها می‌باشد ($P < 0.05$).



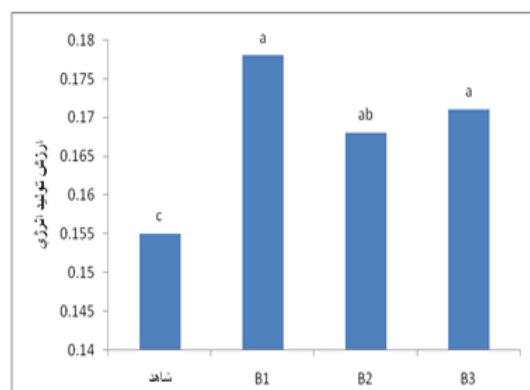
شکل ۶- نرخ رشد ویژه انرژی (درصد) ماهیان جوان قزل‌آلای رنگین‌کمان در تیمارهای تحت تأثیر پروبیوتیک (انحراف معیار $\pm$ میانگین)



شکل ۵- نسبت کارایی انرژی در ماهیان جوان قزل‌آلای رنگین‌کمان در تیمارهای تحت تأثیر پروبیوتیک (انحراف معیار $\pm$ میانگین)



شکل ۸- انرژی ابقا شده (درصد) ماهیان جوان قزل‌آلای رنگین‌کمان در تیمارهای تحت تأثیر پروبیوتیک (انحراف معیار $\pm$ میانگین)



شکل ۷- ارزش تولید انرژی در ماهیان جوان قزل‌آلای رنگین‌کمان در تیمارهای تحت تأثیر پروبیوتیک (انحراف معیار $\pm$ میانگین)

بحث و نتیجه‌گیری

اساس عملکرد پروبیوتیک‌ها در آبزیان، استفاده از توانایی میکروارگانیسم‌های مفید در بهبود فرآیندهای هضمی و افزایش دسترسی میزبان به مواد مغذی است. این میکروارگانیسم‌ها با تولید آنزیم‌های خارج سلولی قادر به تجزیه ترکیبات پیچیده خوراک شامل کربوهیدرات‌ها، پروتئین‌ها و چربی‌ها هستند و از این طریق می‌توانند قابلیت هضم و استفاده از مواد مغذی را افزایش دهند (Andriani and Pratama, 2022). علاوه بر این، پروبیوتیک‌ها، به‌ویژه سویه‌های متعلق به جنس‌های *Lactobacillus* و *Bacillus*، می‌توانند از طریق رقابت برای جایگاه‌های اتصال، تولید ترکیبات ضد میکروبی مانند باکتریوسین‌ها و ایجاد شرایط نامساعد برای رشد میکروارگانیسم‌های فرصت‌طلب، تعادل میکروبی دستگاه گوارش را بهبود بخشند. این تغییرات در اکوسیستم میکروبی روده می‌تواند به افزایش کارایی هضم، جذب مواد مغذی و در نهایت بهبود عملکرد رشد منجر شود (Mohammed et al., 2025). مطالعات مختلف نیز نشان داده‌اند که استفاده از سویه‌های پروبیوتیکی مانند *Lactobacillus plantarum* و *Bacillus subtilis* می‌تواند با بهبود فعالیت آنزیم‌های گوارشی و تعدیل میکروبیوتای روده، عملکرد رشد گونه‌های مختلف ماهی را افزایش دهد (Xia et al., 2020; Xia et al., 2024). همچنین، افزایش فعالیت آنزیم‌های گوارشی ناشی از مصرف پروبیوتیک‌ها، موجب تجزیه بهتر ترکیبات غذایی و افزایش دسترسی مواد مغذی برای ماهی می‌شود (Ziaei-Nejad et al., 2006; Wang, 2007; Zuo et al., 2019).

در مطالعه حاضر، پاسخ متفاوت ماهیان به سطوح مختلف پروبیوتیک مولتی‌بهسیل نشان داد که اثرات پروبیوتیک وابسته به مقدار مصرفی است. عملکرد بهتر سطح پایین‌تر پروبیوتیک در مقایسه با سطوح بالاتر می‌تواند نشان‌دهنده اهمیت تعادل بین میزان افزودنی پروبیوتیکی و شرایط اکولوژیک دستگاه گوارش باشد. تراکم بالای میکروارگانیسم‌های افزوده‌شده ممکن است همیشه موجب افزایش اثرات سودمند نشود، زیرا تعامل میان میکروارگانیسم‌های پروبیوتیکی و فلور بومی روده نقش تعیین‌کننده‌ای در پاسخ نهایی میزبان دارد (Bairagi et al., 2002). علاوه بر این، بهبود کارایی استفاده از مواد مغذی در ماهیان دریافت‌کننده پروبیوتیک را می‌توان به توانایی برخی میکروارگانیسم‌های پروبیوتیکی در تولید آنزیم‌های خارج سلولی مرتبط دانست. گونه‌های متعلق به جنس *Bacillus* از جمله *B. subtilis* و *B. licheniformis* دارای توانایی تولید آنزیم‌هایی مانند پروتئاز، لیپاز و آمیلاز هستند که می‌توانند تجزیه ترکیبات غذایی را تسهیل کرده و دسترسی ماهی به مواد مغذی را افزایش دهند (Andriani and Pratama, 2022). همچنین، وجود باکتری‌های تولیدکننده آنزیم‌های هیدرولیتیک در دستگاه گوارش ماهیان می‌تواند نقش مهمی در تجزیه پروتئین‌ها و چربی‌های جیره داشته باشد. در همین ارتباط، Bairagi و همکاران (۲۰۰۲) وجود جمعیت‌های باکتریایی تولیدکننده آنزیم‌های پروتئولیتیک، لیپولیتیک و آمیلولیتیک را در دستگاه گوارش ماهیان آب شیرین گزارش کردند که نشان‌دهنده نقش بالقوه میکروفلورهای مفید در فرآیند هضم است. همچنین، Yanbo و Zirong (۲۰۰۶) نشان دادند که استفاده از پروبیوتیک‌های حاوی باکتری‌های مفید در جیره کپور معمولی (*Cyprinus carpio*) موجب بهبود فعالیت آنزیم‌های گوارشی و افزایش کارایی تغذیه‌ای شد.

بهبود عملکردهای رشد در سطوح پایین مورد استفاده می‌تواند ناشی از افزایش کارایی مواد مغذی باشد که این بهبود کارایی غذایی خود به‌علت تأثیر تخمیری آنزیم‌های باکتریایی استفاده‌شده می‌باشد. (Andriani and Pratama, 2022). مطالعات مختلف نیز اثر مثبت پروبیوتیک‌ها بر استفاده از مواد مغذی در آبزیان را گزارش کرده‌اند. به‌عنوان مثال، بررسی اثرگذاری پروبیوتیک مولتی‌بهسیل در جیره غذایی لاروهای ماهی آمور (*Ctenophryngodon idella*) بر نشان داد که مصرف این پروبیوتیک تجاری می‌تواند با بهبود کارایی استفاده از پروتئین و چربی جیره، موجب کاهش دفع آمونیاک و اوره و کاهش انرژی اتلافی از مسیر متابولیسم نیتروژن شود. این یافته‌ها نشان می‌دهد که مولتی‌بهسیل می‌تواند از طریق افزایش بهره‌وری مواد مغذی، نقش مثبتی در بهبود عملکرد تغذیه‌ای آبزیان داشته باشد (Jafaryan et al., 2019). استفاده از پروبیوتیک مولتی‌بهسیل در جیره بچه‌ماهیان قزل‌آلای رنگین‌کمان نیز نتایج مشابه به‌همراه داشت. به‌طوری‌که استفاده سطوح پایین مولتی‌بهسیل (۲۰۰ و ۴۰۰ میلی‌گرم در هر کیلوگرم) باعث بهبود معنی‌دار عملکرد رشد و تغذیه شد، اما شدت پاسخ به سطوح مختلف مصرف پروبیوتیک متفاوت بود.

(Nasiripour et al., 2018). بررسی اثر پروبیوتیک‌های تجاری مختلف بر بچه‌ماهی کپور معمولی نیز نشان داد که، استفاده از مولتی‌پهسیل بهترین عملکرد را روی شاخص‌های رشد، تغذیه داشت. طبق گزارش محققین افزایش سطح پروبیوتیک فراتر از مقادیر بهینه الزاماً موجب بهبود عملکرد رشد نمی‌شود و سطوح پایین‌تر مصرفی پاسخ مطلوب‌تری ایجاد می‌کند (Ghabtani et al., 2024). Sahandi و همکاران (۲۰۱۲) نیز در مطالعه‌ای از عصاره مخمر *Saccharomyces cerevisiae* جهت تغذیه لارو کپور معمولی استفاده کرد. نتایج به‌دست آمده نشان داد کمترین غلظت مصرفی باعث بیشترین رشد در لاروهای کپور معمولی شده بود. همچنین Avella و همکاران (۲۰۱۰) نیز نشان دادند که استفاده ترکیبی از سه گونه از باسیلوس‌های مختلف (*B. subtilis*, *B. pumilus* و *Licheniformis*) از طریق تغذیه روتیفر و ناپلی آرتما و همچنین اضافه کردن آنها به آب محیط پرورش به‌طور قابل توجهی می‌توانند بر سرعت رشد و وزن بدن در مرحله لاروی و نوجوانی ماهی سیم (*Sparus auratus*) تأثیر گذارد، در مطالعه آنها زیست‌یارها باعث ارتقا عملکرد رشد در ماهی سیم دریایی شده و وزن نهایی از ۶۸/۲۷ گرم در تیمار شاهد به ۸۶/۸۷ گرم در تیمارهای آزمایشی شد. همچنین، Jafarian (۲۰۰۶) گزارش کرد که استفاده از باسیلوس‌های پروبیوتیکی در تغذیه لارو تاس‌ماهی ایرانی (*Acipenser persicus*) باعث بهبود کارایی تبدیل غذا و نسبت‌های کارایی پروتئین و چربی شد. این یافته‌ها نشان می‌دهد که باکتری‌های پروبیوتیکی، به‌ویژه سویه‌های باسیلوس، می‌توانند از طریق بهبود فرآیند هضم و استفاده از مواد مغذی، عملکرد تغذیه‌ای گونه‌های مختلف آبزی را ارتقا دهند. این نتایج همراه با یافته‌های مطالعه حاضر نشان می‌دهد که پاسخ ماهیان به پروبیوتیک‌ها وابسته به سطح مصرف بوده و انتخاب دوز بهینه، یکی از عوامل تعیین‌کننده در بهره‌مندی از حداکثر ظرفیت سودمند این افزودنی‌های زیستی در آبی‌پروری است.

بهبود شاخص‌های مرتبط با پروتئین، چربی و انرژی در ماهیان دریافت‌کننده پروبیوتیک می‌تواند ناشی از افزایش کارایی استفاده از مواد مغذی باشد. پروبیوتیک‌ها، به‌ویژه سویه‌های متعلق به جنس‌های *Bacillus* و باکتری‌های اسیدلاکتیک، قادرند از طریق تولید آنزیم‌های خارج سلولی مانند پروتئاز، لیپاز و آمیلاز و همچنین تعدیل محیط میکروبی دستگاه گوارش، قابلیت هضم و جذب ترکیبات غذایی را افزایش دهند (Amenyogbe et al., 2024; Fachri et al., 2024). افزایش دسترسی به مواد مغذی می‌تواند شرایط مناسب‌تری برای تخصیص پروتئین جذب‌شده به رشد بافتی فراهم کند و احتمال مصرف پروتئین به‌عنوان منبع انرژی را کاهش دهد. همچنین، با توجه به نقش مهم چربی‌ها در تأمین انرژی متابولیکی ماهیان، بهبود استفاده از لیپیدهای جیره می‌تواند موجب افزایش انرژی قابل دسترس برای رشد و بهبود شاخص‌های بهره‌وری انرژی شود. این فرآیندها ممکن است از طریق اثرگذاری میکروبیوتای روده بر هضم، جذب و متابولیسم لیپیدها نیز تقویت شوند (Wu et al., 2024). با این حال، تأیید دقیق این سازوکارها نیازمند بررسی فعالیت آنزیم‌های گوارشی، تغییرات میکروبیوتای روده و مسیرهای متابولیکی مرتبط است. بهبود شاخص‌های مرتبط با متابولیسم چربی و انرژی در پاسخ به مصرف پروبیوتیک می‌تواند نشان‌دهنده افزایش کارایی استفاده از منابع انرژی جیره باشد. افزایش کارایی چربی مسلماً موجب افزایش کارایی انرژی خواهد شد چرا که انرژی موجود در چربی نسبت به انرژی موجود در پروتئین بیشتر است. این افزایش در نسبت‌های کارایی پروتئین، چربی و انرژی از جیره‌های غذایی توسط بچه‌ماهیان قزل‌آلای رنگین‌کمان را می‌توان به پروبیوتیک‌های باسیلی سوبتلیس و لینچی فورمیس نسبت داد، چرا که توانایی گونه‌های باسیلوس در تولید آنزیم‌های خارج سلولی می‌تواند از طریق افزایش قابلیت هضم ترکیبات غذایی، زمینه استفاده مؤثرتر از پروتئین و چربی جیره را فراهم کند (Bairagi et al., 2002). این نتایج نشان می‌دهد تیمارهای که دارای کارایی پروتئین بالاتر و ضریب تبدیل غذایی پایین‌تری بودند میزان رشد بچه‌ماهیان نیز در آنها بیشتر بود. با در نظر گرفتن این نکته که جیره‌های غذایی در تمامی تیمارها دارای پروتئین یکسان بوده‌اند، می‌توان استفاده از پروبیوتیک مولتی‌پهسیل را عامل اصلی این رویکرد مثبت در رشد دانست که در نهایت به کاهش هزینه‌های مربوط به پرورش منجر می‌شود. افزایش ابقای پروتئین، چربی و انرژی مستلزم افزایش جذب آنها از طریق جیره غذایی است. افزایش میزان پروتئین، چربی و انرژی ابقاء شده در تیمار تحت تأثیر ۱۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم پروبیوتیک را می‌توان ناشی از افزایش معنی‌دار نرخ بهره‌وری (کارایی) پروتئین، چربی و انرژی مصرفی در این تیمار آزمایشی در مقایسه با سایر تیمارها و گروه شاهد نسبت داد. این بهبود افزایش ابقای پروتئین، چربی و انرژی تحت تأثیر فلورمیکروبی دستگاه

گوارش و تأثیر آن بر عملکرد سوخت‌وساز است (Yanbo and Zirong 2006). به‌طور کلی، افزایش ابقای چربی می‌تواند نشان‌دهنده تغییر در الگوی استفاده از انرژی و ذخیره‌سازی ترکیبات بدن باشد، اگرچه بررسی دقیق این فرآیند نیازمند ارزیابی مسیرهای متابولیکی و ترکیب شیمیایی بافت‌ها است. در تأیید این نتایج Noveirian و Nasrollahzadeh (۲۰۱۲) با استفاده از زیست‌یار بیوژن در جیره غذایی بچه‌ماهیان کپور معمولی (*Cyprinus carpio*) شاهد بهبود عملکردها رشد و تغذیه در تیمارهای حاوی پروبیوتیک در مقایسه با تیمار شاهد بودند. به‌طوری‌که این محققین موفق به افزایش کارایی پروتئین از 0.47 ± 0.07 گرم در تیمار شاهد به 0.97 ± 0.26 گرم در تیمار تغذیه‌شده با بیشترین غلظت بیوژن مصرفی شدند که با نتایج تحقیق حاضر مطابقت داشت. همچنین Jafarian (۲۰۰۶) نیز در مطالعه خود با بررسی تأثیر استفاده از ناپلی‌های آرتمیا اورمیا (*Artemia urmiana*) غنی‌شده توسط باسیلوس‌های زیست‌یار در جیره غذایی لاروهای تاس ماهی ایرانی (*Acipenser persicus*)، کارایی تبدیل غذا را از $31/99$ به $43/96$ درصد و نسبت کارایی پروتئین از $5/16$ به $7/03$ و نسبت کارایی چربی نیز از $13/73$ به سطحی معادل $18/84$ افزایش یافت. همچنین در تحقیق دیگری Moradi و همکاران (۲۰۱۷) نشان دادند که آرد دافنی غنی‌شده با باسیلوس‌های زیست‌یار در لاروهای ماهی قزل‌آلا تأثیر بسیار بالایی بر کارایی تغذیه و رشد این ماهی داشت به‌صورتی که نسبت کارایی پروتئین از $1/63$ در تیمار شاهد به $1/96$ در تیمارهای آزمایشی و نسبت کارایی چربی از $2/74$ در تیمار شاهد به $3/30$ در تیمارهای آزمایشی ارتقا یافتند. با توجه به اینکه پروبیوتیک مولتی‌بهسیل شامل مجموعه‌ای از باکتری‌های اسیدلاکتیک، گونه‌های *Bacillus* مخمر *S. cerevisiae* و سایر میکروارگانیسم‌های مفید است، اثرات مشاهده‌شده می‌تواند حاصل عملکرد ترکیبی این میکروارگانیسم‌ها باشد. با این حال، تعیین نقش دقیق هر یک از سویه‌های موجود در این محصول نیازمند بررسی‌های اختصاصی‌تر است. در مجموع، یافته‌های این پژوهش نشان داد که پروبیوتیک مولتی‌بهسیل پتانسیل بهبود برخی شاخص‌های مرتبط با رشد و استفاده از مواد مغذی در ماهیان قزل‌آلا رنگین‌کمان جوان را دارد، هر چند که تعیین دقیق سازوکار اثرگذاری آن نیازمند بررسی‌های تکمیلی در سطح میکروبیوم روده، فعالیت آنزیم‌های گوارشی و پاسخ‌های فیزیولوژیک است.

ملاحظات اخلاقی

حامی مالی

مقاله حاضر با حمایت مالی و معنوی معاونت پژوهشی دانشکده منابع طبیعی دانشگاه گنبدکاووس انجام شد.

نویسندگان اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این پژوهش علمی رعایت نموده‌اند و این موضوع مورد تأیید آنهاست.

بیانیه دسترسی به داده‌ها

داده‌های پژوهش حاضر از طریق درخواست از نویسندگان قابل دسترسی است.

References

- Amenyogbe E., Chen G., Wang Z., Huang J., Huang B., Li H. 2020. The exploitation of probiotics, prebiotics and synbiotics in aquaculture: Present study, limitations and future directions: A review. *Aquaculture International* 28(3), 1017-1041.
- Andriani Y., Pratama R.I. 2022. Probiotic application in fermentation of fish feed materials: A review. *IJOTA (Indonesian Journal of Tropical Aquatic)* 5(2), 88-95.
- Ariyanto Y.S., Anika M. 2024. Probiotics on commercial fish growth: A meta-analysis. *Journal Sumberdaya Hayati* 10, 205-216.
- Avella M.A., Gioacchini G., Decamp O., Makridis P., Bracciatelli C., Carnevali O. 2010. Application of multi-species of bacillus in sea bream larviculture. *Aquaculture* 305, 12-19.

- Bai S.C., Hamidoghli A., Bae J. 2022.** Feed additives: An overview. In: Feed and Feeding Practices in Aquaculture. Woodhead Publishing, Cambridge, UK, pp. 195-229.
- Bairagi A., Ghosh K.S., Sen S.K., Ray A.K. 2002.** Enzyme producing bacterial flora isolated from fish digestive tracts. *Aquaculture International* 10(2), 109-121.
- Boyd C.E., D'Abramo L.R., Glencross B.D., Huyben D.C., Juarez L.M., Lockwood G.S., Valenti W.C. 2020.** Achieving sustainable aquaculture: Historical and current perspectives and future needs and challenges. *Journal of the World Aquaculture Society* 51, 578-633.
- Chandran M.N., Suganya A.M., Immanuel G., Palavesam A. 2017.** Immunomodulatory and growth-promoting potential of low-cost probiotic product in *Penaeus monodon* culture system. *Croatian Journal of Fisheries* 75(2), 58-66.
- Douillet P.A., Langdon C.J. 1994.** Use of a probiotic for the culture of larvae of the pacific Oyster *Crassostrea gigas* (Thunberg). *Aquaculture* 119, 25-40.
- Duan Y., Zhang J., Huang J., Jiang S. 2019.** Effects of dietary *Clostridium butyricum* on the growth, digestive enzyme activity, antioxidant capacity, and resistance to nitrite stress of *Penaeus monodon*. *Probiotics and Antimicrobial Proteins* 11(3), 938-945.
- Encarnação P. 2016.** Functional feed additives in aquaculture feeds. In: Aquafeed Formulation. Academic Press, Cambridge, MA, USA, pp. 217-237.
- Fachri M., Amoah K., Huang Y., Cai J., Alfatat A., Ndandala C.B., Chen H. 2024.** Probiotics and paraprobiotics in aquaculture: A sustainable strategy for enhancing fish growth, health and disease prevention—A review. *Frontiers in Marine Science* 11, 1499228.
- FAO. 2024.** The state of world fisheries and aquaculture 2024: Blue transformation in action. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.
- Ghabtani A., Mousavi S.M., Rezaie A., Zakeri M., Zamani I. 2024.** Comparative effects of three commercial probiotics (Bio-Aqua®, Bio-Aqua Pond®, and Multibehsil 100) on growth, nutritional parameters, and biochemical composition of common carp (*Cyprinus carpio*). *Journal of Marine Science and Technology* 23(1), 28-40. (In Persian)
- Ghosh K., Sen S.K., Ray A.K. 2003.** Supplementation of an isolated fish gut bacterium, *Bacillus circulans*, in Formulated diets for Rohu, *Labeo rohita*, Fingerlings. *The Israeli Journal of Aquaculture-Bamidgeh* 55, 13-21.
- Helland S.J., Grisdale B., Nerland S. 1996.** A simple method for the measurement of daily feed intake of groups of fish in tanks. *Aquaculture* 139, 157-163.
- Jafaryan H. 2006.** The effect of *Bacillus* bacteria as probiotics on growth, survival and activity of digestive enzymes in larvae of Persian sturgeon (*Acipenser persicus*) during larval rearing by enrichment with *Artemia urmiana*. PhD thesis, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. Gorgan. (In Persian)
- Jafaryan S., Ghasemzadeh J., Jafarian H. 2019.** Effect of probiotic (Moltibehsil) and prebiotic (Behsam) on feed performances, energy losses and ammonia and urea excretions in grass carp, *Ctenopharyngodon idella* larvae. *Aquatic Animals Nutrition* 4(2), 1-15. (In Persian)
- Kolanchinathan P., Kumari P.R., Raja K., John G., Balasundaram A. 2022.** Analysis of feed composition and growth parameters of *Penaeus monodon* supplemented with two probiotic species and formulated diet. *Aquaculture* 549, 737740.
- Lim C., Klesius P.H., Li M.H., Robinson E.H. 2000.** Interaction between dietary levels of iron and vitamin C on growth, haematology, immune response and resistance of channel catfish (*Ictalurus punctatus*) to *Edwardsiella ictaluri* challenge. *Aquaculture* 185, 313-327.
- Mehrabi M. 1998.** A preliminary study on the anesthetic effect of cloweflower powder in rainbow trout. *Veterinary Research & Biological Products* 11, 60-163. (In Persian)
- Moradi P., Jafaryan H., Soltani M., Gholipour Kanani H., Sahandi J. 2017.** Effect of fermented *Daphnia* meal with *Bacillus* probiotic in-feed of Rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) larvae on

- growth performance and carcass composition. *Fisheries Science and Technology* 6 و 89-100. (In Persian)
- Muhammad Z., Ramzan R., Zhang R., Zhang M. 2021.** Resistant starch-based edible coating composites for spray-dried microencapsulation of *Lactobacillus acidophilus*, comparative assessment of thermal protection, in vitro digestion and physicochemical characteristics. *Coatings* 11(5), 587.
- Muneeb M., Alawam A.S., Batool S., Saif N., Arif A., Fatima A., Alagawany M. 2026.** Nutritional and functional feed additives in fishes: A comprehensive review. *Aquaculture Reports* 48, 103615.
- Nasiripour S., Jafaryan H., Harsij M., Gholipour Knanni H. 2018.** The effect of commercial Multi-Behsil probiotic on growth performance, feeding efficiency and carcass quality of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) juvenile. *Journal of Aquaculture Sciences* 6(1), 42-52. (In Persian)
- NavinChandran M., Iyapparaj P., Moovendhan S., Ramasubburayan R., Prakash S., Immanuel G., Palavesam A. 2014.** Influence of probiotic bacterium *Bacillus cereus* isolated from the gut of wild shrimp *Penaeus monodon* in turn as a potent growth promoter and immune enhancer in *Penaeus monodon*. *Fish & Shellfish Immunology* 36(1), 38-45.
- Nikiforov-Nikishin A., Nikiforov-Nikishin D., Kochetkov N., Smorodinskaya S., Klimov V. 2022.** The influence of probiotics of different microbiological composition on histology of the gastrointestinal tract of juvenile *Oncorhynchus mykiss*. *Microscopy Research and Technique* 85(2), 538-547.
- Noveirian H.A., Nasrollahzadeh A. 2012.** The effects of different levels of biogen probiotic additives on growth indices and body composition of juvenile common carp (*Cyprinus carpio* L.). *Caspian Journal of Environmental Science* 10(1), 115-121.
- Okon E., Iyobhebhe M., Olatunji P., Adeleke M., Matekwe N., Okocha R. 2025.** Feed additives in aquaculture: Benefits, risks, and the need for robust regulatory frameworks. *Fishes* 10(9), 471.
- Onomu A.J., Okuthe G.E. 2024.** The role of functional feed additives in enhancing aquaculture sustainability. *Fishes* 9(5), 167.
- Pan M.V., Ferriols V.M.E.N., Traifalgar R.F.M. 2024.** Synergistic influence of hydrolyzed squid processing by-products and *Bacillus* probiotics as dietary supplements on growth performance, immunological responses, and gut health of juvenile black tiger shrimp fed fishmeal-free diets. *Aquaculture International* 32(4), 4551-4580.
- Pattukumar V., Kanmani P., Satish Kumar R., Yuvaraj N., Paari A., Arul V. 2014.** Enhancement of innate immune system, survival and yield in *Penaeus monodon* reared in ponds using *Streptococcus phocae* PI 80. *Aquaculture Nutrition* 20(5), 505-513.
- Rosle S., Rahim M.S.M., Agustono A., Hassin N.H. 2024.** Alternative feeds for sustainable aquaculture: A comprehensive structured review. *Journal of Science, Technology and Innovation Policy* 10(2), 1-11.
- Sahandi J., Tadiri Ch., Jafaryan H., Bagheri Dorbadam J. 2012.** Inhibition ability of probiotic, *Saccharomyces cerevisiae* and *Bacillus* spore blend, against *Ichthyophthirius multifiliis* and study of its effect on growth of Guppy (*Poecilia reticulata*) ornamental fish larvae, First International Larviculture Conference in Iran. pp. 619-625 Karaj- Iran.
- Sekar A., Packyam M., Kim K. 2016.** Growth enhancement of shrimp and reduction of shrimp infection by *Vibrio parahaemolyticus* and white spot syndrome virus with dietary administration of *Bacillus* sp. Mk22. *Biotechnology Letters* 44(3), 261-267.
- Shehata A.I., Soliman A.A., Ahmed H.A., Gewaily M.S., Amer A.A., Shukry M., Abdel-Latif H.M. 2024.** Evaluation of different probiotics on growth, body composition, antioxidant capacity, and histoarchitecture of *Mugil capito*. *Scientific Reports* 14(1), 7379.

- Sotoudeh E., Abedian Kenari A., Habibi Rezaei M. 2010.** Growth response, body composition and fatty acid profile of Caspian brown trout (*Salmo trutta Caspius*) juvenile fed diets containing different levels of soybean phosphatidylcholine. *Aquaculture International*, DOI. 184 p.
- Sparagon W.J., Gentry E.C., Minich J.J., Vollbrecht L., Laurens L.M., Allen E.E., Nelson C.E. 2022.** Fine scale transitions of the microbiota and metabolome along the gastrointestinal tract of herbivorous fishes. *Animal Microbiome* 4(1), 33.
- Utiswannahkul P., Sangchai S., Rengpipat S. 2011.** Enhanced growth of black tiger shrimp *Penaeus monodon* by dietary supplementation with *Bacillus* (BP11) as a probiotic. *Journal of Aquaculture Research and Development* 2, 6.
- Wang Y., Al Farraj D.A., Vijayaraghavan P., Hatamleh A.A., Biji G.D., Rady A.M. 2020.** Host associated mixed probiotic bacteria induced digestive enzymes in the gut of tiger shrimp *Penaeus monodon*. *Saudi Journal of Biological Sciences* 27(9), 2479-2484.
- Weinrauch A.M., Hoogenboom J.L., Anderson W.G. 2021.** A review of reductionist methods in fish gastrointestinal tract physiology. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology* 254, 110571.
- Wu S., Pan M., Zan Z., Jakovlić I., Zhao W., Zou H., Wang G. 2024.** Regulation of lipid metabolism by gut microbiota in aquatic animals. *Reviews in Aquaculture* 16(1), 34-46.
- Yanbo W., Zirong X. 2006.** Effect of probiotics for common carp (*Cyprinus carpio*) based on growth performance and digestive enzyme activities. *Animal Feed Science and Technology* 127(3-4), 283-292.