University of Tehran

Journal of Fisheries

Home Page: https://jfisheries.ut.ac.ir

Online ISSN: 2423-7809

Evaluating the effects of using probiotics *Bacillus subtilis*, *Bacillus licheniformis* and autolyzed yeast *Saccharomyces cerevisiae* in a diet containing sesame oil cake in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*)

Amin Hashemi Panah[1] | Gholamreza Rafiee[2]✉

1. Department of Fisheries, Faculty of Natural Resources, University College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. Email: amin.hashemi69@ut.ac.ir
2. Corresponding author, Department of Fisheries, Faculty of Natural Resources, University College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. Email: ghrafiee@ut.ac.ir

ARTICLE INFO

Article type:
Research Article

Article History:
Received: 02 September 2023
Revised: 28 October 2023
Accepted: 18 April 2024
Published online: 25 March 2025

Keywords:
Bacillus probiotic,
Rainbow trout,
Saccharomyces cerevisiae,
Nutrient apparent digestibility,
Body biochemical composition.

ABSTRACT

This experiment evaluated the effects of using probiotics and prebiotics in rainbow trout diet containing sesame oil cake on the growth performances, nutritional factors, body biochemical composition and also the nutrients apparent digestibility. A 10-week feeding period for rainbow trout fingerling were performed by tree experimental diets containing the different additives which were the control treatment (S) comprising 15% sesame oil cake without additives, treatment SY (control diet + autolyzed yeast wall), and treatment SB (control diet + *bacillus* probiotic), in a completely randomized design in triplicate. At the end of the feeding trial, it was found that the use of feed additives in the SY and SB groups caused significant effects (P<0.05) on the growth and nutrition performances improvement, including final weight, specific growth factor, weight gain percentage. , the feed conversion ratio and the protein and lipid efficiency rate compared to the control group (S). Also, in the survival rate, the results showed a significant increase (P<0.05) in the SY groups compared to the SB and S groups. The fillet biochemical composition of the fish fed by the experimental diets also showed a significant difference (P<0.05) in the protein and ash content among the different groups, but there was no significant difference in the lipid and moisture content. The statistical comparison of the nutrients apparent digestibility average also showed a significant difference between the treatment SB compared to the treatments SY and S (P<0.05), so that the highest of dry matter and protein apparent digestibility were observed in the SB group and the lowest in the control (S) treatment. According to the obtained results, it can be stated that the use of probiotic and prebiotic additives in the diet containing sesame oil cake improved the nutritional efficiency of rainbow trout and also resulted in the fillet quality improvement.

Cite this article: Hashemi Panah, A., Rafiee, Gh. (2025). Evaluating the effects of using probiotics *Bacillus subtilis*, *Bacillus licheniformis* and autolyzed yeast *Saccharomyces cerevisiae* in a diet containing sesame oil cake in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Journal of Fisheries*, 78 (1), 1-14. DOI: http//doi.org/10.22059/jfisheries.2024.364715.1403

© The Author(s) **Publisher:** University of Tehran Press.
DOI: http//doi.org/10.22059/jfisheries.2024.364715.1403

دانشگاه تهران

شیلات، مجله منابع طبیعی ایران

سایت نشریه: https://jfisheries.ut.ac.ir

شاپا الکترونیکی: ۷۸۰۹-۲۴۲۳

ارزیابی اثرات استفاده از پروبیوتیک باسیلوس سابتیلیس (*Bacillus subtilis*)، باسیلوس لیکنی فورمیس (*Bacillus licheniformis*) و مخمر اتولیز شده (*Saccharomyces cerevisiae*) در جیرهٔ غذایی حاوی کنجالهٔ کنجد در ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان (*Oncorhynchus mykiss*)

امین هاشمی‌پناه[۱] | غلامرضا رفیعی[۲*]

۱. دانش آموختهٔ دکتری،گروه شیلات، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه تهران، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی، کرج، ایران. رایانامه: amin.hashemi69@ut.ac.ir

۲. نویسنده مسئول، گروه شیلات، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه تهران، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی، کرج، ایران. رایانامه: ghrafiee@ut.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
پژوهشی

تاریخ‌های مقاله:
تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۶/۱۱
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۸/۰۶
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۱/۳۰
تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۱/۰۵

کلیدواژه:
پروبیوتیک باسیلوسی،
قزل‌آلای رنگین‌کمان،
مخمر ساکارومیسس سروزیه،
قابلیت هضم ظاهری،
ترکیب بیوشیمیایی لاشه.

چکیده

این آزمایش با هدف ارزیابی اثرات استفاده از پروبیوتیک و پریبیوتیک در جیرهٔ حاوی کنجالهٔ کنجد روی شاخص‌های رشد، تغذیه، ترکیب بیوشیمیایی بدن ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان و نیز قابلیت هضم ظاهری ریزمغذی‌های جیره صورت گرفت. به‌همین منظور تعداد ۳ تیمار آزمایشی هرکدام با ۳ تکرار در قالب طرح کاملاً تصادفی در نظر گرفته شد که عبارت بودند از تیمار شاهد (S) حاوی ۱۵ درصد کنجالهٔ کنجد بدون افزودنی و دو تیمار آزمایشی SY (جیرهٔ شاهد + دیوارهٔ اتولیز شدهٔ مخمر) و SB (جیرهٔ شاهد + پروبیوتیک باسیلوسی) که بچه ماهیان انگشت قد قزل‌آلای رنگین‌کمان به‌مدت ۱۰ هفته با آنها تغذیه شدند. در پایان نتایج نشان دادند که مصرف جیره‌های SY و SB موجب اثرات معنی‌داری روی بهبود شاخص‌های رشد و تغذیه از جمله وزن نهایی، ضریب رشد ویژه، درصد افزایش وزن، ضریب تبدیل غذایی و نرخ بهره‌وری پروتئین و چربی نسبت به ماهیان تغذیه شده از جیرهٔ S شد ($P<۰/۰۵$). در شاخص بقا نیز نتایج نشان از افزایش معنی‌دار ($P<۰/۰۵$) آن در تیمار SY نسبت به تیمارهای SB و S داشتند. تجزیهٔ ترکیب بیوشیمیایی عضلهٔ ماهیان نیز وجود اختلاف معنی‌دار را در میزان پروتئین و خاکستر عضلهٔ ماهیان مربوط به گروه‌های مختلف نشان داد ($P<۰/۰۵$)، اما در میزان چربی و رطوبت اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد ($P>۰/۰۵$). مقایسهٔ میانگین قابلیت هضم ظاهری مواد مغذی نیز اختلاف معنی‌داری را میان تیمار SB نسبت به تیمارهای SY و S نشان داد ($P<۰/۰۵$) به‌طوری‌که بیشترین میزان قابلیت هضم ظاهری مادهٔ خشک و پروتئین در گروه SB مشاهده شد. بنابراین در آزمایش حاضر مشخص شد که استفاده از افزودنی‌های پروبیوتیکی و پریبیوتیکی در جیرهٔ غذایی حاوی کنجالهٔ کنجد در ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان سبب بهبود بازدهی غذایی و نیز کیفیت لاشه این ماهی می‌گردد.

استناد: هاشمی‌پناه؛ امین، رفیعی؛ غلامرضا (۱۴۰۴). ارزیابی اثرات استفاده از پروبیوتیک باسیلوس سابتیلیس (*Bacillus subtilis*)، باسیلوس لیکنی فورمیس (*Bacillus licheniformis*) و مخمر اتولیز شده (*Saccharomyces cerevisiae*) در جیرهٔ غذایی حاوی کنجالهٔ کنجد در ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان (*Oncorhynchus mykiss*). *نشریهٔ شیلات، مجله منابع طبیعی ایران*، ۷۸ (۱)، ۱۴-۱. DOI: http//doi.org/10.22059/jfisheries.2024.364715.1403

© نویسندگان.
ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.
DOI: http//doi.org/10.22059/jfisheries.2024.364715.1403

۱. مقدمه

طبق پیش‌بینی‌های صورت گرفته و با توجه به روند رو به رشد جمعیت جهان، برای حفظ سرانهٔ مصرف آبزیان تا سال ۲۰۳۰ به ۲۳ میلیون تن غذای دریایی نیاز است و از آنجا که در چند دههٔ گذشته تأمین پروتئین آبزیان حاصل از صید در منابع آب‌های طبیعی به میزان ثابتی رسیده است، این کمبود باید از طریق صنعت پرورش آبزیان تأمین گردد (FAO, 2019). با توجه به اینکه امروزه سهم هزینه‌های مربوط به خوراک در پرورش آبزیان بسته به نوع گونهٔ پرورشی حدود ۶۰ تا ۸۰ درصد هزینه‌های جاری دورهٔ پرورش را شامل می‌شود، بنابراین در راستای کاهش قیمت تمام شده تولید آبزیان، پژوهشهای بسیاری در زمینه استفاده از منابع پروتنینی گیاهی در جیره های غذایی آبزیان متمرکز شدهاند (Barrows *et al*., 2007; Oliva-Teles *et al*., 2015; Galtin *et al*., 2007; Sotoudeh *et al*., 2016). با این وجود ترکیبات اولیهٔ گیاهی دارای معایبی هستند که از جمله آنها می‌توان به محتوای پروتئینی نسبتاً کم، پروفیل نامناسب اسیدآمینه، خوشخوراکی اندک و وجود مواد ضد تغذیه‌ای مثل بازدارنده‌های تریپسین، آنتی‌ویتامین‌ها، فیتات و هموگلوتنین‌ها اشاره کرد که سطوح استفاده از این منابع را در جیره‌های فرموله شده آبزیان خصوصاً گونه‌های گوشتخوار با محدودیت مواجه می‌کند (Glencross *et al*., 2007 Gatlin *et al*., 2007;). بنابراین، محققین همه روزه به‌دنبال راهکارهای نوین و کارآمد برای بهبود کارایی جیره‌های مبتنی بر پروتئین‌های گیاهی هستند. استفاده از افزودنی‌های غذایی یکی از همین راهکارها است که در راستای بهبود عملکردهای جیره‌های حاوی منابع گیاهی مورد توجه قرار گرفته است (Glencross *et al*., 2008; Soto *et al*., 2015; Piazzon *et al*., 2017).

پروبیوتیک‌ها و پربیوتیک‌ها در مطالعات مختلف نشان داده‌اند که اثرات مثبتی در جهت بهبود هضم غذا و بازدهی رشد در موجودات آبزی دارند (Irianto and Austin, 2002). در حقیقت برخی سویه‌های پروبیوتیک‌ها به‌دلیل افزایش سطح آنزیم‌های گوارشی مثل آلژینات لایزیز، آمیلازها و پروتئازها ضریب هضم غذا را افزایش می‌دهند (Ziaei-Nejad *et al*., 2006; Yu *et al*., 2009; Zokaeifar, *et al*., 2012). باکتری‌های گرم مثبت اسپوردار متعلق به جنس باسیلوس از جمله این سویه‌ها هستند که قابلیت بالایی برای ایفای نقش پروبیوتیکی در صنعت آبزیان با توانایی تحمل محیط‌های خشن و شرایط سخت را دارند و قادر به تولید وترشح آنزیم‌های مهم از جمله لیپازها، پروتئازها و آمیلازها هستند (Wang *et al*., 2019; Kuebutornye *et al*., 2020). این خصوصیات موجب توانایی رشد آنها روی اغلب منابع حاوی کربن و نیتروژن شده است و آنها را قادر به شکستن ترکیبات پیچیدهٔ پروتئینی، کربوهیدراتی و چربی کرده است (Cui *et al*., 2018). تحقیقات بسیاری نشان داده‌اند که حضور این باکتری‌ها در فرمولاسیون جیره‌های با محتوای گیاهی بالا می‌تواند به افزایش میزان هضم و جذب این مواد کمک کرده و ضمن افزایش بازدهی رشد، ضریب تبدیل غذایی را نیز کاهش دهد (Olmos *et al*., 2011; Ochoa and Olmos, 2006; Lopez *et al*., 2016).

مطالعات نشان داده‌اند که برخی ترکیبات موجود در دیوارهٔ مخمر ساکارومیسس سرویزیه می‌توانند در لولهٔ گوارشی آبزیان نقش پربیوتیکی ایفا کنند. ترکیباتی مثل مانان الیگوساکاریدها و بتا گلوکان که موجب فراهم شدن شرایط بهینه برای رشد و ازدیاد باکتری‌های مفید می‌شوند. از این‌رو می‌توانند اثری بسیار مهم بر بهبود عملکرد رشدی جاندار، شاخص‌های مصرف خوراک و نیز مقاومت در برابر بیماری‌ها داشته باشند (Manning and Gibson, 2004). مطالعات صورت گرفته روی گونه‌های مختلف آبزیان مثل تیلاپیای نیل (*Oreochromis niloticus*)، ماهی هامور (*Epinephelus coiodes*) و قزل‌آلای رنگین‌کمان و ماهی سالمون اطلس (*Salmo salar*) گزارش شده‌اند که مخمرها اثر تحریکی روی رشد این ماهیان داشته‌اند (Lara-Flores *et al*., 2003; Barnes *et al*., 2006 ؛ Barnes *et al*., 2006; Grisdale-Helland *et al*., 2008; Chiu *et al*., 2010).

یکی از منابع غذایی گیاهی که در کشور ایران نیز به‌صورت بومی کشت می‌شود، دانهٔ روغنی گیاه کنجد (*Sesamum indicm* L.) است که بخش اعظم محصول تولید شدهٔ آن، در کارخانه‌های روغن‌کشی جهت تولید روغن کنجد خوراکی مورد استفاده قرار می‌گیرد. فرآوردهٔ جانبی حاصل از این کار محصولی با محتوی پروتئینی بالاست که کنجالهٔ کنجد نامیده شده و میزان پروتئین خام آن به حدود ۴۱ تا ۴۹ درصد در مادهٔ خشک می رسد. به‌همین دلیل از پتانسیل بالقوهٔ بالایی برای استفاده در جیره‌های تنظیم شدهٔ خوراک دام، طیور و آبزیان برخوردار است (De Padua, 1983; Onsaard *et al*., 2010). اما این مادهٔ غذایی نیز از قاعدهٔ کلی

منابع گیاهی بی‌بهره نبوده و دارای محدودیت‌هایی است. دانهٔ این گیاه حاوی مواد ضد تغذیه‌ای اکسالات و اسید فایتیک است که این مواد سبب کاهش زیست‌فراهمی مواد معدنی، کاهش هضم‌پذیری مواد پروتئینی از طریق تشکیل فرم‌های باند شده با اسید فایتیک و همچنین کاهش کارایی جذب مواد ریز مغذی از طریق آسیب‌رسانی به زوائد پیلوریک در دستگاه گوارش می‌شوند (Francis *et al*., 2001).

در این پژوهش سعی شد که اثرات استفاده توأم جیرهٔ غذایی حاوی کنجاهٔ کنجد همراه با مخمر اتولیز شده (*S. cerevisiae*) و پروبیوتیک باکتریایی باسیلوس سابتیلیس (*B. subtilis*) و باسیلوس لیکنی فورمیس (*B. licheniformis*) در ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان مورد ارزیابی قرار گیرد تا با استفاده از نتایج آن میزان مصرف این منبع غذایی گیاهی در جیرهٔ غذایی این ماهی فراهم گردد.

۲. روش‌شناسی پژوهش

۲-۱. طرح و شرح آزمایش

این آزمایش در پاییز سال ۱۴۰۱ در مزرعه تکثیر و پرورش ماهی قزل‌آلای شرکت نوین رشد نادین واقع در شهرستان فیروزکوه انجام شد. به‌همین منظور سه تیمار آزمایشی در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار برای هر کدام مدنظر قرار گرفتند که عبارت بودند از: گروه تیماری S که به‌عنوان گروه شاهد یا جیرهٔ پایه بود و حاوی ۱۵ درصد کنجالهٔ کنجد بدون افزودنی غذایی، گروه تیماری SB که همان جیرهٔ پایهٔ حاوی پروبیوتیک تجاری دی‌پرو حاوی گونه‌های باکتریایی باسیلوس سابتیلیس و باسیلوس لیکنی‌فورمیس ساخت شرکت دانش بنیان تک ژن با شمارش تعداد باکتری 10^8CFU در هر گرم از جیرهٔ غذایی و گروه تیماری SY که جیرهٔ پایهٔ حاوی پربیوتیک تجاری نوتریسیت حاوی دیوارهٔ اتولیز شده مخمر ساکارومیسس ساخت شرکت دانش بنیان کیمیازیم با مقدار ۳ گرم در هر کیلوگرم. بنابراین، تعداد ۹ استخر هشت ضلعی سیمانی به قطر ۲ متر با ارتفاع آب‌گیری ۸۰ سانتی‌متر به‌عنوان واحدهای آزمایشی در نظر گرفته شدند که جریان مداوم آب چاه با دمای ثابت ۱۳ درجهٔ سانتی‌گراد و حجم ورودی نیم لیتر بر ثانیه برای هر کدام برقرار بود. بچه‌ماهیان فرانسوی نژاد آکوالند با وزن اولیهٔ ۱۲ گرم به تعداد ۲۵۰ قطعه در هر استخر ذخیره‌سازی شدند. خوراک‌دهی بچه‌ماهیان با جیره‌های آزمایشی به‌مدت ۷۰ روز و براساس ۲/۵ درصد از وزن تودهٔ زنده هر استخر که با زیست‌سنجی هر ۱۰ روز یکبار محاسبه شد، و در سه وعدهٔ غذایی در روز (ساعات: ۶، ۱۲ و ۱۸) به ماهیان داده شد.

۲-۲. اندازه‌گیری شاخص‌های کیفی آب

میزان اکسیژن محلول، دما و pH نیز به‌صورت روزانه با استفاده از دستگاه مولتی فاکتور مارک AZ مدل ۶۳۰۳ اندازه‌گیری شدند که در طول دوره میانگین اکسیژن محلول برابر با ۶/۷±۰/۲ میلی‌گرم در لیتر و pH برابر با ۷/۸±۰/۲ و دما برابر با ۰/۷± ۱۳ درجهٔ سانتی‌گراد بودند.

۲-۳. ساخت جیره‌های آزمایشی

ساخت جیره‌های غذایی با استفاده از فناوری اکستروژن در کارخانهٔ تولید خوراک دام و طیور و آبزیان تعاونی ۱۹۹ لردگان (بهدان) صورت پذیرفت. برهمین اساس تمامی مواد اولیهٔ خشک پس از وزن‌کشی دقیق براساس فرمول غذایی جیرهٔ پایه با همدیگر به‌طور کامل مخلوط و سپس با توری اندازهٔ مش ۰/۷۵ میلی‌متری آسیاب شدند و در انتها به‌صورت خوراک اکسترود با قطر ۳ میلی‌متر متناسب با قطر دهان بچه‌ماهی مدنظر تولید و داخل دستگاه خشک‌کن به رطوبت مدنظر رسیدند. پس از این مرحله، افزودنی‌های آزمایشی مدنظر به‌صورت مخلوط با روغن سویا و روغن ماهی بر روی خوراک‌ها اسپری گردیدند و پس از جذب کامل روغن، خوراک‌های آماده، بسته‌بندی شد و درون فریزر با دمای ۱۸- درجهٔ سانتی‌گراد تا زمان مصرف قرار گرفتند. فرمولاسیون خوراک‌های آزمایشی در جدول ۱ قابل مشاهده است.

جدول ۱- مواد مصرفی و تجزیهٔ بیوشیمیایی جیره‌های آزمایشی (گرم در گیلوگرم)

مادهٔ اولیه	تیمارهای آزمایشی		
	S	SB	SY
پودر ماهی ضایعات کنسروی	۲۳۰	۲۳۰	۲۳۰
پودر ماهی ساردین	۱۵۰	۱۵۰	۱۵۰
کنجالهٔ سویا	۶۰	۶۰	۶۰
کنجالهٔ کنجد	۱۵۰	۱۵۰	۱۵۰
آرد گندم	۱۲۷	۱۲۷	۱۲۷
گلوتن ذرت	۵۰	۵۰	۵۰
پودر ضایعات کشتارگاهی	۱۲۰	۱۲۰	۱۲۰
روغن ماهی	۳۰	۳۰	۳۰
روغن سویا	۵۰	۵۰	۵۰
مکمل پرمیکس ویتامینه	۱۰	۱۰	۱۰
مکمل پرمیکس معدنی	۱۰	۱۰	۱۰
مکمل لیزین	۱/۵	۱/۵	۱/۵
مکمل متیونین	۱/۵	۱/۵	۱/۵
اکسید کروم	۱۰	۱۰	۱۰
دیوارهٔ اتولیز شدهٔ مخمر[۱]	-	-	۳
باسیلوس سابتیلیس و باسیلوس لیکنی فورمیس[۲]	-	۱	-
تجزیهٔ تقریبی ترکیب بیوشیمیایی جیره (بر اساس ماده خشک)			
پروتئین خام (٪)	۴۶/۴۷	۴۶/۴۷	۴۶/۴۷
چربی خام (٪)	۱۶/۳۱	۱۶/۳۱	۱۶/۳۱
انرژی خام (kcal/kg)	۴۵۵۰/۸	۴۵۵۰/۸	۴۵۵۰/۸
رطوبت (٪)	۸/۴۶	۸/۴۶	۸/۴۶

[۱] محصول نوتریست، شرکت کیمیازیم، تهران

[۲] پروبیوتیک تجاری مخصوص آبزیان دی پرو، شرکت تک ژن، تهران (حاوی باسیلوس سابتیلیس و لیکنی فورمیس $CFU۱۰^{۱۱}$)

۲-۴. شاخص‌های رشد و تغذیه

در ابتدای دورهٔ آزمایشی و قبل از ذخیره‌سازی در مخازن آزمایشی تعداد ۲۰ قطعه ماهی به‌صورت تصادفی نمونه‌برداری شد و مورد تجزیهٔ بیوشیمیایی قرار گرفتند. در پایان دورهٔ غذادهی نیز تعداد ۱۰۰ قطعه به‌صورت تصادفی از هر مخزن، پس از یک روز قطع غذادهی، نمونه‌برداری و با استفاده از پودر گل میخک بیهوش شد و زیست‌سنجی و ثبت اطلاعات آنها صورت گرفت. سپس شاخص‌های مربوط به رشد، تغذیه و بقا با استفاده از فرمول‌های زیر محاسبه شدند:

افزایش وزن بدن (WG) (درصد): (میانگین وزن نهایی– میانگین وزن اولیه) / (میانگین وزن اولیه) ×۱۰۰ (Ronyai *et al.*,1990)

ضریب رشد ویژه (SGR) (درصد در روز): (لگاریتم وزن نهایی– لگاریتم وزن اولیه)/ تعداد روزهای آزمایش × ۱۰۰ (Montero *et al.*, 2010)

مصرف غذا (FI) (گرم/ ماهی): کل غذای خورده شده (گرم)/ مجموع (تعداد روزهای بقا هر ماهی/تعداد کل روزهای آزمایش) (Takakuwa *et al.*, 2020)

ضریب تبدیل غذایی (FCR): کل غذای خورده شده (گرم) / افزایش وزن کسب شده (گرم) (Ronyai *et al.*, 1990)

نسبت بازدهٔ پروتئین (PER): افزایش وزن کسب شده (گرم) / پروتئین خورده شده (گرم) (Ricker, 1979)

نسبت بازدهٔ چربی (LER): افزایش وزن کسب شده (گرم) / چربی خورده شده (گرم) (Ricker, 1979)

بازماندگی (درصد): (تعداد نهایی/ تعداد اولیه) × ۱۰۰ (Yang *et al.*, 2010)

۲-۵. تعیین ترکیب بیوشیمیایی جیره‌های آزمایشی و عضلهٔ ماهی

در انتهای دورهٔ غذادهی از هر مخزن تعداد ۵ قطعه ماهی به‌صورت تصادفی صید شد و پس از آن نمونه‌های عضله به ابعاد تقریبی ۲ × ۲ سانتی‌متر از محل تحتانی بالهٔ پشتی هر ماهی به‌وسیلهٔ پنس و برش با تیغ جراحی جداسازی و با آب مقطر شست‌وشوی کامل داده شد و درون فریزر ۷۰- درجهٔ سانتی‌گراد قرار گرفتند تا در زمان مناسب مورد سنجش بیوشیمیایی مطابق با دستورالعمل کتابچهٔ Association of Official Analytical Chemists (AOAC, 2004) قرار گیرند. بر این اساس، مادهٔ خشک با خشک کردن نمونه در دمای ۱۰۵ درجهٔ سانتی‌گراد تا رسیدن به وزن ثابت، پروتئین خام با استفاده از روش کجلدال در سه مرحلهٔ هضم، تقطیر، تیتراسیون و ضرب نمودن ازت به دست آمده از هرگرم ماده خشک در عدد ۶/۲۵، خاکستر با سوزاندن نمونه در کوره الکتریکی در دمای۵۵۰ درجهٔ سانتی‌گراد، چربی خام با استخراج چربی به روش سوکسله با استفاده از حلال دی-اتیل اتر با رسیدن به نقطهٔ جوش ۵۰ تا۶۰ درجهٔ سانتی‌گراد به‌مدت ۴ تا ۶ ساعت در استخراج‌کنندهٔ سوکسله اندازه‌گیری و انرژی کل با استفاده از بمب کالری‌متر (Calorimeteradiabatic C-400 IKA, Heiterbeini, GMBIL, Brussels, Belgium) بدست آمدند.

۲-۶. آزمایش هضم‌پذیری

در این آزمایش به‌منظور سنجش میزان هضم‌پذیری ظاهری مواد مغذی از مادهٔ غیر قابل هضم و خنثی اکسید کروم به‌میزان یک درصد از مواد تشکیل‌دهندهٔ جیره‌های آزمایشی استفاده شد (Liu *et al*., 2009). به‌همین منظور جمع‌آوری نمونه‌های مدفوع با استفاده از کالکتورهای توری نصب شده روی لوله‌های خروجی صورت گرفت. تمامی نمونه‌های مدفوع گرفته شده پس از شست‌وشوی اولیه با استفاده از آب مقطر و قرار گرفتن روی کاغذ صافی و آبگیری در ظروف دربسته ریخته شد و در دمای ۲۰- درجهٔ سانتی‌گراد فریز شدند تا بعداً مورد تجزیه قرار گیرند (Catacutan *et al*., 2003). برای محاسبهٔ میزان قابلیت هضم‌پذیری مادهٔ خشک و پروتئین جیره‌های آزمایشی، از فرمول‌های زیر استفاده شد (Degani, 2006):

قابلیت هضم ظاهری مادهٔ خشک (ADC_{dry}) (درصد): ۱۰۰- (۱۰۰× اکسید کروم غذا / اکسید کروم مدفوع)

قابلیت هضم ظاهری پروتئین (ADC_p) (درصد): ۱۰۰- {۱۰۰×(اکسید کروم غذا / اکسید کروم مدفوع) × (پروتئین مدفوع / پروتئین غذا)}

۲-۷. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

در پایان دورهٔ غذادهی تمامی داده‌های کسب شده در نرم‌افزار Excel به ثبت رسیده و پس از بررسی نرمال‌بودن داده‌ها از طریق آزمون Kolmogorov-Smirnov، معنی‌دار بودن داده‌ها از طریق تجزیه واریانس یک‌طرفه (One-way ANOVA) مورد سنجش قرار گرفت و در صورت مشاهده اختلاف، از تست دانکن Duncan برای مقایسهٔ میانگین‌ها به‌عنوان Post-hoc در نرم‌افزار SPSS نسخهٔ ۱۶ استفاده شد. سطح معنی‌دار بودن برای همهٔ موارد با ضریب اطمینان ۹۵ درصد ($P<۰/۰۵$) در نظر گرفته شد. به‌منظور رسم نمودارها نیز از نرم‌افزار Excel نسخهٔ ۲۰۱۳ استفاده شد.

۳. یافته‌های پژوهش

نتایج مربوط به شاخص‌های رشد و تغذیه در این آزمایش نشان دادند که استفاده از افزودنی‌های غذایی پروبیوتیکی و پربیوتیکی در جیره‌های حاوی ۱۵ درصد کنجالهٔ کنجد اثرات معنی‌داری روی اغلب این شاخص‌ها خواهد گذاشت ($P<۰/۰۵$) (جدول ۲). تحلیل‌های آماری نشان دادند که بیشترین اثر معنی‌دار روی افزایش میزان رشد ماهیان در گروه SB با عدد ۸۰/۹۳ گرم بود. پس از آن گروه تیماری SY با میانگین ۷۶/۲۷ گرم بود که اختلاف معنی‌داری با تیمار شاهد با عدد ۶۹/۴۰ گرم داشتند. در شاخص های رشدی دیگر مثل WG و SGR نیز بیشترین میزان آن ها در گروه SB به ترتیب با اعداد ۵۷۳ درصد و ۲/۷۲ درصد در روز مشاهده شد که اختلاف معنی دار با تیمار S داشت ($P<۰/۰۵$) ، اما در تیمار SY میانگین این شاخص‌ها با وجود بالاتر بودن نسبت به تیمار S اختلاف معنی‌دار نداشت ($P>۰/۰۵$). بنابراین کمترین مقدار این شاخص‌ها در تیمار S بود که در شاخص WG عدد ۴۸۵ درصد و شاخص SGR عدد ۲/۵۲ درصد در روز در این تیمار به ثبت رسید.

در شاخص FI مربوط به هر دو گروه حاوی افزودنی اختلاف معنی‌دار نسبت به تیمار فاقد افزودنی مشاهده شد ($P<۰/۰۵$) و بیشترین مقدار آن در تیمار SY با عدد ۶۰/۴۴ گرم و کمترین مقدار مربوط به تیمار S با عدد ۵۵/۷۱ گرم به‌ازای هر ماهی ثبت شد. در شاخص FCR تیمار SB بهترین نتیجه را داشت که عدد ۰/۸۸ را به ثبت رساند و با هر دو تیمار دیگر اختلاف معنی‌دار ایجاد کرد ($P<۰/۰۵$). اما در این شاخص گروه SY نسبت به گروه S اختلاف معنی‌دار نداشت ($P>۰/۰۵$). در دو شاخص تغذیه‌ای PER و LER نیز مشخص شد که مصرف پروبیوتیک باسیلوسی در جیرهٔ غذایی اثرات معنی‌داری روی افزایش بهره‌وری پروتئینی و چربی ماهیان نسبت به گروه‌های دیگر SY و S داشت ($P<۰/۰۵$)، و بیشترین میزان این شاخص‌ها در گروه SB با اعداد ۲/۴۶ برای PER و ۷/۱۳ برای LER به ثبت رسید. همچنین مقادیر این شاخص‌ها در تیمار SY نیز نسبت به میانگین آنها در تیمار S دارای اختلاف معنی‌دار بودند ($P<۰/۰۵$). بنابراین کمترین مقدار شاخص‌های PER (۲/۲۲) و LER (۶/۴۴) در تیمار شاهد یا همان S مشاهده شد. نتایج شاخص میانگین بقا در پایان دورهٔ غذادهی در این آزمایش نشان داد که گروه SY نسبت به دو گروه دیگر به‌طور معنی‌داری درصد بقای بالاتری داشتند ($P<۰/۰۵$). میزان شاخص بقا در گروه SY عدد ۹۵/۴۷ بود و در دو گروه دیگر S و SB عدد این شاخص به‌ترتیب ۸۸/۶۷ و ۸۷/۳۳ بودند.

جدول ۲- میانگین (میانگین ± انحراف معیار) شاخص‌های رشد و تغذیهٔ ماهیان قزل‌آلای تغذیه شده با جیره‌های آزمایشی

شاخص	تیمارهای آزمایشی		
	S	SB	SY
وزن اولیه (گرم)	۱۱/۸۷±۰/۲	۱۲/۰۳±۰/۲	۱۲/۱۰±۰/۱
وزن نهایی (گرم)	۶۹/۴۰±۴/۹ b	۸۰/۹۳±۳/۶ a	۷۶/۲۷±۱/۱ a
WG (درصد)	۴۸۵/۳ ±۴۹ b	۵۷۳/۰±۴۱ a	۵۳۰/۳ ±۹ ab
FI (گرم/ماهی)	۵۵/۷۱ ±۲/۰ b	۶۰/۲۴ ±۱/۲ a	۶۰/۴۴ ±۱/۳ a
FCR	۰/۹۷±۰/۰۶ a	۰/۸۸±۰/۰۴ b	۰/۹۴±۰/۰۱ a
SGR (درصد/روز)	۲/۵۲±۰/۱۲ b	۲/۷۲±۰/۰۹ a	۲/۶۳±۰/۰۲ ab
PER	۲/۲۲±۰/۱۲ b	۲/۴۶±۰/۱۰ a	۲/۲۸±۰/۰۲ b
LER	۶/۴۴±۰/۳۶ b	۷/۱۳±۰/۲۹ a	۶/۶۲±۰/۰۵ b
نرخ بازماندگی (درصد)	۸۸/۶۷±۲/۲ b	۸۷/۳۳±۲/۶ b	۹۵/۴۷±۱/۰ a

مقادیر در یک ردیف با حروف انگلیسی متفاوت دارای اختلاف معنی‌دار با یکدیگرند ($P<۰/۰۵$).

مطابق با نتایج به‌دست آمده در این آزمایش، تحلیل آماری داده‌ها نشان دادند که استفاده از افزودنی‌های غذایی باکتری‌های باسیلوسی و دیوارهٔ مخمر هیدرولیز شده در جیرهٔ غذایی حاوی ۱۵ درصد کنجالهٔ کنجد، اثرات معنی‌داری ($P<۰/۰۵$) روی مقادیر پروتئین و خاکستر عضلهٔ ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان بگذارد اما در میزان چربی و رطوبت اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد ($P>۰/۰۵$) (جدول ۳). بیشترین مقدار محتوی پروتئینی عضله در تیمار SB ثبت شد با عدد ۸۱/۰۹ درصد که نسبت به دو گروه دیگر دارای اختلاف معنی‌دار بود ($P<۰/۰۵$) اما در این شاخص میان تیمارهای SY نسبت S اختلاف معنی‌دار به‌وجود نیامد ($P>۰/۰۵$). در میزان خاکستر اما وضعیت متفاوتی مشاهده شد به‌طوری‌که میزان آن در عضلهٔ ماهیان تغذیه شده با جیرهٔ SY ۵/۹۳ درصد بود که با دو گروه تیماری دیگر دارای اختلاف معنی‌دار بود ($P<۰/۰۵$) و از سوی دیگر، مصرف جیرهٔ غذایی SB نتوانست اختلاف معنی‌دار در محتوی خاکستر عضلهٔ ماهی نسبت به ماهیان مربوط به تیمار S ایجاد کند ($P>۰/۰۵$).

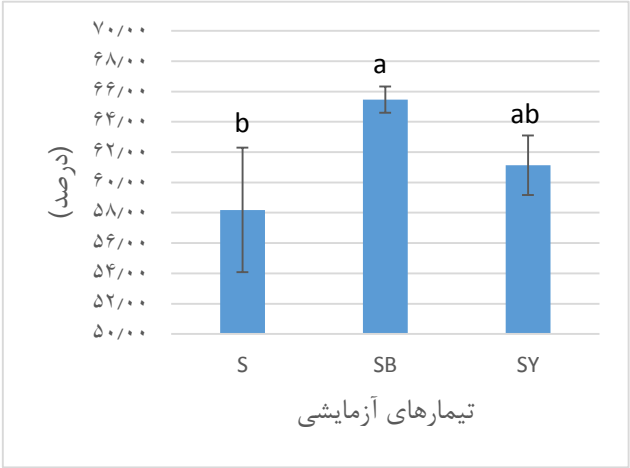
نتایج مربوط به قابلیت هضم ظاهری مواد غذایی در این آزمایش نشان دادند که استفاده از افزودنی غذایی پروبیوتیک باسیلوسی در گروه SB اثرات معنی‌داری روی میزان قابلیت هضم ظاهری مادهٔ خشک و پروتئین جیره نسبت به تیمار S داشت ($P<۰/۰۵$). در نتایج مربوط به هضم ظاهری مادهٔ خشک مشخص شد که بیشترین میزان هضم‌پذیری مادهٔ خشک در ماهیان مربوط به تیمار SB بود که برابر با ۶۵/۴۷ درصد شد و کمترین آن نیز در تیمار S با عدد ۵۸/۱۹ بود (شکل ۱). در قابلیت هضم‌پذیری پروتئین نیز تفاوت معنی‌دار ($P<۰/۰۵$) میان تیمار SB در مقایسه با دو گروه دیگر مشاهده شد. به‌طوری‌که بالاترین میزان آن در این تیمار برابر با ۸۳/۸۴

درصد و کمترین آن در تیمار S با عدد ۷۹/۸۸ درصد مشاهده شد. در تیمار SY نیز مقادیر قابلیت هضم ظاهری مادهٔ خشک و پروتئین به‌ترتیب اعداد ۶۱/۱۴ و ۸۰/۰۹ درصد بودند که با تیمار شاهد اختلاف معنی‌داری نداشتند ($P>۰/۰۵$) (شکل ۲).

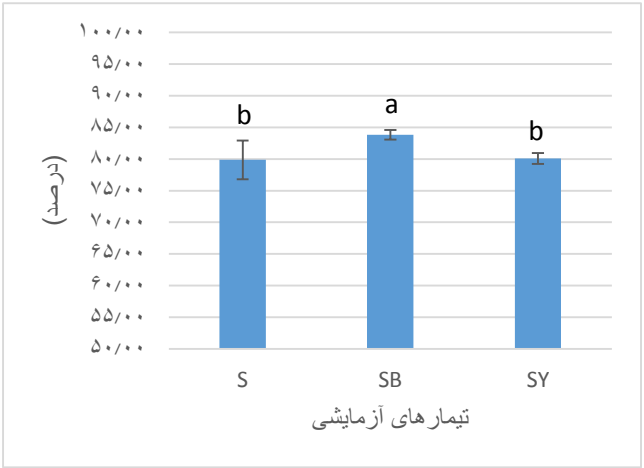
جدول ۳- میانگین (میانگین ± انحراف معیار) درصد ترکیبات بیوشیمیایی در ماده خشک و درصد رطوبت عضلهٔ ماهیان قزل‌آلای رنگین‌کمان تغذیه شده با جیره‌های آزمایشی

ترکیب بیوشیمیایی	تیمارهای آزمایشی		
	S	SB	SY
پروتئین	۷۸/۱۳±۰/۲۵ b	۸۱/۰۹±۱/۷۷ a	۷۸/۵۷±۱/۰۴ b
چربی	۱۰/۱۷±۰/۱۵ ab	۱۰/۶۰±۰/۱۷ a	۱۰/۴۳±۰/۵۰ a
خاکستر	۵/۶۰±۰/۱۰ b	۵/۸۳±۰/۰۶ ab	۵/۹۳±۰/۲۱ a
رطوبت (٪)	۷۹/۱۳±۰/۶۴	۷۹/۸۳±۱/۶۳	۷۹/۹۰±۰/۶۱

مقادیر در یک سطر با حروف متفاوت دارای اختلاف معنی‌دار با یکدیگر هستند ($P<۰/۰۵$).



شکل ۱- نمودار قابلیت هضم ظاهری مادهٔ خشک در جیره‌های آزمایشی (میانگین ± انحراف معیار)
حروف متفاوت نشان‌دهندهٔ وجود اختلاف معنی‌دار بین تیمارهای آزمایشی‌اند ($P<۰/۰۵$)



شکل ۲- نمودار قابلیت هضم ظاهری پروتئین در جیره‌های آزمایشی (میانگین ± انحراف معیار)
حروف متفاوت نشان‌دهندهٔ وجود اختلاف معنی‌دار بین تیمارهای آزمایشی‌اند ($P<۰/۰۵$)

۴. بحث و نتیجه‌گیری نهایی

یکی از راهکارهای افزایش سهم منابع غذایی گیاهی در جیره‌های غذایی آبزیان، کاربرد افزودنی‌های خوراکی به‌منظور کاهش اثرات ضدتغذیه‌ای و افزایش قابلیت هضم آنها است. در سالیان اخیر پروبیوتیک‌ها، سین‌بیوتیک‌ها، پست‌بیوتیک‌ها، پربیوتیک‌ها و پارابیوتیک‌ها به‌دلیل اثرات سودمند فراوانی که روی بهبود عملکردهای گوارشی دارند به‌عنوان افزودنی‌های خوراکی در حوضهٔ پرورش آبزیان به‌صورت گسترده‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرند (El-Saadony *et al*., 2021; Yilmaz *et al*., 2022).

براساس نتایج آزمایش حاضر در شاخص‌های رشد و تغذیه مشخص شد که استفاده از افزودنی‌های غذایی پروبیوتیکی و پربیوتیکی در جیره‌های حاوی ۱۵ درصد کنجالهٔ کنجد توانست که اثرات معنی‌دار روی بهبود اغلب این شاخص‌ها نسبت به تیمار شاهد بگذارد. همسو با نتایج آزمایش حاضر بررسی صورت گرفته روی بچه‌ماهیان انگشت قد قزل‌آلای رنگین‌کمان نشان داد که استفادهٔ مجزا و نیز ترکیبی مخمر ساکارومیسس و فروکتوالیگوساکارید در جیرهٔ غذایی با پایهٔ پروتئین‌های گیاهی می‌تواند روی عملکردهای رشد و ایمنی این ماهی تأثیرات معنی‌داری بگذارند (Garcia *et al*., 2019). نویسندگان بیان داشتند که با توجه به این موضوع می‌توان از منابع گیاهی بیشتری در جیرهٔ غذایی آبزیان گوشتخوار بهره برد. در مطالعه صورت گرفته روی ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان اضافه کردن مخمر به جیرهٔ غذایی فرموله شده بر پایهٔ مواد گیاهی سبب افزایش بازدهی رشد این ماهی خواهد شد (Hernandez *et al*., 2017).

Sutriana و همکاران (۲۰۱۸) بیان کردند که مخمرها احتمالاً در افزایش قابلیت هضم مواد غذایی تأثیر گذارند و به‌طور غیر مستقیم اثرشان در بهبود رشد نمود پیدا می‌کند. مطالعه‌ای که روی ماهی سالمون اقیانوس اطلس انجام شد مقایسهٔ میان جیرهٔ حاوی پودر ماهی و جیرهٔ جایگزین تا سطح ۵۰ درصد با مخلوط پروتئین گیاهی سویا و آفتابگردان نشان داد که شاخص‌های رشد و ایمنی با کاهش معنی‌داری نسبت به تیمار شاهد روبه‌رو شدند. اما اضافه نمودن (۲۰۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) الیگوساکارید مانان استخراج شده از دیوارهٔ مخمر ساکارومیسس این نقص‌ها را در جیره‌های حاوی منابع گیاهی جبران نمود و نیز منجر به بهبود شاخص‌های ریخت‌شناسی روده شد که محققین بیان داشتند که اثرات مادهٔ مانان الیگوساکارید موجود در دیوارهٔ مخمر که خاصیت باند شدن و غیر فعال کردن گیرنده‌های گلیکوپروتئینی عوامل بیماری‌زا و نیز آنتی‌ژن‌های گلیکوپروتئینی گیاهی را دارد موجب حفظ سلامت لولهٔ گوارش و کسب این نتایج شده است (Refstie *et al*., 2010).

همچنین در ارتباط با باکتری‌های باسیلوسی پژوهشی که روی ماهی باس دریایی سفید (*Atractoscion nobilis*) انجام شد، که نتایج نشان داد استفاده از باکتری باسیلوس سابتیلیس در جیره‌های حاوی مواد گیاهی در سطح بالا، موجب افزایش ضریب رشد و بازدهی تولید نسبت به تیمارهای شاهد خواهد شد (Lopez *et al*., 2016). در تحقیقی دیگر که توسط Abdel-Latif و همکاران (۲۰۲۳) صورت گرفت ترکیبی از میکروارگانیسم‌های پروبیوتیکی (باسیلوس سابتیلیس، لاکتوباسیلوس پلانتاروم، انتروکوکوس فاسیوم در جیرهٔ گربهٔ ماهی پنگوسی (*Pangasianodon hypophthalmus*) انگشت‌قد در مقادیر مختلف ۰/۵، ۱ و ۱/۵ گرم در کیلوگرم خوراک استفاده شد. در انتهای آزمایش، آنها مشاهده کردند که همراه با افزایش مقدار مصرف پروبیوتیک در جیرهٔ غذایی، شاخص‌های رشد و تغذیه با افزایش معنی‌دار همراه بودند. استفاده از باکتری باسیلوس لیکنی‌فورمیس نیز در جیرهٔ غذایی سبب افزایش معنی‌دار شاخص‌های رشد و پاسخ‌های ایمنی در ماهی تیلاپیای موزامبیک (*Oreochromis mossambicus*) شد (Yaqub *et al*., 2021). استفاده از باسیلوس لیکنی‌فورمیس در جیرهٔ غذایی ماهی کپور معمولی (*Cyprinus carpio*) و کپور هندی مریگال موجب بهبود رشد در این ماهی شد (Zhang *et al*., 2021). بنابراین با توجه به این اصل که پروبیوتیک‌ها و پربیوتیک‌ها می‌توانند با اصلاح و تغییر فلور میکروبی لولهٔ گوارشی ماهی سبب تحریک مکانیسم‌های هضم و جذب شوند که در نهایت موجب بهبود شرایط گوارشی غذا در ماهی می‌شود (Amir *et al*., 2019). در این آزمایش نیز استفاده از افزودنی‌های میکروارگانیسمی به‌عنوان پروبیوتیک و پربیوتیک در جیرهٔ حاوی کنجالهٔ کنجد سبب اثرگذاری مثبت روی شرایط هضم و جذب غذا و در نهایت بهبود شاخص‌های رشد و تغذیه و نیز بقا به‌خصوص در تیمار تلفیقی شده‌اند.

به‌طور کلی اطلاعات اندکی در ارتباط با اثرگذاری پروبیوتیک‌ها و پربیوتیک‌ها روی انباشت پروتئین، چربی و خاکستر در لاشهٔ آبزیان وجود دارد. تحلیل‌های آماری نتایج مربوط به ترکیبات بیوشیمیایی عضلهٔ ماهیان قزل‌آلا در این آزمایش نشان دادند که

استفاده از افزودنی‌های غذایی پروبیوتیکی باسیلوسی و دیوارهٔ مخمر اتولیز شده در جیرهٔ غذایی حاوی ۱۵ درصد کنجالهٔ کنجد، توانست اثرات معنی‌داری روی مقادیر پروتئین و خاکستر عضلهٔ این ماهی نسبت به تیمار شاهد بگذارد. همسو با نتایج آزمایش حاضر Garcia و همکاران (۲۰۱۹) اثرات مصرف پروبیوتیک مخمر و پربیوتیک فروکتوالیگوساکارید را به‌صورت مجزا و ترکیبی در تیمارهای مختلف روی ترکیبات پروتئینی و چربی عضلهٔ ماهی قزل‌آلا مورد بررسی قرار دادند که در انتها نتایج آنها نشان داد که در تیمار ترکیبی و نیز گروهی که از فروکتو الیگوساکارید استفاده کرده بودند، میزان پروتئین لاشه به‌صورت معنی‌داری افزایش خواهد داشت، اما در ارتباط با میزان چربی عضله اختلاف معنی‌داری میان گروه‌های مختلف مشاهده نشد. براساس گزارش Lara-Flores و همکاران (۲۰۰۳) مشخص شد که استفاده از مخمر در جیرهٔ ماهی تیلاپیای نیل سبب بهبود هضم پروتئین و ذخیره‌سازی آن در لاشه گردید. Yilmaz و همکاران (۲۰۰۷) بیان کردند که افزایش سطح پربیوتیک مانان‌الیگوساکارید در جیرهٔ ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان سبب افزایش پروتئین لاشه در این ماهی گردید. همچنین اندازه‌گیری ترکیب بیوشیمیایی لاشهٔ بچه‌ماهیان انگشت قد تیلاپیای نیل تغذیه شده با پروبیوتیک ترکیبی از باسیلوس سابتیلیس و باسیلوس سرئوس (*B. cereus*)، افزایش معنی‌داری را در ابقا ریزمغذی‌ها نشان دادند که در نتیجه آن بهبود در کیفیت لاشه حاصل شد (Mello *et al*., 2013). مطالعاتی هستند که در آن نویسندگان بیان کردند که استفاده از پروبیوتیک در جیرهٔ حاوی کنجالهٔ کلزا موجب افزایش معنی‌دار چربی و پروتئین در لاشهٔ ماهی انگشت‌قد کپور معمولی خواهد شد (Mazurkiewicz *et al*., 2005; Dhanaraj *et al*., 2010). همچنین Azarin و همکاران (۲۰۱۵) پروبیوتیک تلفیقی از باسیلوس سابتیلیس و باسیلوس لیکنی‌فورمیس را در سطح 10^9 CFU در گرم از جیرهٔ غذایی ماهی سفید دریای خزر (*Rutilus frisii kutum*) به کار بردند و در نهایت گزارش کردند که میزان پروتئین لاشهٔ این ماهی به‌صورت معنی‌داری در تیمارهای حاوی پروبیوتیک نسبت به تیمار شاهد بالاتر بود. با توجه به موارد ذکر شده می‌توان گفت که استفاده از افزودنی‌های غذایی در جیرهٔ حاوی کنجالهٔ کنجد منجر به دسترسی بیشتر ریزمغذی‌هایی از جمله پروتئین و چربی می‌شود و این موضوع موجب بهبود کیفیت لاشهٔ ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان به‌لحاظ ترکیب بیوشیمیایی شد. بنابراین، می‌توان این‌گونه بیان نمود که مصرف پروبیوتیک باسیلوسی در گروه SB به‌دلیل فعالیت‌های آنزیمی این باکتری‌ها سبب بهبود شرایط هضمی مواد مغذی می‌شود و در تیمار ترکیبی حضور پربیوتیکی دیوارهٔ مخمر به افزایش فعالیت این باکتری‌ها و نشست آنها در دستگاه گوارش کمک کرده است و تأثیر مثبتی نیز بر تقویت سیستم ایمنی خواهد گذاشت. باید توجه کرد که دیوارهٔ اتولیز شده مخمر به‌تنهایی قادر به تأثیرگذاری روی افزایش هضم مواد غذایی نیست، و موضوع زمانی‌که از مخمر زنده و کامل به‌عنوان پروبیوتیک در جیرهٔ غذایی ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان بر پایهٔ مواد گیاهی استفاده شد به اثبات رسیده است، زیرا مخمر زنده نیز سبب افزایش بازدهی رشد این ماهی خواهد گردید (Hernandez *et al*., 2017).

با توجه به اینکه طول لولهٔ گوارش در گونه‌های گوشتخوار مثل ماهی قزل‌آلا به نسبت کمتر از گونه‌های همه‌چیزخوار و نیز گیاه‌خوار است، بنابراین مواد غذایی مصرف شده در فرصت محدودتری باید تحت فرآیندهای هضم و جذب قرار گیرند. بنابراین یا باید منابع با قابلیت هضم بالا در جیره استفاده کرد و یا اینکه عوامل دخیل در فرآیند هضم که مهمترینشان غلظت و مقدار آنزیم‌های گوارشی است را در لولهٔ گوارشی ارتقاء داد. برهمین اساس، پتانسیل باکتری‌های باسیلوسی در افزایش قابلیت هضم مواد غذایی و تأثیرگذاری در تحریک ترشح آنزیم‌های گوارشی مثل آمیلاز، پروتئاز و سلولاز در لولهٔ گوارشی آبزیان در مطالعات بسیاری به اثبات رسیده است (Ziaei Nejad *et al*., 2006; Suzer *et al*., 2008). نتایج مربوط به قابلیت هضم ظاهری مواد مغذی جیره‌های آزمایشی در این تحقیق نشان دادند که استفاده از افزودنی پروبیوتیک باسیلوسی در تیمارSB در جیرهٔ پایه حاوی کنجالهٔ کنجد می‌تواند روی میزان قابلیت هضم ظاهری مواد غذایی اثرات معنی‌دار داشته باشند، اما در جیرهٔ حاوی دیوارهٔ اتولیز شده مخمر (SY) اختلاف معنی‌دار نسبت به تیمار شاهد مشاهده نشد. مطالعاتی که صورت گرفته‌اند گزارش داده‌اند که حضور باکتری‌های باسیلوس سابتیلیس و باسیلوس لیکنی‌فورمیس در جیرهٔ غذایی موجب رشد بیشتر در ماهی، افزایش قابلیت هضم مواد غذایی، بهبود نرخ کارایی پروتئین، افزایش مصرف غذا، تولید ویتامین‌ها و افزایش فعالیت آنزیم‌های گوارشی شدند (Gobi *et al*., 2018; Romanova *et al*., 2020; Jin *et al*., 2021).

۵. نتیجه‌گیری کلی

با توجه به نتایج به‌دست آمده در این آزمایش می‌توان بیان کرد که استفاده از پروبیوتیک متشکل از سویه‌های باسیلوسی و نیز پربیوتیک حاصل از دیوارهٔ مخمر در جیرهٔ حاوی کنجالهٔ کنجد موجب ارتقاء شاخص‌های رشد و تغذیه و همچنین بقاء بیشتر در ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان خواهد شد و افزایش میزان قابلیت هضم‌پذیری اجزای غذایی از جمله پروتئین، چربی و انرژی در جیرهٔ غذایی این ماهی را نشان می‌دهد. کاهش ضریب تبدیل غذایی و افزایش نرخ بهره‌وری پروتئین و چربی، افزایش سهم این مواد ریزمغذی در عضلهٔ این ماهی نیز موجب افزایش کیفیت لاشه شد.

References

Abdel-Latif, H.M.R. Chaklader, M.R., Shukry, M., Ahmed, H.A., Khallaf, M.A., 2023. A multispecies probiotic modulates growth, digestive enzymes, immunity, hepatic antioxidant activity, and disease resistance of *Pangasianodon hypophthalmus* fingerlings. *Aquaculture* 563(1), 738948. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2022.738948

Amir, I., Zuberi, A., Kamran, M., Imran, M., Mahmood, U, M., 2019. Evaluation of commercial application of dietary encapsulated probiotic *(Geotrichum candidum* QAUGC01): Effect on growth and immunological indices of rohu (*Labeo rohita*, Hamilton 1822) in semi-intensive culture system. *Fish and Shellfish Immunology* 95, 464-472. DOI: 10.1016/j.fsi.2019.11.011

AOAC. 2004. Association of Official Analytical Chemists. Official Methods of Analysis. 18th ed, Gaithersburg, MD, p. 240.

Azarin, H., Aramli, M.S., Imanpour, M.R., Rajabpour, M., 2015. Effect of a probiotic containing *Bacillus licheniformis* and *Bacillus subtilis* and ferroin solution on growth performance, body composition and haematological parameters in Kutum *(Rutilus frisii kutum)* fry. *Probiotics and Antimicrobial Proteins* 7(1), 31-37. DOI: 10.1007/s12602-014-9180-4

Barnes, M.E., Durben, D.J., Reeves, S.G., Sanders, R., 2006. Dietary yeast culture supplementation improves initial rearing of McConaughy strain rainbow trout. *Aquaculture Nutrition* 12, 388-394. DOI: 10.1111/j.1365-2095.2006.00439.x

Barrows, F.T., Stone, D.A.J., Hardy, R.W., 2007. The effects of extrusion conditions on the nutritional value of soy bean meal for rainbow trout (*Onchorhynchus mykiss*). *Aquaculture* 256, 244-252. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2007.01.017

Catacutan, M.R., Eusebio, P.S., Teshima, S.I., 2003. Apparent digestibility of selected feedstuffs by mud crab (*Scylla serrate*). *Aquaculture* 216, 253-261. DOI: 10.1016/S0044-8486(02)00408-8

Chiu, C.H., Cheng, C.H., Gua, W.R., Guu, Y.K., Cheng, W., 2010. Dietary administration of the probiotic, *Saccharomyces cerevisiae* P13, enhanced the growth, innate immune responses, and disease resistance of the grouper, *Epinephelus coioides*. *Fish and Shellfish Immunology* 29, 1053–1059. DOI: 10.1016/j.fsi.2010.08.019

Cui, W., Han, L., Suo, F., Liu, Z., Zhou, L., Zhou, Z., 2018. Exploitation of *Bacillus subtilis* as a robust workhorse for production of heterologous proteins and beyond. *World Journal Microbiology Biotechnology* 34, 145. https://doi.org/10.1007/s11274-018-2531-7

Degani, G., 2006. Digestible energy in dietary sorghum, wheat bran and rye in common carp *(Cyprinus carpio L.). Journal of Aquaculture* 58(2), 71-77. DOI: 10.46989/001c.20438

De Padua, M.R., 1983. Some functional and utilization characteristics of sesame flour and proteins. *Journal of Food Science* 48(4), 1145-1147. DOI: 10.1111/j.1365-2621.1983.tb09178.x

Dhanaraj, M., Haniffa, M.A., Singh, S.A., Arockiaraj, A.J., Ramakrishanan, C.M., Seetharaman, S., Arthimanju, R., 2010. Effect of probiotics on growth performance of koi carp *(Cyprinus carpio). Journal of Applied Aquaculture* 22(3), 202-209. DOI: 10.1080/10454438.2010.497739

EL-Saadony, M.T., Alagawany, M., Patra, A.K., Kar, I., Tiwari, T., Dawood, M.A.O., Dhama, K., Abdel-Latif, H.M.R., 2021. The functionality of probiotics in aquaculture: An overview. *Fish and Shellfish Immunology* 117, 36-52. DOI: 10.1016/j.fsi.2021.07.007

FAO. 2019. The State of World Fisheries and Aquaculture 2016. Contributing to Food Security and Nutrition for All. FAO, Rome, 200 p.

Francis, G., Makkar, H.P.S., Becker, K., 2001. Anti-nutritional factors present in plant-derived alternate fish feed ingredients and their effects in fish. *Aquaculture* 199, 197-227. DOI: 10.1016/S0044-8486(01)00526-9

Garcia, R.A., Hernandez, L.H., Longoria, J.A., Araiza, M.A., 2019. Inclusion of yeast and/or fructooligosaccharides in diets with plant-origin protein concentrates for rainbow trout *(Oncorhynchus mykiss)* fingerlings. *World Aquaculture Society* 2019, 1-12. DOI: 10.1111/jwas.12661

Gatlin, D.M., Barrows, F.T., Brown, P., 2007. Expanding the utilization of sustainable plant products in aqua feeds: a review. *Aquaculture Research* 38, 551-579. DOI: 10.1111/j.1365-2109.2007.01704.x

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. DOI: 10.1111/j.1365-2095.2007.00450.x

Glencross, B., Hawkins, W., Evans, D., Rutherford, N., Dods, K., Mccafferty, P., Sipsas, S., 2008. Evaluation of the influence of *Lupinus angustifolius* kernel meal on dietary nutrient and energy utilization efficiency by rainbow trout *(Oncorhynchus mykiss). Aquaculture Nutrition*, 14, 129-138. DOI: 10.1111/j.1365-2095.2007.00512.x

Gobi, N., Vaseeharan, B., Chen, J.C., Rekha, R., Vijayakumar, S., Anjugam, M., Iswarya, A., 2018. Dietary supplementation of probiotic *Bacillus licheniformis* Dahb1 improves growth performance, mucus and serum immune parameters, antioxidant enzyme activity as well as resistance against *Aeromonas hydrophila* in Tilapia *Oreochromis mossambicus*. *Fish and Shellfish Immunology* 74, 501-508. DOI: 10.1016/j.fsi.2017.12.066

Grisdale-Helland, B., Helland, S. J., Gatlin, D. M., 2008. The effects of dietary supplementations with mannanoligosaccharide, fructooligosaccaride or galactooligosaccharide on the growth and feed utilization of Atlantic salmon *(Salmo salar)*. *Aquaculture* 283, 163-167. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2008.07.012

Hernández, H.L.H., Fernández, M.A., Hernández, G.Y., 2017. Effects of plant-based on the immune responses of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum). In B. Richardson (Ed.), Tilapia and trout, harvesting, prevalence and benefits pp. 157-166). New York, NY: Nova.

Irianto, A., Austin, B., 2002. Probiotics in aquaculture. *Journal of Fish Disease* 25, 633-642. DOI: 10.1046/j.1365-2761.2002.00422.x

Jin, P., Tan, Z., Wang, H., Liu, W., Miao, W., 2021. Antimicrobial effect of *Bacillus licheniformis* HN-5 bacitracin A on rice pathogen *Pantoea ananatis*. *BioControl* 66(2), 249-257. DOI: 10.1007/s10526-020-10052-9

Kuebutornye, F.K., Wang, Z., Lu, Y., Abarike, E.D., Sakyi, M.E., Li, Y., Hlordzi, V., 2020. Effects of three hostassociated *Bacillus* species on mucosal immunity and gut health of Nile Tilapia, *Oreochromis niloticus* and its resistance against *Aeromonas hydrophila* infection. *Fish and Shellfish Immunology* 97, 83-95. DOI: 10.1016/j.fsi.2019.12.046

Lara-Flores, M., Olvera-Novoa, M.A., Guzman-Mendez, B.E., Lopez-Madrid W., 2003. Use of the bacteria *Streptococcus faecium* and *Lactobacillus acidophilus*, and the yeast *Saccharomyces cerevisiae* as growth promoters in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture* 216: 193-201. DOI: 10.1016/S0044-8486(02)00277-6

Liu, H., Wu, X., Zhao, W., Xue, M., Guo, L., Zheng, Y., Yu, Y., 2009. Nutrients apparent digestibility coefficients of selected protein sources for juvenile Siberian sturgeon (*Acipenser baerii Brandt*), compared by two chromic oxide analyses methods. *Aquaculture Nutrition* 15, 650-656. DOI: 10.1111/j.1365-2095.2008.00634.x

Lopez, L.M., Olmos, S.J., Trejo, E.I., Flores, I.M., Ochoa, L., Mark, D., Peres, H., 2016. Evaluation of carbohydrate-to-lipid ratio in diets supplemented with *Bacillus subtilis* probiotic strain on growth performance, body composition and digestibility in juvenile white seabass (*Atractoscion nobilis*, Ayres 1860). *Aquaculture Research* 47, 1864-1873. DOI: 10.1111/are.12644

Manning, A.S., Gibson, G.R., 2004. Prebiotics. Best Practice and Research: *Clinical Gastroenterology* 18, 287-298. DOI: 10.1016/j.bpg.2003.10.008

Mazurkiewicz, J., Przbyl, A., Mroczyk, W., 2005. Supplementing the feed of common carp *(Cyprinus Carpio)* juveniles with the biosaf probiotic. *Fisheries and Aquatic Life* 13(2), 171-180.

Mello, H., Moraes, J.R.E., Niza, I.G., Moraes, F.R., Ozorio, R.O.A., Shimada, M.T., Engracia filho, J.R. Claudiano, G.S., 2013. Benefits effects of the probiotics in intestine of Nile Tilapia *(Oreochromis niloticus)*. *Pesquisa Veterinária Brasileira* 33(6), 724-730. DOI: 10.1590/S0100-736X2013000600006.

Montero, D., Mathlouthi, F., Tort, L., Afonso, J.M., Torrecillas, S., Fernandez-Vaquero, A., Negrin, D., Izquierdo M.S. 2010., Replacement of diatary fish oil by vegetable oils affects humoral immunity and expression of pro-inflammatory cytokines genes in gilthead sea bream *(Sparus aurata)*. *Fish and Shellfish Immunology* 29, 1073-1081. DOI: 10.1016/j.fsi.2010.08.024

Ochoa, S.J.L., Olmos S.J., 2006. The functional property of *Bacillus* for shrimp feeds. *Food Microbiology 23*, 519–525. DOI: 10.1016/j.fm.2005.10.004

Oliva-Teles, A., Enes, P., Peres, H., 2015. Replacing fishmeal and fish oil in industrial aquafeeds for carnivorous fish. In: Davis, D.A. (Ed.), Feed and Feeding Practice in Aquaculture. Woodhead Publishing, Cambridge.

Olmos, J., Ochoa, L., Paniagua-Michel, J., Contreras, R., 2011. Functional feed assessment on *Litopenaeus vannamei* using 100% fish meal replacement by soybean meal, high levels of complex carbohydrates and *Bacillus* probiotic strains. *Mar Drugs* 9, 1119-2113. DOI: 10.3390/md9061119

Onsaard, E., Pomsamud, P., Audtum, P., 2010. Functional properties of sesame protein concentrates from sesame meal. *Asian Journal of Food and AgroIndustry* 3(4), 420-431.

Piazzon, M.C., Calduch-Giner, J.A., Fouz, B., Estensoro, I., Simo-Mirabet, P., Puyalto, M., Karalazos, V., Palenzuela, O., Sitja-Bobadilla, A., Perez-Sanchez, J., 2017. Under control: how a dietary additive can restore the gut microbiome and proteomic profile, and improve disease resilience in a marine teleostean fish fed vegetable diets. *Microbiome* 5, 164. DOI: 10.1186/s40168-017-0390-3

Refstie, S., Baeverfjord, G., Seim, R.R., Elvebo, O., 2010. Effects of dietary yeast cell wall β-glucans and MOS on performance, gut health, and salmon lice resistance in Atlantic salmon *(Salmo salar)* fed sunflower and soybean meal. *Aquaculture* 305, 109-116. DOI: 10.1016/J.AQUACULTURE.2010.04.005

Ricker, W.E., 1979. Growth rates and models. *Fish Physiology* 8, 677-743. DOI: 10.1016/S1546-5098(08)60034-5

Romanova, E., Spirina, E., Romanov, V., Lyubomirova, V., Shadyeva, L., 2020. Effects of *Bacillus subtilis* and *Bacillus licheniformis* on catfish in industrial aquaculture. In E3S Web of Conferences, 175: 02013). EDP Sciences. DOI: DOI: 10.1051/e3sconf/202017502013

Ronyai, A., Peteri, A., Radics, F., 1990. Cross breeding of sterlet and Lena River's sturgeon. *Aquaculture Hungrica* 6, 13-18.

Soto, J.O., de Jesu S., Paniagua-Michel, J., Lopez, L., Ochoa, L., 2015. Functional feeds in aquaculture. In Springer Handbook of Marine Biotechnology, S.-K. Kim, ed. (Springer), pp. 1303-1319.

Sotoudeh, E., Amiri Moghaddam, J., Shahhosseini, G. and Aramli, M.S., 2016. Effect of Dietary Gamma-irradiated and Fermented Soybean Meal on the Growth Performance, Body Composition, and Digestive Enzymes Activity of Caspian Brown Trout, *Salmo trutta caspius*, Juvenile. *Journal of the World Aquaculture Society* 47, 830-842. DOI: 10.1111/jwas.12297

Sutriana, A., Hashim, R., Akter, M.N., Nor, S.A.M., 2018. Galactoolisaccharide and a combination of yeast and β-glucan supplements enhance growth and improve intestinal condition in striped catfish *Pangasianodon hypophthlamus* fed soybean meal diets. *Fisheries Science* 84, 523-533. DOI:10.1007/s12562-018-1195-4

Suzer, C., Coban, D., Kamaci, H.O., Saka, S., Firat, K., Otgucuoglu, O., Kucuksari, H., 2008. *Lactobacillus* spp. bacteria as probiotics in gilthead sea bream (*Sparus aurata*, L.) larvae: effects on growth performance and digestive enzyme activities. *Aquaculture* 280(1-4): 140- 145. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2008.04.020

Takakuwa, F., Suzuri, K., Horikawa, T., Nagahashi, K., Yamada, S., Biswas, A., Tanaka, H., 2020. Availability of potato protein concentrate as an alternative protein source to fish meal in greater amberjack *(Seriola dumerili)* diets. *Aquaculture Research* 51, 1293-1302. DOI: 10.1111/are.14480

Wang, A., Ran, C., Wang, Y., Zhang, Z., Ding, Q., Yang, Y., Zhou, Z., 2019. Use of probiotics in aquaculture of China. A review of the past decade. *Fish and Shellfish Immunology* 86, 734-755. DOI: 10.1016/j.fsi.2018.12.026

Yang, H.G., Liu Y.J., Tian L.L., Liang Y.G., Lin H.R., 2010. Effects of supplemental lysin and methionine on growth performance and body composition for grass carp *(Ctenopharyngodon idella). American Journal of Agricultural and Biological Sciences* 5(2), 222-227. DOI: 10.3844/ajabssp.2010.222.227

Yaqub, A., Awan, N.M., Kamran, M., Majeed, I., 2022. Evaluation of potential applications of dietary probiotic (*Bacillus licheniformis* SB3086): Effect on growth, digestive enzyme activity, hematological, biochemical, and immune response of Tilapia *(Oreochromis mossambicus). Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 22(5), TRJFAS19882. DOI: 10.4194/TRJFAS19882

Yilmaz, E., Genc, M.A., Genc, E., 2007. Effects of dietary mannan oligosaccharides on growth, body composition, and intestine and liver histology of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *The Journal of Aquaculture—Bamidgeh* 59, 182-188.

Yilmaz, S., Yilmaz, E., Dawood, M.A.O., Ring, E., Ahmadifar, E., Abdel-Latif, H.M.R., 2022. Probiotics, prebiotics, and synbiotics used to control vibriosis in fish: A review. *Aquaculture* 547: 737514. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2021.737514

Yu, M.C., Li, Z.J., Lin, H.Z., Wen, G.L., Ma, S., 2009. Effects of dietary medicinal herbs and *Bacillus* on survival, growth, body composition, and digestive enzyme activity of the white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture International* 17, 377-384. DOI: 10.1007/s10499-008-9209-3

Zhang, J., Huang, M., Feng, J., Chen, Y., Li, M., Chang, X., 2021. Effects of dietary *Bacillus licheniformis* on growth performance, intestinal morphology, intestinal microbiome, and disease resistance in common carp *(Cyprinus carpio* L.*). Aquaculture International* 29(3), 1343-1358. DOI: 10.1007/s10499-021-00701-w

Ziaei-Nejad, S., Rezaei, M.H., Takami, G.A., Lovett, D.L., Mirvaghefi, A., Shakouri, M., 2006. The effect of *Bacillus* spp. bacteria used as pro-biotics on digestive enzyme activity, survival and growth in the Indian white shrimp *Fenneropenaeus indicus*. *Aquaculture* 252, 516-524. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2005.07.021

Zokaeifar, H., Balcazar, J.L., Saad, C.R., Kamarudin, M.S., Sijam, K., Arshad, A., Nejat, N., 2012. Effects of *Bacillus subtilis* on the growth performance, digestive enzymes, immune gene expression and disease resistance of white shrimp, *Litopenaeus vannamei*. *Fish and Shellfish Immunology* 33, 683-689. DOI: 10.1016/j.fsi.2012.05.027