

The effects of feeding zinc enriched yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) on growth and carcass quality of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*)

Gharekhani, A.*

Assistant Professor, Department of Veterinary Medicine, Maku Branch, Islamic Azad University, Maku, Iran.

*Corresponding authors email: a.gharekhani@iau.ac.ir

(Received: 2025/1/8 Accepted: 2025/4/28)

Expanded Abstract

Background and Objective: In alignment with the United Nations Sustainable Development Goals, food security and global nutrition are recognized as fundamental priorities in development agendas. Within this framework, fish plays a pivotal role as a primary source of animal protein, critically contributing to the nutritional health of the world's growing population. Rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) is one of the most important cultured species in global aquaculture, widely utilized in the industry due to its high growth rate, ability to consume artificial diets, and adaptability to various rearing conditions. Nevertheless, aquaculture systems face several challenges, including environmental stressors, immunosuppression, and the indiscriminate use of antibiotics, that limit their efficiency and sustainability. In recent years, the use of natural feed additives, particularly probiotics such as the yeast *Saccharomyces cerevisiae*, has gained attention as an environmentally compatible and sustainable strategy. This yeast acts not only as a biological growth promoter but also enhances overall fish health by stimulating the immune system, improving nutrient absorption, and modulating the intestinal microbiota. Concurrently, zinc (Zn), as an essential trace element, plays a vital role in fish growth, reproduction, immune function, and metabolism; its deficiency can lead to reduced growth, impaired immunity, and structural abnormalities. Based on these premises, this study was designed to evaluate the effects of dietary supplementation with *S. cerevisiae* enriched with zinc on growth performance, carcass quality, and biochemical zinc levels in rainbow trout.

Materials and Methods: This experimental study was conducted in autumn 2022 (Iranian calendar year 1401) at the Artemia and Aquaculture Research Institute of Urmia University. The yeast *S. cerevisiae* (PTCC 5269) was enriched with zinc oxide using the standard method described by Stehlik-Tomas et al. (2004). The successful enrichment was confirmed via lyophilization followed by acid digestion. A total of 720 rainbow trout fingerlings with an initial average weight of 29 ± 5 g were randomly assigned to four experimental groups, comprising a control group and three treatment groups receiving *S. cerevisiae* enriched with zinc at concentrations of 1×10^6 , 1×10^7 and 1×10^8 CFU/g, each with three replicates. The experimental period lasted 75 days: during the first 60 days, fish were fed diets supplemented with zinc-enriched yeast, and during the final 15 days, all groups received only the basal diet. Growth

indices, including final weight, specific growth rate (SGR), weight gain percentage, and condition factor (CF), were calculated. Carcass quality was assessed by determining the percentages of muscle and liver protein and fat using the AOAC (2008) methodology. Zinc concentrations in serum, muscle, and liver tissues were measured on days 0 and 60 using atomic absorption spectrophotometry. Data were statistically analyzed using SPSS software (version 19) with one-way ANOVA and Tukey's post hoc test at a significance level of 5%.

Findings: Fish fed the 1×10^7 CFU/g zinc-enriched yeast concentration exhibited the highest final weight (106.67 ± 8.4 g) and final length (20.45 ± 2.28 cm), which were significantly greater ($p < 0.05$) than those of the control group. Furthermore, all growth indices, including growth rate, specific growth rate, and condition factor, were significantly higher in all treatment groups compared to the control. Regarding carcass quality, muscle fat content in the control group (4.59%) was significantly lower than in the supplemented groups, whereas liver fat content in the control group (1.86%) was significantly higher than in the other groups. Muscle protein was slightly higher in the 1×10^7 CFU/g group (18.87%), although this difference was not statistically significant. Zinc concentration in the supplemented diets showed a direct relationship with yeast concentration; the highest zinc levels were observed in the 1×10^8 CFU/g group: serum (314 ± 8 $\mu\text{g/mL}$), liver (56.33 ± 0.6 $\mu\text{g/g}$), and muscle (19.56 ± 0.2 $\mu\text{g/g}$). Moreover, serum zinc levels were significantly higher than those in liver and muscle tissues.

Conclusion: The findings of this study demonstrate that dietary supplementation of rainbow trout with *S. cerevisiae* enriched with zinc significantly improves growth performance and enhances carcass quality by reducing liver fat (an indicator of metabolic health) and increasing muscle fat (a marker of higher nutritional value). Given the absence of statistically significant differences in growth indices between the 1×10^7 and 1×10^8 CFU/g groups, the concentration of 1×10^7 CFU/g is recommended as the optimal and cost-effective level. This approach not only reduces reliance on antibiotics but also represents a sustainable strategy for improving aquaculture productivity and final product quality in the aquaculture industry.

Keywords: *Saccharomyces cerevisiae*, zinc, rainbow trout, growth factors, carcass quality, probiotic, mineral enrichment.

Conflict of interest: None declared.

بررسی اثرات تغذیه با مخمر ساکارومایسس سرویزیه (*Saccharomyces cerevisiae*)

غنی‌شده با فلز روی، بر رشد و کیفیت لاشه ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان

(Oncorhynchus mykiss)

احمد قره‌خانی*

۱- استادیار گروه دامپزشکی، واحد ماکو، دانشگاه آزاد اسلامی، ماکو، ایران.

*نویسنده مسئول مکاتبات: a.gharekhani@iau.ac.ir

(دریافت مقاله: ۱۴۰۳/۱۰/۱۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۲/۸)

چکیده مبسوط

زمینه و هدف: در راستای اهداف توسعه پایدار سازمان ملل متحد، امنیت غذایی و تأمین تغذیه جهانی اولویت‌های اساسی برنامه‌های توسعه محسوب می‌شوند. در این چارچوب، ماهی به‌عنوان یکی از منابع اصلی پروتئین حیوانی، نقش کلیدی در تأمین سلامت غذایی جمعیت رو به رشد جهان ایفا می‌کند. ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان (*Oncorhynchus mykiss*) یکی از مهم‌ترین گونه‌های پرورشی در آبی‌پروری جهان است که به دلیل نرخ رشد بالا، توانایی تغذیه با خوراکی‌های مصنوعی و سازگاری با شرایط پرورشی، گسترده‌ترین کاربرد را در صنعت آبی‌پروری دارد. با این وجود، چالش‌هایی از جمله استرس‌های محیطی، سرکوب سیستم ایمنی و استفاده بی‌رویه از آنتی‌بیوتیک‌ها، کارایی این سیستم‌ها را محدود می‌کند. در سال‌های اخیر، استفاده از مواد افزودنی طبیعی مانند پروبیوتیک‌ها به‌ویژه مخمر ساکارومایسس سرویزیه (*Saccharomyces cerevisiae*)، به‌عنوان راهکاری پایدار و سازگار با محیط‌زیست مورد توجه قرار گرفته است. این مخمر نه تنها به‌عنوان یک عامل رشدزای بیولوژیک عمل می‌کند، بلکه با فعال‌سازی سیستم ایمنی، بهبود جذب مواد مغذی و تعدیل میکروفلور روده، سلامت کلی ماهی را ارتقا می‌دهد. هم‌زمان، روی (Zn) به‌عنوان یک عنصر کمیاب ضروری، در رشد، تکثیر، سیستم ایمنی و متابولیسم ماهی‌ها نقش حیاتی دارد و کمبود آن منجر به کاهش رشد، ضعف ایمنی و آسیب‌های ساختاری می‌شود. با توجه به این مبانی، این مطالعه با هدف ارزیابی تأثیر غذایی با مخمر *S. cerevisiae* غنی‌شده با روی بر شاخص‌های رشد، کیفیت لاشه و سطوح بیوشیمیایی روی در ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان طراحی شد.

مواد و روش‌ها: این مطالعه تجربی در پاییز ۱۴۰۱ در پژوهشکده آرتما و آبی‌پروری دانشگاه ارومیه انجام گرفت. مخمر *S. cerevisiae* (PTCC 5269) با استفاده از روش استاندارد Stehlik-Tomas و همکاران (۲۰۰۴) با اکسید روی غنی‌سازی شد و غنی‌شدگی با روش لیوفیلیزاسیون و هضم اسیدی تأیید گردید. ۷۲۰ قطعه ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان با میانگین وزن اولیه 5 ± 29 گرم در چهار گروه آزمایشی شامل: گروه شاهد و سه گروه تیمار با غلظت‌های 1×10^6 ، 1×10^7 و 1×10^8 از مخمر غنی‌شده با روی و سه تکرار تقسیم شدند. دوره آزمایش ۷۵ روزه بود که در ۶۰ روز اول، ماهیان با جیره‌های حاوی مخمر غنی‌شده با روی و در ۱۵ روز

پایانی تنها با جیره پایه تغذیه شدند. شاخص‌های رشد شامل وزن نهایی، نرخ رشد ویژه (SGR)، درصد افزایش وزن و فاکتور وضعیت (CF) محاسبه گردید. همچنین کیفیت لاشه با اندازه‌گیری درصد پروتئین و چربی عضله و کبد بر اساس روش AOAC (2008) ارزیابی شد. میزان روی در سرم، عضله و کبد ماهیان در روزهای صفر و ۶۰ با استفاده از دستگاه اسپکترومتری جذب اتمی تعیین گردید. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS (نسخه ۱۹) و آزمون‌های ANOVA یک‌طرفه و توکی در سطح معنی‌داری ۰.۰۵٪ انجام پذیرفت.

یافته‌ها: ماهیان تغذیه‌شده با غلظت 1×10^7 CFU/g از مخمر غنی‌شده با روی، بالاترین وزن نهایی ($106/67 \pm 8/4$ گرم) و طول نهایی ($45/20 \pm 2/28$ سانتی‌متر) را داشتند که به‌طور معنی‌داری ($p < 0/05$) بیشتر از گروه شاهد بود. همچنین، شاخص‌های رشد شامل نرخ رشد، نرخ رشد ویژه و فاکتور وضعیت در تمام گروه‌های تیمار به‌طور معنی‌داری بالاتر از گروه شاهد بودند. از نظر کیفیت لاشه، میزان چربی عضله در گروه شاهد ($4/59$ ٪) به‌طور معنی‌داری کمتر از سایر گروه‌ها بود، در حالی که چربی کبد در این گروه ($1/86$ ٪) به‌طور معنی‌داری بیشتر از سایر گروه‌ها بود. پروتئین عضله در گروه 1×10^7 CFU/g نسبتاً بالاتر ($18/87$ ٪) بود، اگرچه این تفاوت از نظر آماری معنی‌دار نبود. از سوی دیگر، میزان روی در غذای غنی‌شده با مخمر رابطه مستقیمی با غلظت مخمر داشت، به‌طوری‌که بیشترین میزان روی در سرم ($314 \pm 8/0$ میکروگرم/میلی‌لیتر)، کبد ($56/33 \pm 6/0$ میکروگرم/گرم) و عضله ($19/56 \pm 2/0$ میکروگرم/گرم) در گروه 1×10^8 CFU/g مشاهده شد. همچنین، میزان روی در سرم به‌طور معنی‌داری بیشتر از بافت‌های کبد و عضله بود.

نتیجه‌گیری: یافته‌های این مطالعه نشان می‌دهد که تکمیل جیره ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان با مخمر *S. cerevisiae* غنی‌شده با روی، نه تنها شاخص‌های رشد را به‌طور معنی‌داری بهبود می‌بخشد، بلکه سبب ارتقای کیفیت لاشه از طریق کاهش چربی کبد (شاخصی از سلامت متابولیک) و افزایش چربی عضله (شاخص ارزش غذایی بالاتر) می‌گردد. با توجه به این که بین گروه‌های 1×10^7 و 1×10^8 از نظر شاخص‌های رشد تفاوت آماری معنی‌داری مشاهده نشد، استفاده از غلظت 1×10^7 CFU/g به‌عنوان سطح بهینه و اقتصادی پیشنهاد می‌شود. این روش نه تنها به کاهش وابستگی به آنتی‌بیوتیک‌ها کمک می‌کند، بلکه به‌عنوان یک استراتژی پایدار در جهت ارتقای عملکرد پرورشی و کیفیت محصول نهایی در صنعت آبزی‌پروری مطرح است.

واژگان کلیدی: ساکارومایسس سرویزیه، روی، قزل‌آلای رنگین‌کمان، فاکتورهای رشد، کیفیت لاشه، پروبیوتیک، غنی‌سازی معدنی.

مقدمه

ماهی قزل‌آلا، دشوارتر و پرهزینه‌تر باشد (Naylor *et al.*, 2021).

ماهی قزل‌آلا از راسته آزاد ماهی شکلان (Salmoniformes) و از خانواده سالمونیده (Salmonidae) می‌باشد. قزل‌آلای رنگین کمان به دلیل مزایای فراوان از قبیل رشد و تراکم‌پذیری بالا، تغذیه به وسیله غذاهای مصنوعی و دستی، سازگاری با محیط پرورش، عملکرد تولید مثلی و مقاومت در برابر بیماری‌ها، یکی از متداول‌ترین گونه‌ها در آبی‌پروری می‌باشد که از عوامل مهم در بهینه‌سازی تولید این ماهی، رژیم غذایی آن می‌باشد (Caimi *et al.*, 2020). در صنعت آبی‌پروری، شیوع عفونت میکروبی و هزینه‌های بیش از حد تغذیه، دو محدودیت اصلی در پرورش ماهی می‌باشد. همچنین، ماهی‌های پرورشی اغلب در اثر مدیریت مزرعه و متغیرهای محیطی در معرض انواع مختلفی از عوامل استرس‌زا قرار می‌گیرند که ممکن است منجر به استرس اکسیداتیو و سرکوب سیستم ایمنی شود. بنابراین، استفاده از یک سیستم تغذیه مناسب تأثیر قابل توجهی در افزایش عملکرد و ارتقای سودآوری ماهی‌های پرورشی در کل چرخه تولید دارد (El-Bab *et al.*, 2022). طی چند سال اخیر استفاده از مواد افزودنی (مکمل) در خوراک دام، طیور و آبزیان به فراوانی مورد توجه متخصصین تغذیه علوم دامی و آبی‌پروری واقع شده است. یکی از مهمترین این افزودنی‌ها، فراورده‌های میکروبی است که به‌طور زنده و مستقیم در جیره به‌مصرف می‌رسد و از نظر تجاری تحت عنوان پروبیوتیک شناخته شده‌اند. عبارت پروبیوتیک (زیست‌یار) از کلمه یونانی پروبیوس منشاء گرفته و بر خلاف آنتی‌بیوتیک که به معنی ضد حیات

نظر به اهداف توسعه پایدار سازمان ملل که امنیت غذایی و تغذیه را به‌عنوان اولویت برنامه توسعه جهانی می‌شناسد، گوشت ماهی نقش مهمی در تأمین غذای جهانی ایفا می‌کند و منبع کلیدی برای تأمین پروتئین محسوب می‌شود، به‌طوری‌که حدود ۲۰ درصد پروتئین حیوانی مصرفی انسان را تشکیل می‌دهد. از طرفی هم، با توجه به رشد جمعیت در سال‌های اخیر، لزوم تأمین مواد غذایی جوامع، یکی از بزرگترین دغدغه‌های کشورها به حساب می‌آید (Khodadadi *et al.*, 2019). مطابق گزارش سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد (FAO) در سال ۲۰۱۹، تولید شیلات و آبی‌پروری در جهان (بدون احتساب گیاهان آبی‌زی)، ۱۷۸ میلیون تن بوده‌است و تولیدات آبی‌پروری از سهم ۱۳ درصدی در سال ۱۹۹۰ به ۴۸ درصد در سال ۲۰۱۹ افزایش یافته است. در واقع در حالی‌که در چند دهه گذشته، صید ماهی‌گیری در جهان در حدود ۹۰ میلیون تن در سال ثابت مانده است، تولید آبی‌پروری به رشد خود ادامه داده است (FAO, 2021; Carvalho and Guillen, 2021). در این میان ماهیان آب شیرین نقش محوری در تولید جهانی دارند و در دو دهه گذشته بیش از هر زیربخش دیگر آبی‌پروری، در حجم کل (زنده و خوراکی)، در تأمین معیشت روستایی و امنیت غذایی نقش داشته‌اند. در این راستا پیشرفت‌های قابل توجهی در بهره‌وری استفاده از منابع دریایی در تمام گونه‌ها و مخصوصاً در زمینه تغذیه ماهی حاصل شده است. البته گزارش شده که دستیابی به دستاوردهای بیشتر در این خصوص، ممکن است برای گونه‌های گوشتخوار آبزیان مانند

سیستم گوارشی حیوانات می‌شود (Darezershkipoor *et al.*, 2014). مخمر ساکارومایسس سروریزیه (*Saccharomyces cerevisiae*) یکی از محبوب‌ترین پروبیوتیک‌های مورد استفاده در خوراک آبزیان می‌باشد که توانایی تحریک صفرا و تنظیم pH اسیدی را دارد و همچنین سبب افزایش مقاومت در برابر بیماری‌های عفونی به طور مستقیم یا با تحریک سیستم ایمنی می‌شود. از طرف دیگر، مخمر مذکور رایج‌ترین پروتئین تک‌سلولی است که با هدف کاهش موثر نیاز به پروتئین با منشاء حیوانی، در خوراک آبزیان گنجانده می‌شود که در ارتقای راندمان رشد و استفاده از خوراک در بچه ماهی باس، ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان، تیلاپای نیل و ماهی سبوس‌دار، مورد استفاده قرار گرفته است. گزارش شده که ساکارومایسس سروریزیه می‌تواند به بهبود سلامت روده کمک کند و نیز، مزایای زیادی مانند ترمیم سریع سطوح مخاطی روده و همچنین بهبود میکروفلور مخاطی روده دارد. اجزای تشکیل‌دهنده دیواره سلولی مخمر فوق هم از جمله کیتین، مانوپروتئین و گلوکان، محرک‌های سیستم ایمنی هستند. همچنین اثرات محرک رشد آن‌ها در ماهی‌های دریایی مشاهده شده است. غنی‌سازی جیره‌های غذائی قزل‌آلای رنگین‌کمان نیز با ترکیبات پروبیوتیکی مذکور، میانگین افزایش روزانه و بازده خوراک و همچنین تراکم میکروویلی‌های روده را بهبود بخشیده است (Oliva-Teles *et al.*, 2001; Waché *et al.*, 2006; Abdel-Tawwab *et al.*, 2008; Abu-Elala *et al.*, 2013; Abu-Elala *et al.*, 2018; Korní *et al.*, 2021).

ال باب و همکاران در سال ۲۰۲۲ با بررسی تاثیر جیره غذائی حاوی ساکارومایسس سروریزیه بر عملکرد

می‌باشد، در واقع، به معنی برای حیات است (Karimzadeh *et al.*, 2009). در آبی‌پروری اولین بار، یاسودا و تاگا در سال ۱۹۸۰، گزارش کردند، باکتری‌هایی وجود دارند که نه تنها به‌عنوان غذا بلکه به‌عنوان کنترل‌کننده بیولوژیک بیماری‌های آبزیان و فعال‌کننده چرخه مواد غذایی عمل می‌کنند (Yasuda and Taga, 1980). همچنین بر اساس توانایی میکروارگانیسم‌ها در اصلاح ترکیب باکتریایی آب و رسوبات، موریارتی و همکاران در سال ۱۹۹۸ پیشنهاد بسط تعریف پروبیوتیک‌ها را به افزودنی‌های تک‌یاخته‌ای آب بیان داشتند (Moriarty *et al.*, 1998)، که با ایده کنترل بیولوژیک ارائه شده توسط مائدا و همکاران در سال ۱۹۹۷ هماهنگی داشت (Maeda *et al.*, 1997). در طی تحقیقات اخیر هم گزارش شده که مکمل‌های غذائی پروبیوتیکی به کاهش استفاده از آنتی‌بیوتیک‌ها در آبی‌پروری و ایجاد یک روش دوست‌دار محیط‌زیست برای کنترل پاتوژن‌ها، از طریق ارتقای سیستم ایمنی آن‌ها کمک می‌کند. این مکمل‌ها در آبزیان برای افزایش تحمل استرس، پیشگیری از بیماری‌ها و افزایش رشد استفاده می‌شوند. مکانیسم عمل ترکیبات مذکور، تأثیر بر ضریب تبدیل خوراک، محافظت در برابر عوامل بیماری‌زا از طریق حذف رقابتی محل‌های چسبندگی، تولید اسیدهای آلی، پراکسید هیدروژن، آنتی‌بیوتیک‌ها، باکتریوسین‌ها، سیدروفورها، آنزیم لیزوزیم و همچنین تعدیل پاسخ‌های فیزیولوژیکی و ایمنی می‌باشد (Perdichizzi *et al.*, 2023). همچنین استفاده از پروبیوتیک‌ها به‌عنوان محرک رشد، اغلب باعث کاهش پاتوژن‌های روده‌ای، کاهش اسهال و در نتیجه بهبود عملکرد

تحقیق پیش‌رو با دو منظور عمده انجام گرفت: الف) افزایش شانس جذب و در دسترس بودن زیستی (Bioavailability) عنصر روی برای ماهی قزل‌آلای رنگین کمان، ب) استفاده از پروبیوتیک ساکارومایسس سرویزیه جهت بهبود بخشی رشد و کیفیت لاشه ماهی مذکور.

مواد و روش‌ها

مطالعه تجربی حاضر در پاییز ۱۴۰۱ در پژوهشکده آرتیمیا و آبزی‌پروری دانشگاه ارومیه انجام گرفت.

کشت مخمر ساکارومایسس سرویزیه و غنی‌سازی آن با فلز روی:

ابتدا مخمر ساکارومایسس سرویزیه مورد استفاده در این مطالعه از مرکز کلکسیون قارچ‌ها و باکتری‌های صنعتی ایران (Persian Type Culture collection= PTCC: 5269) تهیه شد و روی مورد نظر هم به صورت اکسید روی (ZnO) استفاده گردید. در ادامه، غنی‌سازی مخمر ساکارومایسس سرویزیه با روی، به صورت آزمایشگاهی و بر اساس روش استاندارد استیلهیک-توماس و همکاران در سال ۲۰۰۴ انجام گرفت (Stehlik-Tomas *et al.*, 2004). بدین منظور با رعایت اصول استاندارد کار در آزمایشگاه‌های میکروبی‌شناسی، ابتدا مخمر مذکور در لوله حاوی مقدار ۱۰ میلی‌لیتر از محیط کشت (Yeast YEPD Extract Peptone Dextrose=)، با استفاده از گرمخانه-ای با دمای ۳۰ درجه سلسیوس، به مدت ۲۴ ساعت، کشت داده شد. سپس محتویات لوله مذکور، به داخل ظرف دیگری که حاوی مقدار ۱۰۰۰ میلی‌لیتر محیط

رشد، وضعیت اکسیداتیو و پاسخ ایمنی ماهی سیم، بیان داشتند که استفاده از جیره مذکور به‌طور قابل توجهی، ماده خشک، چربی خام و درصد پروتئین خام ماهی‌ها را در مقایسه با ماهیان گروه کنترل افزایش داده و نیز ایمنی ذاتی، فعالیت فاگوستیک و آنزیمی روده ماهی‌های مورد آزمایش شده را تقویت کرد (*et al.*, El-Bab 2022).

از طرف دیگر فلز روی با نماد شیمیائی (Zn) یک عنصر کمیاب ضروری مورد نیاز ماهی‌ها است که با تغییر بیان هورمون‌های رشد و عواملی از جمله فاکتور رشد شبه انسولین، باعث رشد ماهی می‌گردد. علاوه بر این، روی در بسیاری از عملکردهای سلولی از جمله تکثیر سلولی، تولید مثل، عملکرد ایمنی و متعادل کردن متابولیسم بدن نقش حیاتی دارد و کمبود روی ممکن است به کاهش سرعت رشد، افزایش مرگ و میر، کاهش وزن بدن، بدشکلی‌های اسکلتی، آب مروارید و همچنین فرسایش باله و پوست در ماهی منجر شود. همچنین گزارش شده است که کمبود روی باعث افزایش حساسیت ماهی به عناصر سمی مانند آرسنیک می‌شود (Sansuwan *et al.*, 2023). تاثیر جیره غذایی حاوی روی و ویتامین بر روی ماهی کپور توسط کوردروستامی و همکاران در سال ۲۰۲۱ مورد بررسی قرار گرفته و نشان داده‌شده که استفاده از جیره غذایی مذکور منجر به بهبود رشد و بقای ماهی‌ها شده است (Kordrostami *et al.*, 2021).

با توجه به اهمیت مطالب ذکر شده، هدف از انجام مطالعه حاضر، بررسی اثرات استفاده از مخمر ساکارومایسس سرویزیه غنی‌سازی شده با فلز روی بر شاخصه‌های رشد ماهی قزل‌آلای رنگین کمان بود. لذا

حوضچه‌های ۳۰۰ لیتری از جنس فایبرگلاس و با تراکم ۵۰ قطعه ماهی در هر حوضچه به مدت ۶۰ روز صورت گرفت. آب مورد نیاز از طریق یک حلقه چاه نیمه عمیق تأمین شد و در طول دوره پرورش پارامترهای فیزیکی‌وشیمیایی آب پرورشی نظیر دما، pH، نیترات و آمونیاک به طور روزانه اندازه‌گیری و ثبت شد. تغذیه ماهیان با استفاده از غذای تجاری پلت (GFT2; Growth Feeding Trade، فرادانه، ایران) (جدول ۱)، بر اساس درصد وزن زنده و دمای آب صورت گرفت. در این تحقیق ماهیان گروه شاهد فقط با غذای تجاری بدون افزودن هر گونه مخمری تغذیه شدند. ماهیان تیمارهای اول تا سوم به ترتیب با غذای تجاری حاوی 1×10^6 ، 1×10^7 و 1×10^8 CFU/g مخمر غنی‌شده با روی در هر گرم غذا تغذیه شدند. برای افزودن مخمر ابتدا مقدار غذای روزانه هر گروه محاسبه، سپس مقدار مورد نیاز از مخمر را بر تمام قسمت‌های غذا اسپری و اجازه داده شد تا غذا به مدت ۲ ساعت در دمای اتاق و در محل تمیز خشک گردد (Gharekhani et al., 2015). همچنین لازم به ذکر است که تهیه غذا به صورت روزانه انجام شد. طول دوره آزمایش ۷۵ روز بود که ۶۰ روز اول ماهیان با مخمر غنی‌شده با روی تغذیه شدند و مطالعه برای ۱۵ روز دیگر ادامه یافت که در طی این مدت ماهیان فقط با غذای گروه شاهد تغذیه شدند. غذادهی روزانه در چهار نوبت و به‌طور منظم از ساعت ۸ صبح لغایت ۸ شب انجام شد.

کشت تازه YEPD همراه با مقدار ۱۰۰ میلی‌گرم اکسید روی بود، انتقال داده شده و عمل گرمخانه‌گذاری مجدد، با همان شرایط ارائه‌شده قبلی صورت گرفت و مطابق روش انجام شده، در هر گرم از مخمر مورد آزمایش، مقدار ۷۰۰ میکروگرم روی غنی‌سازی شد. در نهایت هم محتویات ظرف مذکور، با سرعت rpm ۳۰۰۰ به مدت ۱۵ دقیقه سانتریفوژ (سیگما، آمریکا) شد. همچنین به منظور حذف روی اضافی، رسوب حاصله از عمل سانتریفوژ، دو مرتبه با سرم فیزیولوژی استریل شستشو داده شد. سرانجام با استفاده از سرم فیزیولوژی استریل سوسپانسیون مخمر با جمعیت‌های میکروبی 1×10^6 ، 1×10^7 و 1×10^8 CFU/ml - گردید، در ضمن شمارش مخمر بعد از رنگ‌آمیزی با رنگ تریپان بلو، با استفاده از لام نئوبار انجام گرفت (Tukmechi and Shahraki, 2012; Gharekhani et al., 2015).

طراحی تیمارها و غذادهی ماهیان:

تعداد ۷۲۰ قطعه ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان با میانگین وزنی 5 ± 29 گرم از یکی از مزارع پرورشی ارومیه تهیه و به کمک تانکر مجهز به سیستم اکسیژن به پژوهشگاه آرتیمیا و آبی‌پروری دانشگاه ارومیه منتقل گردیدند. ماهیان در بدو ورود با آب نمک (۱۰ گرم در لیتر) ضد عفونی شده و به مدت یک هفته جهت سازگاری با شرایط آزمایشگاه در حوضچه‌های فایبرگلاس ۱۰۰۰ لیتری نگهداری شدند. پس از اتمام دوره سازش ماهیان به صورت تصادفی به چهار گروه هر کدام با سه تکرار تقسیم شدند. پرورش ماهیان و تغذیه آن‌ها با غلظت‌های مختلف مخمر در

جدول ۱- آنالیز تقریبی غذای تجاری پلت (درصد) مورد استفاده در این تحقیق

ترکیبات	مقادیر (%)
پروتئین خام	۳۶
چربی خام	۱۴
خاکستر	۱۰
فیبر	۴
فسفر	۱
رطوبت	۱۱
سایر	۲۴

زیست‌سنجی ماهیان:

زیست‌سنجی ماهیان در روز پایانی نگهداری ماهیان مورد مطالعه انجام شد. برای این منظور از هر تکرار ۱۰ قطعه ماهی (۳۰ قطعه به ازاء هر تیمار) به صورت تصادفی انتخاب و با پودر گل میخک به غلظت ppm ۲۰۰ بی‌هوش شدند. سپس فاکتورهای رشد نظیر درصد افزایش وزن، نرخ رشد ویژه و فاکتور وضعیت بر اساس روابط ۲ تا ۴، محاسبه شدند (Huang et al., 2008).

رابطه (۱)

آزمایش کیفیت لاشه

به منظور آزمایش کیفیت لاشه (Carcass Quality) در ۶۰ روزگی از هر گروه به طور تصادفی ۵ قطعه ماهی انتخاب و داخل ظرف یونولیتی به صورت یک ردیف یخ و یک ردیف ماهی قرار داده شد و به آزمایشگاه تجزیه مواد غذایی انتقال یافت. میزان درصد پروتئین و چربی موجود در ماده خشک عضله و کبد، در گروه‌های آزمایشی و شاهد با استفاده از روش AOAC تعیین شد (AOAC, 2008).

سنجش مقدار روی:

در این تحقیق میزان روی پس از غنی‌سازی در مخمر، در غذا، نمونه‌های سرم، کبد و عضله ماهیان در زمان‌های صفر و ۶۰ روزگی سنجیده شد. نمونه‌های مخمر ساده و غنی‌شده به کمک دستگاه لیوفیلیزه (کریست، آلمان) به صورت پودر درآمدند، اما نمونه‌های کبد و عضله ماهیان ابتدا آماده‌سازی شدند. جهت آماده‌سازی نمونه‌ها به مدت ۱۱۰ تا ۱۵۰ دقیقه در آون آزمایشگاهی با دمای ۶۵ درجه سلسیوس قرار داده شده تا به وزن ثابت برسند، سپس نمونه‌ها در هاون چینی استریل به‌طور کامل پودر شدند. برای

$$\text{رابطه (۲)} \quad 100 \times \frac{\text{وزن اولیه} - \text{وزن ثانویه}}{\text{وزن اولیه}} = \text{درصد افزایش وزن}$$

رابطه (۲)

$$\text{رابطه (۳)} \quad 100 \times \frac{\text{وزن اولیه} - \text{وزن ثانویه}}{\text{وزن اولیه} - \text{وزن ثانویه}} = \text{نرخ رشد ویژه}$$

رابطه (۳)

$$\text{فاکتور وضعیت} = 100 \times \frac{\text{وزن}}{\text{طول کل}^2}$$

یافته‌ها

شاخص‌های رشد:

نتایج حاصل از محاسبه شاخص‌های رشد ماهیان تیمارهای مختلف در جدول ۲، آورده شده است. بر اساس این یافته‌ها ماهیان از نظر وزن و طول کل در شروع مطالعه اختلاف آماری با هم نداشتند. به تدریج وزن و طول کل ماهیان در اثر تغذیه با مخمر غنی‌شده با روی افزایش یافت به طوری که اختلاف آماری معنی‌داری با گروه شاهد نشان دادند ($p < 0/05$). بیشترین وزن نهایی ($106/67 \pm 8/4$ گرم) و طول نهایی ($20/45 \pm 2/28$ سانتی‌متر) مربوط به ماهیانی بود که با غلظت 1×10^7 CFU/g از مخمر غنی‌شده با روی تغذیه کرده بودند. به همین صورت مقادیر عددی نرخ رشد، نرخ رشد ویژه و فاکتور وضعیت در ماهیان تغذیه شده با غلظت‌های مختلف مخمر غنی‌شده با روی به طور معنی‌داری ($p < 0/05$) بیشتر از گروه شاهد بود. از طرفی مشخص گردید که استفاده از مخمر غنی‌شده با روی در تمامی نمونه‌ها درصد افزایش طول را نسبت به نمونه شاهد افزایش داد. بیشترین مقدار نرخ رشد ($14/1 \pm 266/2$ درصد)، نرخ رشد ویژه ($0/08 \pm 3/356$ درصد) و فاکتور وضعیت ($1/263 \pm 0/01$ درصد) در تیمار تغذیه شده با غلظت 1×10^7 CFU/g به دست آمد.

هضم نمونه‌ها، ۰/۵ گرم از نمونه کاملاً پودر شده عضله و کبد ماهی، به یک بشر منتقل و عمل هضم توسط ۱۰ میلی‌لیتر اسید نیتریک غلیظ انجام شد. پس از آن محلول به دست آمده در دمای ۱۴۰ درجه سلسیوس حرارت داده شد تا نمونه‌ها به صورت محلول کاملاً شفاف درآیند. سوسپانسیون‌های حاصل با استفاده از کاغذ صافی، صاف و محلول صاف شده به یک بالن ژوژه ۲۵ میلی‌لیتری منتقل و با آب مقطر به حجم رسانده شدند. جهت اندازه‌گیری میزان روی موجود نمونه‌های اشاره شده در بالا از دستگاه اسپکترومتری جذب اتمی (واریان، ایتالیا) استفاده گردید (Sansuwan et al., 2023).

تحلیل آماری داده‌ها:

جهت تجزیه و تحلیل داده‌ها از روش آنالیز واریانس یک‌طرفه (ANOVA) و آزمون توکی (Tukey) توسط نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۹ استفاده گردید. قبل از مقایسه میانگین تیمارها نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف بررسی شد. میانگین‌های به دست آمده به صورت mean \pm SD درج شدند. در تمام بررسی‌ها سطح معنی‌دار آزمون‌ها $P < 0/05$ در نظر گرفته شد، همچنین ترسیم نمودارها در فضای نرم‌افزار Excel (نسخه ۲۰۱۰) انجام گرفت.

جدول ۲- شاخص‌های رشد ماهیان تغذیه شده با مخمر غنی‌شده با روی به مدت ۶۰ روز

شاخص	شاهد	گروه ۱	گروه ۲	گروه ۳
وزن اولیه (گرم)	۲۹/۱۳ ± ۳/۳۶ ^a	۲۹/۴۳ ± ۳/۱۷ ^a	۲۹/۶۳ ± ۳/۴۴ ^a	۲۹/۶۸ ± ۴/۰۳ ^a
وزن نهایی (گرم)	۹۲/۳۷ ± ۷/۰۲ ^c	۹۹/۹۱ ± ۳/۳۴ ^b	۱۰۶/۶۷ ± ۸/۴ ^a	۱۰۵/۶۶ ± ۲/۱۸ ^a
طول اولیه (سانتی متر)	۱۴/۳۵ ± ۱/۱۴ ^a	۱۴/۴۲ ± ۱/۰۵ ^a	۱۴/۶۱ ± ۱/۳۲ ^a	۱۴/۶۳ ± ۱/۴۷ ^a
طول نهایی (سانتی متر)	۱۹/۴ ± ۱/۸۷ ^b	۲۰/۱۱ ± ۲/۱۳ ^a	۲۰/۴۵ ± ۲/۲۸ ^a	۲۰/۳۶ ± ۲/۱۵ ^a
درصد افزایش طول	۳۵/۱۹ ± ۱/۸۸ ^b	۳۹/۴۶ ± ۰/۴۱ ^a	۳۹/۹۷ ± ۱/۳۳ ^a	۳۹/۱۷ ± ۱/۲۹ ^a
درصد افزایش وزن بدن	۲۲۲/۷۷ ± ۱۶/۶ ^c	۳۲۴/۶ ± ۷/۷ ^a	۲۶۶/۲ ± ۱۴/۱ ^b	۲۶۵/۵۵ ± ۷/۴۲ ^b
فاکتور وضعیت	۱/۲۴۱ ± ۰/۰۷ ^a	۱/۲۴۶ ± ۰/۰۳ ^a	۱/۲۶۳ ± ۰/۰۱ ^a	۱/۲۶۱ ± ۰/۰۲ ^a
نرخ رشد ویژه (درصد)	۳/۲۱ ± ۰/۰۷ ^b	۳/۲۳ ± ۰/۰۴ ^b	۳/۳۵۶ ± ۰/۰۸ ^a	۳/۳۵۲ ± ۰/۰۲ ^a

میانگین‌ها به صورت mean ± S.D. درج شده‌اند (n=۳۰) و اعداد با حروف غیر یکسان در هر ردیف دارای اختلاف آماری معنی‌دار در سطح ۵ درصد می‌باشند.

کیفیت لاشه ماهیان:

نتایج حاصل از تجزیه لاشه در تیمارهای مختلف در جدول ۳، مشخص شده است. بر اساس نتایج به دست آمده در ماهیان تیمار دوم (1×10^7 CFU/g)، درصد پروتئین عضله (۱۸/۸۷ درصد) نسبت به سایر تیمارها بیشتر بود، اما از نظر آماری این اختلاف معنی‌دار نبود ($p < 0/05$). چربی عضله گروه شاهد (۴/۵۹ درصد) نسبت به تیمارهای دیگر کمتر بود و اختلاف معنی‌دار آماری در سطح ۵ درصد داشت. این در حالی است که گروه‌های تغذیه شده با غلظت‌های مختلف مخمر

غنی‌شده با روی از نظر آماری اختلاف معنی‌داری نداشتند ($p < 0/05$). چربی کبد گروه شاهد (۱/۸۶ درصد) نسبت به سایر تیمارها بیشتر بوده که این اختلاف از نظر آماری در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود. در ماهیان تیمار اول مقدار چربی کبد (۱/۰۷ درصد) نسبت به دو تیمار دیگر، بیشتر بوده و اختلاف آماری معنی‌داری داشت در حالی که بین تیمار دوم و تیمار سوم ماهیان، اختلاف معنی‌دار آماری وجود نداشت ($p < 0/05$).

جدول ۳- نتایج تجزیه شیمیایی کبد و عضله ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان در روز ۶۰ مطالعه (بر حسب درصد)

نوع تیمار	چربی کبد (%)	چربی عضله (%)	پروتئین عضله (%)
شاهد	۱/۸۶ ± ۰/۳۳ ^c	۴/۵۹ ± ۰/۲۹ ^c	۱۸/۵۹ ± ۰/۳۳ ^a
تیمار ۱	۱/۰۷ ± ۰/۱۱ ^c	۶/۷۵ ± ۰/۱۱ ^b	۱۸/۶۶ ± ۰/۱۱ ^a
تیمار ۲	۰/۸۸ ± ۰/۰۷ ^c	۷/۶۳ ± ۰/۵۷ ^a	۱۸/۸۷ ± ۰/۳۹ ^a
تیمار ۳	۰/۸۲ ± ۰/۰۸ ^c	۷/۷۵ ± ۰/۳۶ ^a	۱۸/۷۸ ± ۰/۲۲ ^a

میانگین‌ها به صورت mean ± S.D. درج شده‌اند و اعداد در هر ستون با حروف یکسان نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار ($p < 0/05$) می‌باشند.

یافته‌های حاصل از اندازه‌گیری میزان روی:

هر کیلوگرم بود. همچنین به‌طور معنی داری ($p < 0/05$) میزان روی موجود در مخمر پس از غنی سازی از ۱۲۹/۶ میکروگرم در هر گرم به ۱۸۶۴/۳ میکروگرم در هر گرم افزایش پیدا می‌کند.

یافته‌های اندازه‌گیری میزان روی موجود در غذای تجاری، مخمر قبل از غنی‌سازی، مخمر بعد از غنی‌سازی، سرم کبد و عضله ماهیان در جدول ۴، آورده شده است. نتایج نشان می‌دهد که مقدار روی موجود در غذای تجاری برابر با ۲۷۶/۱۹ میکروگرم در

جدول ۴- میزان روی موجود در غذای تجاری، مخمر قبل از غنی‌سازی و پس از غنی‌سازی با روی

غذای تجاری	مخمر قبل از غنی‌سازی	مخمر پس از غنی‌سازی	
میزان روی (میکروگرم در هر کیلوگرم)	۲۷۶/۱۹ ± ۷۵/۱۶ ^b	۱۲۹/۶۰ ± ۱۲/۰۰ ^c	۱۸۶۴/۳۰ ± ۶۵/۰۰ ^a

میانگین‌ها به صورت mean ± S.D. درج شده‌اند (n=۳۰) و اعداد با حروف غیر یکسان در هر ردیف دارای اختلاف آماری معنی‌دار در سطح ۵ درصد می‌باشند.

روی اندازه‌گیری شده مربوط به سرم ماهیان تیمار سوم (1×10^8 CFU/g) بود که با میزان آن در سرم ماهیان گروه شاهد (188 ± 6) میکروگرم در هر میلی‌لیتر تفاوت معنی‌داری ($p < 0/05$) دارد. به‌طور مشابه میزان روی موجود در بافت‌های کبد و عضله ماهیان تیمار سوم بالاتر از ماهیان سایر تیمارها بود (جدول ۵).

از طرف دیگر میزان روی موجود در سرم به‌طور معنی‌داری ($p < 0/05$) بیشتر از میزان آن در بافت‌های کبد و عضله می‌باشد (جدول ۵). یافته‌ها نشان می‌دهد که مقدار روی موجود در بافت‌های مختلف ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان می‌تواند پس از تکمیل جیره با مخمر غنی‌شده با روی به مدت ۶۰ روز به‌طور معنی‌داری افزایش پیدا کند. در این ارتباط بیشترین (314 ± 8) میکروگرم در هر میلی‌لیتر مقدار

جدول ۵- میزان روی اندازه‌گیری شده در جیره تکمیل شده با مخمر حاوی روی (میکروگرم در هر کیلوگرم) و سرم (میکروگرم در هر میلی‌لیتر)، کبد و عضله (میکروگرم در هر گرم) ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان در طول مطالعه

تیمار	سرم		کبد		عضله		جیره
	صفر	۶۰	صفر	۶۰	صفر	۶۰	
شاهد	۱۵۶/۰ ± ۱۱/۰ ^a	۱۸۸/۰ ± ۶/۰ ^c	۳/۱۷ ± ۰/۰ ^a	۱۸/۸۰ ± ۴/۰ ^c	۲/۰ ± ۰/۰ ^a	۷/۶۵ ± ۰/۰ ^c	۲۸۶/۱۶ ± ۲۱ ^d
تیمار اول	۱۵۷/۰ ± ۱۵/۰ ^a	۲۵۶/۰ ± ۷/۰ ^b	۳/۳۱ ± ۰/۰ ^a	۴۸/۴۰ ± ۱/۷ ^b	۲/۰ ± ۰/۰ ^a	۱۳/۳۰ ± ۱/۰ ^b	۵۵۱/۸۰ ± ۲۵ ^c
تیمار دوم	۱۴۹/۰ ± ۵/۰ ^a	۲۷۹/۰ ± ۲۲/۰ ^b	۳/۳۴ ± ۰/۰ ^a	۵۶/۳۳ ± ۶/۰ ^a	۲/۰ ± ۰/۰ ^a	۱۸/۵۷ ± ۲/۰ ^a	۷۶۸/۷۵ ± ۱۸ ^b
تیمار سوم	۱۵۶/۰ ± ۲۳/۰ ^a	۳۱۴/۰ ± ۸/۰ ^a	۳/۱۶ ± ۰/۰ ^a	۵۶/۳۳ ± ۳/۰ ^a	۲/۰ ± ۰/۰ ^a	۱۹/۵۶ ± ۲/۰ ^a	۸۳۴/۷۶ ± ۲۶ ^a

میانگین‌ها به صورت mean ± S.D. درج شده‌اند (n=۶) و حروف یکسان در هر ستون نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف آماری معنی‌دار در سطح ۵ درصد می‌باشند.

بحث و نتیجه‌گیری

بسیاری از ممالک با وضع قوانین سخت‌گیرانه در صدد محدود کردن و حتی ممنوع کردن استفاده از ترکیبات ضد میکروبی هستند، این سیاست باعث شده تا محققان به فکر یافتن روش‌های جایگزین استفاده از ترکیبات ضد میکروبی باشند. از جمله این روش‌ها اصلاح شیوه‌های مدیریت بهداشتی، استفاده از ترکیبات ضد میکروبی طبیعی، کنترل زیستی و استفاده از پروبیوتیک‌ها و غیره پیشنهاد شده است (Karimzadeh *et al.*, 2009; Alt *et al.*, 2022; FAO, 2022).

نتایج این تحقیق نشان داد که تکمیل جیره ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان با مخمر حاوی روی می‌تواند در مقایسه با ماهیان گروه شاهد به طور معنی‌داری در سطح ۵ درصد سبب بهبود شاخص‌های رشد گردد. در واقع مخمر ساکارومایسس سرویزیه به دلیل غنی بودن از انواع مختلف پروتئین‌ها و محتوای نیترژنی بالا سبب بهبود عملکرد رشد می‌گردد (Tacon and Jackson, 1985; De Silva *et al.*, 1989; Tacon, 1994). همچنین مخمر زنده به عنوان منبعی از آنزیم‌هایی مثل آمیلاز، پروتئاز و لیپاز عمل می‌کند که ممکن است هضم غذا و به دنبال آن، جذب را افزایش دهند. از طرفی منبع خوبی از ویتامین B6 (۳۹/۸ میلی‌گرم در هر کیلوگرم ماده خشک) محسوب می‌شود که این ویتامین ممکن است به عنوان کوآنزیم آنزیم دوپا دکربوکسیلاز و دوپامین سبب تحریک هورمون رشد شود (Mc Dowell, 1989). توار و همکاران در سال ۲۰۰۲ اظهار داشتند که مخمر با بهبود قابلیت هضم پروتئین‌های جیره، بهبود تغذیه از طریق چسبیدن به

موکوس روده و تولید پلی‌آمین‌ها بر عملکرد رشد و کارایی غذایی سبب افزایش رشد ماهی می‌شود (Tovar *et al.*, 2002). در همین راستا اسدی تبریزی و همکاران در سال ۲۰۱۱، محمدی و همکاران در سال ۲۰۱۵ و همچنین رفیعی و وفادار در سال ۲۰۲۱ نشان دادند که استفاده از جیره حاوی ساکارومایسس سرویزیه منجر به بهبود شاخص‌های رشد ماهیان می‌گردد (Asadi Tabrizi *et al.*, 2011; Mohammadi *et al.*, 2015; Rafiee and Vafadar, 2021).

پس از تجزیه عضله ماهیان مشخص شد که میزان پروتئین در تیمارهای تغذیه شده با مخمر غنی‌شده با روی نسبت به گروه شاهد فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد بود. در حالی که میزان چربی عضله در تیمارهای تغذیه شده با مخمر غنی‌شده با روی به‌طور قابل توجهی از گروه شاهد بیشتر بوده که این اختلاف از نظر آماری معنی‌دار می‌باشد. به نظر می‌رسد که تغذیه ماهیان با مخمر غنی‌شده با روی سبب بهبود جذب غذا و فعالیت بهتر کبد شده است که نتیجه آن کاهش چشمگیر چربی کبد و افزایش چربی در بافت عضلانی بوده است. بررسی تجزیه کبد نشان داد که میزان ذخیره چربی کبد گروه شاهد با بیش از دو برابر نسبت به تیمار اول ماهیان (CFU/g) 1×10^6 و بیش از $1/7$ برابر نسبت به تیمارهای دوم و سوم ماهیان (CFU/g) 1×10^8 و 1×10^7 افزایش نشان داده است و این داده‌ها از نظر آماری معنی‌دار بودند ($p < 0/05$). شاخص‌های اخیر (کاهش چربی کبد و افزایش چربی عضله) یک فاکتور مثبت برای مصرف کنندگان ماهی به‌شمار می‌رود، از آنجا که چربی ذخیره شده در عضلات ماهی اغلب از گروه اسیدهای چرب

تجاری مورد استفاده در این بررسی کمتر از میزان مورد نیاز ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان است. از طرف دیگر در این تحقیق مقدار روی در مخمر ساکارومایسس سرویزیه قبل از غنی‌سازی با روی اندازه‌گیری شد و نتایج آن نشان داد که مقدار روی موجود در مخمر برابر با $12/6 \pm 129$ میکروگرم در هر گرم می‌باشد. سنجش میزان روی در مخمر پس از غنی‌سازی نشان داد که مقدار این عنصر در مخمر به $65/3 \pm 1864$ میکروگرم در هر گرم می‌رسد. با توجه به این‌که در مطالعه حاضر از روش استاندارد استی‌لیک-توماس و همکاران در سال ۲۰۰۴ برای غنی‌سازی مخمر استفاده شد (Stehlik-Tomas *et al.*, 2004)، نتایج به‌دست آمده در مورد غنی‌سازی مخمر با روی، با یافته‌های این محققان مطابقت دارد. در این بررسی همچنین میزان روی در غذای ماهیان پس از افزودن غلظت‌های مختلف مخمر غنی‌شده با روی سنجیده شد. نتایج به‌دست آمده ثابت می‌کند مقدار روی موجود در غذا رابطه مستقیمی با مقدار مخمر افزوده شده دارد. لذا بیشترین مقدار روی در غذای ماهیان تیمار سوم یعنی ماهیانی که با 1×10^8 CFU/g تغذیه شده بودند، اندازه‌گیری شد که برابر بود با $26 \pm 834/76$ میکروگرم در هر کیلوگرم و اختلاف معنی‌داری با مقدار روی موجود در غذای ماهیان تیمار دوم (1×10^7 CFU/g) و تیمار اول (1×10^6 CFU/g) داشت. بر اساس این نتایج می‌توان نتیجه گرفت که روی در مخمر ساکارومایسس سرویزیه غنی‌شده و در صورت تکمیل غذای تجاری با مخمر حاوی روی بر مقدار این عنصر در غذا افزوده خواهد شد. در تحقیق حاضر همچنین میزان روی در سرم، کبد و عضله

غیراشباع و سرشار از امگا ۳ می‌باشد، می‌توان نتیجه گرفت با مصرف مخمر غنی‌شده با روی فعالیت کبد بیشتر شده و چربی کمتری را در خود ذخیره می‌کند و احتمال ابتلا به بیماری کبد چرب در ماهیان پرورشی قزل‌آلای رنگین‌کمان کمتر خواهد شد. محمدی و همکاران در سال ۲۰۱۵ نشان دادند که استفاده از جیره حاوی این مخمر به علت بهبود جذب غذا در ماهیان منجر به افزایش میزان چربی می‌گردد درحالی‌که تاثیر معنی‌داری بر میزان پروتئین این موجودات نداشت (Mohammadi *et al.*, 2015). ال باب و همکاران در سال ۲۰۲۲ نیز بیان داشتند که استفاده از جیره غذایی حاوی ساکارومایسس سرویزیه منجر به افزایش میزان چربی ماهی می‌گردد (El-Bab *et al.*, 2022). یافته‌های یو و همکاران در سال ۲۰۲۱ مشخص نمود که مکمل غذایی حاوی روی تاثیر معنی‌داری در سطح ۵ درصد بر روی میزان پروتئین و چربی عضله ماهی سالمون کوهو نداشت (Yu *et al.*, 2021)، این در حالی بود که تحقیقات ژائو و همکاران در سال ۲۰۰۹ حکایت از افزایش میزان پروتئین ماهی با استفاده از جیره حاوی مکمل روی داشت (Zhao *et al.*, 2009).

یافته‌های مربوط به سنجش میزان روی در غذای تجاری نشان داد که میزان این عنصر در غذا، قبل از افزودن مخمر غنی‌شده با روی برابر با $276/75 \pm 19/6$ میکروگرم در هر کیلوگرم بود. بررسی‌ها نشان می‌دهد که مقدار طبیعی این عنصر در غذای ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان باید به طور نرمال ۳۰-۱۵ میلی‌گرم در هر کیلوگرم جیره باشد تا بتواند احتیاجات این ماهی را تامین نماید (Watanabe *et al.*, 1997). بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که مقدار روی موجود در غذای

ماهیان در زمان‌های صفر و ۶۰ روزگی سنجیده شد. اولاً یافته‌ها نشان داد که مقدار این عنصر در سرم بیش‌تر از میزان آن در کبد و عضله ماهی می‌باشد، همچنین نتایج ثابت کرد که مقدار روی این بافت‌ها در روز صفر و در ماهیان تیمارهای مختلف اختلاف معنی‌داری ندارد. اما به تدریج با تغذیه ماهیان از جیره تکمیل شده با مخمر حاوی روی بر میزان این عنصر در بافت‌های مورد بررسی افزایش می‌یابد. بیشترین مقدار روی در سرم ماهیان تیمار سوم (CFU/g) 1×10^8 اندازه‌گیری شد که در روز ۶۰ مطالعه برابر با $314.8 \pm$ میکروگرم در هر میلی‌لیتر بود. بررسی‌های انجام گرفته نشان می‌دهند که افزودن اشکال مختلف روی به جیره آبزیان مقدار این عنصر را در بافت‌های بدن به ویژه در سرم افزایش می‌دهد (Shet et al., 2011; Tukmechi et al., 2011; Silerova et al., 2012). بنابراین یافته‌های به‌دست آمده در این بررسی موافق نتایج مطالعات فوق بوده و ثابت می‌کند که مخمر می‌تواند گزینه مناسبی برای تامین احتیاجات آبزیان به روی باشد.

بر اساس نتایج به‌دست آمده از این بررسی می‌توان نتیجه گرفت که تکمیل جیره ماهی قزل‌آلای رنگین کمان با مخمر غنی‌شده با روی می‌تواند به‌طور معنی‌داری سبب بهبود شاخص‌های رشد گردد. با

توجه به اینکه از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری بین ماهیان تیمار دوم (CFU/g) 1×10^7 با ماهیان تیمار سوم (CFU/g) 1×10^8 وجود نداشت، لذا توصیه می‌شود از جمعیت میکروبی CFU/g 1×10^7 مخمر غنی‌شده با روی جهت تکمیل جیره غذایی ماهی قزل‌آلای رنگین کمان استفاده گردد. همچنین بر اساس یافته‌های به‌دست آمده از تجزیه شیمیایی لاشه، می‌توان نتیجه گرفت که افزودن مخمر غنی‌شده با روی می‌تواند سبب بالا رفتن کیفیت لاشه در ماهی قزل‌آلای رنگین کمان گردد. مطالعه حاضر نشان داد که تکمیل جیره ماهی قزل‌آلای رنگین کمان با مخمر غنی‌شده با روی می‌تواند به‌طور قابل توجهی شاخص‌های رشد و کیفیت لاشه را بهبود بخشد.

سپاسگزاری

نویسندگان این مقاله مراتب تشکر و قدردانی خود را از معاونت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد ماکو و همچنین دانشگاه ارومیه ابراز می‌دارند.

تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافی بین نویسندگان وجود ندارد.

منابع

- Abdel-Tawwab, M., Abdel-Rahman, A.M. and Ismael, N.E. (2008). Evaluation of commercial live bakers' yeast, *Saccharomyces cerevisiae* as a growth and immunity promoter for Fry Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.) challenged in situ with *Aeromonas hydrophila*. *Aquaculture*, 280(1-4): 185-189.

- Abu-Elala, N., Marzouk, M. and Moustafa, M. (2013). Use of different (*Saccharomyces cerevisiae*) biotic forms as immune-modulator and growth promoter for (*Oreochromis niloticus*) challenged with some fish pathogens. *International Journal of Veterinary Science and Medicine*, 1(1): 21-29.
- Abu-Elala, N.M., Younis, N., AbuBakr, H.O., Ragaa, N.M., Borges, L.L. and Bonato, M.A. (2018). Efficacy of dietary yeast cell wall supplementation on the nutrition and immune response of Nile tilapia. *Egyptian Journal of Aquatic Research*, 44(4): 333-341.
- Alt, K.W., Al-Ahmad, A. and Woelber, J.P. (2022). Nutrition and Health in Human Evolution-Past to Present. *Nutrients*, 14(17): 3594.
- AOAC. (2008). Official methods of analysis of the association of official analytical chemists, Vol. II. Arlington, VA: Association of Official Analytical Chemists.
- Asadi Tabrizi, M., Mortazavi Tabrizi, J. and Karamouz, H. (2008). Effect of various levels of the yeast probiotic (*Saccharomyces cerevisiae*) on the growth parameters and survival rate of Rainbow trout fingerlings. *Veterinary Clinical Pathology*, 2(1): 13-19. [In Persian].
- Caimi, C., Gasco, L., Biasato, I., Malfatto, V., Varello, K., Prearo, M., *et al.* (2020). Could dietary black soldier fly meal inclusion affect the liver and intestinal histological traits and the oxidative stress biomarkers of Siberian sturgeon (*Acipenser baerii*) juveniles? *Animals*, 10(1): 155.
- Carvalho, N. and Guillen, J. (2021). Aquaculture in the Mediterranean. *IEMed. Mediterranean Yearbook*, 276(503): 276-281.
- Darezershipoor, M., Parsaeimehr, K., Hossenzadeh, S. and Farhoomand, P. (2014). The effects of different levels of prebiotic (A-MAX) on digestibility, and blood biochemical parameters in West Azarbaijan kids. *Veterinary Clinical Pathology*, 7(4): 314-321. [In Persian].
- El-Bab, A.F.F., Saghir, S.A., El-Naser, I.A.A., El-Kheir, S.M.A., Abdel-Kader, M.F., Alruhaimi, R.S., El-Raghi, A.A., 2022. The effect of dietary *saccharomyces cerevisiae* on growth performance, oxidative status, and immune response of sea bream (*Sparus aurata*). *Life (Basel)*. 12(7), 1013. DOI: 10.3390/life12071013
- FAO. (2021). Food and Agriculture Organization. The State of World Fisheries and Aquaculture 2020. Sustainability in Action; Rome, Italy.
- FAO. (2022). Food and Agriculture Organization. The State of World Fisheries and Aquaculture 2020. Sustainability in Action; Rome, Italy.
- Gharekhani, A., Azari Takami, G., Tukmechi, A., Afsharnasab, M. and Agh, N. (2015). Effect of dietary supplementation with zinc enriched yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) on immunity of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Iranian Journal of Veterinary Research*. 16(3): 278-282.
- Huang, S.S., Fuc, H.L., Higgs, D.A., Balfry, S.K., Schulte, P.M. and Brauner, C.J. (2008). Effect of dietary canola oil level on growth performance, fatty acid composition and ion regulatory development of spring Chinook salmon parr (*Oncorhynchus tshawytscha*). *Aquaculture*, 274(1): 109-117.
- Karimzadeh, G., Timuri Yansari, A., Hamidi, M., Karimzadeh, S. and Maniei, M. (2009). The benefits and application of probiotics in feeding livestock, poultry and aquatic animals. Publish in Avay Masieh. pp: 176.
- Khodadadi, A., Haghghi, A., Malekinejad, H., Tukmechi, A. and Afsharnasab, M. (2019). The effect of dietary supplement of celmanax® prebiotic on gill and liver histology in Rainbow trout during the growing period and experimental challenge with yersiniosis. *Veterinary Clinical Pathology*, 12(4): 337-355. [In Persian].
- Kordrostami, S., Hedayatifard, M., Keshavarzdivkalaee, M., Javadian, R. and Hazae, K. (2021). Effects of zinc nanoparticles and vitamin E on growth and immune parameters of common carp, *Cyprinus Carpio*. *Aquatic Animals Nutrition*, 7(2): 1-10.
- Korn, F.M., Sleim, A.S.A., Abdellatief, J.I. and Abd-elaziz, R.A. (2021). Prevention of vibriosis in sea bass, *Dicentrarchus labrax* using ginger nanoparticles and *Saccharomyces cerevisiae*. *Journal of Fish Pathology*, 34(2): 185-199.

- Maeda, M., Nogami, K., Kanematsu, M. and Hirayama, K. (1997). The concept of biological control methods in aquaculture. *Hydrobiologia*, 358(1-3): 285-290.
- Mc Dowell, L.R. (1989). *Vitamins in Animal Nutrition: Comparative Aspects to Human Nutrition*, Academic Press, pp: 245.
- Mohammadi, F., Mousavi, S.M, Ahmadmoradi, E., Zakeri, M. and Jahedi, A. (2015). Effects of *Saccharomyces cerevisiae* on survival rate and growth performance of Convict Cichlid (*Amatitlania nigrofasciata*). *Iranian Journal of Veterinary Research*, 16(1): 59-62.
- Moriarty, D.J.W. (1998). Control of luminous *Vibrio* species in penaeid aquaculture ponds. *Aquaculture*, 164(1-4): 351-358.
- Naylor, R.L., Hardy, R.W., Buschmann, A.H., Bush, S.R., Cao, L., Klinger, D.H., *et al.* (2021). A 20-year retrospective review of global aquaculture. *Nature*, 591(7851): 551-563.
- Oliva-Teles, A. and Gonçalves, P. (2001). Partial replacement of fishmeal by brewers yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) in diets for sea bass (*Dicentrarchus labrax*) juveniles. *Aquaculture*, 202(3-4): 269-278.
- Perdichizzi, A., Meola, M., Caccamo, L., Caruso, G., Gai, F. and Maricchiolo, G. (2023). Live Yeast (*Saccharomyces cerevisiae* var. *boulardii*) Supplementation in a European Sea Bass (*Dicentrarchus labrax*) Diet. Effects on the Growth and Immune Response Parameters. *Animals*. 13(21): 33-83.
- Rafiee, G. and Vafadar, A. (2021). The effect of substituting different levels of *Saccharomyces cerevisiae* yeast in the diet of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) to reduce the consumption of fish meal and their effect on growth indices, survival and carcass composition. *Journal of Animal Environment*, 13(3): 201-208.
- Sansuwan, K., Jintataporn, O., Rink, L., Triwutanon, S. and Wessels, I. (2023). Effects of Zinc Status on Expression of Zinc Transporters, Redox-Related Enzymes and Insulin-like Growth Factor in Asian Sea Bass Cells. *Biology (Basel)*. 12(3): 338.
- Stehlik-Tomas, V., Gulan Zeti, V., Stanzer, D., Grba, S. and Vahi, N. (2004). Zinc, copper and manganese enrichment in yeast *Saccharomyces cerevisiae*. *Food Technology and Biotechnology*, 42(2): 115-120.
- Shet, A.R., Patil, L.R., Hombalimath, V.S., Yaraguppi, D.A. and Udupudi, B.B. (2011). Enrichment of *Saccharomyces cerevisiae* with zinc and their impact on cell growth. *Research Article. Biotechnology and Bioengineering*, 1(4): 523-527.
- Silerova, S., Lavova, B., Urminska, D., Polakova, A., Vollmannova, A. and Harangozo, L. (2012). Preparation of zinc enriched yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) by cultivation with different zinc salts. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food sciences*. 1(February Special issue), pp: 689-695.
- Tacon A.G.J. (1994). Feed ingredients for carnivorous fish species: alternatives to fishmeal and other dietary resources. *FAO Fisheries Circular*, pp: 835-881.
- Tacon A.G.J. and Jackson, A.J. (1985). Utilization of conventional and unconventional protein sources in practical fish feeds. In: Cowey, C.B., Mackie, A.M., Bell, J.G. (Eds.), *Nutrition and Feeding in Fish*. Academic Press, pp: 119-145.
- Tovar, D., Zambonino-Infante, J.L., Cahu, C., Gatesoupe, F.J., Vázquez-Juárez, R. and Lésel, R. (2002). Effect of live yeast incorporation in compound diet on digestive enzyme activity in sea bass larvae. *Aquaculture*, 204(1): 113-123.
- Tukmechi, A., RahmatiAndani, H.R., Manaffar, R. and Sheikhzadeh, N. (2011). Dietary administration of beta-mercapto-ethanol treated *Saccharomyces cerevisiae* enhanced the growth, innate immune response and disease resistance of the rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Fish & Shellfish Immunology*, 30(3): 923-928.
- Tukmechi, A. and Shahraki, R. (2012). The effect of feeding with selenium enriched *Saccharomyces cerevisiae* on the growth and resistant of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) against environmental stresses and *Yersinia ruckeri*. *Journal of Animal Environment*, 4(4): 49-58. [In Persian].

-
- Waché, Y., Auffray, F., Gatesoupe, F.J., Zambonino, J., Gayet, V., Labbé, L. and Quentel, C. (2006). Cross effects of the strain of dietary *Saccharomyces cerevisiae* and rearing conditions on the onset of intestinal microbiota and digestive enzymes in rainbow trout, *Onchorhynchus mykiss*, fry. *Aquaculture*, 258(1-4): 470–478.
 - Watanabe, T., Kiron, V. and Satoh, S. (1997). Trace minerals in fish nutrition. *Aquaculture*, 151(1-4): 185-207.
 - Yasuda, K. and Taga, N. (1980). A mass culture method for *Artemiasalina* using bacteria as food. *Mer*, 18(53): 62.
 - Yu, H.R., Li, L.Y., Shan, L.L., Gao, J., Ma, C.Y. and Li X. (2021). Effect of supplemental dietary zinc on the growth, body composition and anti-oxidant enzymes of coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*) alevins. *Aquaculture Reports*, 20. 100744. ISSN 2352-5134.
 - Zhao, H.X., Cao, J.M., Zhu, X., Chen, S.C. and Lan, H.B. (2009). Effects of zinc sources and levels on growth performance, antioxidant indices and body composition in juvenile *Tilapia (Oreochromis niloticus X o. aureus)*. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 21(5): 680-687.