



## اثرات به‌کارگیری پست‌بیوتیک در جیره غذایی بر فراسنجه‌های رشد و سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی در بچه‌ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان (*Oncorhynchus mykiss*)

محمدحسین لشکر بلوک، سید حسین حسینی فر\*، محمد مازندرانی، ولی‌اله جعفری، رقیه صفری  
گروه تکثیر و پرورش آبزیان، دانشکده شیلات و محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

### چکیده

بدین منظور بچه‌ماهی‌های قزل‌آلای رنگین‌کمان (۲-۳ گرم) به مدت ۸ هفته با جیره‌های آزمایشی حاوی سطوح مختلف (صفر (شاهد) ۰، ۲، ۴ و ۸ گرم بر کیلوگرم) پست بیوتیک تغذیه شدند. در پایان دوره شاخص‌های رشد و مقادیر سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی سرم اندازه‌گیری شد. شاخص‌های رشد (میانگین وزن، نرخ رشد ویژه، ضریب تبدیل غذایی، میزان بقا) بین ماهی‌های تغذیه شده با پست بیوتیک بر پایه مخمر ساکارومایسیس سرویزیه در مقایسه با گروه شاهد اختلاف معنی‌داری نداشت ( $p > 0.05$ ). اگرچه افزایش رشد نسبت به گروه شاهد مشاهده گردید. بالاترین مقدار عددی رشد در بچه‌ماهی‌های تغذیه شده با ۸ گرم پست بیوتیک به ازای کیلوگرم به دست آمد. همچنین بهبود ضریب تبدیل غذایی در بچه‌ماهی‌های تغذیه شده با پست بیوتیک مشاهده شد. اگرچه از نظر آماری این کاهش ضریب تبدیل غذایی معنادار نبود ( $p > 0.05$ ). در کلیه فاکتورهای آنتی‌اکسیدانی اختلاف معنی‌داری بین گروه شاهد و تیمار ۸ گرم بر کیلوگرم مشاهده شد ( $p < 0.05$ ). در میزان آنزیم کاتالاز بین گروه شاهد و تیمار ۲ گرم و ۸ گرم بر کیلوگرم اختلاف معنی‌داری مشاهده شد ( $p < 0.05$ ). همچنین نتایج مشابهی در خصوص فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز مشاهده گردید بطوریکه بین گروه شاهد و تیمار ۸ گرم اختلاف معنی‌داری مشاهده شد ( $p < 0.05$ ). در رابطه با آنزیم گلوکاتایون پراکسیداز هم بین گروه شاهد و تیمار ۸ گرم بر کیلوگرم اختلاف معنی‌داری مشاهده شد و همچنین بیشترین میزان این آنزیم در تیمار ۸ گرم بر کیلوگرم قابل مشاهده بود. با توجه به نتایج مطالعه حاضر، می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از پست‌بیوتیک بر پایه مخمر ساکارومایسیس سرویزیه در رژیم غذایی قزل‌آلای رنگین‌کمان می‌تواند برای بهبود شاخص‌های رشد و همچنین افزایش ظرفیت سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی در ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان توصیه شود.

### واژه‌های کلیدی:

قزل‌آلای رنگین‌کمان، پست‌بیوتیک، ساکارومایسیس سرویزیه، سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی، رشد

### نوع مقاله:

پژوهشی اصیل

### تاریخچه مقاله:

دریافت: ۲۶/۰۹/۲۰۲۰

پذیرش: ۱۳/۱۰/۲۰۲۰

### نویسنده مسئول مکاتبه:

سید حسین حسینی فر، گروه تکثیر و پرورش آبزیان، دانشکده شیلات و محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.

ایمیل: [Hoseinifar@gau.ac.ir](mailto:Hoseinifar@gau.ac.ir)

### ۱ | مقدمه

کرد که ماهیان را در معرض انواع بیماری‌ها قرار داده است. روش‌های متنوعی به‌منظور کنترل و کاهش بیماری‌ها توصیه شده است (Jobling, 2010). استفاده از جیره غذایی با بازده بالا می‌تواند یکی از ابزارهای مؤثر به‌منظور بهبود عملکرد تولید، افزایش سطح بهرمندی و کنترل بیماری‌های ناشی از تضعیف سیستم ایمنی و انواع دیگر آن باشد. همچنین افزودن انواع آنتی‌بیوتیک‌های خوراکی به جیره غذایی آبزیان یکی از روش‌های قدیمی کنترل و درمان بیماری‌ها بوده است (Dawood and Koshio, 2016). تیمار آبزیان با استفاده از آنتی-بیوتیک و دیگر داروهای مشابه با توجه به هزینه بالا، ایجاد مقاومت دارویی، مشکلات زیست محیطی، پایین آوردن کیفیت گوشت و مشکلات اجرایی، همچنین نگرانی‌هایی در مورد اثرات منفی استفاده از

امروزه صنعت آبی‌پروری یکی از صنایع جهانی رو به رشد و فراگیر است؛ به‌طوری‌که تولیدات جهانی آبی‌پروری از ۲۰ میلیون تن در سال ۱۹۵۰ میلادی به ۱۷۱ میلیون تن در سال ۲۰۱۶ میلادی رسیده است (Marti-Quijal et al., 2020). بر طبق آمارهای جهانی تا سال ۲۰۳۰ میلادی میزان مصرف آبزیان توسط انسان روند افزایشی خواهد داشت و تأمین این نیاز بیش از پیش به‌عهده صنعت آبی‌پروری خواهد بود (Béné et al., 2015). از طرفی آبی‌پروری به‌عنوان یک صنعت سودآور و درحال رشد با محدودیت‌هایی مواجه است. از جمله این محدودیت‌ها می‌توان به کمبود منابع آبی، حمل و نقل، دستکاری و عدم تعادل پارامترهای فیزیکی‌شیمیایی آب (مثل کمبود حاد یا مزمن اکسیژن و افزایش غلظت حاد آمونیاک)، افزایش تراکم و غیره اشاره

بنابراین پست‌بیوتیک‌ها که محصولات جانبی پروبیوتیک‌ها هستند جایگزین مناسبی برای پروبیوتیک‌ها هستند. پست‌بیوتیک، محصول یا محصولات جانبی متابولیکی حاصل از میکروارگانیسم‌ها هستند که اثرات مفیدی بر میزبان دارند (Choudhury and Kamilya, 2019).

پست‌بیوتیک به عوامل محلول (محصولات یا فرآورده‌های جانبی متابولیکی) که توسط باکتری‌های زنده ترشح می‌شوند یا پس از لیز باکتری آزاد می‌شوند، اطلاق می‌شود، مانند آنزیم‌ها، پپتیدها، اسیدهای تیوکوئیک، موروپپتیدهای مشتق شده از پپتیدوگلیکان، پلی‌ساکاریدها، پروتئین‌های سطح سلولی و اسیدهای آلی. علیرغم این واقعیت که مکانیسم‌های دخیل در اثرات مفید پست‌بیوتیک‌ها برای سلامتی به‌طور کامل مشخص نشده است، داده‌های علمی شواهدی ارائه کرده‌اند که پست‌بیوتیک‌ها دارای خواص عملکردی متفاوتی هستند، اما نه محدود به خواص ضد میکروبی، آنتی‌اکسیدانی و تعدیل‌کننده ایمنی. این ویژگی‌ها می‌توانند به‌طور مثبت بر هموستاز میکروبیوتا و یا مسیرهای متابولیکی و سیگنالی میزبان تأثیر بگذارند، بنابراین بر واکنش‌های فیزیولوژیکی، ایمنی‌شناسی، عصبی-هورمون‌های بیولوژیکی، تنظیمی و متابولیکی خاص تأثیر می‌گذارند (Sharma and Shukla, 2016; Shenderov, 2013). در همین راستا باتوجه به اثرات مفید گزارش شده در خصوص پست‌بیوتیک‌ها، محصول پست بیوتیکی شرکت کیمیاژیم که بر پایه مخمر *ساکارومایسس سرویزیه* (NutriYeast-Aq) می‌باشد، برای این تحقیق انتخاب شد. مطالعه حاضر با هدف تعیین اثرات این محصول پست‌بیوتیکی بر شاخص‌های رشد و سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی در ماهی قزل‌آلا طراحی و اجرا شد.

## ۲ | مواد و روش‌ها

یک هفته قبل از انتقال ماهی‌ها به سالن آبی‌پروری دانشگاه منابع طبیعی و علوم کشاورزی گرگان شرایط پرورش برای بچه ماهی‌های قزل‌آلای رنگین‌کمان مانند ضدعفونی و شستشوی تانک‌های پرورشی، ایجاد هوادهی مناسب، تنظیم نور انجام گرفت جهت انجام این آزمایش تعداد ۱۴۴ قطعه بچه ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان از کارگاه بخش خصوصی معتبر دارای گواهی سلامت و همچنین بررسی ماهیان از نظر ظاهری از مزارع پرورش ماهیان سردآبی خریداری و به سالن سرپوشیده آبی‌پروری گروه تکثیر و پرورش آبیان دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان منتقل شدند. قبل از شروع آزمایش ماهی‌ها به مدت دو هفته با شرایط مخازن و جیره آزمایشی سازگار شدند. بچه ماهی‌ها بطور کاملاً تصادفی با تراکم ۱۲ قطعه در ۱۲ تانک فایبرگلاس ۲۰۰ لیتری (با حجم آبیگری ۱۴۰ لیتر) که از قبل توسط ماده ضدعفونی‌کننده هیپوکلریت سدیم شستشو و ضدعفونی شده بودند، رهاسازی شدند. هوادهی آب تانک‌ها با استفاده از هواده مرکزی انجام شد و هر روز ۵۰ درصد آب تانک‌ها با آب تازه تعویض شد. این آزمایش در قالب یک طرح کاملاً تصادفی در ۴ تیمار (۳ جیره آزمایشی با سطوح ۰/۲، ۰/۴ و ۰/۸ درصد پست بیوتیک معادل ۲، ۴ و ۸ گرم در کیلوگرم جیره غذایی و یک تیمار به عنوان شاهد بدون افزودن پست بیوتیک) با سه تکرار انجام شد. طی دوره آزمایش تغذیه ماهی‌ها

آنتی‌بیوتیک‌ها بر محیط‌زیست و سلامت بشر از جمله ظهور سویه‌های باکتریایی مقاوم به آنتی‌بیوتیک، تجمع بقایای آن در بافت‌های خوراکی و تضعیف سیستم ایمنی باعث شد تعداد کمی از آنتی‌بیوتیک‌ها دارای مجوز مصرف شوند (Rodgers and Furones, 2009). به همین دلیل استفاده از مکمل‌های غذایی به عنوان رویکرد جدید و جایگزین مناسب برای آنتی‌بیوتیک‌ها در صنعت آبی‌پروری معرفی شد. کاهش زنده‌مانی ماهی خصوصاً در مراحل اولیه زندگی از مهم‌ترین معضل در بین پرورش‌دهندگان ماهی است. لذا تقویت و ارتقاء سیستم ایمنی و دفاعی بدن ماهیان به ویژه در گونه‌های پرورشی از اصلی‌ترین نیازهای صنعت آبی‌پروری است (Jahangiri and Esteban, 2018). در تلاش برای مقابله با بیماری‌های مختلف، استفاده مکرر از داروها، آنتی‌بیوتیک‌ها، شیمی‌درمانی و عوامل استریلیزاسیون به صورت ناخواسته به خطر انتقال عوامل بیماری‌زا و ترکیبات شیمیایی مضر به مصرف‌کنندگان اضافه شده است. اعتقاد بر این است که برخی مکمل‌های غذایی طبیعی این پتانسیل را دارند که این شکست را در آبی‌پروری جبران کنند. کاربرد افزودنی‌های غذایی دوست‌دار محیط‌زیست مانند پروبیوتیک‌ها، پریبیوتیک‌ها و سین بیوتیک‌ها به مکمل‌های غذایی محبوب با این پتانسیل تبدیل شده‌اند که نه تنها عملکرد رشد را بهبود می‌بخشند بلکه در برخی موارد توانایی ایمنی و سلامت کلی ماهی و سخت پوستان را نیز افزایش دهند (Rohani et al., 2022). بهرمندی از پروبیوتیک‌ها، پری‌بیوتیک‌ها و سین‌بیوتیک‌ها به دلیل به صرفه بودن و اثرات مفیدش جایگزین مناسبی برای آنتی‌بیوتیک‌ها محسوب می‌شود (Akrami et al., 2013). موفقیت در پرورش ماهی و تداوم آن نیازمند مصرف غذاهای مناسب و با ارزش، زیست سازگار و با صرفه اقتصادی است. امروزه پیشرفت و توسعه آبیان مستلزم جیره غذایی مناسب است که بتواند حد ممکن نیازهای گونه‌های مختلف آبیان پرورشی را تأمین نماید (Bamato et al., 2000). تغذیه یکی از اصلی‌ترین شاخص‌های سلامت آبیان محسوب می‌شود که نقش بسیار مهمی در تقویت و افزایش سیستم ایمنی ماهی دارد. ارتباط بین سلامتی و توازن باکتری‌های روده، ایده‌ای را تحت عنوان پروبیوتیک مطرح کرد که هدف از این ایده تغییر تعادل باکتری‌های روده به سمت باکتری‌های با ارزش و مفید بود (Kolida et al., 2002). پروبیوتیک‌ها مکمل‌های غذایی میکروبی، مفید و با ارزشی هستند، که از طریق بهبود و توازن میکروبی‌های روده (مفید و غیر مفید) اثرات با ارزشی را بر میزبان ایفا می‌کنند (Fuller, 1989). تاکنون پژوهش‌های بسیاری در مورد کاربرد پروبیوتیک‌ها در صنعت آبی‌پروری انجام شده است. موارد بسیاری از جمله باکتری‌های گرم مثبت و منفی، مخمرها، میکروگلوبک‌ها به عنوان پروبیوتیک در صنعت آبی‌پروری بررسی شده‌اند. اثرات مثبت و سودمند این موارد در افزایش و تقویت سیستم ایمنی (Heizhao et al., 2004)، بهبود و افزایش رشد و مقاومت در برابر بیماری‌ها در گونه‌های مختلف آبی‌پروری به اثبات رسیده است. پروبیوتیک‌ها با اینکه اثرات مثبتی در آبیان دارند اما نگرانی‌هایی از قبیل زنده ماندن سویه‌های پروبیوتیک در خوراک، ماندگاری در روده و احتمال بدست آوردن ژن حدت از باکتری‌های بیماری‌زا از طریق انتقال افقی ژن را به وجود آورده‌اند.

$$\text{رابطه ۳-۳} \quad 100 \times \left( \frac{\text{وزن اولیه Ln} - \text{وزن نهایی Ln}}{\text{طول دوره پرورش}} \right) = \text{نرخ رشد ویژه}$$

ضریب تبدیل غذایی بیشتر نشان دهنده مقدار غذای مورد استفاده در هر یک از حوضچه‌ها می‌باشد زیرا اطمینان از اینکه تمام غذای داده شده مورد مصرف ماهیان قرار گرفته است وجود ندارد.

ضریب تبدیل غذایی (Houri *et al.*, 2005)

$$\text{رابطه ۳-۴} \quad \text{ضریب تبدیل غذایی} = \frac{\text{غذای خورده شده (گرم)}}{\text{افزایش وزن (گرم)}}$$

برای بررسی شاخص‌های خونی و ایمنی غیراختصاصی، تعداد ۹ ماهی از هر تیمار صید و در محلول ۱۰۰ ppm یوجینول بیهوش شدند. سپس نمونه خون با استفاده از سرنگ از ساقه دمی گرفته شد و در ظرف‌های پلاستیکی هپارینه و غیرهپارینه ریخته شد. نمونه‌های خون هپارینه جهت مطالعات خون‌شناسی استفاده شد و نمونه‌های غیرهپارینه جهت به دست آوردن سرم به مدت ۱۰ دقیقه در ۳۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد و سرم‌ها به ظرف‌های جدید منتقل گردید و در دمای ۸۰- درجه سانتی‌گراد تا زمان انجام آزمایش‌ها نگهداری شدند (Ross *et al.*, 2000). بررسی میزان فعالیت سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز سرم با استفاده از کیت نوندسلامت و براساس پروتوکول‌های پیشنهادی انجام شد. فعالیت سوپراکسید دیسموتاز بر اساس روش (Misra and Fridovich, 1972) اندازه‌گیری شد. به طور خلاصه، ۰/۱ میلی‌لیتر سرم با مخلوط EDTA (۰/۱ میلی‌لیتر، ۰/۴ میلی‌مولار) و بافر بی‌کربنات کربنات (۱ میلی‌لیتر، ۰/۱ مولار، pH 2/10) مخلوط شد. سپس ۰/۵ میلی‌لیتر اپی نفرین (۱/۸ میلی‌مولار) به مخلوط اضافه شد و افزایش DO در ۴۸۰ نانومتر در هر ۳۰ ثانیه به مدت ۳ دقیقه (UV-1900i Shimadzu، ژاپن) ثبت شد. مقادیر به عنوان مهار ۵۰ درصد از اکسیداسیون اپی نفرین به صورت دقیقه میلی گرم پروتئین بیان شد. فعالیت کاتالاز براساس روش (Takahara *et al.*, 1960) مورد سنجش قرار گرفت. نمونه ۱۰۰ میکرولیتری به ۱/۲ میلی لیتر بافر فسفات (۰/۱ مولار، pH 6.8) اضافه شد. واکنش با افزودن ۱ میلی لیتر H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> آغاز شد (۰/۳ مولار در بافر فسفات). جذب در ۲۴۰ نانومتر هر ۳۰ ثانیه به مدت ۳ دقیقه ثبت شد. فعالیت کاتالاز به صورت یک میکرومول H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> بیان شد. مقدار گلوکاتایون پراکسیداز با استفاده از کیت تشخیصی (ZellBio) آلمان (طبق دستورالعمل شرکت سازنده و براساس روش (Kuthan *et al.*, 1986) اندازه‌گیری شد. گلوکاتایون پراکسیداز به همراه گلوکاتایون بر ترکیبات پراکسید اثر کرده و منجر به تولید ترکیب گلوکاتایون دی سولفید می‌شود. فرایند بازگشت این واکنش و تولید مجدد گلوکاتایون در حضور آنزیم گلوکاتایون پراکسیداز، گلوکاتایون ردوکتاز، NADPH و معرف کومن هیدروپراکسید انجام می‌گیرد. در سنجش گلوکاتایون پراکسیداز میزان مصرف NADPH در واکنش به عنوان شاخص تعیین کمی آن در طول موج ۳۴۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. براساس سنجش انجام شده هر واحد گلوکاتایون پراکسیداز معادل مقدار آنزیم مورد نیاز برای مصرف یک میکرومول

براساس درصد وزن بدن و با استفاده از جداول استاندارد تغذیه ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان انجام شد. برای تغذیه ماهی‌ها میزان جیره غذایی محاسبه و در سه وعده غذایی (۸، ۱۲، ۱۶) و براساس حداکثر ۳٪ وزن توده زنده تغذیه شدند. در طی دوره آزمایش فاکتورهای فیزیکی-شیمیایی آب شامل دمای آب، اکسیژن محلول، پی‌اچ و سختی آب در حد بهینه موردنیاز ماهی قزل‌آلا تثبیت و حفظ شد. شرایط دوره نوری به‌صورت ۱۴ ساعت روشنایی و ۱۰ ساعت تاریکی تنظیم شد. همچنین جهت حفظ کیفیت آب و خروج مواد زائد، غذای خورده نشده سیفون شد. تیمارهای آزمایش به شرح ذیل بودند:

شامل تیمار یک: گروه شاهد (جیره فاقد پست‌بیوتیک خوراکی)

تیمار دو: جیره حاوی ۲ گرم بر کیلوگرم پست‌بیوتیک

تیمار سه جیره حاوی ۴ گرم بر کیلوگرم پست‌بیوتیک

تیمار چهار: جیره حاوی ۸ گرم بر کیلوگرم پست‌بیوتیک

پست‌بیوتیک برپایه مخمر ساکارومایسس سرویزیه از شرکت کیمیزیم (NutriYeast-Aq) تهیه شد. در این آزمایش از غذای تجاری فرادانه استفاده شد و سپس با اضافه کردن پست‌بیوتیک به جیره غذای مورد نظر فرموله شد. برای جلوگیری از هدر رفت مواد مغذی و پست‌بیوتیک مورد نظر ژلاتین ۲٪ برای پوشش غذا استفاده شد. جیره‌های تهیه شده تا زمان مصرف در کیسه‌های زیپ‌دار در یخچال نگهداری شد.

در پایان دوره پرورش، پس از ۲۴ ساعت از زمان آخرین غذادهی و بعد از اطمینان از دفع کامل محتویات لوله گوارش، شاخص‌های رشد و تغذیه اندازه‌گیری شد. برای این منظور، کل بچه ماهیان از هر تکرار جمع‌آوری با استفاده از ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۱ گرم وزن شدند همچنین به‌وسیله تخته اندازه‌گیری، طول کل و طول استاندارد ۵ عدد از ماهی‌هایی که به‌طور تصادفی انتخاب شده‌اند، اندازه‌گیری شد. برای بررسی عملکرد جیره‌های مختلف و مقایسه آن‌ها، در فواصل زمانی مشخص از طریق داده‌های به‌دست‌آمده از زیست‌سنجی و انجام آزمایش‌ها تغذیه‌ای طبق فرمول‌های موجود، برخی از فاکتورهای رشد به شرح زیر تعیین گردید:

افزایش وزن بدن (Takou *et al.*, 1990)

رابطه ۱ وزن اولیه - وزن نهایی = افزایش وزن بدن

درصد افزایش وزن بدن (Bokan *et al.*, 2006)

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

نرخ رشد ویژه یک شاخص رشد وزنی می‌باشد که وضعیت رشد ماهیان را به‌طور روزانه نشان می‌دهد. جهت اندازه‌گیری آن از رابطه زیر استفاده شد.

نرخ رشد ویژه (Houri *et al.*, 2005)

در شکل‌های زیر میزان فاکتورهای آنتی‌اکسیدانی سرم ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان تغذیه شده با تیمارهای مختلف پست‌بیوتیک بر پایه مخمر ساکارومایسیس سرویزیه نشان داده شده است. همانطور که در اشکال قابل مشاهده است در تمام فاکتورهای آنتی‌اکسیدانی اختلاف معنی‌داری بین گروه شاهد و تیمار ۸ گرم بر کیلوگرم دیده می‌شود. در شکل شماره ۱ در خصوص آنزیم سوپراکسید دیسموتاز بین گروه شاهد و تیمار ۸ گرم اختلاف معنی‌داری دیده می‌شود و همچنین بیشترین میزان سوپراکسید دیسموتاز در تیمار ۸ گرم بر کیلوگرم قابل مشاهده است. همین‌طور در شکل ۲ بین میزان فعالیت آنزیم کاتالاز گروه شاهد و تیمار ۲ گرم و ۸ گرم بر کیلوگرم و همچنین تیمار شاهد و ۸ گرم اختلاف معنی‌داری مشاهده می‌شود. همچنین بیشترین میزان آنزیم کاتالاز در تیمار ۸ گرم بر کیلوگرم قابل مشاهده است. با توجه به شکل ۳ در رابطه با آنزیم گلوکاتاتیون پراکسیداز هم فقط بین گروه شاهد و تیمار ۴ گرم بر کیلوگرم و تیمار ۸ گرم، اختلاف معنی‌داری مشاهده شد و همچنین بیشترین میزان این آنزیم در تیمار ۸ گرم بر کیلوگرم قابل مشاهده است.

NADPH در مدت یک دقیقه بود. داده‌های به‌دست آمده از این تحقیق به‌صورت طرح کاملاً تصادفی انجام شد. داده‌ها با استفاده از نرم افزار آماری (SPSS-22) تجزیه و تحلیل شدند. داده‌ها توسط آزمون ANOVA یک‌طرفه در سطح احتمال ۵ درصد (مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن (Duncan) در سطح اطمینان (۹۵ درصد) انجام شد.

### ۳ | نتایج

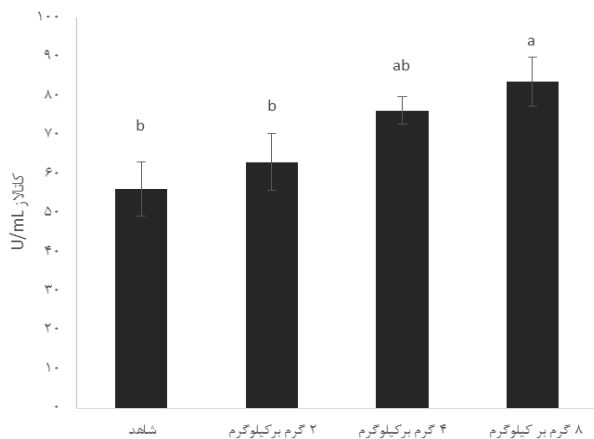
اثرات پست‌بیوتیک، پس از ۸ هفته تغذیه بر شاخص‌های رشد بچه‌ماهی قزل‌آلای در جدول نشان داده شده است. نتایج مطالعه حاضر نشان داد که افزودن پست‌بیوتیک به جیره ماهی قزل‌آلای سبب افزایش رشد نسبت به گروه شاهد گردید اگرچه از نظر آماری این رشد معنادار نبود ( $p < 0.05$ ). بالاترین مقدار عددی رشد در بچه‌ماهی‌های تغذیه شده با ۸ گرم پست‌بیوتیک به ازای کیلوگرم بدست آمد. همچنین بهبود ضریب تبدیل غذایی در بچه‌ماهی‌های تغذیه شده با پست‌بیوتیک مشاهده شد. اگرچه از نظر آماری این کاهش ضریب تبدیل غذایی معنادار نبود.

جدول ۱- اثرات تغذیه ۸ هفته‌ای با جیره‌های حاوی مکمل غذایی پست‌بیوتیک بر شاخص‌های رشد بچه‌ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان

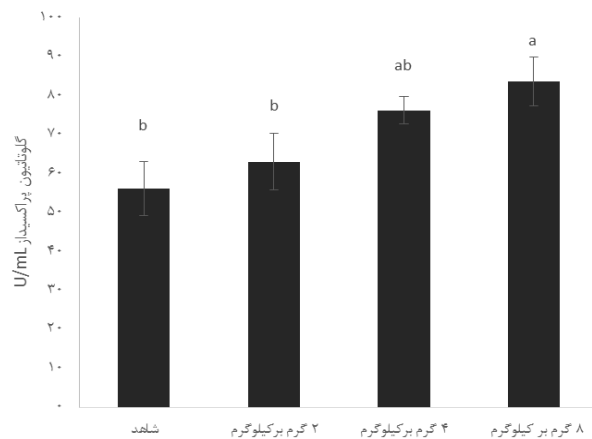
جیره حاوی پست‌بیوتیک ساکارومایسیس سرویزیه			
۸ گرم بر کیلوگرم	۴ گرم بر کیلوگرم	۲ گرم بر کیلوگرم	۰
۲/۱۳ ± ۰/۰۵	۲/۱۵ ± ۰/۰۳	۲/۱۶ ± ۰/۰۲	۲/۱۳ ± ۰/۰۵
۱۹/۷۴ ± ۱/۲۳	۱۹/۴۴ ± ۰/۴۹	۱۸/۲۵ ± ۰/۴۹	۱۸/۶۸ ± ۰/۳۸
۱۷/۶۱ ± ۱/۳۵	۱۷/۲۸ ± ۰/۴۸	۱۶/۱۱ ± ۰/۵۸	۱۶/۵۴ ± ۰/۴۲
۸۲۵/۴۱ ± ۵۲/۲۱	۸۰۰/۳۰ ± ۲۲/۴۹	۷۴۶/۰۶ ± ۳۶/۳۰	۷۷۶/۱۳ ± ۳۶/۳۲
۳/۹۷ ± ۰/۱۰	۳/۹۲ ± ۰/۰۴	۳/۸۱ ± ۰/۰۸	۳/۸۷ ± ۰/۰۷
۰/۶۵ ± ۰/۰۴	۰/۶۹ ± ۰/۰۴	۰/۷۳ ± ۰/۰۵	۰/۷ ± ۰/۰۴
۱۰۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰



شکل ۱- میزان فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز سرم ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان تغذیه شده با تیمارهای مختلف پست‌بیوتیک بر پایه مخمر ساکارومایسیس سرویزیه



شکل ۲- میزان فعالیت آنزیم کاتالاز سرم ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان تغذیه شده با تیمارهای مختلف پست‌بیوتیک بر پایه مخمر ساکارومایسیس سرویزیه



شکل ۳- میزان فعالیت آنزیم گلوکز اکسیداز سرم قزل‌آلای رنگین‌کمان تغذیه شده با تیمارهای پست‌بیوتیک بر پایه مخمر ساکارومایسیس سرویزیه

#### ۴ | بحث و نتیجه‌گیری

در گروه کنترل مثبت، پودر ماهی تنها منبع پروتئین (FM) بود. گروه کنترل منفی (Y<sub>0</sub>) با مقادیر کم پودر ماهی تغذیه شدند و پروتئین گیاهی به عنوان منبع پروتئین مورد استفاده قرار گرفت. سایر جیره‌ها با عصاره ساکارومایسیس سرویزیه تکمیل شدند: ۱ گرم بر کیلوگرم (Y<sub>1</sub>)، ۲ گرم بر کیلوگرم (Y<sub>2</sub>)، ۵ گرم بر کیلوگرم (Y<sub>5</sub>)، و ۱۰ گرم بر کیلوگرم (Y<sub>10</sub>). شش گروه با سه تکرار در هر گروه و ۳۰ هامور در هر تکرار تقسیم شدند. این آزمایش ۵۶ روز به طول انجامید. نتایج نشان داد که تفاوت معنی داری در میزان افزایش وزن و نرخ رشد ویژه گروه‌های FM، Y<sub>0</sub> و Y<sub>2</sub> وجود ندارد ( $p < 0.05$ ). پس از چالش ویبریو هاروی، میزان بقا در گروه‌های Y<sub>1</sub> و Y<sub>10</sub> به‌طور معنی‌داری بیشتر از گروه Y<sub>0</sub> بود ( $p < 0.05$ ). این نتایج نشان داد که در مقایسه با گروه کنترل منفی، افزودن ۲ گرم به ازای هر کیلوگرم عصاره ساکارومایسیس سرویزیه می‌تواند طول چین‌های مخاطی پیش‌رونده و ضخامت عضله کل روده را افزایش دهد که این موارد می‌توانند سبب بهبود رشد شوند (Yang et al., 2023). علاوه بر کارگیری پری‌بیوتیک تجاری مولتی بسپیل و بهسام در پرورش نوزادان ماهی سبب افزایش معنی‌دار شاخص‌های وکارایی مصرف خوراک شد (Jafarian et al., 2015). در خصوص اثرگذاری مطلوب پست‌بیوتیک مورد استفاده می‌توان عنوان کرد که چون ساکارومایسیس سرویزیه دارای واحدهای الیگوساکارید است و الیگوساکاریدها به‌دلیل ساختار خاص و عدم برخورداری ماهی‌ها از آنزیم‌های هیدرولیزکننده اتصالات نوع β بین واحدهای مونوساکاریدی، در برابر فرآیند گوارش مقاومت کرده و صرفاً توسط برخی از باکتری‌های بی‌هوازی موجود در دستگاه گوارش قابلیت تجزیه شدن را دارند (Merrifield and Ringo, 2014). لذا، عمدتاً باکتری‌ها شامل لاکتوباسیلو ها، بیفیدوباکترها و بسیاری از باکتری‌های اسید لاکتیک هستند که می‌توانند با استفاده از تخمیر از الیگوساکاریدها تغذیه کرده و به این وسیله اثرات مفیدی روی میزبان داشته باشند. در نتیجه، تغذیه

نتایج مطالعه حاضر نشان داد که افزودن پست‌بیوتیک به جیره ماهی قزل‌آلای سبب افزایش رشد نسبت به گروه شاهد گردید، اگرچه از نظر آماری این رشد معنادار نبود ( $p < 0.05$ ). بالاترین مقدار عددی رشد در بچه ماهی‌های تغذیه شده با ۸ گرم پست‌بیوتیک به ازای کیلوگرم بدست آمد. همچنین بهبود ضریب تبدیل غذایی در بچه ماهی‌های تغذیه شده با پست‌بیوتیک مشاهده شد. اگرچه از نظر آماری این کاهش ضریب تبدیل غذایی معنادار نبود. با توجه به مطالعات انجام شده، در مطالعه‌ای همسو با این تحقیق که با هدف بررسی اثرات ساکارومایسیس سرویزیه بر رشد، سلامت روده و کبد، میکروبیوتای روده و مقاومت به بیماری گربه ماهی روگامی (*Ictalurus punctatus*) انجام شد. گربه ماهی روگامی به‌طور تصادفی به دو تیمار، گروه شاهد (جیره پایه) و گروه SCC (جیره پایه با کشت ۲ درصد ساکارومایسیس سرویزیه) تقسیم شدند و به مدت ۱۲ هفته تغذیه شدند. نتایج نشان داد که افزایش وزن در گروه SCC در مقایسه با گروه کنترل به طور معنی‌داری افزایش یافت ( $p < 0.05$ ) و ضریب تبدیل غذایی به طور معنی‌داری کاهش یافت (Xia et al., 2022) ( $p < 0.05$ ). همچنین در مطالعه‌ای دیگر همسو با این تحقیق، سبوس گندم (WB) توسط مخمر نانوبی (*Saccharomyces cerevisiae*) تخمیر شد تا تأثیر آن بر میزان رشد، شاخص‌های خون، و بافت‌شناسی روده و کبد ماهی تیلاپیا نیل (*Oreochromis niloticus*) مشخص شود. در این مطالعه سطوح مختلف (۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ درصد) در جیره‌های تیلاپیا، چهار جیره عملی تشکیل دادند. ماهی‌های تغذیه شده با جیره ۲ (۲۰٪ YFWB) بهترین وزن نهایی بدن، افزایش وزن، نرخ رشد ویژه، نسبت کارایی پروتئین، و ضریب تبدیل خوراک را با استفاده از رگرسیون چند جمله‌ای داشتند (Mohammady et al., 2023). همچنین در مطالعه‌ای دیگر شش جیره آزمایشی برای ارزیابی اثرات عصاره ساکارومایسیس سرویزیه، به عنوان بخشی از یک رژیم غذایی کم پودر ماهی با منبع پروتئین گیاهی پیچیده، بر هامور خالدار نارنجی (*Epinephelus coioides*) فرموله شد.

اکسیداتیو) قادرند تولید و حذف گونه‌های فعال اکسیژن را در شرایط طبیعی متعادل کنند. اختلال در این فرآیند منجر به اختلال در سیستم هموستاز بدن و ایجاد استرس اکسیداتیو در سلول‌های مختلف موجودات زنده می‌شود (Derakhshesh *et al.*, 2015). آنزیم‌های SOD، CAT و GPx درگیر در سیستم آنتی‌اکسیدانی به عنوان اولین مکانیسم دفاعی در برابر استرس اکسیداتیو از طریق فرآیندهای رادیکال و فاگوسیتوز در بافت آسیب دیده شناسایی می‌شوند (Abhijith *et al.*, 2016). با این حال، نقش اصلی این آنزیم‌ها خنثی کردن گونه‌های فعال اکسیژن تولید شده در اندام‌های مختلف است (Zhang *et al.*, 2011). سوخت و ساز سلولی جانداران با تولید انواع مختلف رادیکال‌های آزاد اکسیژن (ROS) همچون پراکسید هیدروژن، سوپراکسید، هیدروکسیل و غیره همراه است. این ترکیبات قدرت اکسیداسیونی قوی دارند و جزء عوامل بسیار مهم در آسیب رسیدن به سلول‌های مختلف بدن هستند. آنها با تخریب ترکیباتی همچون پروتئین‌ها، آمینواسیدها، DNA و غیره در ایجاد سرطان‌های سلولی نقش دارند. هرگاه تولید رادیکال‌های آزاد در بدن جانداران بیشتر از میزان حذف آنها باشد، استرس اکسیداتیو ایجاد می‌شود (Martinez *et al.*, 2005). سلول‌ها برای مقابله با این ترکیبات و خنثی کردن آنها از سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی خود شامل آنزیم‌های کاتالاز، گلوکاتیون ردوکتاز، گلوکاتیون اس-ترانسفراز و غیره استفاده می‌کنند. در مطالعه حاضر میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی سرم ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان در تمامی تیمارهای مورد مطالعه افزایش معنی‌داری نسبت به شاهد نشان داد. شاخص‌های متفاوتی از جمله عوامل زنده یا غیرزنده مانند تغذیه، سن ماهی، بیماری، دما، ترکیبات سمی و غیره می‌تواند باعث تقویت یا تضعیف سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی در ماهی‌ها شوند (Martinez *et al.*, 2005). پروبیوتیک‌ها در بدن جانداران با مکانیسم‌های مختلفی همچون قدرت کلاته کردن عناصر اکسید کننده آهن و مس، تولید متابولیت‌هایی با خواص آنتی‌اکسیدانی (بوتیرات و گلوکاتیون)، بهبود بیان ژن‌های تقویت‌کننده فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، تأثیر بر فعالیت پروتئین‌های مؤثر (پروتئین کیناز، سیتوکروم و غیره) در مسیر متابولیسم آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در بدن باعث افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی می‌شود (Wang *et al.*, 2017). در مورد مکانیسم اثر پست بیوتیک‌ها بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در آبزیان مطالعات بیشتری نیاز است، اما به نظر می‌رسد پست‌بیوتیک‌ها قادر هستند با ترشح آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی خاص و تحریک متابولیسم تولید این آنزیم‌ها در آبزیان باعث افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی شوند (Li *et al.*, 2012). از طرف دیگر پست‌بیوتیک با بهبود هضم و جذب مواد مغذی جیره به فرآیند تولید ترکیبات آنتی‌اکسیدانی در بدن آبزیان کمک می‌کنند و باعث افزایش سطح فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی می‌شوند. به‌طور کلی مقادیر آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی سرم ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان تغذیه شده با تیمارهای مختلف پست‌بیوتیک بر پایه مخمر *ساکارومایسیس سرویزیه* با افزایش درصد پست بیوتیک در تیمارها، مقادیر آنزیم‌ها هم افزایش پیدا کرده است. با توجه به نتایج

ماهیان با این نوع کربوهیدرات‌ها می‌تواند باعث افزایش جمعیت باکتری‌های مفید روده و به‌خصوص بیفیدو باکترها و باکتری‌های اسید لاکتیک گردد. همچنین به علت کاهش pH روده به دلیل وجود شرایط تخمیری و تولید اسید توسط جمعیت باکتری‌های مفید، از فعالیت باکتری‌های مضر و بیماری‌زا در دستگاه گوارشی جلوگیری شده و از طرفی جذب مواد معدنی افزایش می‌یابد که باعث بهبود شاخص‌های رشد می‌شود (Merrifield and Ringo, 2014). همانطور که در بخش نتایج قابل مشاهده است، در تمام فاکتورهای آنتی‌اکسیدانی اختلاف معنی‌داری بین گروه شاهد و تیمار ۸ گرم بر کیلوگرم مشاهده گردید. در میزان میزان آنزیم کاتالاز بین گروه شاهد و ۸ گرم بر کیلوگرم اختلاف معنی‌داری مشاهده شد و بیشترین میزان آنزیم کاتالاز در تیمار ۸ گرم بر کیلوگرم مشاهده گردید. در تیمار ۸ گرم بر کیلوگرم دیسموتاز و گلوکاتیون پراکسیداز هم بین گروه شاهد و تیمار ۸ گرم اختلاف معنی‌داری دیده شده و بیشترین میزان فعالیت مربوط به تیمار ۸ گرم بر کیلوگرم بود. در تحقیق همسو با این مطالعه که بر ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان انجام شد، مشخص گردید که استفاده از جیره غذایی حاوی سطوح مختلف عصاره آویشن و پرپیوتیک ایمونژن به طور قابل توجهی باعث افزایش پارامترهای آنتی‌اکسیدانی از جمله کاتالاز، آنزیم سوپراکسید دیسموتاز و گلوکاتیون پراکسیداز در ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان شده است (Yousefi *et al.*, 2023). همچنین در مطالعه‌ای دیگر بکارگیری پکتین استخراج شده از پوست پرتقال به عنوان یک پروبیوتیک طبیعی سبب بهبود معنی‌دار فعالیت سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی از جمله فعالیت کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز و فنول پراکسیداز شد (Nasiry *et al.*, 2020). همچنین در مطالعه‌ای دیگر که در رابطه با بررسی اثرات پروبیوتیک استاچیز بر ایمنی و بیان ژن‌های آنتی‌اکسیدان مرتبط و متابولیسم لیپید در گورخرماهی (*Danio rerio*) انجام شد، اختلاف معنی‌داری بین میزان بیان ژن در آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی دیده نشد ولی در تیماری که با جیره حاوی ۴ گرم استاچیز تغذیه شد، بیشترین میزان بیان ژن کاتالاز و گلوکاتیون پراکسیداز مشاهده گردید (Shirzadeski *et al.*, 2022). به‌علاوه در مطالعه‌ای دیگر که منظور بررسی اثرات ترکیبی و منفرد عصاره اتانولی موسیر ایرانی (*Allium hirtifolium* Boiss) و سین‌بیوتیک Biomin®IMBO بر عملکرد رشد، پاسخ‌های ایمنی ذاتی و دفاع آنتی‌اکسیدانی در گورخرماهی (*Danio rerio*) انجام شد، مشخص شد که جیره حاوی این افزودنی، باعث ایجاد اختلاف معنی‌داری در میزان فعالیت کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز و گلوکاتیون پراکسیداز بین تیمار شاهد و سایر تیمارها شده است (Ghafari *et al.*, 2021). سوپراکسید دیسموتاز (SOD)، کاتالاز (CAT) و گلوکاتیون پراکسیداز (GPx) آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مهمی هستند که نقش حیاتی در مقابله با سمیت گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) تحت شرایط نامساعد دارند (Tebrez *et al.*, 2009). با توجه به نتایج مطالعه حاضر، در همه تیمارها افزایش فعالیت‌های CAT، SOD، GPx در مقایسه با گروه شاهد داشته‌اند. در واقع این سیستم‌های محافظ (آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و استرس

- Diseases of Aquatic Organism, 8: 171–177.
- Akhter N., Wu B., Memon A.M., Mohsin M. 2015. Probiotics and prebiotics associated with aquaculture: a review. *Fish and Shellfish Immunology*, 45: 733–741.
- Amlashi, A. S., Falahatkar, B., Sattari, M., & Gilani, M. T. 2011. Effect of dietary vitamin E on growth, muscle composition, hematological and immunological parameters of sub-yearling beluga *Huso huso* L. *Fish & Shellfish Immunology*, 30(3): 807-814.
- Akrami R., Iri Y., Rostami H.K., Mansour M.R. 2013. Effect of dietary supplementation of fructooligosaccharide (FOS) on growth performance, survival, lactobacillus bacterial population and hemato-immunological parameters of stellate sturgeon (*Acipenser stellatus*) juvenile. *Fish & Shellfish Immunology*, 35(4): 1235-1239.
- Aguilar-Toalá J.E., Garcia-Varela R., Garcia H.S., Mata-Haro V., González-Córdova A.F., Vallejo-Cordoba B., Hernández-Mendoza A. 2018. Postbiotics: An evolving term within the functional foods field. *Trends in Food Science & Technology*, 75, 105-114
- Barducci R.S., de Abreu V., Santos A.A.D., Pacheco L.G., Koch J.F.A., Florencio M., Pilarski F. 2022. Natural feed additive containing *Saccharomyces cerevisiae*-originated free nucleotides improves innate immunity, gut histology and disease resistance in Nile tilapia. *Animal Feed Science and Technology*, 289: 115337.
- Brunt E.M., Wong V.W.S., Nobili V., Day C.P., Sookoian S., Maher, J.J., Rinella M.E. 2015. Nonalcoholic fatty liver disease. *Nature reviews Disease primers*, 1(1): 1-22.
- Baquero, F., & Levin, B. R. 2021. Proximate and ultimate causes of the bactericidal action of antibiotics. *Nature Reviews Microbiology*, 19(2): 123-132.
- Batista, S., Tapia-Paniagua, S. T., Morinigo, M. A., Nunez-Diaz, J. A., Goncalves, J. F. M., Barros, R., & Ozorio R.O.A. 2013. Expression of immune response genes in sole (*Solea senegalensis*, Kaup 1858) induced by dietary probiotic supplementation following exposure to *Photobacterium damsela* subsp. *piscicida*. *Fish and Shellfish Immunology*, 6(34): 1638-1639.
- Choudhury T.G., Kamilya D. 2019. Paraprobiotics: An aquaculture perspective. *Reviews in Aquaculture*, 11(4): 1258-1270.
- Chakrabarti R., Srivastava P.K., Verma N., Sharma J. 2014. Effect of seeds of *Achyranthes aspera* on the immune responses and expression of some immune-related genes in carp *Catla catla*. *Fish & Shellfish Immunology*, 41(1): 64-69.
- Caspi R.R., Avtalion R.R. 1984. Evidence for the existence of an IL-2 like lymphocyte growth promoting factor in a bony fish, *Cyprinus carpio*. *Developmental & Comparative Immunology*, 8(1): 51-60.
- de Almeida F.L.A., Carvalho R.F., Pinhal D., Padovani C. R., Martins C., Dal Pai-Silva M. 2008. Differential expression of myogenic regulatory factor MyoD in pacu skeletal muscle (*Piaractus mesopotamicus* این تحقیق و بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد که پربیوتیک‌ها و پروبیوتیک‌ها در ماهی‌ها مختلف با تاثیرگذاری متفاوت خود باعث افزایش پارامترهای ایمنی گردیده‌اند که از جمله می‌توان به افزایش پارامترهایی نظیر انفجار تنفسی، ایمونوگلوبولین، فعالیت فاگوسیتوزی در ماهیان اشاره کرد که سبب ارتقا سیستم ایمنی در آن‌ها گردیده است که نتایج آن در افزایش نرخ بقا در طول دوره پرورش و آزمایش‌های مقابله با استرس کاملاً مشهود می‌باشد ( Mohapatra et al., 2013). همچنین پست‌بیوتیک‌ها با تاثیر بر طول چین‌های مخاطی پیش روده و ضخامت عضله کل روده را افزایش دهد و رشد روده را حفظ کند (Yang et al., 2021). باتوجه به نتایج مطالعه حاضر، می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از پست‌بیوتیک بر پایه مخمر ساکارومایسیس سرویزیه در رژیم غذایی قزل‌آلای رنگین‌کمان می‌تواند برای بهبود وضعیت سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی از طریق افزایش میزان آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان مؤثر باشد. همچنین نتایج حاضر نشان داد که سطوح مختلف پست‌بیوتیک بر پایه مخمر ساکارومایسیس سرویزیه توانست در افزایش عملکرد رشد تاثیر گذار باشد، اگرچه مطالعات بیشتر برای بررسی اثرات این پست‌بیوتیک بر سلامت و بقای ماهی‌هایی که در معرض استرس‌های محیطی و بیماری‌های عفونی قرار دارند توصیه می‌شود.
- ## ۵ | تشکر و قدردانی
- از حمایت‌های دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی در قالب پایان نامه کارشناسی ارشد آقای لشکر بلوک و نیز حمایت‌های مالی شرکت بهان کیمیاژیم تشکر و قدردانی به‌عمل می‌آید.
- ### پست الکترونیک نویسندگان:
- محمد حسین لشکر بلوک: mhlbluky@gmail.com  
سید حسین حسین‌فر: Hoseinifar@gau.ac.ir  
محمد مازندرانی: mazandarani57@gmail.com  
ولی‌اله جعفری: v.jafari.sh110@gmail.com  
رقیه صفری: fisheriessafari@yahoo.com
- ## REFERENCES
- Abhijith B.D., Ramesh M., Poopal R.K. 2016. Responses of metabolic and antioxidant enzymatic activities in gill, liver and plasma of *Catla catla* during methyl parathion exposure. *The Journal of Basic & Applied Zoology*, 77: 31-40.
- Abdel-Tawwab M., Samir F., Abd El-Naby A.S., Monier M.N. 2018. Antioxidative and immunostimulatory effect of dietary cinnamon nanoparticles on the performance of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* L. and its susceptibility to hypoxia stress and *Aeromonas hydrophila* infection. *Fish & Shellfish Immunology*, 74: 19-25.
- Abbaspour N., Hurrell R., Kelishadi R. 2014. Review on iron and its importance for human health. *Journal of research in medical sciences: the official journal of Isfahan University of Medical Sciences*, 19(2), 164.
- Aoki T., Takami K., Kitao T. 1990. quinqueredia ta.

- Holmberg 1887: Serrasalminae, Characidae, Teleostei) during juvenile and adult growth phases. *Micron*, 39(8): 1306-1311.
- del Valle J.C., Bonadero M.C., Gimenez A.V.F. 2023. *Saccharomyces cerevisiae* as probiotic, prebiotic, synbiotic, postbiotics and parabiotics in aquaculture: An overview. *Aquaculture*, 73:39-42.
- Derakhshesh N., Movahedinia A., Salamat N., Hashemitabar M., Bayati V. 2015. Comparative study of the basic levels of antioxidant enzyme activity superoxide dismutase and catalase enzymes of fish grouper (*Epinephelus coioides*) in in vitro and in vivo models. *Aquatics Physiology and Biotechnology*, 2(3): 47-67.
- Esteban M.A. 2012. An overview of the immunological defenses in fish skin. *Fish Immunology*, 1: 1-29.
- Epaul R., Delestrain C., Weaver T.E., Akinbi H.T. 2019. Bacterial killing is enhanced by exogenous administration of lysozyme in the lungs. *Respiratory Medicine and Research*, 76: 22-27.
- Evans D.L., Harris D.T., Jaso-Friedmann L. 1992. Function associated molecules on nonspecific cytotoxic cells: role in calcium signaling, redirected lysis, and modulation of cytotoxicity. *Developmental & Comparative Immunology*, 16(5): 383-394.
- Gomez D., Sunyer J.O., Salinas I. 2013. The mucosal immune system of fish: the evolution of tolerating commensals while fighting pathogens. *Fish & Shellfish Immunology*. 35: 1729–1739.
- Goodrich R.P., Doane S., Reddy H.L. 2010. Design and development of a method for the reduction of infectious pathogen load and inactivation of white blood cells in whole blood products. *Biologicals* 38: 20-30.
- Gholipour M., Soltanian S., Akhlaghi M., Alishahi M., Mirbakhsh M., Gheysari H. 2020. The effect of encapsulation of *Lactobacillus plantarum* with Alginate/Chitosan Nano particles on growth performance and digestive enzyme activities in Asian sea bass (*Lates calalifer*). *Journal of Animal Environment*, 12(3) :197-206.
- Hao Q., Xia R., Zhang Q., Xie Y., Ran C., Yang Y., Zhou Z. 2022. Partially replacing dietary fish meal by *Saccharomyces cerevisiae* culture improve growth performance, immunity, disease resistance, composition and function of intestinal microbiota in channel catfish (*Ictalurus punctatus*). *Fish & Shellfish Immunology*, 125: 220-229.
- Islam S.M., Rohani M.F., Shahjahan M. 2021. Probiotic yeast enhances growth performance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) through morphological modifications of intestine. *Aquaculture Reports*, 21, 100800.
- Jafariyan H., Sahandi J., Taati M., Eslamloo K., Dewangan N.K., Gopalakrishnan A., El-Gamal A.A.E. 2015. The use of *Bacillus* probiotics in-feed improved stress resistance of *Trichopodus trichopterus* (Pallas, 1770) larvae. *Journal of Coastal Life Medicine*, 3(10): 757-760.
- Karimi Pashaki A., Ghasemi M., Zorriehzahra M.J., Shrif Rohani M., Hosseini S.M. 2020. Effects of dietary garlic (*Allium sativum*) extract on survival rate, blood and immune parameters changes and disease resistance of Common carp (*Cyprinus carpio carpio* Linnaeus, 1758) against Spring Viremia of Carp (SVC). *Iranian Journal of Fisheries Sciences*, 19(3): 1024-1039
- Kumar V. 2020. Pulmonary innate immune response determines the outcome of inflammation during pneumonia and sepsis-associated acute lung injury. *Frontiers in Immunology*. 11: 1722.
- Killie J.E.A., Jørgensen T.Ø. 1995. Immunoregulation in fish II: intermolecular-induced suppression of antibody responses studied by haptenated antigens in atlantic salmon (*Salmo salar* L). *Developmental & Comparative Immunology*, 19(5): 389-404.
- Kalyanaraman B. 2013. Teaching the basics of redox biology to medical and graduate students: Oxidants, antioxidants and disease mechanisms. *Redox biology*, 1(1): 244-257.
- Leiro J., Ortega M., Estevez J., Ubeira F.M., Sanmartin M.L. 1996. The role of opsonization by antibody and complement in in vitro phagocytosis of microsporidian parasites by turbot spleen cells. *Veterinary Immunology and Immunopathology*, 51(1-2): 201-210.
- Lamas J., Ellis A.E. 1994. Atlantic salmon (*Salmo salar*) neutrophil responses to *Aeromonas salmonicida*. *Fish and Shellfish Immunology*. 4: 201-219.
- Liu H., Li Z., Tan B., Lao Y., Duan Z., Sun W., Dong X. 2014. Isolation of a putative probiotic strain S12 and its effect on growth performance, non-specific immunity and disease-resistance of white shrimp, *Litopenaeus vannamei*. *Fish & shellfish immunology*, 41(2): 300-307.
- Li W.F., Deng B., Cui Z.W., Fu L.Q., Chen N.N., Zhou X.X., Shen W., Yu D. 2012. Several indicators of immunity and antioxidant activities improved in grass carp given a diet containing *Bacillus* additive. *Journal of Animal and Veterinary Advances*, 11(14): 2392-7.
- Miller I. 2018. The gut–brain axis: historical reflections. *Microbial ecology in health and disease*, 29(2), 1542921.
- Mathias A., Duc M., Favre L., Benyacoub J., Blum S., Corthésy B. 2010. Potentiation of polarized intestinal Caco-2 cell responsiveness to probiotics complexed with secretory IgA. *Journal of Biological Chemistry*, 285(44): 33906-33913.
- Martínez-Álvarez R.M., Morales A.E., Sanz A. 2005. Antioxidant defenses in fish: biotic and abiotic factors. *Reviews in Fish Biology and fisheries*, 15: 75-88.
- Merrifield D.L., Ringo E. 2014. *Aquaculture Nutrition: Gut Health, Probiotics, and Prebiotics*. Wiley Blackwell. 496 p.
- Mohan T., Verma P., Rao D.N. 2013. Novel adjuvants & delivery vehicles for vaccines development: a road ahead. *Indian Journal of Medicinal Research*, 138: 779.
- Mohammady E.Y., Aboseif A.M., Soaudy M.R., Ramadan E.A., Hassaan M.S. 2023. Appraisal of fermented wheat bran by *Saccharomyces cerevisiae* on growth, feed utilization, blood indices, intestinal and liver histology of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*.

- Aquaculture, 739755.
- Mohapatra, S., Chakraborty, T., Kumar, V., DeBoeck, G., & Mohanta, K. N. 2013. Aquaculture and stress management: a review of probiotic intervention. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 97(3): 405-430.
- Miller N.W., Rycyzyn M.A., Wilson M.R., Warr G.W., Naftel J.P., Clem L.W. 1994. Development and characterization of channel catfish long term B cell lines. *Journal of Immunology*, 152: 2180-2189.
- Marsden M.J., Vaughan L.M., Foster T.J., Secombes C.J. 1996. A live (delta aroA) *Aeromonas salmonicida* vaccine for furunculosis preferentially stimulates T-cell responses relative to B-cell responses in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Infection and immunity*, 64: 3863-3869
- Magnadottir B. 2010. Immunological control of fish diseases. *Marine biotechnology*, 12, 361-379.
- Nazarudin M.F., Yusoff F., Idrus E.S., Aliyu-Paiko M. 2020. Brown seaweed *Sargassum polycystum* as dietary supplement exhibits prebiotic potentials in Asian sea bass *Lates calcarifer* fingerlings. *Aquaculture Reports*, 18: 100488.
- Nafisi Bahabadi, M., Ch A. 2015. Effects of dietary probiotic (*Lactobacillus plantarum*) on body composition, serum biochemical parameters and liver enzymes of Asian sea bass (*Lates calcarifer*, Bloch 1790). *Journal of Marine Science and Technology*, 14(2):1-14.
- North B.P., Turnbull J.F., Ellis T., Porter M.J., Migaud H., Bron J., Bromage N.R. 2006. The impact of stocking density on the welfare of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, 255(1-4): 466-479.
- Nandy S.K., Srivastava R.K. 2018. A review on sustainable yeast biotechnological processes and applications. *Microbiological research*, 207: 83-90.
- Ognik K., Krauze M. 2016. The potential for using enzymatic assays to assess the health of turkeys. *Worlds Poultry Science Journal*, 72: 535-550.
- Ofoedu C.E., You L., Osuji C.M., Iwouno J.O., Kabuo N.O., Ojukwu M., Agunwah I.M., Chacha J.S., Muobike O.P., Agunbiade A.O. 2021. Hydrogen Peroxide Effects on Natural-Sourced Polysaccharides: Free Radical Formation/Production, Degradation Process, and Reaction Mechanism-A Critical Synopsis. *Foods*, 10: 69-79.
- Owatari M.S., da Silva L.R., Ferreira G.B., Rodhermel J.C.B., de Andrade J.I.A., Dartora A., Jatobá A. 2022. Body yield, growth performance, and haematological evaluation of Nile tilapia fed a diet supplemented with *Saccharomyces cerevisiae*. *Animal Feed Science and Technology*, 293: 115453.
- Polyak K., Haviv I., Campbell I.G. 2009. Co-evolution of tumor cells and their microenvironment. *Trends in Genetics*, 25: 30-38.
- Pandiyan P., Balaraman D., Thirunavukkarasu R., George E.G.J., Subaramaniyan K., Manikkam S., Sadayappan B. 2013. Probiotics in aquaculture. *Drug invention today*, 5(1): 55-59
- Rohani M.F., Islam S.M., Hossain M.K., Ferdous Z., Siddik M.A., Nuruzzaman M., Shahjahan M. 2022. Probiotics, prebiotics and synbiotics improved the functionality of aquafeed: Upgrading growth, reproduction, immunity and disease resistance in fish. *Fish & shellfish immunology*, 120: 569-589.
- Roberts M.S., Kruchten A.E. 2016. *Receptor Biology*. John Wiley & Sons.
- Romano N., Picchiatti S., Taverne-Thiele J.J., Taverne N., Abelli L., Mastrolia L., Verburg-van Kemenade B.M.L., Rombout J. 1998. Distribution of macrophages during fish development: an immunohistochemical study in carp (*Cyprinus carpio*, L.). *Anatomy and embryology (Berl)*. 198: 31-41.
- Roitt I., Brostoff J., M.D., 1993. *Applied Veterinary Histology 3rd ed*: Mosby Year Book. St. Louis, Balt. Boston, Chicago, London, Philadelphia, Sydney, Toronto.
- Rijkers G.T., Frederix-Wolters E.M.H., Van Muiswinkel W.B. 1980. The haemolytic plaque assay in carp (*Cyprinus carpio*). *Journal of Immunological Methods*, 33: 79-86.
- Subramanian S., Ross N., MacKinnon S. 2008. Comparison of the biochemical composition of normal epidermal mucus and extruded slime of hagfish (*Myxine glutinosa L.*). *Fish & Shellfish Immunology*, 25:625-632.
- Siddik M.A., Howieson J., Islam S.M., Fotedar R. 2022. Synbiotic feed supplementation improves antioxidant response and innate immunity of juvenile barramundi, *Lates calcarifer* subjected to bacterial infection. *Aquaculture*, 552: 737965.
- Shoemaker C., Xu D.H., LaFrenz B., LaPatra S. 2015. Overview of fish immune system and infectious diseases. *Dietary nutrients, additives and fish health*. Wiley, Canada, 1-24.
- Syed Raffic Ali S., Ambasankar K., Ezhil Praveena P., Nandakumar S., Syamadaya J. 2017. Effect of dietary fructooligosaccharide supplementation on growth, body composition, hematological and immunological parameters of Asian seabass (*Lates calcarifer*). *Aquaculture International*, 25(2): 837-848.
- Shurson G.C. 2018. Yeast and yeast derivatives in feed additives and ingredients: Sources, characteristics, animal responses, and quantification methods. *Animal Feed Science and Technology*, 235: 60-76.
- Siwicki A.K., Anderson D.P. 1993. Fish Disease Diagnosis and Prevention Methods. In: *Nonspecific Defense Mechanisms Assay in Fish. II. Potential Killing Activity of Neutrophils and Macrophages, Lysozyme Activity in Serum and Organs and Total Immunoglobulin Level in Serum*. pp: 105-112.
- Salighehzadeh R., Sharifiyazdi H., Akhlaghi M., Khalafian M., Gholamhosseini A., Soltanian S. 2019. Molecular and clinical evidence of *Aeromonas hydrophila* and *Fusarium solani* co-infection in narrow-clawed crayfish *Astacus leptodactylus*. *Diseases of Aquatic Organisms*, 132(2): 135-141.
- Tort L., Balasch J., Mackenzie S. 2003. Fish immune system. A crossroads between innate and adaptive responses. *Inmunología*, 22: 27-37.
- Triantaphyllopoulos K.A., Cartas D., Miliou H. 2020. Factors influencing GH and IGF-I gene expression on growth in teleost fish: how can aquaculture industry

- benefit? *Reviews in Aquaculture*, 12: 1637–1662.
- Tran N.T., Yang W., Nguyen X.T., Zhang M., Ma H., Zheng H., Li S. 2022. Application of heat-killed probiotics in aquaculture. *Aquaculture*, 548: 737700.
- Tabrez S., Ahmad M. 2009. Effect of wastewater intake on antioxidant and marker enzymes of tissue damage in rat tissues: implications for the use of biochemical markers. *Food and Chemical Toxicology*, 47(10): 2465-2478.
- Verburg-van Kemenade B.L., Weyts F.A., Debets R., Flik G. 1995. Carp macrophages and neutrophilic granulocytes secrete an interleukin-1-like factor. *Developmental & Comparative Immunology*, 19(1): 59-70.
- Vallejo A.N., Miller N.W., Clem L.W. 1992. Antigen processing and presentation in teleost immune responses. *Annual Review of Fish Diseases*, 2: 73-89.
- Wang Y., Wu Y., Wang Y., Xu H., Mei X., Yu D., Wang Y., Li W. 2017. Antioxidant properties of probiotic bacteria. *Nutrients*, 9(5): 52-61.
- Weyts F.A.A., Rombout J., Flik G., Verburg-Van Kemenade B.M.L. 1997. A common carp (*Cyprinus carpio* L.) leucocyte cell line shares morphological and functional characteristics with macrophages. *Fish and Shellfish Immunology*, 7: 123–133.
- Xia R., Hao Q., Xie Y., Zhang Q., Ran C., Yang Y., Zhou Z. 2022. Effects of dietary *Saccharomyces cerevisiae* on growth, intestinal and liver health, intestinal microbiota and disease resistance of channel catfish (*Ictalurus punctatus*). *Aquaculture Reports*, 24: 101157.
- Yang X., He Y., Lin S., Dong X., Yang Q., Liu H., Tan B. 2021. *Saccharomyces cerevisiae* extracts improved the effects of a low fishmeal, complex plant protein diet in the orange-spotted grouper, *Epinephelus coioides*. *Aquaculture Reports*, 19: 100574.
- Yarahmadi P., Miandare H.K., Fayaz S., Caipang C.M.A. 2016. Increased stocking density causes changes in expression of selected stress-and immune-related genes, humoral innate immune parameters and stress responses of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Fish & Shellfish Immunology*, 48: 43-53.
- Yin Z., Lam T.J., Sin Y.M. 1997. Cytokine-mediated antimicrobial immune response of catfish, *Clarias gariepinus*, as a defence against *Aeromonas hydrophila*. *Fish and Shellfish Immunology*, 7:93-104.
- Zhang J., Khvorostov I., Hong J.S., Oktay Y., Vergnes L., Nuebel E., Teitell M.A. 2011. UCP2 regulates energy metabolism and differentiation potential of human pluripotent stem cells. *The EMBO journal*, 30(24): 4860-4873.

## نحوه استناد به این مقاله:

لشکربولوک م.ح.، حسین‌فر س.ح.، مازندران‌ئی م.، جعفری و.، صفری ر. اثرات به-کارگیری پست‌بیوتیک در جیره غذایی بر فراسنجه‌های رشد و سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی در بچه‌ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان (*Oncorhynchus mykiss*). نشریه پژوهش‌های ماهی‌شناسی کاربردی دانشگاه گنبدکاووس. ۱۴۰۲، ۷۵-۸۵، ۱۱(۲):

Lashkarboluk M.H., Hoseinifar S.H., Mazandarani M., Jafari V., Safari R. Effects of using postbiotics in diet on growth parameters and antioxidant defense system in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fingerlings. *Journal of Applied Ichthyological Research, University of Gonbad Kavous*. 2023, 11(2): 75-85.

## Effects of using postbiotics in diet on growth parameters and antioxidant defense system in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fingerlings

Lashkarboluk M.H., Hoseinifar S.H\*., Mazandarani M., Jafari V. Safari R.

Dept. of Aquatic Reproduction and Breeding, Faculty of Fisheries and Environment, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.

### Type:

Original Research Paper

### Paper History:

Received: 17-12-2023

Accepted: 03-01- 2024

### Corresponding author:

Hoseinifar S.H. Dept. of Aquatic Reproduction and Breeding, Faculty of Fisheries and Environment, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.

Email: Hoseinifar@gau.ac.ir

### Abstract

The aim of this research was to investigate the effects of different levels of postbiotic on growth parameters, feed consumption and antioxidant defense system in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Rainbow trout fry (2-3 g) were fed with experimental diets containing different levels (0 (control), 2, 4 and 8 g/kg) of postbiotics for 8 weeks. At the end of the trial, the growth indices and serum antioxidant defense system were measured. Growth indices (average weight, specific growth rate, food conversion ratio, survival rate) were not significantly different between fish fed with postbiotic based on *Saccharomyces cerevisiae* yeast compared to the control group. Although postbiotic fed trout showed higher growth compared to the group. The highest numerical value of growth was obtained in fry fed with 8 g postbiotic per kg. Also, improvement of food conversion ratio was observed in fry fed with postbiotics. Although statistically, this decrease in food conversion ratio was not significant. In all antioxidant defence enzymes, a significant difference was observed between the control group and the 8 g/kg treatment group. A significant difference was observed in the activity of catalase enzyme between the control group and the treatment group of 2 g and 8 g/kg. Also, similar results were observed regarding the activity of the superoxide dismutase enzyme, so that a significant difference was observed between the control group and the 8 g/kg treatment group. Regarding the Glutathione peroxidase enzyme, a significant difference was observed only between the control group and the 8g/kg treatment, and the highest amount of this enzyme was observed in the 8g/kg treatment. According to the results of the present study, it can be concluded that the use of postbiotics based on *Saccharomyces cerevisiae* yeast in the diet of rainbow trout can be recommended to improve growth indicators and also increase the capacity of the antioxidant defense system in rainbow trout.

**Keywords:** Rainbow trout, Postbiotic, *Saccharomyces cerevisiae*, Antioxidant defence, Growth