دانشگاه گنبد کاووس
نشریه "پژوهش‌های ماهی‌شناسی کاربردی"
دوره هفتم، شماره چهارم، زمستان ۹۸
http://jair.gonbad.ac.ir

تأثیر پروتئین تک‌یاخته باکتریایی در جیره غذایی ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum, 1792) بر ترکیب بدن و فعالیت آنزیم‌های گوارشی

عباس زمانی*
* استادیار گروه علوم و مهندسی شیلات، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران
تاریخ ارسال: ۹۸/۰۷/۱۷ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۹/۱۱

چکیده

در این پژوهش، ترکیب بدن و فعالیت آنزیم‌های گوارشی در بچه‌ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان (*O. mykiss*) (میانگین وزن ۰/۵۵±۲/۵۱ گرم) تغذیه شده با تک‌یاخته باکتریایی (IPL68) به‌عنوان یک منبع پروتئین غذایی به‌جای پودر ماهی به‌مدت ۶ هفته در قالب طرح کاملاً تصادفی و با ۳ تکرار ارزیابی گردید. جیره‌های آزمایشی در قالب ۵ تیمار و همسان از نظر میزان پروتئین با سطوح مختلف پودر ماهی و IPL68 (۱۰۰ درصد پودر ماهی (A)، ۷۵ درصد پودر ماهی و ۲۵ درصد IPL68 (B)، ۵۰ درصد پودر ماهی و ۵۰ درصد IPL68 (C)، ۲۵ درصد پودر ماهی و ۷۵ درصد IPL68 (D) و ۱۰۰ درصد IPL68 (E)) تهیه شد. نتایج حاصل از ترکیب بدن ماهیان نشان داد بیشترین میزان چربی خام و پروتئین خام و کمترین میزان رطوبت و خاکستر در ماهیان تغذیه‌شده با جیره C و کمترین میزان چربی خام و پروتئین خام و بیشترین میزان رطوبت و خاکستر در ماهیان تغذیه‌شده با جیره E وجود داشت. نتایج مربوط به ارزیابی فعالیت آنزیمی نشان داد آنزیم‌های تریپسین و آلفاآمیلاز در ضمائم پیلوریک و روده ماهیان جیره C و آنزیم فسفاتاز قلیایی در ضمائم پیلوریک و روده ماهیان جیره D به‌طور معنی‌داری بیشتر از ماهیان تغذیه‌شده با جیره E بودند. براساس نتایج حاصل از این تحقیق می‌توان بیان کرد پروتئین تک‌یاخته باکتریایی (IPL 68) در سطح ۵۰ درصد می‌تواند جایگزین مناسبی برای پودر ماهی در جیره غذایی بچه‌ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان باشد.

***واژه‌های کلیدی*: *O. mykiss*، پروتئین تک‌یاخته، ترکیب بدن، تریپسین**

*نویسنده مسئول: a.zamani@malayeru.ac.ir

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-11-02]

مقدمه

ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان به‌عنوان یکی از مهمترین گونه‌های پرورشی از قابلیت سازگاری مناسبی جهت رشد در اکثر آبهای شیرین با دمای مناسب برخوردار است (Hosseinzadeh Sahhafi and Nafari Yazdi, 2014). پرورش این گونه در دهه‌های اخیر در کشور ایران از رشد قابل توجهی برخوردار بوده است به‌طوری‌که براساس سالنامه آماری سازمان شیلات (Iranian Fisheries Organization, 2016)، میزان تولید آن از ۱۲۱۷۰ تن در سال ۱۳۸۰ به ۱۶۵۷۸۷ تن در سال ۱۳۹۵ رسیده است و ۴۴٪ از کل ماهیان پرورشی ایران را تشکیل می‌دهد. این افزایش میزان تولید نیازمند تأمین غذای با کیفیت زیاد ولی کم‌هزینه می‌باشد تا احتیاجات تغذیه‌ای به‌خصوص نیاز پروتئینی این گونه در مراحل اولیه رشد را تأمین نماید.

درحال حاضر پودر ماهی به‌عنوان فراوان‌ترین ولی گران قیمت‌ترین منبع پروتئین جانوری در تولید جیره غذایی ماهیان پرورشی محسوب می‌شود و باتوجه به رشد صنعت پرورش ماهی از ۳۰ میلیون تن در سال ۲۰۰۶ به ۵۴ میلیون تن در سال ۲۰۱۶ پیش‌بینی می‌گردد میزان مصرف پودر ماهی در سال ۲۰۳۰ به ۷۴ میلیون تن افزایش یابد (Ferraz de Arruda *et al*., 2007; Gatlin *et al*., 2007). تلاش‌های بسیاری در خصوص جایگزینی سایر فرآورده‌های پروتئینی به‌جای پودر ماهی جهت تأمین نیاز صنعت تولید خوراک ماهیان در حال انجام است. در سال‌های اخیر ترکیبات گیاهی به‌عنوان یک منبع پروتئین ثابت و ارزان قیمت در ترکیب با پودر ماهی در جیره‌های غذایی استفاده شده‌اند اما بررسی‌ها حاکی از آن است استفاده از این منابع مانند کنجاله سویا در غذای ماهیان به‌ویژه گونه‌های گوشتخوار به‌دلیل وجود ترکیبات ضد تغذیه‌ای (شامل بازدارنده‌های پروتئاز، هموگلوتنین، اسیدفیتیک و پلی‌ساکاریدهای غیرنشاسته‌ای) از محدودیت زیادی برخوردار است (Krogdahl *et al*., 2010). باتوجه به‌وجود چنین مشکلاتی جستجوی منابع گوناگون و جدید، بستر مناسبی را برای پژوهش در این زمینه فراهم آورده است و دانشمندان را بر آن داشته که در جستجوی منابع ارزان قیمت برای تأمین پروتئین جانوران پرورشی باشند.

طی سالیان اخیر مطالعات گسترده‌ای به‌منظور استفاده از میکروارگانیسم‌ها به‌عنوان منابع پروتئین تک‌یاخته (SCP) جهت تولید غذای دام، طیور و آبزیان صورت گرفته است. اصطلاح "پروتئین تک‌یاخته" به سلول‌های خشک‌شده میکروارگانیسم‌هایی از جمله قارچ‌ها، جلبک‌ها، باکتری‌ها و مخمرها اطلاق می‌شود که در مقیاس وسیع از طریق کشت روی ضایعات صنعتی و کشاورزی مانند ضایعات سلولزی، آب پنیر و ملاس تولید شده و مورد مصرف دام قرار می‌گیرند (Nasseri *et al*., 2011). این پروتئین‌های میکروبی دارای مزیت‌هایی نسبت به نوع جانوری و گیاهی هستند که از مهمترین آنها می‌توان به محتویات زیاد پروتئینی، عدم وابستگی رشد به شرایط فصلی و اقلیمی و عدم

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-11-02]

نیاز به سطح وسیع برای کشت اشاره نمود (Wadhwa and Bakshi, 2016). البته محدودیت‌هایی نیز در استفاده از آنها وجود دارد که می‌توان به قابلیت پائین هضم دیواره سلولی و میزان زیاد اسید نوکلئیک به‌ویژه ترکیبات پورین اشاره نمود که می‌توان با کمک فرآوری آنزیمی و حذف دیواره سلولی نسبت به اصلاح آن اقدام نمود (Sultana *et al.*, 2018). باکتری‌ها به‌عنوان یکی از منابع پروتئینی میکروبی علاوه‌بر دارا بودن میزان پروتئین خام زیاد (۵۰-۶۵ درصد) قادر به رشد در انواع مختلفی از بسترها بوده و زمان تکثیر آنها کوتاه است از طرفی میزان اسید آمینه متیونین آن نسبت به سایر تک‌یاخته‌ها بالاتر بوده و بیشترین میزان اسید نوکلئیک (۸-۱۲٪) را دارند (Kurbanoglu, 2001). یکی از منابع پروتئین تک‌یاخته باکتریایی، Intraco PL 68 (IPL 68) است که از تخمیر مواد خام گیاهی مانند چغندر قند، ملاس نیشکر و گلوکز گندم توسط باکتری غیرGMO و با استفاده از مونوسدیم ال- اسیدگلوتامیک تولید می‌شود و حاوی ۶۸٪ پروتئین با پروفایل اسید آمینه‌ای مناسب بویژه ترئونین، ایزولوسین و والین است. از دیگر ویژگی‌های آن می‌توان به رنگ قهوه‌ای مطلوب و بوی آن اشاره نمود که شبیه پودر ماهی است و از نظر هزینه مقرون به صرفه بوده و قابلیت دسترسی زیادی دارد. هدف از انجام این تحقیق دستیابی به یک جیره غذایی مناسب با جایگزینی پروتئین IPL 68 به جای پودر ماهی و تأثیر آن بر ترکیب شیمیایی بدن و فعالیت آنزیم‌های تریپسین، آمیلاز و فسفاتاز قلیایی در ضمائم پیلوریک و روده بچه‌ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان می‌باشد. انتظار می‌رود نتایج حاصل از این مطالعه در افزایش ظرفیت تولید و کاهش هزینه پرورش دهندگان سودمند واقع گردد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در زمستان ۱۳۹۷در آزمایشگاه گروه شیلات دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست دانشگاه ملایر انجام شد. تعداد ۲۲۵ قطعه بچه‌ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان (میانگین وزن ۰/۵۵±۲/۵۱ گرم) و با دوره نوری ۱۲ ساعت روشنایی/تاریکی به‌مدت ۶ هفته در ۱۵ آکواریوم با حجم تقریبی۴۰ لیتر و با هوادهی پیوسته با میزان اکسیژن محلول mg/L ۰/۱ ± ۹/۵ پرورش داده شد. در هر آکواریوم تعداد ۱۵ عدد بچه‌ماهی رهاسازی گردید. قبل از شروع آزمایش بچه‌ماهیان به‌مدت ۷۲ ساعت قطع غذا شدند و سپس به‌مدت دو هفته با غذای تجاری (غذای آغازین SFT1 ، شرکت فرادانه، ایران) جهت سازگاری با شرایط آزمایشی تغذیه گردیدند. تغذیه ماهیان با جیره‌های غذایی آزمایشی تهیه شده روزانه ۴ بار و به‌مدت ۶ هفته براساس ۴٪ وزن بدن انجام گرفت. در این مدت مدفوع و غذای بجای مانده در محیط پرورشی بعد از اتمام غذادهی روزانه سیفون شده و آب آکواریوم‌ها نیز روزانه تا ۹۰ درصد تعویض گردید. طی دوره آزمایش شاخص‌های فیزیکوشیمیایی آب شامل دما (C° ۰/۵ ± ۱۴)، pH (۰/۱ ±۸/۲) و شوری (کمتر از g/L ۱) اندازه‌گیری شد.

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-11-02]

جیره غذایی جهت بررسی اثرات جایگزینی پروتئین تک یاخته IPL 68 در ۵ تیمار شامل جیره شاهد (A) (۱۰۰درصد پودر ماهی)، جیره B (۷۵ درصد پودر ماهی؛ ۲۵ درصد IPL 68)، جیره C (۵۰ درصد پودر ماهی؛ ۵۰ درصد IPL 68)، جیره D (۲۵ درصد پودر ماهی؛ ۷۵ درصد IPL 68) و جیره E (۱۰۰درصد IPL 68) بود. برای جیره‌نویسی از نرم افزار Aquafeed (ADIFO، Maldegem، بلژیک) استفاده شد و فرمولاسیون غذایی به نحوی بود که مطابق با نیازهای غذایی بچه-ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان باشد (NRC, 1993). جهت تهیه جیره‌های آزمایشی ابتدا مواد غذایی بر اساس جدول ۱ تهیه گردید و سپس توسط ترازو با دقت ۰/۰۱ گرم توزین شده و بعد از الک کردن با اندازه چشمه ۵ میلی‌متر و آسیاب با یکدیگر مخلوط شدند و خمیر حاصل بوسیله چرخ گوشت با اندازه چشمه ۲ میلی‌متر پلت شده و برای خشک کردن بمدت ۲۴ساعت در معرض جریان هوا در دمای اتاق قرارگرفته و سپس درکیسه‌های پلاستیکی و در دمای یخچال (۴°C) نگهداری شدند.

برای تعیین ترکیب شیمیایی جیره غذایی و بدن ماهیان از روش (AOAC, 2005) استفاده گردید. میزان رطوبت براساس اختلاف وزن حاصل از قرار دادن نمونه‌ها به‌مدت ۲۴ ساعت در آون با دمای ۱۰۵ °C به‌دست آمد. میزان پروتئین خام از طریق سنجش میزان نیتروژن با روش کجلدال و ضرب در عدد ۶/۲۵، میزان چربی خام با استفاده از کلروفرم و از طریق روش سوکسله و میزان خاکستر نیز با سوزاندن نمونه خشک‌شده در کوره الکتریکی در دمای ۵۵۰°C و برای مدت ۵ ساعت اندازه‌گیری گردید.

به‌منظور تهیه عصاره آنزیمی، ابتدا ماهیان با استفاده از عصاره گل میخک بیهوش شدند و سپس با سوزن نخاعی گردیدند و کالبد شکافی جهت جداسازی ضمائم پیلوریک و روده در حضور یخ انجام شد (Zamani *et al*., 2006). بعد از جداسازی، نمونه‌ها توزین شده و به‌طور جداگانه با بافر ۵۰ میلی‌مولار تریس- HCl، ۸/۰ = pH (حاوی ۱۰میلی‌مولار $CaCl_2$ و ۰/۵ مولار NaCl) با نسبت ۱ به ۲۰ مخلوط شده و با استفاده از هموژنایزر (مدل Hand Held WT130) همگن‌سازی در حضور یخ به‌مدت ۱ دقیقه در ۱۱۰۰۰rpm انجام شد. سپس مخلوط حاصله برای ۳۰ دقیقه در دمای ۴°C در ۱۰۰۰۰rpm سانتریفیوژ شد و محلول رویی به‌عنوان عصاره آنزیمی جهت سنجش فعالیت آنزیم انتخاب گردید (Nayak *et al*., 2003).

برای سنجش فعالیت آنزیم تریپسین از سوبسترای BAPNA [۲] استفاده شد و جذب پارانیتروآنیلید رهاسازی شده بعداز اضافه شدن اسید استیک ۳۰٪ در طول موج ۴۱۰ نانومتر قرائت شد (Erlanger *et al*., 1961). فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز با استفاده از روش برنفلد (Bernfeld, 1951) اندازه‌گیری شد.

[۲] -Nα-Benzoyl-DL-arginine p-nitroanilide hydrochloride

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-11-02]

در این روش از نشاسته به‌عنوان سوبسترا استفاده شد و مالتوز رهاسازی شده با کمک معرف دی نیتروسالیسیلیک اسید شناسایی و در طول موج ۵۴۰ نانومتر قرائت گردید.

برای تعیین فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیائی از پارانیتروفنیل فسفات به‌عنوان سوبسترا استفاده شد و میزان پارانیتروفنل رهاسازی شده در طول موج ۴۰۵ نانومتر به‌مدت ۱۵ دقیقه قرائت گردید (Walter and Schutt, 1974). در تمام سنجش‌ها برای نمونه شاهد از آب مقطر به‌جای نمونه آنزیمی استفاده شد و قرائت نوری نمونه‌ها با کمک دستگاه اسپکتروفوتومتر (مدل UV/VS UltroSpec2000 Pharmacia Biotech) انجام گرفت. جهت تعیین فعالیت اختصاصی آنزیم‌های مورد مطالعه، میزان پروتئین محلول در ضمائم پیلوریک و روده با روش لوری و همکاران (Lowry *et al*., 1951) در طول موج ۷۵۰ نانومتر سنجش شد. در این روش از آلبومین سرم گاوی (BSA)[۳] با غلظت ۱ mg / ml به‌عنوان استاندارد استفاده شد.

تجزیه و تحلیل داده‌ها توسط نرم‌افزار SPSS-19 انجام شد. نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون Kolmogorov-Smironov مورد ارزیابی قرارگرفت و آزمون همگنی واریانس توسط تست Levene انجام شد. وجود اختلاف معنی‌دار بین شاخص‌های ترکیب بدن و فعالیت آنزیم‌های گوارشی در جیره‌های آزمایشی توسط آنالیز واریانس یک‌طرفه تعیین شد و از آزمون دانکن برای مقایسه میانگین‌ها در سطح احتمال ۵٪ درصد و با ۳ تکرار استفاده گردید. همچنین برای ارزیابی میزان بهینه IPL68 در جیره غذایی بچه ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان از روش رگرسیون خط شکسته بر مبنای نرخ رشد ویژه (Broken-line) با استفاده از نرم‌افزار Graph pad prism استفاده گردید.

[۳] - Bovine Serum Albumin

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-11-02]

جدول ۱- اجزا و ترکیب تقریبی جیره‌های آزمایشی جهت تغذیه بچه‌ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان (*O. mykiss*)

اجزای جیره (گرم در کیلوگرم غذا)	پودر ماهی	۷۵% پودر ماهی؛ IPL 68 %۲۵	۵۰ % پودر ماهی؛ IPL 68 %	۵۰ ۲۵% پودر ماهی؛ IPL 68 %۷۵	IPL 68
پودر ماهی[1]	۵۰۰	۳۷۵	۲۵۰	۱۲۵	۰
IPL-68 [2]	۰	۱۲۵	۲۵۰	۳۷۵	۵۰۰
آکوپرو [3]	۶۴/۸	۶۴/۸	۶۴/۸	۶۴/۸	۶۴/۸
امپریال[4]	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰
گلوتن ذرت [5]	۹۰	۸۰/۲	۷۰/۴	۶۰/۶	۵۰/۸
آرد گندم[6]	۱۳۰	۱۳۳	۱۳۸	۱۳۸	۱۴۰
پودر گوشت و استخوان [7]	۶۰	۴۹/۴	۳۸/۸	۲۸/۲	۱۷/۶
روغن سویا	۲۰	۲۰	۲۰	۲۶	۳۸
روغن ماهی	۷۰	۸۲	۹۳	۱۰۰	۱۰۰
مکمل معدنی[8]	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰
مکمل ویتامینی[9]	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰
آنتی اکسیدان	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۲
ضد قارچ	۵	۵	۵	۵	۵
پرکننده	۰	۵/۴	۹/۸	۱۷/۲	۲۳/۶
ترکیب تقریبی جیره های آزمایشی (٪)					
رطوبت	۴/۵۰	۴/۴۱	۴/۹۱	۴/۸۳	۵/۰۰
پروتئین خام	۴۵/۶۸	۴۵/۷۲	۴۵/۴۷	۴۵/۵۱	۴۵/۴۴
چربی خام	۲۱/۵۰	۲۱/۵۰	۲۱/۵۰	۲۱/۵۰	۲۱/۵۰
خاکستر	۸/۰۲	۷/۹۱	۷/۸۷	۷/۷۳	۷/۶۸
کربوهیدرات	۲۰/۳۰	۲۰/۴۶	۲۰/۲۵	۲۰/۴۳	۲۰/۳۸
انرژی ناخالص (kcal/g)	۵/۴۴	۵/۴۵	۵/۴۳	۵/۴۴	۵/۴۳
نسبت پروتئین خام به انرژی ناخالص	۸/۳۹	۸/۳۸	۸/۳۷	۸/۳۶	۸/۳۶

۱- پودر ماهی جنوب (ساردین): حاوی ۸ درصد رطوبت، ۶۲ درصد پروتئین خام، ۹ درصد چربی خام و میزان TVN <140 است). ۲- IPL-68 (Intraco pl-68) (تولید شده در شرکت Intraco بلژیک): نوعی محصول تهیه شده از زیست توده باکتریایی کشته شده که از اسید مونو سدیم- ال گلوتامیک با استفاده از تخمیر میکروبی مواد خام گیاهی مانند ملاس چغندر قند، نیشکر و یا قند میوه تهیه می‌شود و حاوی ۱۰ درصد رطوبت، ۶۸ درصد پروتئین خام، ۳/۲۵ درصد چربی خام، ۱ درصد فیبر خام و ۱۰ درصد خاکستر می‌باشد. ۳- آکوپرو(تولید شده در شرکت پسنا مهر): سویای فرآوری شده. میزان پروتئین خام ۵۱ درصد، انرژی قابل متابولیسم ۲/۸۷۰ kcal/g، رطوبت ۱۲ درصد، خاکستر ۷ درصد، چربی خام ۲/۸ درصد، فیبر خام ۴درصد، نشاسته ۵ درصد و قند ۹درصداست. ۴- امپریال (تولید شده در شرکت کارگیل آمریکا) : منبعی با میزان پروتئین ثابت و خلوص بالاست که از ذرت تهیه شده است. میزان پروتئین خام ۷۵ درصد، چربی خام ۲درصد، حداکثر فیبر خام ۱درصد، نشاسته ۱درصد، انرژی قابل متابولیسم ۳/۳۴۷ kcal/g است. ۵- گلوتن ذرت : حاوی ۸ درصد رطوبت، ۵۰ درصد پروتئین، ۹ درصد چربی و ۷ درصد خاکستر می‌باشد. ۶- آرد گندم : حاوی ۱۲ درصد رطوبت، ۱۱ درصد پروتئین، ۲ درصد چربی و ۱/۵ درصد خاکستر می‌باشد. ۷- پودر گوشت و استخوان : حاوی ۸ درصد رطوبت، ۵۰ درصد پروتئین، ۹ درصد چربی و ۱۵ درصد خاکستر می‌باشد. ۸- مکمل معدنی (میلی‌گرم/کیلوگرم) : KCl : ۲۰۰ میلی‌گرم، KI : ۶۰ میلی‌گرم، $COCL_2.6H_2O$: ۷ میلی‌گرم، $CuSO_4.5H_2O$: ۱۴ میلی‌گرم، $FeSO_4H_2O$: ۴۰۰ میلی‌گرم، $ZnSO_4.H_2O$: ۲۰۰ میلی‌گرم، $MnSO_4.H_2O$: ۸۰ میلی‌گرم، $Na_2SeO_3.5H_2O$: ۶۵ میلی‌گرم، $MgSO_47H_2O$: ۳۰۰۰ میلی‌گرم، $Ca(H_2PO_4).H_2O$: ۲۰۰۰۰ میلی‌گرم، NaCl: ۱۳۶ میلی‌گرم و Zeolite : ۵۸۴۰ میلی‌گرم و کریر تا ۱ کیلوگرم است. ۹- مکمل ویتامینی حاوی تیامین (۱۲میلی‌گرم)، ریبوفلاوین (۵ میلی‌گرم)، پیریدوکسین (۶ میلی‌گرم)، سیانوکوبالامین(۰/۰۵ میلی‌گرم)، نمک منادیون (K_3) (۵ میلی‌گرم)، اینوزیتول (۱۰۰ میلی‌گرم)، پانتوتنیک اسید (۳۰ میلی گرم) ،فولیک اسید(۲ میلی گرم)، بیوتین(۰/۰۶ میلی‌گرم)، رتینول استات (۲۵ میلی‌گرم)، D3- کوله کلسیفرول (۵ میلی‌گرم)، آلفاتوکوفرول(۴۰ میلی‌گرم)، آسکوربیک اسید (۵۰۰ میلی‌گرم)،نیاسین (۳۵ میلی‌گرم)، اتوکسی‌کوئین (۱۵۰ میلی گرم) و کریر تا ۱۰۰۰ میلی‌گرم است.

پروتئین، چربی، خاکستر و رطوبت بر حسب درصد ماده خشک است و محاسبه کربوهیدرات بر حسب رابطه (پروتئین + چربی + خاکستر+ رطوبت)- ۱۰۰ و محاسبه انرژی ناخالص بر حسب کیلوکالری بر گرم جیره از رابطه حاصل ضرب مقدار انرژی موجود در هر گرم پروتئین (۵/۶۵ kcal)، چربی(۹/۴۵ kcal) و کربوهیدرات (۴/۱۱ kcal) تعیین گردید (NRC, 1993).

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-11-02]

نتایج

نتایج مربوط به ترکیب شیمیایی بدن بچه‌ماهیان قزل‌آلای رنگین‌کمان تغذیه‌شده با جیره‌های آزمایشی در جدول ۲ نشان داده شده است. بررسی‌ها نشان داد با افزایش IPL68 در جیره غذایی تا سطح ۱۰۰٪ رطوبت بدن به‌طور معنی‌داری افزایش یافت به‌طوری‌که بیشترین میزان آن در جیره E و کمترین آن در جیره C مشاهده شد ($p<۰/۰۵$). با افزایش تک‌یاخته باکتریایی در جیره غذایی تا سطح ۵۰٪ میزان چربی خام بدن افزایش یافت ولی اختلاف معنی‌داری وجود نداشت درحالی‌که با افزایش جایگزینی تا سطوح ۷۵ و ۱۰۰ درصد کاهش معنی‌داری در میزان چربی خام بدن مشاهده شد ($p<۰/۰۵$). کمترین میزان خاکستر بدن مربوط به جیره C و بیشترین آن مربوط به جیره E بود به‌طوری‌که جیره C اختلاف معنی‌داری را با سایر جیره‌ها نشان داد ($p<۰/۰۵$). کمترین و بیشترین میزان پروتئین خام بدن به‌ترتیب در جیره‌های E و C مشاهده شد که در جیره C به‌طور معنی‌داری بالاتر از جیره E بود ($p< ۰/۰۵$) ولی با سایر جیره اختلاف معنی‌داری وجود نداشت.

جدول ۲- ترکیب شیمیایی بدن بچه ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان (*O. mykiss*) تغذیه‌شده با جیره‌های آزمایشی

جیره	پودر ماهی	۷۵% پودر ماهی؛ ۲۵ IPL 68 %	۵۰ % پودر ماهی؛ IPL 68 % ۵۰	۲۵ % پودر ماهی؛ IPL 68 % ۷۵	IPL 68
ترکیب بدن					
رطوبت	۷۵/۶۵ ±۰/۲۱ [b]	۷۵/۳۴ ±۰/۱۹ [b]	۷۵/۲۶ ±۰/۲۸ [b]	۷۶/۴۸ ±۰/۳۰ [a]	۷۷/۶۱ ±۰/۱۵ [a]
چربی خام	۵/۶۴ ±۰/۶۹ [a]	۵/۸۱ ±۰/۱۹ [a]	۵/۹۲ ±۰/۲۴ [a]	۵/۱۵ ±۰/۱۱ [b]	۴/۱۴ ±۰/۳۲ [c]
خاکستر	۱/۳۱ ±۰/۰۴ [b]	۱/۲۹ ±۰/۰۵ [b]	۱/۲۱ ±۰/۰۳ [c]	۱/۳۳ ±۰/۰۲ [a]	۱/۳۷ ±۰/۰۲ [a]
پروتئین خام	۱۷/۴۰ ±۱/۱۳۶ [a]	۱۷/۵۶ ±۰/۶۱ [a]	۱۷/۶۱ ±۰/۰۳ [a]	۱۷/۰۴ ±۰/۴۰ [a]	۱۶/۸۸ ±۰/۲۹ [b]

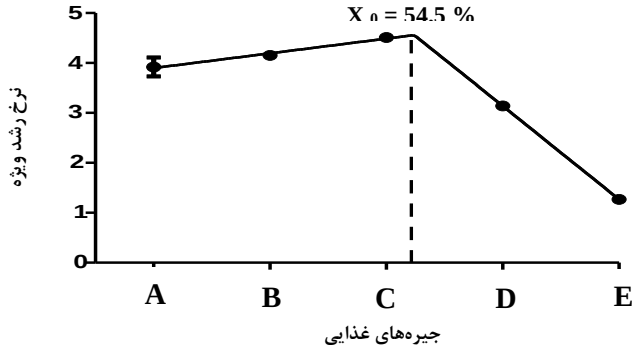
حروف کوچک غیر مشترک در هر ردیف بیانگر اختلاف معنی‌دار می‌باشد (α = ۰/۰۵، n = ۳، Mn ± SD).

میزان بهینه جایگزینی پودر ماهی به‌وسیله IPL68 درجیره غذایی بچه‌ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان بر مبنای نرخ رشد ویژه براساس نمودار رگرسیون خط شکسته (broken-line) حدود ۵۴/۵٪ برآورد گردید (شکل ۱).

نتایج بررسی فعالیت آنزیم‌های تریپسین، آلفا آمیلاز و فسفاتاز قلیایی در ضمائم پیلوریک و روده بچه‌ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان تغذیه‌شده با جیره‌های آزمایشی در شکل ۲ نشان داده شده است. بیش‌ترین میزان فعالیت آنزیم تریپسین در ضمائم پیلوریک و روده ماهیان تغذیه‌شده با جیره C و کمترین آنها در جیره E مشاهده شد. به‌طوری‌که در ضمائم پیلوریک اختلاف معنی‌داری در میزان فعالیت آنزیم تریپسین نسبت به جیره‌های A و B وجود نداشت ولی با جیره‌های D و E اختلاف معنی‌دار بود ($p<۰/۰۵$). در روده ماهیان تغذیه‌شده با جیره C میزان فعالیت آنزیم تریپسین اختلاف

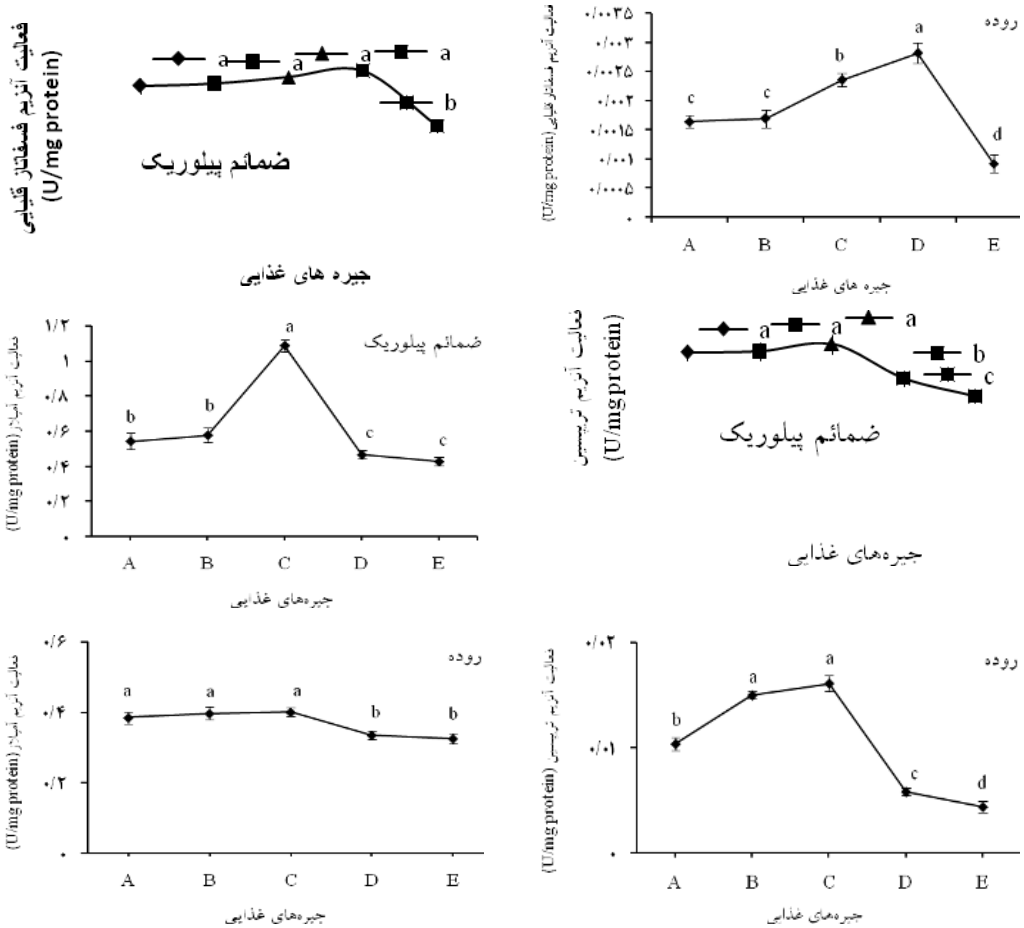
[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-11-02]

معنی‌داری را با جیره B نشان نداد ولی با سایر جیره‌ها اختلاف معنی‌داری مشاهده گردید ($p<۰/۰۵$). بچه‌ماهیان تغذیه شده با جیره C بیشترین میزان فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز را در ضمائم پیلوریک و روده نسبت به سایر جیره‌های غذایی نشان دادند که در ضمائم پیلوریک اختلاف معنی‌داری با سایر جیره‌ها وجود داشت ($p<۰/۰۵$) درحالی‌که در روده نسبت به جیره‌های A و B اختلاف معنی‌داری نبود ولی با جیره‌های D و E اختلاف معنی‌داری مشاهده شد ($p<۰/۰۵$). بالاترین میزان فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی در ضمائم پیلوریک و روده ماهیان تغذیه‌شده با جیره D و کمترین آن در جیره غذایی E مشاهده شد. در ضمائم پیلوریک، افزایش فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی در ماهیان تغذیه‌شده با جیره D در مقایسه با جیره E معنی‌دار بود ($p<۰/۰۵$)؛ ولی با سایر جیره‌ها اختلاف معنی‌داری مشاهده نگردید درحالی‌که در روده ماهیان تغذیه‌شده با جبره D نسبت به سایر جیره‌ها اختلاف معنی‌دار بود ($p<۰/۰۵$).



شکل ۱- نمودار آنالیز رگرسیون خط شکسته (Broken line) بین تأثیر جایگزینی پودر ماهی به‌وسیله - IPL 68 با نرخ رشد ویژه. X_0 نقطه تلاقی دو خط می‌باشد که حد بهینه جایگزینی را نشان می‌دهد. جیره‌های آزمایشی شامل جیره A (۱۰۰درصد پودر ماهی)، جیره B (۷۵ درصد پودر ماهی؛ ۲۵ درصد IPL 68)، جیره C (۵۰ درصد پودر ماهی؛ ۵۰ درصد IPL 68)، جیره D (۲۵ درصد پودر ماهی؛ ۷۵ درصد IPL 68) و جیره E (۱۰۰ درصد IPL 68) است.

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-11-02]



شکل۲- فعالیت آنزیم‌های تریپسین، آلفا آمیلاز و فسفاتاز قلیایی درضمائم پیلوریک و روده بچه‌ماهی قزل-آلای رنگین‌کمان (*O.mykiss*) تغذیه شده باجیره‌های آزمایشی. حروف کوچک غیرمشترک بیانگر اختلاف معنی‌دار در فعالیت آنزیم است (میانگین ۳ تکرار± انحراف معیار ؛ $p<0/05$).جیره‌های آزمایشی شامل جیره A (۱۰۰درصد پودر ماهی)، جیره B (۷۵ درصد پودر ماهی؛ ۲۵ درصد IPL 68)، جیره C (۵۰ درصد پودر ماهی؛ ۵۰ درصد IPL 68)، جیره D (۲۵ درصد پودر ماهی؛ ۷۵ درصد IPL 68) و جیره E (۱۰۰ درصد IPL 68) است.

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج مطالعه این تحقیق در مورد ترکیب بدن ماهیان تغذیه‌شده با پروتئین تک‌یاخته IPL 68 نشان داد با افزایش جایگزینی تا سطح ۱۰۰٪ میزان رطوبت بدن و خاکستر به‌طور معنی‌داری افزایش یافت ولی میزان چربی خام و پروتئین خام تا سطح ۵۰٪ افزایش یافته و سپس کاهش یافت. منابع

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-11-02]

پروتئینی میکروبی می‌توانند در سطوح ۵۵-۳۰ درصد جایگزین پودر ماهی در جیره‌های غذایی شوند. اما از مهمترین عواملی که استفاده از پروتئین تک‌یاخته به‌ویژه نوع باکتریایی را به‌عنوان منبع پروتئینی در جیره‌های غذایی محدود می‌کند میزان بالای اسیدنوکلئیک و محدودیت اسیدهای آمینه گوگردی مانند متیونین و سیستئین است (Oliva-Teles *et al*., 2015). نتایج حاصل از مطالعه هاردی و همکاران (Hardy *et al*., 2018) در استفاده از پروتئین تک‌یاخته باکتریایی (*Methylobacterium extorquens*) در سطوح ۵ و ۱۰٪ به‌جای کنجاله سویا در جیره غذایی ماهیان انگشت‌قد قزل‌آلای رنگین‌کمان نشان داد با افزایش جایگزینی تغییر معنی‌داری در میزان محتویات رطوبت، خاکستر، پروتئین خام و چربی خام در مقایسه با گروه شاهد مشاهده نگردید که این امر می‌تواند به‌دلیل مصرف پائین غذا باشد که با افزایش قابلیت خوش خوراکی می‌توان سطوح بیشتری از آن را در جیره استفاده نمود. ازوریو و همکاران (Ozorio *et al*., 2010) نشان دادند استفاده از مخمر *Saccharomyces cerevisiae* در جیره غذایی ماهی پاکو (*Piaractus mesopotamicus*) باعث کاهش معنی‌دار در میزان پروتئین خام و رطوبت بدن گردید. در مطالعه حیدریه و همکاران (Heidarieh *et al*., 2012) میزان چربی خام و خاکستر بدن در بچه‌ماهیان قزل‌آلای رنگین‌کمان تغذیه‌شده با مخمر *S. cerevisiae* نسبت به گروه شاهد افزایش و میزان پروتئین خام کاهش یافت ولی هیچکدام با گروه شاهد اختلاف معنی‌داری نداشتند. علت آن می‌تواند به‌وجود برخی فاکتورها مانند اسیدهای آمینه ضروری و غیرضروری و افزایش میزان خوش‌خوراکی غذا مرتبط باشد. اسدی‌راد و همکاران (Asadi Rad *et al*., 2012) تأثیر مخمر *S. cerevisiae* بر ترکیب بدن ماهی تیلاپیا (*Oreochromis niloticus*) بررسی نموده و نتایج آنها نشان داد با افزایش سطوح جایگزینی میزان رطوبت و خاکستر کاهش معنی‌داری نشان ندادند ولی میزان پروتئین خام و چربی خام به‌ترتیب با کاهش و افزایش معنی‌داری همراه بود. عبدالتواب و همکاران (Abdel-Tawwab *et al*., 2008) پیشنهاد کردند استفاده از مخمر *S. cerevisiae* در جیره غذایی بچه‌ماهیان تیلاپیا (*O. niloticus*) باعث افزایش میزان مصرف غذا و به‌دنبال آن بهبود ترکیب بدن می‌شود. علاوه بر این، تغییرات در میزان پروتئین خام و چربی خام بدن می‌تواند با تغییر در ساخت، میزان رسوب در عضلات و یا سرعت رشد متفاوت مرتبط باشد. در مطالعه این محققین میزان پروتئین بدن ماهیان تغذیه‌شده با گروه شاهد کمترین میزان را نسبت به سایر جیره‌ها غذایی نشان داد. تصور براین است تغییرات در ترکیب بدن مانند رطوبت، پروتئین خام، چربی خام و خاکستر می‌تواند با ترکیب شیمیایی منبع پروتئین مورد استفاده اعم از باکتری یا مخمر مرتبط باشد و از طرفی نحوه ساخت مواد مغذی در بدن و سرعت رسوب آنها در عضله می‌تواند نتایج مختلفی را به‌همراه داشته باشد (Abdel-Tawwab *et al*., 2008). همچنین دستگاه گوارش موجودات آبزی به‌صورت یک سیستم باز است که به‌طور مداوم با محیط اطراف در

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-11-02]

تعامل است. در نتیجه حضور، تکثیر و عملکرد تک سلولی‌ها در دستگاه گوارش تا حد زیادی تحت تأثیر عوامل مختلف محیطی از جمله کیفیت آب، سختی، اکسیژن محلول، دما، pH، فشار اسمزی و فلورمیکروبی محیط قرار دارد (Mehrim, 2009; Ai *et al*., 2011). نتایج بررسی فعالیت آنزیم‌های گوارشی در این مطالعه نشان داد بیش‌ترین میزان فعالیت آنزیم تریپسین و آلفا آمیلاز در ضمائم پیلوریک و روده ماهیان تغذیه‌شده با جیره C و بالاترین میزان فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی در ضمائم پیلوریک و روده ماهیان تغذیه‌شده با جیره D مشاهده گردید. تک‌یاخته‌های باکتریایی حاوی اسید نوکلئیک بالایی بوده و از آنجائی‌که استفاده از نوکلئوتید در جیره‌های غذایی منجر به افزایش فعالیت آنزیم‌های گوارشی می‌شود لذا استفاده از تک‌یاخته‌های باکتریایی می‌تواند در ترشح و افزایش فعالیت آنزیم‌های گوارشی مؤثر باشد (Li *et al*., 2007; Nayak, 2010). همچنین بررسی‌ها نشان می‌دهد ترکیبات تغذیه‌ای می‌تواند بر ریخت‌شناسی روده و در نتیجه متابولیسم و فیزیولوژی جذب مواد مغذی تأثیر بگذارد (Vechklang *et al*., 2011). در مطالعه واچه و همکاران (Wache *et al*., 2006) اثرات تغذیه‌ای مخمر *S. cerevisiae* بر فعالیت آنزیم آلکالین فسفاتاز در بچه‌ماهی نورس قزل‌آلای رنگین‌کمان نشان داد بعد از گذشت ۲۰ روز میزان فعالیت آنزیم افزایش یافت که علت آن می‌تواند تحریک دستگاه گوارش و بلوغ زود هنگام و در نهایت افزایش ترشح آنزیم‌های گوارشی مانند آلکالین فسفاتاز باشد. تواری و پاترا (Tewary and Patra, 2011) نشان دادند استفاده از مخمر نانوایی در غذای ماهی کپور هندی (*Labeo rohita*)، میزان فعالیت آنزیم‌های فسفاتاز اسیدی و قلیایی را افزایش داده بود که تحریک سیستم گوارشی در افزایش فعالیت آنزیمی مؤثر بوده است. در مطالعه حیدریه و همکاران (Heidarieh *et al*., 2012) مشخص شد فعالیت آنزیم‌های تریپسین و آلفا آمیلاز به‌طور معنی‌داری در ماهیان تغذیه‌شده با مخمر *S. cerevisiae* افزایش یافت که به‌نظر می‌رسد غذای حاوی پروتئین تک‌یاخته از طریق تعدیل فعالیت آنزیمی توانسته است به عملکرد رشد ماهیان کمک نماید. تک‌سلولی‌ها می‌توانند مواد ضدتغذیه‌ای موجود در اقلام غذایی مانند سویا شامل بازدارنده‌های تریپسین، کیموتریپسین، ساپونین و لکتین را غیرفعال کرده و قابلیت هضم پروتئین را افزایش دهند و با تحریک روده جانوران، در افزایش فعالیت آنزیم‌های گوارشی و افزایش عملکرد تغذیه تأثیرگذار باشند (Hertrampf and Piedad-Pascual, 2000).

در پایان این مطالعه می‌توان نتیجه‌گیری نمود براساس یافته‌های به‌دست آمده از ترکیب بدن، نمودار خط شکسته و فعالیت آنزیم‌های گوارشی ارزیابی شده تک‌یاخته باکتریایی IPL 68 می‌تواند در سطح ۵۰٪ جایگزین پودر ماهی در غذای بچه‌ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان گردد. محققین استفاده از منابع باکتریایی در جیره غذایی ماهیان را بین ۳۰-۵۵ درصد به‌جای پودرماهی پیشنهاد نموده‌اند به‌طوری‌که میزان مصرف آن در جیره غذایی می‌تواند به عواملی مانند محیط کشت مورد استفاده برای

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-11-02]

تکثیر باکتری و کیفیت سایر اقلام غذایی مورد استفاده در تهیه جیره غذایی وابسته باشد (Kurbanoglu, 2001; Oliva-Teles *et al*., 2015).

تشکر و قدردانی

بدین‌وسیله از معاونت پژوهشی و فناوری دانشگاه ملایر جهت تأمین بخشی از هزینه انجام این مطالعه تحت طرح شماره ۳۴۶-۱- ۸۴/۵ قدردانی می‌شود.

منابع

Abdel-Tawwab M., Abdel-Rahman M.A., Nahla-Ismael E.M. 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: 185-189.

Ai Q., Xu H., Mai K., Xu W., Wang J., Zhang W. 2011. Effects of dietary supplementation of *Bacillus subtilis* and fructooligo saccharide on growth performance, survival, non-specific immune response and disease resistance of juvenile large yellow croaker, *Larimichthys crocea*. Aquaculture, 317: 155-161.

AOAC. 2005. Official Method 950.89. In: Horwitz W, Latimer G (Eds). Official Methods of Analysis of AOAC International, 18th Edition, Association of Official Analytical Chemists, Gaithersburg, USA.

Asadi Rad M., Zakeri M., Yavari V., Mousavi S.M. 2012. Effect of different levels of dietary supplementation of *Saccharomyces cerevisiae* on growth performance, feed utilization and body biochemical composition of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fingerlings. Journal of the Persian Gulf, 3(9): 15-24. (In Persian).

Bernfeld P. 1951. Amylases α and β. In Methods in Enzymology, Volume 1. In: Colowick P, Kaplan NO (Eds.). Academic Press, New York, USA, pp: 149-157.

Erlanger B., Kokowsky N., Cohen W. 1961. The preparation and properties of two new chromogenic substrates of trypsin. Archive Biochemistry Biophysics, 95: 271-278.

Ferraz de Arruda L., Borghesi R., Oetterer M. 2007. Use of Fish Waste as Silage. A Review. Brazilian Archives of Biology and Technology, 50(5): 879-886.

Gatlin D.M., Barrows F.T., Brown P., Dabrowski K., Gaylord T.G., Hardy R.W., Herman E., Hu G., Krogdahl A., Nelson R., Overturf K. 2007. Expanding the utilization of sustainable plant products in aqua feeds: a review. Aquaculture Research, 38(6): 551-579.

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-11-02]

Hardy R.W., Patro B., Pujol-Baxley C., Marx C.J., Feinberg L. 2018. Partial replacement of soybean meal with *Methylobacterium extorquens* single-cell protein in feeds for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum). Aquaculture Research, 49(6): 2218-2224.

Heidarieh M., Mirvaghefi A.R., Akbari M., Sheikhzadeh N., Kamyabi-Moghaddam Z., Askari H., Shahbazfar A.A. 2012. Evaluations of Hilyses™, fermented S *saccharomyces cerevisiae*, on rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) growth performance, enzymatic activities and gastrointestinal structure. Aquaculture Nutrition, 19(3): 343-348.

Hertrampf J.W., Piedad-Pascual F. 2000. Handbook on ingredients for aquaculture feeds. Published by Kluwer Academic Publisher, Dordrecht, Netherlands. 573 P.

Hosseinzadeh Sahhafi H., Nafari Yazdi M. 2014. Growth performance of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) with respect to nutritional factors in north Iran (Haraz River). Iranian Journal of Fisheries Sciences, 13(3): 509-521. (In Persian).

Iranian Fisheries Organization. 2016. Statistical Yearbook. Tehran, Iran. 64 P. (In Persian).

Krogdahl A., Penn M., Thorsen J., Refstie S., Bakke A.M. 2010. Important ant nutrients in plant feedstuffs for aquaculture: an update on recent findings regarding responses in salmonids. Aquaculture Research, 41(3): 333-344.

Kurbanoglu E.B. 2001. Production of single-cell protein from ram horn hydro lysate. Turkish Journal of Biology, 25(4): 371-377.

Li P., Lawrence A.L., Castille F.L., Gatlin D.M. 2007. Preliminary evaluation of a purified nucleotide mixture as a dietary supplement for Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* (Boone). Aquaculture Research, 38: 887-890.

Lowry O.H., Rosebrough N.J., Farr A.L., Randall R.J. 1951. Protein measurement with the Folin phenol reagent. Journal of Biological Chemistry, 193(1): 265-275.

Mehrim A.I. 2009. Effect of dietary supplementation of Biogen (Commercial probiotic) on mono-sex Nile tilapia *Oreochromis niloticus* under different stocking densities. Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 4(6): 261-273.

Nasseri A., Rasoul-Amini S., Morowvat M., Ghasemi Y. 2011. Single cell protein: production and process. American Journal of Food Technology, 6(2): 103-116.

Nayak J., Viswanathan Nair P., Ammu K., Mathew S. 2003. Lipase activity in different tissues of four species of fish: rohu (*Labeo rohita Hamilton*), oil sardine (*Sardinella longiceps Linnaeus*), mullet (*Liza subviridis Valenciennes*) and Indian mackerel (*Rastrelliger kanagurta Cuvier*). Journal of the Science of Food and Agriculture, 83(11): 1139-1142.

Nayak S.K. 2010. Probiotics and immunity: a fish perspective. Fish & Shellfish Immunology, 29(1): 2-14.

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-11-02]

NRC (National Research Council). 1993. Nutrient Requirements of Fish. National Academy Press, Washington DC, USA. 128 P.

Oliva-Teles A., Enes P., Peres H. 2015. Replacing fishmeal and fish oil in industrial aqua feeds for carnivorous fish. In: Davis DA (Eds.). Feed and feeding practices in aquaculture, Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition, pp: 203-233.

Ozorio R.O.A., Turini B.G.S., Moro G.V., Oliveira L.T.S., Portz L., Cyrino J.E.P. 2010. Growth, nitrogen gain and indispensable amino acid retention of pacu (*Piaractus mesopotamicus*, Holmberg 1887) fed different brewer's yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) levels. Aquaculture Nutrition, 16: 276-283.

Sultana S., Ali M.E., Ahamad M.N.U. 2018. Gelatin, collagen, and single cell proteins as a natural and newly emerging food ingredients. In: Ali ME, Ahmad Nizar NN (Eds.): Preparation and Processing of Religious and Cultural Foods, Woodhead Publishing, Elsevier, 1st Edition, pp: 215-239.

Tewary A., Patra B.C. 2011. Oral administration of baker's yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) acts as a growth promoter and immunomodulator in *Labeo rohita* (Ham.). Journal of Aquaculture Research and Development, 2(1):1-7.

Vechklang K., Boonanuntanasarn S., Ponchunchoovong S., Pirarat N., Wanapu C. 2011. The potential for rice wine residual as an alternative protein source in a practical diet for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) at the juvenile stage. Aquaculture Nutrition, 17: 685-694.

Wache Y., Auffray F., Gatesoupe F.J., Zambonino J., Gayet V., Labbe L., 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.

Wadhwa M., Bakshi M.P.S. 2016. Application of waste-derived proteins in the animal feed industry. In: Dhillon GS (Eds.). Protein Byproducts, India, pp: 161-192.

Walter K., Schutt C. 1974. Alkaline phosphatase in serum (continuous assay). In: Bergmeyer BU (Eds.). Methods of enzymatic analysis, volume 2nd, Academic Press, New York, USA, pp: 860-864.

Zamani A., Hajimoradloo A., Madani R., Johari A., Kalbasi M.R., Farhangi M. 2006. Comparison of digestive enzyme activity in the stomach, pyloric caeca and intestine in diploid and triploid female of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Iranian Scientific Fisheries Journal, 15(2): 29-36. (In Persian).

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-11-02]

Effect of replacing fish meal with bacterial single-cell protein on body composition and digestive enzymes activity of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum, 1792)

Zamani A*.

*Assistant Professor, Department of Fisheries, Malayer University, Malayer, Hamedan, Iran

Received: 9-10-2019 ; Accepted: 2-12-2019

Abstract

In this study body composition and digestive enzymes activity were assessed in rainbow trout (*O. mykiss*) fry (weight 2.51 ± 0.55 g) fed with bacterial single-cell (BSC) as a dietary protein source replaced with fish meal in a completely randomized design with three replications for each treatment for 6 weeks. Experimental diets were prepared in 5 treatments as isonitrogenous with different levels of fish meal and BSC (100% fish meal (A), 75% fish meal and 25% BSC (B), 50% fish meal and 50% BSC (C), 25% fish meal and 75% BSC (D), and 100% BSC (E)). The body composition findings showed that the highest lipid and protein and the lowest moisture and ash was revealed in fish fed with diet C while the lowest lipid and protein and the highest moisture and ash was observed in fish fed with diet E. Enzymatic assessment from pyloric caeca and intestine showed that trypsin and α-amylase were increased significantly in fish fed with diet C. Moreover, alkaline phosphatase activity in fish fed with diet D was higher than those in diet E. Based on the results of this study, it is recommended that BSC could be properly replaced up to 50 % with fish meal in the diet of rainbow trout fry.

Keywords: *O. mykiss*, Single-cell protein, Body composition, Trypsin.

*Corresponding author; a.zamani@malayeru.ac.ir

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-11-02]