

## بررسی اثر جایگزینی پودر ماهی با آکوپرو (کنجاله سویای فرآوری شده) بر عملکرد رشد و فعالیت آنزیم‌های گوارشی در بچه ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان (*Oncorhynchus mykiss*)

فاطمه موحد راد<sup>۱</sup>، عبدالمجید حاجی مرادلو<sup>۱</sup>، عباس زمانی<sup>۲\*</sup>، حامد کلنگی<sup>۱</sup>

\*a.zamani@malayeru.ac.ir

۱- گروه شیلات، دانشکده شیلات و محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گلستان، ایران  
 ۲- گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر، همدان، ایران

تاریخ پذیرش: بهمن ۱۳۹۶

تاریخ دریافت: دی ۱۳۹۶

### چکیده

در مطالعه حاضر، تأثیر جایگزینی پودر ماهی با کنجاله سویای فرآوری شده (آکوپرو) بر عملکرد رشد و فعالیت آنزیم‌های لیپاز، آمیلاز و پروتئاز اسیدی در بچه ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان (*Oncorhynchus mykiss*) (وزن متوسط:  $2/38 \pm 0/3$  گرم) به مدت ۶ هفته بررسی شد. پنج جیره آزمایشی با سطوح جایگزینی (A = %۰)، (B = %۲۵)، (C = %۵۰)، (D = %۷۵) و (E = %۱۰۰) آرد ماهی با آکوپرو تهیه گردید. بررسی شاخص‌های افزایش وزن بدن، نرخ رشد نسبی، نسبت کارایی پروتئین و چربی نشان داد در جیره آزمایشی ۵۰٪ بطور معنی داری بالاتر از سایر تیمارها بودند ( $p < 0/05$ )، در حالی که شاخص‌های نسبت کارایی غذا و ضریب تبدیل غذایی در جیره آزمایشی ۵۰٪ به ترتیب، بیشترین و کمترین مقدار را نشان دادند ولی اختلاف معنی داری با سایر تیمارها مشاهده نگردید ( $p > 0/05$ ). بالاترین میزان نرخ بقاء در جیره آزمایشی ۷۵٪ مشاهده شد که تحت تأثیر مقدار آکوپرو در جیره قرار نگرفت. بیشترین میزان فعالیت آنزیم‌های لیپاز، آمیلاز و پروتئاز اسیدی به ترتیب از ضمام پیلوریک، روده و معده در ماهیان تغذیه شده با جیره آزمایشی ۵۰٪ مشاهده شد که نسبت به سایر جیره‌های غذایی اختلاف معنی داری را نشان داد ( $p < 0/05$ ). براساس نتایج حاصل از عملکرد رشد و فعالیت آنزیم‌های لیپاز، آمیلاز و پروتئاز اسیدی، جیره حاوی ۵۰٪ آکوپرو نسبت به سایر جیره‌ها می‌تواند برای رشد ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان مناسب باشد.

**لغات کلیدی:** پودر ماهی، آکوپرو، پروتئاز، قزل‌آلای رنگین‌کمان

\* نویسنده مسئول

## مقدمه

طی سال‌های اخیر با توجه به افزایش تقاضای بازار مصرف، پرورش ماهیان گوشتخوار به شدت افزایش یافته است و تغذیه این ماهیان نیاز به سطوح بالای پروتئین دارد که از منابع محدود آرد ماهی تامین می‌شود (SOFIA, 2007). پودر ماهی بدلیل داشتن پروتئین زیاد، هضم آسان، داشتن اسیدهای آمینه مناسب و اسیدهای چرب غیراشباع و انواع ویتامین‌ها بخصوص A و D و نیز کلسیم و فسفر مهم‌ترین منبع پروتئین در خوراک تجاری آبزیان محسوب می‌شود. با توجه به مزایای استفاده از پودر ماهی به عنوان ماده خوراکی، کاهش پودر ماهی و افزایش قیمت آن در آینده، می‌تواند سبب کاهش مصرف آن توسط صنایع تولید غذای آبزیان گردد (Drew et al., 2007). به منظور کاهش هزینه‌های تولید خوراک و توسعه پایدار پرورش ماهی، پودر ماهی می‌تواند با منابع پروتئینی ارزشمند از دیگر منابع جایگزین شود (امدادی و همکاران، ۱۳۹۲؛ Jalili et al., 2012). در دهه‌های اخیر، پروتئین‌های گیاهی به عنوان یک گزینه قابل قبول جهت جایگزینی پودر ماهی در رژیم غذایی ماهیان مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند و نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که استفاده از این منابع می‌تواند بدلیل فراهم نمودن شرایط مناسب رشد، وجود منابع پایدار با دسترسی آسان و قیمت مناسب به کاهش هزینه‌های تولید در صنعت آبزی‌پروری کمک نماید (Hardy, 2010; Tacon and Metian, 2008). از میان پروتئین‌های گیاهی، کنجاله سویا، به دلیل محتوای پروتئینی بالا، وجود آمینو اسیدهای ضروری مناسب، دسترسی آسان و هزینه کم، گزینه خوبی برای جایگزینی پودر ماهی به‌شمار می‌رود اما ارزش تغذیه‌ای آن می‌تواند با غیر فعال شدن ماده ضد تغذیه‌ای (ANFs)<sup>۱</sup> که موجب عدم دسترسی به مواد معدنی و اختلال در هضم مواد مغذی می‌شوند، مورد توجه بیشتر قرار گیرد (Ehsani et al., 2014). سویا از ترکیبات ضد تغذیه‌ای پایدار (ساپونین، پلی ساکاریدهای غیر نشاسته‌ای، فیتات، فیتو استروژن‌ها و آنتی ژن‌های پروتئین) و ناپایدار (بازدارنده-

های تریپسین و لکتین‌ها) در برابر حرارت برخوردار است. حذف ترکیبات ضد تغذیه‌ای پایدار در برابر گرما می‌تواند از طریق استخراج آب یا حلال، تجزیه و یا استفاده از آنزیم‌های خارجی انجام شود (Drew et al., 2007). در همین راستا، در تحقیق حاضر از آکوپرو (تولید شده توسط شرکت‌های اسنادام پارس و یسنامهر جهت تغذیه دام، طیور و آبزیان) که نوعی منبع پروتئینی با قدرت هضم و جذب بالا بر گرفته از کنجاله سویا است استفاده شد که تحت تیمار آنزیمی و عملیات اکستروژن قرار گرفته و مواد ضد تغذیه‌ای موجود در کنجاله سویا به حداقل رسیده و در نهایت منجر به افزایش قابلیت هضم پروتئین آن و افزایش بازدهی جیره می‌شود. جذب فوق‌العاده به‌دلیل پروفایل اسیدآمینه مطلوب، کاهش چشمگیر مواد ضد تغذیه‌ای، عدم بروز مشکلات مربوط به مصرف پروتئین‌های گیاهی در جیره آبزیان و دارا بودن ۵۱٪ پروتئین از ویژگی‌های اصلی این محصول محسوب می‌شود. ارزیابی توانایی گوارش مواد غذایی و جذب مواد مغذی از مهم‌ترین عوامل در فرآیند جایگزینی پودر ماهی می‌باشد (Trejo-Escamilla et al., 2017). توزیع آنزیم‌های گوارشی و فعالیت آنها در دستگاه گوارش به نوع ماده غذایی بستگی دارد و می‌تواند بر ساختار دستگاه گوارش تاثیر گذارد؛ لذا مطالعه بر روی تاثیر مواد غذایی بر فعالیت آنزیم‌های گوارشی می‌تواند به حل مشکلات موجود در تغذیه کمک کند (Deguara et al., 2003; Steffens, 1994). هدف از انجام این تحقیق دستیابی به یک جیره غذایی مناسب حاوی آکوپرو به جای پودر ماهی در جیره غذایی بچه ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان و تعیین شاخص‌های رشد و فعالیت آنزیم‌های لیپاز، آمیلاز و پروتئاز اسیدی در ماهیان مورد آزمایش می‌باشد.

## مواد و روش کار

### پرورش ماهیان

در این تحقیق تعداد ۳۷۵ قطعه بچه ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان با وزن متوسط  $2/38 \pm 0/3$  گرم با دوره نوری ۱۲ ساعت روشنایی/ تاریکی به مدت ۶ هفته در ۱۵ عدد آکواریوم با حجم تقریبی ۴۰ لیتر پرورش داده شد. بطوری-

<sup>1</sup> Anti Nutritional Factors

### شاخص‌های رشد

در انتهای دوره آزمایش ماهیان جهت تعیین شاخص‌های رشد، ابتدا به مدت ۴۸ ساعت قبل از نمونه برداری قطع غذا شده و سپس با استفاده از سوزن قطع نخاع گردیدند (زمانی و همکاران، ۱۳۸۵). سپس شاخص‌های افزایش وزن بدن<sup>۱</sup>، نرخ رشد نسبی<sup>۲</sup>، ضریب تبدیل غذایی<sup>۳</sup>، نرخ بقا<sup>۴</sup>، نسبت کارایی پروتئین<sup>۵</sup>، نسبت کارایی چربی<sup>۶</sup> و نسبت کارایی غذا<sup>۷</sup> با استفاده از روابط زیر محاسبه شد (Piedecausa et al., 2007; Hamza et al., 2008).

افزایش وزن بدن: وزن ثانویه - وزن اولیه

نرخ رشد نسبی: [(وزن ثانویه - وزن اولیه) / وزن اولیه] × ۱۰۰

نرخ بقا: (تعداد نهایی ماهیان / تعداد اولیه ماهیان) × ۱۰۰

ضریب تبدیل غذایی: مقدار غذای خشک مصرف شده / مقدار افزایش وزن بدن

نسبت کارایی پروتئین: مقدار افزایش وزن بدن / مقدار پروتئین خام مصرفی

نسبت کارایی چربی: مقدار افزایش وزن بدن / مقدار چربی خام مصرفی

نسبت کارایی غذا: مقدار افزایش وزن بدن / مقدار غذای خشک مصرفی

### تعیین ترکیب شیمیایی جیره غذایی

برای تعیین ترکیب شیمیایی جیره غذایی از روش AOAC (2005) استفاده گردید. میزان رطوبت بر اساس اختلاف وزن حاصل از قرار دادن نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در آون با دمای ۱۰۵ °C بدست آمد.

که در هر آکواریوم تعداد ۲۵ عدد بچه ماهی رهاسازی گردید. قبل از شروع آزمایش به مدت ۷۲ ساعت قطع غذا شدند سپس به مدت دو هفته با غذای تجاری جهت سازگاری با شرایط آزمایشی تغذیه شدند. تغذیه ماهیان با جیره‌های غذایی آزمایشی تهیه شده، روزانه ۴ بار و به مدت ۶ هفته بر اساس 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٪ تعویض گردید. از هر آکواریوم ۱۰ عدد ماهی جهت تعیین فعالیت آنزیم‌های گوارشی و مابقی نیز جهت تعیین شاخص‌های رشد نمونه برداری شدند. طی دوره آزمایش شاخص‌های فیزیوشیمیایی آب شامل دما (۵°C ± ۰/۱۴)، pH (۰/۱ ± ۸/۲)، شوری (کمتر از ۱ mg/L) و اکسیژن محلول (۱/۹ ± ۰/۵) اندازه گیری گردید.

### تهیه جیره‌های آزمایشی

جیره غذایی جهت بررسی اثرات جایگزینی آکوپرو در ۵ تیمار شامل جیره شاهد A (۱۰۰٪ آرد ماهی؛ ۰٪ آکوپرو)، جیره B (۷۵٪ آرد ماهی؛ ۲۵٪ آکوپرو)، جیره C (۵۰٪ آرد ماهی؛ ۵۰٪ آکوپرو)، جیره D (۲۵٪ آرد ماهی؛ ۷۵٪ آکوپرو) و جیره E (۰٪ آرد ماهی؛ ۱۰۰٪ آکوپرو) مورد مطالعه قرار گرفت. برای جیره‌نویسی از نرم افزار Aquafeed استفاده شد و فرمولاسیون غذایی به نحوی صورت گرفت که مطابق با نیازهای غذایی بچه ماهی قزل آلی رنگین کمان باشد (NRC, 1993). جهت تهیه جیره‌های آزمایشی در ابتدا مواد غذایی بر اساس جدول ۱ تهیه شد و توسط ترازو توزین شده و بعد از الک کردن و آسیاب با یکدیگر مخلوط شدند و خمیر حاصل بوسیله چرخ گوشت با اندازه چشمه ۲ میلی متر پلت شده و برای خشک کردن بمدت ۲۴ ساعت در معرض جریان هوا در دمای اتاق قرار گرفته و سپس در کیسه‌های پلاستیکی و در دمای یخچال (۴ °C) نگهداری شدند.

<sup>1</sup> Body Weight Gain

<sup>2</sup> Relative Growth Rate

<sup>3</sup> Feed Conversion Ratio

<sup>4</sup> Survival Rate

<sup>5</sup> Protein Efficiency Ratio

<sup>6</sup> Lipid Efficiency Ratio

<sup>7</sup> Food Efficiency Ratio

جدول ۱: اجزا و ترکیب تقریبی غذاهای آزمایشی جهت تغذیه بچه ماهی قزل آلابی رنگین کمان (*O.mykiss*)

Table 1: Ingredients and proximate composition of experimental diets for feeding rainbow trout (*O.mykiss*) fry

E	D	C	B	A	اجزای جیره (گرم در کیلوگرم غذا)
۰	۱۳۰	۲۶۰	۳۹۰	۵۲۰	پودر ماهی
۵۲۰	۳۹۰	۲۶۰	۱۳۰	۰	آکوپرو <sup>۱</sup>
۹۰	۹۰	۹۰	۹۰	۹۰	پودر گوشت و استخون
۴۵/۰۰	۴۵/۰۰	۴۵/۰۰	۴۵/۰۰	۴۰/۵۰	امپریال <sup>۲</sup>
۸۵/۰۰	۶۲/۱۰	۳۹/۱۰	۱۶/۲۰	-	گلو تن ذرت
۱۳۰	۱۳۰	۱۳۰	۱۳۰	۱۳۰	آرد گندم
۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	روغن سویا
۷۰	۷۰	۷۰	۷۰	۷۰	روغن ماهی
۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	مکمل معدنی <sup>۳</sup>
۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	مکمل ویتامینی <sup>۴</sup>
۰/۲۰	۰/۲۰	۰/۲۰	۰/۲۰	۰/۲۰	آنتی اکسیدان
۵	۵	۵	۵	۵	ضد قارچ
۴/۸۰	۲۷/۷۰	۵۰/۷۰	۷۳/۶۰	۹۴/۳۰	پرکننده (سلولز)
ترکیب تقریبی جیره های آزمایشی (%)					
۷/۴۴	۷/۳۸	۷/۵۱	۷/۳۳	۷/۶۲	رطوبت
۴۸/۴۰	۴۸/۴۳	۴۸/۲۸	۴۸/۳۶	۴۸/۱۸	پروتئین کل
۱۹/۲۴	۱۹/۲۳	۱۹/۵۰	۱۹/۲۰	۱۹/۵۰	چربی کل
۷/۴۱	۷/۳۷	۷/۱۰	۷/۷۰	۷/۳۸	خاکستر
۱۷/۵۱	۱۷/۵۹	۱۷/۶۱	۱۷/۴۱	۱۷/۳۲	کربوهیدرات
۵/۲۷	۵/۲۷	۵/۲۹	۵/۲۶	۵/۲۷	انرژی ناخالص (kcal/g)

۱- آکوپرو (تولید شده در شرکت یسنا مهر): سویای فرآوری شده. میزان پروتئین ۵۱٪، انرژی قابل متابولیسم ۲۸۷۰ kcal/kg، رطوبت ۱۲٪، خاکستر ۷٪، چربی ۲۱/۸٪، فیبر خام ۴٪، نشاسته ۵٪ و قند ۹٪ است.

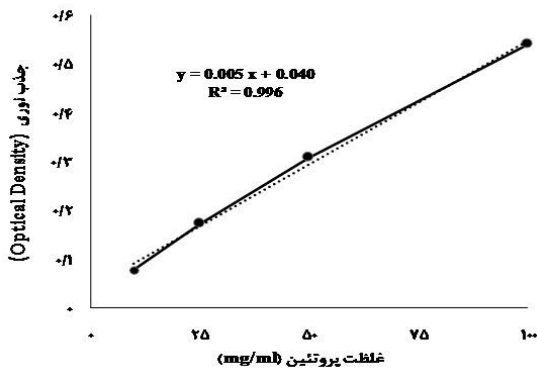
۲- امپریال (تولید شده در شرکت کارگیل آمریکا): منبعی با میزان پروتئین ثابت و خلوص بالاست که از ذرت تهیه شده است. میزان پروتئین ۷۵٪، چربی خام ۲٪، حداکثر فیبر خام ۱٪، نشاسته ۱٪ و انرژی قابل متابولیسم ۳۳۴۷ kcal/kg است.

۳- مکمل معدنی (میلی گرم/کیلوگرم): KCl : ۲۰۰ میلی گرم، KI : ۶۰ میلی گرم،  $COCl_2 \cdot 6H_2O$  : ۷ میلی گرم،  $CuSO_4 \cdot 5H_2O$  : ۱۴ میلی گرم،  $FeSO_4 \cdot H_2O$  : ۴۰۰ میلی گرم،  $ZnSO_4 \cdot H_2O$  : ۲۰۰ میلی گرم،  $MnSO_4 \cdot H_2O$  : ۸۰ میلی گرم،  $Na_2SeO_3 \cdot 5H_2O$  : ۶۵ میلی گرم،  $MgSO_4 \cdot 7H_2O$  : ۳۰۰۰ میلی گرم،  $Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O$  : ۲۰۰۰۰ میلی گرم، NaCl : ۱۳۶ میلی گرم و Zeolite : ۵۸۴۰ میلی گرم و کریر تا ۱ کیلوگرم است.

۴- مکمل ویتامینی حاوی تیامین (۱۲ میلی گرم)، ریبوفلاوین (۵ میلی گرم)، پیرودوکسین (۶ میلی گرم)، سیانوکوبالامین (۰/۰۵ میلی گرم) نمک منادیون ( $K_3$ ) (۵ میلی گرم)، اینوزیتول (۱۰۰ میلی گرم)، پانتوتنیک اسید (۳۰ میلی گرم)، فولیک اسید (۲ میلی گرم)، بیوتین (۰/۰۶ میلی گرم)، ریتینول استات (۲۵ میلی گرم)، D3- کوله کلسی فرول (۵ میلی گرم)، آلفا-توکوفرول (۴۰ میلی گرم)، آسکوربیک اسید (۵۰۰ میلی گرم)، نیاسین (۳۵ میلی گرم)، اتوکسی کوئین (۱۵۰ میلی گرم) و کریر تا ۱۰۰۰ میلی گرم 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).

سرم گاوی با غلظت ۱ mg/ml بعنوان استاندارد استفاده گردید (شکل ۱).



شکل ۱: منحنی استاندارد BSA (غلظت ۱ mg/ml). محور X : غلظت پروتئین (mg/ml)؛ محور Y: جذب نوری  
Figure 1: Standard curve of BSA (1 mg/ml) [ X axis: protein concentration (mg/ml) ; Y axis: Optical Density]

### آنالیز آماری

تجزیه و تحلیل داده‌ها توسط نرم‌افزار SPSS۱۹ انجام گردید. نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون Kolmogorov-Smirnov مورد ارزیابی قرار گرفت و آزمون همگنی واریانس توسط تست Levene انجام شد. برای مقایسه شاخص‌های رشد و فعالیت آنزیم‌ها بین جیره‌های آزمایشی از آنالیز واریانس یک‌طرفه استفاده گردید و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون دانکن در سطح احتمال ۰/۵ و با ۳ تکرار انجام گردید. همچنین میزان بهینه آکوپرو در جیره غذایی ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان بر مبنای افزایش وزن بدن با استفاده از نرم‌افزار Graph pad prism روش broken-line تخمین زده شد.

### نتایج

نتایج مربوط به شاخص‌های رشد در جدول ۲ ارائه شده است. تاثیر آکوپرو بر وزن نهایی و میزان افزایش وزن بدن نشان داد که بترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین آنها مربوط به جیره ۵۰٪ و ۷۵٪ بود، بطوریکه در جیره ۵۰٪ نسبت به سایر جیره‌های آزمایشی افزایش معنی‌داری مشاهده گردید ( $p < 0/05$ ).

میزان پروتئین خام از روش کج‌لدال، میزان چربی خام با استفاده از روش سوکسله و میزان خاکستر نیز با سوزاندن نمونه خشک شده در کوره الکتریکی در دمای  $550^{\circ}\text{C}$  و برای مدت ۵ ساعت اندازه‌گیری گردید.

### تهیه عصاره آنزیمی، سنجش فعالیت آنزیم و پروتئین محلول

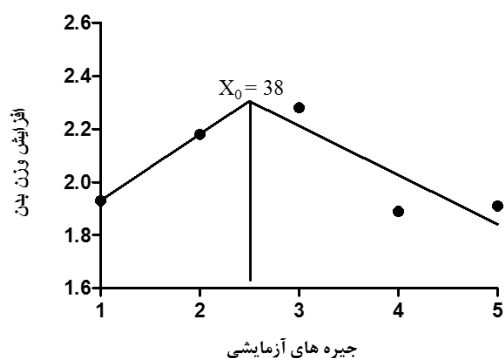
برای این منظور، ابتدا ماهیان با استفاده از سوزن قطع نخاع شده و کالبد شکافی جهت جداسازی روده و ضمائم پیلوریک (حاوی آنزیم لیپاز و آمیلاز) و معده (حاوی آنزیم پروتئاز اسیدی) در حضور یخ انجام شد. بعد از جداسازی، نمونه‌ها توزین شده و بطور جداگانه با بافر ۵۰ میلی مولار تریس - HCl، pH = ۸/۰ (حاوی ۱۰ میلی مولار  $\text{CaCl}_2$  و ۰/۵ مولار NaCl) با نسبت ۱ به ۲۰ مخلوط شده و با استفاده از هموژنایزر (مدل Hand Held WT130) همگن سازی در حضور یخ به مدت ۱ دقیقه در  $11000\text{rpm}$  انجام شد. سپس مخلوط حاصله برای ۳۰ دقیقه در دمای  $4^{\circ}\text{C}$  در  $10000\text{rpm}$  سانتریفیوژ گردید و محلول رویی به عنوان عصاره آنزیمی جهت سنجش فعالیت آنزیم انتخاب گردید (Nayak et al., 2003). برای سنجش فعالیت آنزیم پروتئاز اسیدی از کارژین ۱٪ به عنوان سوبسترا استفاده شد میزان جذب در طول موج ۲۸۰ نانومتر قرائت شد (Walter, 1984). فعالیت آنزیم لیپاز با استفاده از سوبسترای پارانیتروفنیل مریستات سنجش گردید و جذب پارانیتروفنیل رهاسازی شده در طول موج ۴۰۵ نانومتر قرائت گردید (Iijima et al., 1998). برای سنجش فعالیت آنزیم آمیلاز از نشاسته ۱٪ بعنوان سوبسترا و از دی نیترو سالیسیلیک اسید بعنوان معرف جهت شناسایی مالتوز تولید شده استفاده شد و در طول موج ۵۴۰nm خوانده شد. (Bernfeld, 1955). در تمام سنجش‌ها برای نمونه شاهد از آب مقطر به‌جای نمونه آنزیمی استفاده شد. جهت تعیین فعالیت اختصاصی آنزیم‌های مورد مطالعه، میزان پروتئین محلول در روده، ضمائم پیلوریک و معده با روش Lowry و همکاران (۱۹۵۱) سنجش گردید. در این روش از آلبومین

جدول ۲: عملکرد رشد بچه ماهی قزل آلائی رنگین کمان (*O. mykiss*) تغذیه شده با جیره های آزمایشی  
 Table 2: Growth performance of rainbow trout (*O. mykiss*) fry fed with experimental diets

E	D	C	B	A	جیره شاخص های رشد
۲/۳۸ ± ۰/۳۰	۲/۳۸ ± ۰/۳۰	۲/۳۸ ± ۰/۳۰	۲/۳۸ ± ۰/۳۰	۲/۳۸ ± ۰/۳۰	وزن اولیه ماهی (گرم)
۴/۳۹ ± ۰/۰۴ <sup>a</sup>	۴/۳۷ ± ۰/۰۴ <sup>a</sup>	۴/۶۶ ± ۰/۰۱ <sup>c</sup>	۴/۵۶ ± ۰/۰۵ <sup>b</sup>	۴/۳۱ ± ۰/۰۳ <sup>a</sup>	وزن ثانویه ماهی (گرم)
۱/۹۱ ± ۰/۰۴ <sup>a</sup>	۱/۸۹ ± ۰/۰۴ <sup>a</sup>	۲/۲۸ ± ۰/۰۱ <sup>c</sup>	۲/۱۸ ± ۰/۰۵ <sup>b</sup>	۱/۹۳ ± ۰/۰۳ <sup>a</sup>	افزایش وزن بدن (گرم)
۸۰/۴۰ ± ۱/۸۰ <sup>a</sup>	۷۹/۸۰ ± ۱/۸۰ <sup>a</sup>	۹۵/۸۰ ± ۰/۶۰ <sup>c</sup>	۹۲/۰۰ ± ۲/۵۰ <sup>b</sup>	۸۱/۵۰ ± ۱/۳۰ <sup>a</sup>	نرخ رشد نسبی
۱/۱۸ ± ۰/۳۸ <sup>a</sup>	۱/۲۵ ± ۰/۱۷ <sup>a</sup>	۰/۸۳ ± ۰/۳۵ <sup>a</sup>	۱/۰۰ ± ۰/۲۸ <sup>a</sup>	۱/۰۹ ± ۰/۱۳ <sup>a</sup>	ضریب تبدیل غذایی
۹۱/۷۹ ± ۷/۲۰ <sup>a</sup>	۱۰۰ <sup>a</sup>	۹۴/۶۳ ± ۲/۳۰ <sup>a</sup>	۹۴/۶۲ ± ۲/۶۰ <sup>a</sup>	۹۲/۰۰ ± ۶/۷۰ <sup>a</sup>	نرخ بقاء
۰/۱۰ ± ۰/۰۰ <sup>a</sup>	۰/۱۰ ± ۰/۰۰ <sup>a</sup>	۰/۱۲ ± ۰/۰۰ <sup>b</sup>	۰/۱۱ ± ۰/۰۰ <sup>b</sup>	۰/۱۰ ± ۰/۰۰ <sup>a</sup>	نسبت کارایی چربی
۰/۰۳۹ ± ۰/۰۰ <sup>a</sup>	۰/۰۳۹ ± ۰/۰۰ <sup>a</sup>	۰/۰۴۷ ± ۰/۰۰ <sup>c</sup>	۰/۰۴۵ ± ۰/۰۰ <sup>b</sup>	۰/۰۴۰ ± ۰/۰۰ <sup>a</sup>	نسبت کارایی پروتئین
۰/۸۴ ± ۰/۱۷ <sup>a</sup>	۰/۷۹ ± ۰/۰۸ <sup>a</sup>	۱/۲۰ ± ۰/۲۸ <sup>a</sup>	۰/۹۹ ± ۰/۱۸ <sup>a</sup>	۰/۹۱ ± ۰/۰۹ <sup>a</sup>	نسبت کارایی غذا

حروف کوچک غیر مشترک در هر ردیف بیانگر اختلاف معنی دار می باشد ( $\alpha = 0.05$ ,  $n = 3$ ,  $Mn \pm SD$ ).

بر مبنای افزایش وزن بدن بر اساس نمودار خط شکسته (broken-line) حدود ۳۸٪ برآورد گردید (شکل ۲).

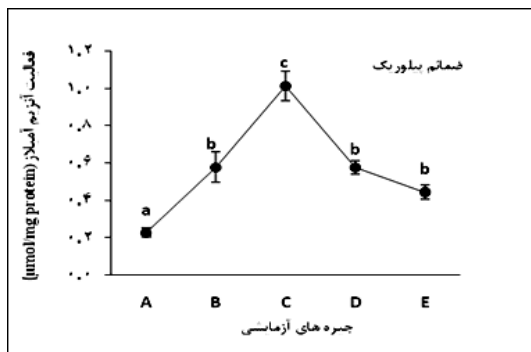
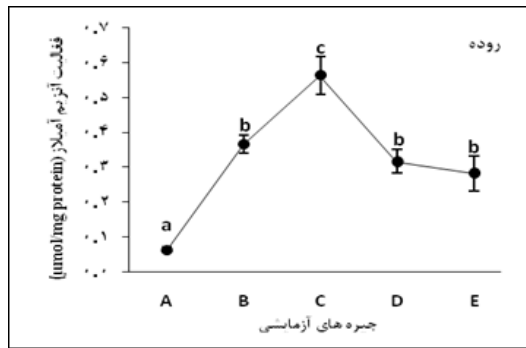


شکل ۲: نمودار خط شکسته افزایش وزن بدن برای بچه ماهی قزل آلائی رنگین کمان (*O. mykiss*) تغذیه شده با سطوح مختلف آکوپرو (1=A, 2=B, 3=C, 4=D and 5= E).  $X_0$  نقطه تلاقی دو خط میباشد که حد بهینه جایگزینی را نشان می دهد.

Figure 2: Broken line curve of body weight gain (BWG) for rainbow trout (*O. mykiss*) fry fed with different levels of AquPro (1=A, 2=B, 3=C, 4=D and 5= E).  $X_0$  is the point of intersection of the two lines represents the optimal replacement.

همچنین، با افزایش درصد جایگزینی آکوپرو تا ۵۰ (جیره C) شاخص نرخ رشد نسبی به طور معنی داری افزایش یافت ( $p < 0.05$ )، ولی با افزایش جایگزینی تا سطوح ۷۵٪ (جیره D) و ۱۰۰٪ (جیره E) میزان آن کاهش پیدا کرد ( $p < 0.05$ ). پایین ترین مقدار شاخص ضریب تبدیل غذایی به ترتیب در جیره های ۵۰٪ و ۲۵٪ و بالاترین آن در جیره ۷۵٪ مشاهده گردید ولی میزان آن در بین جیره های آزمایشی اختلاف معنی داری نداشت ( $p > 0.05$ ). بیش ترین میزان کارایی چربی و پروتئین، به ترتیب در جیره های ۵۰٪ و ۲۵٪ و کم ترین آن در جیره های شاهد، ۱۰۰٪ و ۷۵٪ مشاهده گردید که بین جیره های آزمایشی اختلاف معنی داری وجود داشت ( $p < 0.05$ ). بیش ترین و کم ترین میزان نسبت کارایی غذا به ترتیب مربوط به جیره های آزمایشی ۵۰٪ و ۷۵٪ بود و بین جیره های آزمایشی اختلاف معنی داری مشاهده نشد ( $p > 0.05$ ). هم چنین، بالاترین میزان نرخ بقا در جیره ۷۵٪ مشاهده شد ولی افزایش نسبت آکوپرو به پودر ماهی در جیره های غذایی بر نرخ بقا بی تاثیر بوده و اختلاف معنی داری هم در بین تیمارهای آزمایشی در مقایسه با شاهد وجود نداشت ( $p > 0.05$ ). میزان بهینه جایگزینی آرد ماهی بوسیله آکوپرو در جیره غذایی بچه ماهی قزل آلائی رنگین کمان

شده با جیره‌های آزمایشی در شکل ۴ نشان داده شده است.



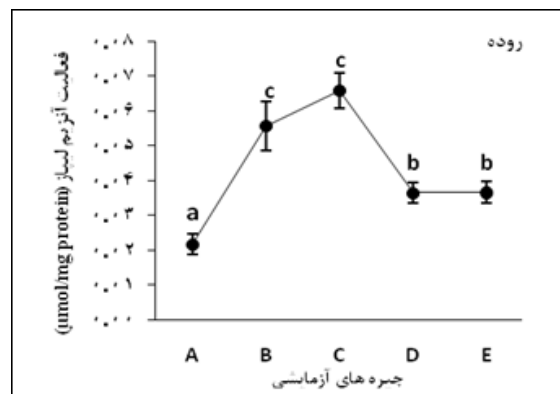
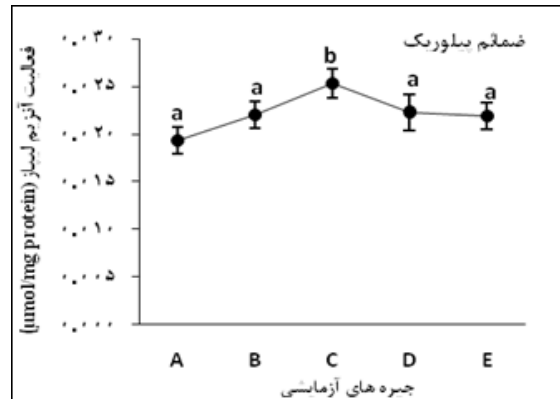
شکل ۴: فعالیت آنزیم آمیلاز از ضمائم پیلوریک و روده ماهی آزمایشی. حروف کوچک غیر مشترک بیانگر اختلاف معنی دار

در فعالیت آنزیم می‌باشد ( $Mn \pm SD, n = 3, \alpha = 0/05$ ).

**Figure 4:** Amylase activity from pyloric caeca and intestine of rainbow trout (*O. mykiss*) fry fed with experimental diets. Different lower case indicates a significant difference in enzyme activity ( $Mn \pm Sd, n=3, \alpha =0/05$ ).

بیشترین میزان فعالیت آنزیم آمیلاز ضمائم پیلوریک و روده در ماهیان تغذیه شده با جیره غذایی ۵۰٪ مشاهده شد بطوری که با سایر جیره‌های غذایی اختلاف معنی داری داشت. ( $p < 0/05$ ). نتایج فعالیت آنزیم پروتئاز اسیدی در معده بچه ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان تغذیه شده با جیره-های آزمایشی در شکل ۵ نشان داده شده است. بیشترین میزان فعالیت آنزیم پروتئاز اسیدی معده در ماهیان تغذیه شده با جیره غذایی ۵۰٪ و کمترین آن در ماهیان تغذیه شده با جیره شاهد مشاهده شد بطوری که فعالیت آنزیم

نتایج فعالیت آنزیم لیپاز در ضمائم پیلوریک و روده بچه ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان تغذیه شده با جیره‌های آزمایشی در شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل ۳: فعالیت آنزیم لیپاز از ضمائم پیلوریک و روده بچه ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان (*O. mykiss*) تغذیه شده با جیره‌های آزمایشی. حروف کوچک غیر مشترک بیانگر اختلاف

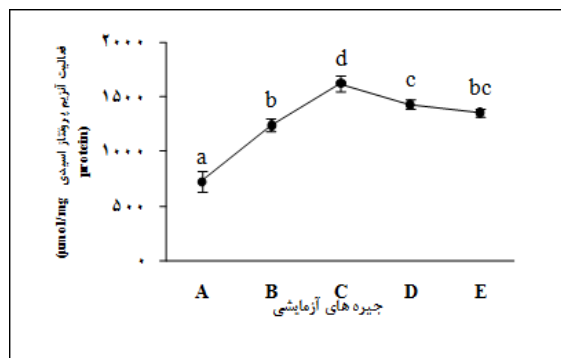
معنی دار در فعالیت آنزیم می‌باشد ( $Mn \pm Sd, n=3, \alpha = 0/05$ ).

**Figure 3:** Lipase activity from pyloric caeca and intestine of rainbow trout (*O. mykiss*) fry fed with experimental diets. Different lower case indicates a significant difference in enzyme activity ( $Mn \pm Sd, n=3, \alpha =0/05$ ).

بیشترین میزان فعالیت آنزیم لیپاز ضمائم پیلوریک و روده در ماهیان تغذیه شده با جیره غذایی ۵۰٪ مشاهده شد، که با سایر جیره‌های غذایی اختلاف معنی داری را نشان داد ( $p < 0/05$ ). نتایج فعالیت آنزیم آمیلاز در ضمائم پیلوریک و روده بچه ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان تغذیه

غذایی و نرخ بقاء مشاهده نگردید. همچنین، افزایش کنجاله سویا و مخمر نانوبی در جیره غذایی ماهیان جوان بنی (*Mesopotamichthys sharpeyi*) تأثیر منفی بر شاخص ضریب تبدیل غذایی نداشت و باوجود روند افزایشی این شاخص، اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای آزمایشی در مقایسه با گروه شاهد مشاهده نشد (آلبوغبیش و همکاران، ۱۳۹۴). وجود مکمل آمینو اسیدهای لایزین و متیونین در آکوپرو می‌تواند به‌طور قابل توجهی باعث افزایش میزان مصرف غذا و بهبود عملکرد رشد ماهی گردد (Deng et al., 2006). بطوریکه نتایج مطالعه انجام شده بر روی میس ماهی زرد بزرگ (*Larimichthys cocea*) نشان داد استفاده از پروتئین کنسانتره سویا حاوی مکمل لایزین و متیونین می‌تواند بدون تأثیر منفی بر عملکرد رشد به‌طور کامل جایگزین پودر ماهی در غذا شود (Wang et al., 2017). از سویی، کاهش عملکرد رشد و بازده خوراک در سطوح بالای جایگزینی، می‌تواند بدلیل کاهش خوش خوراکی غذا، کمبود اسیدآمینینه ضروری، کمبود فسفر، اختلال در متابولیسم چربی و وجود گستره مواد ضد تغذیه‌ای در گیاهان باشد (Gomes et al., 1995; Francis et al., 2001; Ye et al., 2011). جایگزینی آرد ماهی با پروتئین گیاهی (گلوتن گندم و ذرت) تا بیش از ۴۰٪ در جیره ماهی قزل‌آلای رنگین-کمان (*O. mykiss*) باعث کاهش افزایش وزن بدن و ضریب تبدیل غذایی گردید (Jalili et al., 2012). گزارش Barnes و همکاران (۲۰۱۲) نشان داد جایگزینی بیش از ۳۰٪ پودر ماهی با کنجاله سویا تخمیر شده در رژیم غذایی قزل‌آلای رنگین کمان (*O. mykiss*) باعث افزایش ضریب تبدیل غذایی و کاهش معنی دار رشد گردید. در مطالعه حاضر، بیش‌ترین میزان نسبت کارایی پروتئین، چربی و غذا در ماهیان تغذیه شده با جیره ۵۰٪ مشاهده شد که نسبت کارایی غذا اختلاف معنی‌دار با سایر جیره‌های آزمایشی نداشت. جایگزینی پودر ماهی با پروتئین گیاهی تا ۴۰٪ در جیره قزل‌آلای رنگین‌کمان (*O. mykiss*) باعث کاهش نسبت کارایی پروتئین و چربی گردید ولی تفاوت معنی‌داری با جیره شاهد نشان نداد

پروتئاز اسیدی در جیره‌های مختلف اختلاف معنی داری



نشان دادند ( $p < 0.05$ ).

شکل ۵: فعالیت آنزیم پروتئاز اسیدی از معده ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان (*O. mykiss*) تغذیه شده با جیره‌های آزمایشی. حروف کوچک غیر مشترک بیانگر اختلاف معنی‌دار در فعالیت آنزیمی باشد ( $Mn \pm SD, n = 3, \alpha = 0.05$ )

Figure 5: Acidic protease activity from stomach of rainbow trout (*O. mykiss*) fry fed with experimental diets. Different lower case indicates a significant difference in enzyme activity ( $Mn \pm Sd, n=3, \alpha =0/05$ )

## بحث

از آنجایی‌که پودر ماهی یک منبع اولیه محدود است و منابع گیاهی به‌طور گسترده و با قیمت مناسب در دسترس هستند، استفاده از منابع پروتئینی گیاهی در پرورش آبزیان باید مورد توجه قرار گیرد (SOFIA, 2007). با جایگزینی پودر ماهی با آکوپرو تا سطح ۵۰٪ در جیره غذایی، وزن نهایی و نرخ رشد نسبی ماهیان به‌طور معنی‌داری افزایش و میزان ضریب تبدیل غذایی بدون تأثیر معنی‌داری کاهش یافت. نتایج این تحقیق با نتایج مطالعه حقیبان و همکاران (۱۳۹۴) در جایگزینی پودر ماهی با آرد سویا در جیره غذایی ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان (*O. mykiss*) مطابقت داشت بطوری‌که بیش‌ترین میزان افزایش وزن بدن و کم‌ترین میزان ضریب تبدیل غذایی در تیمار ۵۰٪ جایگزینی سویا مشاهده شد. بر اساس گزارش Ehsani و همکاران (۲۰۱۴) جایگزینی آرد ماهی تا ۳۰٪ با پروتئین سویای تخمیر شده در جیره بچه ماهی شانک زرد باله (*Acanthopagrus latus*) تفاوت معنی‌داری در میزان وزن نهایی، ضریب تبدیل



قابلیت هضم پایین و عدم تعادل اسیدآمینه‌های ضروری در پروتئین‌های جایگزین می‌تواند ناشی از سطوح بالای جایگزینی باشد (Ai et al., 2006). وجود مواد ضد تغذیه‌ای در منابع گیاهی موجب مهار سیستم آنزیمی و کاهش هضم مواد غذایی می‌شود (Schofield et al., 2001). کاهش فعالیت آنزیم پروتئاز می‌تواند تحت تاثیر کیفیت، مقدار مواد مغذی، حضور مواد ضدتغذیه‌ای و سطوح جایگزینی برخی پروتئین‌های گیاهی در غذای قزل‌آلای رنگین‌کمان (*O. mykiss*) قرارگیرد (Xu et al., 2001; Santigosa et al., 2008; Kolkovski, 2001). مطالعه Krogdahl و همکاران (۲۰۰۳) نشان داد فعالیت آنزیم‌های گوارشی در پرزهای غشاء و درون سلول‌های جذب کننده روده در ماهی آزاد اقیانوس اطلس (*Salmo salar*) تحت تاثیر سطوح کنجاله سویا در رژیم غذایی به طور معنی‌داری کاهش یافت که با تغییرات مورفولوژیک روده، هضم ظاهری و اختلالات جذب همراه بود. در جایگزینی آرد ماهی با بیش از ۴۵٪ پروتئین سویای کنسانتره در جیره می‌ش ماهی (*T. macdonaldi*)، فعالیت آنزیم‌های پانکراتیک و پرزهای غشاء روده به‌طور پیوسته کاهش یافت (Trejo-Escamilla et al., 2017). مطالعه انجام شده توسط Lin و Lou (۲۰۱۱) نشان داد افزایش سطح کنجاله سویای جیره فرآیند گوارشی را در هیبرید ماهی تیلپیا (*Oreochromis niloticus* × *O. aureus*) تحت تاثیر قرار داده و سبب کاهش فعالیت آنزیم پروتئاز گردید. نتایج نشان داد جایگزینی پودر ماهی با پروتئین گیاهی در تغذیه ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان (*O. mykiss*) و بچه ماهی شانک زرد باله (*A. latus*) تاثیر معنی‌داری بر فعالیت آنزیم‌های لیپاز و آمیلاز نداشت و تنها در جایگزینی با سطوح بالا موجب کاهش فعالیت آنزیم لیپاز گردید (Jalili et al., 2012; Ehsani et al., 2014). با توجه به نتایج بدست آمده در این مطالعه، جیره آزمایشی ۵۰٪ بیش‌ترین میزان شاخص نرخ رشد نسبی، نسبت کارایی پروتئین، نسبت کارایی چربی و نسبت کارایی غذا را داشت و پایین‌ترین میزان ضریب تبدیل غذایی نیز در جیره آزمایشی ۵۰٪ مشاهده شد. بیش‌ترین

(Jalili et al., 2012). همچنین، نسبت کارایی غذا و نسبت کارایی پروتئین در می‌ش ماهی جوان (*Totoaba macdonaldi*) در ۴۵٪ جایگزینی پودر ماهی با پروتئین سویای کنسانتره افزایش یافت (Trejo-Escamilla et al., 2017). افزایش میزان جایگزینی پروتئین گیاهی در جیره قزل‌آلای رنگین‌کمان (*O. mykiss*) بر شاخص بازماندگی تاثیر نداشت بطوری‌که در مطالعه حاضر، بیش‌ترین میزان شاخص نرخ بقاء در گروه تغذیه شده با جیره ۷۵٪ و کمترین آن در گروه ۱۰۰٪ مشاهده شد که این نتیجه با مطالعه حقیبان و همکاران (۱۳۹۴) مطابقت دارد به‌طوری‌که کم‌ترین درصد بازماندگی در تیمار ۱۰۰٪ سویا و بالاترین آن در تیمار ۷۵٪ سویا دیده شد. همچنین، افزایش نسبت جایگزینی کنجاله سویا و مخمر نانویی به جای پودر ماهی در جیره غذایی ماهیان جوان بنی (*M. sharpeyi*) بر شاخص بازماندگی بی‌تاثیر بود (آلبوغیش و همکاران، ۱۳۹۴). همچنین، جایگزینی پودر ماهی تا ۳۰٪ با پروتئین سویای تخمیر شده در جیره بچه ماهی شانک زرد باله (*A. latus*) تاثیر بر نرخ بقاء نداشت (Ehsani et al., 2014). اندازه‌گیری فعالیت آنزیم‌های گوارشی به‌ویژه پروتئاز، آمیلاز و لیپاز برای بررسی فرآیند گوارش مهم است و اطلاعات مربوط به ظرفیت کامل گوارش و استفاده از مواد مغذی در گونه‌های ماهی را فراهم می‌کند که ممکن است تاثیر بالقوه‌ای بر استفاده از خوراک و عملکرد رشد داشته باشند (Ye et al., 2011; Johnston et al., 2004). در مطالعه حاضر، بیش‌ترین فعالیت آنزیم‌های لیپاز و آمیلاز در روده و ضمائم پیلوریک و پروتئاز اسیدی معده در جیره غذایی حاوی ۵۰٪ آکوپرو دیده شد که نسبت به سایر جیره‌های غذایی اختلاف معنی‌داری را نشان داد و با افزایش سطح آکوپرو، کاهش فعالیت آنزیم‌ها مشاهده شد. بررسی‌ها نشان می‌دهد پروتئین کنسانتره سویا حاوی لایزین و متیونین می‌تواند به‌طور کامل جایگزین پروتئین پودر ماهی در جیره ماهی می‌ش ماهی زرد بزرگ (*L. crocea*) بدون تاثیر منفی بر عملکرد آنزیم‌های لیپاز و آمیلاز شود (Wang et al., 2017). برخی مطالعات نشان داده‌اند

- Ai, Q.H., Mai, K.S., Tan, B.P., Xu, W., Duan, Q.Y., Ma, H.M. and Zhang, L., 2006. Replacement of fish meal by meat and bone meal in diets for large yellow croaker (*Pseudosciaena croce*). *Aquaculture*, 260:255-263. DOI:10.1016/j.aquaculture.2006.06.043
- AOAC., 2005. Official Method 950.89 Horwitz, W., Latimer, G. (Eds). Official Methods of Analysis of AOAC International, 18th Edition, Association of Official Analytical Chemists, Gaithersburg, USA.
- Barnes E., Michael B.L., Michael, K.A. and Rosentrater, J.R.S., 2012. An initial investigation replacing fish meal with a commercial fermented soybean meal product in the diets of juvenile rainbow trout. *Open Journal of Animal Sciences*, 2(4): 234-243. DOI: 10.4236/ojas.2012.24033
- Bernfeld, P., 1955. Amylases,  $\alpha$  and  $\beta$ . *Methods in enzymology*, vol. 1, Academic Press, New York, pp: 149-158. DOI:10.1016/0076-6879(55)01021-5
- Deguara, S., Jauncey, K. and Agius, C., 2003. Enzyme activities and pH variations in the digestive tract of gilthead sea bream. *Journal of Fish Biology*, 62: 1033-1043. DOI:10.1046/j.1095-8649.2003.00094.x
- Deng, J., Mai, K.S., Ai, Q.H., Zhang, W., Wang, X., Xu, W. and Liufu, Z., 2006. Effects of replacing fish meal with soy protein concentrate on feed intake and growth of juvenile Japanese flounder (*Paralichthys olivaceus*). *Aquaculture*, میزان فعالیت آنزیم لیباز و آمیلاز از ضمامم پیلوریک و روده و آنزیم پروتئاز اسیدی معده در ماهیان تغذیه شده با جیره آزمایشی ۵۰٪ مشاهده شد که نسبت به سایر جیره‌های آزمایشی اختلاف معنی‌داری را نشان داد. با توجه به نتایج بدست آمده از مطالعه حاضر، استفاده از سطوح مشخص‌شده آکوپرو در کارخانه‌های تولیدی خوراک آبزیان به‌عنوان جایگزین بخشی از آرد ماهی جهت کاهش هزینه تولید غذا و حفظ ذخایر دریایی ماهیان مورد استفاده در تولید آرد ماهی پیشنهاد می‌شود.
- ### منابع
- امدادی، ب.، سجادی، م.م.، یزدانی، م.ع. و شکوریان، م.، ۱۳۹۲. تاثیر جایگزینی مقادیر مختلف آرد ماهی توسط کنجاله سویا در جیره غذایی بچه ماهیان ازون برون (*Acipenser stellatus*)، بر میزان رشد، ضریب تبدیل غذایی و میزان ترکیبات شیمیایی لاشه، عضله و بافت کبد. *مجله علمی شیلات ایران*. ۲۲ (۲): ۲۳-۳۴.
- آلبوغبیش، م.، محمدی آذر، ح.، یآوری. و ذاکری، م.، ۱۳۹۴. اثر جایگزینی پودر ماهی با کنجاله سویا و مخمر نانوائی بر عملکرد رشد و تغذیه ماهیان جوان بنی (*Mesopotamichthys sharpeyi*). *مجله پژوهشهای جانوری*. ۲۸ (۲): ۱۳۶-۱۴۵.
- حق بیان، س.، شمسایی، م.، ایلا، ن.، عبدالله تبار، ی.، بزرگ زاده، پ. و رضایی، د.، ۱۳۹۴. جایگزینی پودر سویا (HP310) در جیره غذایی و تأثیر آن در عملکرد رشد و فاکتورهای خونی قزل‌آلای رنگین‌کمان (*Oncorhynchus mykiss*). *نشریه شیلات دانشگاه تهران*، ۶۸ (۲): ۲۰۹-۲۲۳.
- زمانی، ع.، حاجی مرادلو، ع.، مدنی، ر.، جوهری، ع.، کلباسی، م.ر. و فرهنگ، م.، ۱۳۸۵. مقایسه فعالیت برخی آنزیمهای گوارشی در معده، ضمامم پیلوریک و روده ماهیان دیپلوئید و تریپلوئید ماده قزل‌آلای رنگین‌کمان. *مجله علمی شیلات ایران*. ۱۵ (۲): ۲۹-۳۶.

- 258(1): 503-513.  
DOI:10.1016/j.aquaculture.2006.04.004
- Ehsani, J., Azarm, H.M., Maniat, M., Ghabtani, A. and Eskandarnia, H., 2014.** Effects of partial substitution of dietary fish meal by fermented soybean meal on growth performance, body composition and activity of digestive enzymes of juvenile yellowfin sea bream. *International Journal of Biosciences*, 5: 99-107. DOI: 10.12692/ijb/5.4.99-107
- Francis, G., Makkar, H.P.S. and, Becker, K., 2001.** Antinutritional factors present in plant-derived alternate fish feed ingredients and their effects in fish. *Aquaculture*, 199: 197-227. DOI:10.1016/S0044-8486(01)00526-9
- Gomes, E.F., Rema, P. and Kaushik, S.J., 1995.** Replacement of fish meal by plant proteins in the diet of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*), digestibility and growth performance. *Aquaculture*, 130: 177-186. DOI:10.1016/0044-8486(94)00211-6
- Hamza, N., Mhetli, M., Khemis, I.B., Cahu, C. and Kestemont, P., 2008.** Effect of dietary phospholipid levels on performance, enzyme activities and fatty acid composition of pikeperch (*Sander lucioperca*) larvae. *Aquaculture*, 275(1): 274-282. DOI:10.1016/j.aquaculture.2008.01.014
- Hardy, R.W., 2010.** Utilization of plant proteins in fish diets: effects of global demand and supplies of fishmeal. *Aquaculture Research*, 41: 770-776. DOI:10.1111/j.1365-2109.2009.02349.x
- Iijima, N., Tanaka, S. and Ota, y., 1998.** Purification and characterization of bile salt-activated lipase from the hepatopancreas of red sea bream (*Pagrus major*). *Fish Physiology and Biochemistry*, 18:59-69. DOI:10.1023/A:1007725513389
- Jalili, R., Noori, F. and Agh, N., 2012.** Effects of dietary protein source on growth performance, feed utilization and digestive enzyme activity in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Journal of Applied Biological Sciences*, 6 (3): 61-68.
- Johnston, D.J., Ritar, A.J. and, Thomas, C.W., 2004.** Digestive enzyme profiles reveal digestive capacity and potential energy sources in fed and starved spiny lobster (*Jasusedwardsii*) phyllosoma larvae. *Comparative Biochemistry and Physiology (B)*, 138(2): 137-144.
- Kolkovski, S., 2001.** Digestive enzymes in fish larvae and juveniles implications and applications to formulated diets. *Aquaculture*, 200: 181-201. DOI:10.1016/S0044-8486(01)00700-
- Krogdahl, A., Bakke-McKellep, A.M. and Baeverfjord, G., 2003.** Effects of graded levels of standard soybean meal on intestinal structure, mucosal enzyme activities, and pancreatic response in Atlantic salmon (*Salmo salar L.*). *Aquaculture Nutrition*, 9:361-371.
- Lin, S. and Luo, L., 2011.** Effects of different levels of soybean meal inclusion in replacement for fish meal on growth,

- digestive enzymes and transaminase activities in practical diets for juvenile tilapia (*Oreochromis niloticus* × *O. aureus*). *Animal Feed Science and Technology*, 168 (1): 80-87.  
DOI:10.1016/j.anifeedsci.2011.03.012
- Lowry, O.H., Rosebrough, N.J., Farr, A.L. and Randall, R.J., 1951.** Protein measurement with the Folin phenol reagent. *Journal of Biological Chemistry*, 193(1): 265-275.
- Nayak, J., Viswanathan Nair, P., Ammu, K. and 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 kanagartha* Cuvier). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 83(11): 1139-1142.  
DOI:10.1002/jsfa.1515
- NRC (National Research Council), 1993.** Nutrient Requirements of Fish. National Academy Press, Washington DC, USA.
- Piedecausa, M., Mazón, M., García, B.G. and Hernández, M., 2007.** Effects of total replacement of fish oil by vegetable oils in the diets of sharpnose seabream (*Diplodus puntazzo*). *Aquaculture*, 263(1): 211-219.  
DOI:10.1016/j.aquaculture.2006.09.039
- Santigosa, E., Sánchez, J., Médale, F., Kaushik, S., Pérez-Sánchez, J. and Gallardo, M.A., 2008.** Modifications of digestive enzymes in trout (*Oncorhynchus mykiss*) and sea bream (*Sparus aurata*) in response to dietary fish meal replacement by plant protein sources. *Aquaculture*, 282(1): 68-74.  
DOI:10.1016/j.aquaculture.2008.06.007
- Schofield, P., Mbugua, D.M. and Pell, A.N., 2001.** Analysis of condensed tannins: a review. *Animal Feed Science and Technology*, 91: 21-40.  
DOI:10.1016/S0377-8401(01)00228-0
- SOFIA., 2007.** The state of world fisheries and aquaculture 2006. FAO Fisheries and aquaculture Department, Rome. 1–180.
- Steffens, W., 1994.** Replacing fish meal with poultry by-product meal in diets for rainbow trout, (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, 124: 27-34.  
DOI:10.1016/0044-8486(94)90351-4
- Tacon, A.G.J. and Metian, M., 2008.** Global overview on the use of fish meal and fish oil in industrially compounded aquafeeds: Trends and future prospects. *Aquaculture*, 285: 146–158.
- Trejo-Escamilla, I., Galaviz, M.A., Flores-Ibarra, M., Álvarez González, C.A. and López, L.M., 2017.** Replacement of fishmeal by soya protein concentrate in the diets of *Totoaba macdonaldi* (Gilbert, 1890) juveniles: Effect on the growth performance, in vitro digestibility, digestive enzymes and the haematological and biochemistry parameters. *Aquaculture Research*, 48(8): 4038-4057.  
DOI:10.1111/are.13225
- Walter, H.E., 1984.** Proteinases: methods with hemoglobin, casein and azocoll as

- substrates. In: Bergmeyer, H.U. Ed. Methods of Enzymatic Analysis, vol. V. Verlag Chemie, Weinheim. pp 270–277.
- Wang, P., Zhu, J., Feng, J., He, J., Lou, Y. and Zhou, Q., 2017.** Effects of dietary soy protein concentrate meal on growth, immunity, enzyme activity and protein metabolism in relation to gene expression in large yellow croaker (*Larimichthys crocea*). Aquaculture, 477: 15-22.
- Xu, Q.Y., Wang, C.A., Zhao, Z.G. and Luo, L., 2012.** Effects of replacement of fish meal by soy protein isolate on the growth, digestive enzyme activity and serum biochemical parameters for Juvenile Amur Sturgeon (*Acipenser schrenckii*). Asian-Australas Journal of Animal Science, 25(11): 1588. DOI:10.5713/ajas.2012.12192
- Ye, J., Liu, X., Wang, Z. and Wang, K., 2011.** Effect of partial fish meal replacement by soybean meal on the growth performance and biochemical indices of juvenile Japanese flounder (*Paralichthys olivaceus*). Aquaculture International, 19: 143-153. DOI:10.1007/s10499-010-9348-1

**Effect of dietary fish meal replacement by AquPro (Processed soybean meal) on growth performance and digestive enzymes activity in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fry**Movahedrad F.<sup>1</sup>; Hajimoradloo A.<sup>1</sup>; Zamani A.<sup>2\*</sup>; Kolangi H.<sup>1</sup>

\*a.zamani@malayeru.ac.ir

1- Fisheries Department, Fisheries and Environment Faculty, Agricultural Science and Natural Resources, Gorgan University, Golestan, Iran.

2- Fisheries Department, Natural Resources and Environment Faculty, Malayer University, Hamedan, Iran

**Abstract**

The effect of replacement of fish meal with AquPro on growth and enzymes activity on juvenile rainbow trout (weight:  $2.38 \pm 0.3$  g) were evaluated. The fish were fed with five isoproteic and isocaloric diet for six weeks. The diets contained different level of replaced fish meal with Aqupro included 5 treatments (A=0%), (B=25%), (C=50%), (D=75%) and (E=100%). Based on the results ,weight gain, relative growth rate, protein and lipid efficiency ratio in diet 50% were significantly higher than other treatments ( $p < 0.05$ ), while food efficiency ratio and feed conversion ratio were shown the highest and the lowest values in diet 50%, respectively , without a significant difference than those from other treatments ( $p > 0.05$ ). The highest survival rate was revealed in the diet 75%, which was not affected by the level of AquPro in the diet. The highest activity of lipase, amylase and acid protease enzymes, respectively, from pyloric caeca, intestine and stomach were observed in diet 50%, which showed a significant difference compared to other diets ( $p < 0.05$ ). The findings of growth performance and lipase, amylase and acid protease activity were revealed the diet containing 50% AquPro could be appropriate for rainbow trout growth.

**Keywords:** Fish meal, AquPro, Protease, Rainbow trout

---

\*Corresponding author