



Effect of dietary fish meal replacement by AquPro on growth performance, body composition and total protease activity of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fry

ARTICLE INFO

Article Type

Original Research

Authors

Movahdraz F.¹ MSc,
Hajimoradloo A.¹ PhD,
Zamani A.^{*2} PhD,
Kolangi H.¹ PhD

How to cite this article

Movahdraz F, Hajimoradloo A, Zamani A, Kolangi H. Effect of dietary fish meal replacement by AquPro on growth performance, body composition and total protease activity of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fry. Journal of Fisheries Science and Technology. 2018;7(3):215-222.

¹Fisheries Department, Fisheries & Environment Faculty, Gorgan University of Agricultural Science & Natural Resources, Golestan, Iran

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

*Correspondence

Address: Fisheries Department, Natural Resources & Environment Faculty, Malayer University, 4 Kilometer Arak Road, Malayer, Hamedan, Iran.
Postal Code: 6571995863
Phone: +98 (81) 32355330
Fax: +98 (81) 33339880
a.zamani@malayeru.ac.ir

Article History

Received: September 18, 2017

Accepted: March 03, 2018

ePublished: September 22, 2018

ABSTRACT

Aims In this study, the replacement effect of dietary fish meal with AquPro (Processed soybean meal) was assessed on growth performance, body composition and total protease activity of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) over a period of 6 weeks.

Materials & Methods In this experimental study, at the beginning of the trial, 5 experimental diets were formulated with fish meal as control (A) and diets with 25% (B), 50% (C), 75% (D) and 100% (E) AquPro, respectively. At the end of the feeding trial, growth performance, body composition and total protease activity from pyloric caeca and intestine were measured.

Findings The results indicated that the WG, SGR, and ADG in experimental diet C were the highest and showed a significant difference with other treatments ($p < 0.05$). However, the status index in experimental diet C was lower than other treatments but did not show significant differences ($p > 0.05$). The moisture content, fat, and body ash were respectively, significantly higher in experimental diets A, B and E than those of other treatments ($p < 0.05$). But the highest amount of protein was observed in the experimental diet of C, which did not show any significant difference with other treatments ($p > 0.05$). The highest total protease activity from pyloric caeca and the intestine was observed in the fish fed with diet C which showed a significant difference with other diets ($p < 0.05$).

Conclusion Based on the results of growth performance, body composition, and total protease activity was revealed that the diet containing 50% AquPro could be appropriate for rainbow trout growth.

Keywords Fish Meal; Processed Soybean; Protease; Growth; *Oncorhynchus mykiss*

CITATION LINKS

[1] Effects of replacing fish meal and fish oil ... [2] World aquaculture ... [3] Shilat, annual ... [4] Substitution of fishmeal with soybean meal in ... [5] The effects of extrusion conditions on the ... [6] Digesta characteristics and performance ... [7] Interactive effects of dietary protein ... [8] Long-term protein and lipid growth of ... [9] Canola protein concentrate as a feed ... [10] Influence of supplementary enzymes Avizyme on ... [11] Nutrient requirements of fish and ... [12] Digestibility of macronutrients, energy ... [13] Effects of dietary soybean meal (HP310) source ... [14] Dietary plant-protein substitution affects ... [15] Feed ingredients and fertilizers for farmed ... [16] Status of production and market of fishmeal ... [17] Nutrient requirements ... [18] Effect of dietary phospholipid levels ... [19] Effects of total replacement of fish ... [20] Official Method ... [21] Lipase activity in different tissues of four ... [22] Proteinases: Methods with ... [23] Protein measurement with the Folin ... [24] Soy peptide inclusion levels influence ... [25] Rice protein concentrate meal as a potential ingredient in ... [26] A review of processing of feed ingredients to ... [27] Effects of dietary protein source on growth ... [28] Effect of fish meal replacement by soybean meal and baker's yeast ... [29] Utilization of corn gluten meal as a protein source ... [30] Effect of supplementation on the nutritive value of ... [31] Important antinutrients in plant feedstuffs for ... [32] Digestibility and utilization of canola meal ... [33] Quantitative description of body composition ... [34] Corn gluten and meat and bone meals as ... [35] Successful replacement of fishmeal by plant ... [36] Study of effect of partial substitution of canola ... [37] Effect of vegetable based diets on growth, intestinal morphology ... [38] Welfare and health of fish fed vegetable oils as ... [39] Dietary effect of soybean (Glycine max) products ... [40] Development and regression of soybean meal induced ... [41] Modifications of digestive enzymes in trout ... [42] Effect of dietary gamma-irradiated and fermented soybean meal ... [43] Effects of partial substitution of dietary fish meal by fermented soybean ... [44] Antinutritional factors present in plant-derived ... [45] Determination of antitrypsin activity on agar ... [46] Soybean proteinase inhibitors affect intestinal trypsin ... [47] Effects of four vegetable protein supplementation ... [48] Effects of replacement of fish meal by soy protein isolate ...

اثر جایگزینی آرد ماهی با آکوپرو در سطوح مختلف بر عملکرد رشد، ترکیب لاشه و فعالیت آنزیم پروتئاز کل بچه ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان (*Oncorhynchus mykiss*)

فاطمه موحداد MSc

گروه شیلات، دانشکده شیلات و محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گلستان، ایران

عبدالمجید حاجی‌مرادلو PhD

گروه شیلات، دانشکده شیلات و محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گلستان، ایران

عباس زمانی* PhD

گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر، همدان، ایران

حامد کلنگی PhD

گروه شیلات، دانشکده شیلات و محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گلستان، ایران

چکیده

اهداف: در پژوهش حاضر تاثیر جایگزینی پودر ماهی با آکوپرو (کنجاله سویای فرآوری شده) بر پاسخ رشد، ترکیب شیمیایی بدن و فعالیت آنزیم پروتئاز کل در ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان (*Oncorhynchus mykiss*) به مدت ۶ هفته انجام شد.

مواد و روش‌ها: در مطالعه تجربی حاضر از جیره شاهد (A) حاوی ۱۰۰٪ پودر ماهی و سایر جیره‌ها حاوی ۲۵ (B)، ۵۰ (C)، ۷۵ (D) و ۱۰۰٪ (E) آکوپرو به جای پودر ماهی استفاده شد. در پایان آزمایش شاخص‌های رشد، ترکیب شیمیایی بدن و فعالیت آنزیم پروتئاز کل سنجش شدند.

یافته‌ها: نتایج نشان داد شاخص‌های افزایش وزن بدن، نرخ رشد ویژه و میانگین رشد روزانه در جیره آزمایشی C بیشترین میزان را داشت و اختلاف معنی‌داری با سایر تیمارها نشان داد ($p < 0.05$)، در حالی که شاخص وضعیت در جیره آزمایشی C نسبت به سایر تیمارها کمتر بود ولی اختلاف معنی‌داری را نشان نداد ($p > 0.05$). میزان رطوبت، چربی و خاکستر بدن به ترتیب در جیره‌های آزمایشی A و B و E به طور معنی‌داری بالاتر از سایر تیمارها بودند ($p < 0.05$)، ولی بیشترین میزان پروتئین در جیره آزمایشی C مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با سایر تیمارها نداشت ($p > 0.05$). بیشترین میزان فعالیت آنزیم پروتئاز کل از ضمائم پیلوریک و روده در ماهیان تغذیه شده با جیره آزمایشی C مشاهده شد که نسبت به سایر جیره‌های غذایی اختلاف معنی‌داری را نشان داد ($p < 0.05$).

نتیجه‌گیری: نتایج حاصل از عملکرد رشد، ترکیب شیمیایی بدن و فعالیت آنزیم پروتئاز کل در این تحقیق نشان داد که جیره حاوی ۵۰٪ آکوپرو نسبت به سایر جیره‌ها برای رشد ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان مناسب است.

کلیدواژه‌ها: آرد ماهی، سویای فرآوری شده، پروتئاز، رشد، ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۶/۲۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۲/۱۲

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

مقدمه

صنعت آبی‌پروری در سال‌های اخیر از رشد قابل ملاحظه‌ای برخوردار بوده و تمایل پرورش‌دهندگان به پرورش متراکم آبزیان میزان وابستگی این صنعت به غذای دستی را افزایش داده است [1]. براساس گزارش فائو (سازمان خواروبار و کشاورزی ملل متحد) پیش‌بینی می‌شود که در سال ۲۰۳۰ تقاضای بازارهای جهانی برای مصرف فرآورده‌های شیلانی ۱۵۰ تا ۱۶۰ میلیون تن بیش از عرضه آنها باشد و سرانه مصرف آبزیان ۱۹ تا ۲۰ کیلوگرم برآورد می‌یابد [2]. ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان (*Oncorhynchus mykiss*) یکی از

مهم‌ترین گونه‌های پرورشی ماهیان سردابی از خانواده آزادماهیان (Salmonidae) در ایران است که میزان تولید آن در سال ۱۳۹۳ حدود ۱۲۷۰۰۰ تن بوده است و تامین غذای مورد نیاز برای پرورش این گونه به منابع پروتئینی از جمله آرد ماهی نیاز دارد تا پاسخ‌گوی نیاز صنعت پرورش ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان باشد [3]. آرد ماهی به دلیل داشتن ویژگی‌های مطلوب از جمله محتوای بالای پروتئین مخصوصاً ترکیب آمینواسیدها به ویژه لایزین و متیونین، برخورداری از اسیدهای چرب امگا ۳ و مواد معدنی به عنوان منبع اصلی پروتئین در جیره غذایی ماهیان گوشت‌خوار مطرح است [4, 5]، اما منابع محدود و گران‌بودن آرد ماهی محققان را وادار به یافتن جایگزین مناسب برای این منبع پروتئینی نموده است [6]. از طرفی، برای افزایش بازده تولید و تامین غذای فرموله شده ضروری است تا با استفاده از منابع ارزان قیمت مانند منابع گیاهی هزینه تولید را کاهش داد [7]. رستی و همکاران [8] دریافتند فاکتورهای مختلفی از جمله اسیدآمینه‌ها و مواد ضدتغذیه‌ای بر میزان و ارزش تغذیه‌ای ترکیبات گیاهی مورد استفاده در جیره غذایی گونه‌های مختلف ماهیان موثر است. سویا متداول‌ترین پروتئین گیاهی جایگزین شده به جای منابع پروتئینی جانوری در تغذیه جانوران آبی محسوب می‌شود [9]. پروتئین سویا پروتئینی با کیفیت بوده که نسبت به آرد ماهی پایداری بیشتری در مقابل فساد و اکسایش دارد و سرشار از اسیدآمینه‌های ضروری است و به عنوان منبع مناسب آرژنین، گلیسین و تربیتوفان محسوب می‌شود اما مقادیر اسیدآمینه‌های لایزین و متیونین موجود کمتر از حد مطلوب است [10]. همچنین از نظر کلسیم، فسفر، کاروتن و ویتامین D فقیر است ولی در قیاس با غلات منبع خوبی از ویتامین‌های گروه B محسوب می‌شود [11]. با این وجود، دانه‌های سویای خام حاوی مواد ضدتغذیه‌ای از جمله بازدارنده آنزیم تریپسین (SBTI)، ساپونین، هموگلوئین، اسیدفیتیک و مواد پلی‌ساکاریدی غیرنشاسته‌ای (NSP) است [11]. سطح بالای گنجایش برای ماهیان گوشت‌خوار مانند آزادماهیان به دلیل وجود مواد ضد مغذی به ۲۰ تا ۳۰٪ محدود می‌شود که در نهایت منجر به کاهش رشد و استفاده از خوراک می‌شود. اکثر مواد ضد مغذی را می‌توان با استفاده از روش‌های فیزیکی، شیمیایی و بیوشیمیایی، از قبیل غیرفعال کردن بازدارنده تریپسین توسط گرما، کاهش مقدار کربوهیدرات با استخراج متانول، هیدرولیز اسیدفیتیک توسط فیتاز، تخمیر و تیمار آنزیمی کاهش داد [12]. حق‌بیان و همکاران [13] گزارش کردند که جایگزینی سویای اصلاح شده تا سطح ۵۰٪ منابع پروتئینی جیره باعث بهبود عملکرد رشد در بچه ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان می‌شود. طبق مطالعه ویلهلمسون و همکاران [14]، تغذیه قزل‌آلای رنگین‌کمان با پروتئین سویای کنسانتره با سطوح پایین ترکیبات ضدتغذیه‌ای، موجب بهبود عملکرد رشد نسبت به ماهیان تغذیه شده با جیره‌های غذایی حاوی آرد ماهی می‌شود. با افزودن اسیدآمینه‌های لایزین و متیونین، کنجاله سویا، کانولا، دانه نخود اکستروده شده، گندم و ذرت را می‌توان به طور موفقیت‌آمیزی در جیره غذایی گربه‌ماهی، تیلپیا و کپور معمولی بدون تاثیر منفی بر عملکرد رشد آنها مورد استفاده قرار داد [15]. در حال حاضر در حدود ۴۷ کارخانه تولید آرد ماهی در ایران با ظرفیت ۱۲۰۰ تن ماده اولیه در روز دایر هستند که به دلیل مشکل تامین ماده اولیه برای تولید و افزایش تقاضای آرد ماهی، قیمت شد و فرمولاسیون غذایی به نحوی صورت گرفت که مطابق با این محصول افزایش یافته و سهم بالای آرد ماهی در هزینه خوراک ماهیان باعث افزایش متوسط قیمت ماهیان پرورشی شده

جدول ۱) اجزا و ترکیب تقریبی غذای ساخته شده برای تغذیه بچه ماهی قزل آلاي رنگين کمان

اجزا و ترکیب تقریبی غذای ساخته شده	A	B	C	D	E
پودر ماهی	۵۲۰	۳۹۰	۲۶۰	۱۳۰	۰
آکوپرو ^۱	۰	۱۳۰	۲۶۰	۳۹۰	۵۲۰
پودر گوشت و استخون	۹۰	۹۰	۹۰	۹۰	۹۰
امپریال ^۲	۴۰/۵	۴۵	۴۵	۴۵	۴۵
گلوتن ذرت	-	۱۶/۲	۳۹/۱	۶۲/۱	۸۵
آرد گندم	۱۳۰	۱۳۰	۱۳۰	۱۳۰	۱۳۰
روغن سویا	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰
روغن ماهی	۷۰	۷۰	۷۰	۷۰	۷۰
مکمل معدنی ^۳	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵
مکمل ویتامینی ^۴	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵
آنتی اکسیدان	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۲
ضد قارچ	۵	۵	۵	۵	۵
پرکننده	۹۴/۳	۷۳/۶	۵۰/۷	۲۷/۷	۴۱/۸
ترکیب تقریبی جیره های آزمایشی (درصد)					
رطوبت	۷/۶۲	۷/۳۳	۷/۵۱	۷/۳۸	۷/۴۴
پروتئین کل	۴۸/۱۸	۴۸/۳۶	۴۸/۲۸	۴۸/۴۳	۴۸/۴
چربی کل	۱۹/۵	۱۹/۲	۱۹/۵	۱۹/۲۳	۱۹/۲۴
خاکستر	۷/۳۸	۷/۷	۷/۱	۷/۳۷	۷/۴۱
کربوهیدرات	۱۷/۳۲	۱۷/۴۱	۱۷/۶۱	۱۷/۵۹	۱۷/۵۱
انرژی ناخالص (کیلوکالری بر گرم)	۵/۲۷	۵/۲۶	۵/۲۹	۵/۲۷	۵/۲۷

۱- آکوپرو (تولید شده در شرکت یسنامهر): سویای فراوری شده. میزان پروتئین ۵۱٪، انرژی قابل متابولیسم ۲۸۷۰ کیلوکالری بر کیلوگرم، رطوبت ۱۲٪، خاکستر ۷٪، چربی ۲/۸٪، فیبر خام ۴٪، نشاسته ۵۵٪، قند ۹٪ است.

۲- امپریال (تولید شده در شرکت کارگیل آمریکا): منبعی با میزان پروتئین ثابت و خلوص بالا که از ذرت تهیه شده است. میزان پروتئین ۷۵٪، پری خام ۲٪، حداکثر فیبر خام ۱٪، نشاسته ۶۱٪، انرژی قابل متابولیسم ۳۳۴۷ کیلوکالری بر کیلوگرم است.

۳- مکمل معدنی (میلی گرم/کیلوگرم): پتاسیم کلرید: ۲۰۰ میلی گرم، پتاسیم پدید: ۶۰ میلی گرم، کلرید کبالت ۶: ۷ میلی گرم، مس (II) سولفات، ۵: ۱۴ میلی گرم، هیدراته سولفات آهن: ۴۰۰ میلی گرم، هیدراته سولفات روی: ۲۰۰ میلی گرم، هیدراته سولفات منگنز: ۸۰ میلی گرم، سدیم سولفات، ۵: ۱۵ میلی گرم، سولفات منیزیم، ۱۷: ۲۰۰۰ میلی گرم، کلسیم بیس (دی هیدروژن فسفات): ۲۰۰۰۰ میلی گرم، کسیم کلرید: ۳۶ میلی گرم و ژنولیت: ۵۸۴۰ میلی گرم و کریر تا یک کیلوگرم است.

۴- مکمل ویتامینی حاوی تیامین (۱۲ میلی گرم)، ریبوفلاوین (۵ میلی گرم)، پیرودوکسین (۱ میلی گرم)، سیانوکوبالامین (۰/۵ میلی گرم)، نمک منادیون (K₂) (۵ میلی گرم)، اینوزیتول (۱۰۰ میلی گرم)، پانتوتنیک اسید (۳۰۰ میلی گرم)، فولیک اسید (۲ میلی گرم)، بیوتین (۰/۶ میلی گرم)، رتینول 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 (۵/۷۵ کیلوکالری)، چربی (۹/۴۵ کیلوکالری) و کربوهیدرات (۴/۱۱ کیلوکالری) تعیین شده است [17].

شاخص های رشد: در انتهای دوره آزمایش ماهیان برای تعیین شاخص های رشد زیست سنجی شدند. برای این منظور، ابتدا ماهیان به مدت ۴۸ ساعت قبل از نمونه برداری قطع غذادهی شده و سپس با استفاده از سوزن قطع نخاع شدند. پس از آن شاخص های افزایش وزن بدن (WG)، نرخ رشد ویژه (SGR)، شاخص وضعیت (CF) و میانگین رشد روزانه (ADG) با استفاده از روابط زیر محاسبه شد که در آنها Wo وزن اولیه (گرم)، Wt وزن نهایی (گرم)، t تعداد روزهای پرورش، BW وزن نهایی بدن (گرم) و TL طول کل (سانتی متر) است [18, 19].

افزایش وزن بدن: وزن اولیه-وزن نهایی=افزایش وزن بدن

نرخ رشد ویژه: $SGR = \frac{(\ln W_t - \ln W_o)}{t} \times 100$

شاخص وضعیت: $CF = \frac{(BW/TL^3)}{100}$

میانگین رشد روزانه: $ADG = \frac{(W_t - W_o)}{t} \times 100$

تعیین ترکیب شیمیایی جیره غذایی و بدن ماهیان: برای تعیین ترکیب شیمیایی جیره غذایی و بدن ماهیان از روش AOAC [20] استفاده شد. میزان رطوبت براساس اختلاف وزن حاصل از قراردادن

است [16]. بنابراین استفاده از منابع پروتئین گیاهی مانند آرد سویا به منظور تولید غذای آبزیان و توسعه آبی پروری ضرورت دارد. بر همین اساس، در این پژوهش از آکوپرو که نوعی منبع پروتئینی با قدرت هضم و جذب بالا بر پایه کنجاله سویا است استفاده شد. این محصول توسط گروه شرکت های سنادام پارس و یسنامهر در ایران برای تغذیه دام، طیور و آبزیان تولید می شود. در فرآیند تولید آکوپرو، تیمار آنزیمی و عملیات اکستروژن روی کنجاله سویا صورت گرفته و مواد ضدتغذیه ای موجود در کنجاله سویا به حداقل رسیده و منجر به افزایش قابلیت هضم محتوای پروتئینی و افزایش بازدهی جیره می شود. جذب فوق العاده به دلیل پروفایل اسید آمینه مطلوب، کاهش چشمگیر مواد ضدتغذیه ای، عدم بروز مشکلات مربوط به مصرف پروتئین های گیاهی در جیره آبزیان و دارابودن ۵۱٪ پروتئین از ویژگی های اصلی این محصول محسوب می شود. هدف پژوهش حاضر دستیابی به یک جیره غذایی مناسب حاوی آکوپرو به جای آرد ماهی در جیره غذایی بچه ماهی قزل آلاي رنگين کمان و تعیین شاخص های رشد، ترکیب شیمیایی بدن و فعالیت آنزیم پروتئاز کل در ماهیان تحت آزمایش بود.

مواد و روش ها

پرورش ماهیان: در پژوهش تجربی حاضر تعداد ۳۷۵ قطعه بچه ماهی قزل آلاي رنگين کمان با وزن متوسط 30 ± 38.2 گرم با دوره نوری ۱۲ ساعت روشنایی/تاریکی به مدت ۶ هفته در ۱۵ عدد آکواریوم با حجم تقریبی ۴۰ لیتر پرورش داده شد. به طوری که در هر آکواریوم تعداد ۲۵ عدد بچه ماهی رهاسازی شد. قبل از شروع آزمایش به مدت ۷۲ ساعت قطع غذا شدند سپس به مدت دو هفته با غذای تجاری برای سازگاری با شرایط آزمایشی تغذیه شدند. پس از زیست سنجی و تعیین زیست توده، تغذیه ماهیان هر تیمار با جیره های غذایی آزمایشی تهیه شده، چهار بار در روز در ساعات ۸، ۱۱، ۱۴ و ۱۷ به صورت دستی، به مدت ۶ هفته و یک روز در هفته قطع غذادهی انجام شد. در این مدت مدفوع و غذای به جای مانده در محیط پرورشی بعد از اتمام غذادهی روزانه سیفون شده و آب آکواریوم ها نیز روزانه تا ۹۰٪ تعویض شد. طی دوره آزمایش شاخص های فیزیکی شیمیایی آب شامل دما ($24 \pm 1^\circ C$)، pH (۸/۲۰±۰/۱)، شوری (کمتر از یک گرم بر لیتر) و اکسیژن محلول (9 ± 0.5 میلی گرم بر لیتر) اندازه گیری شد.

تهیه جیره آزمایشی: به منظور بررسی اثرات جایگزینی آکوپرو در جیره غذایی بچه ماهی قزل آلاي رنگين کمان، آزمایش در پنج جیره غذایی شامل جیره شاهد (A: ۱۰۰٪ آرد ماهی؛ صفر درصد 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 (صفر درصد آرد ماهی؛ ۱۰۰٪ آکوپرو) مورد مطالعه قرار گرفت. برای جیره نویسی از نرم افزار Aquafeed استفاده شد و فرمولاسیون غذایی به نحوی صورت گرفت که مطابق با نیازهای غذایی بچه ماهی قزل آلاي رنگين کمان باشد [17]. برای تهیه جیره های آزمایشی ابتدا اقلام غذایی براساس جدول ۱ تهیه شدند و سپس مواد غذایی خشک توسط ترازو توزین شده و بعد از الک کردن و آسیاب با یکدیگر مخلوط شدند و خمیر حاصل به وسیله چرخ گوشت با اندازه چشمه ۲ میلی متر پلت شده و برای خشی بردن به مدت ۲۴ ساعت در معرض جریان هوا قرار داده شد. پس از ساخت جیره، تا زمان مصرف در کیسه های پلاستیکی و کدگذاری شده در دمای یخچال نگهداری شدند. غذادهی ماهیان براساس ۴٪ وزن بدن و در ۳ نوبت به صورت روزانه و به مدت ۶ هفته انجام شد.

اسمیرنوف مورد ارزیابی قرار گرفت و آزمون همگنی واریانس توسط تست لون انجام شد. برای مقایسه شاخص‌های رشد، ترکیب شیمیایی بدن و فعالیت آنزیم پروتئاز کل بین جیره‌های غذایی آزمایشی از آنالیز واریانس یک‌طرفه استفاده شد و برای مقایسه میانگین‌ها آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ و با سه تکرار به کار رفت. همچنین میزان بهینه آکوپرو در جیره غذایی ماهی قزل‌آلای رنگین کمان بر مبنای نرخ رشد ویژه با استفاده از نرم‌افزار Graph 5 pad prism روش خط شکسته تخمین زده شد.

یافته‌ها

نتایج مربوط به شاخص‌های رشد در جدول ۲ نشان داده شده است. تاثیر آکوپرو بر وزن نهایی و میزان افزایش وزن بدن نشان داد بیشترین آنها مربوط به جیره C و کمترین آن مربوط به جیره D بود، به‌طوری که در جیره C نسبت به سایر جیره‌های آزمایشی افزایش معنی‌داری مشاهده شد ($p < 0.05$). همچنین نتایج نشان داد با افزایش درصد جایگزینی آکوپرو تا ۵۰٪ (جیره C) شاخص نرخ رشد ویژه به‌طور معنی‌داری افزایش یافت ($p < 0.05$)، ولی با افزایش جایگزینی تا سطوح ۷۵٪ (جیره D) و ۱۰۰٪ (جیره E) میزان آن به‌طور معنی‌داری کاهش پیدا کرد ($p < 0.05$). کمترین میزان شاخص وضعیت در جیره A و بیشترین آن در جیره‌های B، D و E مشاهده شد و میزان آن بین جیره‌های آزمایشی اختلاف معنی‌داری داشت ($p < 0.05$). بیشترین میزان میانگین رشد روزانه در جیره C و کمترین آن در جیره D مشاهده شد که بین جیره‌های آزمایشی اختلاف معنی‌داری وجود داشت ($p < 0.05$; جدول ۲).

در جدول ۳ نتایج مربوط به ترکیب شیمیایی بدن ماهی قزل‌آلای رنگین کمان تغذیه‌شده با جیره‌های آزمایشی نشان داده شده است. بررسی‌ها نشان داد با افزایش آکوپرو در جیره غذایی، رطوبت بدن به‌طور معنی‌داری افزایش یافت به‌طوری که بیشترین میزان آن در جیره E مشاهده شد ($p < 0.05$). در حالی که با افزایش آکوپرو در جیره غذایی میزان چربی به‌طور معنی‌داری کاهش یافت به‌طوری که بیشترین میزان چربی در جیره A و کمترین آن در جیره E مشاهده شد ($p < 0.05$). کمترین میزان خاکستر بدن مربوط به جیره C و بیشترین آن مربوط به جیره A بود. به‌طوری که جیره C اختلاف معنی‌داری با سایر جیره‌ها به‌جز جیره E نشان داد ($p < 0.05$). جایگزینی آرد ماهی با آکوپرو بر شاخص تبدیل غذایی تاثیر معنی‌داری نداشت ($p > 0.05$).

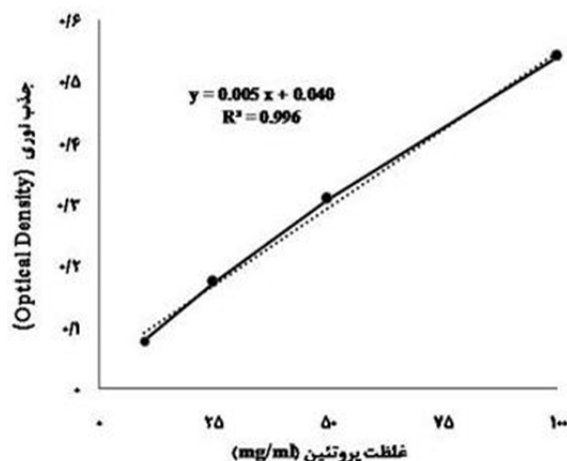
میزان بهینه جایگزینی آرد ماهی به‌وسیله آکوپرو در جیره غذایی بچه‌ماهی قزل‌آلای رنگین کمان بر مبنای نرخ رشد ویژه براساس نمودار خط شکسته حدود ۳۸٪ برآورد شد (نمودار ۲). معادلات نمودار خط شکسته به‌ترتیب برابر $Y = -0.09 + 0.001X$ و $r^2 = 0.96$ و $Y = -0.11 + 0.001X$ بودند (جدول ۳).

نتایج فعالیت آنزیم پروتئاز کل در ضمائم پیلوریک و روده بچه‌ماهی قزل‌آلای رنگین کمان تغذیه‌شده با جیره‌های آزمایشی در نمودار ۳ نشان داده شده است. بیشترین میزان فعالیت آنزیم پروتئاز کل ضمائم پیلوریک و روده در ماهیان تغذیه‌شده با جیره غذایی C مشاهده شد به‌طوری که فعالیت آنزیم پروتئاز کل در ضمائم پیلوریک در جیره‌های مختلف اختلاف معنی‌داری نشان دادند ($p < 0.05$). همچنین فعالیت آنزیم پروتئاز روده در جیره غذایی C نسبت به جیره B اختلاف معنی‌داری را نشان نداد ($p > 0.05$) ولی با سایر جیره‌ها اختلاف معنی‌داری داشت ($p < 0.05$; نمودارهای ۲ و ۳).

نمونه‌ها به‌مدت ۲۴ ساعت در آون با دمای 105°C به دست آمد. میزان پروتئین خام از روش کج‌دال، میزان چربی خام با استفاده از روش سوکسله و میزان خاکستر نیز با سوزاندن نمونه خشک‌شده در آون در کوره الکتریکی در دمای 550°C و برای مدت ۵ ساعت اندازه‌گیری شد (جدول ۱).

سنجش فعالیت آنزیم پروتئاز کل: برای این منظور، ابتدا ماهیان با استفاده از سوزن قطع نخاع شده و روی ظرف حاوی یخ قرارگرفته و کالبدشکافی برای جداسازی اندام‌های حاوی آنزیم پروتئاز کل شامل ضمائم پیلوریک و کل روده انجام شد. بعد از جداسازی، وزن نمونه ضمائم پیلوریک و کل روده تعیین شده و به‌طور جداگانه با بافر ۵۰ میلی‌مولار تریس-HCl، pH برابر ۸/۰ (حاوی ۱۰ میلی‌مولار کلسیم کلرید و ۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم) با نسبت یک به ۲۰ ترکیب شده و با استفاده از همزنایزر مدل Hand Held WT130 (Interbase Resources Sdn.Bhd؛ مالزی) عمل همگن‌سازی به‌مدت یک دقیقه با دور ۱۱۰۰۰ rpm در حضور یخ انجام شد. مخلوط حاصله برای مدت ۳۰ دقیقه در دمای 4°C در ۱۰۰۰۰ g سانتریفیوژ شد و محلول رویی به‌عنوان نمونه آنزیمی برای سنجش فعالیت آنزیم پروتئاز کل انتخاب شد [21]. فعالیت آنزیمی پروتئاز کل براساس هیدرولیز کازئین به‌عنوان سوبسترا از روش و/تر اندازه‌گیری شد [22]. در این روش مخلوط واکنش آنزیمی شامل کازئین ۱٪ (۳/۰ میلی‌لیتر)، بافر تریس-اسید هیدروکلریدیک ۵۰/۱ میلی‌مولار (۵/۰ میلی‌لیتر) و نمونه آنزیمی (۳/۰ میلی‌لیتر) بود که به‌مدت یک ساعت در دمای 37°C انکوبه شد. واکنش آنزیمی با اضافه کردن ۵/۰ میلی‌لیتر تری کلرواستیک اسید ۱۲٪ متوقف و به‌مدت یک ساعت در دمای 4°C قرار گرفت. سپس به‌مدت ۱۵ دقیقه با دور ۱۰۰۰۰ rpm سانتریفیوژ شد و بعد از جداسازی بخش رویی میزان جذب در طول موج ۲۸۰ نانومتر خوانده شد. در نمونه شاهد نیز به‌جای نمونه آنزیمی، آب مقطر به کار رفت.

سنجش پروتئین محلول: به‌منظور تعیین فعالیت اختصاصی آنزیم پروتئاز کل، میزان پروتئین محلول در ضمائم پیلوریک و کل روده با روش لورری و همکاران [23] سنجش شد. در این روش از آلبومین سرم گاوی با غلظت یک میلی‌گرم بر میلی‌لیتر به‌عنوان استاندارد استفاده شد (نمودار ۱).



نمودار ۱) منحنی استاندارد BSA با غلظت یک میلی‌گرم بر میلی‌لیتر؛ محور X: غلظت پروتئین (۱۰۰ میکروگرم بر میکرولیتر)؛ محور Y: جذب نوری

آنالیز آماری: تجزیه و تحلیل داده‌ها توسط نرم‌افزار SPSS 19 انجام شد. نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف-

جدول ۲) مقایسه شاخص‌های رشد بچه ماهی قزل‌آلای رنگین کمان تغذیه شده با جیره های آزمایشی

جیره شاخص‌های رشد	A	B	C	D	E
وزن اولیه ماهی (گرم)	۲/۳۸±۰/۳	۲/۳۸±۰/۳	۲/۳۸±۰/۳	۲/۳۸±۰/۳	۲/۳۸±۰/۳
وزن ثانویه ماهی (گرم)	۴/۳۱±۰/۰۳a	۴/۵۶±۰/۰۵b	۴/۶۶±۰/۰۱c	۴/۲۷±۰/۰۴a	۴/۲۹±۰/۰۴a
افزایش وزن بدن (گرم)	۱/۹۳±۰/۰۳a	۲/۱۸±۰/۰۵b	۲/۲۸±۰/۰۱c	۱/۸۹±۰/۰۴a	۱/۹۱±۰/۰۴a
نرخ رشد ویژه	۱/۴۹±۰/۰۳a	۱/۶۲±۰/۰۵b	۱/۶۷±۰/۰۰۵c	۱/۴۷±۰/۰۲a	۱/۴۷±۰/۰۱a
شاخص وضعیت	۰/۹±۰/۰۰۵a	۰/۹۸±۰/۰۴ab	۰/۹۳±۰/۰۱abc	۰/۹۸±۰/۰۴bc	۰/۹۸±۰/۰۲c
میانگین رشد روزانه	۱/۹۳±۰/۰۳a	۲/۱۸±۰/۰۵b	۲/۲۸±۰/۰۱c	۱/۸۹±۰/۰۴a	۱/۹۱±۰/۰۴a

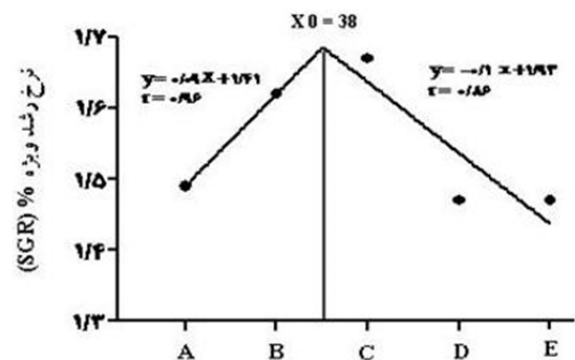
حروف کوچک غیرمشترک در هر ردیف بیانگر اختلاف معنی‌دار است (n=۳, α=۰/۰۵). میانگین±انحراف معیار. (جیره A: ۱۰۰٪ آرد ماهی؛ صفر درصد آکوپرو، جیره B: ۷۵٪ آرد ماهی؛ ۲۵٪ آکوپرو، جیره C: ۵۰٪ آرد ماهی؛ ۵۰٪ آکوپرو، جیره D: ۲۵٪ آرد ماهی؛ ۷۵٪ آکوپرو، جیره E: صفر درصد آرد ماهی؛ ۱۰۰٪ آکوپرو)

جدول ۳) ترکیب شیمیایی بدن بچه ماهی قزل‌آلای رنگین کمان تغذیه شده با جیره‌های آزمایشی

جیره ترکیب بدن	A	B	C	D	E
رطوبت	۷۵/۷۷±۰/۷۸a	۷۶/۱۱±۰/۲۱a	۷۷/۷۱±۰/۲۲b	۷۸/۰۸±۰/۰۶b	۷۸/۸۵±۰/۱۹c
چربی	۵/۱۱±۰/۱۶a	۴/۷۲±۰/۰۶b	۳/۵۱±۰/۰۳c	۲/۹±۰/۰۲d	۲/۳۵±۰/۱۷e
خاکستر	۱/۷۶±۰/۷۷bc	۱/۷۹±۰/۲۴c	۱/۳۵±۰/۴۵a	۱/۶۲±۰/۳۷bc	۱/۴۵±۰/۳۶ab
پروتئین	۱۷/۳۶±۰/۲a	۱۷/۳۸±۰/۱۴a	۱۷/۴۳±۰/۰۴a	۱۷/۴۱±۰/۱۶a	۱۷/۳۵±۰/۱۴a

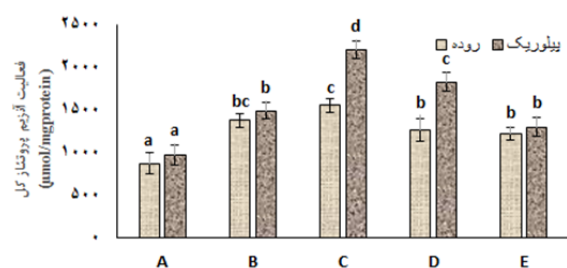
حروف کوچک غیرمشترک در هر ردیف بیانگر اختلاف معنی‌دار است (n=۳, α=۰/۰۵). میانگین±انحراف معیار. (جیره A: ۱۰۰٪ آرد ماهی؛ صفر درصد آکوپرو، جیره B: ۷۵٪ آرد ماهی؛ ۲۵٪ آکوپرو، جیره C: ۵۰٪ آرد ماهی؛ ۵۰٪ آکوپرو، جیره D: ۲۵٪ آرد ماهی؛ ۷۵٪ آکوپرو، جیره E: صفر درصد آرد ماهی؛ ۱۰۰٪ آکوپرو)

جایگزینی آرد ماهی با آرد سویا در جیره غذایی ماهی قزل‌آلای رنگین کمان مطابقت داشت. به‌طوری که بیشترین میزان افزایش وزن بدن در تیمار ۵۰٪ سویا مشاهده شد. همچنین بالاترین نرخ رشد ویژه به‌ترتیب در تیمار ۵۰ و ۲۵٪ سویا و کمترین آن در ۱۰۰٪ سویا گزارش شد. ویلهلمسون و همکاران^[۱۴] نشان دادند تغذیه قزل‌آلای رنگین کمان با پروتئین سویای کنسانتره با سطوح پایین ترکیبات ضدتغذیه‌ای، موجب بهبود عملکرد رشد نسبت به ماهیان تغذیه‌شده با جیره‌های غذایی حاوی آرد ماهی می‌شود. در همین راستا در مطالعه‌ای^[۲۴] مشخص شد جایگزینی ۲۰٪ پروتئین سویای هیدرولیزشده موجب بهبود شاخص‌های رشد فلاندر ژاپنی (*Paralichthys olivaceus*) شد. جایگزینی جزئی پروتئین‌های گیاهی به‌جای آرد ماهی در جیره غذایی ماهیان بدون کاهش در عملکرد رشد، امکان‌پذیر است. یافته‌های پالمجیانو و همکاران^[۲۵] نشان داد جایگزینی آرد ماهی به‌وسیله پروتئین برنج تا سطح ۲۰٪ تاثیر منفی بر نرخ رشد ماهی قزل‌آلای رنگین کمان نداشت. درو و همکاران^[۲۶] نشان دادند جایگزینی آرد ماهی با پروتئین‌های گیاهی تا سطح ۷۰ و ۱۰۰٪ باعث کاهش معنی‌دار نرخ رشد در گونه‌های مختلف ماهی می‌شود. طبق گزارش جلیلی و همکاران^[۲۷] جایگزینی آرد ماهی با پروتئین گیاهی تا سطح ۴۰٪ اختلالی در عملکرد رشد ماهی قزل‌آلای رنگین کمان ایجاد نمی‌کند اما جایگزینی تا سطح ۷۰٪ یا ۱۰۰٪ باعث کاهش میزان نرخ رشد ویژه، ضریب تبدیل غذایی و شاخص افزایش وزن بدن می‌شود. یافته‌های آلبوغویش و همکاران^[۲۸] نشان می‌دهد که افزایش نسبت کنجاله سویا و مخمر نانواپی به آرد ماهی در جیره غذایی ماهیان جوان‌بنی (*Mesopotamichthys sharpeyi*) تاثیر منفی و معنی‌داری بر میانگین وزن نهایی، درصد افزایش وزن و نرخ رشد ویژه تیمارهای آزمایشی در مقایسه با شاهد نداشت. در مطالعه حاضر، کمترین میزان شاخص وضعیت در جیره شاهد و بیشترین آن در جیره‌های B، D و E مشاهده شد و میزان آن بین جیره‌های آزمایشی اختلاف معنی‌داری داشت. در همین راستا، سیدحسینی و همکاران^[۲۹] بیان کردند با افزایش میزان گلوتن ذرت در تغذیه فیل‌ماهی (*Huso huso*) درحال رشد شاخص وضعیت افزایش نشان داد اما اختلاف معنی‌داری بین جیره‌های غذایی مشاهده نشد. همچنین، آلبوغویش و همکاران^[۲۸] تاثیر جایگزینی آرد ماهی با کنجاله سویا و مخمر نانواپی در جیره غذایی قزل‌آلای



جیره های آزمایشی

نمودار ۲) نمودار خط شکسته بین تاثیر جایگزینی پودر ماهی به‌وسیله آکوپرو با نرخ رشد ویژه. X0 نقطه تلاقی دو خط است که حد بهینه جایگزینی را نشان می‌دهد (جیره A: ۱۰۰٪ آرد ماهی؛ صفر درصد آکوپرو، جیره B: ۷۵٪ آرد ماهی؛ ۲۵٪ آکوپرو، جیره C: ۵۰٪ آرد ماهی؛ ۵۰٪ آکوپرو، جیره D: ۲۵٪ آرد ماهی؛ ۷۵٪ آکوپرو، جیره E: صفر درصد آرد ماهی؛ ۱۰۰٪ آکوپرو)



جیره های غذایی

نمودار ۳) فعالیت آنزیم پروتئاز کل در ضمائم پیلوریک و روده ماهی قزل‌آلای رنگین کمان تغذیه‌شده با جیره‌های آزمایشی؛ حروف کوچک غیرمشترک بیانگر اختلاف معنی‌دار در فعالیت آنزیم است (n=۳, α=۰/۰۵). میانگین±انحراف معیار؛ جیره A: ۱۰۰٪ آرد ماهی؛ صفر درصد آکوپرو، جیره B: ۷۵٪ آرد ماهی؛ ۲۵٪ آکوپرو، جیره C: ۵۰٪ آرد ماهی؛ ۵۰٪ آکوپرو، جیره D: ۲۵٪ آرد ماهی؛ ۷۵٪ آکوپرو، جیره E: صفر درصد آرد ماهی؛ ۱۰۰٪ آکوپرو

بحث

با جایگزینی آرد ماهی با آکوپرو تا سطح ۵۰٪ در جیره غذایی، وزن نهایی، شاخص افزایش وزن بدن و نرخ رشد ویژه ماهیان افزایش یافت. نتایج این تحقیق با نتایج مطالعه حق‌بیان و همکاران^[۱۳] در

رنگین کمان را بررسی نموده و نتایج نشان داد استفاده از سطوح مختلف کنجاله سویا و مخمر نانوائی به جای آرد ماهی در جیره های غذایی تاثیر معنی داری بر میزان شاخص وضعیت در تیمارهای مختلف آزمایشی در مقایسه با شاهد نداشت. از طرفی، کاهش عملکرد رشد در درصد های بالای جایگزینی را می توان ناشی از کمبود اسید آمینه لایزین و متیونین در آکوپرو نسبت به آرد ماهی دانست زیرا با وجود اینکه مقدار آنها در این محصول بیشتر از کنجاله سویا است اما در آرد ماهی تقریباً دو برابر این مقدار می باشد [17]. از دیگر عوامل کاهش عملکرد رشد می توان به وجود مقادیر بالای فیبر و کربوهیدرات در منابع پروتئینی گیاهی اشاره کرد که با عبور سریع مواد منجر به کاهش هضم پذیری غذا و اتلاف نیتروژن می شوند [30, 31]. علاوه بر این، کاهش میزان تغذیه و بی اشتهاپی در سطوح بالای جایگزینی آکوپرو نیز در کاهش عملکرد رشد بی تاثیر نیست [32]. با افزایش درصد آکوپرو در جیره غذایی و کاهش آرد ماهی میزان رطوبت لاشه افزایش و میزان چربی و خاکستر کاهش یافت. همچنین میزان پروتئین لاشه با افزایش آکوپرو تا ۵۰٪ افزایش نشان داد. تحقیقات دوماس و همکاران [33] نشان می دهد ترکیب شیمیایی بدن آبزیان به عوامل مختلفی همچون گونه، دمای آب، ژنتیک، وزن و مرحله رشدی، نوع غذا، ترکیب جیره و نحوه غذایی بستگی دارد. تاثیر پروتئین های گیاهی بر ترکیب لاشه ماهیان پرورشی بسیار متفاوت است. روبیان و همکاران [34] دریافتند که میزان پروتئین و چربی بدن به طور معنی داری از نوع و سطوح پروتئین های گیاهی (کنجاله سویا و آرد لوبون) به کاررفته در جیره غذایی تاثیر می پذیرد. کیسیل و همکاران [35] اختلاف معنی داری در میزان پروتئین لاشه ماهی سیم سرطلایی (*Sparus aurata*) تغذیه شده با جیره حاوی سطوح بالای پروتئین گیاهی سویا و پروتئین کنسانتره کانولا نیافتند، در صورتی که میزان چربی و انرژی در بافت بدن ماهیان کاهش یافته بود. طبق گزارش سفری و بولدجی [36] جایگزینی پودر سویا به جای آرد ماهی اثر معنی داری بر کیفیت لاشه قزل آلی رنگین کمان نداشت.

روده ماهیان از طریق آنزیم های گوارشی نقش مهمی در شکست مواد مغذی به واحدهای ساده تر داشته که این مولکول ها می توانند جذب بدن شده و در مسیر سوخت و ساز استفاده شوند. یکی از مشکلات مربوط به منابع غذایی گیاهی ظرفیت پایین گوارش آنها است که در سطوح بالا می تواند منجر به تغییرات ساختاری اپیتلیوم روده شود و بر جذب مواد مغذی تاثیر گذارد [37].

ارزیابی فعالیت آنزیم ها در روده می تواند در تعیین تحمل ماهیان به رژیم های غذایی گیاهی و تاثیر آن بر ظرفیت گوارش ماهیان کمک نماید. بررسی ها نشان می دهند در سطوح بالای جایگزینی با منابع گیاهی به دلیل وجود عوامل ضد تغذیه ای و عدم تعادل در مواد مغذی بر عملکرد رشد و سلامت ماهیان تاثیر گذار است [38, 39]. نتایج نشان می دهد در گونه های گوشت خوار مانند ماهی آزاد اقیانوس اطلس (*Salmo salar*) سطوح بالای جایگزینی آرد ماهی با آرد سویا سبب تغییرات چشمگیری در ساختار روده شده که باعث کاهش فعالیت آنزیم های گوارشی و ممانعت از جذب آنزیم های ناحیه نوار مساکی می شود [37, 40]. در این مطالعه استفاده از آکوپرو موجب افزایش فعالیت آنزیم پروتئاز کل شد که با نتایج سایر محققین مطابقت ندارد. علت این امر را می توان در مقادیر پائین مواد بازدارنده (آنتی پروتئاز) دانست که در فرآیند تولید این محصول و در اثر فرآوری به حداقل خود می رسد. در حالی که در گزارش محققین افزایش جایگزینی باعث کاهش فعالیت

آنزیم های گوارشی می شود که علت آن را در وجود ترکیبات ضد تغذیه ای مانند آنتی پروتئاز می دانند [41]. همچنین، افزایش فعالیت آنزیم های دخیل در هضم پروتئین در ماهیان تغذیه شده با سویای فرآوری شده را می توان به دلیل استفاده بیشتر از پروتئین برای تامین انرژی و افزایش عملکرد رشد با تغییر ترکیبات بدن دانست. بنابراین، به نظر می رسد اثر منفی مواد ضد مغذی باقی مانده در سویای فرآوری شده با افزایش قابل توجهی از مصرف غذا و پروتئین برای جبران کاهش قابلیت زیستی انرژی در رژیم های غذایی مرتفع شود [42-44]. در مطالعه حاضر، بیشترین فعالیت آنزیم پروتئاز قلیایی در روده و ضمایم پیلوریک در جیره غذایی حاوی ۵۰٪ آکوپرو دیده شد که نسبت به جیره شاهد اختلاف معنی داری را نشان داد. ماهی قزل آلی رنگین کمان) در مقابل بازدارنده های پروتئاز بسیار حساس بوده و همچنین ارتباط مستقیمی بین سطوح بازدارنده های پروتئاز و پروتئین قابل دسترس و انرژی در این ماهی گزارش شده است [45, 46]. کین و همکاران [47] در اثر افزایش سطح پروتئین های گیاهی (آرد سویا، آرد کلزا، آرد پنبه دانه و آرد بادام زمینی) و متعاقباً عدم دسترسی به آمینواسیدهای ضروری فعالیت آنزیم های گوارشی به ویژه پروتئازها در روده و پانکراس ماهیان هیبرید تیلپایی نیل و تیلپایی آبی (*Oreochromis niloticus* × *Oreochromis aureus*) کاهش می یابد. جایگزینی آرد ماهی با منابع پروتئینی گیاهی (شامل گلوتن ذرت، گلوتن گندم و آرد سویا) تا سطح ۶۰٪ اختلاف معنی داری در فعالیت آنزیم پروتئاز قلیایی ماهی قزل آلی رنگین کمان ایجاد نکرد اما با افزایش جایگزینی تا سطوح ۷۰ و ۱۰۰٪ موجب کاهش قابل توجه فعالیت این آنزیم شد [27]. جایگزینی آرد ماهی با آرد سویا تا سطح بیشتر از ۶۲/۵٪ باعث کاهش معنی دار فعالیت آنزیم پروتئاز در روده ماهیان خاویاری (*Acipenser schrenckii*) می شود [48]. سانتی گوسا و همکاران [41] دریافتند فعالیت کل پروتئازی ماهیان تغذیه شده با آرد ماهی به عنوان منبع پروتئینی ۳ ساعت پس از تغذیه به بالاترین مقدار خود رسید، در حالی که در ماهی تغذیه شده با رژیم غذایی حاوی ۵۰ و ۷۰٪ پروتئین گیاهی (آرد گلوتن ذرت، گلوتن گندم، نخودهای اکستروده شده و آرد کلزا) افزایش فعالیت پروتئاز بعد از تغذیه به آرامی صورت گرفت و جایگزینی ۱۰۰٪ هرگز حداکثر فعالیت پروتئاز مشاهده نشد. آنها گزارش دادند کاهش فعالیت آنزیم گوارشی می تواند به میزان قابل توجهی کاهش میزان رشد ماهیان مشاهده شده در گروه های تغذیه شده با رژیم غذایی با ۷۵ و ۱۰۰٪ جایگزینی غذا با پروتئین گیاهی را تفسیر کند.

در انجام این پروژه تحقیقاتی، محدودیتی خاصی که مانع از انجام مطالعه شود مشاهده نشد، پیشنهاد می شود تاثیر جایگزینی آکوپرو در سایر مراحل رشدی ماهی قزل آلی رنگین کمان مانند انگشت قد، پرواری و مولدین نیز بررسی شود تا امکان جاگزینی آن در جیره های غذایی ماهیان قزل آلی رنگین کمان در سطوح صنعتی فراهم شود.

نتیجه گیری

شاخص های وزن نهایی، افزایش وزن بدن، رشد روزانه و نرخ رشد ویژه تا جایگزینی ۵۰٪ افزایش یافت و شاخص وضعیت با افزایش جایگزینی تا ۱۰۰٪ افزایش نشان داد. ترکیب شیمیایی (پروتئین، چربی، خاکستر و رطوبت) بدن ماهیان تغذیه شده با آکوپرو نیز نشان داد با افزایش این جایگزینی در جیره میزان چربی و خاکستر بدن کاهش معنی دار یافت ولی میزان رطوبت بدن افزایش

(*Salmo salar*) fed diets with partial replacement of fish meal by soy protein products at medium or high lipid level. *Aquaculture*. 2001;193(1-2):91-106.

9- Drew MD. Canola protein concentrate as a feed ingredient for salmonid fish. *Proceedings of the VII International Symposium on Aquaculture Nutrition*, 16-19 Nov, 2004 Hermosillo, Sonora, Mexico. Unknown Publisher City: Unknown Publisher; 2004.

10- Ghobadi Sh, Matin Far A, Nezami Sh, Soltani M. Influence of supplementary enzymes Avizyme on fish meal replacement by soy bean meal and its effects on growth performance and survival rate of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *J Fish*. 2009;3(2):11-22. [Persian]

11- National Research Council, Division on Earth and Life Studies, Board on Agriculture and Natural Resources, Committee on the Nutrient Requirements of Fish and Shrimp. *Nutrient requirements of fish and shrimp*. Washington DC: National Academies Press; 2011.

12- Storebakken T, Shearer KD, Baevefjord G, Nielsen BG, Åsgård T, Scott T, et al. Digestibility of macronutrients, energy and amino acids, absorption of elements and absence of intestinal enteritis in Atlantic salmon, *Salmo salar*, fed diets with wheat gluten. *Aquaculture*. 2000;184(1-2):115-32.

13- Hagbayan S, Shamsaie M, Eila N, Abdollahtabar Y, Bozorgzadeh P, Rezaie D. Effects of dietary soybean meal (HP310) source on growth performance and blood parameters of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *J Fish*. 2015;68(2):209-23. [Persian]

14- Vilhelmsson OT, Martin SA, Médale F, Kaushik SJ, Houlihan DF. Dietary plant-protein substitution affects hepatic metabolism in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Br J Nutr*. 2004;92(1):71-80.

15- Tacon AGJ, Metian M, Hasan MR. Feed ingredients and fertilizers for farmed aquatic animals: Sources and composition [Internet]. Rome: Food and Agriculture Organization of The United Nations; 2009 [cited 2016 May 15]. Available from: <http://www.fao.org/docrep/012/i1142e/i1142e00.htm>

16- Adeli A, Baghaei F. Status of production and market of fishmeal on the aquaculture development. *J Aquac Dev*. 2016;10(3):137-49. [Persian]

17- National Research Council, Board on Agriculture, Subcommittee on Fish Nutrition. *Nutrient requirements of fish*. Washington DC: National Academies Press; 1993.

18- Hamza N, Mhetli M, Khemis IB, Cahu C, Kestemont P. Effect of dietary phospholipid levels on performance, enzyme activities and fatty acid composition of pikeperch (*Sander lucioperca*) larvae. *Aquaculture*. 2008;275(1-4):274-82.

19- Piedecausa MA, Mazón MJ, García García B, Hernández MD. Effects of total replacement of fish oil by vegetable oils in the diets of sharpsnout seabream (*Diplodus puntazzo*). *Aquaculture*. 2007;263(1-4):211-9.

20- AOAC. Official Method 950.89. In: AOAC, AOAC International. *Official methods of analysis of AOAC International*. 18th Edition. Horwitz W, Latimer GW, editors. Rockville: AOAC International; 2006.

21- Nayak J, Viswanathan Nair PG, Ammu K, Mathew S. 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). *J Sci Food Agric*. 2003;83(11):1139-42.

22- Walter HE. Proteinases: Methods with hemoglobin,

معنی‌داری را نشان داد. میزان پروتئین بدن ماهیان نیز تا ۵۰٪ جایگزینی آرد ماهی با آکوپرو افزایش یافت ولی اختلاف معنی‌داری را نشان نداد. بیشترین میزان فعالیت آنزیم پروتئاز قلیایی ضمایم پیلوریک و روده در ماهیان تغذیه‌شده با جیره غذایی حاوی ۵۰٪ آکوپرو مشاهده شد که بین جیره‌های آزمایشی اختلاف معنی‌داری وجود داشت. براساس نتایج حاصل از شاخص‌های رشد، ترکیب شیمیایی بدن و فعالیت آنزیم پروتئاز کل جیره حاوی ۵۰٪ آکوپرو نسبت به سایر جیره‌ها می‌تواند برای رشد بچه ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان مناسب باشد، اما براساس برآورد نمودار خط شکسته (بر مبنای نرخ رشد ویژه) میزان بهینه جایگزینی آرد ماهی به‌وسیله آکوپرو در حدود ۳۸٪ برآورد شد.

تشکر و قدردانی: نویسندگان بر خود لازم می‌دانند تا از شرکت یسنامهر برای تامین محصول آکوپرو و از کارکنان دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان و دانشگاه ملایر برای انجام این مطالعه قدردانی نمایند.

تاییدیه اخلاقی: موردی از سوی نویسندگان گزارش نشد.

تعارض منافع: نویسندگان اعلام می‌دارند هیچ گونه تعارض منافی وجود ندارد.

سهم نویسندگان: فاطمه موحدراد (نویسنده اول)، نگارنده مقدمه/روش‌شناس/پژوهشگر اصلی/نگارنده بحث (۵۰٪)؛ عبدالمجید حاجی‌مرادلو (نویسنده دوم)، روش‌شناس/پژوهشگر کمکی (۲۰٪)؛ عباس زمانی (نویسنده سوم)، روش‌شناس/پژوهشگر کمکی/تحلیلگر آماری (۲۰٪)؛ حامد کلنگی (نویسنده چهارم)، روش‌شناس (۱۰٪)

منابع مالی: موردی از سوی نویسندگان گزارش نشد.

منابع

- 1- Jalili R, Agh N, Noori F, Imani A. Effects of replacing fish meal and fish oil with plant sources in the diet of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *J Fish*. 2013;66(2):119-31. [Persian]
- 2- FAO Fisheries and Aquaculture Department. *World aquaculture 2010* [Internet]. Rome: FAO; 2011 [cited 2016 May 15]. Available from: <http://www.fao.org/docrep/014/ba0132e/ba0132e00.htm>
- 3- Iranian Fisheries Organization. *Shilat, annual report*. 1st Edition. Ghorbanzade RA, Nazari S, editors. Gilan: Tasvir Gilan; 2015.
- 4- Alvarez JS, Hernández-Llamas A, Galindo J, Fraga I, García T, Villarreal H. Substitution of fishmeal with soybean meal in practical diets for juvenile white shrimp *Litopenaeus schmitti* (Pérez-Farfante & Kensley 1997). *Aquac Res*. 2007;38(7):689-95.
- 5- Barrows FT, Stone DAJ, Hardy RW. The effects of extrusion conditions on the nutritional value of soybean meal for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*. 2007;265(1-4):244-52.
- 6- Leenhouders JI, Ter Veld M, Verreth JAJ, Schrama JW. Digesta characteristics and performance of African catfish (*Clarias gariepinus*) fed cereal grains that differ in viscosity. *Aquaculture*. 2007;264(1-4):330-41.
- 7- Ljubojević D, Radosavljević V, Puvača N, Živkov Baloš M, Đorđević V, Jovanović R, et al. Interactive effects of dietary protein level and oil source on proximate composition and fatty acid composition in common carp (*Cyprinus carpio* L.). *J Food Compos Anal*. 2015;37:44-50.
- 8- Refstie S, Storebakken T, Baevefjord G, Roem AJ. Long-term protein and lipid growth of Atlantic salmon

[Persian]

- 37- Ribeiro L, Moura J, Santos M, Colen R, Rodrigues V, Bandarra N, et al. Effect of vegetable based diets on growth, intestinal morphology, activity of intestinal enzymes and haematological stress indicators in meagre (*Argyrosomus regius*). *Aquaculture*. 2015;447:116-28.
- 38- Montero D, Izquierdo M. Welfare and health of fish fed vegetable oils as alternative lipid sources to fish oil. In: Turchini GM, Ng WK, Tocher DR, editors. *Fish oil replacement and alternative lipid sources in aquaculture feeds*. Boca Raton: CRC Press; 2010. pp. 439-85.
- 39- Merrifield DL, Olsen RE, Myklebust R, Ringø E. Dietary effect of soybean (Glycine max) products on Gut histology and microbiota of fish, soybean and nutrition. In: El-Shemy H, editor. *Soybean and nutrition*. London: IntechOpen; 2011.
- 40- Baeverfjord G, Krogdahl A. Development and regression of soybean meal induced enteritis in Atlantic salmon, *Salmo salar* L., distal intestine: A comparison with the intestines of fasted fish. *J Fish Dis*. 1996;19(5):375-87.
- 41- Santigosa E, Sánchez J, Médale F, Kaushik S, Pérez-Sánchez J, Gallardo MA. 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*. 2008;282(1-4):68-74.
- 42- Sotoudeh E, Amiri Moghaddam J, Shahhosseini GR, Aramli MS. Effect of dietary gamma-irradiated and fermented soybean meal on the growth performance, body composition, and digestive enzymes activity of Caspian brown trout, *Salmo trutta caspius*, juvenile. *J World Aquac Soc*. 2016;47(6):830-42.
- 43- Ehsani J, Maniat M, Mohammadi Azarm H, Ghabtani A. 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 (*Acanthopagrus latus*). *J Mar Sci Technol*. 2017;16(2):8-17. [Persian]
- 44- Francis G, S Makkar HP, Becker K. Antinutritional factors present in plant-derived alternate fish feed ingredients and their effects in fish. *Aquaculture*. 2001;199(3-4):197-227.
- 45- Sandholm M, Smith RR, Shih JC, Scott ML. Determination of antitrypsin activity on agar plates: Relationship between antitrypsin and biological value of soybean for trout. *J Nutr*. 1976;106(6):761-6.
- 46- Krogdahl Å, Lea TB, Olli JJ. Soybean proteinase inhibitors affect intestinal trypsin activities and amino acid digestibilities in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Comp Biochem Physiol Part A Physiol*. 1994;107(1):215-9.
- 47- Lin S, Mai K, Tan B, Liu W. Effects of four vegetable protein supplementation on growth, digestive enzyme activities, and liver functions of juvenile tilapia, *Oreochromis niloticus* × *Oreochromis aureus*. *J World Aquac Soci*. 2010;41(4):583-93.
- 48- Xu QY, Wang CA, Zhao ZG, Luo L. 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 J Anim Sci*. 2012;25(11):1588-94.
- casein and azocoll as substrates. In: Bergmeyer HU, editor. *Methods of enzymatic analysis*. 5th Volume. Deerfield Beach: Verlag Chemie; 1984. pp. 270-7.
- 23- Lowry OH, Rosebrough NJ, Farr AL, Randall RJ. Protein measurement with the Folin phenol reagent. *J Biol Chem*. 1951;193(1):265-75.
- 24- Mamauag REP, Koshio S, Ishikawa M, Yokoyama S, Gao J, Nguyen BT, et al. Soy peptide inclusion levels influence the growth performance, proteolytic enzyme activities, blood biochemical parameters and body composition of Japanese flounder, *Paralichthys olivaceus*. *Aquaculture*. 2011;321(3-4):252-8.
- 25- Palmegiano GB, Daprà F, Forneris G, Gai F, Gasco L, Guo K, et al. Rice protein concentrate meal as a potential ingredient in practical diets for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*. 2006;258(1-4):357-67.
- 26- Drew MD, Borgeson TL, Thiessen DL. A review of processing of feed ingredients to enhance diet digestibility in finfish. *Anim Feed Sci Technol*. 2007;138(2):118-36.
- 27- Jalili R, Noori F, Agh N. Effects of dietary protein source on growth performance, feed utilization and digestive enzyme activity in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *J Appl Biol Sci*. 2012;6(3):61-8.
- 28- Alboghbeish M, Mohammadi Azarm H, Yavari V, Zakeri M. Effect of fish meal replacement by soybean meal and baker's yeast on growth performance and feed utilization of juvenile Mesopotamichthys sharpeyi Gunther 1874. *J Anim Res*. 2015;28(2):136-45. [Persian]
- 29- Seyed Hasani MH, Mohseni M, Yazdani Sadati MA, Pourali HR, Shakorian M. Utilization of corn gluten meal as a protein source in great sturgeon (*Huso huso*) diets in growth up stage. *Iran Sci Fish J*. 2014;23(2):77-90. [Persian]
- 30- Liang D. Effect of supplementation on the nutritive value of canola meal for broiler chickens [Dissertation]. Winnipeg: University of Manitoba; 2000.
- 31- Krogdahl Å, Penn M, Thorsen J, Refstie S, Bakke AM. Important antinutrients in plant feedstuffs for aquaculture: An update on recent finding regarding responses in salmonids. *Aquac Res*. 2010;41(3):333-44.
- 32- Hilton JW, Slinger SJ. Digestibility and utilization of canola meal in practical-type diets for rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *Can J Fish Aquat Sci*. 1986;43(6):1149-55.
- 33- Dumas A, De Lange CFM, France J, Bureau DP. Quantitative description of body composition and rates of nutrient deposition in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*. 2007;273(1):165-81.
- 34- Robaina L, Moyano FJ, Izquierdo MS, Socorro J, Vergara JM, Montero D. Corn gluten and meat and bone meals as protein sources in diets for gilthead seabream (*Sparus aurata*): Nutritional and histological implications. *Aquaculture*. 1997;157(3-4):347-59.
- 35- Kissil GW, Lupatsch I. Successful replacement of fishmeal by plant proteins in diets for the gilthead seabream, *Sparus aurata* L. *Isr J Aquac Bamidgheh*. 2004;56(3):188-99.
- 36- Safari O, Bodaji F. Study of effect of partial substitution of canola meal and soybean meal with fishmeal in the diet of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Pajouhesh va Sazandegi*. 2008;21(2):45-51.