

تأثیر سطوح مختلف مکمل‌های آنتی‌اکسیدانی ریزپوشانی شده بر عملکرد رشد و تغذیه، ترکیبات بدن و برخی شاخص‌های خونی ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان (*Oncorhynchus mykiss*)

حسین آدینه^{*}، محمد هرسیج^۱، مهدی اسدی^۱، احسان احمدی^۲ فر

۱- گروه شیلات، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه گنبد کاووس، گنبد کاووس، گلستان

۲- گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه زابل، زابل، سیستان و بلوچستان

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۱/۲۴ تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۵/۲۶

چکیده

این مطالعه با هدف ارزیابی تأثیر سطوح مختلف مکمل آنتی‌اکسیدانی ریزپوشانی شده (نانوسلنیوم، ویتامین E و C) بر عملکرد رشد، ترکیبات بدن و برخی شاخص‌های بیوشیمیایی خون ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان (*Oncorhynchus mykiss*) انجام شد. ماهی‌ها با میانگین وزن $9/07 \pm 0/36$ گرم در ۱۲ مخزن توزیع و به ۴ گروه آزمایشی تقسیم شدند: تیمار ۱ (نانوسلنیوم: ۰/۱، E: ۳۰ و C: ۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم)، تیمار ۲ (نانوسلنیوم: ۰/۲، E: ۶۰ و C: ۲۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم)، تیمار ۳ (نانوسلنیوم: ۰/۳، E: ۹۰ و C: ۳۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) و غذای تجاری به‌عنوان شاهد استفاده شد. نتایج نشان داد افزودن مکمل‌های آنتی‌اکسیدانی ریزپوشانی شده به رژیم‌های غذایی ماهی منجر به افزایش رشد نهایی، نسبت کارایی پروتئین و چربی شد، در حالی که ضریب تبدیل غذا تفاوت معنی‌دار آماری نشان نداد. ترکیبات بدن مانند پروتئین و چربی نیز بین تیمارهای آزمایشی تفاوت معنی‌داری نداشت ($p > 0/05$). فعالیت لیزوزیم و آنزیم سوپراکسید دیسموتاز سرم در ماهیان تغذیه شده با مکمل غذایی به‌طور معنی‌داری در مقایسه با شاهد افزایش یافت ($p < 0/05$). آنزیم آلانین آمینوترانسفراز و آلکالین فسفاتاز افزایش معنی‌داری در تیمار ۳ داشت، در حالی که آنزیم آسپارات آمینوترانسفراز در ماهی تغذیه شده با مکمل‌های آنتی‌اکسیدانی نسبت به شاهد کاهش معنی‌داری نشان داد ($p < 0/05$). نتایج حاضر حاکی از اثرات مفید نانوذرات سلنیوم، ویتامین E و C ریزپوشانی شده بر روند رشد و پاسخ ایمنی ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان بود.

واژگان کلیدی: ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان، مکمل‌های ریزپوشانی شده، عملکرد رشد و پارامترهای خونی

*نویسنده مسئول: adineh.h@gmail.com

مقدمه

واکنش حداقل ۸ آنزیم، از جمله در ساختن کلاژن استفاده می شود (Mc-Dowell, 1989). در ماهیان، این ویتامین در فرآیند بیوشیمیایی ساختن کلاژن (یکی از اجزای اصلی غشاء بافت پیوندی) برای بافت‌های پیوندی شامل غضروف، استخوان و پوست و همچنین تقویت دستگاه ایمنی نقش بسیار مهمی را ایفا می‌کند (Dabrowski, 2001). ماهیان استخوانی به‌علت کمبود گلوکونلاکتون اکسیداز که به‌عنوان آنزیم پایانی در ساختن اسید آسکوربیک نقش دارد، همچون دیگر مهره‌داران، قادر به ساختن اسید آسکوربیک نیستند و باید این ماده به غذای آنها اضافه شود. بنابراین، کمبود ویتامین C در جیره غذایی می‌تواند منجر به کاهش رشد، کاهش پاسخ‌های ایمنی، تغییر شکل ستون مهره، تأخیر در بهبود زخم، تضعیف عملکرد دستگاه تولیدمثل، حرکات غیرطبیعی باله، آبشش و چشم‌ها و افزایش پارگی مویرگی شود (Xie and Niu, 2006). میزان نیاز و تأثیرات این ویتامین‌ها بر سلامتی، در گونه‌های مختلف آبزیان متفاوت است و محققان در تحقیقات مختلف، مقادیر متفاوتی برای آن پیشنهاد کرده‌اند (Azad et al. 2007; Lim et al. 2002) که ممکن است تحت تأثیر گونه ماهی، اندازه و فرمول جیره غذایی و روش پرورش قرار گیرد (Ai et al. 2004).

ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان (*Oncorhynchus mykiss*) یکی از مهمترین گونه‌های آزاد ماهیان است که به‌طور طبیعی در آب‌های ساحلی بین جنوب آلاسکا تا جنوب کالیفرنیا زندگی می‌کند. این گونه با ارزش اقتصادی بالا برای پرورش در جهان است و بخش بزرگی از میزان تولید آبزیان را به خود اختصاص می‌دهد. در مزارع پرورش ماهی، بروز بیماری‌های عفونی و باکتریایی، یکی از دلایل عمده کاهش میزان تولید است. از این رو، برای موفقیت در تولید، استفاده از روش‌هایی به‌منظور تقویت فرآیند رشد و ایمنی طبیعی جاندار ضروری به نظر می‌رسد. ویتامین‌ها یکی از اقلام غذایی هستند که از نظر کمی جزء ناچیز، اما از نظر کیفی جزء ضروری و مهم جیره غذایی آبزیان تلقی می‌شوند. بنابراین، هدف این مطالعه، بررسی وضعیت رشد، تغذیه، اجزای ترکیبی تشکیل دهنده لاشه و برخی از شاخص‌های بیوشیمیایی خون ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان

با توجه به اهمیت استفاده از مواد افزودنی در رژیم غذایی آبزیان، تحقیقات با هدف ارزیابی اثرات مصرف مکمل‌های آنتی‌اکسیدانی بر رشد و سلامت ماهی‌ها در حال افزایش است (Gasco et al. 2018). عناصر ریز مصرف‌مانند سلنیوم در سوخت و ساز بدن و در ساختمان کاتالیزورها، آنزیم‌ها و هورمون‌ها شرکت می‌کنند و نقش مهمی در سلامت، رشد و باروری حیوانات دارند. سلنیوم به‌عنوان یک عنصر ضروری از طریق ترکیب با پروتئین به صورت سلنوپروتئین در فرآیند رشد و تغذیه شرکت می‌کند (Wang et al. 2018). کمبود این عنصر بر بسیاری از فرآیندهای سوخت و سازی اثر داشته و منجر به اختلال در سوخت و ساز بدن و در نتیجه، کاهش عملکرد رشد و تغذیه خواهد شد. راه حل رفع کمبود سلنیوم، استفاده و ذخیره این عنصر در بدن از طریق غنی‌سازی مواد غذایی است. رژیم‌های حاوی سلنیوم از طریق کنترل سنتز دیدیناز^۱ باعث تنظیم رشد ماهی می‌شوند (Wang et al. 2018). مطالعات بسیاری وجود دارد که ارتباط بین سلنیوم و ویتامین E را در سلامتی حیوان نشان می‌دهد. ویتامین E از ترکیباتی باعنوان آلفاتوکوفورها^۲ به‌عنوان یک ماده غذایی ضروری شناخته شده است که نقش مهمی در فرآیندهای فیزیولوژیک و بیوشیمیایی مانند رشد، تکامل، تولیدمثل، پاسخ ایمنی، استرس اکسیدانی و کیفیت گوشت دارد (Zhao et al. 2018). این ویتامین یک ترکیب آلی هتروسیلیک^۳ مشتق از هسته کرومان^۴ است. وظیفه برجسته ویتامین E شامل جلوگیری از تحلیل ماهیچه، ساخت پروستاگلاندین‌ها و بهبود پاسخ ایمنی است (Liu et al. 1995). در صورت کمبود این ویتامین دیستروپی ماهیچه‌ای شامل نکروز عضلات سفید، آب آوردگی عضله و بافت‌ها و کم‌خونی (آنمی) رخ می‌دهد. این ویتامین به صورت محلول در چربی غشاهای سلولی و اندامک‌های درون سلولی بوده و اولین خط دفاعی بدن در برابر آسیب‌های وارده به سلول در اثر پراکسیده شدن فسفولیپیدهای غشای سلولی است. اسید آسکوربیک (ویتامین C) به‌عنوان یکی از ضروری‌ترین مواد مغذی است که به‌عنوان کوفاکتور در

۳ - Heterocyclic

۴ - Chromano

1 - Deiodinase

۲ - α -tocopherol, α -Toc

۲۴۰ ماهی به طور تصادفی در ۱۲ مخزن پلاستیکی با حجم آبیگیری ۵۰ لیتر توزیع شدند.

ماهیان در تیمارهای آزمایشی با سطوح مختلف مکمل نانوسلنیوم، ویتامین E و C به مدت ۴۵ روز تغذیه شدند. بر اساس مطالعات صورت گرفته، توصیه شده است که سلنیوم به میزان ۰/۱۵ تا ۰/۴۰ (Hillton et al. 1980)، ویتامین E ۱۰۰ (Watanabe et al. 1981) و ویتامین C ۳۰۰ (Verlhac et al. 1998) میلی‌گرم در هر کیلوگرم به جیره غذایی ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان افزوده شود. میزان مصرف مکمل‌ها در تیمارهای مختلف آزمایشی این پژوهش در جدول ۱ ارائه شده است.

تغذیه شده با سطوح مختلف مخلوط نانوسلنیوم، ویتامین E و C ریزپوشانی شده بود.

مواد و روش‌ها

ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان با میانگین وزن $0.36 \pm 9/07$ گرم و طول $0.14 \pm 8/9$ سانتی‌متر از زرین‌گل علی‌آباد استان گلستان تهیه و به آزمایشگاه مهندسی آبزیان دانشگاه گنبد کاووس انتقال یافت. ماهیان به مدت ۵ روز دوره سازگاری را در مخازن بتونی ۴۰۰ لیتری سپری کردند.

جدول ۱ مقادیر افزودن مکمل‌های آنتی‌اکسیدانی (بر حسب میلی‌گرم در کیلوگرم غذای پایه) در جیره غذایی ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان.

ویتامین C ^۳	ویتامین E ^۲	نانوسلنیوم ^۱	تیمار/مکمل
-	-	-	شاهد
۱۰۰	۳۰	۰/۱	تیمار ۱
۲۰۰	۶۰	۰/۲	تیمار ۲
۳۰۰	۹۰	۰/۳	تیمار ۳

۱: سطوح مختلف نانوسلنیوم محلول در آب که توانایی نفوذ پذیری بالا به درون سلول را دارند، به فرم محلول کلوئیدی قرمز رنگ، دارای خلوص ۹۹٪، با غلظت ۱۰۰۰ میلی‌گرم نانوسلنیوم در لیتر آب و اندازه ذرات سلنیوم ۴۰۰ نانومتر بود از شرکت کیمیاگران فردوس مشهد، ایران تهیه شد. ۲: ویتامین E (α-Tocopherol acetate; T3001: oil or semi-solid, ~1360 IU/g, semisynthetic) از شرکت سیگما تهیه شد. ۳: ویتامین C از داروخانه دامپزشکی با نام تجاری (Chemifarma® S.P.A) و مشخصه 16- Via Don E. Servadei ساخت کشور ایتالیا تهیه شد.

آمده برای هر یک از تیمارها در هاون چینی به صورت مجزا خورد شد.

غذای تجاری ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان از شرکت فرادانه (FFT1 و FFT2) به عنوان غذای پایه با ۴۴-۴۰٪ پروتئین خام، ۱۶-۱۲٪ چربی خام، ۴-۲٪ فیبر خام، ۱۱-۷٪ خاکستر، ۱۱-۵٪ رطوبت و ۱/۵-۱٪ فسفر تهیه شد. غذا توسط دستگاه آسیاب و سپس، دوزهای مختلف مکمل‌های مذکور به جیره غذایی افزوده و به حالت خمیری درآورده شد. خمیر تهیه شده از هر تیمار به طور مجزا به صورت رشته‌ای درآورده و پس از خشک شدن در دمای ۴۰ درجه سانتیگراد آن به صورت پلت‌هایی با قطر ۳ میلی‌متر شکل داده شد. جیره‌های غذایی در کیسه‌های زیپ‌دار پلاستیکی بسته‌بندی شماره‌گذاری شده و در دمای یخچال نگهداری

برای انجام فرآیند ریزپوشانی، مواد دیواره‌ای به میزان ۳۰ گرم مالتودکسترین و ۱۰ گرم صمغ عربی با ۶۰ میلی لیتر آب مقطر در دمای ۸۰-۷۰ درجه سانتی‌گراد مخلوط و سپس به مدت سه دقیقه توسط هوموژنایزر با سرعت ۱۰۰۰ دور در دقیقه به طور کامل همگن شدند. مواد دیواره‌ای به مدت یک شب در بن‌ماری با دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد برای هیدراته شدن نگهداری شدند. سپس، مخلوط نانوسلنیوم، ویتامین‌های E و C به نسبت ۱:۳ با مواد دیواره‌ای به مدت ۳۰ دقیقه برای هر تیمار به صورت مجزا (تیمار ۱، ۲ و ۳) مخلوط شد. برای تیمار شاهد فقط از مواد دیواره بدون مکمل آنتی‌اکسیدانی استفاده شد (تیمار شاهد). برای خشک کردن انجمادی مکمل‌های ریزپوشانی شده از دستگاه فریز درایر به مدت ۲۴ ساعت استفاده شد (دسترنج و همکاران، ۱۳۹۳). ماده جامد متخلخل به دست

اندازه‌گیری وزن از ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۱ گرم و اندازه‌گیری طول با دقت ۱ میلی‌متر از خط‌کش استفاده شد. شاخص‌های رشد شامل افزایش وزن، نرخ رشد ویژه، ضریب چاقی، ضریب تبدیل غذایی و کارایی تبدیل غذا بر اساس فرمول‌های زیر محاسبه شد:

شد. مقدار غذای مصرفی حدود ۳٪ وزن بدن در ۴ نوبت (ساعات ۶، ۱۱، ۱۶ و ۲۱) برای ماهی‌ها استفاده شد. در پایان دوره آزمایش ماهیان به مدت ۲۴ ساعت قطع غذای شدند و سپس در محلول ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر عصاره گل میخک بیهوشی ماهیان انجام شد. برای

$$\begin{aligned} \text{افزایش وزن (WG, g)} &= \text{میانگین وزن نهایی (گرم)} - \text{میانگین وزن اولیه (گرم)} \\ \text{میانگین رشد روزانه (ADG, \%)} &= \frac{(\text{وزن نهایی} - \text{وزن اولیه})}{\text{مدت زمان پرورش}} \times 100 \\ \text{ضریب رشد ویژه (SGR, \% / day)} &= \frac{(\ln \text{ وزن نهایی (گرم)} - \ln \text{ وزن اولیه (گرم)})}{\text{مدت زمان پرورش (روز)}} \times 100 \\ \text{ضریب چاقی (CF)} &= \frac{(\text{وزن نهایی (گرم)})}{\text{توان سوم طول کل ماهی (سانتی‌متر)}} \times 100 \\ \text{ضریب تبدیل غذایی (FCR)} &= \frac{(\text{مقدار غذای مصرف شده (گرم)})}{(\text{وزن نهایی (گرم)} - \text{وزن اولیه (گرم)})} \\ \text{کارایی تبدیل غذا (FCE, \%)} &= \frac{(\text{وزن به دست آمده} \setminus \text{مقدار غذای مصرف شده (گرم)})}{100} \\ \text{نسبت کارایی پروتئین (PER)} &= \frac{(\text{وزن به دست آمده (گرم)})}{\text{مقدار مصرف پروتئین (گرم)}} \\ \text{نسبت کارایی چربی (LER)} &= \frac{(\text{وزن به دست آمده (گرم)})}{\text{مقدار مصرف چربی (گرم)}} \\ \text{شاخص کبدی (HSI, \%)} &= \frac{(\text{وزن کبد (گرم)})}{(\text{وزن بدن (گرم)})} \times 100 \\ \text{شاخص احشایی (VSI, \%)} &= \frac{(\text{وزن احشاء (گرم)})}{(\text{وزن بدن (گرم)})} \times 100 \end{aligned}$$

آنزیم‌های کبدی در سرم خون ماهی قزل‌آلا با کیت تشخیص کمی شرکت پارس آزمون به روش فتومتریک بر اساس روش پیشنهادی DGKC (استاندارد انجمن بیوشیمی آلمان) برای آنزیم آلکالین فسفاتاز (ALP)، روش پیشنهادی IFCC (فدراسیون بین‌المللی شیمی بالینی و طب آزمایشگاهی) برای آنزیم آلانین آمینوترانسفراز (ALT) و آنزیم آسپارات آمینوترانسفراز (AST) انجام شد (Moss and Henderson, 1999).

بعد از ۴۵ روز دوره آزمایش، تعداد ۵ ماهی از هر تکرار به صورت تصادفی برای تعیین میزان تقریبی ترکیبات بیوشیمیایی لاشه به روش آنالیز استاندارد جزء به جزء استفاده شد (AOAC, 1995). میزان پروتئین خام با ضرب محتوای نیتروژن نمونه در ضریب ۶/۲۵ و به روش کلدال اندازه‌گیری شد. میزان چربی با استفاده از روش سوکسله از طریق استخراج چربی توسط اتر اندازه‌گیری شد. ماده خشک لاشه به طور وزنی بعد از انجماد خشک برای مدت ۲۴ ساعت و خاکستر با استفاده از سوزاندن نمونه‌ها در کوره با حرارت ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد تعیین شد. میزان فیبر خام از طریق هضم اسیدی و هضم قلیایی محاسبه شد.

برای سنجش شاخص‌های خونی از سیاهرگ ساقه دمی ماهیان خونگیری شد. برای جداسازی سرم، نمونه خون (۳ ماهی از هر تکرار) در سانتریفیوژ یخچال‌دار با دمای ۴ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۳۰۰۰ دور در دقیقه قرار داده شد. برای تعیین میزان فعالیت لیزوزیم سرم از روش ارائه شده توسط Ellis (۱۹۹۰) استفاده شد. به این منظور از لیزوزیم سفیده تخم‌مرغ (۱ mg/Lysozyme/mL) برای ترسیم منحنی به‌عنوان استاندارد استفاده شد. مقدار ۲۵ میکرولیتر از پلاسما و سپس مقدار ۱۷۵ میکرولیتر از سوسپانسیون باکتریایی *Micrococcus lysodeikticus* اضافه شد. با استفاده از دستگاه الیزاریدر جذب نوری اولیه در طول موج نانومتر ۵۳۰ اندازه‌گیری و پس از یک ساعت نگهداری در دمای ۲۲ درجه سانتی‌گراد اتاق، مجدداً جذب نوری اندازه‌گیری شد. برای سنجش آنزیم سوپر اکساید دیسموتاز ابتدا در حضور هیدروژن پراکساید (H_2O_2) فرآیند اتواکسیداسیون پیروگالول بررسی شد. در طی این فرآیند از سطح آنزیم سوپر اکساید دیسموتاز موجود در سرم کاسته شد. سپس سنجش با دستگاه اسپکتوفتومتر در طول موج ۴۲۰ نانومتر انجام شد (Marklund and Marklund, 1974).

تجزیه و تحلیل آماری

آنتی‌اکسیدانی وجود ندارد ($p > 0.05$). مهمترین معیار تغذیه‌ای که همان ضریب تبدیل غذایی است، بین تیمارهای مختلف آزمایشی تفاوت معنی‌داری نداشت. دامنه این معیار بین 0.13 ± 1.02 تا 0.11 ± 1.12 بود (جدول ۲). کارایی تبدیل غذا بین شاهد و دیگر تیمارهای آزمایشی تفاوت معنی‌داری نداشت ($p > 0.05$), اما بیشترین مقدار عددی این معیار در تیمار ۲ ($15/47 \pm 99/14$) به دست آمد. بررسی آماری نسبت کارایی پروتئین و نسبت کارایی چربی نشان داد که تنها اختلاف معنی‌دار بین تیمار شاهد و تیمار ۳ وجود دارد ($p < 0.05$). بیشترین مقادیر به دست آمده از این دو معیار در تیمار ۳ آزمایشی به ترتیب برابر 0.08 ± 1.04 و $0.27 \pm 3/49$ بود.

سنجش تقریبی درصد ترکیبات لاشه ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان تغذیه شده با مخلوط مکمل آنتی‌اکسیدانی (نانو سلنیوم، ویتامین E و C) میکروانکپسوله در جدول ۳ ارائه شده است. مقدار پروتئین بین تیمارها تفاوت معنی‌دار آماری نداشت ($p > 0.05$), اما مقدار آن در تیمارهای آزمایشی مصرف کرده از مکمل آنتی‌اکسیدانی نسبت به شاهد بیشتر بود. مقدار چربی خام بین تیمارهای مختلف آزمایشی تفاوت معنی‌داری نداشت ($p > 0.05$). مقادیر به دست آمده از معیارهایی چون ماده خشک، لیاف خام و خاکستر بین تیمارهای مختلف تفاوت آماری نداشت ($p > 0.05$).

نتایج سنجش فعالیت لیزوزیم و آنزیم سوپراکسید دیسموتاز سرم خون در شکل ۱ نشان داده شده است. فعالیت لیزوزیم بین تیمارهای آزمایشی و شاهد اختلاف معنی‌دار آماری داشت ($p < 0.05$). بیشترین و کمترین مقدار این شاخص به ترتیب در تیمارهای ۲ ($1/91$) $\pm 22/91$ و $33/19$ واحد/میلی‌لیتر/دقیقه) و شاهد ($1/50$) $\pm 22/91$ واحد/میلی‌لیتر/دقیقه) به دست آمد. آنزیم سوپراکسید دیسموتاز بین تیمارهای مختلف تفاوت داشت، به طوری که بیشترین مقدار این آنزیم در تیمار ۲ برابر $58/16 \pm 3$ واحد در میلی‌لیتر و کمترین در تیمار شاهد برابر $1/47 \pm 48/72$ واحد در میلی‌لیتر بود.

برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از آنالیز واریانس یک‌طرفه (One-Way ANOVA) و مقایسه میانگین‌ها از آزمون دانکن در سطح اطمینان ۹۵٪ توسط نرم‌افزار SPSS-16 استفاده شد. رسم نمودارها در Excel 2010 انجام شد.

نتایج

ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان در دامنه وزن اولیه $0.36 \pm 9/07$ تا $0.43 \pm 9/56$ گرم و دامنه طول اولیه $0.14 \pm 8/90$ تا $0.20 \pm 9/13$ سانتی‌متر در بین تیمارهای مختلف آزمایشی توزیع و به مدت ۴۵ روز با سطوح مختلف آنتی‌اکسیدان تغذیه شدند که به طور کلی عملکرد رشد و تغذیه آنها در جدول ۲ ارائه شده است. نتایج تجزیه و تحلیل آماری در پایان دوره آزمایش نشان داد که وزن نهایی بین تیمارهای مختلف آزمایشی تفاوت معنی‌داری دارد، به طوری که بیشترین آن در تیمار ۳ برابر $3/67 \pm 56/40$ گرم و کمترین مقدار آن در تیمار شاهد برابر $4/15 \pm 49/56$ گرم به دست آمد ($p < 0.05$). وزن نهایی بین تیمارهای ۱ و ۲ آزمایش تفاوت معنی‌داری نداشت ($p > 0.05$). در همین راستا، افزایش وزن (گرم) و رشد روزانه (٪) بین تیمارهای آزمایشی اختلاف آماری معنی‌داری نشان داد ($p < 0.05$). نرخ رشد ویژه بین تیمارهای مصرف کننده مکمل‌های آنتی‌اکسیدانی و تیمار شاهد تفاوت آماری نداشت ($p > 0.05$). بیشترین مقدار به دست آمده نرخ رشد ویژه در تیمار ۳ $4/03 \pm 0/17$ درصد در روز) و کمترین مقدار آن در تیمار شاهد ($3/72 \pm 0/18$ درصد در روز) به ثبت رسید. آنالیز آماری ضریب چاقی یا فاکتور وضعیت نشان از عدم اختلاف بین تیمارها بود اما بیشترین آن در تیمار ۲ به میزان $0.08 \pm 1/13$ و کمترین آن در تیمار ۳ به میزان $0.03 \pm 1/08$ بود. مقایسه میانگین معیارهایی مانند وزن لاشه، شاخص کبدی و شاخص امعاء و احشاء نشان داد که هیچ اختلاف آماری بین تیمار شاهد و تیمارهای مصرف کننده سطوح مختلف مکمل‌های ض

جدول ۲ مقایسه میانگین شاخص‌های رشد و تغذیه ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان تغذیه شده با سطوح مختلف آنتی‌اکسیدانی به مدت ۴۵ روز.

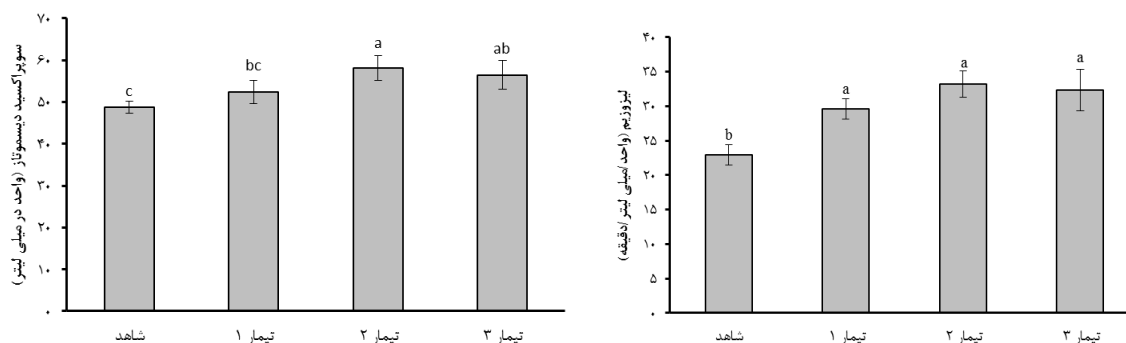
تیمارها				معیارهای رشد و تغذیه
تیمار ۳	تیمار ۲	تیمار ۱	شاهد	
۹/۱۷ ± ۰/۲۹	۹/۵۶ ± ۰/۴۳	۹/۲۲ ± ۰/۳۹	۹/۰۷ ± ۰/۳۶	وزن اولیه (گرم)
۵۶/۴۰ ± ۳/۶۷ ^a	۵۴/۶۷ ± ۵/۸۷ ^{ab}	۵۳/۴۴ ± ۴/۰۲ ^{ab}	۴۹/۵۶ ± ۴/۱۵ ^b	وزن نهایی (گرم)
۹/۰۹ ± ۰/۱۱	۹/۱۳ ± ۰/۲۰	۸/۹۰ ± ۰/۱۴	۸/۹۵ ± ۰/۱۸	طول اولیه (سانتی‌متر)
۱۷/۳۰ ± ۰/۴۲	۱۶/۹۲ ± ۰/۹۶	۱۶/۹۵ ± ۰/۷۱	۱۶/۳۵ ± ۰/۶۱	طول نهایی (سانتی‌متر)
۴۷/۲۳ ± ۳/۷۵ ^a	۴۵/۱۱ ± ۵/۸۷ ^{ab}	۴۴/۲۲ ± ۴/۰۲ ^{ab}	۳۹/۴۹ ± ۴/۱۵ ^b	افزایش وزن (گرم)
۱۱/۴۴ ± ۰/۸۹ ^a	۱۰/۴۸ ± ۱/۳۲ ^{ab}	۱۰/۵۶ ± ۰/۹۷ ^{ab}	۹/۶۷ ± ۱/۰۱ ^b	رشد روزانه (/.)
۴/۰۳ ± ۰/۱۷	۳/۸۶ ± ۰/۲۵	۳/۹۰ ± ۰/۱۴	۳/۷۲ ± ۰/۱۸	نرخ رشد ویژه (/day)
۱/۰۸ ± ۰/۰۳	۱/۱۳ ± ۰/۰۸	۱/۰۹ ± ۰/۰۷	۱/۱۱ ± ۰/۰۵	ضریب چاقی
۴۸/۲۸ ± ۳/۸۳	۴۶/۷۲ ± ۵/۳۱	۴۵/۹۶ ± ۲/۸۵	۴۱/۶۴ ± ۳/۹۵	وزن لاشه
۱/۴۷ ± ۰/۱۶	۱/۴۱ ± ۰/۲۲	۱/۵۴ ± ۰/۱۴	۱/۴۷ ± ۰/۱۴	شاخص کبدی (/.)
۸/۱۴ ± ۱/۴۲	۷/۹۷ ± ۰/۹۹	۷/۵۱ ± ۰/۵۴	۷/۹۵ ± ۱/۵۵	شاخص احشائی (/.)
۱/۰۷ ± ۰/۰۸	۱/۰۲ ± ۰/۱۳	۱/۱۰ ± ۰/۱۰	۱/۱۲ ± ۰/۱۱	ضریب تبدیل غذایی
۹۳/۵۸ ± ۷/۳۶	۹۹/۱۴ ± ۱۵/۴۷	۹۱/۰۳ ± ۸/۴۵	۸۹/۳۳ ± ۸/۹۶	کارایی تبدیل غذا
۱/۰۴ ± ۰/۰۸ ^a	۱/۰۰ ± ۰/۱۳ ^{ab}	۰/۹۸ ± ۰/۰۸ ^{ab}	۰/۸۷ ± ۰/۰۹ ^b	نسبت کارایی پروتئین
۳/۴۹ ± ۰/۲۷ ^a	۳/۳۴ ± ۰/۴۰ ^{ab}	۳/۲۷ ± ۰/۲۹ ^{ab}	۲/۹۲ ± ۰/۳۲ ^b	نسبت کارایی چربی

وجود حروف غیرمشابه لاتین در هر ردیف نشان از اختلاف آماری بین تیمارهاست (p < ۰/۰۵).

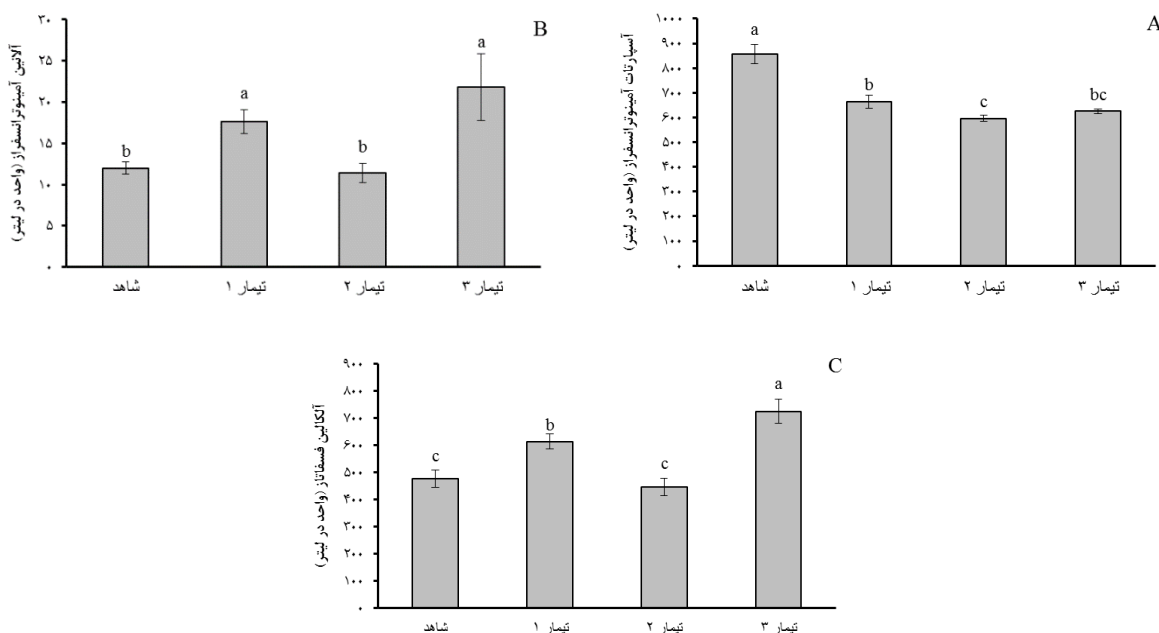
جدول ۳ ترکیبات بیوشیمیایی بدن ماهی قزل‌آلای تغذیه شده با مکمل آنتی‌اکسیدانی (نانو سلنیوم، ویتامین های E و C) ریزکپسول دار.

تیمارها				ترکیبات بدن (/.)
تیمار ۳	تیمار ۲	تیمار ۱	شاهد	
۲۴/۳۸ ± ۱/۳۴	۲۴/۲۱ ± ۱/۳۶	۲۴/۱۳ ± ۰/۸۵	۲۴/۹۷ ± ۱/۵۴	ماده خشک
۶۵/۰۹ ± ۰/۷۴	۶۵/۶۰ ± ۲/۰۲	۶۵/۳۱ ± ۰/۹۴	۶۴/۵۷ ± ۱/۱۱	پروتئین خام
۲۲/۶۸ ± ۰/۵۲	۲۲/۶۳ ± ۰/۹۰	۲۲/۸۶ ± ۱/۰۰	۲۳/۴۴ ± ۰/۴۱	چربی خام
۰/۷۵ ± ۰/۱۴	۰/۶۱ ± ۰/۰۲	۰/۷۸ ± ۰/۲۴	۰/۵۹ ± ۰/۰۲	الیاف خام
۱۰/۶۱ ± ۰/۶۰	۱۰/۱۹ ± ۱/۰۴	۱۰/۴۹ ± ۰/۴۱	۱۰/۹۴ ± ۰/۶۵	خاکستر

وجود حروف غیر مشابه لاتین در هر ردیف نشان از اختلاف آماری بین تیمارهاست (p < ۰/۰۵).



شکل ۱: سنجش فعالیت لیزوزیم و آنزیم سوپراکسید دیسموتاز سرم خون (میانگین \pm انحراف معیار) ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان تغذیه شده با مکمل‌های آنتی‌اکسیدانی. وجود حروف غیر مشابه لاتین در هر ردیف نشان از اختلاف آماری بین تیمارهاست ($p < 0.05$).



شکل ۲: آنالیز آنزیم‌های کبدی (میانگین \pm انحراف معیار) ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان تغذیه شده با سطوح مختلف مکمل‌های آنتی‌اکسیدانی در جیره غذایی. وجود حروف غیر مشابه لاتین در هر ردیف نشان از اختلاف آماری بین تیمارهاست ($p < 0.05$).

مقدار آنزیم ALT بین تیمار شاهد و تیمار ۲ تفاوت آماری معنی‌داری نداشت ($p > 0.05$). نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل آماری مقادیر ALP نشان داد که شاهد با تیمار ۲ تفاوت معنی‌دار ندارد، اما با تیمارهای ۱ و ۳ اختلاف معنی‌دار آماری وجود دارد.

نتایج میانگین‌های به دست آمده از سنجش آنزیم‌های کبدی سرم خون ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان تغذیه شده با سطوح مختلف مکمل‌های آنتی‌اکسیدانی در شکل ۲ آورده شده است. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها نشان داد که میزان آنزیم AST بین شاهد با دیگر تیمارهای آزمایشی تفاوت معنی‌دار آماری داشت ($p < 0.05$). کمترین و بیشترین مقدار این آنزیم در تیمار ۲ و شاهد به ترتیب برابر ۱۳/۰۷ و $856/47 \pm 39/90$ و $595/89 \pm$ واحد در لیتر به دست آمد.

بحث و نتیجه گیری

موجودات زنده سیستم‌های محافظت‌کننده‌ای در مقابل واکنش رادیکال‌های آزاد دارند که در این راستا می‌توان به آنتی‌اکسیدان‌های غیر آنزیمی صناعی مانند نانوسلنیوم، ویتامین‌های E و C اشاره کرد. سلنیوم عنصری مهم و کاربردی برای رشد ماهی است که از طریق محافظت ترکیبات زیستی به خصوص DNA، پروتئین‌ها و لیپیدها در برابر رادیکال‌های آزاد ناشی از سوخت و ساز طبیعی عمل می‌کند (Rider et al. 2009; NRC, 2011). در این مطالعه، وزن نهایی و افزایش وزن بین تیمارهای مختلف آزمایشی تفاوت معنی‌داری داشت، به طوری که میزان این شاخص‌ها در ماهیان تغذیه شده با سطوح بالای آنتی‌اکسیدان‌ها به طور معنی‌داری بیش از شاهد بود. بیشترین و کمترین مقدار رشد نهایی به ترتیب در تیمارهای ۳ (۳/۶۷ ± ۵۶/۴۰ گرم) و شاهد (۴/۱۵ ± ۴۹/۵۶ گرم) به ثبت رسید. همسو با پژوهش حاضر، استفاده از سطوح مختلف نانوسلنیوم به میزان صفر (شاهد)، ۰/۱، ۰/۵ و ۱ میلی‌گرم در کیلوگرم بر شاخص‌های رشد ماهی کاراس طلایی نر (*Carassius auratus gibelio*) نشان داد که با افزایش غلظت نانوسلنیوم میزان رشد افزایش و ضریب تبدیل غذایی کاهش پیدا می‌کند (سیدی و کلباسی، ۱۳۹۶). بر اساس گزارش احمدوند و همکاران (۱۳۹۴)، به کارگیری غلظت ۱/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم نانوسلنیوم در جیره ماهی کپور معمولی (*Cyprinus carpio*) باعث افزایش عملکرد رشد شد. در واقع، عملکرد بهتر نانوسلنیوم ممکن است به علت اندازه ریز آن، نواحی سطحی بزرگ‌تر، افزایش نفوذپذیری مخاط، بهبود جذب روده‌ای و رسوبات بافتی باشد (Liao et al. 2010). به کارگیری سلنیوم و مس به میزان کافی (به ترتیب ۱۱ و ۱۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) نسبت به مقادیر کم و زیاد این افزودنی‌ها در جیره غذایی فیل ماهی پرورشی (*Huso huso*) باعث افزایش وزن، شاخص رشد ویژه، ضریب چاقی و بهبود ضریب تبدیل غذایی شد (محسنی و ستوده، ۱۳۹۱). همچنین، Safarpour Amlashi و همکاران (۲۰۱۱) گزارش کردند که با افزایش مقدار سلنیوم از ۱/۲۶ به ۲۰/۲۶ میکروگرم در گرم غذا در فیل ماهی جوان، میزان رشد و طول نهایی، افزایش وزن، نرخ رشد، کارایی تغذیه و نرخ رشد ویژه افزایش می‌یابد، در حالی که افزایش مقدار مخلوط مکمل‌های آنتی‌اکسیدانی بر روی رشد اثرات مثبت اعمال می‌کند، اما بر کارایی تغذیه مانند

ضریب تبدیل غذایی اثر معنی‌دار ندارد. بررسی اثر غلظت‌های مختلف نانوسلنیوم بر رشد ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان نشان داد که بهترین میزان عملکرد رشد در غلظت ۰/۱ میلی‌گرم نانوسلنیوم در کیلوگرم غذا به دست می‌آید (شبرنگ هرده‌دشت و میرواقفی، ۱۳۹۱).

ویتامین E به عنوان یک آنتی‌اکسیدان فیزیولوژیک از طریق غیر فعال کردن رادیکال‌های آزاد عمل می‌کند. این ویتامین با تأثیر بر بهبود دستگاه ایمنی از طریق تأثیر مستقیم بر روی سلول‌های ایمنی و تأثیر غیرمستقیم بر پارامترهای آندوکراین (درون ریز) و سوخت و سازی سبب تقویت دستگاه ایمنی و افزایش عملکرد رشد و تغذیه می‌شود (Mashaly et al. 2004). گزارش شده است که بکارگیری اسید چرب غیر اشباع EPA و DHA ترکیب یافته با ویتامین E باعث بهبود عملکرد رشد و ایمنی ماهی آزاد دریای خزر (*Salmo trutta caspius*) شد (Sotoudeh et al. 2016). ارزیابی تغذیه ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان با استفاده از نانوسلنیوم و ویتامین E به صورت مجزا و ترکیبی به مدت ۶۰ روز نشان داد که مکمل ویتامین E در جیره غذایی به طور قابل توجهی عملکرد رشد و وضعیت سلامتی این گونه را بهبود می‌بخشد (Naderi et al. 2017). در همین راستا گزارش شده که تکمیل جیره پایه با ویتامین E می‌تواند موجب بهبود عملکرد رشد قزل‌آلای رنگین‌کمان شود که با نتایج این تحقیق همخوانی دارد (Trenzado et al. 2007).

اسید آسکوربیک به عنوان آنتی‌اکسیدانی مهم برای حفاظت لیپیدهای پلاسما و غشای سلولی عمل می‌کند و می‌تواند اکسیدان‌های خارج سلولی ناشی از فعالیت بیگانه خوراری را خنثی و از آسیب‌های بافتی پیشگیری کند (Hughes, 1999). مطالعات نشان می‌دهند که اکثر ماهیان استخوانی به دلیل عدم وجود آنزیمی تحت عنوان ال-گلونولاکتون اکسیداز قادر به ساختن ویتامین C از ال-گلوکز نیستند، لذا ضروری است که مقدار مورد نیاز این ویتامین از راه تغذیه خارجی تامین شود. علاوه بر این، مکمل آنتی‌اکسیدانی ویتامین C و E می‌تواند به صورت برهمکنش عمل کند (Vélez-Alavez et al. 2014). به طوری که عملکرد اصلی ویتامین C بازبایی ویتامین E در هنگام حضور هر دو ویتامین است (Torres et al. 2002). تأثیر ویتامین C به میزان صفر، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۱۰۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم غذای پایه بر شاخص‌های خونی و

و جذب اسیدهای آمینه است (Genc et al. 2007) که اثبات علمی آن نیاز به مطالعات بیشتر دارد. اندازه‌گیری شاخص‌های بیوشیمیایی به‌طور عمده در تشخیص وضعیت فیزیولوژیک و تعیین سلامت عمومی ماهی استفاده می‌شود که در این تحقیق می‌توان به وضعیت ایمنی (فعالیت لیزوزیم و آنزیم سوپراکسید دیسموتاز) و ترشح آنزیم‌های کبدی (AST، ALT و ALP) اشاره کرد. فعالیت لیزوزیم یکی از شاخص‌های مهم ایمنی غیراختصاصی در مهره‌داران محسوب می‌شود که از گرانول‌های گلبول‌های سفید ترشح می‌شود (Sheikhzadeh, 2013). همچنین، آنزیم سوپراکسید دیسموتاز شاخصی برای اندازه‌گیری شرایط عملکردی دستگاه آنتی‌اکسیدانی بدن است (Chen et al. 2015) که نقش مهمی در عملکرد دستگاه ایمنی بدن دارد (Lu et al. 2016). در مطالعه حاضر، بیشترین میزان آنزیم سوپراکسید دیسموتاز و فعالیت لیزوزیم در تیمارهای مصرف‌کننده مکمل آنتی‌اکسیدانی مشاهده شد و کمترین مقدار این شاخص‌ها در تیمار شاهد به‌دست آمد. در این راستا گزارش شده است که استفاده از ویتامین E و سلنیوم، عصاره‌های مرزنجوش (*Origanum spp.*) و زنیان (*Trachyspermum ammi*) به میزان ۱٪ جیره غذایی ماهی قزل‌آلای انگشت‌قد باعث بهبود وضعیت رشد و فعالیت لیزوزیم می‌شود (Ali et al. 2018). مطالعه اثر مکمل‌های ویتامین E سلنیوم و C بر فعالیت دفاع آنتی‌اکسیدانی ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان در مواجهه با غلظت تحت حاد دیازینون نشان از افزایش دفاع آنتی‌اکسیدانی و کاهش آسیب‌های اکسایشی بود (علی و همکاران، ۱۳۹۳). سنجش آنزیم‌های کبدی به‌عنوان شاخص آزمایشگاهی استاندارد، برای بررسی اختلالات کبدی در موجودات استفاده می‌شود (Parma et al. 2007). افزایش تراوش‌پذیری سلول‌های کبدی آسیب دیده موجب ترشح این آنزیم‌ها به داخل خون می‌شود (Suárez et al. 2015). در مطالعه حاضر، در تیمارهای تغذیه شده با آنتی‌اکسیدان، فعالیت آنزیم AST به‌طور معنی‌دار کمتر از شاهد بود. همچنین، مقادیر ALT و ALP در گروه شاهد با تیمار ۲ تفاوت معنی‌دار نداشت. بنابراین، سطوح متوسط این مکمل‌ها بر وضعیت سلامت ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان اثرات مثبت دارد. Liu و همکاران (۲۰۱۸) با بررسی هشت سطح استفاده از سلنیوم در جیره غذایی ماهی‌آمو

رشد بچه ماهیان قزل‌آلای رنگین‌کمان در دو سطح تراکم ۴۰۰ و ۸۰۰ قطعه در مترمربع بررسی شد. نتایج نشان داد که سطح ویتامین C جیره غذایی اثر معنی‌داری بر روی شاخص‌های رشد و همچنین، میزان هماتوکریت، هموگلوبین و تعداد گلبول قرمز داشته است (رحیمی و همکاران، ۱۳۹۱).

ترکیبات و اجزای اصلی تشکیل دهنده گوشت ماهی شامل رطوبت، پروتئین، چربی و خاکستر است و میزان این ترکیبات، به عوامل متعددی مانند نوع و ترکیب جیره غذایی، شرایط نگهداری و گونه ماهی بستگی دارد (Safarpour Amlashi et al. 2011). نانوسلنیوم در ذرات نانو با قطر ۲۰ و ۶۰ نانومتر و شکل بی‌قاعده قرمز رنگ بر اساس فناوری نانو از عنصر معدنی سلنیوم ساخته شده است که سمیت کمتر و تأثیر بیوشیمیایی بیشتری نسبت به سلنیوم دارد. Baidya و Shivananda (۲۰۱۵) کارایی رشد و ترکیبات بیوشیمیایی ماهی روهو (*Labeo rohita*) تغذیه شده با مکمل سلنیوم ارگانیک به میزان صفر، ۱، ۲ و ۳ گرم بر کیلوگرم به مدت ۸ هفته را ارزیابی کردند. بر اساس نتایج، تفاوت معنی‌دار آماری در شاخص‌های رشد و همچنین ترکیبات بیوشیمیایی بدن وجود نداشت. همچنین، در مطالعه‌ای افزودن ویتامین E به جیره غذایی بچه ماهیان قزل‌آلای رنگین‌کمان تأثیری بر افزایش رشد، کاهش ضریب تبدیل غذایی و ترکیبات لاشه ماهیان نداشت (فضایی و همکاران، ۱۳۹۱)، در حالی که در تحقیقی دیگر به‌کارگیری مجزای ۱۵۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم ویتامین C و ۳۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم ویتامین E در جیره غذایی باعث بهبود وضعیت ایمنی بچه ماهیان قزل‌آلای در برابر استرس ناشی از تراکم پرورش شد (فضایی و همکاران، ۱۳۹۵). در این دو گزارش، با وجود متفاوت بودن مدل آزمایش، به‌طور کلی مکمل سلنیوم در جیره غذایی ماهی روهو و ویتامین E در جیره قزل‌آلای رنگین‌کمان بر ترکیبات لاشه اثر مثبت معنی‌دار نداشت که با نتایج مطالعه حاضر همسو بود. در تحقیقی، میزان پروتئین لاشه در بچه کپورماهیان تغذیه شده با ویتامین E در سطوح ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم روند افزایشی را نسبت به گروه شاهد نشان داد که البته معنی‌دار نبود. افزایش مقدار پروتئین لاشه نشان دهنده راندمان مناسب تغذیه و همچنین، بالا بودن بازده پروتئین، ابقای پروتئین

رشد و پاسخ به استرس دمایی در بچه ماهیان قزل‌آلای رنگین‌کمان (*Oncorhynchus mykiss*). مجله تحقیقات دامپزشکی ۶۷: ۳۸۶-۳۷۳.

سیدی، ج.، کلباسی، م.ر. ۱۳۹۶. تاثیر سطوح مختلف نانوسلنیوم جیره بر شاخص‌های رشد، کیفیت گناد و فعالیت آنتی‌اکسیدانی پلاسمای سیمنال ماهی کاراس طلایی نر (*Carassius auratus gibelio*). مجله فیزیولوژی و بیوتکنولوژی آبزیان ۵: ۸۱-۶۷.

شبرنگ هره‌دشت، م.، میرواقفی، ع. ۱۳۹۱. کاربرد فناوری‌های نانو در شیلات. ماهنامه فناوری نانو، ۱۱: ۱۳-۱۵.

علی، م.، میرواقفی، ع.ر.، پورباقر، ه.، اسدی جمنانی، ف. ۱۳۹۳. مطالعه اثر مکمل‌های ویتامین E سلنیوم و C بر فعالیت دفاع آنتی‌اکسیدانی و شاخص پراکسیداسیون لیپید قزل‌آلای رنگین‌کمان (*Oncorhynchus mykiss*) در مواجهه با غلظت تحت حاد دیازینون. نشریه پژوهش‌های ماهی‌شناسی کاربردی ۲: ۹۲-۷۵.

فضایی، ز.، سجادی، م.م.، سوری نژاد، ا. ۱۳۹۵. اثر تغذیه با جیره‌های حاوی ویتامین‌های C و E بر غلبه بر استرس ناشی از تراکم در ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان. مجله تغذیه آبزیان ۲: ۵۹-۴۹.

فضایی، ز.، سجادی، م.م.، سوری نژاد، ا.، اسعدی، ر. ۱۳۹۱. اثر پرورش در تراکم‌های مختلف و افزودن ویتامین E به جیره غذایی بر شاخص‌های رشد، بقاء و ترکیبات لاشه بچه ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان (*Oncorhynchus mykiss*). مجله بوم‌شناسی آبزیان ۲: ۵۵-۴۴.

محسنی، م.، ستوده، ا.م. ۱۳۹۱. اثر سطوح مختلف سلنیوم جیره غذایی بر روند رشد و استرس اکسیداتیو بچه فیل‌ماهی پرورشی (*Huso huso*) تغذیه شده با سطوح بالای مس. مجله علمی شیلات ایران ۲۱: ۱۱۴-۱۰۵.

(*Ctenopharyngodon idellus*) بر عملکرد رشد و فعالیت سرمی گزارش دادند که با افزایش مقدار سلنیوم در جیره غذایی، مقادیر AST و ALT سرم خون کاهش می‌یابد. استفاده از مقادیر مختلف ۱۳ (جیره پایه)، ۵۲، ۷۹، ۱۶۸ و ۳۲۶ میلی‌گرم ویتامین E در یک کیلوگرم غذای ماهی (*Channa argus* × *Channa maculata*) باعث بهبود کارایی رشد و ایمنی غیراختصاصی شد، به طوری که مقدار AST و ALT با افزایش مقادیر این ویتامین کاهش یافت (Zhao et al. 2018).

نتیجه‌گیری کلی

در سال‌های اخیر استفاده از مکمل‌های آنتی‌اکسیدانی به عنوان یک محاذت‌کننده مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته است. به‌طور کلی نتایج نشان داد که افزودن نانوسلنیوم، ویتامین E و C میکروانکپسوله در جیره غذایی ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان باعث افزایش رشد و تقویت ایمنی شد.

منابع

احمدوند، ش.، کرامت‌امیرکلایی، ع.، اورجی، ح.، احمدوند، ش. ۱۳۹۴. بررسی اثرات نانوذرات سلنیوم (Nano-Se) در مقایسه با سلنیوم آلی (Selemax) بر عملکرد شاخص‌های رشد کپور معمولی (*Cyprinus carpio*). فصلنامه محیط زیست جانوری ۷: ۱۹۶-۱۸۹.

دسترنج، ع.، خزایی، م.، کاظمی، م.، فلاح، س.، عادلی، ب. ۱۳۹۳. ارزیابی روش‌های اصلاحی برآورد رسوب معلق (مطالعه موردی: حوزه آبخیز بشار). مجله پژوهش‌های فرسایش محیطی ۴: ۵۷-۴۷.

رحیمی، م.، سوداگر، م.، اورجی، ح.، حسینی، س. ع.، تقی‌زاده، و. ۱۳۹۱. تاثیر ویتامین C بر پارامترهای خونی، and selenium, marjoram (*Origanum spp.*), and ajwain (*Trachyspermum ammi*) extracts. Journal of Applied Animal Research 46: 650-660.

AOAC., 1995. Official methods of analysis of Official Analytical Chemists International. Association of Official Analytical Chemists, Arlington, VA, USA, 1230 p.

Azad, I.S., Dayal, J.S., Poornia, M., Ali, S.A. 2007. Supra dietary level of vitamins C and

Ai, Q.H., Mai, K.S., Zhang, C.X., Xu, W., Duan, Q.Y., Tan, B.P., Liufu, Z.G. 2004. Effects of dietary vitamin C on growth and immune response of Japanese Seabass (*Lateolabrax japonicas*). Aquaculture 242: 489-500.

Ali, M., Soltanian, S., Akbary, P., Gholamhosseini, A. 2018. Growth performance and lysozyme activity of rainbow trout fingerlings fed with vitamin E

- E enhance antibody production and immune memory in juvenile milkfish, *Chanos chanos* to formalin-killed *Vibrio vulnificus*. *Fish and Shellfish Immunology* 23: 154-163.
- Chen, Y.J., Yuan, R.M., Liu, Y.J., Yang, H.J., Liang, G.Y., Tian, L.X. 2015. Dietary vitamin C requirement and its effects on tissue antioxidant capacity of juvenile largemouth bass, *Micropterus salmoides*. *Aquaculture* 435: 431-436.
- Dabrowski, K. 2001. Ascorbic acid in aquatic organisms Status and Perspectives. CRC Press, Florida, US. 280 p.
- Ellis, A.E. 1990. Lysozyme assays. In: Stolen, J.S., Fletcher, T.C., Anderson, D.P., Robertson, B.S., Van Muiswinkel, publication. W.B. (eds.). *Techniques in Fish Immunology*. Fair Haven, NJ, USA: SOS, 303p.
- Gasco, L., Gai, F., Maricchiolo, G., Genovese, L., Ragonese, S., Bottari, T., Caruso, G. 2018. Supplementation of vitamins, minerals, enzymes and antioxidants in fish feeds. In: *Feeds for the Aquaculture Sector*, Springer Briefs in Molecular Science. Springer, Cham, 103.
- Genc, M.A., Aktas, M., Genc, E., Yilmaz, E. 2007. Effects of dietary mannan oligosaccharide on growth, body composition and hepatopancreas histology of *Penaeus semisulcatus*. *Aquaculture Nutrition* 13: 156-161.
- Hillton J.W., Hodson P.V., Slinger S.J. 1980. The requirement and toxicity of selenium in rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *The Journal of Nutrition* 110: 2527-2535.
- Hughes, D.A. 1999. Effects of dietary antioxidants on the immune function of middleaged adults. *Proceedings of the Nutrition Society* 58: 79-84.
- Liao, C.D., Hung, W.L., Jank, K.C., Yeh, A.I., Ho, C.T., Hwang, L.S. 2010. Nano sub-microsized lignin glycosides from sesame meal exhibit higher transport and absorption efficiency in Caco-2 cell monolayer. *Food Chemistry* 119: 896-902.
- Lim, L.C., Dhert, P., Chew, W.Y., Dermaux, V., Nelis, H. Sorgeloos, P. 2002. Enhancement of stress resistance of the guppy (*Poecilia reticulata*) through feeding with vitamin C supplement. *Journal of the World Aquaculture Society* 33: 32-40.
- Liu, L.W., Liang, X.F., Li, J., Fang, J.G., Yuan, X.C., Li, J., Alam, M.S. 2018. Effects of dietary selenium on growth performance and oxidative stress in juvenile grass carp *Ctenopharyngodon idellus*. *Aquaculture Nutrition* 24: 1296-1303.
- Liu, Q., Lanari, M.C. Schaefer, D.M. 1995. A review of dietary vitamin E supplementation for improvement of beef quality. *Journal of Animal Science* 73: 3131-3140.
- Lu, Y., Liang, X.P., Jin, M., Sun, P., Ma, H.N., Yuan, Y., Zhou, Q.C. 2016. Effects of dietary vitamin E on the growth performance, antioxidant status and innate immune response in juvenile yellow catfish (*Pelteobagrus fulvidraco*). *Aquaculture* 464: 609-617.
- Marklund, S., Marklund, G. 1974. Involvement of the superoxyde anion radical in the auto oxidation of pyrogallol and a convenient assay for superoxyde dismutase. *European Journal of Biochemistry* 47: 469-474.
- Mashaly, M.M., Hendricks, G.L., Kalama, M.A., Gehad, A.E., Abbas, A.O., Patterson, P.H. 2004. Effect of heat stress on production parameters and immune responses of commercial laying hens. *Poultry Science* 83: 889- 894.
- Mc-Dowell, L.R., 1989. *Vitamins in Animal Nutrition*. Academic Press, San Diego, 486 p.
- Moss, D.W., Henderson, A.R. 1999. Clinical enzymology. In: Burtis, C.A., Ashwood, E.R. (Eds.), *Tietz Textbook of Clinical Chemistry*, 3ed. W.B Saunders Company, Philadelphia, 617-721.
- Naderi, M., Keyvanshokoh, S., Salati, A.P., Ghaedi, A. 2017. Combined or individual effects of dietary vitamin E and selenium nanoparticles on humoral immune status and serum parameters of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) under high stocking density. *Aquaculture* 474: 40-47.
- NRC, 2011. *Nutrient Requirements of Fish and Shrimp*. National Academy Press, Washington, 392p.
- Parma, M.J., Loteste. A., Campana, M., Bacchetta, C. 2007. Changes of hematological parameters in *Prochilodus lineatus* (Pisces, Prochilodontidae) exposed to sublethal concentration of cypermethrin. *Journal of Environmental Biology* 28: 147-149.
- Rider, S., Davies, S., Jha, A., Fisher, A., Knight, J., Sweetman, J. 2009. Supra-nutritional dietary intake of selenite and selenium yeast in normal and stressed

- rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*): Implications on selenium status and health responses. *Aquaculture* 295: 282-291.
- Safarpour Amlashi, A., Falahatkar, B., Sattari, M., Tolouei Gilani, M.H. 2011. Effect of dietary vitamin E on growth, muscle composition, hematological and immunological parameters of sub-yearling beluga *Huso huso*. *Fish and Shellfish Immunology* 30: 807-814.
- Sheikhzadeh, N. 2013. Influence of dietary vegetable crops on Rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) immune system and growth performance. *Acta Scientiae Veterinariae* 41: 1109.
- Sotoudeh, E., Abedian Kenari, A., Khodabandeh, S., Khajeh, K. 2016. Combination effects of dietary EPA and DHA plus alpha-tocopherol: effects on performance and physiological status of Caspian brown trout (*Salmo trutta caspius*) fry. *Aquaculture Nutrition* 22: 1101-1115.
- Suárez, M.D., Trenzado, C.E., García-Gallego, M., Furné, M., García-Mesa, S., Domezain, A., Sanz, A. 2015. Interaction of dietary energy levels and culture density on growth performance and metabolic and oxidative status of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquacultural Engineering* 67: 59-66.
- Torres, M., Márquez, M., Sutil de Naranjo, R., de Yépez, C., Leal de García, M., Muñoz, M., Gómez, M.E. 2002. Aspectos farmacológicos relevantes de las vitaminas antioxidantes (E, A and C). *Archivos Venezolanos de Farmacología and Terapéutica* 21: 22-27.
- Trenzado, C.E., de la Higuera, M., Morales, A.E. 2007. Influence of dietary vitamins E and C and HUFA on rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) performance under crowding conditions. *Aquaculture* 263: 249-258.
- Vélez-Alavez, M., Méndez-Rodríguez, L.C., De Anda Montañez, J.A., Mejía, C.H., Galván-Magaña, F., Zenteno-Savín, T. 2014. Vitamins C and E concentrations in muscle of elasmobranch and teleost fishes. *Comparative Biochemistry and Physiology* 170A: 26-30.
- Verlhac V., Obach A., Gabaudan J., Schüep W., Hole R. 1998. Immunomodulation by dietary vitamin C and Glucan in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Fish and Shellfish Immunology* 8: 409-424.
- Wang, L., Zhang, X., Wu, L., Liu, Q., Zhang, D., Yin, J. 2018. Expression of selenoprotein genes in muscle is crucial for the growth of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed diets supplemented with selenium yeast. *Aquaculture* 492: 82-90.
- Watanabe, T., Takeuchi, T., Wada, M. 1981. Dietary lipid levels and a-tocopherol requirement of carp. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries* 47: 1585-1590.
- Xie, Z., Niu, C. 2006. Dietary ascorbic acid requirement of juvenile ayu (*Plecoglossus altivelis*). *Aquaculture Nutrition* 12: 151-156.
- Zhao, H., Ma, H.J., Gao, S.N., Chen, X.R., Chen, Y.J., Zhao, P.F., Lin, S.M. 2018. Evaluation of dietary vitamin E supplementation on growth performance and antioxidant status in hybrid snakehead (*Channa argus* × *Channa maculata*). *Aquaculture Nutrition* 24: 625-632.

Effects of different levels of microencapsulated antioxidant supplementation on growth and feed performances, body composition and some blood indices in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*

Hossein Adineh^{*1}, Mohammad Harsij¹, Mehdi Asadi¹, Ehsan Ahmadifar²

1- Department of Fisheries, Faculty of Agriculture Sciences and Natural Resources, Gonbad Kavous University, Gonbad Kavous, Golestan, Iran

2- Department of Fisheries, Faculty of Natural Resources, University of Zabol, Zabol, Sistan & Baluchistan, Iran

Received 23 April 2019; accepted 17 August 2019

Abstract

This study aimed to evaluate the effects of different levels of microencapsulated antioxidant supplementation (Nano-selenium, Vitamins E and C) on growth performance, body composition and some blood biochemical indices in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. Fish with an average weight of 9.07 ± 0.36 g were distributed into 12 tanks and divided into four experimental groups: treatment 1 (N-Se; 0.1, E; 30 and C; 100 mg/kg), treatment 2 (N-Se; 0.2, E; 60 and C; 200 mg/kg), treatment 3 (N-Se; 0.3, E; 90 and C; 300 mg/kg) and commercial diet as control. The results exhibited that the fish fed with diets containing additional microencapsulated antioxidant supplementation induced higher final growth, weight gain, the protein and lipid efficiency ratios, while had no different in feed conversion ratio. The body composition such as protein and lipid did not exhibit significant differences between the treatments. The serum lysozyme activity and superoxide dismutase enzyme were significantly elevated in fish fed with supplemented diet compared to the control. The alanine aminotransferase and alkaline phosphatase significantly increased in the three treatments whereas aspartate aminotransferase reduced in fish fed with antioxidant supplementation compared to the control. The present results indicated the beneficent effects of microencapsulated Nano Se and vitamins E and C on growth rate and immune response in rainbow trout.

Keywords: *Oncorhynchus mykiss*, Microencapsulated supplementation, Growth performance, Blood indices

Corresponding author: adineh.h@gmail.com