University of Guilan with collaboration of Iranian Aquaculture Society

Aquatic Animals Nutrition

Vol. 9, No. 3, 2023, pages: 65-80
DOI: 10.22124/janb.2023.25742.1220

RESEARCH PAPER **OPEN ACCESS**

Effects of dietary selenium nanoparticles, selenomethionine and sodium selenite on growth performance, levels of thyroid hormones and antioxidant status of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*

Fardin Shaluei[1], Somayeh Hadadi[1], Shafigh Shafiei[2], Hossein Rahimi Pordanjani[1], Mehrdad Fattollahi[1]

1- Department of Fisheries Sciences, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, Shahr-e Kord University, Shahrekord, Chaharmahal and Bakhtiari, Iran

2- Department of Health and Food Quality Control, Faculty of Veterinary Medicine, Shahrekord University, Shahr-e Kord, Chaharmahal and Bakhtiari, Iran

Received 05 June 2023 Revised 11 September 2023 Accepted 12 September 2023

KEYWORDS

Antioxidant

Growth

Selenium,

Nanoparticle

Thyroid

hormones

Oncorhynchus mykiss

ABSTRACT

Introduction:

Dietary Selenium (Se) is vital for the growth and immune system of fish. The most important action of Se biological functions comes from several specific selenoproteins, some of which are involved in thyroid hormone metabolism, while others play an antioxidant defence role. Se as a nutritional element is obtained in the aquatic environment from two main sources: feed and fertilizer. Fish species absorb dietary Se in various forms, such as organic and inorganic. It should be used in the correct dosage and anything above this can have negative consequences. As for Se in the diet of fish, there are a few different forms commonly used as inorganic, such as Na_2SeO_3 or sodium selenite. Organic forms of dietary Se also include selenomethionine (SeMet) and selenocysteine (SeCyst). This study was performed to evaluate the effect of different sources of Se on growth performance, activity of antioxidant enzymes and thyroid hormones in rainbow trout.

Materials and methods:

Organic Se (Se methionine), mineral Se (sodium selenite) and nanoselenium were added to the basal diet at a rate of 0.3 mg/kg. Basal food without Se compounds was used as a control treatment. Fish with an average weight of 29.25 ± 1.70 g were fed with experimental diets for 8 weeks. The fish were fed twice a day (at 9:00 AM and 2:00 PM) at the rate of 4% of their biomass.

Results and discussion: The results showed that selenium nanoparticles had no significant effect on growth indices compared to organic and inorganic forms ($p<0.05$). The activities of superoxide dismutase and catalase enzymes in treatments containing different forms of Se was significantly higher than in the control ($p<0.05$). The level of malondialdehyde in the liver of fish fed the diet containing sodium selenite was significantly lower than the other experimental treatments ($p<0.05$). The amount of triiodothyronine in treatments containing selenomethionine and Se nanoparticles was significantly higher than in the control group ($p<0.05$), which may be due to the stimulation of thyroid stimulating hormone. Thyroxine was not significantly different in fish fed with different forms of Se and in control ($p>0.05$).
Conclusions: In general, using organic, mineral and nanoselenium sources with a concentration of 0.3 mg/kg of diet has strengthened the antioxidant status of rainbow trout fry, and also through the metabolism of triiodothyronine, it has improved the function of the thyroid gland.

*Corresponding author: fardin.shaluei@gmail.com

دانشگاه گیلان با مشارکت انجمن آبزی‌پروری ایران

تغذیه آبزیان

سال نهم، شماره سوم، مهر ۱۴۰۲، صفحات ۸۰-۶۵

DOI: 10.22124/janb.2023.25742.1220

"مقاله پژوهشی"

اثرات نانوذرات سلنیوم، سلنومتیونین و سلنیت سدیم جیره بر شاخص‌های رشد، وضعیت ضد اکسایشی و هورمون‌های تیروئیدی ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان (*Oncorhynchus mykiss*)

فردین شالویی*[۱]، سمیه حدادی[۱]، شفیق شفیعی[۲]، حسین رحیمی پردنجانی[۱]، مهرداد فتح الهی[۱]

۱- گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، چهارمحال و بختیاری

۲- گروه بهداشت و کنترل کیفی مواد غذایی، دانشکده دامپزشکی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، چهارمحال و بختیاری

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۳/۱۵ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۶/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۶/۲۱

چکیده

این مطالعه برای ارزیابی اثر منابع مختلف سلنیوم بر شاخصهای رشد، فعالیت آنزیم‌های ضد اکسایشی و هورمون‌های تیروئیدی در ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان انجام شد. سلنیوم آلی (سلنومتیونین)، سلنیوم معدنی (سلنیت سدیم) و نانوسلنیوم هر کدام به مقدار ۰/۳ میلی‌گرم در کیلوگرم به جیره غذایی پایه اضافه شد. ماهیان با وزن متوسط ۱/۷۰ ± ۲۹/۲۵ گرم به مدت ۸ هفته با جیره‌های آزمایشی تغذیه شدند. نتایج نشان داد که نانوذره سلنیوم در مقایسه با شکل‌های آلی و معدنی بر شاخص‌های رشد تأثیر معنی‌داری نداشته است ($p>0/05$). فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز سرم در تیمارهای تغذیه شده با اشکال مختلف سلنیوم در مقایسه با شاهد به طور معنی‌دار بیشتر بود ($p<0/05$). سطح مالون دی‌آلدهید در ماهیان تغذیه شده با جیره سلنیت سدیم به‌طور معنی‌دار نسبت به دیگر تیمارها کمتر بود ($p<0/05$). میزان هورمون تری یدوتیرونین در تیمارهای سلنومتیونین و نانوذره سلنیوم در مقایسه با شاهد به‌طور معنی‌دار بیشتر بود ($p<0/05$). هورمون تیروکسین در ماهیان تغذیه شده با اشکال مختلف سلنیوم و شاهد اختلاف معنی‌دار نداشت ($p>0/05$). به طورکلی می‌توان گفت استفاده از منابع آلی، معدنی و نانوسلنیوم با غلظت ۰/۳ میلی‌گرم در کیلوگرم غذا موجب تقویت وضعیت ضد اکسایشی بچه‌ماهیان قزل‌آلای رنگین‌کمان شده و همچنین با سوخت و ساز هورمون تری‌یدوتیرونین، باعث بهبود عملکرد غده تیروئید در ماهی می‌شود.

کلمات کلیدی

آنتی‌اکسیدان

رشد

سلنیوم

نانوذره

هورمون‌های تیروئیدی

قزل‌آلای رنگین‌کمان

نویسنده مسئول: fardin.shaluei@gmail.com

مقدمه

معمولاً مواد معدنی جیره عناصر کمیابی هستند که در بسیاری از فعالیت‌های سوخت و سازی اساسی موجودات زنده نقش دارند. سلنیوم (Se) نقش مهمی در مقاومت ضد اکسایشی، تنظیم سوخت و ساز هورمون تیروئید و رشد یاخته دارد (Neamat-Allah et al. 2019). این ماده معدنی یک ریزمغذی ضروری است که برای رشد طبیعی ماهی مورد نیاز است. این عنصر یک بخش جدایی‌ناپذیر از آنزیم گلوتاتیون پراکسیداز (GP_X) است که نقش مهمی در حفاظت از غشای یاخته‌ای و آسیب اکسیداتیو ایفا می‌کند (Ribeiro et al. 2012). به همین دلیل، مقدار مناسب سلنیوم برای گونه‌های مختلف ماهی مسئله بسیار مهمی است. همچنین اثرگذاری سلنیوم در ماهی به غلظت و اشکال شیمیایی آن، اندازه و گونه ماهی و همچنین فرمول رژیم غذایی بستگی دارد (Dawood et al. 2019). بنابراین، شکلی از سلنیوم که به جیره غذایی اضافه می‌شود، بسیار مهم است (Saffari et al. 2017). سلنیوم در طبیعت در اشکال غیرآلی مانند سلنیت و سلنات و همچنین اشکال فلزی و آلی یعنی سلنومتیونین، سلنوسیستئین و سلنوسیستین وجود دارد (Küçükbay et al. 2009). شکل‌های آلی سلنیوم نسبت به شکل‌های غیرآلی، به دلیل هضم‌پذیری بیشتر، تأثیر بهتری بر سلامت موجودات دارند (Wischhusen et al. 2019).

امروزه فناوری نانو موضوعی در حال رشد است و اهداف متنوعی را در زمینه‌ی آبزی‌پروری دنبال می‌کند. مواد در اندازه‌های نانومتر، دارای خصوصیاتی از جمله سطح فعالیت بالا، سطح ویژه بالا، کارایی کاتالیزوری بالا، مراکز فعال سطحی زیاد و توانایی جذب قوی هستند (Wang et al. 2007). نانوذرات به دلیل داشتن سطح فعال زیاد به‌سرعت با دیگر مولکول‌های آلی برهمکنش دارند و لذا توان بالقوه بالاتری نسبت به اشکال معمول خود نشان می‌دهند (Neamat-Allah et al. 2019). نانوذره سلنیوم (nano-Se) شکل جدید سلنیوم است و به دلیل قابلیت جذب بالا در بدن و سمیت کم، توجه بسیاری را به خود معطوف کرده است (Shi et al. 2010; Hu et al. 2012; Rezvanfar et al. 2013; Wang et al. 2013). در این زمینه، Ashouri و همکاران (۲۰۱۵) گزارش دادند که مکمل نانوذره سلنیوم می‌تواند عملکرد رشد و دفاع ضد اکسایشی ماهی کپور معمولی (*Cyprinus arpio*) را بهبود بخشد (Ashouri et al. 2015). همچنین، مطالعات El-Basuini و همکاران (۲۰۱۷) حاکی از آن است که جیره‌های غذایی همراه با ذرات نانو توانایی جذب مواد مغذی را در روده بالا می‌برند (El Basuini et al. 2017). استفاده از نانوذره سلنیوم در جیره‌های غذایی، به دلیل هضم‌پذیری بهتر و سمیت کم، باعث بهبود واکنش ایمنی و دفاع ضد اکسایشی در ماهیان کپور معمولی (Saffari et al. 2017)، قزل‌آلای رنگین‌کمان (Kohshahi et al. 2019) و تیلاپیای نیل (*Oreochoromis niloticus*) (Neamat-Allah et al. 2019) شده است.

یکی از عمده‌ترین ماهیان پرورشی در بیشتر کارگاه‌های تکثیر و پرورش ماهیان سردابی، در نقاط مختلف جهان ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان است. خصوصیاتی که این ماهی را مورد توجه قرار داده، سازش با شرایط پرورش و سرعت رشد بالای آن است (Emadi et al. 2011). اغلب قزل‌آلاهای پرورشی ایران به دلیل نوع و کیفیت غذای مصرفی نسبت به نمونه‌های وارداتی، از رشد مطلوبی برخوردار نیستند که علت آن عموماً عدم شناخت کافی در باره نیازهای غذایی این ماهی و نامناسب بودن غذای آن است (Hosseini Kenari et al. 2011). لذا این پژوهش با هدف شناسایی نیازهای غذایی ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان به بررسی شاخص‌های رشد این ماهی پس از تغذیه با اشکال مختلف این ماده پرداخته است. همچنین به دلیل ارزیابی نقش حفاظتی نانوذره سلنیوم در مقایسه با فرم‌های آلی و معدنی، تأثیر آن بر دفاع ضد اکسایشی و هورمون‌های تیروئیدی این ماهی بررسی شد.

مواد و روش‌ها

تهیه و ذخیره‌سازی ماهی

تعداد ۱۲۰ قطعه بچه ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان با میانگین وزن اولیه ۱/۷۰ ± ۲۹/۲۵ گرم از یکی از مزارع تکثیر و پرورش ماهیان سردآبی در استان چهارمحال و بختیاری خریداری و پس از انتقال به مرکز آبزی‌پروری دانشگاه شهرکرد به مدت ۱۴ روز برای سازگاری با شرایط آزمایشگاهی نگهداری شدند. آب مخازن از آب شهری پس از ریخته شدن در مخازن نگهداری آب و کلرزدایی تأمین شد. در طی دوره پرورش میزان دما، اکسیژن و pH به‌صورت روزانه و هدایت‌الکتریکی و سختی به‌صورت هفتگی توسط دستگاه مولتی‌پارامتر HQ40D شرکت HACH آمریکا اندازه‌گیری و اطلاعات آن‌ها ثبت شد (جدول ۱). دوره نوری کنترل‌شده و به صورت ۱۲ ساعت

روشنایی و ۱۲ ساعت تاریکی بود. این آزمایش در قالب ۴ تیمار آزمایشی با ۳ تکرار و درون مخازن گرد ۳۰۰ لیتری انجام شد. هر تیمار آزمایشی شامل ۳۰ قطعه ماهی قزل-آلای رنگین‌کمان با تراکم ۱۰ عدد در هر مخزن بود که به مدت ۶۰ روز پرورش داده شدند. فضولات ماهی روزانه با استفاده از سیفون از مخازن خارج شده و روزانه ۳۰٪ آب هر مخزن نیز تعویض می‌شد. میزان مرگ و میر به صورت روزانه ثبت می‌شد.

تیمارهای غذایی

غذای پایه در این تحقیق بر اساس نیاز غذایی ماهی قزل-آلای رنگین‌کمان و مخلوط مواد معدنی فاقد ترکیبات سلنیوم تنظیم شد (جدول ۲ و ۳). میزان ۱۰ گرم نانوذره سلنیوم با قطر ۳۰ نانومتر از شرکت IR Nanomaterials pioneers تهیه و خریداری شد. از اشکال مختلف سلنیوم (نانوذره سلنیوم، سدیم سلنیت و سلنومتیونین) توصیه شده برای ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان به میزان ۰/۳ میلی‌گرم در کیلوگرم غذا استفاده شد (Nazariet al. 2017). غذای پایه و فاقد ترکیبات سلنیوم به‌عنوان تیمار شاهد استفاده شد. میزان غذادهی ماهیان روزانه ۲ بار (ساعت ۹ صبح و ۲ بعداز ظهر) و به میزان ۴٪ وزن بدن بود.

ساخت جیره‌های تغذیه‌ای آزمایشی

مطابق با نیازهای غذایی ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان، جیره غذایی همراه با مخلوط مواد معدنی بدون ترکیبات سلنیوم تهیه شد. ابتدا مواد و ترکیبات اولیه برای ساخت جیره غذایی تهیه و پس از فراهم کردن وسایل و مواد موردنیاز، اقدام به ساخت خوراک به صورت دستی شد. به این منظور مواد خام غذایی به نسبت‌های مختلف با استفاده از ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۱ گرم وزن شد و پس از مخلوط کردن آنها با هم، کاملاً به صورت همگن درآمدند. در مرحله بعد ترکیبات سلنیت سدیم (شکل معدنی)، سلنومتیونین (شکل آلی) و نانوذره سلنیوم تهیه شده با ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ گرم (AND مدل EJ-303 ساخت ژاپن) با توجه به تیمارهای آزمایشی توزین و با جیره غذایی به خوبی مخلوط شد. در پایان، مخلوط خمیری‌شکل به‌دست آمده از چرخ‌گوشت عبور داده شد تا خوراک موردنظر به حالت پلت (با قطر ۳ میلی‌متر) درآید. خوراک پلت تهیه شده به مدت ۴۸ ساعت در جریان معمولی هوا خشک شد. بعد از خشک شدن، جیره‌های غذایی در ظروف مخصوص در دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند تا در زمان لازم استفاده شوند. ترکیب شیمیایی جیره پایه در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول ۱ خصوصیات فیزیکوشیمیایی آب مخازن پرورش (میانگین ± خطای استاندارد) ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان

Table 1 Physicochemical properties of water in rearing tanks (mean ± standard error) of rainbow trout

Parameter	Temperature (°C)	Dissolved oxygen (mg/L)	pH	(µS/cm) Ec	Hardness (mg/L)
amount	17 ± 1	7	7.2	1200	150

جدول ۲ فرمولبندی جیره پایه

Table 2 Basic diet formulation

Different components of the diet	(g/kg)
Kilka fish powder	350
Koli fish powder	250
Soy flour	75
Wheat flour	184
Soybean oil	60
Fish oil	30
Wheat gluten	25
Gelatin	10
A mixture of vitamins and minerals	16

جدول ۳ تجزیه تقریبی جیره غذایی پایه مورد استفاده در آزمایش (برحسب مقدار ماده خشک)

Table 3 Proximate analysis of the basic diet used in the experiment (according to the amount of dry matter)

Basic diet	
Chemical composition of feed	amount
Dry matter	920.46 ± 10.05
Crude protein	490.83 ± 10.15
Crude fat	160.38 ± 10.17
Fiber	20.34 ± 3.60
Ash	110.68 ± 5.60
NFE	120.35 ± 20.44
Gross energy (MJ/kg)	20.30 ± 0.04

سنجش شاخص‌های رشد

در پایان دوره تغذیه، شاخص‌های رشد شامل بقا (SR)، افزایش وزن بدن (BWG)، نرخ رشد ویژه (SGR)، ضریب تبدیل خوراک (FCR)، مطابق با مطالعات Wang و همکاران (۲۰۱۵) و Dimitroglou و همکاران (۲۰۱۰) محاسبه شد. قبل از نمونه‌برداری، ماهی‌ها با استفاده از عصاره گل میخک (۱۵۰ ppm) بی‌هوش شدند. درازا و وزن ماهی‌های گروه‌های آزمایشی مختلف در پایان هفته هشتم آزمایش، اندازه‌گیری شد. شاخص‌های رشد با توجه به فرمول‌های زیر محاسبه شد:

$$FCR = \frac{\text{غذای داده شده}}{\text{وزن اکتسابی}}$$

$$SGR\ (\%/day) = \frac{(\ln w2 - \ln w1)}{\text{طول دوره آزمایش (روز)}} \times 100$$

$$BWG\ (\%) = \frac{W2 - W1}{W1} \times 100$$

$$SR\ (\%) = \frac{\text{تعداد کل ماهی زنده}}{\text{کل ماهی ها}} \times 100$$

آنزیم‌های ضد اکسایشی

برای کاهش استرس ماهیان یک روز قبل از نمونه‌برداری، غذادهی قطع شد. از هر تیمار آزمایشی ۹ قطعه ماهی با استفاده از عصاره گل میخک بی‌هوش، و خون‌گیری مطابق با روش‌های استاندارد از باله دمی آنها انجام شد. برای سنجش آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی سرم، بخشی از نمونه‌های خون در میکروتیوب‌های ۲ میلی لیتری ریخته شد و پس از سانتریفیوژ با دور ۶۰۰۰ دور بر ثانیه به مدت ۱۵ دقیقه، سرم آنها توسط سمپلر جدا و در میکروتیوب‌های جدید ریخته شد. مقداری نمونه خون نیز به میکروتیوب‌های حاوی ماده ضدانعقاد برای استحصال پلاسما و سنجش هورمون‌های تیروئیدی، افزوده شد. نمونه‌ها تا آزمایش‌های بعدی در فریزر ۸۰- درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند.

به‌طور خلاصه روش آنزیمی گزانتین برای سنجش آنزیم سوپراکسیددیسموتاز استفاده شد. در این روش، از گزانتین و گزانتین اکسیداز برای تولید رادیکال‌های آزاد سوپراکسیداز استفاده شد. به این ترتیب کاهش جذب نوری نمونه‌ها در دستگاه اسپکتروفتومتر (HACH مدل DR 6000 ساخت کشور آلمان) با طول‌موج ۵۴۵ نانومتر ارزیابی شد. در نهایت، یک واحد SOD باعث مهار ۵۰٪ از سرعت احیاء INT در شرایط آزمایش شد. مقدار آنزیم در خون به صورت واحد میکرومول بر لیتر بیان شد (Peglia and Valentine, 1976).

برای سنجش آنزیم کاتالاز سرم از روش Goth (۱۹۹۱) استفاده شد. به این منظور از مخلوط کردن ۱۳/۲ میلی‌مول آب اکسیژنه (H_2O_2) در ۵۰ میکرومول بافر فسفات با pH معادل ۷ و ۱۰۰ میکرولیتر هموژنات استفاده شد. سپس میزان جذب آن در طول موج ۲۴۰ نانومتر قرائت شد. افزایش هیدروژن پراکساید در سرم موجب افزایش سطح این آنزیم در سرم خون شده و هرچه مقادیر هیدروژن پراکساید در سرم کمتر باشد، میزان فعالیت این آنزیم کاهش خواهد یافت.

غلظت مالون دی‌آلدهید نیز که به‌عنوان مواد واکنش‌دهنده با اسیدتیوباربیتوریک شناخته می‌شود، با استفاده از روش

Buege و Aust (۱۹۸۷) به‌صورت رنگ‌سنجی اندازه‌گیری شد. مالون‌دی‌آلدئید به‌عنوان محصول پراکسیداسیون لیپیدی شناخته شده که با اسید تیوباربیتوریک واکنش نشان داده تا رنگ قرمز جذب شده در ۵۳۵ نانومتر داشته باشد.

هورمون‌های تیروئیدی

پس از خون‌گیری و جدا کردن پلاسما، سنجش سطوح هورمون‌های تیروئیدی T_3 و T_4 پلاسما، به روش الایزا، با استفاده از دستگاه الایزاریدر DS DYNEX 2 تمام اتوماتیک و کیت‌های تجاری (شرکت پادتن گستر ایثار) اندازه‌گیری شد.

تجزیه و تحلیل آماری

مقادیر مربوط به فراسنجه‌های مختلف به‌صورت میانگین داده‌ها ± انحراف معیار بیان شدند. در ابتدا شرط نرمال بودن داده‌ها با آزمون آماری کولموگروف-اسمیرنوف و همگنی واریانس‌ها با آزمون Levene سنجیده شد و در صورت نیاز، داده‌ها به توزیع نرمال تبدیل شدند. داده‌ها با استفاده از آزمون تجزیه واریانس یک‌طرفه (ANOVA) و در ادامه آزمون دانکن برای مقایسه میانگین افراد تیمارهای آزمایشی با سطح اطمینان ۹۵٪ ($p<۰/۰۵$) در نرم‌افزار SPSS19 استفاده شد.

نتایج

شاخص‌های رشد

عملکرد رشد ماهی‌های قزل‌آلای تغذیه‌شده با جیره‌های غذایی حاوی منابع مختلف سلنیوم در جدول ۴ ارائه شده است. نتایج حاصل از این بخش، گویای آن است که فرم‌های مختلف سلنیوم بر شاخص‌های رشد از جمله وزن نهایی (W2)، وزن کسب‌شده (WG)، نرخ رشد ویژه (SGR)، نرخ رشد روزانه (DGR)، ضریب تبدیل غذایی (FCR)، شاخص وضعیت (CF) و بازماندگی (SR) تأثیرگذار نبوده است ($p>۰/۰۵$).

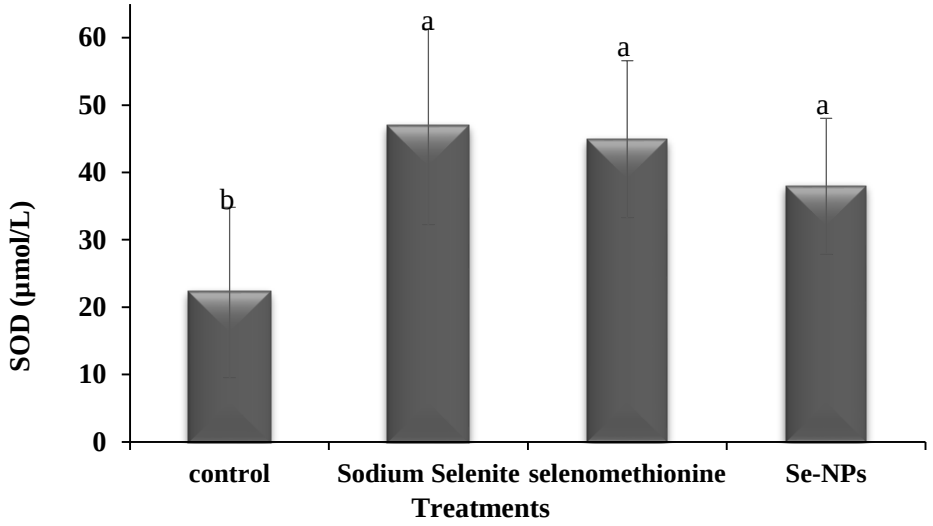
جدول ۴ عملکرد رشد و بقای ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان تغذیه‌شده با شکل‌های مختلف سلنیوم (میانگین ± انحراف معیار)

Table 4 Growth performance and survival of rainbow trout fed with different forms of selenium (mean ± standard deviation)

Treatment	Control	Sodium selenite	Selenomethionine	Selenium nanoparticle
W1 (g)	29.25 ± 1.70	28.44 ± 1.90	29.11± 1.22	28.77 ± 2.10
W2 (g)	68.97 ± 11.11	71.89 ± 10.90	10.19 ± 71.26	68.84 ± 10.03
WG (g)	40.37 ± 11.19	41.62 ± 10.90	42.10 ± 10.19	39.83 ± 10.03
DGR (g)	0.80 ± 0.22	0.83 ± 0.21	0.84 ± 0.20	0.79 ± 0.20
SGR (%/day)	1.73 ± 0.33	1.70 ± 0.32	1.76 ± 0.29	1.71 ± 0.30
FCR	0.79 ± 0.27	0.80 ± 0.35	0.73 ± 0.20	0.85 ± 0.28
CF	1.06 ± 0.14	1.06 ±0/13	1.08 ± 0.17	1.03 ± 0.14
SR (%)	94.44 ± 4.81	100.00 ± 0.00	100.00 ± 0.00	94.34 ± 5.62

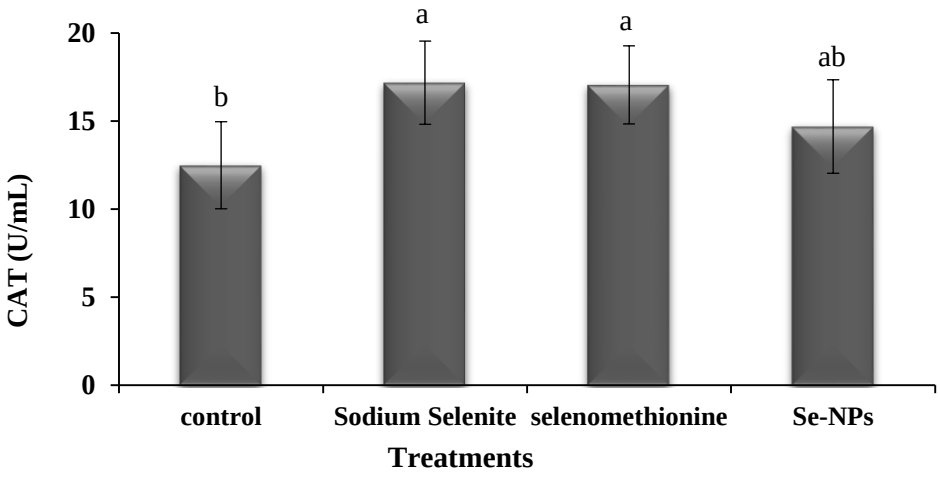
آنزیم‌های ضد اکسایشی

تأثیر منابع مختلف سلنیوم در جیره غذایی بر استرس اکسیداتیو و پاسخ‌های ضد اکسایشی قزل‌آلای رنگین‌کمان در شکل‌های ۱ تا ۳ ارائه شده است. براساس نتایج، میزان سوپراکسیددیسموتاز در تیمارهای آزمایشی حاوی اشکال مختلف سلنیوم در مقایسه با ماهیان گروه شاهد به طور معنی دار بیشتر بود ($p<۰/۰۵$)، درحالی‌که بین خود این تیمارهای آزمایشی (حاوی سلنیوم) با یکدیگر تفاوت چشم‌گیری دیده نشد ($p>۰/۰۵$). همچنین فعالیت کاتالاز در ماهیان قزل‌آلای تغذیه شده با جیره‌های حاوی سلنیت سدیم (فرم معدنی) و سلنومتیونین (فرم آلی) نسبت به ماهیانی که با جیره معمولی (شاهد) تغذیه شده بودند، به‌طور معنی‌دار بیشتر بود ($p<۰/۰۵$)، اما بین گروه تغذیه شده با جیره حاوی نانوذره سلنیوم با دیگر تیمارهای آزمایشی و همچنین گروه شاهد اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد ($p>۰/۰۵$). میزان مالون دی‌آلدهید در ماهیان گروه تغذیه شده با جیره حاوی سلنیت سدیم به‌طور قابل‌توجهی نسبت به دیگر تیمارهای آزمایشی و تیمار شاهد کمتر بود ($p<۰/۰۵$).



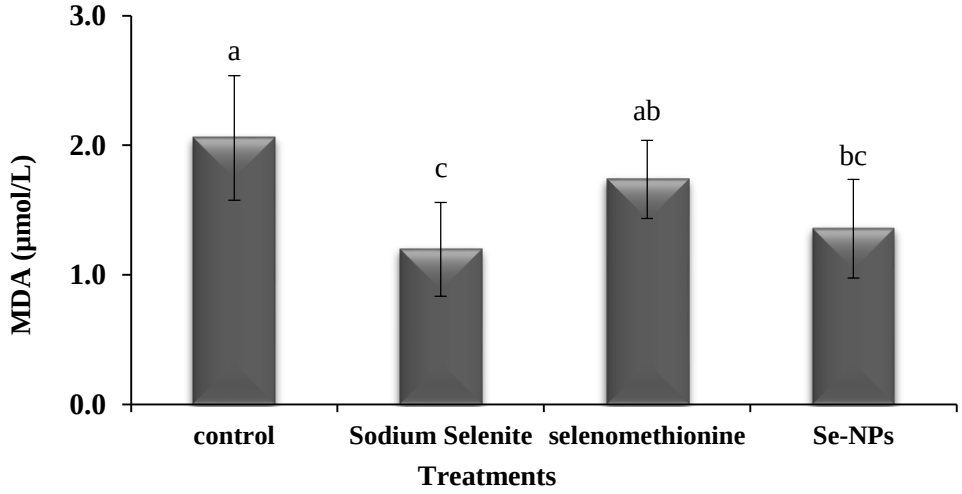
شکل ۱ میانگین فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز (SOD) اندازه‌گیری شده در ماهیان تغذیه شده با شکل‌های مختلف سلنیوم (حروف غیرمشابه نشانه وجود اختلاف معنی‌دار بین تیمارهای آزمایشی است)

Figure 1 The average activity of superoxide dismutase enzyme measured in fish fed with different forms of selenium (different letters indicate significant differences between experimental treatments).



شکل ۲ میانگین فعالیت آنزیم کاتالاز (CAT) اندازه‌گیری شده در ماهیان تغذیه شده با شکل‌های مختلف سلنیوم (حروف غیرمشابه نشانه وجود اختلاف معنی‌دار بین تیمارهای آزمایشی است)

Figure 2 The average activity of catalase enzyme measured in fish fed with different forms of selenium (different letters indicate significant differences between experimental treatments).

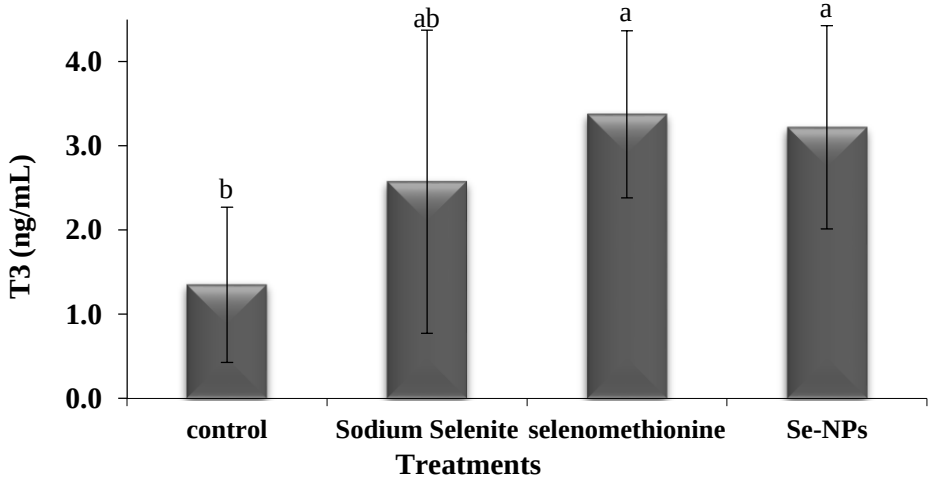


شکل ۳ میانگین مقدار مالون دی‌آلدهید (MDA) اندازه‌گیری شده در ماهیان تغذیه شده با شکل‌های مختلف سلنیوم (حروف غیرمشابه نشانه وجود اختلاف معنی‌دار بین تیمارهای آزمایشی است)

Figure 3 The average level of MDA measured in fish fed with different forms of selenium (different letters indicate significant differences between experimental treatments).

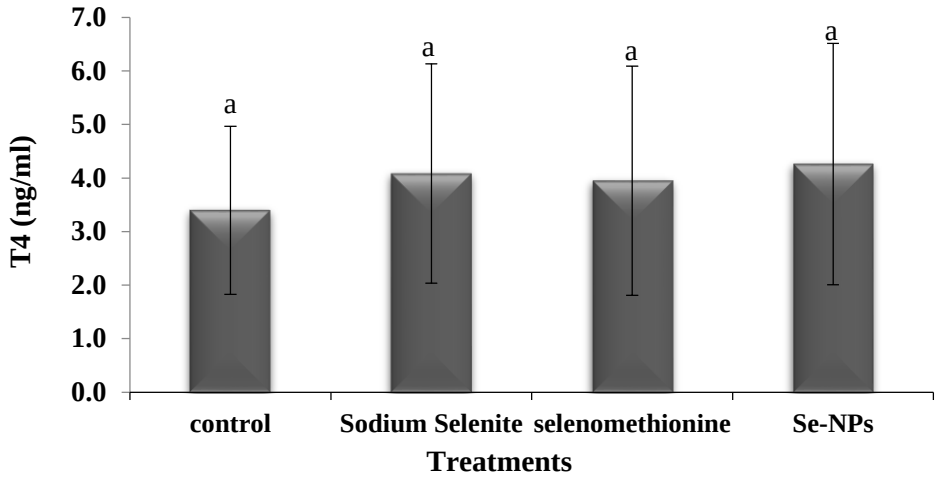
هورمون‌های تیروئیدی

در شکل‌های ۴ و ۵ تأثیر شکل‌های مختلف سلنیوم در جیره غذایی بر مقدار آنزیم‌های تیروئیدی قابل مشاهده است. بر اساس نتایج به‌دست آمده، مقدار هورمون تری یدوتیرونین در تیمارهای حاوی سلنومتیونین و نانوذره سلنیوم در مقایسه با گروه شاهد به‌طور معنی‌دار بیشتر بوده و تیمار شاهد کمترین میزان این هورمون را به خود اختصاص داده بود ($p<۰/۰۵$). البته بین دیگر تیمارهای آزمایشی از نظر این هورمون اختلاف معنی‌داری دیده نشد ($p>۰/۰۵$؛ شکل ۴). در مورد مقدار هورمون تیروکسین، در ماهیان قزل‌آلای رنگین‌کمان تغذیه شده با فرم‌های مختلف سلنیوم و تیمار شاهد تفاوت چشم‌گیری دیده نشد ($p>۰/۰۵$؛ شکل ۵).



شکل ۱ میانگین مقدار هورمون تری‌یدوتیرونین (T3) اندازه‌گیری شده در ماهیان قزل‌آلای رنگین‌کمان تغذیه شده با شکل های مختلف سلنیوم (حروف غیرمشابه نشانه وجود اختلاف معنی‌دار بین تیمارهای آزمایشی است)

Figure 4 The average amount of triiodothyronine hormone measured in rainbow trout fed with different forms of selenium (different letters indicate significant differences between experimental treatments).



شکل ۲ میانگین مقدار هورمون تیروکسین اندازه‌گیری شده در ماهیان قزل‌آلای رنگین‌کمان تغذیه شده با شکل‌های مختلف سلنیوم

Figure 5 The average amount of thyroxine hormone measured in rainbow trout fed with different forms of selenium.

بحث

سلنیوم یک عنصر کمیاب ضروری برای ماهی و رشد بسیاری از گونه‌هاست که تحت تأثیر رژیم غذایی قرار دارد (Zhou et al. 2009; Le and Fotedar, 2014; Lin, 2014). محققان متعدد تأثیر منابع سلنیوم آلی و معدنی را بر گونه‌های مختلف ماهی بررسی کردند (Gaber, 2009; Elia et al. 2011). در مطالعه حاضر، اثرات منابع مختلف سلنیوم ازجمله سلنیوم آلی (سلنومتیونین)، سلنیوم معدنی (سلنیت سدیم) و نانو سلنیوم روی قزل‌آلای رنگین‌کمان بررسی شد. از نظر عملکرد رشد، تفاوتی بین گروه‌های تغذیه شده با جیره‌های حاوی شکل‌های مختلف سلنیوم دیده نشد. برخلاف نتایج مطالعه حاضر، Saffari و همکاران (۲۰۱۷) در مطالعه‌ای مشابه روی کپور معمولی گزارش کردند که گروه‌هایی که از جیره‌های غذایی با نانو سلنیوم و سلنومتیونین تغذیه شده بودند، بالاترین نرخ رشد ویژه را در مقایسه با دیگر گروه‌های آزمایشی نشان دادند. ایشان بر اساس یافته‌هایشان بیان کردند که شکل‌های نانو سلنیوم و سلنومتیونین، قابلیت دسترسی زیستی بیشتری برای کپور معمولی دارند و لذا برای بهبود عملکرد رشد، افزودن آن به جیره غذایی ماهی کپور معمولی را توصیه کردند (Saffari et al. 2017). علاوه بر این، Zhou و همکاران (۲۰۰۹) نیز نشان دادند که نانوذره سلنیوم و سلنومتیونین همراه با جیره غذایی پایه می‌تواند باعث بهبود عملکرد رشد در ماهی کاراس (*Carassius auratus gibelio*) شود (Zhou et al. 2009). در مطالعه دیگر، افزودن ۰/۷ میلی‌گرم در کیلوگرم سلنومتیونین به جیره غذایی ماهی هامور مالاباری (*Epinephelus malabaricus*) بیشترین افزایش وزن و کارآیی تغذیه را نسبت به گروه شاهد نشان دادند (Lin and Shiau, 2005). با وجود این، Lin (۲۰۱۴) اثر سلنیوم آلی و معدنی بر ماهی هامور مالاباری را یکسان گزارش داد (Lin, 2014). از سوی دیگر، در مطالعه Kucukabay و همکاران (۲۰۰۹)، افزودن هر سطح یا منبع از سلنیوم به جیره‌های کاربردی، هیچ تأثیر مهمی در افزایش رشد قزل‌آلای رنگین‌کمان با تراکم کم (kg/m^2 ۲۵۰) نداشت (Küçükbay et al. 2009). همچنین Zhu و همکاران (۲۰۱۷) عنوان کردند که مکمل سلنیوم جیره غذایی تأثیر قابل‌توجهی بر ضریب رشد حرارتی و راندمان خوراک ندارد (Zhu et al. 2017) که مطابق با نتایج این تحقیق است و احتمالاً به این دلیل است که سطح در نظر گرفته شده برای اشکال مختلف سلنیم مؤثر نبوده است، زیرا نیاز به سلنیوم در گونه‌های ماهیان متفاوت است. از سوی دیگر، میزان نیازمندی و سمیت سلنیوم خیلی به هم نزدیک است و ماهیان سردآبی نسبت به سمیت سلنیوم از ماهیان گرمابی حساس‌تر هستند و حتی ممکن است اثر کاهشی بر میزان رشد و بقای آنها داشته باشد. یکی دیگر از دلایل احتمالی عدم تأثیر بر شاخص‌های رشد در این مطالعه ممکن است به سبب تعامل بین سلنیوم و ویتامین E جیره غذایی باشد که بر نیازمندی سلنیوم در ماهی اثر می‌گذارد (Ahmadvand et al. 2015).

تحت استرس اکسیداتیو ناشی از گونه‌های اکسیژن واکنش‌پذیر (ROS)، دستگاه‌های دفاعی ضد اکسایشی از جمله آنزیم‌های سوپراکسیددیسموتاز، کاتالاز و گلوتاتیون پراکسیداز برای مهار ROS ضروری هستند (Atencio et al. 2009). نقش آنزیم سوپراکسیددیسموتاز از بین بردن آنیون سوپراکسید و تبدیل آن به پراکسید هیدروژن است که سپس توسط آنزیم‌های کاتالاز و گلوتاتیون پراکسیداز به‌عنوان سوبسترا استفاده می‌شود. مهم‌ترین عملکرد زیستی سلنیوم، فعالیت ضد اکسایشی آن است که باعث تشکیل سلنوسیستئین می‌شود که بخشی از مرکز فعال گلوتاتیون پراکسیداز است (Köhrle et al. 2000). نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که میزان فعالیت سوپراکسیددیسموتاز و کاتالاز در ماهیان قزل‌آلایی که با جیره‌های حاوی شکل‌های مختلف سلنیوم تغذیه شده بودند، تفاوت چشم‌گیری ندارد، اما مقدار آن در تیمارهای آزمایشی نسبت به گروه شاهد بالاتر بود. سوپراکسید دیسموتاز از آنزیم‌های کلیدی دستگاه دفاعی ضد اکسایشی است. مقدار این آنزیم در تیمارهای آزمایشی نسبت به گروه شاهد افزایش معنی‌دار نشان داد و با این‌که بین تیمارهای آزمایشی اختلاف معنی‌داری دیده نشد، اما روند آن در گروه نانوذرات نسبت به دو گروه دیگر کاهشی بود. با توجه به این‌که کبد اولین اندام مهم برای جذب و سوخت و ساز مواد شیمیایی و سموم است، کاهش فعالیت سوپراکسیددیسموتاز ناشی از تشکیل رادیکال‌های فعال اکسیژن است، اما افزایش یکنواخت و معنی‌دار آن در گروه‌های آزمایشی نسبت به گروه شاهد، نشان می‌دهد که سوپراکسیددیسموتاز ظرفیت سم‌زدایی خود را بالا برده و از این طریق رادیکال‌های سوپراکسید را به پراکسید هیدروژن تبدیل می‌کند که خاصیت ضد اکسایشی کمتری دارد.

Saffari و همکاران (۲۰۱۷) بالاترین فعالیت سوپراکسیددیسموتاز، کاتالاز و گلوتاتیون پراکسیداز را در ماهیان تغذیه شده با جیره غذایی نانوسلنیوم مشاهده کردند و نتیجه گرفتند که نانوسلنیوم نسبت به سلنومتیونین و سلنیت در تقویت توانایی دفاعی ضد اکسایشی کپور معمولی مؤثرتر است (Saffari et al. 2017). مشابه نتایج ایشان، Ashouri و همکاران (۲۰۱۵) بالاترین فعالیت سوپراکسیددیسموتاز، کاتالاز و گلوتاتیون پراکسیداز را در ماهیان کپور تغذیه شده با ۲ میلی‌گرم نانوسلنیوم بر کیلوگرم گزارش کردند، اما Zhou و همکاران (۲۰۰۹) اثر نانوذرات سلنیوم و سلنومتیونین را بر ماهی کاراس مقایسه کردند و تفاوت معنی‌داری در فعالیت‌های آنزیم‌های ضد اکسایشی هم در پلاسما و هم در کبد بین دو گروه مشاهده نکردند. اگرچه گزارش شده است که فرم آلی سلنیوم در مقایسه با فرم معدنی در افزایش فعالیت آنزیم‌های ضد اکسایشی برای گربه‌ماهی کانالی (*Ictalurus punctatus*) (Wang and Lovell, 1997)، کپور معمولی (*Cyprinus carpio*) (Jovanovic et al. 1997) و ماهی کاراس (Wang et al. 2007) مؤثرتر است، اما این موضوع با نتایج به‌دست آمده برای دیگر گونه‌های ماهی در تناقض است. برای مثال، Cotter و همکاران (۲۰۰۸) نشان دادند که افزودن ۰/۴ میلی‌گرم در کیلوگرم سلنیت در جیره غذایی باس راه‌راه هیبریدی، فعالیت بالاتر دستگاه ضد اکسایشی را در مقایسه با سلنیوم-مخمر به‌همراه دارد. مطالعه دیگری در مورد عنبرماهی دم‌زرد نشان داد که هیچ تفاوتی در فعالیت ضد اکسایشی ماهیانی که از جیره‌های غذایی حاوی سلنیوم از سلنیت، سلنوسیستین، سلنومتیونین یا سلنیوم-مخمر به مدت ۶ هفته تغذیه شدند، وجود ندارد (Le and Fotedar, 2014).

بر اساس داده‌های این مطالعه، سطح فعالیت مالون-دی‌آلدهید در گروه‌های آزمایشی که از سلنیت سدیم و نانوسلنیوم تغذیه کرده بودند، در مقایسه با گروه شاهد به‌طور معنی‌دار کاهش یافت. این امر نشان می‌دهد که وجود سلنیم در جیره غذایی از استرس اکسیداتیو بافت چربی جلوگیری می‌کند. به‌طور مشابه، Küçükbay و همکاران (۲۰۰۹) گزارش کردند که غلظت مالون‌دی‌آلدهید سرم و عضله در قزل‌آلای رنگین‌کمان به‌عنوان یک اثر از منابع مختلف مکمل سلنیوم (سلنیت سدیم و سلنومتیونین) کاهش می‌یابد. Ashouri و همکاران (۲۰۱۵) نیز کاهش میزان مالون‌دی‌آلدهید را در ماهیانی که از جیره غذایی حاوی ۲ میلی‌گرم در کیلوگرم نانوسلنیوم تغذیه کرده بودند، مشاهده کردند. کاهش مالون‌دی‌آلدهید نشان دهنده فعال شدن دستگاه دفاعی ضد اکسایشی و غلبه بر پراکسیداسیون چربی و افزایش سطح آن نشان‌دهنده اختلال در مکانیسم‌های دفاعی آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی و غیرآنزیمی است (Ashouri et al. 2015).

ثابت شده است که سلنیوم و به‌خصوص شکل آلی آن برای عملکرد ضد اکسایشی و سوخت و ساز هورمون‌های تیروئیدی انسان (Contempré et al. 1992; Sher, 2001; Goriniet al. 2021) و عملکرد تیروئید

حیوانات (Arthur, 1991) ضروری است. طبق نتایج Köhrle و Gartner (۲۰۰۹)، سلنیوم یکی از ترکیبات مهم سازنده آنزیم دی‌یدیناز است که برای عملکرد صحیح هورمون‌های تیروئید ضروری است و از نظر زیستی در تبدیل T_4 به T_3 (فرم فعال هورمون تیروئید) نقش دارد. در مطالعه حاضر، گروه‌های آزمایشی از نظر میزان هورمون T_4 تفاوت قابل‌ملاحظه‌ای با یکدیگر نداشتند، اما میزان فعالیت هورمون T_3 در گروه‌های تغذیه شده با فرم نانوذره سلنیوم و همچنین سلنومتیونین نسبت به گروه شاهد بیشتر بود که ممکن است به دلیل تحریک هورمون محرک تیروئید (TSH) باشد. این یافته‌ها مطابق با پژوهش‌های دیگر محققان بر روی ماهی کپور علفخوار (*Ctenopharyngodon idella*) تغذیه شده با سلنیم (Ma et al. 2021) و نوزادان سه روزه ماهی شانک زردباله (*Acanthopagrus arabicus*) حاصل از ماهیان مولد ماده تغذیه شده با نانوسلنیم است. آنها بیان کردند که T_3 در ماهی‌ها عمدتاً توسط عملکرد آنزیمی دی‌یودینازهای نوع I و II ساخته می‌شود و تولید تیروئیدی آن ناچیز است. هنگامی که تولید T_4 کاهش می‌یابد، مقدار T_3 باید از طریق افزایش فعالیت دی-یودینازهای نوع I و II حفظ شود. بنابراین، سطح بالاتر T_3 احتمالاً ناشی از فعالیت زیاد دی‌یودینازها در تبدیل T_4 به T_3 است (Izadpanah et al. 2022). در مطالعات مختلف دیگر نیز افزودن سلنیم به جیره گوسفندان تنظیم هموستازی هورمون تیروئید را بهبود داد (Chadio et al. 2006). همچنین مقدار ۰/۵ میلی‌گرم سلنات سدیم بر کیلوگرم جیره غذایی خوک باعث بهبود سوخت و ساز هورمون‌های تیروئیدی شد (Cammack et al. 1995). در آزمایشی دیگر افزودن ۴ میلی‌لیتر محلول نانوسلنیم به جیره خرگوش با افزایش هورمون‌های T_3 و T_4 تأثیر مثبتی بر فعالیت تیروئید آن داشت (Eid et al. 2019). در طی یک آزمایش روی موش‌های تغذیه شده با سلنیم، کمبود این ماده به تنهایی منجر به افزایش هورمون تیروکسین در سرم شد و به‌صورت ترکیبی با غلظت زیاد ید، کمبود سلنیوم باعث آسیب رسیدن به بافت تیروئید شد (Hotz et al. 1997). همچنین مکمل سلنیوم با افزایش هورمون T_3 در بره‌های تازه متولد شده تا هفته هشتم پس از تولد، باعث کاهش مرگ‌ومیر در آنها شد. این امر ممکن است به علت افزایش فعالیت آنزیم های دی‌یودیناز وابسته به سلنیم باشد. به طور کلی علل تفاوت اثرات سلنیم بر هورمون‌های تیروئیدی ممکن است به دلیل سطوح سلنیم، منبع سلنیم، نژاد و سن موجود باشد (Hefnawy et al. 2014) و بنا به تحقیقات انجام شده، تأثیر مکمل سلنیوم در مراحل اولیه زندگی مهم‌تر است (Ribeiro et al. 2012).

نتیجه‌گیری کلی

به طورکلی، نتایج این تحقیق نشان داد که استفاده از منابع آلی، معدنی و نانوسلنیوم با غلظت ۰/۳ میلی‌گرم در کیلوگرم در جیره تأثیر مثبتی بر عملکرد رشد ماهی قزل-آلای رنگین‌کمان نداشته است، ولی دستگاه دفاع ضد اکسایشی و سوخت و ساز هورمون تیروئیدی تری-یدوتیرونین و در نتیجه عملکرد غده تیروئید را بهبود بخشیده است.

تشکر و قدردانی

نویسندگان این طرح تحقیقاتی از کارشناسان دانشگاه شهرکرد که در انجام آزمایش‌ها همکاری کردند، صمیمانه تشکر می‌کنند.

منابع

Ahmadvand, Sh., Keramat Amirkolaee, A.S., Oraji, H., Ahmadvand, Sh. 2015. The Effects of Dietary Selenium Nanoparticles (Nano-Se) in comparison with organic selenium (Selemax) on growth performance in the diet of Common carp, *Cyprinus carpio*. Journal of Animal Environmental 7: 183-190.

Arthur, J.R. 1991. The role of selenium in thyroid hormone metabolism. Canadian Journal of Physiology and Pharmacology 69: 1648-1652. doi: 10.1007/BF02783686.

Ashouri, S., Keyvanshokooh, S., Salati, A.P., Johari, S.A., Pasha-Zanoosi, H. 2015. Effects of different levels of dietary selenium nanoparticles on growth performance, muscle composition, blood biochemical profiles and antioxidant status of common carp (*Cyprinus carpio*). Aquaculture 446: 25-

29. doi: 10.1016/j.aquaculture.2015.04.021.

Atencio, L., Moreno, I., Jos, Á., Prieto, A.I., Moyano, R., Blanco, A., Cameán, A.M. 2009. Effects of dietary selenium on the oxidative stress and pathological changes in tilapia (*Oreochromis niloticus*) exposed to a microcystin-producing cyanobacterial water bloom. Toxicon 53: 269-282. doi: 10.1016/j.toxicon.2008.11.011.

Cammack, P.M., Zwahlen, B.A., Christensen, M.J. 1995. Selenium deficiency alters thyroid hormone metabolism in guinea pigs. The Journal of Nutrition 125: 303-309. doi: 10.1093/jn/125.2.302.

Chadio, S.E., Kotsampasi, B.M., Menegatos, J.G., Zervas, G.P., Kalogiannis, D.G. 2006. Effect of selenium supplementation on thyroid hormone levels and selenoenzyme activities in growing lambs. Biological Trace Element Research 109: 145-154. doi: 10.1385/BTER:109:2:145.

Contempré, B., Duale, N.L., Dumont, J.E., Ngo, B., Diplock, A.T., Vanderpas, J. 1992. Effect of selenium supplementation on thyroid hormone metabolism in an iodine and selenium deficient population. Clinical Endocrinology 36: 579-583. doi: 10.1111/j.1365-2265.1992.tb02268.x

Cotter, P.A., Craig, S.R., McLean, E. 2008. Hyperaccumulation of selenium in hybrid striped bass: a functional food for aquaculture? Aquaculture Nutrition 14: 215-222. doi: 10.1111/j.1365-2095.2007.00520.x.

Dawood, M.A., Koshio, S., Zaineldin, A.I., Van Doan, H., Ahmed, H.A., Elsabagh, M., Abdel-Daim, M.M. 2019. An evaluation of dietary selenium nanoparticles for red sea bream (*Pagrus major*) aquaculture: growth, tissue bioaccumulation, and antioxidative responses. Environmental Science and Pollution Research 26: 30876-30884. doi: 10.1007/s11356-019-06223-6.

Eid, S.Y., El-Zaher, H.M., Emara, S.S., Farid, O.A.H., Michael, M.I. 2019. Nano selenium treatment effects on thyroid hormones, immunity and antioxidant status in rabbits. World Rabbit Science 27: 93-100. doi: 10.4995/wrs.2019.11251.

El Basuini, M.F., El-Hais, A.M., Dawood, M.A.O., Abou-Zeid, A.S., El-Damrawy, S.Z., Khalafalla, M.S., Koshio, S., Ishikawa, M., Dossou, S.J.A.N. 2017. Effects of dietary copper nanoparticles and vitamin C supplementations on growth performance, immune response and stress resistance of red sea bream, *Pagrus major*. Aquaculture Nutrition 23: 1329-1340. doi: 10.1111/anu.12508.

Elia, A.C., Prearo, M., Pacini, N., Dörr, A.J.M., Abete, M.C. 2011. Effects of selenium diets on growth, accumulation and antioxidant response in juvenile carp. Ecotoxicology and Environmental Safety 74: 166-173. doi: 10.1016/j.ecoenv.2010.04.006.

Emadi, H., Saeedi, A.A., Hosseinzadeh, S.H., Samavat, Z. 2011. Effects of manganese as growth promotant factor on rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Journal of Marine Biology 3: 3-79.

Gaber, M.M. 2009. Efficiency of selenium ion inclusion into common carp (*Cyprinus carpio* L.) diets. African Journal of Agricultural Research 4: 348-353. doi: 10.5897/AJAR.9000280.

Gatlin, D.M. and Wilson, R.P., 1984. Dietary selenium requirement of fingerling channel catfish. The Journal of Nutrition 114: 627-633. doi: 10.1093/jn/114.3.627.

Gorini, F., Sabatino, L., Pingitore, A., Vassalle, C. 2021. Selenium: an element of life essential for thyroid function. Molecules 26: 7084. doi: 10.3390/molecules26237084.

Goth, L., 1991. A simple method for determination of serum catalase activity and revision of reference range. International Journal of Clinical Chemistry 196: 143-152. doi: 10.1016/0009-8981(91)90067-m.

Hefnawy, A.E., Youssef, S., Aguilera, P.V., Rodríguez, C.V. and Pérez, J.L., 2014. The relationship between selenium and T3 in selenium supplemented and nonsupplemented ewes and their lambs.

Veterinary Medicine International doi:10.1155/2014/105236.

Hosseini Kenari, S., Azari Takami, G., Zamini, A., Mousavi, SH., Alam, M. 2011. Effect of dietary Natural Diatomite on growth performance, survival and body composition in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Journal of Fisheries 4: 69-77.

Hotz, C.S., Fitzpatrick, D.W., Trick, K.D. L'Abbé, M.R. 1997. Dietary iodine and selenium interact to affect thyroid hormone metabolism of rats. The Journal of Nutrition 127: 1214-1218. doi: 10.1093/jn/127.6.1214.

Hu, C.H., Li, Y.L., Xiong, L., Zhang, H.M., Song, J., Xia, M.S. 2012. Comparative effects of nano elemental selenium and sodium selenite on selenium retention in broiler chickens. Animal Feed Science and Technology 177: 204-210. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2012.08.010.

Izadpanah, E., Saffari, S., Keyvanshokooh, S., Mozanzadeh, M.T., Mousavi, S.M., Pasha-Zanoosi, H. 2022. Nano-selenium supplementation in plant protein-based diets changed thyroid hormones status and hepatic enzymes activity in *Acanthopagrus arabicus* female broodfish and their offspring. Aquaculture Reports 24: 101134. doi: 10.1016/j.aqrep.2022.101134.

Jovanovic, A., Grubor-Lajsic, G., Djukic, N., Gardinovacki, G., Matic, A., Spasic, M., Pritsos, C.A. 1997. The effect of selenium on antioxidant system in erythrocytes and liver of the carp (*Cyprinus carpio L.*). Critical Reviews in Food Science & Nutrition 37: 443-448. doi: 10.1080/10408399709527783.

Kohshahi, A.J., Sourinejad, I., Sarkheil, M., Johari, S.A. 2019. Dietary co-supplementation with curcumin and different selenium sources (nanoparticulate, organic, and inorganic selenium): influence on growth performance, body composition, immune responses, and glutathione peroxidase activity of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Fish Physiology and Biochemistry 45: 793-804. doi: 10.1007/s10695-018-0585-y.

Köhrle, J., Brigelius-Flohé, R., Böck, A., Gärtner, R., Meyer, O., Flohé, L. 2000. Selenium in biology: facts and medical perspectives. Biological Chemistry 381: 849-864. doi: 10.1515/BC.2000.107.

Köhrle, J., Gärtner, R. 2009. Selenium and thyroid. Best Practice & Research Clinical Endocrinology & Metabolism 23: 815-827. doi: 10.1016/j.beem.2009.08.002.

Küçükbay, F.Z., Yazlak, H., Karaca, I., Sahin, N., Tuzcu, M., Cakmak, M.N., Sahin, K. 2009. The effects of dietary organic or inorganic selenium in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) under crowding conditions. Aquaculture Nutrition 15: 569-576. doi: 10.1111/j.1365-2095.2008.00624.x.

Le, K.T., Fotedar, R. 2014. Bioavailability of selenium from different dietary sources in yellowtail kingfish (*Seriola lalandi*). Aquaculture 420: 57-62. doi: 10.1016/j.aquaculture.2013.10.034.

Li, H.F., McGrath, S.P., Zhao, F.J. 2008. Selenium uptake, translocation and speciation in wheat supplied with selenate or selenite. New Phytologist 178: 92-102. doi: 10.1111/j.1469-8137.2007.02343.x

Lin, Y.H. 2014. Effects of dietary organic and inorganic selenium on the growth, selenium concentration and meat quality of juvenile grouper *Epinephelus malabaricus*. Aquaculture 430: 114-119. doi: 10.1016/j.aquaculture.2014.03.048

Lin, Y.H., Shiau, S.Y. 2005. Dietary selenium requirements of juvenile grouper, *Epinephelus malabaricus*. Aquaculture 250: 356-363. doi: 10.1016/j.aquaculture.2005.03.022.

Ma, P., Hu, Z., Li, L., Li, D., Tang, R. 2021. Dietary selenium promotes the growth performance through growth hormone–insulin-like growth factor and hypothalamic–pituitary–thyroid axes in grass carp (*Ctenopharyngodon idella*). Fish Physiology and Biochemistry 47: 1313-1327. doi: 10.1007/s10695-021-00974-1

Nazari, K., Shamsaie Mehrjan, M., Eila, N., Sharifpor, I., Kamali, A. 2017. Effects of organic and mineral selenium

supplementation on growth performance, haematological and immunological properties of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Iranian Scientific Fisheries Journal 26: 129-138.

Neamat-Allah, A.N., Mahmoud, E.A., Abd El Hakim, Y. 2019. Efficacy of dietary Nano-selenium on growth, immune response, antioxidant, transcriptomic profile and resistance of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* against *Streptococcus iniae* infection. Fish & Shellfish Immunology 94: 280-287. doi: 10.1016/j.fsi.2019.09.019

Peglia, D.E., Valentine, W.N. 1976. Studies on the quantitative and qualitative characterization of erythrocyte glutathione peroxidase. Journal of Laboratory and Clinical Medicine 70: 158-169. doi: 10.5555/uri:pii:0022214367900765.

Rezvanfar, M.A., Rezvanfar, M.A., Shahverdi, A.R., Ahmadi, A., Baeeri, M., Mohammadirad, A., Abdollahi, M. 2013. Protection of cisplatin-induced spermatotoxicity, DNA damage and chromatin abnormality by selenium nano-particles. Toxicology and applied pharmacology 266: 356-365. doi: 10.1016/j.taap.2012.11.025.

Ribeiro, A.R.A., Ribeiro, L., Sæle, Ø., Dinis, M.T., Moren, M. 2012. Iodine and selenium supplementation increased survival and changed thyroid hormone status in Senegalese sole (*Solea senegalensis*) larvae reared in a recirculation system. Fish Physiology and Biochemistry 38: 725-734. doi: 10.1007/s10695-011-9554-4

Ribeiro, A.R.A., Ribeiro, L., Sæle, Ø., Hamre, K., Dinis, M.T., Moren, M. 2012. Selenium supplementation changes glutathione peroxidase activity and thyroid hormone production in Senegalese sole (*Solea senegalensis*) larvae. Aquaculture Nutrition 18: 559-567. doi: 10.1111/j.1365-2095.2011.00911.x.

Saffari, S., Keyvanshokooh, S., Zakeri, M., Johari, S.A., Pasha-Zanoosi, H.J.A.N. 2017. Effects of different dietary selenium sources (sodium selenite, selenomethionine and nanoselenium) on growth performance, muscle composition, blood enzymes and antioxidant status of common carp (*Cyprinus carpio*). Aquaculture Nutrition 23: 611-617. doi.org/10.1111/anu.12428.

Sher, L. 2001. Role of thyroid hormones in the effects of selenium on mood, behavior, and cognitive function. Medical Hypotheses 57: 480-483. doi: 10.1054/mehy.2001.1369.

Shi, L.G., Yang, R.J., Yue, W.B., Xun, W.J., Zhang, C.X., Ren, Y.S., Shi, L., Lei, F.L. 2010. Effect of elemental nano-selenium on semen quality, glutathione peroxidase activity, and testis ultrastructure in male Boer goats. Animal Reproduction Science 118: 248-254. doi: 10.1016/j.anireprosci.2009.10.003.

Wang, C., Lovell, R.T., 1997. Organic selenium sources, selenomethionine and selenoyeast, have higher bioavailability than an inorganic selenium source, sodium selenite, in diets for channel catfish (*Ictalurus punctatus*). Aquaculture 152: 223-234. doi: 10.1016/S0044-8486(96)01523-2.

Wang, H., Zhang, J., Yu, H. 2007. Elemental selenium at nano size possesses lower toxicity without compromising the fundamental effect on selenoenzymes: comparison with selenomethionine in mice. Free Radical Biology and Medicine 42: 1524-1533. doi: 10.1016/j.freeradbiomed.2007.02.013

Wang, Y., Han, J., Li, W., Xu, Z. 2007. Effect of different selenium source on growth performances, glutathione peroxidase activities, muscle composition and selenium concentration of allogynogenetic crucian carp (*Carassius auratus gibelio*). Animal Feed Science and Technology 134: 243-251. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2006.12.007

Wang, Y., Yan, X., Fu, L. 2013. Effect of selenium nanoparticles with different sizes in primary cultured intestinal epithelial cells of crucian carp,

Carassius auratus gibelio. International Journal of Nanomedicine 8: 4007-4013. doi: 10.2147/IJN.S43691.

Wischhusen, P., Parailloux, M., Geraert, P.A., Briens, M., Bueno, M., Mounicou, S., Bouyssière, B., Prabhu, P.A.J., Kaushik, S.J., Fauconneau, B., Fontagné-Dicharry, S. 2019. Effect of dietary selenium in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) broodstock on antioxidant status, its parental transfer and oxidative status in the progeny. Aquaculture 507: 126-138. doi: 10.1016/j.aquaculture.2019.04.006.

Zhou, X., Wang, Y., Gu, Q., Li, W. 2009. Effects of different dietary selenium sources (selenium nanoparticle and selenomethionine) on growth performance, muscle composition and glutathione peroxidase enzyme activity of crucian carp (*Carassius auratus gibelio*). Aquaculture 291: 78-81. doi: 10.1016/j.aquaculture.2009.03.007.

Zhu, L., Han, D., Zhu, X., Yang, Y., Jin, J., Liu, H., Xie, S. 2017. Dietary selenium requirement for on-growing gibel carp (*Carassius auratus gibelio* var. CAS III). Aquaculture Research 48: 2841-2851. doi.org/10.1111/are.13118.