University of Guilan with collaboration of Iranian Aquaculture Society

Aquatic Animals Nutrition

Vol. 10, No. 4, 2025, pages: 55-68
DOI: 10.22124/janb.2025.29275.1266

RESEARCH PAPER **OPEN ACCESS**

Effects of dietary selenium nanoparticles (Se-NPs) and iron nanoparticles (Fe-NPs) on growth performance and survival rate of Polychaeta, *Hediste diversicolor*

Forouzan Bagherzadeh Lakani[1*], Zabihollah Pajand[1, 2*], Mahmoud Mohseni[1], Moheb Ali Pourgholam[1], Parham Pajand[2]

1- International Sturgeon Research Institute, Iranian Fisheries Science Research Institute, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Rasht, Guilan, Iran

2- Zist Palayeshgar Khazar Company (ZPK), Guilan Science and Technology, Rasht, Guilan, Iran

Received 31 October 2024 Revised 14 December 2024 Accepted 14 December 2024

KEYWORDS

Nanotechnology

Live food

Hediste diversicolor

Selenium

Iron

Diet

Introduction: Polychaeta, or bristle worms, are a class of marine Annelid worms with segmented bodies. Each segment has paired fleshy appendages called parapodia, equipped with bristles known as chaetae made of chitin. Over 10,000 species are described, and polychaetes play vital ecological roles as predators and prey in their ecosystems. Polychaeta, *Hediste diversicolor* is one of the important live foods in fish and crustacean nutrition such as sturgeon and shrimp. This study aimed to investigate the effect of different levels of selenium nanoparticles (Se-NPs) and iron nanoparticles (Fe-NPs) on the growth and survival of *H. diversicolor*.

Materials and methods: 48000 *Hediste* worms (with an average wet weight of 37 mg) were distributed in 12 tanks (50-L volume) as a completely randomized design with four treatments and three replications (4000 worms per m^2). Treatments included control (without adding nanoparticles), T_1 = 50 mg/kg Fe-NPs + 0.5 mg/kg Se-NPs, T_2 = 100 mg/kg Fe-NPs + 1 mg/kg Se-NPs and T_3 = Fe-NPs 200 mg/kg + 2 mg/kg Se-NPs. Before starting the experiment, *Hediste* worms were adapted to the tank conditions for one week, and then they were fed diets containing selenium and iron nanoparticles for 12 weeks.

Results and discussion: The results indicated that increasing the amounts of selenium nanoparticles (Se-NPs) and iron nanoparticles (Fe-NPs) in the diet significantly enhanced the biomass and survival rate of *Hediste* worms. Specifically, as the concentrations of selenium and iron in the treatments increased, the length of L_3 (the combined length of the first three segments:

prostomium, peristomium, and first chaetiger) decreased significantly. T_2 and T_3 exhibited shorter L_3 lengths compared to the control group. The highest survival rates were observed in T_2 (65.5%) and T_3 (66.6%), while the greatest biomass was recorded in T_3 (1514.8 g/m²). Notably, *Hediste* worms in the control group consumed significantly more food and displayed the highest food conversion ratio (FCR). In contrast, the lowest FCR values of 0.57 and 0.54 were recorded in T_2 and T_3, respectively, indicating a positive effect of these nanoparticles on improving FCR.

Conclusion: The combined application of Se-NPs at a concentration of 2 mg/kg with 200 mg/kg Fe-NPs demonstrated a superior effect on the growth and survival rate of *Hediste diversicolor* compared to both the control diet and other treatments.

Conflicts of interest: Authors have no conflict of interest to declare for the publication of the present work.

Acknowledgments: This research was conducted as a study opportunity for members of the faculty of the Agricultural Research, Education, and Extension Organization in Society and Industry. We would like to thank the Zist Palayeshgar Khazar Company (ZPK) and the International Sturgeon Research Institute.

*Corresponding author: f.bagherzadeh.l@areeo.ac.ir; Zpajand@gmail.com

دانشگاه گیلان با مشارکت انجمن آبزی‌پروری ایران

تغذیه آبزیان

سال دهم، شماره چهارم، دی ۱۴۰۳، صفحات ۶۸-۵۵

DOI: 10.22124/janb.2025.29275.1266

"مقاله پژوهشی"

تأثیر افزودن نانوذرات سلنیوم (Se-NPs) و آهن (Fe-NPs) به جیره غذایی بر میزان رشد و بازماندگی کرم پرتار دریایی نرئیس *Hediste diversicolor*

فروزان باقرزاده لاکانی [۱*]، ذبیح اله پژند [۱،۲*]، محمود محسنی [۱]، محبعلی پورغلام [۱]، پرهام پژند [۲]

۱- انستیتو تحقیقات بین‌المللی ماهیان خاویاری، موسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی (AREEO)، رشت، گیلان

۲- شرکت دانش بنیان زیست پالایشگر خزر، پارک علم و فناوری گیلان، رشت، گیلان

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۸/۱۰ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۹/۲۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۹/۲۵

چکیده

کرم نرئیس *Hediste diversicolor* به عنوان غذای زنده در تغذیه ماهیان با ارزش شیلاتی مانند ماهیان خاویاری و آبزیانی مانند میگو از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در مطالعه حاضر، ۴۸۰۰۰ عدد کرم نرئیس (با میانگین وزنی ۳۷ mg) در قالب طرح کاملاً تصادفی در ۱۲ مخزن ۵۰ لیتری در قالب ۴ تیمار و ۳ تکرار (با تراکم ۴۰۰۰ عدد کرم در هر مـترمربع) توزیع شدند. تیمارها شامل شاهد (بدون افزودن نانوذرات)، T_1: ۵۰ mg/kg نانوذرات آهن + ۰/۵ mg/kg نانوذرات سلنیوم؛ T_2: ۱۰۰ mg/kg نانوذرات آهن + ۱ mg/kg نانوذرات سلنیوم؛ T_3: ۲۰۰ mg/kg نانوذرات آهن + ۲ mg/kg نانوذرات سلنیوم بود. بر اساس نتایج به دست آمده پس از ۱۲ هفته پرورش، با افزایش میزان نانوذرات سلنیوم و آهن در جیره‌غذایی میزان زی‌توده نهایی، افزایش زی‌توده و درصد بازماندگی کرم‌های نرئیس افزایش یافت و این افزایش نسبت به گروه شاهد اختلاف معنی‌دار داشت ($P<0/05$). با افزایش میزان سلنیوم و آهن در تیمارها طول L_3 (درازای سه بخش اول شامل پروستومیوم، پریستومیوم و اولین بند کرم) به صورت معنی‌دار کاهش یافت و T_2 و T_3 نسبت به شاهد درازای L_3 کمتری داشتند. بیشترین درصد بازماندگی در T_2 (۶۵٪/۵) و T_3 (۶۶/۶٪) و بیشترین میزان زی‌توده نیز در T_3 (۱۵۱۴/۸ g/m^2) مشاهده شد. کمترین میزان ضریب تبدیل غذایی به میزان ۰/۵۷ و ۰/۵۴ نیز به ترتیب در تیمارهای T_2 و T_3 مشاهده شد که نشان‌دهنده اثر مثبت این نانومکمل بر بهبود ضریب تبدیل غذایی است. بنابراین، استفاده تلفیقی از نانوذرات سلنیوم به میزان ۲ mg/kg با ۲۰۰ mg/kg نانوذرات آهن نسبت به جیره شاهد و نیز دیگر سطوح ترکیبی این دو نانوذره، تأثیر بهتری بر رشد و بازماندگی کرم نرئیس دارد.

کلمات کلیدی

فناوری نانو

غذای زنده

کرم نرئیس

سلنیوم

آهن

جیره غذایی

نویسنده مسئول: f.bagherzadeh.l@areeo.ac.ir; Zpajand@gmail.com

مقدمه

جمعیت جهان در سال ۲۰۲۲ از مرز ۸ میلیارد نفر عبور کرد و پیش‌بینی می‌شود تا پایان این قرن به ۱۰ میلیارد نفر برسد. رشد جمعیت با چالش‌های بسیاری همراه است که تأمین غذا یکی از آن‌هاست و برآوردها نشان می‌دهد که در سال ۲۰۵۰ شکاف غذایی [۱] ۵۶ درصدی وجود خواهد داشت (Searchinger et al. 2019). آبزی‌پروری در حال حاضر نقش حیاتی در تولید غذا و پروتئین ایفا می‌کند و اهمیت آن هم‌زمان با محصولات کشاورزی افزایش می‌یابد (Colgrave et al. 2021; Otsuka and Fan, 2021). پایداری تولیدات آبزی‌پروری به عوامل زیادی از جمله ارائه جیره‌های متعادل و کامل بستگی دارد که مواد مغذی ضروری را به صورت کمی و کیفی تأمین می‌کند تا بیشینه رشد ماهی را تضمین کند، شیوع بیماری‌ها و عفونت‌های عوامل بیماری‌زا را کنترل و وضعیت سلامت را در سطح استاندارد بالا حفظ کند (NRC, 2011; Ogunji et al. 2011; Iheanacho et al. 2018). خوراک‌های با کیفیت پایین مشکلات عمده‌ای از جمله اشتهای ضعیف، رشد آهسته، ضریب تبدیل غذایی بالا، بقای کم و بروز بیماری‌های تغذیه‌ای به همراه دارند (Manam, 2023). لذا استفاده از غذای زنده در آبزی‌پروری اهمیت قابل ملاحظه‌ای دارد.

کرم نرئیس *Hediste diversicolor* از شاخه کرم‌های حلقوی و رده پرتارانی است که به عنوان غذای زنده در تغذیه ماهیان با ارزش شیلاتی مانند ماهیان خاویاری و آبزیانی مانند میگو از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (Pajand et al. 2003). کرم نرئیس به دلیل دارا بودن حدود ۵۲٪ پروتئین، ۱۴ الی ۲۳٪ چربی و کالری زیاد در حدود ۵۵۷۸ کالری در گرم (Fidalgo e Costa, 2000) و داشتن میزان زیاد اسیدهای چرب غیراشباع مانند دوکوزاهگزانوئیک اسید (DHA, $C_{22}H_{32}O_2$, C_{22}:6 ω-3) و ایکوزاپنتانوئیک اسید (EPA, $C_{20}H_{30}O_2$, C_{20}:5 ω-3) (Pazhand et al. 2003, 2009) و همچنین آسان‌تر و ارزان‌تر بودن فرآیند پرورش آن به دلیل نداشتن مرحله تروکوفور (پلاژیک) نظر بسیاری از آبزی‌پروران جهان را به خود جلب کرده است (Kalantari et al. 2021). همچنین، رفتار تولیدمثلی کرم نرئیس به شکل آتوکوس (رشد و نمو جنینی در داخل منافذ بستر با حضور مولدهای ماده) است (Bartels-Hardege and Zeeck, 1990) که می‌تواند به عنوان یک مزیت محسوب شود؛ به طوری که امکان دسترسی آسان به کرم در یک مکان محصور را فراهم می‌کند. کرم نرئیس نزدیک خط جزر آب زندگی می‌کند و در امتداد سواحل فراوان است و از آنجا که به آسانی در دسترس فروشندگان محلی قرار می‌گیرد، به صورت عمده در آبزی پروری استفاده می‌شود. کرم نرئیس نقش مهمی به‌عنوان تحریک کننده رسیدگی گنادها دارد و در مرحله تخم‌ریزی و در تفریخگاه‌ها یک غذای زنده مهم محسوب می‌شود (Farzaneh et al., 2017).

در سال‌های اخیر فناوری نانو به ابزاری مهم برای حل مشکلات مختلف آبزی‌پروری از جمله تغذیه ماهی، مدیریت کیفیت آب و درمان بیماری تبدیل شده است. استفاده از نانوذرات در آبزی‌پروری می‌تواند به تقویت دستگاه ایمنی ماهیان، کاهش دوره پرورشی از طریق بهبود رشد و ضریب تبدیل غذایی، افزایش بازماندگی ماهیان و کاهش ضررهای اقتصادی ناشی از بیماری‌های میکروبی کمک کند (Nasr-Eldahan et al. 2021). از جمله نانوذراتی که در آبزی‌پروری استفاده می‌شود، نانوذره سلنیوم است که به عنوان یک ضداکسنده قوی عمل کرده و قدرت زیادی در پاکسازی رادیکال‌های آزاد دارد و بنابراین، می‌تواند به عنوان یک ضداکسنده طبیعی استفاده شود (Juniper et al. 2009) و سبب افزایش عملکرد رشد، ایمنی و بهبود عملکرد دستگاه ضداکسندگی در گونه‌های مختلف ماهی شود (Zhou et al. 2009; Ashouri et al. 2015; Ahmadvand et al. 2015; Naderi et al. 2017; Saffari et al. 2017).

سلنیوم یک ریزمغذی ضروری در جیره غذایی ماهیان برای حفظ رشد طبیعی و فعالیت‌های زیستی است (Hamilton, 2004) و از یاخته‌ها و غشای آن‌ها در برابر استرس اکسیداتیو محافظت می‌کند. کمبود سلنیوم باعث کاهش رشد، از بین رفتن اشتها، افزایش مرگ و میر و آسیب یاخته و غشای آن

[۱] Food gap یا شکاف غذایی به معنای تفاوت بین عرضه و تقاضای مواد غذایی است.

شود (Han et al. 2011). از سوی دیگر، اشکال جدید و متنوعی از مواد معدنی به خصوص آهن در مدل‌های متفاوت مانند نانوذرات صفر ظرفیتی (خنثی) و نانوذرات اکسید آهن در مقیاس‌های مختلف تولید می‌شود. مکمل‌های آهن در اشکال مختلف موجود هستند: آلی، معدنی و نانوذراتی که در درجه فراهمی زیستی متفاوت هستند. آهن یک عنصر ضروری برای تقریباً همه موجودات است و نقش اصلی را در بسیاری از فرآیندهای مهم از جمله فتوسنتز، واکنش‌های تنفسی، سنتز DNA و انتقال و ذخیره‌سازی اکسیژن بازی می‌کند (Galbraith et al. 2019). گزارش شده است که نانوذرات به دلیل دارا بودن سطح انرژی، اندازه کوچک، محتوای اتم‌های فعال و توانایی عبور سریع‌تر از غشای یاخته‌ای، سرعت جذب و بهره‌برداری زیادتر نسبت به دیگر اشکال شیمیایی دارند (Wang et al. 2018).

تحقیقات نشان می‌دهد تاکنون مطالعه‌ای درباره غنی‌سازی کرم نرئیس با نانوذرات مختلف انجام نشده است. با وجود این، محققان به بررسی جنبه‌های مختلف پرورش و نیازمندی‌های غذایی این کرم پرداخته‌اند. این مطالعات شامل امکان دستیابی به بیوتکنیک پرورش کرم نرئیس (Pazhand et al. 2003)، بررسی تأثیر جیره‌های غذایی مختلف بر رشد و بازماندگی کرم نرئیس (Santos et al. 2016)، از جمله استفاده از غذاهای تجاری و جلبک‌ها (Fidalgo e Costa et al. 2000) و همچنین، تأثیر شرایط محیطی مانند دما و شوری و دوره نوری در القای رسیدگی جنسی و رفتارهای تولیدمثلی این کرم (Pajand et al. 2009) هستند. علاوه بر این، تأثیر تراکم‌های مختلف پرورش (Nesto et al. 2012) و منابع چربی (Pajand et al. 2019a) و سطوح مختلف پروتئین (Cheraghi et al. 2020) موجود در جیره‌های غذایی کرم نرئیس نیز بررسی شده است. نتایج مطالعات محققان نشان می‌دهد که انتخاب مناسب پروتئین و چربی در رژیم غذایی کرم نرئیس به افزایش کارآیی رشد و بهبود ترکیب اسیدهای چرب آن کمک می‌کند. پژوهش‌ها نشان داده‌اند که می‌توان از کرم نرئیس به عنوان حامل برای انتقال پروبیوتیک‌ها جهت استفاده در جیره‌غذایی آبزیان استفاده کرد (Farzaneh et al. 2017). همچنین، مطالعاتی در مورد اثر تراکم‌های مختلف فیل‌ماهی (*Huso huso*) بر شاخص‌های رشد و کل مواد آلی بستر در سازگان یکپارچه، با استفاده از فعالیت زیست پالایی کرم نرئیس (Jamali et al. 2022) و کارآیی حذف مواد مغذی پساب حاصل از تراکم‌های مختلف پرورش فیل‌ماهی (Pajand et al. 2019b; Pajand et al. 2020) و ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان (Yousefi Garakouei et al. 2020) توسط کرم نرئیس انجام شده که نشان‌دهنده توان بالقوه این کرم در زیست پالایی است. این تحقیقات نشان‌دهنده توان بالقوه مناسب و زیاد کرم نرئیس در تغذیه آبزیان مختلف است. با توجه به چالش‌های تغذیه‌ای در آبزی‌پروری و افزایش تقاضا برای منابع پروتئینی، غنی‌سازی کرم نرئیس با نانوذرات سلنیوم و آهن می‌تواند بهبود قابل توجهی در ارزش غذایی این کرم ایجاد کند. پیشرفت‌های اخیر در فناوری نانو نشان می‌دهد که استفاده از نانوذرات می‌تواند به تقویت ایمنی و کاهش بیماری‌ها در آبزیان کمک کند. این امر به عنوان یک راهکار نوآورانه برای مواجهه با مشکلات موجود در آبزی‌پروری مطرح است. علاوه بر این، غنی‌سازی کرم نرئیس می‌تواند منجر به کاهش هزینه‌های تولید و افزایش بازده اقتصادی برای آبزی‌پروران شود. بنابراین با توجه به مزایای کرم نرئیس در تغذیه آبزیان و اثرات مثبت نانوذرات سلنیوم و آهن به عنوان مکمل‌های غذایی، در پژوهش حاضر بررسی غنی‌سازی این کرم با نانوذرات سلنیوم و آهن انجام شد. هدف این تحقیق نیز افزایش ارزش غذایی کرم نرئیس از طریق افزودن این نانوذرات است تا بتوان آنها را به عنوان یک منبع غذایی مؤثر برای آبزیان استفاده کرد.

مواد و روش‌ها

نانوذرات مورد استفاده

محلول کلوئیدی نانوذرات سلنیوم در آب با خلوص بالا (۹۹/۹۵٪) و ابعاد ۴۵-۱۰ نانومتر و نانوذرات آهن با خلوص بالا (۹۹/۵٪) و ابعاد ۴۵-۳۵ نانومتر از شرکت پیشگامان نانو مواد ایرانیان تهیه شد. تصاویر میکروسکوپ الکترونی SEM[1]

[1] Scanning electron microscopy

و TEM[1] نانوذرات سلنیوم و نانوذرات آهن در شکل ۱ ارائه شده است.

نحوه انجام آزمایش

۴۸۰۰۰ عدد کرم نرئیس (با میانگین وزنی ۳۷ میلی گرم) در قالب طرح کاملاً تصادفی در ۱۲ مخزن ۵۰ لیتری آب حاوی یک لایه ۱۰-۸ سانتی‌متری از رسوب ماسه‌ای (۱۰۰-۵۰ میکرومتر) (Pajand et al. 2019b) در قالب ۴ تیمار و ۳ تکرار (با تراکم ۴۰۰۰ عدد کرم در هر مترمربع) توزیع شدند (شکل ۲). در طی دوره آزمایش میانگین دمای آب ۱/۱ ± ۲۰/۸ °C (میانگین ± انحراف معیار)، اکسیژن محلول ۰/۲ ± ۶/۱ میلی‌گرم در لیتر و شوری ۰/۹ ± ۱۲/۸ و میانگین pH نیز ۰/۴ ± ۷/۶۹ بود. تیمارها به شرح زیر بود:

- شاهد: بدون افزودن نانوذرات
- T1: ۵۰ mg/kg نانوذرات آهن + ۰/۵ mg/kg نانوذرات سلنیوم
- T2: ۱۰۰ mg/kg نانوذرات آهن + ۱ mg/kg نانوذرات سلنیوم
- T3: ۲۰۰ mg/kg نانوذرات آهن + ۲ mg/kg نانوذرات سلنیوم

در این بررسی، آب دریای خزر (۱۲/۸ گرم در لیتر) استفاده شد و تعویض آب هر هفته و هوادهی به طور مداوم انجام شد. دوره نوری به صورت ۱۲ ساعت روشنایی و ۱۲ ساعت تاریکی بود. قبل از شروع آزمایش کرم‌های نرئیس به مدت یک هفته با شرایط مخازن سازگار شده و با جیره پایه (بدون افزودن نانوذرات) تغذیه شدند و سپس به مدت ۱۲ هفته با جیره‌های حاوی نانوذرات سلنیوم و آهن تغذیه شدند. میزان غذادهی در طول دوره پرورشی بر اساس وزن و درجه حرارت آب ۱٪ زی‌توده بوده و روزانه در دو نوبت (ساعات ۸ و ۱۵) انجام شد. جهت بررسی میزان رشد کرم‌ها و محاسبه میزان غذا، زیست‌سنجی ماهیانه انجام شد.

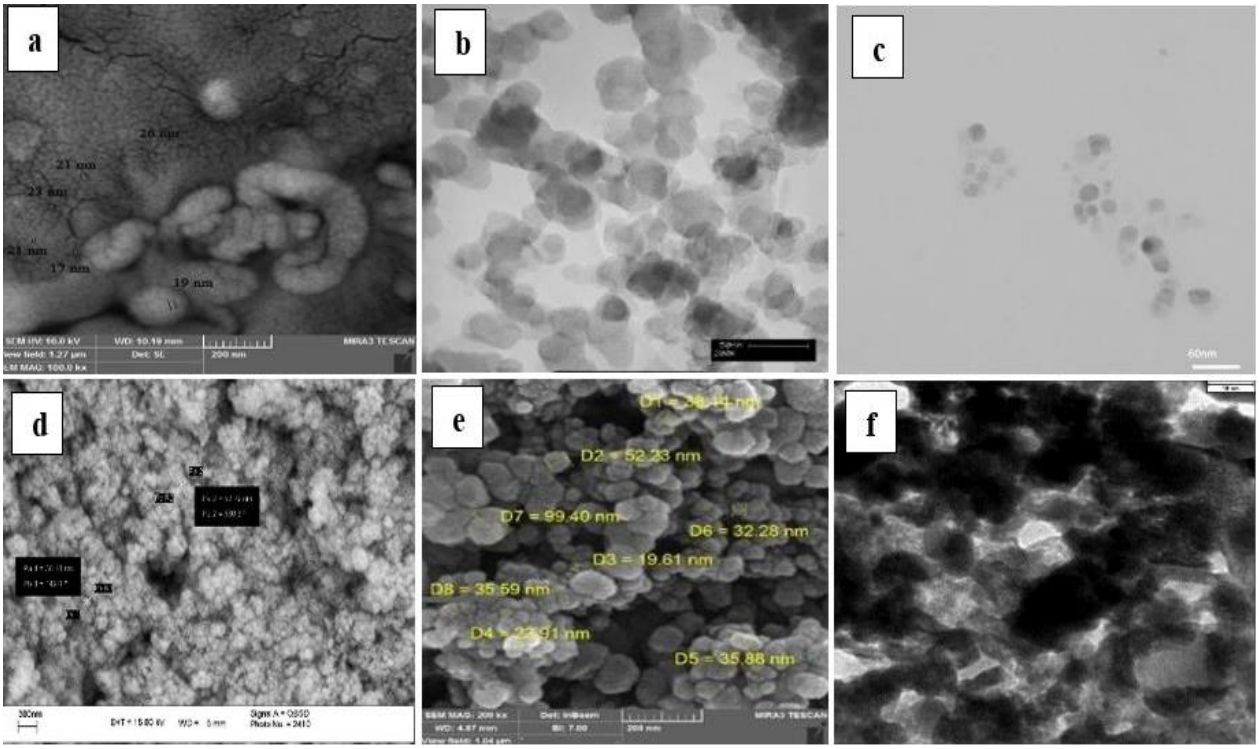
آماده‌سازی جیره‌غذایی غنی‌شده با نانوذرات سلنیوم و آهن

غذای مورد استفاده در این مطالعه غذای تجاری (فرادانه) با قطر غذا ۱/۵ میلی‌متر حاوی مقادیر پروتئین خام ۴۸٪، چربی خام ۱۵٪، فیبر خام ۳٪، فسفر ۱/۵٪، خاکستر ۹٪، رطوبت ۱۱٪، کلسیم ۱/۸٪ و سدیم ۰/۵٪ بود. برای افزودن نانوذرات به غذا و تهیه جیره‌غذایی، از روش انحلال نانوذرات در آب مقطر و افشانه کردن روی سطوح غذا و سپس آمیختن کامل این ترکیبات استفاده شد. برای آماده‌سازی جیره‌های حاوی نانوذرات در هر تیمار، مقدار محاسبه شده نانوذرات سلنیوم و آهن برای دست‌یابی به غلظت‌های مورد نظر، ابتدا با آب مقطر به حجم ۵۰ میلی‌لیتر رسانده و سپس به طور جداگانه به یک کیلوگرم غذا اضافه شد. غذاهای تهیه شده بر روی سینی‌های مجزا (به مدت ۲۴ ساعت) و در دمای محیط خشک شدند. سپس برای محافظت غذاها و جلوگیری از رهاشدن نانوذرات و ورود آن‌ها به محیط آب، غذای خشک‌شده بر اساس روش استاندارد، به روش افشانه، روغن‌اندود شد (Noga, 2000). برای یکسان‌سازی شرایط، در مورد تیمار شاهد نیز ۵۰ میلی‌لیتر آب مقطر بر روی غذا افشانه، و پس از خشک شدن غذا با روغن پوشانده شد. غذای تولید شده در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری شد.

اندازه گیری فراسنجه‌های فیزیکوشیمیایی آب

اندازه‌گیری فراسنجه‌های فیزیکی و شیمیایی آب شامل دمای آب توسط دستگاه دیجیتال WTW (pH 330i, Weilheim, Germany)، میزان اکسیژن محلول با استفاده از اکسیژن‌سنج دیجیتال WTW (Oxi 330i, Weilheim, Germany)، شوری با دستگاه شوری‌سنج با دقت ۰/۰۱ گرم در لیتر و pH با دستگاه pHسنج به طور روزانه انجام شد.

[1] Transmission electron microscope



شکل ۱ تصاویر میکروسکوپ الکترونی SEM (a, b) و TEM (c) نانوذرات سلنیوم؛ تصاویر میکروسکوپ الکترونی SEM (d, e) و TEM (f) نانوذرات آهن.

Figure 1 SEM images (a, b) and TEM image (c) of selenium nanoparticles; SEM images (d, e) and TEM image (f) of iron nanoparticles.

شکل ۲ کرم نرئیس *Hediste diversicolor* و مخازن مورد استفاده

Figure 2 *Hediste diversicolor* worm and the tanks used

شاخص‌های رشد

در پایان دوره پرورش، زیتوده کل مخازن، تعداد کرم‌های نرئیس، درازای L_3 آن‌ها، ضریب تبدیل غذایی (FCR)[1]، افزایش زیتوده[2] و نیز تلفات احتمالی برای تعیین میزان بازماندگی[3] طی یک دوره ۱۲ هفته‌ای غذادهی بر اساس فرمول‌های زیر تعیین شد:

[1] Feed conversion ratio (FCR)
[2] Biomass increase
[3] Survival rate

طول L3 = طول کل پروستومیوم[۱]، پریستومیوم[۲] و بند اول[۳] (Durou et al. 2008)

ضریب تبدیل غذایی = وزن غذای داده شده / (وزن کرم در پایان آزمایش - وزن کرم در شروع آزمایش)

افزایش زیتوده (g) = زیتوده نهایی (g) - زی‌توده اولیه (g)

بازماندگی (%) = (تعداد کرم باقیمانده در انتهای آزمایش) / (تعداد اولیه کرم) × ۱۰۰

سنجش آماری

پردازش داده‌ها و رسم نمودارهای مربوطه در نرم‌افزار Microsoft Office Excel 2019 انجام شد. پس از کنترل همگنی داده‌ها با آزمون Shapiro-Wilk، معنی‌دار بودن اختلاف داده‌ها از طریق آنالیز واریانس یک طرفه (One-Way ANOVA) سنجش شد. آزمون دانکن برای مقایسه تفاوت بین میانگین تیمارها استفاده شد. سنجش‌های آماری با نرم‌افزار SPSS 20 در سطح معنی‌دار ۰/۰۵ انجام شد.

نتایج

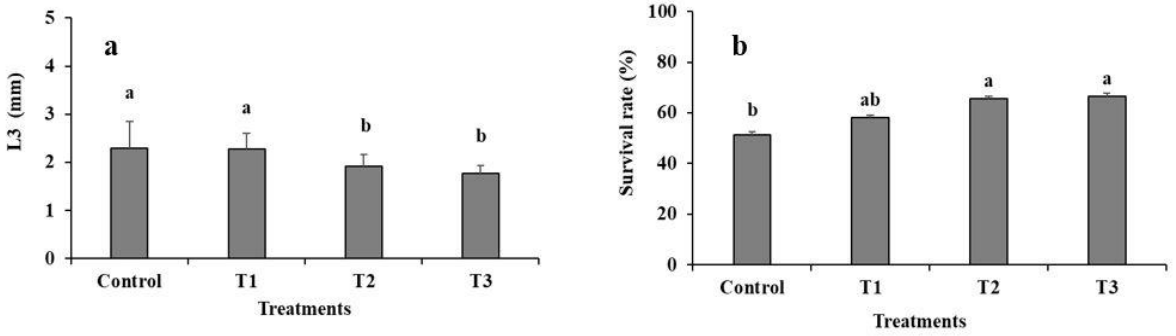
بر اساس نتایج به دست آمده بر اساس آزمون تجزیه واریانس یکطرفه پس از ۱۲ هفته پرورش، با افزایش میزان سلنیوم و آهن در تیمارها درازای L_3 به طور معنی‌دار کاهش یافته و تیمارهای ۲ و ۳ نسبت به شاهد درازای L_3 کمتری داشتند ($P<0/05$). بیشترین میزان طول L_3 نیز در گروه شاهد و تیمار ۱ مشاهده شد ($P<0/05$) و تیمارهای ۲ و ۳ نسبت به شاهد به طور معنی‌دار بازماندگی بیشتری داشتند ($P<0/05$؛ شکل ۳). با افزایش میزان نانومکمل حاوی نانوذرات سلنیوم و آهن در جیره غذایی، تیمار ۳ نسبت به شاهد به طور معنی‌دار زیتوده نهایی و افزایش زیتوده بیشتری داشت ($P<0/05$؛ شکل ۴). کرم‌های گروه شاهد به صورت معنی‌داری نسبت به تیمارهای ۱ تا ۳ غذای بیشتری مصرف کردند ($P<0/05$). بیشترین میزان ضریب تبدیل غذایی در گروه شاهد مشاهده شد و با افزایش میزان سلنیــوم و آهن در تیمارها میزان ضریب تبدیل غذایی به طور معنی‌دار کاهش یافت و تیمارهای ۲ و ۳ نسبت به شاهد ضریب تبدیل غذایی کمتری داشتند که نشان‌دهنده اثر مثبت این نانومکمل بر بهبود ضریب تبدیل غذایی است ($P<0/05$؛ شکل ۵).

---

[۱] Prostomium: بخش ابتدایی بدن کرم نرئیس است که به عنوان یک ساختار حسی عمل می‌کند. این قسمت معمولاً بدون زائده‌های حرکتی است و در برخی گونه‌ها ممکن است دارای برآمدگی‌های خاصی باشد. پروستومیوم به شناسایی محیط اطراف کمک کرده و در تغذیه و جستجوی غذا نقش دارد.

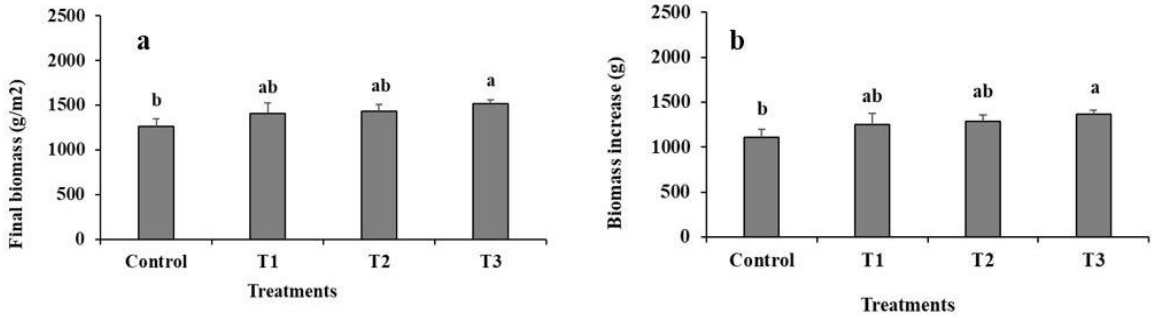
[۲] Peristomium: بخشی است که به دنبال پروستومیوم قرار دارد و شامل دهان کرم نرئیس می‌شود. این ناحیه معمولاً دارای عضلات قوی‌تری است که به کرم اجازه می‌دهد تا مواد غذایی را به داخل بدن خود بکشاند. پریستومیوم همچنین ممکن است شامل زائده‌هایی باشد که در برخی گونه‌ها برای کمک به تغذیه و حرکت استفاده می‌شود.

[۳] First Chaetiger: به اولین بند از بدن کرم نرئیس اشاره دارد که دارای زائده‌های مویی شکل (چات‌ها) است. این زائده‌ها در حرکت و نیز در حس کردن محیط اطراف نقش دارند. بند اول معمولاً بزرگ‌تر از سایر بندها است و می‌تواند ویژگی‌های خاصی را بسته به نوع گونه نشان دهد.



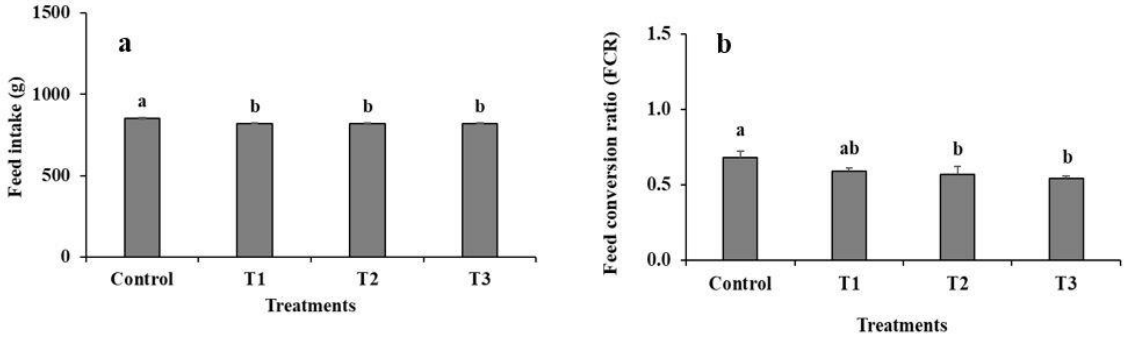
شکل ۳ طول L3 (a) و بازماندگی (b) کرم نرئیس تغذیه شده با جیره‌های حاوی نانوذرات سلنیوم و آهن پس از ۱۲ هفته پرورش (میانگین ± انحراف معیار). تیمارها شامل شاهد (بدون افزودن نانوذرات)، T_1: ۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم نانوذرات آهن + ۰/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم نانوذرات سلنیوم؛ T_2: ۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم نانوذرات آهن + ۱ میلی‌گرم در کیلوگرم نانوذرات سلنیوم؛ T_3: ۲۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم نانوذرات آهن + ۲ میلی‌گرم در کیلوگرم نانوذرات سلنیوم بود. حروف لاتین غیر هم نام در ستون نشان دهنده وجود اختلاف معنی‌دار آماری می‌باشد (P<۰/۰۵).

Figure 3 The L_3 length (a) and survival rate (b) of *Hediste diversicolor* fed diets containing selenium and iron nanoparticles after 12 weeks (Mean ± SD). Treatments included control (without adding nanoparticles), T_1= 50 mg/kg Fe-NPs + 0.5 mg/kg Se-NPs, T_2= 100 mg/kg Fe-NPs + 1 mg/kg Se-NPs and T_3= Fe-NPs 200 mg/kg + 2 mg/kg Se-NPs. Non-synonymous Latin letters in the columns indicate statistically significant differences (P<0.05).



شکل ۴ زیتوده نهایی (a) و افزایش زیتوده (b) کرم نرئیس تغذیه شده با جیره‌های حاوی نانوذرات سلنیوم و آهن پس از ۱۲ هفته پرورش (میانگین ± انحراف معیار). تیمارها شامل شاهد (بدون افزودن نانوذرات)، T_1: ۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم نانوذرات آهن + ۰/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم نانوذرات سلنیوم؛ T_2: ۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم نانوذرات آهن + ۱ میلی‌گرم در کیلوگرم نانوذرات سلنیوم؛ T_3: ۲۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم نانوذرات آهن + ۲ میلی‌گرم در کیلوگرم نانوذرات سلنیوم بود. حروف لاتین غیر هم نام در ستون نشان دهنده وجود اختلاف معنی‌دار آماری می‌باشد (P<۰/۰۵).

Figure 4 The final biomass (a) and biomass increases (b) of *Hediste diversicolor* fed diets containing selenium and iron nanoparticles after 12 weeks (Mean ± SD). Treatments included control (without adding nanoparticles), T_1= 50 mg/kg Fe-NPs + 0.5 mg/kg Se-NPs, T_2= 100 mg/kg Fe-NPs + 1 mg/kg Se-NPs and T_3= Fe-NPs 200 mg/kg + 2 mg/kg Se-NPs. Non-synonymous Latin letters in the columns indicate statistically significant differences (P<0.05).



شکل ۵ غذای مصرفی (a) و ضریب تبدیل غذایی (b) کرم نرئیس تغذیه شده با جیره‌های حاوی نانوذرات سلنیوم و آهن پس از ۱۲ هفته پرورش (میانگین ± انحراف معیار). تیمارها شامل شاهد (بدون افزودن نانوذرات)، T_1: ۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم نانوذرات آهن + ۰/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم نانوذرات سلنیوم؛ T_2: ۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم نانوذرات آهن + ۱ میلی‌گرم در کیلوگرم نانوذرات سلنیوم؛ T_3: ۲۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم نانوذرات آهن + ۲ میلی‌گرم در کیلوگرم نانوذرات سلنیوم بود. حروف لاتین غیر هم نام در ستون نشان دهنده وجود اختلاف معنی‌دار آماری است (P<۰/۰۵).

Figure 5 The feed intake (a) and the feed conversion ratio (FCR) (b) of *Hediste diversicolor* fed diets containing selenium and iron nanoparticles after 12 weeks (Mean ± SD). Treatments included control (without adding nanoparticles), T_1= 50 mg/kg Fe-NPs + 0.5 mg/kg Se-NPs, T_2= 100 mg/kg Fe-NPs + 1 mg/kg Se-NPs and T_3= Fe-NPs 200 mg/kg + 2 mg/kg Se-NPs. Non-synonymous Latin letters in the columns indicate statistically significant differences (P < 0.05).

بحث

در مطالعه حاضر، افزایش سطوح نانوذرات سلنیوم و آهن در جیره‌غذایی تأثیر قابل توجهی بر بهبود ضریب تبدیل غذایی و رشد کرم‌های نرئیس داشت. تیمار جیره غذایی حاوی ۲۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم نانوذرات آهن و ۲ میلی‌گرم در کیلوگرم نانوذرات سلنیوم (T_3) نسبت به شاهد به صورت معنی‌داری زیتوده نهایی و افزایش زیتوده بیشتری را نشان داد. این نتیجه نشان‌دهنده آن است که استفاده از این نانومکمل‌ها می‌تواند به بهبود کیفیت تولیدات آبزیان کمک کند و برای آبزی پروران سود اقتصادی به همراه داشته باشد. از سوی دیگر، درصد بازماندگی کرم‌های نرئیس در تیمارهای T_2 و T_3 نسبت به گروه شاهد از میزان بالاتری برخوردار بود. این یافته‌ها نشان دادند که تیمارهای حاوی نانوذرات سلنیوم و آهن تأثیر مثبتی بر روی رشد و بقا دارند. بازماندگی بیشتر نیز ممکن است به دلیل تأثیر مثبت نانوذرات بر ایمنی و مقاومت در برابر استرس‌های محیطی باشد. در تیمارهای T_2 و T_3 درازای L_3 کرم‌های نرئیس نسبت به شاهد کمتر بوده است. به نظر می رسد این امر به دلیل میزان تراکم بیشتر کرم‌ها و زی‌توده نهایی بالاتر و در نتیجه رشد طولی کمتر در این تیمارها باشد. با افزایش میزان نانوذرات سلنیوم و آهن در تیمارها نیز میزان ضریب تبدیل غذایی به طور معنی‌دار کاهش یافت؛ به‌طوری که تیمارهای T_2 و T_3 نسبت به گروه شاهد ضریب تبدیل غذایی کمتری داشتند و عملکرد بهتری را از خود نشان دادند. این کاهش در ضریب تبدیل غذایی نشان دهنده استفاده بهینه‌تر از غذا توسط کرم‌هاست که می‌تواند ناشی از بهبود سوخت و ساز و کارآیی جذب مواد مغذی باشد. این موضوع نشان‌دهنده اثر مثبت نانوذرات سلنیوم و آهن بر بهبود کارآیی تغذیه‌ای است که می‌تواند منجر به کاهش هزینه‌های تولید شود. آهن یک عنصر کلیدی در فرآیند تنفس یاخته‌ای است که با افزایش فعالیت آنزیم‌ها و تسهیل انتقال اکسیژن، به بهبود عملکرد سوخت و ساز کمک می‌کند و موجب بهبود شاخص‌های رشد می‌شود. از سوی دیگر، نانوذرات سلنیوم نیز پایداری شیمیایی، زیست‌فراهمی بالا، سازگاری زیستی و سمیت پایین داشته و به عنوان یک ضداکسنده قوی عمل می‌کنند. این نانوذرات می‌توانند سم‌زدایی هیدروپراکسیدازها و لیپوهیدروپراکسیدازها را در سطوح سیتوپلاسمی و

ماتریکس میتوکندری انجام دهند (رضایی کلیشادی، ۱۳۹۲؛ Juniper et al. 2009; Shi et al. 2010; Wang et al. 2013). همچنین، نانوذرات سلنیوم با خواص ضداکسندگی خود، از آسیب‌های اکسیداتیو جلوگیری کرده و در نتیجه به حفظ سلامت یاخته‌ها کمک می‌کنند. این نانوذرات موجب تسریع در ساخت سلنوپروتئین‌ها در یاخته‌های پوششی روده و بهبود هضم مواد مغذی می‌شوند (Wang et al. 2013) و تولید آنزیم‌های گوارشی را پیش‌برده و فعالیت آن‌ها را افزایش می‌دهند (Shenkin, 2006). این موارد در نتیجه، باعث افزایش قابلیت هضم مواد مغذی شده و منجر به افزایش رشد و کاهش ضریب تبدیل غذایی در آبزیان می‌شوند که کاهش معنی‌دار ضریب تبدیل غذایی در تیمار ۳ نسبت به گروه شاهد نیز مؤید این مطلب است.

تغذیه یکی از ارکان اساسی در پرورش آبزیان به شمار می‌رود و نقش مهمی در رشد و نگهداری و تولیدمثل و مقاومت و سلامت موجود زنده ایفا می‌کند (بحری و بیگی کلشتری، ۱۳۹۷). با توجه به اهمیت تغذیه در تکمیل اعمال متابولیک آبزیان، تهیه غذای مناسب برای پرورش بهینه آن‌ها از مسائل کلیدی در صنعت آبزی‌پروری است. به‌رغم پیشرفت‌های فناورانه در تولید غذای با کیفیت، چالش‌هایی همچنان در زمینه تأمین غذای مناسب برای لاروهای آبزیان وجود دارد. اهمیت استفاده از غذای زنده در این صنعت، به خصوص در پرورش لارو آبزیان برکسی پوشیده نیست (بقالیان و احمدنیای مطلق، ۱۳۹۷). دانشمندان بر این باورند که اگر موجودات زنده از تغذیه مناسب و شرایط محیطی مطلوب برخوردار باشند، به مشکلاتی مانند عدم رشد و بیماری دچار نخواهند شد. آبزیان قبل از عادت به غذای کنسانتره، به طور طبیعی به جستجو و شکار موجودات ریز زنده می‌پردازند و از این طریق ریزعناصر و مواد مغذی لازم را تأمین می‌کنند. اگرچه بسیاری از ماهی‌ها قادر به مصرف غذای کنسانتره هستند، اما ممکن است نتوانند آن را به خوبی هضم کنند. بنابراین، موفقیت در پرورش ماهی‌ها مستلزم ترکیب غذای طبیعی با غذای کنسانتره است (بحری و بیگی کلشتری، ۱۳۹۷). در همین راستا، یکی از بزرگترین چالش‌های پرورش ماهیان خاویاری تغذیه این ماهیان در مراحل اولیه زندگی است که هنوز دستگاه گوارش آن‌ها تکامل نیافته و آنزیم‌های گوارشی نیز برای گوارش غذای کنسانتره فعال نیستند (Adamipour and Askari-Sari, 2016).

یکی از روش‌های کاهش میزان تلفات و بهبود وضعیت رشد لارو ماهیان خاویاری در شروع تغذیه فعال، معرفی غذای مناسب در این مرحله است (Farabi and Azari Takami, 1996). بنابراین غذای زنده در آبزی پروری ماهیان خاویاری بسیار با اهمیت است، زیرا استفاده از آن مزایای زیادی دارد و تقریباً تمام اقلام غذایی مورد نیاز این ماهیان را تأمین می‌کند. با توجه به جمع‌بندی نتایج، یافته‌های این مطالعه نشان‌دهنده اهمیت افزودن سلنیوم و آهن به جیره غذایی برای بهبود رشد و کارآیی تغذیه‌ای کرم‌های نرئیس است. نظر به نتایج به دست آمده، استفاده از نانوذرات سلنیوم و آهن نه تنها باعث کاهش ضریب تبدیل غذایی می‌شود، بلکه می‌تواند منجر به افزایش بازماندگی و رشد بهتر کرم‌ها شود. این یافته‌ها اهمیت توجه به ترکیبات معدنی در جیره‌های غذایی آبزیان را بیشتر نمایان می‌کند و نیازمند توجه بیشتر محققان در زمینه‌های مرتبط است. بر اساس نتایج به دست آمده، استفاده تلفیقی از نانوذره سلنیوم به میزان ۲ mg/kg با ۲۰۰ mg/kg نانوذرات آهن نسبت به جیره شاهد و نیز دیگر سطوح ترکیبی این دو نانوذره، تأثیر بهتری بر رشد و بازماندگی کرم نرئیس دارد و به کار بردن این سطوح در جیره غذایی این کرم توصیه می‌شود. نظر به اهمیت کرم نرئیس به عنوان غذای زنده در آبزی پروری، به نظر می‌رسد استفاده از نانو ذرات آهن و سلنیوم به عنوان یک مکمل رشد در کرم نرئیس می‌تواند مطرح و قابل ترویج باشد.

تشکر و قدردانی

این پژوهش در قالب فرصت مطالعاتی اعضای هیات علمی سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی در جامعه و صنعت انجام شده و به این وسیله از شرکت دانش بنیان زیست پالایشگر خزر و انستیتو تحقیقات بین‌المللی ماهیان خاویاری سپاسگزاری می‌شود.

منابع

Adamipour, N., Askari-Sari, A. 2016. The role of live food in rearing sturgeon larvae. International Conference on New Horizons in Agricultural Sciences, Natural Resources and Environment 2: 1-10 (In Persian).

Ahmadvand, SH., Keramat Amirkalaei, A., Orji, H., Ahmadvand, SH. 2015. Study of the effects of selenium nanoparticles (Nano-Se) compared to organic selenium (Selemax) on the performance of growth indices of common carp (*Cyprinus carpio*). Journal of Animal Environment 7: 189-196. (In Persian).

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.

Bartels-Hardege, H.D., Zeeck, E. 1990. Reproductive behaviour of *Nereis diversicolor* (Annelida: Polychaeta). Marine Biology 106: 409-412. DOI: 10.1007/BF01344320.

Cheraghi, S., Taati, R., Pajand, Z. 2020. Effect of different dietary protein levels on growth, survival and body composition of *Hediste diversicolor*. Iranian Journal of Fisheries Sciences 29: 1-8. DOI: 121149.2019.ISFJ/22092.10. (In Persian).

Colgrave, M.L., Dominik, S., Tobin, A.B., Stockmann, R., Simon, C., Howitt, C.A., Belobrajdic, D.P., Paull, C., Vanhercke, T. 2021. Perspectives on future protein production. Journal of Agricultural and Food Chemistry 69: 15076-15083. DOI: 10.1021/acs.jafc.1c05989.

Durou, C., Mouneyrac, C., Amiard-Triquet, C. 2008. Environmental quality assessment in estuarine ecosystems: Use of biometric measurements and fecundity of the ragworm *Nereis diversicolor* (Polychaeta, Nereididae). Water Research 42: 2157-2165. DOI: 10.1016/j.watres.2007.11.028.

Farabi, S.M.V., Azari Takami, Q. 1996. Sturgeon Breeding. Tarbiat Modares University Publications. 20 p. (In Persian).

Farzaneh, E., Khara, H., Pajand, Z. 2017. Enrichment *Nereis diversicolor* using probiotic bacteria Bacillus and Lactobacillus and its effect on the growth parameters and survival of *Acipenser baeri* fingerlings. Journal of Marine Biology 9: 59-76. (In Persian).

Fidalgo e Costa, P., Narciso, N., Cancela da Fonseca, L. 2000. Growth, survival and fatty acid profile of *Nereis diversicolor* fed on six different diets. Bulletin of Marine Science 67: 337-343.

Galbraith, E.D., Le Mézo, P., Solanes Hernandez, G., Bianchi, D., Kroodsma, D. 2019. Growth limitation of marine fish by low iron availability in the open ocean. Frontiers in Marine Science: 509. DOI: 10.3389/fmars.2019.00509.

Hamilton, S.J. 2004. Review of selenium toxicity in the aquatic food chain. Science of the Total Environment 326: 1-31. DOI: 10.3389/fmars.2019.00509.

Han, D., Xie, S., Liu, M., Xiao, X., Liu, H., Zhu, X., Yang, Y. 2011. The effects of dietary selenium on growth performances, oxidative stress and tissue selenium concentration of gibel carp (*Carassius auratus gibelio*). Aquaculture Nutrition 17: 741-749. DOI: 10.1111/j.1365-2095.2010.00841.x.

Iheanacho, S.C., Ikwo, N., Igweze, N.O., Chukwuidha, C., Ogueji, E.O., Onyeneke, R. 2018. Effect of different dietary inclusion levels of melon seed (*Citrullus lanatus*) peel on growth, haematology and histology of *Oroechromis niloticus* juvenile. Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 18: 377-384. DOI: 10.4194/1303-2712-v18_3_03.

Jamali, Z, Aalaf Navirian, H., Falahatkar, B., Pajand, Z. 2022. Effects of different densities of beluga sturgeon (*Huso huso*) on growth indices and total organic matter in integrated system using the bioremediation activity of Nereis worm (*Nereis diversicolor*). Journal of Aquaculture Development 15: 29-46. (In Persian).

Juniper, D.T., Phipps, R.H., Ramos-Morales, E., Bertin, G. 2009. Effects of dietary supplementation with selenium enriched yeast or sodium selenite on selenium tissue distribution and meat quality in lambs. Animal Feed Science and Technology 149:

228-239. DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2008.06.009.

Kalantari, S., Taati, R., Pajand, Z. 2021. Comparison of growth, carcass composition and fatty acid profile of *Hediste diversicolor* fed faeces and food of beluga (*Huso huso*) in open and semi-closed systems. Aquatic Physiology and Biotechnology 9: 19-38. DOI: 10.22124/japb.2021.17059.1387. (In Persian).

Manam, V.K. 2023. Fish feed nutrition and its management in aquaculture. International Journal of Fisheries and Aquatic Studies 11: 58-61. DOI: 10.22271/fish.2023.v11.i2a.2791.

Maynard, D., Flagg, T., Mahnken, C. 1995. A review of semi-culture strategies for enhancing the post-release survival of anadromous salmonids. American Fisheries Society Symposium 15: 307-314.

Naderi, M., Keyvanshokooh, S., Salati, A.P., Ghaedi, A. 2017. Effects of dietary vitamin E and selenium nanoparticles supplementation on acute stress responses in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) previously subjected to chronic stress. Aquaculture 473: 215-222. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2017.02.020.

Nasr-Eldahan, S., Nabil-Adam, A., Shreadah, M.A., Maher, A.M., El-Sayed Ali, T. 2021. A review article on nanotechnology in aquaculture sustainability as a novel tool in fish disease control. Aquaculture International 29: 1459-1480. DOI: 10.1007/s10499-021-00677-7.

National Research Council (NRC). 2011. Nutrient requirements of fish and shrimp. National Academy Press, Washington DC, 392p.

Nesto, N., Simonini, R., Prevedelli, D., Da Ros, L. 2012. Effects of diet and density on growth, survival and gametogenesis of *Hediste diversicolor* (O.F. Müller, 1776) (Nereididae, Polychaeta). Aquaculture 362-363: 1-9. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2012.07.025.

Noga, E. 2000. Fish Diseases: diagnosis and treatment. Wiley-Blackwell Press, 366-367.

Ogunji, J.O, Nimptsch, J., Wiegand, C., Schulz, C., Rennert, B. 2011. Effect of housefly maggot meal (magmeal) diets on catalase, and glutathione S-transferase in the liver and gills of carp *Cyprinus carpio* fingerling. International Aquatic Research 3: 11-20.

Otsuka, K., Fan, S. 2021. Agricultural development: New perspectives in a changing world. International Food Policy Research Institute. Washington, DC. DOI: 10.2499/9780896293830.

Pajand, Z.O., Emadi, H., Negarestan, H., Parandavar, H., Chobian, F., Haddadi Moghadam, K. 2003. Investigating the possibility of achieving biotechnology in the cultivation of Nereis (*Nereis diversicolor*) worms. Iranian Fisheries Research Institute, 78 p. (In Persian).

Pajand, Z.O., Hadadi Moghadam, K., Chobian, F., Rofchaei, R., Parandavar, H. 2009. The effects of temperature, salinity and photoperiod on sexual maturity and concomitant reproduction behavior in *Nereis diversicolor*. Iranian Journal of Fisheries Sciences 18: 20-33. DOI: 10.22092/ISFJ.2009.115474 (In Persian).

Pajand, Z.O., Haddadi Moghaddam, K., Choubian, F., Farzaneh, A., Hosseinnia, A., Ashouri, A.R., Sayadfar, J. 2019a. The effect of dietary fat sources (canola and corn oils) on growth factors, survival and fatty acid composition of *Nereis diversicolor* worms. Journal of Animal Environment 11: 379-388. (In Persian).

Pajand, Z.O., Soltani, M., Kamali, A., Bahmani, M. 2019b. The study of removal efficiency of wastewater nutrition derived different densities *Huso huso* using polychaete worm *Nereis diversicolor*. Journal of Aquaculture Development 13: 13-24. (In Persian).

Pajand, Z.O., Soltani, M., Kamali, A., Bahmani, M. 2020. Growth, survival and fatty acids profile of Polychaete, *Nereis diversicolor* (Müller, 1776) cultured using waste water of great sturgeon, *Huso huso* (Linnaeus, 1758), culture at different densities in an integrated farming system. Iranian Journal of Fisheries Sciences 19: 234-247. DOI: 10.22092/IJFS.2019.118779

Saffari, S., Keyvanshokooh, S., Zakeri, M., Johari, S. A., Pasha-Zanoosi, H. 2017. Effect 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: 10.1111/anu.12428.

Santos, A., Granada, L. Baptista, T., Anjos, C., Simões, T., Tecelão, C., Fidalgo e Costa, P., Costa, J.L., Pombo, A. 2016. Effect of three diets on the growth and fatty acid profile of the common ragworm *Hediste diversicolor* (Müller, 1776). Aquaculture 465: 37-42. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2016.08.022.

Searchinger, T., Waite, R., Hanson, C., Ranganathan, J., Dumas, P., Matthews, E., Klirs, C. 2019. Creating a sustainable food future: A menu of solutions to feed nearly 10 billion people by 2050. Final Report, Washington DC, USA, 556 p.

Wang, H., Zhu, H., Wang, X., Li, E., Du, Z., Qin, J., Chen, L. 2018 . Comparison of copper bioavailability in copper-methionine, nano-copper oxide and copper sulfate additives in the diet of Russian sturgeon *Acipenser gueldenstaedtii*. Aquaculture 482: 146-154. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2017.09.037.

Yousefi Garakouei, M., Kamali, A., Soltani, M. 2020. Comparison of growth rate and fatty acid profile of *Nereis diversicolor* fed with faeces and food of rainbow trout. Journal of Aquaculture Development 14: 119-1310. (In Persian).

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.