"مقاله پژوهشی"

اثرات سطوح مختلف نانو ذرات سلنیوم و آهن بر فاکتورهای رشد، بازماندگی و ترکیبات شیمیایی در بچه ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان (*Onchorhynchus mykiss*)

سمیه خاوری[۱]، صابر وطن دوست[۱*]، حامد منوچهری*[۱]، رضا چنگیزی[۱]، شایان قبادی[۱]

۱- گروه شیلات، واحد بابل، دانشگاه آزاد اسلامی، بابل، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۲/۲۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۴/۲۵

چکیده

این مطالعه با هدف بررسی افزودن غلظت‌های متفاوت نانوذرات سلنیوم وآهن به جیره غذایی و تأثیر آن بر مقادیر شاخص‌های رشد و درصد ترکیبات شیمیایی لاشه در قزل‌آلای رنگین‌کمان انجام شد. در این تحقیق، تعداد۲۴۰ عدد بچه ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان با میانگین وزنی ۰/۰۲ ± ۵/۲۱ گرم به مدت ۸ هفته با جیره‌های حاوی ۰/۵، ۱، ۲ میلی‌گرم در کیلوگرم نانو ذرات سلنیوم و به میزان ۱۰، ۳۰ و ۵۰ میلی‌گرم نانو ذرات آهن در یک طرح کاملا تصادفی به ۴ تیمار آزمایشی؛ تیمار ۱ (تیمار شاهد)، تیمار ۲ (۰/۵ میلی‌گرم نانوذره سلنیوم + ۱۰ میلی‌گرم نانو ذره آهن در کیلوگرم غذا)، تیمار ۳ (۱ میلی‌گرم نانوذره سلنیوم + ۱۰ میلی‌گرم نانو ذره آهن در کیلوگرم غذا)و تیمار ۴ (۲ میلی‌گرم نانوذره سلنیوم + ۵۰ میلی‌گرم نانو ذره آهن در کیلوگرم غذا) تغذیه شدند. بر طبق نتایج، مقادیر وزن بدن، درصد افزایش وزن، نرخ رشد ویژه و نسبت کارایی پروتئین در میزان ۲ میلی‌گرم نانو ذرات سلنیوم و ۵۰ میلی‌گرم نانو ذرات آهن نسبت به سایر مقادیر از افزایش و اختلاف معنی داری با سایر تیمارها داشت ($p<0.05$). همچنین ضریب تبدیل غذایی، در مقادیر ۲ میلی‌گرم نانو ذرات سلنیوم و۵۰ میلی‌گرم نانو ذرات آهن دارای اختلاف معنی دار با سایر تیمارها داشت ($p<0.05$). در میزان باز ماندگی آنالیز لاشه، بیشترین مقدار پروتئین در تیمار ۰/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم نانو ذرات سلنیوم و۱۰ میلی‌گرم نانو ذرات آهن دیده شد که نسبت به تیمار شاهد اختلاف معنی داری داشت ($p<0.05$). با افزایش مقدار نانوذرات سلنیوم و آهن در تیمارهای آزمایشی بر میزان پروتئین افزوده شد. همچنین از نظر میزان مقدار چربی نیز اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای آزمایشی و تیمار شاهد مشاهده شد ($p<0.05$). نتایج نشان داد که استفاده از ۲ و ۰/۵ میلی‌گرم نانوذرات سلنیوم و ۱۰ و ۵۰ میلی‌گرم نانو ذرات آهن با توجه به نتایج بدست آمده تاثیر مناسبی بر روی قزل-آلای رنگین‌کمان دارد.

کلمات کلیدی: نانوذرات سلنیوم، نانوذرات آهن، قزل‌آلای رنگین‌کمان، فاکتور های رشد، پروتئین

* عهده‌دار مکاتبات: s.vatandoust@gmail.com ، hdmanuchehri@gmail.com

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-06-14]

[DOI: 10.71901/jad-2024-1-814]

مقدمه

قزل‌آلای رنگین‌کمان (*Onchorhynchus mykiss*) یکی ار مهمترین گونه های پرورشی است که تولید آن کمک شایانی در تامین پروتئین حیوانی مورد نیاز کشورهای در حال توسعه می کند. تولید قزل‌آلای رنگین‌کمان در آب های شیرین ایران از ۱۳۳۲ تن در سال ۱۹۹۵ به ۱۲۶۵۱۵ تن در سال ۲۰۱۴ میلادی رسیده است (FAO, 2016). جیره غذایی دستی قزل‌آلای رنگین‌کمان به طور کلی حاوی پروتئینها و چربیها، همراه با مقدار زیادی رطوبت است، تا بتواند نیاز های غذایی ماهی را تامین نماید میزان غذا را باید مطابق با اندازه و سن ماهی تعیین نمود . با این وجود مکمل‌های ویتامینی و معدنی برای بهبود رشد و سلامت بیشتر ماهیان به جیره‌های غذایی اضافه می گردند (Amar *et al*., 2004).

با توجه به پیشرفت در بخش فناوری نانو، کاربردهای نانومواد در صنایع مختلف در چند سال گذشته به سرعت رشد کرده است. نانوذرات فلزی به دلیل ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی منحصربه‌فردشان به‌طور گسترده در صنایع زیست‌پزشکی، غذایی، کشاورزی و الکترونیک مورد استفاده قرار می‌گیرند (Kaviyarasu *et al*.,2020).کاربرد نانوذرات در آبزی‌پروری از طریق مکمل غذایی صورت می‌گیرد. ساختار شیمیایی و اندازه مکمل‌های غذایی نقش مهمی در آبزیان دارد. نانوذرات با حضور بیشتر در جریان خون و افزایش فراهمی زیستی در بهبود راندمان تولید، در آبزی-پروری حائز اهمیت می‌باشد (Khalil *et al*., 2023). فناوری نانو دارای پتانسیل استفاده در صنعت پرورش آبزیان و غذاهای دریایی است (Handy *et al*., 2012). بنابراین به منظور افزایش بازده تولید، تعیین نیازهای غذایی آبزیان ضروری می‌باشد. توجه به کمیت و کیفیت غذا درکنار طراحی اصولی و کاهش هزینه تولید می‌تواند موجب موفقیت در پرورش آبزیان شود.

یکی از این عناصر آهن است. آهن جزء ترکیب تمام یاخته‌های بدن می‌باشد. به ویژه در کبد و طحال ذخیره شده و برای ساخت گلبول‌های قرمز، لوکوسیت‌های کبد را به مغز استخوان انتقال می‌دهد. آهن برای سوخت و ساز و ویتامین‌های گروه B نیز ضروری است. از دیگر وظایف آهن در بدن می‌توان به افزایش مقاومت ماهی در برابر استرس و عملکرد صحیح آنزیم‌ها اشاره کرد (Ghobadi *et al*., 2013).

از طرفی، امروزه نقش حیاتی سلنیوم در کاهش وقوع شمار زیادی از بیماری‌ها در انسان و حیوانات بصورت گسترده پذیرفته شده‌است (Cappelli *et al*., 2007). مکانیسم این نقش، مرتبط با فعالیت برخی از سلنوپروتئین‌ها در محافظت از سلول‌ها، به ویژه سلول‌های مرتبط با سیستم ایمنی (نوتروفیل‌ها، لمفوسیت‌های سیتوتوکسیک) می‌شود. همچنین سلنیوم باعث فعال شدن واکنش‌های اکسیژنی (ROS) در سلول ها می‌گردد. عمدتاً در طول بیماری‌ها (دوره انتقال گاوهای شیری) منجر به فعال شدن لوکوسیت‌ها شده، و باعث افزایش سیستم ایمنی می‌شوند (Eaton, 2006). بطوریکه در موارد کمبود سلنیوم در اندام‌ها، متابولیسم کربوهیدرات، لپید و پروتئین و همچنین عملکرد کبد مختل می‌شود (Zavodnik *et al*., 2011). جیره‌های با ترکیبات سلنیوم برای رشد و سلامتی سیستم ایمنی در انسان و حیوان ضروری هستند (Schrauzer and Surai, 2009). سلنیوم در آنزیم‌هایی همچون گلوتاتیون پراکسیداز که فعالیت آنتی‌اکسیدانی داشته موجود بوده و بوسیله حفاظت سلول‌ها در برابر اثرات

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-06-14]

[DOI: 10.71901/jad-2024-1-814]

آسیبی و سمی رادیکال‌های آزاد، در رشد و توسعه سلول‌ها نقش دارند (Abedelahi *et al*., 2008). مکمل سلنیوم از آسیب سلولی جلوگیری می‌کند و در باروری و عملکردهای سیستم ایمنی انسان و سایر مهره داران، از جمله ماهی تاثیرگذاراست (Schrauzer and Surai, 2009). عمده ترین شیوه دسترسی ماهی به سلنیوم از طریق جیره غذایی می‌باشد، بنابراین بیشترین میزان جذب در بافت‌های روده و معده اتفاق می‌افتد. فراوانترین شکل سلنیوم، ال سلنو متیونین می‌باشد که در تمامی سطوح مختلف غذایی یافت شده است (Maher *et al*., 2010).

با افزایش میزان نانوذرات، آسیب‌های هیستوپاتولوژیک درکبد بیشتر می‌شود، اما سلول‌های بافتی در مقادیر متوسط و کم هر دو نانوذره و در مقدار بالای نانوذره آهن با برداشتن عامل القایی می‌توانند دوباره فعالیت فیزیولوژیک خود را از سر بگیرند. اما در مقدار بالا روی این ترمیم بافتی بر خلاف نانو ذرات آهن به صورت برگشت پذیرنبوده است (صحرایی و همکاران، ۱۴۰۲). طبق بررسی های صورت گرفته نانو ذره سلنیوم بر روی ماهی شانک عملکرد رشد بهتری داشته است (Ziaei-nejad *et al*., 2021). استفاده از نانوذرات سلنیوم موجب افزایش درصد افزایش وزن، نرخ رشد ویژه و ضریب تبدیل غذایی شده‌است (Swain *et al*., 2018). مصرف نانوذرات سلنیوم در ماهی کپور معمولی باعث افزایش پروتئین پلاسما می شود (Ashouri, 2015). افزودن سلنیوم در رژیم غذایی برای بهبود مطلوب است و باعث عملکرد مناسب رشد ماهی می‌گردد (Jamil, 2013).

نانو ذرات آهن بر درصد افزایش وزن، نرخ رشد ویژه و ضریب تبدیل غذایی در ماهیان قزل‌آلای رنگین‌کمان تاثیر گذار است (Ghobadi *et al*., 2013).

بنابراین، هدف از انجام تحقیق بررسی تاثیرجیره‌های مختلف حاوی نانو ذرات آهن و سلنیوم بر روی شاخص‌های رشد، درصد ترکیبات شیمیایی لاشه و سلامت ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان بود.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در یک مزرعه پرورش ماهی قزل-آلای خصوصی در شهرستان بابل، استان مازندران انجام شد. ابتدا به مدت یک هفته به منظور آداپتاسیون غذادهی انجام گردید. تعداد ۲۴۰ عدد بچه ماهی قزل‌آلا با میانگین وزنی ۰/۰۲ ± ۵/۲۱ گرم با جیره‌های حاوی ۰/۵، ۱، ۲ میلی‌گرم در کیلوگرم نانو ذرات سلنیوم و به میزان ۱۰، ۳۰ و ۵۰ میلی‌گرم نانو ذرات آهن در یک طرح کاملا تصادفی به ۴ تیمار آزمایشی؛ تیمار ۱ (تیمار شاهد)، تیمار ۲ (۰/۵ میلی‌گرم نانوذره سلنیوم + ۱۰ میلی‌گرم نانو ذره آهن در کیلوگرم غذا)، تیمار ۳ (۱ میلی‌گرم نانوذره سلنیوم + ۱۰ میلی‌گرم نانو ذره آهن در کیلوگرم غذا)و تیمار ۴ (۲ میلی‌گرم نانوذره سلنیوم +۵۰ میلی‌گرم نانو ذره آهن در کیلوگرم غذا) (هر تیمار با ۳ تکرار) تقسیم شدند (تمجید و همکاران، ۱۴۰۰؛ صحرایی و همکاران، ۱۴۰۱). نانو ذرات سلنیوم از شرکت نانو مواد کیمیاگران، تهران، ایران تهیه شد. این ماده دارای درجه خلوص ۹۹ درصد و اندازه کمتر از ۵۰ نانومتر بود. نانو ذره آهن نیز از شرکت فاین نانو تهران، ایران تهیه گردید. این ماده دارای درجه خلوص ۹۹ درصد و با اندازه ۳۰ نانومتر بود. برای تهیه جیره ابتدا غذای پایه (جدول ۱) و بیوپلکس سلنیوم و آهن توسط ترازی دیجیتال با دقت ۰/۱ گرم به طور جداگانه

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-06-14]
[DOI: 10.71901/jad-2024-1-814]

وزن شده، و با استفاده از آب دوبار تقطیر به حجم ۲۵۰ میلی لیتر رسانده شد (Ashouri *et al*., 2015). سپس روی غذاها اسپری گردید و به مدت ۳ ساعت در دمای ۴۵ درجه سانتی‌گراد خشک شدند. جهت جلوگیری از جدا شدن نانو ذارات و ورود آن به محیط آب، غذای آماده شده توسط ژلاتین گاوی پوشانده شد (جوهری و حسینی، ۱۳۹۳). ماهی ها به مدت ۸ هفته پرورش داده شدند. غذادهی به بچه ماهیان قزل‌آلا براساس مشاهدات و رفتار تغذیه‌ای آنها تا حد سیری در ۳ نوبت (ساعت‌های ۸، ۱۲و ۱۶) انجام‌گرفت. ماهیان هر ۱۵ روز یک بار زیست‌سنجی (اندازه‌گیری طول و وزن) انجام شد. برای انجام این عمل پس از قطع خوراک به مدت ۱۲ ساعت، ماهیان با دوز ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر با عصاره گل میخک بیهوش شدند (Mohammadi and Khara, 2015). سپس با ترازویی با دقت ۰/۰۱ گرم توزین گردیدند. همچنین با تخته زیست سنجی با دقت یک میلی‌متر، طول کل آنها اندازه‌گیری‌شد.

جدول ۱: جیره پایه استفاده شده در تغذیه قزل‌آلای رنگین‌کمان

نوع ترکیب	درصد
پروتئین خام	۴۴/۳۳
چربی خام	۱۵/۴۱
رطوبت	۸/۴۱
خاکستر	۱۳/۴۴
عصاره عاری از ازت[1]	۱۵/۵۶
فیبر	۳/۱۹
انرژی ناخالص (مگاژول بر کیلوگرم)[2]	۱۹/۱۹

(درصد فیبر + درصد رطوبت + درصد خاکستر+ درصد چربی + درصد پروتئین) ×۱۰۰= عصاره عاری از ازت ۱)

(درصدعصاره عاری از ازت × ۱۷) + (درصد چربی × ۳۹/۵) + (درصد پروتئین غذا × ۲۳/۶) = (Mg/kg) انرژی ناخالص ۲)

شاخص‌های رشد ماهی‌ها بر اساس فرمول‌های زیر محاسبه شدند (Turchin *et al*., 2003):

افزایش وزن بدن:

$$BWI = Wt_2 - Wt_1$$

Wt_1 = گرم وزن اولیه ماهی

Wt_2 = گرم وزن نهایی ماهی

درصد افزایش وزن بدن:

$$PBWI\ (\%) = [(Wt_2 - Wt_1) / Wt_1] \times 100$$

Wt_1 = گرم وزن اولیه ماهی

Wt_2 = گرم وزن نهایی ماهی

نرخ رشد ویژه (درصد در روز): (Hevroy *et al*., 2005).

$$SGR)\%\ /day = [(LnWt_2 - LnWt_1) / t_2 - t_1] \times 100)$$

$LnWt_1$ = لگاریتم طبیعی وزن اولیه ماهی

$LnWt_2$ = لگاریتم طبیعی نهایی ماهی

$t_2 - t_1$ = طول دوره آزمایش

محاسبه شاخص‌های تغذیه‌ای

براساس داده‌های بدست آمده از زیست سنجی و تجزیه لاشه بچه ماهیان قزل‌آلای رنگین‌کمان در ابتدا و انتهای دوره پرورش و نیز تجزیه جیره های آزمایشی، برخی معیارهای تغذیه‌ای به شرح زیر اندازه‌گیری شد (Turchin *et al*., 2003).

ضریب تبدیل غذایی:

$$FCR = g\ dry\ feed\ eaten / g\ live\ weight\ gain$$

g dry feed eaten = غذای خورده شده (گرم)

g live weight gain = گرم وزن بدست آمده ماهی

نسبت کارایی پروتئین:

$$PER\ (g/g) = g\ live\ weight\ gain / g\ protein\ intake\ in\ fish$$

g live weight gain = وزن بدست آمده (گرم)

gr protein intake in fish = پروتئین خورده شده (گرم)

(مقدار غذای خورده شده × درصد پروتئین غذای خورده شده) = پروتئین خورده شده (گرم)

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-06-14]

[DOI: 10.71901/jad-2024-1-814]

سنجش تجزیه شیمیایی جیره‌های غذایی و لاشه ماهیان

برای سنجش پروتئین خام از طریق تعیین نیتروژن کل به روش کجلدال با استفاده از دستگاه میکروکجلدال ساخت کشور سوئد (kjeltec (Sweden Auto Analyser,2300 Tecator و بر اساس ۶/۲۵× CP %N = تعیین شد. سنجش چربی خام از طریق حل کردن چربی در اتر و تعیین مقدار آن به روش سوکسله به وسیله دستگاه سوکسله اتوماتیک ساخت کشور سوئد انجام گرفت. همچنین برای اندازه گیری خاکستر نیز از طریق قرار دادن نمونه در کوره الکتریکی به وسیله دستگاه کوره هریوس آلمانی در دمای ۵۵۰ درجه سانتی گراد برای مدت ۴ ساعت اندازه گیری شد (AOAC, 2005).

در پایان دوره پرورش که ۶۰ روز به طول انجامید، پس از گذشت ۲۴ ساعت از زمان قطع تغذیه و اطمینان از دفع کامل محتویات لوله گوارش، برداشت محصول انجام شد. برای این منظور کل بچه ماهیان توزین شدند و ۲۴ عدد بچه ماهی (دو نمونه به ازای هر تکرار) بطور تصادفی نمونه‌گیری شد. سپس سر و باله و پوست ماهیان هر تیمار، جدا و در نهایت لاشه آنها پس از ۳ بار چرخ شدن و تهیه مخلوط همگن بسته بندی شده و در فریزر (۲۰- درجه سانتی‌گراد) منجمدگردید. در ادامه این مخلوط جهت تجزیه شیمیایی لاشه در آزمایشگاه مورد استفاده قرارگرفت.

تجزیه و تحلیل آماری:

در ابتدا اطلاعات خام در محیط Excel مورد پردازش و در نهایت وجود یا عدم وجود اختلاف معنی دار با استفاده از نرم افزار SPSS (ویرایش بیستم) در سطح ۵٪ انجام‌گرفت. ابتدا آزمون نرمالیتی (Normality) به وسیله آزمون Shapiro-Wilk انجام شد. تجزیه و تحلیل بر روی داده های مربوط به تغییرات معیارهای رشد، فاکتورهای تغذیه ای و ترکیبات شیمیایی لاشه بچه ماهیان قزل‌آلای رنگین‌کمان از طریق آزمون تجزیه واریانس یکطرفه (one-way analysis of variance ANOVA) و مقایسه میانگین بین تیمارها بر اساس آزمون چند دامنه ای (تست جدا ساز) دانکن استفاده شد.

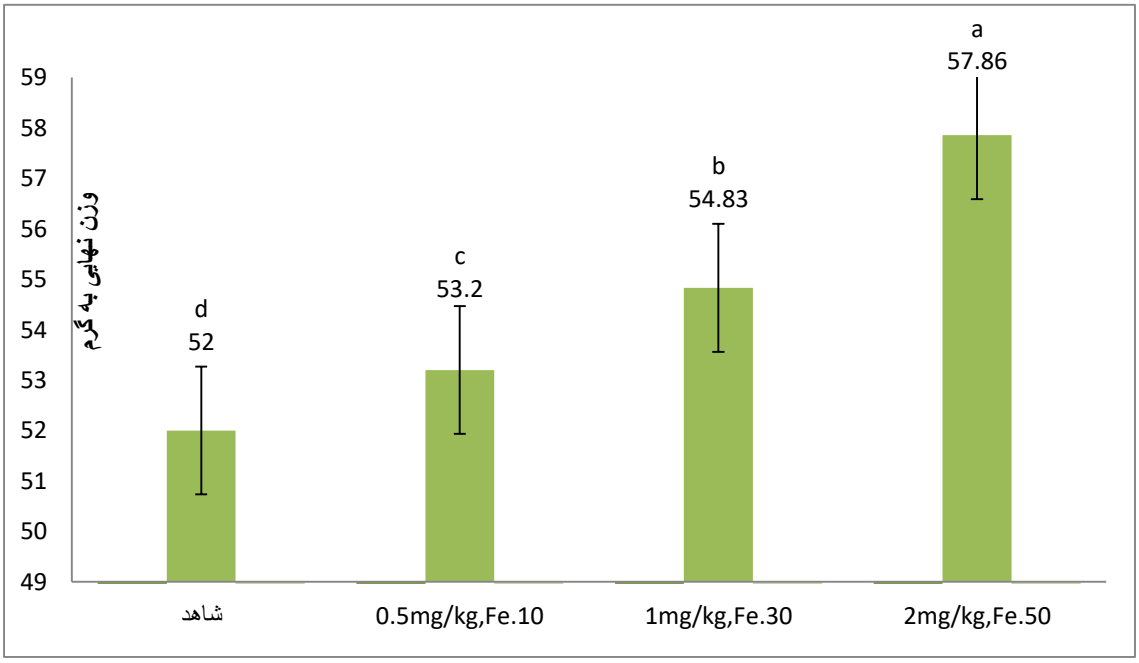
نتایج

نتایج نشان داد نانو ذرات سلنیوم و آهن در سطوح مختلف تأثیرات مثبتی بر معیارهای رشد ماهیان دارند. بطوریکه در مقایسه با تیمار شاهد، تیمارهای آزمایشی حاوی نانو ذرات سلنیوم و آهن از وزن نهایی بدست آمده بیشتری برخوردار بودند و تفاوت معنی داری بین آنها مشاهده گردید ($p<۰/۰۵$). بین تیمارها با سطوح مختلف نانو ذرات سلنیوم و آهن از لحاظ آماری نیز اختلاف معنی‌داری مشاهده گردید به طوری که تیمار ۲ میلی‌گرم درکیلوگرم ذرات سلنیوم و ۵۰ میلی‌گرم آهن از این نانو ذرات نسبت به سایر سطوح از کارایی بالاتری برخوردار بود (شکل ۱).

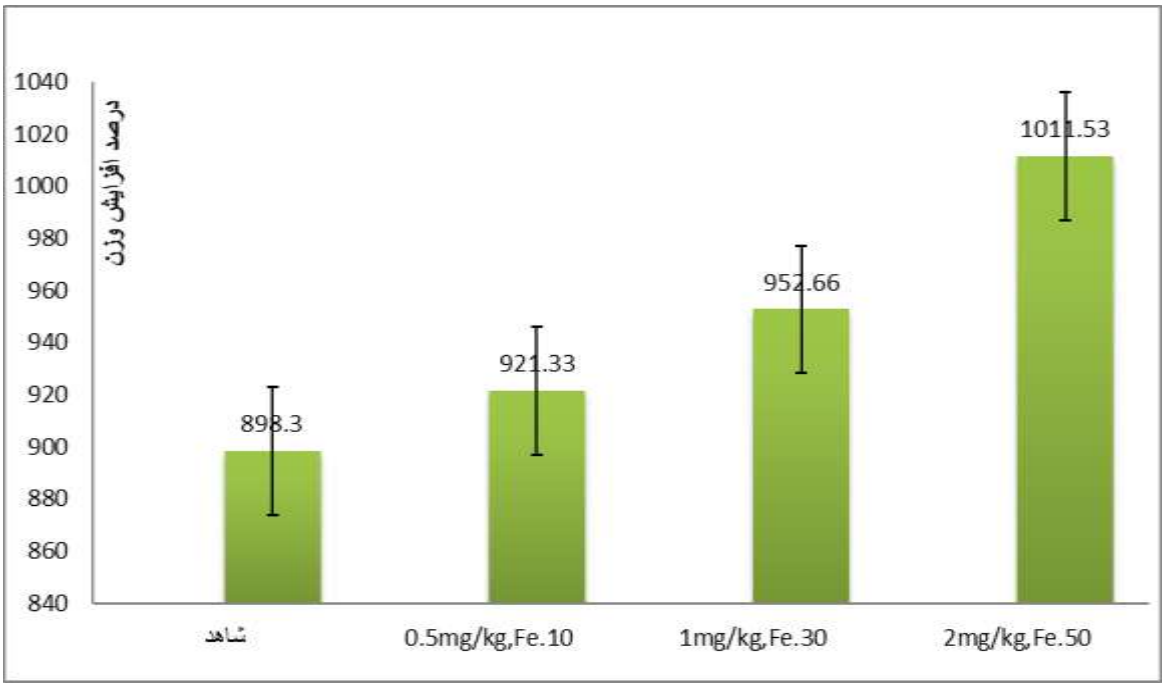
درصد افزایش وزن بدن در تیمار ۲ میلی‌گرم درکیلوگرم نانو ذرات سلنیوم و ۵۰ میلی‌گرم نانو ذرات آهن جیره نسبت به سایر تیمارها بیشتر بود و تفاوت معنی داری مشاهده شد ($p<۰/۰۵$). بطوریکه کمترین میزان آن در تیمار شاهد و بیشترین آن در تیمار ۲ میلی‌گرم درکیلوگرم نانو ذرات سلنیوم و آهن جیره مشاهده‌گردید. تیمارهای ۱ و ۰/۵ میلی‌گرم درکیلوگرم نانو ذرات سلنیوم و آهن نسبت به تیمار شاهد دارای تفاوت معنی‌داری بودند ($p<۰/۰۵$) (شکل ۲).

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-06-14]

[DOI: 10.71901/jad-2024-1-814]



شکل ۱: وزن نهایی بچه ماهیان قزل‌آلای رنگین‌کمان تغذیه شده با سطوح مختلف نانو ذرات سلنیوم و آهن



شکل ۲: درصد افزایش وزن بدن بچه ماهیان قزل‌آلای رنگین‌کمان تغذیه شده با سطوح مختلف نانو ذرات سلنیوم و آهن

نرخ رشد ویژه در تیمار ۲ میلی‌گرم درکیلوگرم نانو ذرات سلنیوم و ۵۰ میلی‌گرم نانو ذرات آهن جیره نسبت به سایر تیمارها به طور معنی‌داری افزایش نشان داد (p<۰/۰۵). بطوریکه کمترین میزان آن در تیمارشاهدو بیشترین آن در تیمار ۲ میلی‌گرم درکیلوگرم نانو ذرات سلنیوم و ۵۰ میلی‌گرم

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-06-14]
[DOI: 10.71901/jad-2024-1-814]

درکیلوگرم نانو ذرات آهن جیره مشاهده‌گردید. همچنین با افزایش نانو ذرات سلنیوم و آهن در جیره های آزمایشی میزان نرخ رشد ویژه نیز افزایش یافت (جدول ۲).

ضریب تبدیل غذایی با بکارگیری نانو ذرات سلنیوم و آهن مورد استفاده در تیمار ۲ میلی‌گرم سلنیوم و۵۰ میلی‌گرم نانو ذرات آهن جیره این آزمایش در مقایسه با سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری را نشان داد (p<۰/۰۵). کمترین مقدار آن در تیمار ۲ میلی‌گرم در کیلوگرم نانو ذرات سلنیوم و آهن جیره بدست آمد، در حالی که بیشترین آن در تیمار ۰/۵ میلی‌گرم درکیلوگرم و تیمار شاهد تعیین گردید (جدول ۲).

نسبت کارایی پروتئین در بین تیمار ۲ میلی‌گرم درکیلوگرم سلنیوم و۵۰ میلی گرم نانو ذرات آهن نسبت به تیمار شاهد اختلاف معنی‌داری مشاهده‌گردید (p<۰/۰۵). ولی در بین تیمارهای آزمایشی بیشترین مقدار این شاخص در سطح ۲ میلی در کیلوگرم نانو ذرات سلنیوم و آهن جیره و کمترین مقدار در تیمار ۰/۵ میلی‌گرم درکیلوگرم نانو ذرات سلنیوم و آهن جیره مشاهده گردید (جدول ۲).

از لحاظ درصد بازماندگی، بیشترین مقدار مربوط به تیمار ۲ میلی‌گرم درکیلوگرم نانو ذرات سلنیوم و ۵۰ میلی‌گرم درکیلوگرم نانو ذرات آهن و کمترین آن در تیمار شاهد بدست آمد (جدول ۲) (p<۰/۰۵).

جدول۲: برخی شاخص‌های تغذیه‌ای بچه ماهیان قزل‌آلای رنگین تغذیه شده با سطوح مختلف نانو ذرات سلنیوم و آهن

شاخص / تیمار	تیمار۱ (شاهد)	تیمار۲	تیمار۳	تیمار۴
وزن اولیه (گرم)	۵/۲۱ ± ۰/۰۲ ^{d}	۵/۲۱ ± ۰/۰۲ ^{c}	۵/۲۱ ± ۰/۰۲ ^{b}	۵/۲۱ ± ۰/۰۱ ^{a}
ضریب تبدیل غذایی	۰/۹۹ ± ۰/۰۴^{a}	۰/۹۹ ۰±/۰۰ ^{a}	۰/۹۷ ۰±/۰۲ ^{ab}	۰/۹۴ ۰±/۰۱^{b}
نرخ رشد ویژه (درصد در روز)	۳/۸۴ ۰±/۰۱^{d}	۱/۱۹ ± ۰/۰۱ ^{b}	۳/۹۲ ± ۰/۲۰ ^{a}	۴/۰۱ ۰±/۰۲ ^{a}
نسبت کارایی پروتئین (گرم/گرم)	۲/۲۷ ± ۰/۰۹ ^{b}	۲/۲۶ ± ۰/۰۱ ^{b}	۲/۳۳ ± ۰/۰۴ ^{ab}	۲/۳۹ ± ۰/۰۳^{a}
بازماندگی (درصد)	۹۲/۲۲ ± ۱/۹۲ ^{b}	۹۸/ ۸۸ ± ۱/۹۲^{a}	۹۸/۸۸ ± ۱/۹۲^{a}	۱۰۰/۰۰ ± ۰/۰۰^{a}

حروف مشابه در یک ردیف دارای اختلاف معنی‌داری نمی باشند (p>۰۵/۰).

بیشترین مقدار پروتئین در تیمار۴ دیده شد، که نسبت به تیمار شاهد اختلاف معنی‌داری داشت (p<۰/۰۵). با افزایش مقدار نانو ذرات سلنیوم و آهن در تیمارهای آزمایشی بر میزان پروتئین کاسته شد. همچنین از نظر میزان مقدار چربی نیز اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای آزمایشی و تیمار شاهد مشاهده شد (p<۰/۰۵)، بطوریکه با افزایش میزان نانو ذرات سلنیوم و آهن از میزان چربی افزوده شد. بین سطوح مختلف خاکستر و رطوبت در ترکیبات بدن بچه ماهیان قزل آلای رنگین کمان اختلاف معنی‌داری وجود داشت (p<۰/۰۵). کمترین مقدار خاکستر لاشه مربوط به تیمار ۰/۵ میلی‌گرم درکیلوگرم نانو ذرات سلنیوم و آهن جیره و بیشترین آن مربوط به تیمار شاهد بود. همچنین بیشترین مقدار رطوبت لاشه مربوط به تیمار و کمترین آن مربوط به تیمار ۴ میلی‌گرم درکیلوگرم نانو ذرات سلنیوم و آهن بود (جدول ۳).

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-06-14]

[DOI: 10.71901/jad-2024-1-814]

جدول۳: میانگین ترکیبات شیمیایی بدن بچه ماهیان قزل‌آلای رنگین‌کمان (درصد ماده خشک) در تیمارهای مختلف

ترکیبات لاشه	تیمار۱ (شاهد)	تیمار۲	تیمار۳	تیمار۴
پروتئین خام(درصد)	۱۵/۲۱ ± ۰/۰۳^{c}	۱۵/۸۵ ± ۰/۰۶ ^{a}	۱۵/۵۰ ± ۰/۱۰ ^{b}	۱۵/۴۰ ± ۰/۰۹ ^{b}
چربی خام(درصد)	۷/۵۲ ± ۰/۱۳^{d}	۸/۰۰ ± ۰/۰۸ ^{c}	۸.۳۰ ± ۰/۲۱ ^{b}	۸/۶۹ ± ۰/۰۹ ^{a}
خاکستر(درصد)	۳/۲۰ ± ۰/۰۴ ^{a}	۳/۰۰ ± ۰/۱۲ ^{b}	۳/۱۰ ± ۰/۱۰ ^{ab}	۳/۱۰ ± ۰/۰۶^{ab}
رطوبت(درصد)	۷۴/۰۷ ± ۰/۱۴^{a}	۷۳/۱۵ ± ۰/۱۴ ^{b}	۷۳/۰۹ ± ۰/۲۲ ^{b}	۷۲/۴۷ ± ۰/۰۷^{c}

حروف مشابه در یک ردیف دارای اختلاف معنی‌داری نمی باشند (p>۰/۰۵).

بحث

این مطالعه با هدف بررسی افزودن غلظت‌های متفاوت نانوذرات سلنیوم وآهن به جیره غذایی و تأثیر آن بر مقادیر شاخص‌های رشد و درصد ترکیبات شیمیایی لاشه در ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان انجام شد. بر طبق نتایج، مقادیر وزن بدن، درصد افزایش وزن، نرخ رشد ویژه، ضریب تبدیل غذایی، میزان باز ماندگی و نسبت کارایی پروتئین افزایش داشت. می‌توان اظهار داشت که افزودن مقادیر مشخص نانوذرات سلنیوم وآهن تاثیر مناسبی بر روی رشد ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان دارد.

در این ارتباط، صحرایی و همکاران (۱۴۰۱) اظهار داشتند که با افزایش میزان نانوذرات، آسیب‌های هیستوپاتولوژیک درکبد بیشتر می‌شود، اما سلول‌های بافتی در مقادیر متوسط و کم هر دو نانوذره و در مقدار بالای نانوذره آهن با برداشتن عامل القایی می‌توانند دوباره فعالیت فیزیولوژیک خود را از سربگیرند. اما در مقدار بالا روی این ترمیم بافتی بر خلاف نانو ذرات آهن به صورت برگشت پذیرنبوده است. به همین دلیل در تحقیق حاضر از اثر ترکیبی دو نانوذره آهن و سلنیوم استفاده‌گردید، تا اثرات سمی نانوذرات به تنهایی بر روی کبد کمتر باشد.

نتایج حاصل از تأثیر سطوح مختلف نانو ذرات سلنیوم و آهن بر شاخص‌های رشد نشان داد که نانو ذرات سلنیوم و آهن در سطوح مختلف تأثیرات مثبتی بر ماهیان قزل‌آلای رنگین‌کمان داشت. این نتایج با تحقیقات Jamil (۲۰۱۳) تطابق دارد. بررسی روند تغییرات وزن بچه ماهیان قزل آلای رنگین کمان در طول دوره پرورش نشان داد که در زمان های مختلف نمونه برداری، همواره گروه شاهد از رشد کمتری در مقایسه با تیمارهای آزمایشی برخوردار بود. احمدوند و همکاران (۱۳۹۴) با تحقیق بر روی اثر توام نانوذرات آهن وسلنیوم روی ماهی به نتایج مشابهب دست یافتند. در ابن راستا Ziaei-nejad و همکاران (۲۰۲۱) نیز دریافتند که تیمار های تغذیه شده ماهی شانک زرد باله با نانو ذرات سلنیوم عملکرد رشد بهتری نسبت به گروه شاهد داشته اند. چنین نتایج مشابهی در تحقیق Ghobadi و همکاران (۲۰۱۳) روی تاثیر نانو ذرات آهن روی رشد ماهیان قزل‌آلای رنگین‌کمان، Behera و همکاران (۲۰۱۴) نانوذرات آهن بر شاخص‌های زیستی کپورماهیان و ماهیان خاویاری، Swain و همکاران (۲۰۱۸) روی اثر نانو ذره سلنیوم بر روی ماهی کپور همخوانی‌دارد. همچنین از نظر میزان مقدار چربی نیز اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای آزمایشی و تیمار شاهد مشاهده شدکه تحقیق حاضر با نتایج Srinivasan

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-06-14]

[DOI: 10.71901/jad-2024-1-814]

و همکاران (۲۰۱۶) روی اثرات نانو ذرات آهن بر روی میگو مشابهت دارد. در این راستا Srinivasan و همکاران (۲۰۱۵) دریافتند که اثرگذاری نانوذرات آهن اکسید شده بر میگوی بزرگ آب شیرین منجر به افزایش سطح اسید چرب موجود در بافت عضله می شود. در مطالعه دیگری Ashouri و همکاران ۲۰۱۵) دریافتند که مصرف نانوذرات سلنیوم در ماهی کپور معمولی، باعث افزایش پروتئین پلاسما نسبت به تیمار کنترل می‌شود. طبق گزارش Abdel-Tawwab و همکاران (۲۰۰۷) نانوذرات سلنیوم در گربه ماهی آفریقایی (*Clarias gariepinus*) و صفابخش و همکاران (۱۳۹۸) در بچه فیل ماهی (*Huso huso*) باعث بهبود کارایی تغذیه و افزایش پروتئین و رطوبت لاشه و کاهش چربی لاشه شد، که با تحقیق حاضر همخوانی‌دارد.

نتیجه‌گیری

در مجموع با توجه به نتایج مطالعه حاضر می توان استنباط کرد که استفاده از نانو ذرات سلنیوم و آهن در سطوح مورد مطالعه قابلیت تأثیرگذاری بر عملکرد شاخص‌های رشد، تغذیه و ترکیبات شیمیایی لاشه در بچه ماهیان قزل‌آلای رنگین‌کمان را دارند. بطوریکه اثر ترکیبی نانوذرات سلنیوم و نانو ذرات آهن (۲ میلی‌گرم نانوذرات سلنیوم و ۵۰ میلی‌گرم نانو ذرات آهن) می تواند مکمل مناسبی برای جیره غذایی بچه ماهیان قزل-آلای رنگین-کمان درنظرگرفته شود. لذا بمنظور حصول اطمینان از اثرات مثبت انواع نانو ذرات پیشنهاد می‌شود مطالعه‌ای در خصوص تأثیر آن بر سطوح ایمنی در شرایط آزمایشگاهی و پرورشی و همچنین مقابله با عوامل محیطی و سایر عوامل استرس زا صورت پذیرد، تا بتوان با قطعیت بیشتری در مورد پتانسیل آن در بچه ماهیان قزل‌آلای رنگین‌کمان و سایر آبزیان اظهار نظر کرد.

سپاسگزاری

در اینجا بر خود لازم می‌دانیم که از زحمات تمام کسانی که ما را در انجام این تحقیق یاری نمودند تشکر نماییم.

منابع

۱. احمدوند، ش.، کرامت امیرکلایی، ع.، اورجی، ح.، احمدوند، ا.، ۱۳۹۴. بررسی اثر نانو ذرات سلنیوم در مقایسه با تیمارهای حاوی فرم آلی سلنیوم برعملکرد شاخص‌های رشد ماهی کپور. فصلنامه محیط زیست جانوری، ۷(۲)، ۱۸۹-۱۸۳.

۲. تمجید، م.، محمودی، ف.، عبدالملکی، آ.، میرزایی، ش.، ۱۴۰۰. تهیه نانوذرات اکسید آهن پوشیده با امگا-۳ و تأثیر آن بر عملکرد کبدی، کلیوی و طحالی در موش صحرایی: یک مطالعه تجربی. مجله دانشگاه علوم پزشکی رفسنجان، ۲۰ (۸)، ۸۹۰-۸۷۹.

۳. جوهری، س.ع.، حسینی، س.، ۱۳۹۳. سمیت تغذیه‌ای کلوئید نانوذرات نقره در ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان. مجله علمی شیلات، ۲۳(۱)، ۳۰-۲۳.

٤. صحرایی، ح.، هدایتی، س.ع.ا.، یارمحمدی بربرستانی، ث.، فخریان، م.، ۱۴۰۱. بررسی اثرات بافتی تغذیه با منابع مختلف آهن و روی (نانو ذره و شکل معدنی) درماهی کپور معمولی. مجله علوم و تکنولوژی محیط زیست، ۲۴(۲)، ۱۳۹-۱۱۹.

۵. صفا بخش، م. ر.، بحری، ا.ه.، محسنی، م.، محمدی

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-06-14]

[DOI: 10.71901/jad-2024-1-814]

زاده، ف.، ۱۳۹۸. تاثیر سلنیوم بر شاخص‌های رشد، ترکیب لاشه و برخی از شاخص‌های خونی فیل ماهی جوان پرورشی. نشریه توسعه آبزی پروری، ۱۳(۱)، ۱۰۱-۸۹.

6. Amar, E. C. K. V., Satoh, S., 2004. Enhancement of innate immunity in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) associated with dietary intake of caroenoids from natural products. Fish &Shellfish Immunology, 16, 527-527.
7. AOAC (Association of Official Analytical Chemists International)., 2005. Official methods of analysis. 18th ed. Maryland.
8. Abedelahi, A., Salehnia, M., Allameh, A., 2008. The effects of different concentrations of sodium selenite on the in vitro maturation of preantral follicles in serum-free and serum supplemented media. Journal of Assisted Reproduction and Genetics, 25, 483-488.
9. Abdel-Tawwab, M., Mousa, M., Abbass, F., 2007. Growth performance and physiological response ofAfrican catfish, (*Clarias gariepinus*) (B.) fed organic selenium prior to the exposure toenvironmental copper toxicity. Aquaculture Research, 272, 335-345.
10. 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.
11. Behera, T., Swain, P., Rangachrulu, P.V., Samanta, M., 2014. Nano-Fe as feed additive improves thehematological and immunological parameters in Labeo rohita. Journal of Applied Nanoscience - a Springer Open Journal, 4, 687-694.
12. Cappelli, F.P., Trevisi, E., Mbuta, B., Gubbiotti, A., 2007. Change of selenium in plasma of dairy cows receiving two levels of sodium-selenite during the transition period. Ital J Anim Sci. 6, 336-338.
13. Eaton, S., 2006. The biochemical basis of antioxidant therapy in critical illness. Proc Nutr Soc. 65. pp: 242-249.
14. FAO., 2016. National Aquaculture Secto Overview Fact Sheets. FAO Fisheries and Aquaculture Department [online]. Rome.Updated 2 May 2016. [Cited 13 May2016]. http://www.fao.org/fishery/country sector/naso_iran/en
15. Ghobadi, Sh., Rajabi Islami, H., Hosseinifard, S.M., Palanghi, L., 2013.The effects of different levelsof nanoparticle iron (Fe) on growth factors and feeding rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Journal of Breeding and Aquaculture Sciences, 1, 82-62. (in Persian).
16. Handy, R.D., Cornelis, G,. Fernandes, T., Tsyusko, O., Decho, A., Sabo-Attwood, T., Metcalf,e C., Steevens, J.A., Klaine, S.J., Koelmans, A.A., Horne, N., 2012. Ecotoxicity test methods forengineered nanomaterials: practical experiences and recommendations from the bench. Environmental Toxicology and Chemistry, 31, 15-31.
17. Hevrqy, E.M., Espe, M., Waagbq, R., Andnesk, S., Ruud, M., Hemre, G.I., 2005. Nutrient utilization in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) fed increased levels of fish protein hydrolysate during a period of fast growth.First published.
18. Jamil, Z., 2013. Effects of inorganic and nanoform of selenium ongrowth performance and biochemical indices of mahseer (Tor putitora). MPhil, Quaid-i-Azam University, Islamabad, Pakistan.
19. Kaviyarasu, K., Magdalane, C.M., Jayakumar, D., Samson, Y., Bashir, A.K.H., Maaza, M., 2020. High performance of pyrochlore like Sm2Ti2O7 heterojunction photocatalyst for efficient degradation of rhodamine-B dye with waste water under visible light irradiation. Journal of King Saud University – Science, Sci. 32,1516–1522.
20. Khalil, H.S., Maulu, S., Verdegem, M., Abdel-Tawwab, M., 2023. Embracing nanotechnology for seleniumapplication in aquafeeds.Rev Aquac. 15(1), 112-129.
21. Maher, W., Roach, A., Doblin, M., Fan, T., Foster, S., Garrett, R., M√∂ller, G., Oram, L., Wallschl√§ger, D., 2010. Environmental Sources, Speciation, and

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-06-14]

[DOI: 10.71901/jad-2024-1-814]

Partitioning of Selenium. In book: Ecological Assessment of Selenium in the Aquatic Environment. pp:47-92.
22. Mohammadi, M., Khara, H., 2015. Effect of different anesthetics agents (Clove oil, MS-222, Ketamine, Tobacco) on hematological parameters and stress indicators Rainbow Trout Oncorhynchus mykiss. Comparative Clinical Pathology, 24(5), 1039-1044.
23. Schrauzer, G.N., Surai, P.F., 2009. Selenium in human and animal nutrition: resolved and unresolved issues. A. Crit Rev Biotechnol. 29, 2-9.
24. Srinivasan, V., Saravana Bhavan, P., Rajkumar, G., Satgurunathan, T., Muralisankar, T., 2016. Effects of dietary iron oxide nanoparticles on the growth performance, biochemical constituents and physiological stress responses of the giant freshwater prawn Macrobrachium rosenbergii postlarvae. International Journal of Fisheries and Aquatic Studies, 4, 170-182.
25. Swain, P., Das, R., Das, A., Kumar Padhi, S., Chandra Das, K., Mishra, S.S., 2018. Effects of dietary zinc oxide andselenium nanoparticles on growth performance, immune responses and enzyme activity in rohu, *Labeo rohita* (Hamilton). Aquaculture Nutrition, 1–9.
26. Turchini, G.M., Menasti, T., Frqyland, L., Orban, E., aprino, F., Moretti, V.M., Valfrre, F., 2003. Effects of alternative dietary lipid sources on performance. tissue chemical composition mitochondrial fatty acid oxidation capabilities and sensory characteristics in brown trout (*Salmo trutta*). Aquaculture Research, 225, 251-267.
27. Zavodniket, L., Shimkus, A., Belyavsky, V., Voronov, D., Shimkiene, A., Voloshin, D., 2011. Effects of organic selenium yeast administration on perinatal performance, growth efficiency and health status in pigs. Arch Zootech. 14, 5-20.
28. Ziaei-nejad, S., Hosseini, S., M., Seyed, Mortezaei, S., R., 2021. Effects of Selenium Nanoparticles Supplemented Feed on Biochemical Indices, Growth and Survival of Yellow-Tail Seabream (*Acanthopagrus latus*). Journal of Agricultural Science and Technology, 23(5), 1001-1011.

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-06-14]

[DOI: 10.71901/jad-2024-1-814]

The effect of different concentrations of selenium and iron nanoparticles on growth factors, and chemical composition in rainbow trout (*Onchorhynchus mykiss*)

Khavari, S.S.[1], Vatandoust, S.[1*], Manouchehri, H.[*1], Changizi, R.[1], Ghobadi, Sh.[1]

1- Department of Aquaculture, Babol Branch, Islamic Azad University, Babol, Iran.

Received: 15 May 2024 **Accepted: 15 July 2024**

Abstract

This study was conducted with the purpose of investigating the addition of different concentrations of selenium and iron nanoparticles to the diet and its effect on the values of growth indicators and the percentage of carcass chemical compounds in rainbow trout (*Onchorhynchus mykiss*). In this research, 240 rainbow trout with an average weight of 5.21 ± 0.02 grams were fed for 8 weeks with diets containing 0.5, 1, 2 mg/kg of selenium nanoparticles in amounts of 10, 30 and 50 mg. iron nanoparticles in a completely randomized design to 4 experimental treatments; Treatment 1 (control group), treatment 2 (0.5 Se + 10 Fe), treatment 3 (1 Se + 30 Fe) and treatment 4 (2 Se + 50 Fe) were each divided by 3 repetitions and fed as free ions. According to the results, the values of body weight, percentage of weight gain, specific growth rate and protein efficiency ratio in the amount of 2 mg of selenium nanoparticles and 50 mg of iron nanoparticles increased compared to other values and had a significant difference with other treatments (p<0.05). Also, food conversion coefficient, in amounts of 2 mg of selenium nanoparticles and 50 mg of iron nanoparticles, had a significant difference with other treatments (p<0.05). In carcass analysis, the highest amount of protein was found in the treatment of 0.5 mg/kg of selenium nanoparticles and 10 mg of iron nanoparticles, which was significantly different from the control treatment (p<0.05). And by increasing the amount of selenium and iron nanoparticles in the experimental treatments, the amount of protein increased. Also, in terms of the amount of fat, a significant difference was observed between the experimental treatments and the control treatment (p<0.05). The results showed that the use of 2 and 0.5 mg of selenium nanoparticles and 10 and 50 mg of iron nanoparticles has a good effect on rainbow trout.

Keywords: Selenium Nanoparticles, Iron Nanoparticles, *Onchorhynchus mykiss*, Growth Factors, Protein.

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-06-14]

[DOI: 10.71901/jad-2024-1-814]

[*] Corresponding Author: *: s.vatandoust@gmail.com, hdmanuchehri@gmail.com*