

"مقاله پژوهشی"

اثرات سطوح مختلف نانو ذرات سلنیوم و آهن بر فاکتورهای رشد، بازماندگی و ترکیبات شیمیایی در بچه ماهی قزل آلاهی رنگین کمان (*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 پذیرش: ۱۴۰۳/۴/۲۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۲/۲۶

چکیده

این مطالعه با هدف بررسی افزودن غلظت‌های متفاوت نانو ذرات سلنیوم و آهن به جیره غذایی و تأثیر آن بر مقادیر شاخص‌های رشد و درصد ترکیبات شیمیایی لاشه در قزل آلاهی رنگین کمان انجام شد. در این تحقیق، تعداد ۲۴۰ عدد بچه ماهی قزل آلاهی رنگین کمان با میانگین وزنی 0.02 ± 0.21 گرم به مدت ۸ هفته با جیره‌های حاوی ۰/۵، ۱، ۲ میلی گرم در کیلوگرم نانو ذرات سلنیوم و به میزان ۱۰، ۳۰ و ۵۰ میلی گرم نانو ذرات آهن در یک طرح کاملاً تصادفی به ۴ تیمار آزمایشی؛ تیمار ۱ (تیمار شاهد)، تیمار ۲ (۰/۵ میلی گرم نانو ذره سلنیوم + ۱۰ میلی گرم نانو ذره آهن در کیلوگرم غذا) و تیمار ۴ (۲ میلی گرم نانو ذره سلنیوم + ۵۰ میلی گرم نانو ذره آهن در کیلوگرم غذا) و تیمار ۳ (۱ میلی گرم نانو ذره سلنیوم + ۱۰ میلی گرم نانو ذره آهن در کیلوگرم غذا) و تیمار ۴ (۲ میلی گرم نانو ذره سلنیوم + ۵۰ میلی گرم 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 میلی گرم نانو ذرات سلنیوم و ۵۰ میلی گرم 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 میلی گرم نانو ذرات سلنیوم و ۵۰ میلی گرم 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 میلی گرم بر کیلوگرم نانو ذرات سلنیوم و ۱۰ میلی گرم نانو ذرات آهن دیده شد که نسبت به تیمار شاهد اختلاف معنی داری داشت ($p < 0.05$). با افزایش مقدار نانو ذرات سلنیوم و آهن در تیمارهای آزمایشی بر میزان پروتئین افزوده شد. همچنین از نظر میزان مقدار چربی نیز اختلاف معنی داری بین تیمارهای آزمایشی و تیمار شاهد مشاهده شد ($p < 0.05$). نتایج نشان داد که استفاده از ۲ و ۰/۵ میلی گرم نانو ذرات سلنیوم و ۱۰ و ۵۰ میلی گرم نانو ذرات آهن با توجه به نتایج بدست آمده تأثیر مناسبی بر روی قزل-آلاهی رنگین کمان دارد.

کلمات کلیدی: نانو ذرات سلنیوم، نانو ذرات آهن، قزل آلاهی رنگین کمان، فاکتورهای رشد، پروتئین

مقدمه

قرل‌آلای رنگین‌کمان (*Onchorhynchus mykiss*) یکی از مهمترین گونه‌های پرورشی است که تولید آن کمک شایانی در تامین پروتئین حیوانی مورد نیاز کشورهای در حال توسعه می‌کند. تولید قرل‌آلای رنگین‌کمان در آب‌های شیرین ایران از ۱۳۳۲ تن در سال ۱۹۹۵ به ۱۲۶۵۱۵ تن در سال ۲۰۱۴ میلادی رسیده است (FAO, 2016). جیره غذایی دستی قرل‌آلای رنگین‌کمان به طور کلی حاوی پروتئینها و چربیها، همراه با مقدار زیادی رطوبت است، تا بتواند نیازهای 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 می‌گردند (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 منحصر به فردشان به طور گسترده در صنایع زیست‌پزشکی، غذایی، کشاورزی و الکترونیک مورد استفاده قرار می‌گیرند (Kaviyarasu et al., 2020). کاربرد نانوذرات در آبی‌پروری از طریق مکمل غذایی صورت می‌گیرد. ساختار شیمیایی و اندازه مکمل‌های غذایی نقش مهمی در آبیان دارد. نانوذرات با حضور بیشتر در جریان خون و افزایش فراهمی زیستی در بهبود راندمان تولید، در آبی‌پروری حائز اهمیت می‌باشد (Khalil et al., 2023). فناوری نانو دارای پتانسیل استفاده در صنعت پرورش آبیان و غذاهای دریایی است (Handy et al., 2012). بنابراین به منظور افزایش بازده تولید، تعیین نیازهای

غذایی آبیان ضروری می‌باشد. توجه به کمیت و کیفیت غذا در کنار طراحی اصولی و کاهش هزینه تولید می‌تواند موجب موفقیت در پرورش آبیان 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 شده است (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 سلول‌ها 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 گلوکاتایون پراکسیداز که فعالیت آنتی‌اکسیدانی داشته موجود بوده و بوسیله حفاظت سلول‌ها در برابر اثرات

رنگین کمان تاثیر گذار است (Ghobadi et al., 2013).

بنابراین، هدف از انجام تحقیق بررسی تاثیر جیره‌های مختلف حاوی نانو ذرات آهن و سلیوم بر روی شاخص‌های رشد، درصد ترکیبات شیمیایی لاشه و سلامت ماهی قزل‌آلای رنگین کمان 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 آدپتاسیون غذادهی انجام گردید. تعداد ۲۴۰ عدد بچه ماهی قزل‌آلا با میانگین وزنی 0.02 ± 0.01 گرم با جیره‌های حاوی ۰/۵، ۱، ۲ میلی‌گرم در کیلوگرم نانو ذرات سلیوم و به میزان ۱۰، ۳۰ و ۵۰ میلی‌گرم نانو ذرات آهن در یک طرح کاملاً تصادفی به ۴ تیمار آزمایشی؛ تیمار ۱ (تیمار شاهد)، تیمار ۲ (۰/۵ میلی‌گرم نانو ذرات سلیوم + ۱۰ میلی‌گرم نانو ذرات آهن در کیلوگرم غذا)، تیمار ۳ (۱ میلی‌گرم نانو ذرات سلیوم + ۱۰ میلی‌گرم نانو ذرات آهن در کیلوگرم غذا) و تیمار ۴ (۲ میلی‌گرم نانو ذرات سلیوم + ۵۰ میلی‌گرم نانو ذرات آهن در کیلوگرم غذا) (هر تیمار با ۳ تکرار) تقسیم شدند (تمجید و همکاران، ۱۴۰۰؛ صحرای و همکاران، ۱۴۰۱). نانو ذرات سلیوم از شرکت نانو مواد کیمیاگران، تهران، ایران تهیه شد. این ماده دارای درجه خلوص ۹۹ درصد و اندازه کمتر از ۵۰ نانومتر بود. نانو ذرات 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 سلیوم و آهن توسط ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۱ گرم به طور جداگانه

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

با افزایش میزان نانوذرات، آسیب‌های هیستوپاتولوژیک در کبد 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 پذیر نبوده است (صحرای و همکاران، ۱۴۰۲). طبق بررسی‌های صورت گرفته نانو ذره سلیوم بر روی ماهی شانک عملکرد رشد بهتری داشته است (Ziaei-nejad et al., 2021). استفاده از نانوذرات سلیوم موجب افزایش درصد افزایش وزن، نرخ رشد ویژه و ضریب تبدیل غذایی شده‌است (Swain et al., 2018). مصرف نانوذرات سلیوم در ماهی کپور معمولی باعث افزایش پروتئین پلاسما می‌شود (Ashouri, 2015). افزودن سلیوم 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

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

افزایش وزن بدن:

$$BWI = Wt_2 - Wt_1$$

گرم وزن اولیه ماهی = Wt_1

گرم وزن نهایی ماهی = Wt_2

درصد افزایش وزن بدن:

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

گرم وزن اولیه ماهی = Wt_1

گرم وزن نهایی ماهی = Wt_2

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

$$SGR (\%) / \text{day} = [(\ln Wt_2 - \ln Wt_1) / (t_2 - t_1)] \times 100$$

لگاریتم طبیعی وزن اولیه ماهی = $\ln Wt_1$

لگاریتم طبیعی نهایی ماهی = $\ln Wt_2$

طول دوره آزمایش = $t_2 - t_1$

محاسبه شاخص‌های تغذیه‌ای

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

ضریب تبدیل غذایی:

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

g dry feed eaten = (گرم) غذای خورده شده

g live weight gain = (گرم) وزن بدست آمده ماهی

نسبت کارایی پروتئین:

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

g live weight gain = (گرم) وزن بدست آمده

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

(مقدار غذای خورده شده) × درصد پروتئین غذای

خورده شده) = پروتئین خورده شده (گرم)

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 ذرات و ورود آن به محیط آب، غذای آماده شده توسط ژلاتین گاوی پوشانده شد (جوهری و حسینی، ۱۳۹۳). ماهی‌ها به مدت ۸ هفته پرورش داده شدند. غذادهی به بچه ماهیان قزل‌آلا براساس مشاهدات و رفتار تغذیه‌ای آنها تا حد سیری در ۳ نوبت (ساعت-های ۸، ۱۲ و ۱۶) انجام گرفت. 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 زیست‌سنجی با دقت یک میلی‌متر، طول کل آنها اندازه‌گیری شد.

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 ^۱	۱۵/۵۶
فیبر	۳/۱۹
انرژی ناخالص (مگاژول بر کیلوگرم) ^۲	۱۹/۱۹

(درصد فیبر + درصد رطوبت + درصد خاکستر + درصد چربی + درصد

پروتئین) × ۱۰۰ = عصاره عاری از ازت (۱)

(درصد عصاره عاری از ازت × ۱۷) + (درصد چربی × ۳۹/۵) + (درصد

پروتئین غذا × ۲۳/۶) = انرژی ناخالص (Mg/kg) (۲)

(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 قزل آلالی رنگین کمان 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 سلیونیوم و آهن در سطوح مختلف تأثیرات مثبتی بر معیارهای رشد ماهیان دارند. بطوریکه در مقایسه با تیمار شاهد، تیمارهای آزمایشی حاوی نانو ذرات سلیونیوم و آهن از وزن نهایی بدست آمده بیشتری برخوردار بودند و تفاوت معنی داری بین آنها مشاهده گردید ($p < 0.05$). بین تیمارها با سطوح مختلف نانو ذرات سلیونیوم و آهن از لحاظ آماری نیز اختلاف معنی داری مشاهده گردید به طوری که تیمار ۲ میلی گرم در کیلوگرم ذرات سلیونیوم و ۵۰ میلی گرم آهن از این نانو ذرات نسبت به سایر سطوح از کارایی بالاتری برخوردار بود (شکل ۱).

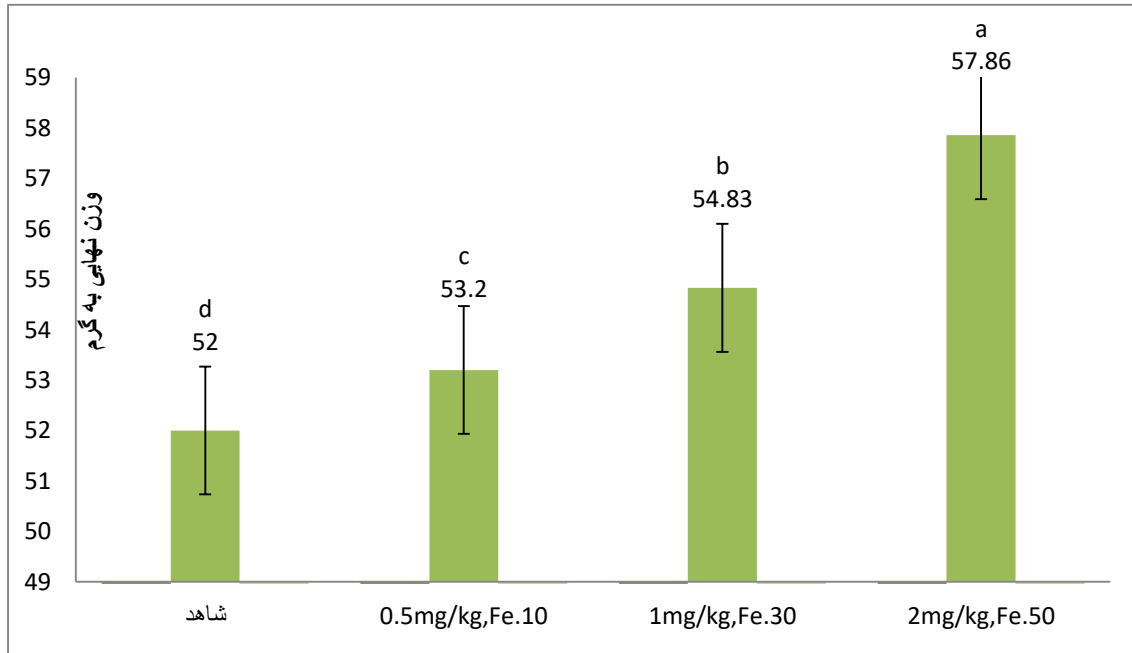
درصد افزایش وزن بدن در تیمار ۲ میلی گرم در کیلوگرم نانو ذرات سلیونیوم و ۵۰ میلی گرم ذرات آهن جیره نسبت به سایر تیمارها بیشتر بود و تفاوت معنی داری مشاهده شد ($p < 0.05$). بطوریکه کمترین میزان آن در تیمار شاهد و بیشترین آن در تیمار ۲ میلی گرم در کیلوگرم نانو ذرات سلیونیوم و آهن جیره مشاهده گردید. تیمارهای ۱ و ۰/۵ میلی گرم در کیلوگرم نانو ذرات سلیونیوم و آهن نسبت به تیمار شاهد دارای تفاوت معنی داری بودند ($p < 0.05$) (شکل ۲).

سنجش تجزیه شیمیایی جیره های غذایی و لاشه ماهیان برای سنجش پروتئین خام از طریق تعیین نیتروژن کل به روش کجالدال با استفاده از دستگاه میکروکجالدال ساخت کشور سوئد (kjeltec (Sweden) Auto Analyser, 2300 Tecator و بر اساس $6/25 \times CP$ %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).

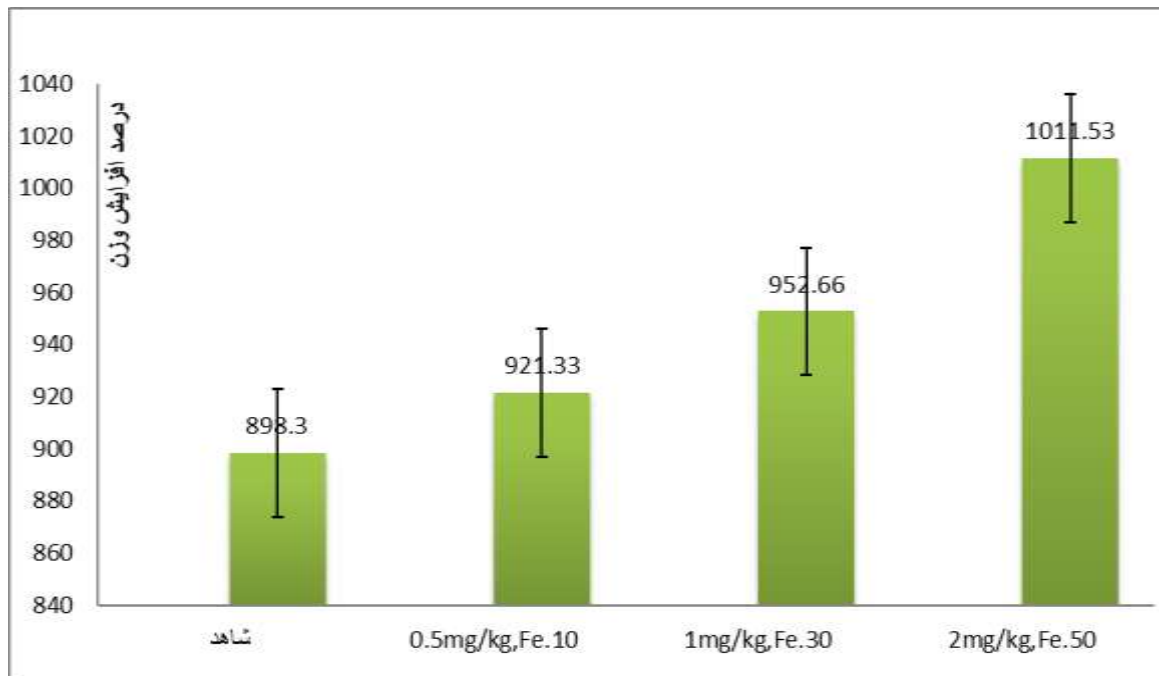
در پایان دوره پرورش که ۶۰ روز به طول انجامید، پس از گذشت ۲۴ ساعت از زمان قطع تغذیه و اطمینان از دفع کامل محتویات لوله گوارش، برداشت محصول انجام شد. برای این منظور کل بچه ماهیان توزین شدند و ۲۴ عدد بچه ماهی (دو نمونه به ازای هر تکرار) بطور تصادفی نمونه گیری شد. سپس سر و باله و پوست ماهیان هر تیمار، جدا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

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٪ انجام گرفت. ابتدا آزمون نرمالیتی



شکل ۱: وزن نهایی بچه ماهیان قزل آلالی رنگین کمان تغذیه شده با سطوح مختلف نانو ذرات سلنیوم و آهن



شکل ۲: درصد افزایش وزن بدن بچه ماهیان قزل آلالی رنگین کمان تغذیه شده با سطوح مختلف نانو ذرات سلنیوم و آهن

داد ($p < 0.05$). بطوریکه کمترین میزان آن در تیمار شاهد و بیشترین آن در تیمار ۲ میلی گرم در کیلوگرم نانو ذرات سلنیوم و ۵۰ میلی گرم

نرخ رشد ویژه در تیمار ۲ میلی گرم در کیلوگرم نانو ذرات سلنیوم و ۵۰ میلی گرم نانو ذرات آهن جیره نسبت به سایر تیمارها به طور معنی داری افزایش نشان

نسبت کارایی پروتئین در بین تیمار ۲ میلی گرم در کیلوگرم سلنیوم و ۵۰ میلی گرم نانو ذرات آهن نسبت به تیمار شاهد اختلاف معنی داری مشاهده گردید ($p < 0/05$). 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 میلی گرم در کیلوگرم نانو ذرات سلنیوم و آهن جیره مشاهده گردید (جدول ۲).

از لحاظ درصد بازماندگی، بیشترین مقدار مربوط به تیمار ۲ میلی گرم در کیلوگرم نانو ذرات سلنیوم و ۵۰ میلی گرم در کیلوگرم نانو ذرات آهن و کمترین آن در تیمار شاهد بدست آمد (جدول ۲) ($p < 0/05$).

در کیلوگرم نانو ذرات آهن جیره مشاهده گردید. 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 میلی گرم سلنیوم و ۵۰ میلی گرم نانو ذرات آهن جیره این آزمایش در مقایسه با سایر تیمارها اختلاف معنی داری را نشان داد ($p < 0/05$). کمترین مقدار آن در تیمار ۲ میلی گرم در کیلوگرم نانو ذرات سلنیوم و آهن جیره بدست آمد، در حالی که بیشترین آن در تیمار ۰/۵ میلی گرم در کیلوگرم و تیمار شاهد تعیین گردید (جدول ۲).

جدول ۲: برخی شاخص های تغذیه ای بچه ماهیان قزل آلائی رنگین تغذیه شده با سطوح مختلف نانو ذرات سلنیوم و آهن

شاخص	تیمار ۱ (شاهد)	تیمار ۲	تیمار ۳	تیمار ۴
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 ± ۰/۰۲ ^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 معنی داری نمی باشند ($p > 0/05$).

بیشترین مقدار پروتئین در تیمار ۴ دیده شد، که نسبت به تیمار شاهد اختلاف معنی داری داشت ($p < 0/05$). با افزایش مقدار نانو ذرات سلنیوم و آهن در تیمارهای آزمایشی بر میزان پروتئین کاسته شد. همچنین از نظر میزان مقدار چربی نیز اختلاف معنی داری بین تیمارهای آزمایشی و تیمار شاهد مشاهده شد ($p < 0/05$)، بطوریکه با افزایش میزان نانو ذرات سلنیوم و آهن از میزان چربی افزوده شد. بین سطوح مختلف

بیشترین مقدار پروتئین در تیمار ۴ دیده شد، که نسبت به تیمار شاهد اختلاف معنی داری داشت ($p < 0/05$). با افزایش مقدار نانو ذرات سلنیوم و آهن در تیمارهای آزمایشی بر میزان پروتئین کاسته شد. همچنین از نظر میزان مقدار چربی نیز اختلاف معنی داری بین تیمارهای آزمایشی و تیمار شاهد مشاهده شد ($p < 0/05$)، بطوریکه با افزایش میزان نانو ذرات سلنیوم و آهن از میزان چربی افزوده شد. بین سطوح مختلف

جدول ۳: میانگین ترکیبات شیمیایی بدن بچه ماهیان قزل‌آلای رنگین‌کمان (درصد ماده خشک) در تیمارهای مختلف

تیمار ۴	تیمار ۳	تیمار ۲	تیمار ۱ (شاهد)	ترکیبات لاشه
۱۵/۴۰ ± ۰/۰۹ ^b	۱۵/۵۰ ± ۰/۱۰ ^b	۱۵/۸۵ ± ۰/۰۶ ^a	۱۵/۲۱ ± ۰/۰۳ ^c	پروتئین خام (درصد)
۸/۶۹ ± ۰/۰۹ ^a	۸/۳۰ ± ۰/۲۱ ^b	۸/۰۰ ± ۰/۰۸ ^c	۷/۵۲ ± ۰/۱۳ ^d	چربی خام (درصد)
۳/۱۰ ± ۰/۰۶ ^{ab}	۳/۱۰ ± ۰/۱۰ ^{ab}	۳/۰۰ ± ۰/۱۲ ^b	۳/۲۰ ± ۰/۰۴ ^a	خاکستر (درصد)
۷۲/۴۷ ± ۰/۰۷ ^c	۷۳/۰۹ ± ۰/۲۲ ^b	۷۳/۱۵ ± ۰/۱۴ ^b	۷۴/۰۷ ± ۰/۱۴ ^a	رطوبت (درصد)

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

بحث

این مطالعه با هدف بررسی افزودن غلظت‌های متفاوت نانوذرات سلنیوم و آهن 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 و آهن تأثیر مناسبی بر روی رشد ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان دارد.

در این ارتباط، صحرائی و همکاران (۱۴۰۱) اظهار داشتند که با افزایش میزان نانوذرات، آسیب‌های هیستوپاتولوژیک در کبد 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 پذیر نبوده است. به همین دلیل در تحقیق حاضر از اثر ترکیبی دو نانوذره آهن و سلنیوم استفاده گردید، 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 قزل‌آلای رنگین‌کمان در طول دوره پرورش نشان داد که در زمان‌های 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 و سلنیوم روی ماهی به نتایج مشابه دست یافتند. در این راستا Ziaei-nejad و همکاران (۲۰۲۱) نیز دریافتند که تیمارهای تغذیه شده ماهی شانک زرد باله با نانو ذرات سلنیوم عملکرد رشد بهتری نسبت به گروه شاهد داشته‌اند. چنین نتایج مشابهی در تحقیق Ghobadi و همکاران (۲۰۱۳) روی تأثیر نانو ذرات آهن روی رشد ماهیان قزل‌آلای رنگین‌کمان، Behera و همکاران (۲۰۱۴) نانوذرات آهن بر شاخص‌های زیستی کپور ماهیان و ماهیان خاویاری، Swain و همکاران (۲۰۱۸) روی اثر نانو ذره سلنیوم بر روی ماهی کپور همخوانی دارد. همچنین از نظر میزان مقدار چربی نیز اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای آزمایشی و تیمار شاهد مشاهده شد که تحقیق حاضر با نتایج Srinivasan

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 بر عملکرد 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 صحرائی: 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.
۴. صحرائی، 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) در ماهی کپور معمولی. مجله علوم و تکنولوژی محیط زیست، ۲۴(۲)، ۱۳۹-۱۱۹.
۵. صفا بخش، م.، ر.، بحری، ا.ه.، محسنی، م.، محمدی

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 می‌شود. در مطالعه دیگری Ashouri و همکاران (۲۰۱۵) دریافتند که مصرف نانوذرات سلنیوم در ماهی کپور معمولی، باعث افزایش پروتئین پلازما نسبت به تیمار کنترل می‌شود. طبق گزارش Abdel-Tawwab و همکاران (۲۰۰۷) نانوذرات سلنیوم در گربه ماهی آفریقایی (*Clarias gariepinus*) و صفا بخش 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 همخوانی دارد.

نتیجه‌گیری

در مجموع با توجه به نتایج مطالعه حاضر می‌توان 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) می‌تواند مکمل مناسبی برای جیره غذایی بچه ماهیان قزل-آلای رنگین-کمان در نظر گرفته 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 استرس‌زا صورت پذیرد،

14. FAO., 2016. National Aquaculture Sector Overview Fact Sheets. FAO Fisheries and Aquaculture Department [online]. Rome. Updated 2 May 2016. [Cited 13 May 2016].
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 levels of 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, C., Steevens, J.A., Klaine, S.J., Koelmans, A.A., Horne, N., 2012. Ecotoxicity test methods for engineered 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 on growth 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 selenium application in aquafeeds. Rev Aquac. 15(1), 112-129.
21. Maher, W., Roach, A., Doblin, M., Fan, T., Foster, S., Garrett, R., Møller, G., Oram, L., Wallschlöger, D., 2010. Environmental Sources, Speciation, and زاده، ف.، ۱۳۹۸. تاثیر سلنیوم بر شاخص‌های رشد، ترکیب لاشه و برخی از شاخص‌های خونی فیل ماهی جوان پرورشی. نشریه توسعه آبی‌پروری، ۱۳(۱)، ۸۹-۱۰۱.
6. Amar, E. C. K. V., Satoh, S., 2004. Enhancement of innate immunity in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) associated with dietary intake of carotenoids 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 of African catfish, (*Clarias gariepinus*) (B.) fed organic selenium prior to the exposure to environmental copper toxicity. Aquaculture Research, 272, 335-345.
10. Ashouri, S., Keyvanshokoo, 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 the hematological 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.

(*Acanthopagrus latus*). Journal of Agricultural Science and Technology, 23(5), 1001-1011.

- 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 and selenium 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., Valfre, 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

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.

* Corresponding Author: : s.vatandoust@gmail.com, hdmanouchehri@gmail.com