

مقایسه اثرات سطوح منابع روی بر عملکرد رشد، ترکیب لاشه، شاخص‌های خونی و ایمنی- بیوشیمیایی سرم بچه فیل ماهی پرورشی (*Huso huso* Linnaeus, 1758)

محمود محسنی^{۱*}، مریم آفتابگرد^۲، محمد حسن زاده صابر^۱ و کادوسا مؤذن زاده^۳

۱- انیستیتو تحقیقات بین‌المللی ماهیان خاویاری، مؤسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران.

۲- گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، واحد بندرعباس، دانشگاه آزاد اسلامی، بندرعباس، ایران.

۳- گروه شیلات، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

چکیده

هدف این پژوهش، مقایسه اثرات سطوح منابع روی برکیفیت رشد و لاشه و برخی شاخص‌های خونی و سرم‌شناسی بچه فیل ماهی پرورشی (*Huso huso* Linnaeus, 1758) بود. تعداد ۳۱۵ عدد بچه فیل ماهی ($8/4 \pm 0/29$) گرم) در ۲۱ مخزن فایبرگلاس ۵۰۰ لیتری (۱۵ عدد ماهی در هر مخزن) با هفت جیره آزمایشی شامل یک جیره شاهد و شش جیره غذایی حاوی روی (میلی گرم در کیلوگرم جیره) به دو فرم معدنی (تیمارهای ZnSul₁₅, ZnSul₃₀, ZnSul₆₀) و ارگانیک (تیمارهای ZnMet₁₅, ZnMet₃₀, ZnMet₆₀) با ۳ تکرار در هر تیمار به مدت ۱۲ هفته تغذیه شدند. بهترین مقادیر وزن نهایی و ضریب تبدیل غذایی در تیمارهای ZnMet₁₅ و ZnMet₆₀ مشاهده گردید. گلبولهای قرمز خون، هموگلوبین و هماتوکریت تحت تأثیر افزایش مکمل روی روند افزایشی نشان دادند. افزایش پروتئین لاشه در تیمار ZnMet₃₀ نسبت به تیمارهای شاهد، ZnSul₁₅ و ZnSul₆₀ معنی‌دار بود ($P \leq 0.05$). کاهش چربی لاشه در تیمارهای ZnSul₃₀ و ZnSul₆₀ نسبت به سایر تیمارها معنی‌دار بود ($P \leq 0.05$). کلسترول و تری‌گلیسیرید سرم در تیمارهای ZnMet نسبت به تیمار شاهد کاهش معنی‌داری یافت ($P \leq 0.05$). کاهش گلوکز سرم در تیمارهای ZnMet₁₅ و ZnMet₆₀ و نیز افزایش لیپوزیم سرم در تیمارهای ZnMet₃₀ و ZnMet₆₀ نسبت به تیمار شاهد معنی‌دار بود ($P \leq 0.05$). نتایج نشان داد که اغلب شاخص‌ها در تیمارهای ZnMet نسبت به سایر تیمارها عملکرد بهتری داشتند و به عنوان جیره بهینه برای بچه فیل ماهی پرورشی پیشنهاد می‌گردند.

نوع مقاله

مقاله پژوهشی اصیل

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۱/۲۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۲۰

تاریخ چاپ الکترونیکی: ۱۴۰۰/۱۲/۲۵

*نویسنده مسول:

mahmoudmohseni73@gmail.com

کلید واژه‌ها: روی معدنی، روی ارگانیک، شاخص‌های خونی، سرم‌شناسی، فیل ماهی

مقدمه

روی (Zn) یک عنصر ضروری کم‌مقدار است که در رشد، تولیدمثل، متابولیسم پروتئین، فعالیت متالوآنزیم‌های موثر در سنتز یا تجزیه چربی‌ها، تولیدانرژی، تنظیم ژن و سنتز اسیدهای نوکلئیک، حفظ سلامت غشاء سلول و استخوان‌ها و عملکرد ایمنی در ماهی نقش دارد [۱-۳]. روی سبب افزایش ساخت متالوتیونین (پروتئین سرشار از سیستئین که به‌عنوان پاک‌کننده رادیکال‌های آزاد عمل می‌نماید) می‌شود [۴]؛ بطوریکه همراه سایر مواد معدنی مانند منیزیم، مس، سلنیوم و سایر متالوآنزیم‌ها از تخریب اکسیداتیو رادیکال‌های آزاد در بافت‌ها جلوگیری نموده و تأثیر چشمگیر در پاسخ آنتی‌اکسیدانی در ماهی دارد [۵-۶].

عنصر روی براساس مقدار و ساختار شیمیایی می‌تواند به‌عنوان ماده مغذی، آنتی‌اکسیدانی و یا ماده سمی عمل نماید [۷]. استفاده بیش از حد نیاز روی می‌تواند برای ماهی سمی باشد، زیرا سبب ایجاد اختلال در سیستم انتقال و جذب شده و وضعیت تغذیه‌ای سایر عناصر مانند آهن، مس و کادمیوم را تحت تأثیر قرار داده و منجر به کاهش رشد و کارایی تغذیه می‌گردد [۷، ۸]. میزان نیاز روزانه به روی در ماهی برحسب سن، مرحله رشد، فصل و چرخه-تولیدمثل متفاوت است [۸]. اگرچه ماهی می‌تواند روی را از آب جذب نماید، غلظت روی در اغلب محیط‌های آبی کافی نیست [۹]. نیاز تغذیه‌ای به روی

دربسیاری از گونه‌های ماهیان آب شیرین ۸۰-۱۵ میلی گرم در کیلوگرم جیره گزارش شده است^[۱]. هرچند اطلاعات بسیار کمی در زمینه نیاز تغذیه‌ای به روی در تاسماهیان موجود است؛ بطوریکه با استناد به یک مطالعه اخیراً انجام شده توسط Moazen-zadeh و همکاران (2017)^[۱۰]، سطح ۲۹/۱۵ میلی گرم در کیلوگرم از فرم معدنی روی (سولفات روی) سبب حداکثر میزان رشد در تاسماهی سبیری (*Acipenser baerii*) می‌گردد. عناصر کلات شده به عنوان مکمل‌های غذایی جانوری به علت زیست‌فراهمی بیشتر در مقایسه با نمک‌های معدنی، توجه بسیاری از کارخانجات تولید غذا و دامداران را به عنوان ابزاری جهت بهبود عملکرد جانوران به خود معطوف نموده‌اند^[۱۱]. در برخی مطالعات، اثرات غذایی مفید عناصر کلات شده بر عملکرد رشد و ایمنی در ماهیان^[۱۲-۱۴]، میگو^[۲] و یا صدف ابالون (*abalone*)^[۱۵] گزارش شده است. بطور معمول فرم معدنی روی (اکسید روی و سولفات روی) در فرمولاسیون جیره آبزیان مورد استفاده قرار گرفته است^[۱۶]. منابع روی ارگانیک، کلات شده یا کمپکس شده با یک پروتئین یا اسید آمینه، به علت جذب بالاتر به عنوان یک منبع جایگزین منابع معدنی روی معرفی شده است^[۱۷-۱۸]. بطور معمول، روی ارگانیک در دستگاه گوارش پایدار بوده و به علت پیوند با مولکول‌های ارگانیک یا اسید آمینه گرایش کمی به فعل و انفعالات با ترکیبات آنتاگونیست دارد، هرچند هزینه بالاتر منابع روی ارگانیک منجر به محدودیت استفاده از این منابع در جیره غذایی جانوران در مقایسه با منابع روی معدنی می‌گردد^[۱۹]. از آنجایی که جذب مواد معدنی نظیر روی عمدتاً در روده اتفاق می‌افتد، نگرانی در مورد پایداری ترکیبات ارگانیک (کلات) تا رسیدن به روده وجود دارد^[۲۰]. بر اساس نظریه Silva و همکاران (2019)^[۲۱]، ترشحات دستگاه گوارش ممکن است حاوی مولکول‌هایی باشند که می‌توانند به عنوان لیگاند عمل کنند. بنابراین، اگر هر یک از این لیگاندها ثابت‌های پایداری بالاتری داشته باشند، می‌توانند یون فلز نظیر روی را از کلات اسید آمینه خارج نمایند. در این راستا دما، غلظت و pH دستگاه گوارش نیز بر ثابت‌های پایداری و در نهایت میل ترکیبی فلز روی با لیگاند و جذب بهتر آن در روده تأثیر می‌گذارند^[۲۱-۲۲]. فرم‌های معمول روی ارگانیک (کلات شده با اسید آمینه) عبارتند از روی-لیزین (*Zn-lysine*)، روی-گلیسین (*Zn-glycine*) و روی-متیونین (*Zn-methionine* یا *Zn-Met*)، که اخیراً روی-متیونین (*Zn-Met*) به عنوان بهترین منبع غذایی روی جهت بهبود رشد و ایمنی در چندین گونه از ماهیان معرفی شده است^[۲۳].

به دلیل ارزش بسیار بالای گوشت و خاویار و کاهش ذخایر تاسماهیان در زیستگاه‌های طبیعی، تکثیر و پرورش تاسماهیان به‌ویژه گونه‌های فیل‌ماهی، تاسماهی سبیری و شپ از سال‌ها پیش مورد توجه بسیاری از کشورهای جهان قرار گرفته است. فیل‌ماهی (*Huso huso*) (Linnaeus, 1758) یکی از مهمترین تاسماهیان بومی ایران با ارزش تجاری بالا جهت پرورش در آب شیرین و لب‌شور است^[۲۴]. کاهش تلفات بچه‌ماهیان، بالا بردن سرعت رشد و تولید بیشتر در واحد سطح یکی از اهداف تولیدکنندگان برای رسیدن به صرفه اقتصادی است. بنابراین ارائه یک جیره غذایی مناسب و تعادل ریز مغذی‌های آن در افزایش بازده تولید نقش اساسی دارد. تأمین غذا و تکنولوژی تولید آن به‌ویژه در دوره لاروی و بچه‌ماهی از مهمترین عوامل محدودکننده توسعه پرورش تاسماهیان است. به منظور افزایش بازده تولید و فراهم آوردن سوددهی بیشتر، ارزیابی اقتصادی تغذیه و تعیین نیازهای غذایی ماهیان بسیار ضروری خواهد بود. در این راستا، مطالعه حاضر با هدف مقایسه اثرات سطوح متفاوت روی شامل روی معدنی (سولفات روی) و روی ارگانیک (روی کلات شده با اسید آمینه متیونین) بر شاخص‌های رشد، ترکیب لاشه، برخی شاخص‌های خونی و ایمنی-بیوشیمیایی سرم بچه فیل‌ماهی پرورشی طراحی و اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

جیره‌های غذایی و نحوه تهیه آن

به منظور تهیه جیره‌های غذایی، ابتدا ترکیبات غذایی مورد نیاز جهت آنالیز به آزمایشگاه (آزمایشگاه آنالیز غذایی دانشگاه پوک یانگ بوسان، کره جنوبی) منتقل گردید تا بر اساس اطلاعات صحیح از ترکیب مواد اولیه نسبت به تنظیم جیره‌ها اقدام گردد. در ترکیب جیره‌ها، از پودر ماهی کیلکا عمل‌آوری شده در دمای پایین (به عنوان طعم‌دهنده غذا و منبع پروتئینی) به میزان ۶ درصد، کازئین و ژلاتین عاری از ویتامین (Sigma)

(Sigma Chemical Co., St. Louis, MO) به‌عنوان منبع پروتئین، روغن سویا و روغن ماهی کیلکا (غذای ماهی خزر، ایران) به‌نسبت مساوی به‌عنوان منبع چربی و دکسترین (Cleveland - Ohio 44122، آمریکا) به‌عنوان منبع کربوهیدرات استفاده گردید. هفت جیره آزمایشی ایزوکالریک (۱۳/۵٪ چربی خام) و با پروتئین خام یکسان (۴۳ در صد پروتئین) با سطوح انرژی ۲۰ مگاژول انرژی خام در هر کیلوگرم جیره توصیه شده توسط Mohseni و همکاران (2011, 2014) [۲۴-۲۵] فرموله شدند. شش جیره غذایی با سطوح منابع روی (zinc) شامل سه سطح ۱۵، ۳۰ و ۶۰ میلی گرم در کیلوگرم جیره از مکمل‌های روی به فرم معدنی (سولفات روی) (zinc sulfate) یا به فرم ارگانیک (روی کلات شده با اسید آمینه متیونین) (zinc chelate یا zinc-methionine) تهیه و نتایج با جیره شاهد (عاری از مکمل روی) مقایسه شدند.

مواد خشک قبل از ترکیب با مواد مرطوب با استفاده از آسیاب (شرکت دامپکور، تهران) به‌قطر ۲۰۰ میکرون شکسته شدند. مواد ریزمغذی از قبیل ویتامین‌ها، مواد معدنی و ال-کارتین با پودر گندم به‌مدت ۱۵ دقیقه با استفاده از دستگاه هم‌زن دوزبانه (ری‌بونی، شرکت گرماالکترونیک، آمل)، کاملاً بایکدیگر مخلوط شدند. سپس دوباره مخلوط حاصل به سایر ترکیبات اضافه و به مدت ۱۰ دقیقه دیگر با هم‌زن مخلوط شدند. اجزای خشک غذا پس از مخلوط کامل بایکدیگر با روغن مخلوط و سپس آب ولرم به آن اضافه گردید تا یک خمیر سفت تشکیل شود. پس از اطمینان از مخلوط شدن تمامی ترکیبات بصورت همگن و یکنواخت، محصول نهایی با استفاده از یک چرخ دستگاه پلت‌زن (مدل CL series، شرکت CPM، آمریکا) با توجه به اندازه دهان ماهی به‌قطر ۴ میلی‌متر پلت شدند. سپس پلت‌ها با استفاده از خشک‌کن دردمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۱۸ ساعت تارپویت تقریبی ۱۰ درصد خشک، شماره‌گذاری و در محفظه‌های عاری از هوا بسته‌بندی و تا زمان مصرف دردمای ۱۸- درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. یک ساعت قبل از مصرف و توزیع غذا، جیره‌ها از فریزر خارج و پس از متعادل شدن بادمای اتاق، با استفاده از ترازوی دیجیتال توزین و در اختیار ماهیان قرار گرفتند [۲۴].

تهیه ماهیان و نحوه پرورش

در ابتدا بچه فیل ماهیان به‌مدت ۴ هفته در مخازن فایبرگلاس به شرایط جدید پرورشی سازگار گردیدند. در طول دوره سازگاری، بچه فیل ماهیان باغذای تجاری تغذیه شدند. سپس تعداد ۳۱۵ عدد بچه فیل ماهی با وزن متوسط 0.29 ± 0.04 گرم (سازگار شده باغذای کنسانتره)، بطور تصادفی در ۲۱ مخزن فایبرگلاس (قطر ۱۰۵ سانتیمتر، ۵۱ سانتیمتر ارتفاع و حجم آب ۵۰۰ لیتر) در فضای سرپوشیده مجهز به سیستم هوادهی، تخلیه آب مرکزی و شیرهای تنظیم آب بادی آب ۴/۷۵ لیتر در دقیقه درمؤسسه تحقیقات بین‌المللی تاسماهیان دریای خزر در قالب یک طرح آماری کاملاً تصادفی متعادل ذخیره و باجیره‌های آزمایشی به‌مدت ۱۲ هفته تغذیه شدند. دوره نوری به‌صورت ۱۴ ساعت روشنایی و ۱۰ ساعت تاریکی تنظیم گردید. ماهیان ۳ بار در روز و در ساعات ۸، ۱۶ و ۲۴ تا حد سیری و به‌صورت دستی غذادهی شدند.

بررسی پارامترهای فیزیکی و شیمیایی آب در طول دوره پرورش در تیمارهای مطالعه حاضر روند نسبتاً ثابتی را برای هر یک از شاخص‌ها نشان داد. بطوریکه میزان درجه حرارت آب در محدوده ۱۷-۱۹ درجه سانتی‌گراد، اکسیژن محلول فراتر از $7/9$ میلی‌گرم در لیتر، pH در حدود ۸-۷/۵ و آمونیاک کل در محدوده 0.04 ± 0.19 میلی‌گرم در لیتر ثبت شد.

به‌منظور کاهش استرس، ۱۲ ساعت قبل و بعد از زیست‌سنجی، غذادهی ماهیان قطع گردید. برای نمونه‌برداری و زیست‌سنجی، ماهیان با محلول پودر گل‌میخک (۲۰۰ ppm) بیهوش شدند [۲۵].

تعیین شاخص‌های رشد

با استفاده از اطلاعات وزن ماهیان در هر مخزن، فاکتورهای محاسباتی شامل متوسط وزن نهایی و ضریب تبدیل غذایی (FCR) محاسبه شد.

افزایش وزن بدن به گرم / وزن خوراک مصرفی به گرم = ضریب تبدیل غذایی (FCR)

آنالیز اجزا، جیره غذایی و ترکیب بدن

آنالیز تقریبی ترکیبات، مواد اولیه و جیره‌های آزمایشی براساس روش‌های استاندارد جیره انجام شد [۲۶]. پس از ۱۲ ساعت قطع غذادهی به‌منظور اطمینان از تخلیه محتویات شکمی ماهیان، در پایان دوره پرورش از هر تکرار ۲ عدد ماهی به‌طور تصادفی برداشت شد و پس از خارج کردن امعا و احشا، جهت آنالیز لاشه به آزمایشگاه ارسال گردید. برای اندازه‌گیری رطوبت، نمونه‌ها در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد و به مدت ۲۴ ساعت تارسیدن به یک وزن ثابت، خشک شدند. میزان پروتئین با برآورد نیتروژن کل ($N \times 6.25$) از روش کج‌دال، چربی با روش سوکسله و با استفاده از حلال کلروفرم با نقطه جوش ۵۵ درجه سانتی‌گراد و به مدت ۵ ساعت و خاکستر با سوزاندن در کوره الکتریکی بادمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد و به مدت ۹ ساعت اندازه‌گیری شدند.

به‌منظور تعیین مقدار عنصر روی در جیره غذایی یک گرم از هر جیره غذایی در آون در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد خشک گردیدند، سپس با استفاده از ۱۵ میلی‌لیتر اسید (نسبت ۱ به ۳ از اسید نیتریک ۶۵ درصد و اسید هیدروکلریک ۳۷ درصد)، نمونه‌ها هضم و با استفاده از دستگاه جذب اتمی (مدل AA220FS، شرکت واریان، آمریکا) قرائت و برحسب میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک غذا محاسبه شد (جدول ۱). جیره‌ها به اختصار: جیره شاهد، $ZnSul_{15}$ ، $ZnSul_{30}$ ، $ZnSul_{60}$ (فرم روی معدنی) و $ZnMet_{15}$ ، $ZnMet_{30}$ ، $ZnMet_{60}$ (فرم روی ارگانیک) نامگذاری شدند. غلظت روی در آب مخازن پرورشی به‌طور منظم با عبور از فیلتر با منافذ ۰/۲۲ با استفاده از جذب اتمی بین ۰/۰۶۵ تا ۰/۰۲۰۳ میکروگرم روی در لیتر ($\mu g Zn/L$) اندازه‌گیری گردید.

خونگیری و تهیه سرم از بچه‌فیل ماهیان پرورشی

جهت سنجش برخی شاخص‌های خون‌شناسی و بیوشیمیایی - ایمنی سرم، ۳ قطعه ماهی از هر تکرار برداشت گردید و به مدت ۱۰ دقیقه ماهی‌ها در محلول پودر گل‌میخک (۲۰۰ ppm) قرار گرفتند و پس از بیهوشی کامل، خونگیری از ساقه دم توسط سرنگ‌های استریل ۲ میلی‌لیتری انجام شد. جهت تهیه سرم، نمونه‌ها پس از ۶ ساعت نگهداری در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد و لخته شدن کامل، با سرعت ۳۰۰۰ دور در دقیقه در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد سانتریفیوژ شد. سپس نمونه سرم خون هر تکرار بوسیله سمپلر برداشته شد و پس از انتقال به لوله‌های میکروتیوب، در دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد تا زمان سنجش پارامترهای سرمی نگهداری گردید.

سنجش شاخص‌های خون‌شناسی و بیوشیمیایی سرم ماهی

تعداد گلبول‌های قرمز خون (RBC; red blood cell)، تعداد گلبول‌های سفید خون (WBC; white blood cell)، پس از رقیق‌سازی خون با محلول رقیق‌کننده Natt-Herrick به ترتیب به نسبت ۲۰۰ و ۵۰ برابر با استفاده از لام هموسیتمتر و به روش دستی شمارش گردید [۲۷]. مقدار هموگلوبین (Hb; hemoglobin) به روش استاندارد با استفاده از کیت سنجش هموگلوبین (شرکت زیست شیمی، ایران) و با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۴۶ نانومتر و مقدار هماتوکریت (PCV; hematocrit) با استفاده از لوله‌های میکروهماتوکریت و سانتریفیوژ نمونه به مدت ۱۰ دقیقه در ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه با استفاده از سانتریفیوژ میکروهماتوکریت صورت پذیرفت. مقادیر شاخص‌های بیوشیمیایی سرم شامل آل‌بومین، پروتئین کل، گلوکز، کلسترول و تری‌گلیسیرید بوسیله دستگاه سنجش گر خودکار (مدل Hitachi 912، شرکت هیتاچی، ژاپن) و کیت‌های ضمیمه‌ای (شرکت پارس آزمون، ایران) مورد ارزیابی قرار گرفت.

اندازه‌گیری شاخص‌های ایمنی سرم

سنجش مقادیر ایمونوگلوبولین کل سرم بوسیله دستگاه نفلومتری (Minineph - Binding site - انگلستان) و با استفاده از کیت آزمایشگاهی Binding site به روش نفلومتری [۲۸] و لیزوزیم سرم، با استفاده از فعالیت باکتریایی و به روش کدورت‌سنجی بوسیله فعالیت باکتری (ATCC *Micrococcus lysodeikticus* 4698) انجام گردید [۲۹].

تجزیه و تحلیل داده ها

ابتدائاً نرمال بودن کلیه داده‌های کسب شده با استفاده از آزمون Kolmogorov-Smirnov و همگنی واریانس‌ها با آزمون Levene کنترل شد. سپس داده‌ها با استفاده از آنالیز واریانس یکطرفه (One-Way ANOVA) مورد سنجش قرار گرفت. زمانی که اختلاف معنی‌دار مشاهده شد، برای بررسی اختلاف آماری فاکتورهای محاسبه شده، مقایسه میانگین‌ها به وسیله آزمون چنددامنه دانکن در سطح اطمینان ۹۵ درصد ($P \leq 0.05$) انجام شد. کلیه تجزیه و تحلیل آماری با نرم‌افزار SPSS (version 24, Chicago, IL, USA) صورت گرفت. داده‌ها در متن به صورت (انحراف معیار $\pm$ میانگین) ارائه شده‌اند.

جدول ۱- اجزای غذایی و ترکیب شیمیایی جیره‌های آزمایشی محتوی سطوح منابع روی (Zinc) (گرم در کیلوگرم جیره)

ترکیب غذایی	شاهد	ZnSul ₁₅	ZnSul ₃₀	ZnSul ₆₀	ZnMet ₁₅	ZnMet ₃₀	ZnMet ₆₀
کازئین	۳۸۰	۳۸۰	۳۸۰	۳۸۰	۳۸۰	۳۸۰	۳۸۰
ژلاتین	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
آرد ماهی	۶۴	۶۴	۶۴	۶۴	۶۴	۶۴	۶۴
دکسترین	۷۶	۷۶	۷۶	۷۶	۷۶	۷۶	۷۶
آرد گندم	۱۲۴	۱۱۴	۱۱۴	۹۰	۱۱۴	۱۱۴	۹۰
نشاسته ذرت	۱۱۰	۱۱۰	۱۱۰	۱۱۰	۱۱۰	۱۱۰	۱۱۰
روغن جانوری	۵۰	۵۰	۵۰	۵۰	۵۰	۵۰	۵۰
روغن گیاهی (سویا)	۵۰	۵۰	۵۰	۵۰	۵۰	۵۰	۵۰
مکمل ویتامینی	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰
مکمل معدنی (فاقد روی)	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰
سلولز ^۱	۶۰	۴۱	۲۶	۲۰	۴۱	۲۶	۲۰
روی (میلی گرم در کیلوگرم)	۰	۱۵	۳۰	۶۰	۱۵	۳۰	۶۰
جمع کل	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰
آنالیز تقریبی جیره های آزمایشی (گرم در کیلوگرم جیره)							
	شاهد	ZnSul ₁₅	ZnSul ₃₀	ZnSul ₆₀	ZnMet ₁₅	ZnMet ₃₀	ZnMet ₆₀
رطوبت	۹۲	۹۱	۹۵	۹۳	۹۴	۹۱	۹۴
پروتئین خام	۴۳۷	۴۳۹	۴۳۴	۴۳۵	۴۳۶	۴۳۸	۴۳۶
چربی خام	۱۳۹	۱۴۱	۱۳۵	۱۳۴	۱۳۳	۱۳۸	۱۳۵
کربوهیدرات خام	۱۲۲	۱۱۷	۱۱۹	۱۲۳	۱۱۹	۱۲۱	۱۱۸
خاکستر	۶۴/۳	۶۴/۵	۶۴/۴	۶۴/۴	۶۳/۹	۶۵/۵	۶۴/۵
فیبر	۲۸/۴	۲۷/۷	۲۸/۱	۲۸/۲	۲۸/۲	۲۷/۸	۲۸/۳
میزان روی اندازه گیری شده (میلی گرم در کیلوگرم)	۱۳/۲	۳۱/۸	۴۷/۳	۷۱/۵	۲۷/۹	۴۶/۹	۷۳/۷

^۱ سلولز خالص به عنوان پرکننده (Filler)

مکمل ویتامینی (برحسب IU یا میلی گرم در کیلوگرم):

د-آل-آلفاتوکوفرول استات IUI۶۰، یود-آل-کولکسیفرول IU۳۰۰۰، تیامین ۱۵ میلی گرم در کیلوگرم، ریبوفلاوین ۳۰ میلی گرم در کیلوگرم، پیروکسین ۱۵ میلی گرم در کیلوگرم، ویتامین B12 ۰/۰۵ میلی گرم در کیلوگرم، نیکوتینیک اسید ۱۷۵ میلی گرم در کیلوگرم، اسید فولیک ۵ میلی گرم در کیلوگرم، اسید اسکوربیک ۵۰۰ میلی گرم در کیلوگرم، اینوسیتول ۱۰۰۰ میلی گرم در کیلوگرم، بیوتین ۲/۵ میلی گرم در کیلوگرم، کلسیم پنتوتنات ۵۰ میلی گرم در کیلوگرم.

مکمل معدنی (برحسب میلی گرم یا گرم در کیلوگرم):

کربنات کلسیم ۴۰ درصد ۲/۱۵ گرم در کیلوگرم، اکسید منیزیم ۱/۲۴ گرم در کیلوگرم، سترات فریک ۰/۲ گرم در کیلوگرم، یدید پتاسیم ۰/۴ میلی گرم در کیلوگرم، سولفات مس ۰/۳ گرم در کیلوگرم، سولفات منگنز ۰/۳ گرم در کیلوگرم، کلسیم فسفات دو ظرفیتی ۵ گرم در کیلوگرم، سولفات کبالت ۲ میلی گرم در کیلوگرم، سلنیت سدیم ۳ میلی گرم در کیلوگرم، کلرید پتاسیم ۰/۹ گرم در کیلوگرم، کلرید سدیم ۰/۴ گرم در کیلوگرم.

نتایج

شاخص‌های رشد

تأثیر سطوح منابع مختلف روی در پایان ۱۲ هفته پرورش بر شاخص‌های وزن نهایی و ضریب تبدیل غذایی ماهی در جدول ۲ آورده شده است. وزن نهایی بدن (گرم) در تیمارهای ZnMet₁₅ و ZnMet₆₀ بطور معنی‌داری ($P \leq 0.05$) نسبت به تیمارهای شاهد، ZnSul₁₅ و ZnSul₆₀

بیشتر بود. همچنین، مقادیر وزن نهایی در تیمارهای ZnSul₃₀، ZnMet₁₅، ZnMet₃₀ و ZnMet₆₀ هیچگونه تفاوت معنی داری را به لحاظ آماری نشان ندادند ($P \geq 0.05$). ضریب تبدیل غذایی در تیمار ZnSul₆₀ به طور معنی داری ($P \leq 0.05$) نسبت به تیمارهای ZnMet₁₅ و ZnMet₆₀ بیشتر بود.

جدول ۲) مقادیر (انحراف معیار $\pm$ میانگین) شاخص های رشد تیمارها در پایان هفته دوازدهم پرورش

تیمارها	وزن اولیه (گرم)	وزن نهایی (گرم)	ضریب تبدیل غذایی
شاهد	۸/۴±۰/۲۳	۱۲۳/۶±۷/۱۹ ^c	۱/۵۶±۰/۱۳ ^{ab}
ZnSul ₁₅	۸/۶±۰/۱۷	۱۲۹/۵±۸/۴۹ ^{bc}	۱/۵۷±۰/۱۱ ^{ab}
ZnSul ₃₀	۸/۲±۰/۳۱	۱۴۱/۴±۶/۰۸ ^{ab}	۱/۴۹±۰/۰۹ ^{abc}
ZnSul ₆₀	۸/۴±۰/۱۷	۱۲۸/۹±۹/۸۳ ^{bc}	۱/۶۳±۰/۰۷ ^a
ZnMet ₁₅	۸/۳±۰/۱۶	۱۴۶/۶±۶/۳۲ ^a	۱/۴۱±۰/۰۶ ^{bc}
ZnMet ₃₀	۸/۴±۰/۰۹	۱۴۳/۲±۱۱/۲ ^{ab}	۱/۴۷±۰/۱۳ ^{abc}
ZnMet ₆₀	۸/۴±۰/۱۷	۱۴۷/۵±۴/۶۹ ^a	۱/۳۲±۰/۰۴ ^c

حروف متفاوت در هر ستون نشان دهنده وجود اختلاف معنی دار بین تیمارهاست ($P \leq 0.05$).

ترکیب بدن

در جدول ۳ نتایج مربوط به اثر سطوح منابع روی بر ترکیب بدن ماهیان نشان داده شده است. بیشترین میزان پروتئین لاشه متعلق به تیمار ZnMet₃₀ بود که نسبت به پروتئین لاشه تیمارهای شاهد، ZnSul₁₅ و ZnSul₆₀ دارای اختلاف معنی دار آماری بود ($P \leq 0.05$). مقادیر چربی لاشه در تیمارهای ZnSul₃₀ و ZnSul₆₀ کاهش معنی داری ($P \leq 0.05$) را نسبت به تیمار شاهد نشان دادند. مقادیر چربی لاشه سایر تیمارها در مقایسه با تیمار شاهد بطور معنی داری تحت تأثیر قرار نگرفت ($P \geq 0.05$). هیچگونه اختلاف معنی دار آماری در میزان خاکستر لاشه بین ماهیان تغذیه شده با جیره های حاوی مقادیر و منابع مختلف روی غذایی مشاهده نشد ($P \geq 0.05$). در حالیکه میزان خاکستر لاشه در تیمارهای ZnMet₃₀ و ZnMet₆₀ نسبت به تیمار شاهد کاهش معنی داری ($P \leq 0.05$) را نشان داد. مقادیر رطوبت لاشه ماهیان تغذیه شده با جیره حاوی ZnMet₃₀ بطور معنی داری ($P \leq 0.05$) در مقایسه با تیمار شاهد و سایر تیمارهای روی غذایی کمتر بود. در عین حال هیچگونه اختلاف معنی دار آماری در میزان رطوبت لاشه بین تیمار شاهد و تیمارهای روی غذایی، به استثناء تیمار ZnMet₃₀، مشاهده نشد ($P \geq 0.05$).

جدول ۳- مقادیر (انحراف معیار $\pm$ میانگین) ترکیب بیوشیمیایی لاشه تیمارها در پایان هفته دوازدهم پرورش

تیمارها	شاخص ها (درصد)			
	پروتئین	چربی	خاکستر	رطوبت
شاهد	۱۴/۵±۱/۱۱ ^c	۸/۱۰±۰/۴۵ ^a	۱/۵۳±۰/۱۳ ^a	۷۵/۳±۲/۲۱ ^{abc}
ZnSul ₁₅	۱۵/۵±۱/۱۱ ^{bc}	۷/۶۲±۰/۴۴ ^a	۱/۴۰±۰/۰۷ ^{ab}	۷۵/۵±۱/۳۹ ^{ab}
ZnSul ₃₀	۱۶/۶±۱/۱۱ ^{ab}	۶/۷۴±۰/۱۲ ^b	۱/۳۶±۰/۰۹ ^{ab}	۷۵/۹±۲/۸۵ ^{ab}
ZnSul ₆₀	۱۵/۷±۱/۱۱ ^b	۶/۴۱±۰/۴۱ ^b	۱/۳۸±۰/۱۸ ^{ab}	۷۶/۹±۳/۷۴ ^a
ZnMet ₁₅	۱۶/۵±۱/۱۱ ^{ab}	۸/۱۳±۰/۲۲ ^a	۱/۳۸±۰/۰۶ ^{ab}	۷۴/۳±۲/۸۵ ^{bc}
ZnMet ₃₀	۱۷/۱±۱/۱۱ ^a	۷/۹۶±۰/۴۱ ^a	۱/۲۷±۰/۰۷ ^b	۷۳/۲±۱/۷۸ ^c
ZnMet ₆₀	۱۶/۳±۱/۱۱ ^{ab}	۷/۷۸±۰/۶۵ ^a	۱/۳۰±۰/۰۶ ^b	۷۴/۴±۱/۲۱ ^{bc}

حروف متفاوت در هر ستون نشان دهنده وجود اختلاف معنی دار بین تیمارهاست ($P \leq 0.05$) (تعداد نمونه = ۶ عدد ماهی به ازای هر تیمار)

شاخص‌های خون‌شناسی و بیوشیمیایی سرم

نتایج حاصل از تأثیر جیره غذایی حاوی سطوح منابع روی بررسی شاخص‌های خون‌شناسی و بیوشیمیایی سرم در جدول ۴ ارائه شده است. مقادیر گلبول‌های قرمز خون بین تیمارهای ZnSul و ZnMet، تفاوت‌های معنی‌داری را به لحاظ آماری نشان ندادند ($P \geq 0.05$). در حالیکه مقادیر گلبول‌های قرمز تیمارهای ZnSul و ZnMet، به استثناء تیمار ZnSul₁₅، بطور معنی‌داری ($P \leq 0.05$) در مقایسه با تیمار شاهد افزایش یافت. از نظر مقادیر گلبول‌های سفیدخون، بین تیمارها تفاوت‌های معنی‌داری به لحاظ آماری مشاهده نگردید ($P \geq 0.05$). مقدار هموگلوبین در تیمار ZnMet₆₀ افزایش معنی‌داری ($P \leq 0.05$) را نسبت به تیمارهای شاهد، ZnSul₁₅، ZnSul₃₀ و ZnMet₁₅ نشان داد، در حالیکه نسبت به تیمارهای ZnSul₆₀ و ZnMet₃₀ این افزایش معنی‌دار نبود ($P \geq 0.05$). مقدار هماتوکریت نیز در تیمار ZnMet₆₀ افزایش معنی‌داری ($P \leq 0.05$) را نسبت به تیمارهای شاهد، ZnSul₁₅ و ZnMet₁₅ نشان داد، در حالیکه نسبت به تیمارهای ZnSul₃₀، ZnMet₃₀ و ZnMet₆₀ این افزایش معنی‌دار نبود ($P \geq 0.05$).

مقادیر گلوکز سرم تیمارهای ZnMet₁₅ و ZnMet₆₀ در مقایسه با تیمار شاهد بطور معنی‌داری ($P \leq 0.05$) کاهش یافت، در حالیکه نسبت به سایر تیمارها تفاوت معنی‌داری را نشان نداد ($P \geq 0.05$). مقادیر کلسترول سرم بین تیمارهای شاهد، ZnSul₁₅ و ZnSul₃₀ تفاوت معنی‌داری را نشان ندادند ($P \geq 0.05$); در حالیکه مقادیر کلسترول سرم در این سه تیمار در مقایسه با تیمارهای ZnMet₁₅، ZnMet₃₀ و ZnMet₆₀ بطور معنی‌داری ($P \leq 0.05$) افزایش یافتند. مقادیر تری‌گلیسیرید سرم در ماهیان تغذیه شده با جیره‌های حاوی ZnMet نسبت به تیمار شاهد و همچنین ماهیان تغذیه شده با جیره‌های حاوی ZnSul، کاهش معنی‌داری ($P \leq 0.05$) را نشان دادند. مقادیر پروتئین کل سرم در تیمارهای ZnMet نسبت به تیمارهای شاهد، ZnSul₁₅ و ZnSul₆₀، کاهش معنی‌داری ($P \leq 0.05$) را نشان دادند. مقادیر آلبومین سرم بین تیمار شاهد و تیمارهای ZnSul، اختلاف معنی‌داری را نشان ندادند ($P \geq 0.05$). در حالیکه مقادیر آلبومین سرم در تیمارهای ZnMet در مقایسه با تیمار شاهد کاهش معنی‌داری ($P \leq 0.05$) داشتند.

شاخص‌های ایمنی سرم

نتایج حاصل از تأثیر جیره غذایی حاوی سطوح منابع روی بررسی شاخص‌های ایمنی سرم در جدول ۵ ارائه شده است. بیشترین میزان لیزوزیم سرم در تیمار ZnMet₆₀ مشاهده شد که تفاوت معنی‌داری ($P \leq 0.05$) را نسبت به تیمارهای شاهد، ZnSul₁₅ و ZnSul₃₀ نشان داد. در حالیکه، هیچگونه اختلاف معنی‌داری در مقادیر ایمونوگلوبولین کل سرم ماهیان تغذیه شده با سطوح منابع روی نسبت به تیمار شاهد مشاهده نشد ($P \geq 0.05$).

جدول ۴- مقادیر (انحراف معیار $\pm$ میانگین) شاخص‌های خون‌شناسی و بیوشیمیایی سرم تیمارها در پایان هفته دوازدهم پرورش

تیمارها							شاخص‌ها
ZnMet ₆₀	ZnMet ₃₀	ZnMet ₁₅	ZnSul ₆₀	ZnSul ₃₀	ZnSul ₁₅	شاهد	
۴۶۷/۰±۱۰/۸ ^a	۴۶۴/۳±۸/۴ ^a	۴۶۰/۴±۱۲/۶ ^a	۴۶۲/۸±۱۴/۷ ^a	۴۶۹/۱±۱۶/۱ ^a	۴۵۲/۲±۱۴/۲ ^{ab}	۴۳۴/۳±۱۷/۴ ^b	گلبولهای قرمز (میلی متر مکعب)
۲۰/۸±۰/۷ ^۶	۲۰/۳±۰/۳ ^۳	۲۱/۱±۰/۳ ^۴	۲۰/۹±۰/۷ ^۶	۲۱/۲±۰/۴ ^۵	۲۱/۷±۰/۴ ^۶	۲۰/۷±۱/۵ ^۱	گلبولهای سفید (میلی متر مکعب)

تیمارها							شاخص‌ها
ZnMet ₆₀	ZnMet ₃₀	ZnMet ₁₅	ZnSul ₆₀	ZnSul ₃₀	ZnSul ₁₅	شاهد	
۵/۷۶±۰/۱۲ ^a	۵/۳۸±۰/۱۱ ^{abc}	۵/۱۲±۰/۳۵ ^{bc}	۵/۵۳±۰/۳۶ ^{ab}	۵/۱۴±۰/۲۳ ^{bc}	۴/۹۵±۰/۲۶ ^{cd}	۴/۵۶±۰/۱۵ ^d	هموگلوبین (گرم در دسی‌لیتر)
۲۷/۶±۱/۵۱ ^a	۲۶/۱±۰/۵۶ ^{ab}	۲۴/۹±۰/۰۵ ^{bc}	۲۶/۲±۰/۴۹ ^{ab}	۲۵/۸±۱/۰۱ ^{ab}	۲۳/۹±۱/۱۲ ^{cd}	۲۲/۸±۱/۰۳ ^d	هماتوکریت (درصد)
۴۷/۸±۴/۱۷ ^b	۵۰/۲±۱/۶۱ ^{ab}	۴۷/۹±۲/۶۹ ^b	۵۲/۴±۳/۰۵ ^{ab}	۵۲/۷±۲/۷۸ ^{ab}	۵۱/۴±۲/۷۷ ^{ab}	۵۶/۶±۳/۷۵ ^a	گلوکز (میلی گرم در دسی‌لیتر)
۶۴/۹±۴/۴۱ ^c	۷۰/۴±۵/۵۶ ^c	۷۶/۹±۳/۰۵ ^{bc}	۸۷/۸±۸/۴۹ ^{ab}	۹۵/۰±۶/۰۱ ^a	۹۵/۰±۷/۵۲ ^a	۹۴/۵±۸/۹۹ ^a	کلسترول (میلی گرم در دسی‌لیتر)
۳۸۶/۳±۲۵/۱ ^c	۳۹۲/۰±۲۹/۲ ^c	۳۸۴/۰±۲۵/۴ ^c	۴۶۷/۰±۳۱/۶ ^{ab}	۴۵۷/۱±۲۸/۳ ^b	۴۸۲/۲±۲۸/۷ ^{ab}	۵۲۰/۶±۳۵/۸ ^a	تری‌گلیسیرید (میلی گرم در دسی‌لیتر)
۲/۶۶±۰/۱۲ ^c	۲/۷۷±۰/۲۱ ^b	۲/۶۹±۰/۱۷ ^{bc}	۳/۰۶±۰/۲۲ ^a	۲/۹۹±۰/۱۲ ^{ab}	۳/۱۳±۰/۰۸ ^a	۳/۱۶±۰/۰۵ ^a	پروتئین کل (گرم در دسی‌لیتر)
۱/۵۶±۰/۰۶ ^c	۱/۶۳±۰/۰۹ ^{bc}	۱/۵۶±۰/۰۸ ^c	۱/۸۷±۰/۲۹ ^{ab}	۱/۷۰±۰/۰۸ ^{abc}	۱/۸۶±۰/۱۲ ^{ab}	۱/۹۶±۰/۱۶ ^a	آلبومین (گرم در دسی‌لیتر)

حروف متفاوت در هر ردیف نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار بین تیمارهاست ($P \leq 0.05$) (تعداد نمونه = ۹ عدد ماهی به ازای هر تیمار)

جدول ۵- مقادیر (انحراف معیار ± میانگین) شاخص‌های ایمنی سرم تیمارها در پایان هفته دوازدهم پرورش

تیمارها		شاخص‌ها
		لیزوزیم (میلی گرم در میلی‌لیتر)
		ایمونوگلوبولین کل (میلی گرم در میلی‌لیتر)
شاهد	۱۳/۳±۰/۶۳ ^c	۳۰/۲±۳/۰۳
ZnSul ₁₅	۱۳/۶±۱/۷۶ ^{bc}	۳۲/۹±۲/۷۲
ZnSul ₃₀	۱۲/۶±۱/۱۴ ^c	۲۹/۶±۱/۷۶
ZnSul ₆₀	۱۴/۹±۱/۶۶ ^{abc}	۳۱/۲±۵/۱۲
ZnMet ₁₅	۱۴/۹±۱/۳۴ ^{abc}	۳۲/۵±۲/۴۳
ZnMet ₃₀	۱۵/۸±۰/۹۶ ^{ab}	۳۳/۷±۲/۸۰
ZnMet ₆₀	۱۶/۶±۱/۰۸ ^a	۳۴/۲±۴/۹۲

حروف متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار بین تیمارهاست ($P \leq 0.05$) (تعداد نمونه = ۹ عدد ماهی به ازای هر تیمار)

بحث

یافته‌های پژوهش حاضر نشان داد که نیاز تغذیه‌ای بچه‌فیل ماهی به عنصر روی می‌تواند از طریق مکمل‌های غذایی تأمین گردد. در پژوهش حاضر، روند بهبود شاخص‌های رشد در تیمارهای روی ارگانیک (ZnMet) مشهودتر بود که حاکی از پتانسیل ارتقاء دهنده روی کلات‌شده با اسید آمینه متیونین به‌ویژه در سطوح ۱۵ و ۶۰ میلی‌گرم جیره بر نرخ جذب جیره غذایی در روده و عملکرد رشد بچه‌فیل ماهی پرورشی دارد. در همین راستا، Izquierdo و همکاران (2017) [۳۰] با افزودن منابع معدنی، ارگانیک (کلات‌شده با اسید آمینه) و نانوذرات سلنیوم، روی و منگنز به غذای لارو ماهی سیم‌سرطلایی (*Sparus aurata*) نشان‌دادند که منابع ارگانیک در مقایسه با منابع معدنی و حتی نانو ذرات عناصر مورد آزمایش منجر به عملکرد بهتر رشد می‌گردند. در حالیکه یافته‌هایی نظیر کاهش معنی‌دار وزن نهایی و افزایش معنی‌دار ضریب تبدیل غذایی در میگوی جوان سفید غربی (*Litopenaeus vannamei*) تغذیه شده با جیره حاوی سطوح متفاوت روی کلات‌شده با اسید آمینه [۳۱] و نیز عدم تغییرات معنی‌دار پارامترهای رشد در بچه‌ماهی انگشت‌قد تیلاپای نیل (*Oreochromis niloticus*) تغذیه شده با منابع روی معدنی (اکسید روی و سولفات روی) و ارگانیک (کمپلکس روی) [۱۷] در تضاد با نتایج مطالعه حاضر می‌باشند.

مقادیر اجزاء اصلی ترکیب بیوشیمیایی لاشه نظیر پروتئین و چربی براساس تغییرات در سنتز پروتئین و چربی در بدن، میزان ذخیره‌شان در بافت‌های بدن و نرخ رشد ماهی متفاوت می‌باشد [۳۲]. لذا با استناد به یافته‌های این مطالعه، ارتقاء شاخص‌های رشد و پروتئین لاشه در کل تیمارهای ZnMet و ZnSul₃₀ را می‌توان با اثرات احتمالی سطوح مورد آزمایش روی کلات شده با متیونین و نیز سطح ۳۰ میلی گرم در کیلوگرم از سولفات روی بر کاهش کاتابولیسم پروتئین و افزایش سنتز گلوکز از کربوهیدرات و در نهایت افزایش پروتئین ماهیچه بچه فیل ماهیان پرورشی مرتبط دانست [۳۳].

در این راستا، برخی مطالعات نیز به نتایج مشابهی با مکمل‌های غذایی روی در سایر ماهیان دست یافتند [۳۴-۳۵]. از طرفی، کاهش معنی‌دار چربی لاشه در تیمارهای ZnSul₃₀ و ZnSul₆₀ را می‌توان به اثرات منفی احتمالی روی معدنی (سولفات روی) در سطوح بالاتر از ۱۵ میلی گرم در کیلوگرم جیره (۳۰ و ۶۰ میلی گرم در کیلوگرم) بر فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی بدن و به دنبال آن افزایش پراکسیداسیون چربی نسبت داد [۳۶].

فاکتورهای خونی به عنوان شاخص‌های مهمی جهت تعیین وضعیت سلامت ماهیان تحت تیمار مکمل‌های غذایی محسوب می‌شوند [۳۷]. نتایج مطالعه حاضر نشان داد که به استثناء ZnSul₁₅، سایر سطوح منابع غذایی روی معدنی و ارگانیک منجر به افزایش معنی‌دار تعداد گلبولهای قرمز (RBC) نسبت به تیمار شاهد شدند. اطلاعات کمی در زمینه تأثیر روی در رژیم غذایی بر سنتز گلبول‌های قرمز ماهی وجود دارد. روی یکی از عناصر اساسی مؤثر بر سنتز پروتئین‌هایی مانند کربنیک انیدراز و سوپراکسید دیسموتاز در گلبول‌های قرمز بوده و از طریق ارتقاء فعالیت آنتی‌اکسیدانی منجر به ممانعت از اکسیداسیون غشای گلبول‌های قرمز و عملکرد مناسب این گلبول‌ها می‌گردد [۶، ۲۸]؛ این ویژگی می‌تواند تأثیر افزایشی مکمل روی معدنی و ارگانیک بر مقادیر RBC در پژوهش حاضر را توجیه نماید. هموگلوبین (Hb) یک متالوپروتئین حاوی آهن در گلبول‌های قرمز تمامی مهره‌داران است که سنتز آن به شدت با فعالیت آنزیم‌های درگیر در متابولیسم آهن مانند سروزولوپلاسمین (یک آنزیم فروکسیداز مرتبط با اکسیداسیون احتمالی آهن دو ظرفیتی یا ferrous به آهن سه ظرفیتی یا ferric) محدود می‌شود [۳۸]؛ اگرچه مکانیزم دقیق این فرآیند مشخص نیست اما به نظر می‌رسد روی بطور مفیدی جایگزین آهن دو ظرفیتی (ferrous) در پروتئین‌های متصل به آهن بدون انجام اکسیداسیون گردیده و بدین ترتیب ارتقاء سنتز هموگلوبین خون را تضمین می‌نماید [۱۰، ۴۰]. در این راستا، تأثیر مثبت جیره‌های حاوی ZnSul و ZnMet بر مقادیر Hb خون در مطالعه حاضر نیز مؤید این مطلب می‌باشد. تأثیر مکمل روی بر مقادیر هماتوکریت (PCV) خون در پژوهش حاضر نیز روند افزایشی داشت و براساس نتایج (جدول ۴)، به استثناء تیمار ZnSul₁₅، سایر تیمارهای روی معدنی و ارگانیک تأثیر افزایشی معنی‌داری را بر میزان هماتوکریت خون داشتند. بنابراین به نظر می‌رسد افزودن روی در مقادیر ۳۰ و ۶۰ میلی گرم در کیلوگرم به جیره، صرف نظر از نوع منبع مورد استفاده، منجر به ارتقاء قابل توجه ظرفیت حمل اکسیژن در خون و در نتیجه انتقال بهتر اکسیژن از آبشش به بافت [۱۰] در بچه فیل ماهیان پرورشی می‌گردد. هم‌راستا با نتایج پژوهش حاضر، Moazenzadeh و همکاران (2017) [۱۰] افزایش مقادیر پارامترهای خون ساز نظیر RBC، Hb و PCV را در تاسماهی سبیری تحت تیمار سطوح سولفات روی (۷/۴-۱۴/۴۶ میلی گرم در کیلوگرم جیره) گزارش نمودند. همچنین، Ibrahim و همکاران (2021) [۴۱] با مطالعه اثرات غذایی سطوح اکسید روی و نانو ذرات اکسید روی (۳۰ و ۶۰ میلی گرم در کیلوگرم جیره) در تیلاپیا نیل (*O. niloticus*)، بهترین نتایج پارامترهای هماتولوژی را در ماهیان تحت تیمار نانو ذرات اکسید روی در سطح ۳۰ میلی گرم در کیلوگرم جیره مشاهده نمودند. در تضاد با نتایج پژوهش حاضر، Sansuwan و همکاران (2019) [۴۲] گزارش نمودند که مکمل نمودن جیره با سولفات روی و روی کلات شده با اسید آمینه هیچ تأثیری بر پارامترهای خون ساز در سی‌باس آسیایی (*Lates calcarifer*) ندارد.

سنجش پارامترهای سرم‌شناسی به عنوان ابزاری ارزشمند جهت نظارت بر وضعیت متابولیک و فیزیولوژیک ماهی شناخته می‌شوند [۴۳]. جیره غذایی حاوی مقادیر بالای عنصر روی ممکن است از طریق افزایش استرس ناشی از مسمومیت در ماهی منجر به افزایش تقاضای انرژی و در نتیجه افزایش غلظت گلوکز سرم گردد [۴۴]. بر این اساس، روند کاهشی مقادیر گلوکز سرم تیمارهای ZnMet₁₅ و ZnMet₆₀ نسبت به تیمار شاهد در این مطالعه بیانگر تأثیر مثبت و غیرسمی منابع روی ارگانیک در سطوح ۱۵ و ۶۰ میلی گرم در کیلوگرم جیره بر بچه فیل ماهیان پرورشی می‌باشد. منابع روی درجیره غذایی از طریق تقلیل مقادیر سرمی مس منجر به افزایش فعالیت آنزیم هیدروکسی‌متیل گلوکوتاریل کوآنزیم آر دوکتاز (HMG CoA reductase) (آنزیم مؤثر در تولید کلسترول در کبد) و افزایش غلظت کلسترول خون می‌گردد [۴۵]؛ در این راستا، کاهش معنی‌دار مقادیر کلسترول

سرم در تیمارهای ZnMet در پژوهش حاضر را می‌توان با پتانسیل قابل توجه سطوح مورد آزمایش روی کلات شده با اسید آمینه متیونین نسبت به سولفات روی در مانع احتمالی از کاهش مقادیر سرمی مس و در نتیجه تعدیل سنتز کلسترول در کبد بچه فیل ماهیان پرورشی مرتبط دانست. از طرفی، کاهش معنی‌داری گلیسرید سرم در تیمارهای ZnSul₃₀ و کل تیمارهای ZnMet را می‌توان به اثرات مفید احتمالی جیره‌های مذکور بر فرآیند بیوسنتز لیپوپروتئین‌ها، تنظیم کاتابولیسم چربی، عملکرد کلیه و کبد و نیز کاهش پراکسیداسیون چربی غشای سلولی^[۴۴] نسبت داد. در مطالعه حاضر، تأثیر کاهشی منابع روی بر مقادیر پروتئین کل و آلبومین سرم در سه تیمار ZnMet معنی‌دار بود که احتمالاً می‌تواند به علت عدم تحریک مناسب سنتز پروتئین در کبد جهت حفظ تعادل اسمزی بین خون و فضاهای بافتی^[۱۶] در بچه فیل ماهیان تحت تیمار روی کلات شده با اسید آمینه متیونین در سطوح مورد آزمایش باشد. از طرفی، روند افزایشی مشهودتر فعالیت سرمی لیزوزیم در تیمارهای ZnMet در پژوهش حاضر نشان‌دهنده پتانسیل بالای روی کلات شده با اسید آمینه متیونین (روی ارگانیک) به ویژه در سطوح ۳۰ و ۶۰ میلی گرم در کیلوگرم جیره (جدول ۵) در ارتقاء سیستم ایمنی هومورال غیر اختصاصی (ذاتی) و سلولی در مواجهه احتمالی با عوامل باکتریایی گرم مثبت و گرم منفی و در نهایت فعال‌سازی سیستم کمپلمان و فرآیند فاگوسیتوز می‌باشد^[۴۶]. در همین راستا، Sallam و همکاران (2020)^[۳۳] با افزودن ۳۰ میلی گرم در کیلوگرم از منابع مختلف روی شامل: اکسیدروی (ZnO)، کمپلکس روی-متیونین (Zn-Met) و نانوذرات اکسیدروی (ZnO-NPs) به جیره به افزایش معنی‌دار فعالیت لیزوزیم سرم در ماهی *Siganus rivulatus* دست یافتند.

نتیجه‌گیری

در مجموع یافته‌های پژوهش حاضر مبین کارایی بهتر مکمل روی کلات شده با متیونین (ZnMet) (روی ارگانیک) در سطوح ۶۰-۱۵ میلی گرم در کیلوگرم جیره در مقایسه با سولفات روی (ZnSul) (روی معدنی) بر برخی پارامترهای رشد، ترکیب لاشه، پارامترهای خون‌شناسی و نیز بیوشیمیایی-ایمنی سرم در بچه فیل ماهیان پرورشی می‌باشد. این امر نویدبخش کاهش هزینه تولید غذا، کاهش وابستگی صنعت تولید خوراک آبزیان به واردات و نیز تداوم روند رو به رشد صنعت آبرزی پروری پایدار در کشور می‌باشد.

تشکر و قدردانی

پژوهش حاضر در قالب طرح مصوب شورای تحقیقات و فناوری استان گیلان-رشت (با حمایت مالی استانداری گیلان) با عنوان "بهینه سازی جیره غذایی با هدف افزایش شاخص‌های رشد، بهبود کارایی تغذیه و ارتقای سیستم ایمنی تاسماهیان پرورشی (فاز اول: فیل ماهی و تاسماهی سبیری)" با شماره مصوب: ۴-۳۲-۳۲-۹۴۱۰۴ در مؤسسه تحقیقات بین‌المللی تاسماهیان دریای خزر انجام گردید. نگارندگان کمال تشکر را از کلیه همکارانی که در اجرای این پروژه دست یاری دادند و با زحمات بی‌دریغ‌شان پشتیبان ما بودند، ابراز می‌دارند.

منابع

- 1- Liang JJ, Yang HJ, Liu YJ, Tian LX, Liang GY. Dietary zinc requirement of juvenile grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) based on growth and mineralization. *Aquacult Nutr*. 2012;18(4):380-7.
- 2- Lin S, Lin X, Yang Y, Li F, Luo L. Comparison of chelated zinc and zinc sulfate as zinc sources for growth and immune response of shrimp, *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture*. 2013;406-407:79-84
- 3- Houn-Yung C, Yu-Chun C, Li-Chi H, Meng-Hsien C. Dietary zinc requirements of juvenile grouper, *Epinephelus malabaricus*. *Aquaculture*. 2014;432:360-4.
- 4- Kaushik S. Mineral nutrition. In: Guillaume J, Kaushik S, Bergot P, Metailler R. Nutrition and feeding of fish and crustaceans. Chichester, UK: Springer-Praxis Publishing Ltd.; 2002. pp. 169-81.

- 5- Buentello JA, Goff JB, Gatlin III DM. Dietary zinc requirement of hybrid striped bass, *Morone chrysops* × *Morone saxatilis*, and bioavailability of two chemically different zinc compounds. J World Aquac Soc. 2009;40(5):687-94.
- 6- Huang F, Jiang M, Wena H, Wua F, Liua W, Jb Tiana, Yang C. Dietary zinc requirement of adult Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*, fed semi-purified diets, and effects on tissue mineral composition and antioxidant responses. Aquaculture. 2015; 439:53-9
- 7- Glover CN, Bury NR, Hogstrand C. Intestinal zinc uptake in freshwater rainbow trout: evidence for apical pathways associated with potassium efflux and modified by calcium. Biochim Biophys Acta Biomembr. 2004. 1663(1-2):214-21.
- 8- Carpene E, Andreani G, Monari M, Kindt M, Isani G. Biochemical changes during post-larval growth in white muscle of gilthead sea bream (*Sparus aurata*) fed zinc-fortified diets. Vet Res Commun. 2003;27:215-8.
- 9- Watanabe T, Kiron V, Satoh S. Trace minerals in fish nutrition. Aquaculture. 1997;151(1-4):185-207.
- 10- Moazenzadeh K, Islami HR, Zamini A, Soltani M. Dietary zinc requirement of Siberian sturgeon (*Acipenser baerii*, Brandt 1869) juveniles, based on the growth performance and blood parameters. Int. Aquat. Res. 2017;9(1): 25-35.
- 11- Wang C, Lovell RT. Organic selenium sources, selenomethionine and selenoyeast, have higher bioavailability than an inorganic selenium source, sodium selenite, in diets for channel catfish (*Ictalurus punctatus*). Aquaculture. 1997;152(1-4), 223-34.
- 12- Paripatananont T, Lovell RT. Responses of channel catfish fed organic and inorganic sources of zinc to *Edwardsiella ictaluri* challenge. Journal of Aquatic Animal Health. 1995;7(2):147-54.
- 13- Satoh S, Apines MJ, Tsukioka T, Kiron V, Watanabe T, Fujita S. 2001. Bioavailability of amino acids-chelated and glass-embedded manganese to rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*, fingerlings. Aquacult Res. 2001;32(S1):18-25.
- 14- Apines-Amar MJS, Satoh S, Caipang CMA, Kiron V, Watanabe T, Aoki T. Amino acid-chelate: a better source of Zn, Mn, and Cu for rainbowtrout, *Oncorhynchus mykiss*. Aquaculture. 2004;240(1-4):345-58.
- 15- Tan BP, Mai KS. Zinc methionine and zinc sulfate as sources of dietary zinc for juvenile abalone, *Haliotis discus hannai* Ino. Aquaculture. 2001;192(1):67-84.
- 16- Kishawy AT, Roushdy EM, Hassan FA, Mohammed HA, Abdelhakim TM. Comparing the effect of diet supplementation with different zinc sources and levels on growth performance, immune response and antioxidant activity of tilapia, *Oreochromis niloticus*. Aquacult Nutr. 2020;26(6):1926-42.
- 17- Do carmo e sa MV, Pezzato LE, Barros MM, Magalhaes padilha P. Relative bioavailability of zinc in supplemental inorganic and organic sources for Nile tilapia *Oreochromis niloticus* fingerlings. Aquacul Nutr. 2005;11(4):273-81.

- 18- Khalil HS, Mansour AT, Godaa AMA, Omar EA. Effect of selenium yeast supplementation on growth performance, feed utilization, lipid profile, liver and intestine histological changes, and economic benefit in meagre, *Argyrosomus regius*, fingerlings. *Aquaculture*. 2019;501(25):135-43.
- 19- Zhao, CY, Tan SX, Xiao XY, Qiu XS, Pan JQ, Tang ZX. Effects of dietary zinc oxide nanoparticles on growth performance and antioxidative status in broilers. *Biol Trace Elem Res*. 2014;160(3):361-7.
- 20- Goff JP. Invited review: Mineral absorption mechanisms, mineral interactions that affect acid-base and antioxidant status, and diet considerations to improve mineral status. *J Dairy Sci*. 2018;101(4): 2763-2813.
- 21- Silva MS, Kröckel S, Prabhu PAJ, Koppe W, Ørnsrud R, Waagbø R, Araujo P, Amlund H. Apparent availability of zinc, selenium and manganese as inorganic metal salts or organic forms in plant-based diets for Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture*. 2019;503:562-70.
- 22- Brown TF, Zeringue LK. Laboratory evaluations of solubility and structural integrity of complexed and chelated trace mineral supplements. *J Dairy Sci*. 1994;77(1):181-9.
- 23- Du Z, Luo W, Liu Y, Xu H, Wu J, Wang T, Yang L, Wen, A. The dietary zinc requirement of a benthic fish *Paramisgurnus dabryanus*. *Aquacult Res*. 2020;51(4):1346-52.
- 24- Mohseni M, Hassani MHS, Pourali FH, Pourkazemi M, Bai SC. The optimum dietary carbohydrate/lipid ratio can spare protein in growing beluga, *Huso huso*. *J Appl Ichthyol*. 2011;27(2):775-80.
- 25- Mohseni M, Pourali, HR., Kazemi R, Bai SC. Evaluation of the optimum dietary protein level for the maximum growth of juvenile beluga (*Huso huso* L. 1758). *Aquacult Res*. 2014;45(11):1832-41.
- 26- AOAC. Official methods of analysis. 16th Edition. Arlington: Association of Official Analytical Chemists; 1995.
- 27- Houston CB. Blood and circulation. In: Shreck CB, Moyle PB. *Methods for fish biology*. USA.: American Fisheries Society; 1990. pp. 273-322.
- 28- Siwicki AK, Anderson DP, Rumsey GL. Dietary intake of immunostimulants by rainbow trout affects non-specific immunity and protection against furunculosis. *Vet Immunol Immunopathol*. 1994;41(1-2):125-39.
- 29- Subramanian S, MacKinnon SL, Ross NW. A comparative study on innate immune parameters in the epidermal mucus of various fish species. *Comp Biochem Physiol B Biochem Mol Biol*. 2007;148(3):256-63.
- 30- Izquierdo MS, Ghrab W, Roo J, Hamre K, Hernández-Cruz CM, Bernardini G, Terova G, Saleh R. Organic, inorganic and nanoparticles of Se, Zn and Mn in early weaning diets for gilthead seabream (*Sparus aurata*; Linnaeus, 1758). *Aquacult Res*. 2017;48(6):2852-67.
- 31- Shi B, Xu F, Zhou Q, Regan MK, Betancor M., Tocher DR, Sun M, Meng F, Jiao L, Jin M. Dietary organic zinc promotes growth, immune response and antioxidant capacity by modulating zinc signaling in juvenile Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *Aquacult Rep*. 2021;19:100638.

- 32- Abdel-Tawwab M, Abdel-Rahman AM, Ismael NE. Evaluation of commercial live bakers' yeast, *Saccharomyces cerevisiae* as a growth and immunity promoter for Fry Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.) challenged in situ with *Aeromonas hydrophila*. Aquaculture. 2008;280(1-4):185-9.
- 33- Sallam AE, Mansour AT, Alsaqufi AS, Salem MES, El-Feky MM. Growth performance, anti-oxidative status, innate immunity, and ammonia stress resistance of *Siganus rivulatus* fed diet supplemented with zinc and zinc nanoparticles. Aquacult Rep. 2020;18:100410.
- 34- Taheri S, Banaee M, Haghi BN, Mohiseni M. Effects of dietary supplementation of zinc oxide nanoparticles on some biochemical biomarkers in common carp (*Cyprinus carpio*). Int J Aquat Biol. 2017;5(5):286-94.
- 35- Zhao HX, Cao JM, Liu XH, Zhu X, Chen SC, Lan HB, Wang AL. Effect of supplemental dietary zinc sources on the growth and carbohydrate utilization of tilapia Smith 1840, *Oreochromis niloticus* × *Oreochromis aureus*. Aquacult Nutr. 2011;17(1):64-72.
- 36- Akram Z, Fatima M, Shah SZH, Afzal M, Hussain SM, Hussain M, Khan ZI, Akram K. Dietary zinc requirement of *Labeo rohita* juveniles fed practical diets. J Appl Anim Res. 2019;47(1):223-29.
- 37- Abu-Elala N, Marzouk M, Moustafa M. Use of different *Saccharomyces cerevisiae* biotic forms as immune-modulator and growth promoter for *Oreochromis niloticus* challenged with some fish pathogens. Int J Vet Sci Med. 2013;1(1):21-9.
- 38- e Sá MVDC, Pezzato LE, Lima MMBF, de Magalhães Padilha P. Optimum zinc supplementation level in Nile tilapia *Oreochromis niloticus* juveniles diets. Aquaculture. 2004;238(1-4):385-401.
- 39- Lall SP. The minerals. In: Halver JE, Hardy RW. Fish nutrition, 3rd edn. San Diego, USA.: Academic Press; 2002. pp. 259-309.
- 40- Havukainen H, Haataja S, Kauko A, Pulliainen AT, Salminen A, Haikarainen T, Finne J, Papageorgiou AC. Structural basis of the zinc-and terbium-mediated inhibition of ferroxidase activity in Dps ferritin-like proteins. Protein Sci. 2008;17(9):1513-21.
- 41- Ibrahim MS, El-Gendi GM, Ahmed AI, El-Haroun ER, Hassaan MS. Nano Zinc Versus Bulk Zinc Form as Dietary Supplied: Effects on Growth, Intestinal Enzymes and Topography, and Hemato-biochemical and Oxidative Stress Biomarker in Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus* Linnaeus, 1758). Biol Trace Elem Res. 2021. <https://doi.org/10.1007/s12011-021-02724-z>.
- 42- Sansuwan K, Jintasataporn E, Chumkam S. Effects of dietary zinc amino acid complex and zinc sulfate on growth performance, digestive enzyme activity and immune response in Asian seabass (*Lates calcarifer*). J Aquacult Res Dev. 2019;10:572.
- 43- Mondal AH, Behera T, Swain P, Das R, Sahoo SN, Mishra SS, Das J, Ghosh K. 2020. Nano zinc vis-à-vis inorganic Zinc as feed additives: Effects on growth, activity of hepatic enzymes and non-specific immunity in rohu, *Labeo rohita* (Hamilton) fingerlings. Aquacult Nutr. 2020;26(4):1211-22.
- 44- Banaee M, Vaziriyani M, Derikvandy A, Haghi BN, Mohiseni M. Biochemical and physiological effect of dietary supplements of ZnO nanoparticles on common carp (*Cyprinus carpio*). Int J Aquat Biol. 2019;7(1):56-64.

- 45- Foster M, Petocz P, Samman S. Effects of zinc on plasma lipoprotein cholesterol concentrations in humans: a meta-analysis of randomised controlled trials. *Atherosclerosis*. 2010; 210(2):344-52.
- 46- Saurabh S, Sahoo PK. Lysozyme: an important defence molecule of fish innate immune system. *Aquacult Res*. 2008;39(3):223-39.

E Comparing effects of sources levels of zinc on growth performance, carcass composition, haematological and serum immuno-biochemical indices of juvenile beluga sturgeon, *Huso huso* (Linnaeus, 1758)

Mahmoud Mohseni^{1*}, Maryam Aftabgard², Mohammad Hassanzadeh Saber¹, Kadusa Moazenzadeh³

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

2- Department of Fisheries, Faculty of Natural Resources, Bandar Abbas Branch, Islamic Azad University, Bandar Abbas, Iran.

3- Department of Fisheries, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

ABSTRACT

This study aims to compare effects of sources levels of zinc on growth and carcass quality, some haematological and serological indices of juvenile beluga sturgeon, *Huso huso* (Linnaeus, 1758). A number of 315 juvenile beluga sturgeon (8.4 ± 0.29) were fed in 21 500 lit fiberglass tanks (15 fish per tank) under 7 experimental diets including 1 control diet plus 6 diets containing zinc (mg per kg of diet) in two forms of mineral (zinc sulfate) (ZnSul15, ZnSul30, and ZnSul60 treatments) and organic (chelated with methionine) (ZnMet15, ZnMet30, and ZnMet60 treatments) with three replications per treatment for 12 weeks. The best values of final weight and feed conversion ratio were observed in the ZnMet15 and ZnMet60 treatments. Red blood cells, hemoglobin, and hematocrit showed an incremental trend influenced by increased zinc supplement. Increased carcass protein in the ZnMet30 treatment was significant compared to the control, ZnSul15, and, ZnSul30 treatments ($P \leq 0.05$). Reduced carcass lipid in the ZnSul30 and ZnSul60 treatments was significant compared to the other treatments ($P \leq 0.05$). Serum triglyceride and cholesterol decreased in the ZnMet treatments compared to the control treatment. Reduced serum glucose in the ZnMet15 and ZnMet60 treatments and also increased serum lysozyme in the ZnMet30 and ZnMet60 treatments were significant compared to the control treatment ($P \leq 0.05$). Results demonstrated that most of the indices had better performance in the ZnMet treatments compared to the other treatments and are proposed as an optimal diet for juvenile beluga sturgeon.

KEYWORDS: Mineral zinc, Organic zinc, haematological indices, Serology, Beluga sturgeon

ARTICLE TYPE

Original Research

ARTICLE HISTORY

Received: 11 April 2021

Accepted: 20 February 2022

ePublished: 25 February 2022

* Corresponding Author:

Email address: mahmoudmohseni73@gmail.com

Tel: +(98) 9111342918

© Published by Tarbiat Modares University

eISSN:2476-6887 pISSN:2322-5513