



Dietary Supplementation of Manganese Sulfate Nanoparticles and its Influence on Growth Performance, Hematology and Blood Biochemistry of Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum 1792)

ARTICLE INFO

Article Type

Original Research

Authors

Sotoudeh E.^{*1} PhD,
Bahadori R.¹ MA,
Habibi H.² PhD,
Naserifard I.¹ MSc

How to cite this article

Sotoudeh E, Bahadori R, Habibi H, Naserifard I. Dietary Supplementation of Manganese Sulfate Nanoparticles and its Influence on Growth Performance, Hematology and Blood Biochemistry of Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum 1792). Journal of Fisheries Science and Technology. 2018;7(4):271-277.

¹Fisheries Department, Agriculture & Natural Resources Faculty, Persian Gulf University, Bushehr, Iran

²Animal Husbandry Department, Agriculture & Natural Resources Faculty, Persian Gulf University, Bushehr, Iran

*Correspondence

Address: Persian Gulf University, Shahid Mahini Boulevard, Bushehr, Iran. Postal Code: 7516913817
Phone: +98 (77) 31221315
Fax: +98 (77) 31221301
e.sotoudeh@pgu.ac.ir

Article History

Received: September 12, 2018

Accepted: October 8, 2018

ePublished: December 20, 2018

ABSTRACT

The present study was conducted to assess the influence of dietary manganese sulfate nanoparticles on the growth performance, hematology, and blood biochemistry of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). 240 rainbow trout with an average initial weight of 0.8 ± 0.1 g distributed into four treatments with three replicates and were fed with four diets including a control diet (without manganese), Mn-M (containing 10mg/kg manganese sulfate), Mn-N10 (containing 10mg/kg nano manganese), Mn-N15 (containing 15mg/kg nano manganese) for 6 weeks. The fish were hand-fed to satiation four times daily. At the end of the experiment, the average final weight of fish fed diets containing nano Manganese were significantly higher compared to control treatment ($p < 0.05$), however, there was no significant difference compared to the group fed with manganese sulfate ($p > 0.05$). Condition factor (CF) in juveniles fed diets containing Mn sulfate nanoparticles did not show a significant difference compared to those fed with manganese sulfate (Mn-M; $p > 0.05$). The levels of hemoglobin (Hb) in fish fed Mn-N10 diet was significantly higher than fish fed with the control diet. Fish fed diets Mn-N10 and Mn-N15 showed higher plasma albumin compared to the control and Mn-M diets. In general, the results of this study showed that dietary supplementation of manganese sulfate nanoparticles compared to manganese sulfate had no significant impact on growth performance, hematological and biochemical composition of rainbow trout.

Keywords Minerals; Nanoparticle; Manganese Sulfate; Growth; Health; Rainbow Trout

CITATION LINKS

[1] Utilization of fish and animal by-product ... [2] National aquaculture sector overview ... [3] Enhancement of innate immunity in rainbow ... [4] Trace minerals in fish ... [5] Nutrition and Feeding ... [6] Impact of aquaculture on aquatic environment: Trace ... [7] Mineral requirements of fish: A systematic ... [8] The role of the gastrointestinal tract in salt and water ... [9] Trace elements in human and animal ... [10] Fish ... [11] Bioavailability of organic manganese sources in broilers fed high ... [12] The effect of low dietary manganese intake on ... [13] The nutrition and feeding of farmed fish and shrimp-a ... [14] Nutrient Requirements of Fish and ... [15] Determination of chemical composition, mineral contents, ... [16] Mineral composition of corn and soybean ... [17] Growth performance and tissue mineral ... [18] Effects of dietary manganese on growth and tissue manganese ... [19] Manganese supplementation of a practical, fish meal based diet for Atlantic ... [20] Effect of manganese on haematological parameters on fish, Garra ... [21] Nanotechnology: A novel tool for aquaculture and fisheries ... [22] Biodegradable long-circulating polymeric ... [23] Effect of selenium nanoparticles with different sizes in primary cultured ... [24] Nano-Fe as feed additive improves the hematological and immunological ... [25] Effects of different dietary selenium sources ... [26] Nanoparticles as drug delivery system against tuberculosis ... [27] Effects of different levels of dietary selenium nanoparticles on growth ... [28] Survey on effects of different levels of nano iron on growth ... [29] Effect of manganese oxide nanoparticle on growth performance and ... [30] Effect of dietary gamma-irradiated and fermented soybean ... [31] Effects of clove oil anaesthesia on rainbow ... [32] Routine hematological methods for use with fish ... [33] General ... [34] Effect of zinc and manganese supplementation ... [35] Dietary manganese requirement of juvenile yellow catfish *Pelteobagrus fulvidraco* ... [36] Organic, inorganic and nanoparticles of Se, Zn and Mn in ... [37] Bioavailability of nanoparticles in nutrient and ... [38] Review of health safety aspects of nanotechnologies ... [39] Dietary manganese requirement for juvenile ... [40] Evaluation of some blood serum biochemical parameters ... [41] Determination of normal values of some blood ... [42] Determination of manganese in biological materials ... [43] Physiological effects of nanoparticles on fish ... [44] Silver nanoparticles as a new generation ...

مکمل غذایی نانوذرات سولفات منگنز و اثرات آن بر عملکرد رشد، خون‌شناسی و ترکیبات بیوشیمیایی خون بچه‌ماهیان قزل‌آلای رنگین‌کمان (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum 1792)

ابراهیم ستوده* PhD

گروه شیلات، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه خلیج فارس، بوشهر، ایران

رعنا بهادری MA

گروه شیلات، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه خلیج فارس، بوشهر، ایران

حسن حبیبی PhD

گروه دامپروری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه خلیج فارس، بوشهر، ایران

ایمان ناصری‌فرد MSc

گروه شیلات، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه خلیج فارس، بوشهر، ایران

چکیده

این مطالعه با هدف بررسی اثرات نانوذرات سولفات منگنز جیره بر عملکرد رشد، شاخص‌های خونی و ترکیبات بیوشیمیایی خون به‌عنوان یکی از شاخص‌های مهم سلامتی ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان (*Oncorhynchus mykiss*) انجام شد. تعداد ۲۴۰ قطعه بچه‌ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان با میانگین وزن اولیه 8 ± 0.1 گرم در ۱۲ آکواریم با ۴ تیمار و ۳ تکرار ذخیره‌سازی و با ۴ جیره شامل جیره شاهد (فاقد منگنز)، جیره Mn-M (حاوی سولفات منگنز به میزان ۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم)، Mn-N10 (نانوذرات سولفات منگنز با میزان ۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم)، Mn-N15 (نانوذرات سولفات منگنز با میزان ۱۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) به مدت ۶ هفته تغذیه شدند. غذادهی ماهیان تا حد سیری ظاهری و روزانه در ۴ نوبت انجام شد. در پایان آزمایش میانگین وزن نهایی در بچه‌ماهیان تغذیه‌شده با جیره‌های حاوی نانوذره سولفات منگنز نیست به تیمار شاهد به‌طور معنی‌داری بالاتر بود ($p < 0.05$)، اما نسبت به گروه تغذیه‌شده با سولفات منگنز اختلاف معنی‌داری نداشت ($p > 0.05$). شاخص وضعیت در بچه‌ماهیان تغذیه‌شده با جیره‌های حاوی نانوذره سولفات منگنز نسبت به گروه تغذیه‌شده با سولفات منگنز اختلاف معنی‌داری نشان نداد ($p > 0.05$). بین شاخص‌های خونی اندازه‌گیری‌شده میزان هموگلوبین (Hb) در تیمار تغذیه‌شده با جیره Mn-N10 اختلاف معنی‌داری نسبت به تیمار تغذیه‌شده با جیره شاهد نشان داد ($p < 0.05$). شاخص آلبومین در تیمارهای تغذیه‌شده با جیره‌های Mn-N10 و Mn-N15 نسبت به جیره‌های شاهد و Mn-M اختلاف معنی‌داری نشان داد ($p < 0.05$). به‌طور کلی نتایج مطالعه حاضر نشان داد افزودن مکمل نانوذرات سولفات منگنز جیره در مقایسه با شکل معمولی سولفات منگنز تأثیر معنی‌داری بر عملکرد رشد، تغذیه و شاخص‌های خون‌شناسی و ترکیبات بیوشیمیایی خون بچه‌ماهیان قزل‌آلای رنگین‌کمان ندارد.

کلیدواژه‌ها: مواد معدنی، نانوذره، سولفات منگنز، رشد، سلامتی، قزل‌آلای رنگین‌کمان

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۶/۲۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۷/۱۶

*نویسنده مسئول: e.sotoudeh@pgu.ac.ir

مقدمه

یکی از معضلات اساسی جوامع بشری فراهم‌نمودن غذا برای جمعیت رو به افزایش کره زمین است. پرورش ماهی یک صنعت مهم و سودآور است و با توجه به آسان‌بودن تولید ماهیان در مقایسه با سایر فرآورده‌های پروتئینی و بالا‌بودن ارزش غذایی آن، آبی‌پروری به‌عنوان یکی از فعالیت‌های موثر در تولید خوراک با کیفیت بالا و هزینه مناسب در حال انجام است.

ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان (*Oncorhynchus mykiss*) یکی از

مهم‌ترین گونه‌های پرورشی است که تولید آن کمک شایانی در تامین پروتئین حیوانی کشورهای در حال توسعه می‌کند. ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان با دارا‌بودن ویژگی‌های منحصربه‌فردی از جمله کیفیت گوشت، اهلی‌شدن سریع و آسان، سخت‌گیرنبودن در غذاگیری، امکان پرورش متراکم، طول نسبتاً کوتاه دوره پرورش و مقاومت ماهی به طیف وسیعی از شرایط فیزیکی و شیمیایی محیط از گونه‌های مهم و تجاری در ایران و جهان برای تامین پروتئین مورد نیاز جوامع بشری مطرح است^[1]. تولید قزل‌آلای رنگین‌کمان در آب‌های شیرین ایران از ۱۵۰۰ تن در سال ۱۹۹۵ به ۱۶۷۸۳۰ تن در سال ۲۰۱۷ میلادی رسیده است^[2]. چنین پیشرفتی نمی‌توانست بدون تامین غذای مورد نیاز با کیفیت مناسب امکان‌پذیر شود. دستیابی به تولید اقتصادی قزل‌آلای رنگین‌کمان مستلزم استفاده مناسب از غذا و ترکیب مناسب اجزای جیره غذایی به شکلی است که بتواند علاوه بر تامین نیازهای اولیه، موجب بهبود شرایط رشد، مقاومت در برابر شرایط نامناسب محیطی، کاهش تلفات، ماهیانی با وزن بالاتر و درنهایت دستیابی به تولیدی بالاتر در شرایط پرورشی شود. مکمل‌های ویتامینی و معدنی برای بهبود رشد و سلامت بیشتر ماهیان به جیره‌های غذایی اضافه می‌شوند^[3]. اغلب موجودات زنده قادر به سنتز عناصر معدنی نبوده و احتیاجات بدن را از راه خوراکی تامین می‌نمایند. بنابراین کمبود این ترکیبات در جیره غذایی با مشکلات متعددی همراه بوده و اختلالات مهمی مانند آسیب‌های بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی را موجب می‌شوند. البته باید در نظر داشت که مصرف بیش از حد مجاز مواد معدنی به‌عنوان مکمل غذایی خود با مسمومیت‌های غذایی و حتی مرگ آزیان همراه خواهد شد. بنابراین مصرف مناسب هر یک از این عناصر معدنی ماهیان پرورشی بسیار ضروری خواهد بود^[4]. مواد معدنی یکی از اجزای ضروری غذای مصرفی است که نقش موثری در سلامت و بسیاری از فعالیت‌های فیزیولوژیک ماهیان پرورشی دارند^[5]. با وجود نیاز اساسی جانوران پرورشی به ۲۹ عنصر از ۹۰ عنصر موجود در مواد غذایی^[6]، تنها اثرات تعداد کمی از آنها در ماهیان مورد بررسی کامل قرار گرفته است^[7]. میزان رشد، کارایی غذایی، نشانه‌های کمبود غذایی، غلظت مواد معدنی در تمام بدن یا در یک بافت مشخص، فعالیت‌های مرتبط با ترشحات آنزیمی، دفع ادراری و حتی بیان ژن‌ها از جمله متغیرهایی بوده‌اند که پاسخ‌های متفاوتی را برای برآورد مقدار صحیح مورد نیاز یک ماده معدنی بین مطالعات مختلف یا حتی درون یک مطالعه نشان داده‌اند^[7,8].

منگنز بین مواد معدنی به‌عنوان یک عنصر مهم برای انجام سوخت‌وساز معمول و فعالیت‌های فیزیولوژیک ماهیان شامل رشد، تولیدمثل و جلوگیری از تغییرات اسکلتی ضروری است^[9, 10]. همچنین منگنز به‌عنوان یک متالوآنزیم و یک فعال‌کننده آنزیمی نقش دارد^[11]. منگنز یکی از اجزای ضروری آنزیم پیروات کربوکسیلاز بوده و به‌عنوان یک کوفاکتور در فعالیت چندین سیستم آنزیمی مانند سوپراکسید دیسموتازها ضروری است^[12]. این عنصر در ساختار استخوان‌ها (سنتز میکوپلی‌ساکارید)، احیای سلول‌های خونی و متابولیسم کربوهیدرات‌ها مشارکت اساسی دارد^[13]. اغلب ماهیان قادر به جذب منگنز مورد نیاز از آب نبوده و نیازمند دریافت آن از طریق اجزای جیره هستند^[14]. از جمله اجزای جیره غذایی ماهی که حاوی منگنز است می‌توان به آرد ماهی^[15] همراه با کنجاله سویا و ذرت^[16] اشاره نمود. اهمیت جذب منگنز از طریق جیره غذایی توسط پژوهشگران مختلفی مورد بررسی قرار گرفته است. ماهیانی که از جیره‌های غذایی حاوی مقادیر پایین

۳۸ لیتری به تعداد ۲۰ قطعه در هر آکواریوم (۴ تیمار و ۳ تکرار) ذخیره‌سازی شدند. ماهیان به مدت ۶ هفته با جیره‌های غذایی ساخته‌شده تا حد سیری ظاهری و روزانه ۴ مرتبه (ساعات ۸، ۱۲، ۱۶ و ۲۰) تغذیه شدند. سیفون کردن آکواریوم‌ها به صورت روزانه انجام می‌شد. آزمایش در یک سالن سرپوشیده با دوره نوری ۱۲ ساعت تاریکی انجام شد. اندازه‌گیری عوامل کیفی نظیر درجه حرارت به صورت روزانه صورت گرفت. در طول دوره میانگین درجه حرارت $14.8 \pm 1.0^{\circ}\text{C}$ ، اکسیژن 8.7 ± 0.6 ، pH برابر با 7.4 ± 0.5 و شوری کمتر از یک قسمت در هزار بود.

ساخت جیره‌های آزمایشی

برای تهیه جیره‌های غذایی مورد آزمایش ابتدا میزان مواد معدنی مورد نیاز برای ساخت هر یک جیره‌ها مطابق احتیاجات ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان^[14] تعیین شد. سپس چهار مخلوط معدنی جداگانه با افزودن ۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم سولفات منگنز (Mn-M)، ۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم نانوذرات سولفات منگنز ($\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ؛ Mn-N10)، ۱۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم سولفات منگنز (Mn-N15) و یک مخلوط معدنی فاقد هر گونه منگنز (جیره شاهد) تهیه شدند (جدول ۱). نانوذرات سولفات منگنز مورد استفاده (دانش‌بنیان احرار شرق؛ ایران) با متوسط اندازه ذرات کمتر از ۵۰ نانومتر تهیه شد. سپس سایر ترکیبات اولیه جیره با استفاده از ترازوی با دقت ۰/۰۱ گرم وزن شدند و ابتدا ترکیبات خشک به صورت دستی به خوبی مخلوط شده و سپس ترکیبات روغنی و آب به آنها اضافه شد تا حالت خمیرمانند پیدا کند. خمیر حاصله با استفاده از چرخ گوشت دارای صافی ۲/۵ میلی‌متر به رشته‌ها تبدیل و در مرحله بعد درون خشک‌کن با دمای 50°C به مدت ۴۸ ساعت قرار گرفت تا خشک شدند. اجزای جیره غذایی مورد استفاده در این تحقیق در جدول ۲ ذکر شده است.

سنجش فاکتورهای رشد

پس از ۶ هفته تغذیه با جیره‌های غذایی مربوطه به منظور سنجش شاخص‌های رشد ماهی‌های هر یک از تکرارهای آزمایشی خارج و طول و وزن آنها اندازه‌گیری و شاخص‌های بازماندگی، ضریب تبدیل غذایی، ضریب رشد ویژه (SGR)، نرخ کارایی چربی (LER)، نرخ کارایی پروتئین (PER)، شاخص کبدی و دستگاه گوارش، درصد افزایش وزن و شاخص وضعیت (CF) براساس رابطه‌های زیر اندازه‌گیری شد^[30]:

(تعداد ماهی ابتدای دوره/تعداد ماهی انتهای دوره) $\times 100$ = درصد بازماندگی

وزن اضافه‌شده (گرم)/غذای خشک داده‌شده (گرم) = ضریب (FCR) تبدیل غذایی

دوره پرورش / {وزن اولیه Ln - (وزن نهایی) Ln} $\times 100$ = (SGR)

ضریب رشد ویژه (درصد/روز)

وزن تر تولیدشده به گرم/چربی مصرفی به گرم = LER

وزن تر تولید شده به گرم / پروتئین مصرفی به گرم = PER

وزن بدن (گرم)/وزن کبد (گرم) $\times 100$ = شاخص کبدی (HSI؛ %)

وزن بدن (گرم) / وزن کل دستگاه گوارش (گرم) $\times 100$ = (VSI)

شاخص دستگاه گوارش (%)

وزن اولیه (گرم)/وزن اولیه (گرم) - وزن ثانویه (گرم) $\times 100$ =

(WG) درصد افزایش وزن بدن (%)

$^{\circ}\text{طول (سانتی‌متر) / وزن نهایی (گرم) \times 100$ = (CF) فاکتور وضعیت

خون‌گیری و اندازه‌گیری شاخص‌های خونی

در پایان دوره آزمایش بعد از ۲۴ ساعت گرسنگی تعداد ۵ ماهی از هر آکواریوم به طور تصادفی انتخاب شد. پس از بی‌هوشی ماهی با

منگنز تغذیه نموده‌اند علایمی همچون افزایش مرگ‌ومیر، کاهش رشد، ضریب تبدیل بالا همراه با سطح پایین این عنصر را در بافت‌هایی مانند عضلات نشان داده‌اند^[17-19]. از سوی دیگر مقادیر بالای منگنز در محیط آبی می‌تواند با عوارضی مانند کاهش تعداد گلبول‌های قرمز، میزان هموگلوبین و درصد هماتوکریت همراه باشد^[20].

نانوتکنولوژی یک فناوری امیدبخش است که در بسیاری از علوم کاربرد دارد. توسعه سریع علوم نانو و نانو تکنولوژی در سال‌های اخیر، افق جدیدی به روی بسیاری از صنایع و بخش‌های مختلف گشوده که سرچشمه انقلاب صنعتی جدید به خصوص در بخش کشاورزی و بخش‌های مرتبط با آن شده است^[21]. از فناوری نانو به عنوان یک فناوری کلیدی و تاثیرگذار بر علم و صنعت یاد می‌شود^[22]. اندازه کوچک این ذرات می‌تواند به تغییرات اساسی در ساختار و خواص این عناصر منجر شود به طوری که تا به امروز صدها تولیدات جدید برای اهداف مختلف در زمینه فناوری نانو ساخته شده است. ورود این فناوری به عرصه آبی‌پروری و استفاده کاربردی از آن در بسیاری از کشورها گسترش یافته است. توسعه فناوری نانو طی سالیان اخیر فرصت‌های جدیدی را در جنبه‌های مختلف علوم از جمله آبی‌پروری عرضه کرده است^[23, 24]. نانوذرات بنا به تعریف به ذراتی اطلاق می‌شود که حداقل یکی از ابعاد آن در محدوده یک تا ۱۰۰ نانومتر باشد. استفاده از ذرات در مقیاس نانو موجب افزایش تاثیرگذاری ترکیبات در غلظت‌های پایین‌تر به شکلی می‌شود که می‌توان از این ویژگی‌ها در زمینه‌هایی نظیر تغذیه، کنترل بیماری‌ها و کاهش اثرات زیست‌محیطی فعالیت‌های مرتبط با آبی‌پروری استفاده نمود^[24-27]. قبادی و همکاران^[28] به بررسی اثرات سطوح مختلف نانوذره آهن (صفر، ۱۵، ۳۰، ۴۵ و ۶۰ میلی‌گرم نانوذرات آهن در هر کیلوگرم غذا) به عنوان شکل جدیدی از ترکیب آهن روی برخی فاکتورهای رشد و تغذیه ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان پرداختند. نتایج آنها نشان داد که بهترین عملکرد رشد و تغذیه در بچه‌ماهیان تغذیه‌شده با جیره حاوی ۳۰ میلی‌گرم نانوذرات آهن در هر کیلوگرم غذا وجود دارد. همچنین در مطالعه محمدی و همکاران^[29] در ارتباط با بررسی کاربرد نانوذره اکسید منگنز (Mn_2O_3) به عنوان مکمل غذایی در جیره بچه‌ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان (*Oncorhynchus mykiss*) مشخص شد که استفاده از نانوذره اکسید منگنز (۱۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم جیره) منجر به افزایش شاخص‌های رشد و شاخص‌های خونی بچه‌ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان شامل تعداد گلبول قرمز، میزان هموگلوبین و درصد هماتوکریت می‌شود.

مطالعه حاضر با هدف بررسی اثرات ذرات نانوذره سولفات منگنز جیره بر عملکرد رشد و تغذیه و همچنین شاخص‌های خونی به عنوان یکی از مهم‌ترین شاخص‌های سلامتی ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان انجام شد.

مواد و روش‌ها

شرایط آزمایش

مطالعه تجربی حاضر در سال ۱۳۹۵ در سوله آبیان دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه خلیج فارس انجام شد. برای این منظور ۳۵۰ قطعه ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان از مرکز ژنتیک و اصلاح نژاد ماهیان سردابی شهید مطهری یاسوج به وسیله پلاستیک حمل ماهی انتقال و به منظور سازگاری با شرایط آزمایشی به مدت دو هفته نگهداری شدند. پس از رقم‌بندی تعداد ۲۴۰ قطعه از ماهیان با میانگین وزنی 8.1 ± 0.1 گرم در ۱۲ آکواریوم

کالموگروف- اسمیرنوف بررسی و همگنی واریانس‌ها با استفاده از آزمون لوین بررسی شد. مقایسه کلی میانگین‌ها با روش آنالیز واریانس یک‌طرفه انجام و از آزمون آماری چند دامنه دانکن برای مقایسه میانگین تیمارها استفاده شد. نتایج به‌صورت میانگین $\pm$ انحراف معیار ارائه شده‌اند و سطح اطمینان ۹۵٪ به‌عنوان معیار معنی‌دار بودن اختلاف از نظر آماری در نظر گرفته شد. کلیه آنالیزها توسط نرم‌افزار SPSS 18 انجام شد.

یافته‌ها

جدول ۳ شاخص‌های رشد و تغذیه بچه‌ماهیان قزل‌آلای رنگین‌کمان تغذیه‌شده با جیره‌های حاوی نانوذرات منگنز را نشان می‌دهد. میانگین وزن نهایی بچه‌ماهیان تغذیه‌شده با جیره‌های Mn-N15 و Mn-N10 به‌طور معنی‌داری نسبت به گروه تغذیه‌شده با جیره شاهد بالاتر بود ($p < 0.05$). با این حال این اختلاف وزن نسبت به گروه تغذیه‌شده با جیره Mn-M معنی‌دار نبود ($p > 0.05$). شاخص‌های ضریب رشد ویژه (SGR) در تیمارهای حاوی منگنز (به شکل نانوذره و معمولی) به‌طور معنی‌داری نسبت به تیمار شاهد بالاتر بود. شاخص افزایش وزن (WG) بین تیمارها اختلاف معنی‌داری نشان نداد ($p > 0.05$). شاخص وضعیت (CF) در تیمارهای تغذیه‌شده با جیره‌های Mn-M و Mn-N10 به‌طور معنی‌داری نسبت به گروه تغذیه‌شده با جیره شاهد بالاتر به دست آمد ($p < 0.05$). شاخص‌های ضریب تبدیل غذایی (FCR)، نرخ بازده پروتئین (PER)، نرخ بازده چربی (LER)، شاخص دستگاه گوارش (VSI) و شاخص کبدی (HSI) اختلاف معنی‌داری بین تیمارها نشان نداد ($p > 0.05$).

جدول ۳) شاخص‌های رشد و تغذیه بچه‌ماهیان قزل‌آلای رنگین‌کمان تغذیه‌شده با جیره‌های حاوی نانوذرات سولفات منگنز به مدت ۶ هفته

شاخص‌های رشد و تغذیه			
تیمارهای آزمایشی	شاهد	Mn-N15	Mn-N10
وزن نهایی (گرم)	۱۳/۸۵ $\pm$ ۱/۳۳ ^b	۱۵/۰۱ $\pm$ ۰/۸۴ ^{ab}	۱۶/۹۰ $\pm$ ۱/۲۴ ^a
SGR (درصد/روز)	۴/۰۲ $\pm$ ۰/۱۳ ^b	۴/۶۴ $\pm$ ۰/۳۱ ^a	۵/۴۰ $\pm$ ۰/۰۶ ^a
CF	۰/۹۷ $\pm$ ۰/۱۵ ^b	۱/۲۱ $\pm$ ۰/۰۲ ^a	۱/۳۵ $\pm$ ۰/۱۵ ^a
WG (گرم)	۱/۳۴ $\pm$ ۰/۵۸	۱/۵۴ $\pm$ ۱/۶۸	۲/۱۶ $\pm$ ۰/۳۳
FCR	۱/۱۴ $\pm$ ۰/۳۱	۱/۰۲ $\pm$ ۰/۰۸	۱/۰۶ $\pm$ ۰/۳۱
PER	۱/۹۶ $\pm$ ۰/۶۲	۲/۰۷ $\pm$ ۰/۱۷	۲/۰۳ $\pm$ ۰/۳۵
LER	۵/۶۴ $\pm$ ۱/۹۰	۶/۰۲ $\pm$ ۰/۶۰	۵/۹۰ $\pm$ ۱/۰۲
VSI (%)	۱۱/۶۰ $\pm$ ۰/۲۶	۱۱/۵۳ $\pm$ ۱/۷۸	۱۱/۶۴ $\pm$ ۲/۲۰
HSI (%)	۱/۶۱ $\pm$ ۰/۳۶	۱/۴۵ $\pm$ ۰/۳۳	۱/۴۹ $\pm$ ۰/۲۲

میانگین آماری با ۳ تکرار، وجود حروف غیرمشابه در ردیف‌ها نشان‌دهنده معنی‌دار بودن اختلاف آماری در پارامترهای مذکور است ($p < 0.05$).

جدول ۴ شاخص‌های هماتولوژی بچه‌ماهیان قزل‌آلای رنگین‌کمان تغذیه‌شده با جیره‌های حاوی نانوذرات سولفات منگنز را نشان می‌دهد. شاخص‌های هماتولوژی مانند تعداد گلبول‌های سفید (WBC)، تعداد گلبول‌های قرمز (RBC)، هماتوکریت (درصد گلبول‌های قرمز در خون: Hct)، حجم متوسط گلبول قرمز (MCV)، مقدار وزن هموگلوبین در یک گلبول قرمز (MCH) و غلظت متوسط هموگلوبین گلبول‌های قرمز (MCHC) اختلاف معنی‌داری را بین تیمارهای مختلف نشان نداد ($p > 0.05$). شاخص هموگلوبین (Hb) در تیمار تغذیه‌شده با جیره Mn-N10 اختلاف معنی‌داری نسبت به تیمار تغذیه‌شده با جیره شاهد نشان داد ($p < 0.05$). با این حال این اختلاف نسبت به گروه‌های تغذیه‌شده با جیره‌های Mn-N15 و Mn-M معنی‌دار نبود ($p > 0.05$).

پودر گل میخک (۵۰۰ ppm) [31] خون‌گیری با استفاده از سرنگ ۲ میلی‌لیتر هپارینه و از طریق رگ ساقه دمی انجام شد. شاخص‌های خونی شامل شمارش تعداد گلبول‌های قرمز (RBC) با استفاده از لام نئوبار و محلول هایم، سنجش هماتوکریت (Hct) با کمک لوله میکروهماتوکریت، غلظت هموگلوبین (Hb) براساس روش سیانومت هموگلوبین و تعداد گلبول‌های سفید (WBC) با استفاده از لام نئوبار شمارش شد. همچنین شاخص‌های MCHC، MCH و MCV براساس داده‌های حاصل از شمارش گلبول‌های قرمز و سنجش هموگلوبین و هماتوکریت با استفاده از معادلات زیر اندازه‌گیری شدند [32]:

$$\begin{aligned} \text{MCV (fl)} &= [\text{Hct/RBC}] \times 10 \\ \text{MCH (pg)} &= [\text{Hb/RBC}] \times 10 \\ \text{MCHC (g/l)} &= [\text{Hb/Hct}] \times 100 \end{aligned}$$

نمونه‌های مورد نیاز برای سنجش شاخص‌های بیوشیمیایی پلاسما، ابتدا نمونه‌های خونی سانتریفیوژ (۱۰،۳۰۰۰g، ۱۰ دقیقه) شدند و پس از جداسازی پلاسما، در میکروتیوب در دمای ۸۰°C تا زمان سنجش نگهداری شدند. تعیین شاخص‌های بیوشیمیایی پلاسما شامل تری‌گلیسرید، آلبومین، کلسترول و گلوکز با استفاده از کیت تجاری (پارس‌آزمون؛ ایران) و دستگاه اتوآنالایزر مدل RA 1000 (تکنیکون؛ انگلستان) انجام شد.

جدول ۱) مواد معدنی برای ساخت مکمل‌های معدنی مورد استفاده در جیره‌های آزمایشی

ماده معدنی (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	شاهد	Mn-M	Mn-N10	Mn-N15
FeSO ₄	۲۰۰	۲۰۰	۲۰۰	۲۰۰
CuSO ₄	۳	۳	۳	۳
ZnSO ₄	۸۰	۸۰	۸۰	۸۰
MgSO ₄	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۵
CoCl ₂	۱	۱	۱	۱
KI	۱	۱	۱	۱
Nano-MnSO ₄	۰	۰	۱۰	۱۵
Mineral-MnSO ₄	۰	۱۰	۰	۰

جدول ۲) ترکیبات اولیه جیره‌های مورد استفاده برای تغذیه بچه‌ماهیان قزل‌آلای رنگین‌کمان

ترکیبات جیره (درصد)	شاهد	Mn-M	Mn-N10	Mn-N15
پودر ماهی ^۱	۳۳۰	۳۳۰	۳۳۰	۳۳۰
آرد سویا	۱۹۳/۴	۱۹۳/۴	۱۹۳/۴	۱۹۳/۴
آرد گندم	۵۲/۵	۵۲/۵	۵۲/۵	۵۲/۵
گلوتن گندم ^۲	۷۵	۷۵	۷۵	۷۵
روغن ماهی ^۱	۳۵/۲	۳۵/۲	۳۵/۲	۳۵/۲
لسیتین ^۱	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵
مواد معدنی	۷/۵	۷/۵	۷/۵	۷/۵
مخلوط ویتامینه ^۲	۷/۵	۷/۵	۷/۵	۷/۵
آنتی‌اکسیدان	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۲
بایندر ^۳	۱۸/۸	۱۸/۸	۱۸/۸	۱۸/۸
روغن سویا	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵
ترکیبات شیمیایی (درصد)				
پروتئین خام	۴۶/۵	۴۶/۴	۴۶/۵	۴۶/۳
چربی	۱۶/۱	۱۶/۲	۱۶/۳	۱۶/۳
خاکستر	۹/۶	۸/۹	۹/۳	۹/۱
رطوبت	۹/۲	۹/۸	۹/۴	۹/۶

۱) تهیه‌شده از کارخانه هوراش، بوشهر؛ ۲) تهیه‌شده از کارخانه دراج‌بنیان بوشهر

آنالیز آماری

این تحقیق در قالب طرح آزمایشی کاملاً تصادفی انجام شد. به‌منظور آنالیز آماری نتایج ابتدا نرمال بودن داده‌ها با آزمون

تیمارهای تغذیه‌شده با جیره‌های حاوی منگنز، گروه تغذیه‌شده با جیره Mn-N10 بالاترین میانگین وزن نهایی را به خود اختصاص داد، هرچند این افزایش نسبت به گروه‌های Mn-N15 و Mn-M معنی‌دار نبود. شاخص ضریب رشد ویژه نیز در ماهیان تغذیه‌شده با جیره‌های حاوی سولفات منگنز (به‌صورت نانوذرات و غیرنانو) نسبت به گروه تغذیه‌شده با جیره فاقد منگنز به‌طور معنی‌داری بالاتر بود. ماده معدنی منگنز یکی از مواد معدنی کم‌مصرف است که دارای عملکرد کوفاکتوری در بسیاری از سیستم‌های آنزیمی است. این عنصر برای تنظیم کار دستگاه عصبی، رشد استخوان و تولیدمثل لازم است. همچنین این ماده معدنی در متابولیسم کربوهیدرات‌ها نقش موثری داشته و برای افزایش سلامتی ضروری است [33]. مطالعات انجام‌شده در زمینه اثرات منگنز جیره نشان می‌دهد افزودن این ماده معدنی (از ۱۰ تا ۴۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم) باعث افزایش عملکرد رشد لارو ماهی سیم دریایی قرمز [34] و بچه‌ماهی گونه‌های دیگری مانند ماهی قرمز (*Carassius auratus gibelio*) و گربه‌ماهی (*Pelteobagrus fulvidraco*) و تغییر میزان ساخت استخوان‌ها [35، 4] می‌شود. همچنین در یک مطالعه [36] گزارش شد که استفاده از جیره فاقد منگنز موجب کاهش رشد و ساخت استخوان‌ها می‌شود. محمدی و همکاران [29] تاثیر کاربرد نانوذره اکسید منگنز (Mn_2O_3) به‌عنوان مکمل معدنی غذایی بر شاخص‌های رشد قزل‌آلای رنگین‌کمان را بررسی کردند. مطالعات انجام‌شده در خصوص استفاده از نانوذرات معدنی در جیره ماهی نشان می‌دهد که مواد معدنی در مقیاس نانو با سهولت بیشتری نسبت به همتایان بزرگ‌تر خود از دیواره سلولی عبور کرده و این مساله موجب تسریع روند جذب آنها در ماهی می‌شود [37، 38]. به‌طوری که این افزایش سرعت جذب موجب بهبود دسترسی زیستی ترکیباتی مثل نانوذرات سلنیم و اثربخشی بالای آن در جلوگیری از استرس اکسیداتیو می‌شود [23].

فاکتور وضعیت یا ضریب چاقی نشان‌دهنده شرایط زیستی آبی و چاق و لاغر بودن ماهی در طول دوره آزمایش است. بررسی‌های انجام‌شده نشان می‌دهد منگنز ارتباط نزدیکی با سوخت‌وساز چربی دارد [4] و جیره غذایی حاوی منگنز موجب افزایش رسوب چربی در تمام بدن ماهی می‌شود [39]. در نتیجه می‌توان گفت احتمالاً یکی از دلایل بالاتر بودن شاخص وضعیت در ماهیان تغذیه‌شده با جیره‌های حاوی سولفات منگنز و نانوذره سولفات منگنز (۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم جیره) افزایش میزان چربی بدن است. شاخص ضریب رشد ویژه (SGR) در تیمار شاهد دارای اختلاف معنی‌داری نسبت به سایر تیمارها بود. شاخص افزایش وزن (WG) بین تیمارها اختلاف معنی‌داری نشان نداد. علاوه بر این در پژوهش حاضر شاخص ضریب تبدیل غذایی (FCR) بین تیمارهای مختلف اختلاف معنی‌داری نداشت.

خون به‌عنوان یک بافت سیال یکی از مهم‌ترین مایعات بیولوژیک بدن بوده که تحت تاثیر حالات مختلف فیزیولوژیک و پاتولوژیک، ترکیبات آن دست‌خوش تغییر و نوسان می‌شوند [40]. خون‌شناسی اهمیت فراوانی در تشخیص اختلالات و بیماری‌ها دارد. به‌طوری که اگر میزان طبیعی پارامترهای سلولی و بیوشیمیایی خون و دامنه تغییرات آن در انواع ماهیان در شرایط طبیعی در دسترس باشد، بررسی این پارامترها می‌تواند نقش مهمی در تشخیص بیماری‌های عفونی و خونی آبیان ایفا نماید [41]. بیشترین میزان منگنز خون در گلبول‌های قرمز خون ذخیره می‌شود [42] و بر این اساس تغییرات این دسته از سلول‌های خونی می‌تواند به‌عنوان شاخص مناسبی در بررسی کارایی منگنز استفاده شود. بین

جدول ۵ شاخص‌های بیوشیمیایی خون بچه‌ماهیان قزل‌آلای رنگین‌کمان تغذیه‌شده با جیره‌های حاوی نانوذرات سولفات منگنز را نشان می‌دهد. شاخص‌های بیوشیمیایی خون مانند گلوکز، تری‌گلیسیرید، کلسترول، پروتئین کل و گلوبولین اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای مختلف نشان نداد ($p > 0.05$). شاخص آلبومین در تیمارهای تغذیه‌شده با جیره‌های Mn-N10 و Mn-N15 نسبت به جیره‌های شاهد و Mn-M اختلاف معنی‌داری را نشان داد ($p < 0.05$).

جدول ۴ شاخص‌های هماتولوژی بچه‌ماهیان قزل‌آلای رنگین‌کمان تغذیه‌شده با جیره‌های حاوی نانوذرات سولفات منگنز به‌مدت ۶ هفته

شاخص‌های هماتولوژی	شاهد	Mn-M	Mn-N10	Mn-N15
WBC	۱/۳۳±۰/۱۱	۱/۳۶±۰/۰۵	۱/۴۶±۰/۱۵	۱/۳۰±۰/۱۰
RBC	۱/۲۲±۰/۴۴	۱/۵۸±۲۸/۹۸	۱/۵۱±۲۰/۹۸	۱/۴۶±۲۶/۸۳
Hb	۸/۰۳±۰/۲۰ ^b	۸/۸۰±۰/۴۳ ^{ab}	۹/۴۶±۰/۱۵ ^a	۸/۸۰±۰/۸۷ ^{ab}
Hct	۳۴/۲۰±۲/۹۲	۳۶/۶۳±۳/۸۷	۳۹/۸۳±۳/۲۳	۳۸/۱۶±۵/۲۹
MCV	۲/۸۰±۲۹/۲۳	۲/۳۹±۶۷/۳۶	۲/۶۶±۴۷/۵۳	۲/۷۰±۶۸/۸۰
MCH	۱/۷۵±۳/۲۳	۵۶/۷۹±۱۰/۶۳	۶۳/۲۸±۹/۴۹	۶۱/۹۴±۱۵/۹۲
MCHC	۲/۳۶±۰/۲۴	۲/۴۱±۰/۲۲	۲/۳۸±۰/۱۶	۲/۳۲±۰/۲۸

میانگین آماری با ۳ تکرار، وجود حروف غیرمشابه در ردیف‌ها نشان‌دهنده معنی‌داری بودن اختلاف آماری در پارامترهای مذکور است ($p < 0.05$).

جدول ۵ شاخص‌های بیوشیمیایی خون بچه‌ماهیان قزل‌آلای رنگین‌کمان تغذیه‌شده با جیره‌های حاوی نانوذرات منگنز به‌مدت ۶ هفته

شاخص‌های بیوشیمیایی خون	شاهد	Mn-M	Mn-N10	Mn-N15
گلوکز (میلی‌گرم بر دسی‌لیتر)	۷۶/۳۳±۸/۵۰	۷۹±۱۳/۰۷	۶۷±۸/۱۸	۷۴±۸
تری‌گلیسیرید (میلی‌گرم بر دسی‌لیتر)	۲/۸۹±۲۳/۱۸	۲/۹۸±۱۷/۶۹	۲/۷۰±۵۳/۷۷	۲/۸۵±۱۶/۰۴
کلسترول (میلی‌گرم بر دسی‌لیتر)	۳/۷۳±۴۴/۱۹	۳/۳۵±۳۶/۰۵	۳/۶۷±۴۹/۸۶	۳/۳۴±۴۰/۹۱
پروتئین کل (گرم بر دسی‌لیتر)	۳/۷۶±۰/۳۸	۳/۹۵±۰/۲۱	۴/۱۴±۰/۵۱	۴/۱۶±۱
آلبومین (گرم بر دسی‌لیتر)	۱/۹۰±۰/۰۸ ^b	۲/۰۴±۰/۱۳ ^b	۲/۵۳±۰/۱۱ ^a	۲/۳۲±۰/۱۰ ^a
گلوبولین (گرم بر دسی‌لیتر)	۱/۸۵±۰/۳۴	۱/۹۱±۰/۲۱	۱/۶۱±۰/۶۱	۱/۸۴±۰/۹۳
آلبومین/گلوبولین	۰/۰۴±۰/۳۱	۰/۱۳±۰/۲۸	۰/۹۲±۰/۷۱	۰/۴۸±۰/۸۸

میانگین آماری با ۳ تکرار، وجود حروف غیرمشابه در ردیف‌ها نشان‌دهنده معنی‌داری بودن اختلاف آماری در پارامترهای مذکور است ($p < 0.05$).

بحث

موفقیت در تمامی سیستم‌های پرورش ماهی نیازمند تغذیه مطلوب به‌منظور رشد مناسب، حفظ سلامت و افزایش مقاومت در برابر عوامل نامناسب محیطی نظیر انواع استرس‌ها و بیماری‌ها است. به‌طوری که وجود مکمل‌های ویتامینی و معدنی برای بهبود رشد و سلامت بیشتر ماهیان به جیره‌های غذایی اضافه می‌شوند. مکمل‌های ویتامینی و معدنی در آبیان دارای نقش‌های مختلفی از جمله در سوخت‌وساز غذا، افزایش سختی و مقاومت استخوان‌ها، تبادلات یونی و تعادل بهتر اسمزی دارند [28]. یافته‌های این پژوهش نشان داد که میانگین وزن نهایی بچه‌ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان تغذیه‌شده با جیره فاقد منگنز (شاهد) نسبت به بچه‌ماهیان تغذیه‌شده با جیره دارای منگنز پایین‌تر است. بین

رعنا بهادری (نویسنده دوم)، نگارنده مقدمه/ پژوهشگر کمکی/نگارنده بحث (۲۰٪)؛ حسن حبیبی (نویسنده سوم)، روش‌شناس/پژوهشگر کمکی (۲۰٪)؛ ایمان ناصری‌فرد (نویسنده سوم)، پژوهشگر کمکی/نگارنده بحث (۱۰٪)

منابع مالی: این تحقیق با حمایت مالی دانشگاه خلیج فارس و در قالب پژوهانه اعضای هیات علمی انجام شده است.

منابع

- 1- Sugiura SH, Babbitt JK, Dong FM, Hardy RW. Utilization of fish and animal by-product meals in low-pollution feeds for rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum). *Aquac Res.* 2000;31(7):585-93.
- 2- FAO. National aquaculture sector overview fact sheets [Internet]. Rome: FAO Fisheries and Aquaculture Department; 2016 [Cited 13 May 2016]. Available from: http://www.fao.org/fishery/countrysector/naso_iran/en.
- 3- Amar EC, Kiron V, Satoh S, Watanabe T. Enhancement of innate immunity in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum) associated with dietary intake of carotenoids from natural products. *Fish Shellfish Immunol.* 2004;16(4):527-37.
- 4- Watanabe T, Kiron V, Satoh Sh. Trace minerals in fish nutrition. *Aquaculture.* 1997;151(1-4):185-207.
- 5- Lovell T. Nutrition and Feeding of Fish. New York: Springer; 1998.
- 6- Lall SP, Milley JE. Impact of aquaculture on aquatic environment: Trace minerals discharge. In: Schelegel P, Durososy S, Jongbloed AW, editors. Trace elements in animal production systems. Wageningen: Wageningen Academic Publishers; 2008. 203-14.
- 7- Antony Jesu Prabhu P, Schrama JW, Kaushik SJ. Mineral requirements of fish: A systematic review. *Rev Aquac.* 2016;8(2):172-219.
- 8- Grosell M. The role of the gastrointestinal tract in salt and water balance. In: Grosell M, Farrell AP, Brauner CJ, editors. Fish physiology: The multifunctional gut of fish. *Fish physiology.* 30th Volume. Cambridge: Academic Press; 2010. pp. 135-64.
- 9- Hurley LS, Keen CL. Manganese. In: Underwood E, Mertz W, editors. Trace elements in human and animal nutrition. Cambridge: Academic Press; 1987. pp. 185-223.
- 10- Lall SP. The minerals. In: Halver JE, Hardy RW, editors. Fish nutrition. 3rd Edition. Cambridge MA: Academic Press; 2003. pp. 259-308.
- 11- Li SF, Luo XG, Lu L, Crenshaw TD, Bu YQ, Liu B, et al. Bioavailability of organic manganese sources in broilers fed high dietary calcium. *Anim Feed Sci Technol.* 2005;123-124(Pt 2):703-15.
- 12- Knox D, Cowey CB, Adron JW. The effect of low dietary manganese intake on rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *Br J Nutr.* 1981;46(3):495-501.
- 13- Tacon AGJ. The nutrition and feeding of farmed fish and shrimp-a training manual, part 1: The essential nutrients. Brasilia: FAO; 1987.
- 14- National Research Council, Division on Earth and Life Studies, Board on Agriculture and Natural Resources, Committee on the Nutrient Requirements of Fish and Shrimp. Nutrient requirements of fish and shrimp. Washington DC: The National Academies Press; 2011.
- 15- Nassiri Moghaddam H, Danesh Masgaran M, Jahanian Najafabadi H, Jahanian Najafabadi R. Determination of chemical composition, mineral contents, and protein

شاخص‌های خونی اندازه‌گیری شده میزان هموگلوبین (Hb) در تیمار تغذیه شده با جیره Mn-N10 اختلاف معنی‌داری نسبت به تیمار تغذیه شده با جیره شاهد نشان داد ($p < 0.05$). با این حال این اختلاف نسبت به گروه‌های تغذیه شده با جیره‌های Mn-N15 و Mn-m معنی‌دار نبود. یافته‌های ناکس و همکاران^[12] نشان داد که افزودن ۳۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم منگنز بر جیره غذایی تأثیری بر غلظت هموگلوبین قزل‌آلای رنگین‌کمان ندارد. همچنین لورنتزن و همکاران^[19] مشخص نمودند که منگنز موجود در جیره غذایی تأثیری بر میزان هموگلوبین و همتوکریت ماهی آزاد اقیانوس اطلس نمی‌گذارد که با نتایج این تحقیق همخوانی ندارد. با این حال نتایج پژوهش محمدی و همکاران^[29] نشان دادند که افزودن ۱۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم نانوذره اکسید منگنز به جیره بچه‌ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان سبب افزایش معنی‌دار تعداد گلبول‌های قرمز، درصد همتوکریت و غلظت هموگلوبین خون می‌شود. وجود تفاوت در نتایج این پژوهش با پژوهش‌های دیگر را شاید بتوان به ساختار فیزیکی جدید منگنز به شکل نانو نسبت داد. بسیاری از تحقیقات بیانگر بروز ویژگی‌های جدید ترکیبات نانو تحت تأثیر تغییراتی همچون افزایش نسبت سطح به حجم و در نتیجه قابلیت تماس بیشتر ذرات نانو است^[21, 43, 44]. دلیل دیگر تفاوت‌های موجود را می‌توان در نوع ماده مصرفی دانست. سولفات منگنز معمول‌ترین شکل منگنز به عنوان مکمل معدنی در جیره غذایی ماهیان است^[19]. بین ترکیبات بیوشیمیایی خون اندازه‌گیری شده در این تحقیق فقط میزان آلومین در تیمارهای تغذیه شده با جیره‌های Mn-N15 و Mn-N10 نسبت به جیره‌های شاهد و Mn-M اختلاف معنی‌داری نشان داد. سایر ترکیبات بیوشیمیایی خون تغییرات آماری معنی‌داری نداشتند. تاکنون مطالعات زیادی در خصوص اثرات نانوذرات معدنی بر ترکیبات بیوشیمیایی خون انجام نشده است.

انجام مطالعات طولانی‌مدت در خصوص بررسی اثرات نانوذرات منگنز و همچنین سنجش سایر اثرات نانوذرات منگنز بر عملکرد سیستم ایمنی، وضعیت اکسیداسیون، هورمون‌ها و همچنین ترکیبات شیمیایی بدن می‌تواند در روشن کردن اثرات این ترکیب معدنی به شکل نانوذره کمک کند.

در انجام این پروژه تحقیقاتی، محدودیتی خاصی که مانع از انجام مطالعه شود مشاهده نشد.

نتیجه‌گیری

در مجموع نتایج مطالعه حاضر نشان داد افزودن مکمل نانوذرات سولفات منگنز تا میزان ۱۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم جیره در مقایسه با سولفات منگنز معمولی تأثیر معنی‌داری بر عملکرد رشد، شاخص‌های همتولوژی و ترکیبات بیوشیمیایی خون بچه‌ماهیان قزل‌آلای رنگین‌کمان ندارد.

تشکر و قدردانی: نویسندگان بر خود لازم می‌دانند از دانشگاه خلیج فارس به دلیل حمایت مالی و از شرکت دانش‌بنیان احرار شرق برای تامین نانوذرات سولفات منگنز مورد استفاده در این پژوهش تشکر و قدردانی نمایند.

تأییدیه اخلاقی: موردی توسط نویسندگان گزارش نشده است.

تعارض منافع: نویسندگان اعلام می‌دارند هیچ‌گونه تعارض منافی وجود ندارد.

سهم نویسندگان: ابراهیم ستوده (نویسنده اول)، روش‌شناس/پژوهشگر اصلی/تحلیلگر آماری/نگارنده بحث (۵۰٪)؛

[Persian]

- 30- Sotoudeh E, Amiri Moghaddam J, Shahhosseini GR, Aramli MS. Effect of dietary gamma-irradiated and fermented soybean meal on the growth performance, body composition, and digestive enzymes activity of Caspian brown trout, *Salmo trutta caspius*, juvenile. *J World Aquac Soc.* 2016;47(6):830-42.
- 31- Velišek J, Svobodová Z, Piačková V. Effects of clove oil anaesthesia on rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Acta Veterinaria Brno.* 2005;74:139-46.
- 32- Blaxhall PC, Daisley KW. Routine hematological methods for use with fish blood. *J Fish Biol.* 1973;5(6):771-81.
- 33- Shahbazi P, Maleknia N. General biochemistry. Tehran: University of Tehran Press; 1996. pp. 104-87. [Persian]
- 34- Nguyen VT, Satoh Sh, Haga Y, Fushimi H, Kotani T. Effect of zinc and manganese supplementation in *Artemia* on growth and vertebral deformity in red sea bream (*Pagrus major*) larvae. *Aquaculture.* 2008;285(1-4):184-92.
- 35- Tan XY, Xie P, Luo Z, Lin HZ, Zhao YH, Xi WQ. Dietary manganese requirement of juvenile yellow catfish *Pelteobagrus fulvidraco*, and effects on whole body mineral composition and hepatic intermediary metabolism. *Aquaculture.* 2012;326-329:68-73.
- 36- Izquierdo MS, Ghrab W, Roo J, Hamre K, Hernández-Cruz CM, Bernardini G, Terova G, et al. Organic, inorganic and nanoparticles of Se, Zn and Mn in early weaning diets for gilthead seabream (*Sparus aurata*; Linnaeus, 1758). *Aquac Res.* 2017;48(6):2852-67.
- 37- Acosta E. Bioavailability of nanoparticles in nutrient and nutraceutical delivery. *Curr Opin Colloid Interface Sci.* 2009;14(1):3-15.
- 38- Bouwmeester H, Dekkers S, Noordam MY, Hagens WI, Bulder AS, De Heer C, et al. Review of health safety aspects of nanotechnologies in food production. *Regul Toxicol Pharmacol.* 2009;53(1):52-62.
- 39- Liu K, Ai QH, Mai KS, Zhang WB, Zhang L, Zheng SX. Dietary manganese requirement for juvenile cobia, *Rachycentron canadum* L. *Aquac Nutr.* 2013;19(4):461-7.
- 40- Khajeh GH, Peyghan R. Evaluation of some blood serum biochemical parameters of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) cultured in earthen ponds. *J Vet Res.* 2007;62(3):197-203. [Persian]
- 41- Shahidi Yasaghi SA, Mazandarani M, Ghorbani Hasan Saraei A, Ghorbani R, Soleimani N. Determination of normal values of some blood serum factors (Electrolyte and non electrolyte) of *Acipenser persicus*. *J Fish.* 2008;2(1):25-32. [Persian]
- 42- Baruthio F, Guillard O, Arnaud J, Pierre F, Zawislak R. Determination of manganese in biological materials by electrothermal atomic absorption spectrometry: A review. *Clin Chem.* 1988;34(2):227-34.
- 43- Shaw BJ, Handy RD. Physiological effects of nanoparticles on fish: A comparison of nanometals versus metal ions. *Environ Int.* 2011;37(6):1083-97.
- 44- Rai M, Yadav A, Gade A. Silver nanoparticles as a new generation of antimicrobials. *Biotechnol Adv.* 2009;27(1):76-83.
- quality of Iranian kilka fish meal. *Int J Poult Sci.* 2007;6(5):354-61.
- 16- Batal AB, Dale NM, Saha UK. Mineral composition of corn and soybean meal. *J Appl Poult Res.* 2010;19(4):361-4.
- 17- Ye CX, Tian LX, Yang HJ, Liang JJ, Niu J, Liu YJ. Growth performance and tissue mineral content of juvenile grouper (*Epinephelus coioides*) fed diets supplemented with various levels of manganese. *Aquac Nutr.* 2009;15(6):608-14.
- 18- Pan L, Zhu X, Xie S, Lei W, Han D, Yang Y. Effects of dietary manganese on growth and tissue manganese concentrations of juvenile gibel carp, *Carassius auratus gibelio*. *Aquac Nutr.* 2008;14(5):459-63.
- 19- Lorentzen M, Maage A, Julshamn K. Manganese supplementation of a practical, fish meal based diet for Atlantic salmon parr. *Aquac Nutr.* 1996;2(2):121-5.
- 20- Sharma J, Langer S. Effect of manganese on haematological parameters on fish, *Garra gotyla gotyla*. *J Entomol Zool Stud.* 2014;2(3):77-81.
- 21- Rather MA, Sharma R, Aklakur M, Ahmad S, Kumar N, Khan M, et al. 2011. Nanotechnology: A novel tool for aquaculture and fisheries development, a prospective mini-review. *Fish Aquac J.* 2011;2011:FAJ-16.
- 22- Gref R, Minamitake Y, Peracchia MT, Trubetskoy V, Torchilin V, Langer R. Biodegradable long-circulating polymeric nanospheres. *Science.* 1994;263(5153):1600-3.
- 23- Wang Y, Yan X, Fu L. Effect of selenium nanoparticles with different sizes in primary cultured intestinal epithelial cells of crucian carp, *Carassius auratus gibelio*. *Int J Nanomedicine.* 2013;8:4007-13.
- 24- Behera T, Swain P, Rangacharulu PV, Samanta M. Nano-Fe as feed additive improves the hematological and immunological parameters of fish, *Labeo rohita* H. *Appl Nanosci.* 2014;4(6):687-94.
- 25- Zhou X, Wang Y, Gu Q, Li W. Effects of different dietary selenium sources (selenium nanoparticle and selenomethionine) on growth performance, muscle composition and glutathione peroxidase enzyme activity of crucian carp (*Carassius auratus gibelio*). *Aquaculture.* 2009;291(1-2):78-81.
- 26- Fenaroli F, Westmoreland D, Benjaminsen J, Kolstad T, Skjeldal FM, Meijer AH, et al. Nanoparticles as drug delivery system against tuberculosis in zebrafish embryos: Direct visualization and treatment. *ACS Nano.* 2014;8(7):7014-26.
- 27- Ashouri S, Keyvanshokoh S, Parviz Salati A, Johari SA, Pasha Zanoosi H. 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.* 2015;446:25-9.
- 28- Ghobadi Sh, Rajabi Eslami H, Hosseinfard SM, Palangi L. Survey on effects of different levels of nano iron on growth and nutrition performance in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *J Breed Aquac Sci.* 2014;1(1):67-82. [Persian]
- 29- Mohammadi Z, Rajabi Islami H. Effect of manganese oxide nanoparticle on growth performance and blood cells of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum 1792) fingerlings. *Iran Sci Fish J.* 2016;25(3):199-215.