Vol 28, No. 2, Summer 2026

University of Tehran Press

Journal of Animal Production

Online ISSN: 2382-994X

Homepage: https://jap.ut.ac.ir/

Effects of mineral, organic and Zinc nano-sources on performance, blood biochemical, and immune parameters and meat quality of Broiler chickens

Vahid Mohammadi[1]✉ | **Shokoofeh Ghazanfari**[2] | **Abdullah Mohammadi Sang Cheshme**[3]

1. Corresponding Author, National Institute of Animal Sciences Research Karaj, Iran. E-mail: mohammadi_v@ut.ac.ir
2. Department of Animal and Poultry Sciences, Faculty of Agricultural Technology(Aburaihan), University of Tehran, Tehran, Iran. E-mail: shghazanfari@ut.ac.ir
3. Department of Animal and Poultry Sciences, Faculty of Agricultural Technology(Aburaihan), University of Tehran, Tehran, Iran. E-mail: amohammadis@ut.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received 22 Deceber 2025
Received in revised form 9 May2026
Accepted 9 May 2026
Published online 30 June 2026

Keywords:
Broiler Chicken
Immune System
Lipid Oxidation
Performance
Zinc Nanoparticles

ABSTRACT

Objective: Trace elements, particularly zinc (Zn), play a pivotal role in the metabolic processes and growth of broiler chickens. Recent technological advancements have facilitated the synthesis of novel Zn complexes engineered for enhanced nutrient delivery. Consequently, this study was designed to evaluate the effects of various dietary Zn sources on growth performance, carcass characteristics, immunological parameters, and the lipid oxidative stability of broiler meat.

Method: A total of 200 one-day-old Ross 308 broiler chicks were randomly distributed into five experimental treatments, each with four replicates. The treatments consisted of a basal corn-soybean meal diet (Control) or the basal diet supplemented with 40 mg/kg of Zn-sulfate, Zn-methionine, Zn-nano sulfate, or Zn-nano methionine. Feed and water were provided for ad libitum consumption. Environmental temperature and relative humidity were strictly regulated within optimal ranges. Assessments included growth performance, carcass traits, hematological profiles, and thigh meat quality. The nano-complexes were engineered utilizing nano-chelate technology.

Results: At the end of the starter period, the lowest feed intake (FI) was observed in birds supplemented with Zn-nano sulfate ($P<0.05$). This reduced FI resulted in diminished growth during this phase, showing a significant difference compared to the other groups ($P<0.05$). Over the entire experimental period (days 1 to 42), a numerical trend toward increased body weight gain (BWG) was noted among treatments ($P=0.06$). The most favorable feed conversion ratio (FCR) was recorded in the Zn-nano methionine group, which differed significantly from the Control and Zn-nano sulfate groups ($P<0.05$). Carcass yield was significantly affected by the treatments ($P<0.05$), with the lowest yields observed in the Control and Zn-nano sulfate groups. Furthermore, the relative weight of the abdominal fat pad was significantly higher in the Control and Zn-nano sulfate groups compared to other treatments ($P<0.05$). Dietary Zn sources also significantly influenced serum lymphocyte percentages ($P < 0.05$); the most robust cell-mediated immune response was observed in birds fed Zn-nano methionine and Zn-methionine. Regarding oxidative stability, the extent of lipid oxidation in thigh meat from the Control group was significantly higher at 50, 100, and 150 minutes post-mortem compared to all other treatment groups ($P<0.05$).

Conclusion: In conclusion, supplementation of broiler diets with 40 mg/kg of nanoscale Zn sources, particularly Zn-nano methionine and Zn-nano sulfate, differentially influenced growth performance, selected immunological traits, and meat quality.

Cite this article: Mohammadi, V., Ghazanfari, Sh., & Mohammadi Sang Cheshme, A. (2026). Effects of mineral, organic and Zinc nano-sources on performance, blood biochemical, and immune parameters and meat quality of Broiler chickens. *Journal of Animal Production*, 28 (2), 247-258. DOI: https://doi.org/10.22059/jap.2026.408531.623893

© The Author(s).
Publisher: University of Tehran Press.
DOI: https://doi.org/10.22059/jap.2026.408531.623893

دوره بیست و هشتم، شماره دوم، تابستان ۱۴۰۵

انتشارات دانشگاه تهران

تولیدات دامی

شاپا الکترونیکی: ۹۹۴x-۲۳۸۲

Homepage: https://jap.ut.ac.ir/

اثرات منابع معدنی، آلی و نانوروی بر عملکرد، فراسنجه‌های بیوشیمیایی و ایمنی و کیفیت گوشت جوجه‌های گوشتی

وحید محمدی[۱]✉ | شکوفه غضنفری[۲] | عبداله محمدی سنگ‌چشمه[۳]

۱. نویسنده مسئول، مؤسسه تحقیقات علوم دامی کشور، کرج، ایران. رایانامه: mohammadi_v@ut.ac.ir
۲. گروه علوم دامی، دانشکده فناوری کشاورزی ابوریحان، دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: shghazanfari@ut.ac.ir
۳. گروه علوم دامی، دانشکده فناوری کشاورزی ابوریحان، دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: amohammadis@ut.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۰/۰۱
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۵/۰۲/۱۹
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۲/۱۹
تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۴/۰۹

کلیدواژه‌ها:
جوجه‌گوشتی
سیستم ایمنی
اکسیداسیون لیپید
عملکرد
نانوذرات روی

چکیده

هدف: ریزمغذی‌ها، به‌ویژه عنصر روی، نقش مهمی در متابولیسم طبیعی و رشد جوجه‌های گوشتی دارند. استفاده از فناوری‌های نوین به سنتز کمپلکس‌های جدید روی کمک می‌کند تا این ریزمغذی را به‌طور مؤثرتری به بدن برساند. این مطالعه با هدف ارزیابی اثرات منابع معدنی، آلی و نانو عنصر روی بر عملکرد، فراسنجه‌های بیوشیمیایی و ایمنی و کیفیت گوشت جوجه‌های گوشتی انجام شد.

روش پژوهش: به همین منظور ۲۰۰ قطعه جوجه یک روزه سویه راس ۳۰۸ به‌صورت تصادفی به پنج تیمار و هر تیمار دارای چهار تکرار تقسیم شدند. گروه‌های آزمایشی به‌ترتیب با جیره بر پایه ذرت و کنجاله سویا (شاهد بدون روی)، جیره پایه مکمل شده با سولفات‌روی، روی متیونین، نانوسولفات‌روی و نانوروی متیونین در سطح ۴۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خوراک تنظیم شد. پرندگان به‌صورت آزاد به آب و خوراک دسترسی داشتند. درجه حرارت و رطوبت نسبی در محدوده مناسب حفظ شد. فراسنجه‌های موردآزمون در این مطالعه، عملکرد تولیدی، خصوصیات لاشه، هماتولوژی خون و کیفیت گوشت ران بود. کمپلکس‌های نانوروی نیز بر اساس تکنولوژی نانوکیلات طراحی شدند.

یافته‌ها: نتایج این مطالعه نشان داد که در پایان دوره آغازین (۱۰ روزگی) کم‌ترین میزان مصرف خوراک در پرندگان تغذیه‌شده با مکمل نانو سولفات‌روی (۴۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) مشاهده شد ($P<۰/۰۵$). پایین بودن مصرف خوراک در این گروه، منجر به کاهش رشد پرندگان در این دوره نیز شد، به‌طوری‌که در مقایسه با سایر گروه‌ها تفاوت قابل‌توجهی داشت ($P<۰/۰۵$). یک تمایل به معنی‌داری در کل دوره (یک تا ۴۲ روزگی) در افزایش وزن بدن بین تیمارها مشاهده شد ($P=۰/۰۶$). پایین‌ترین ضریب تبدیل خوراک در پرندگان تغذیه‌شده با نانوروی متیونین مشاهده شد که به لحاظ آماری با گروه شاهد و نانو سولفات‌روی تفاوت داشت ($P<۰/۰۵$). بازده لاشه در پرندگان تغذیه‌شده با مکمل نانو سولفات‌روی و گروه شاهد کم‌تر از سایر تیمارها بود ($P<۰/۰۵$). وزن نسبی چربی محوطه شکمی در پرندگان گروه شاهد و تغذیه‌شده با مکمل نانو سولفات‌روی نسبت به سایر تیمارها بالاتر بود ($P<۰/۰۵$). درصد لنفوسیت‌های خون در پرندگان تغذیه‌شده با مکمل نانوروی متیونین و روی متیونین پایین‌تر بود ($P<۰/۰۵$). غلظت مالون‌دی‌آلدهید در گوشت ران پرندگان گروه شاهد در زمان‌های ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ دقیقه در مقایسه با بقیه پرندگان بالاتر بود ($P<۰/۰۵$).

نتیجه‌گیری: به‌طورکلی نتایج مطالعه حاضر نشان داد که گنجاندن ۴۰ میلی‌گرم از منابع روی متیونین (نانو یا آلی) در کیلوگرم خوراک، اثرات مثبتی بر عملکرد رشدی و برخی فراسنجه‌های ایمنی و کیفیت گوشت دارد.

استناد: محمدی، وحید؛ غضنفری، شکوفه و محمدی سنگ‌چشمه، عبداله (۱۴۰۵). اثرات منابع معدنی، آلی و نانوروی بر عملکرد، فراسنجه‌های بیوشیمیایی و ایمنی و کیفیت گوشت جوجه‌های گوشتی. *نشریه تولیدات دامی*، ۲۸ (۲)، ۲۴۷-۲۵۸. DOI: https://doi.org/10.22059/jap.2026.408531.623893

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان.

CC BY NC

۱. مقدمه

روی، پس از آهن دومین ماده معدنی کمیاب فراوان در بدن است (Xie *et al.*, 2022). این عنصر به‌دلیل عملکردها و فعالیت‌های بیولوژیکی در چندین فرایند فیزیولوژیکی، گوارشی و متابولیکی جوجه‌های گوشتی به‌عنوان یک ترکیب چندکاره در نظر گرفته می‌شود (Hatab *et al.*, 2022; Mohd Yusof *et al.*, 2022). علاوه‌براین، نقش‌های گسترده‌ای به‌عنوان کوفاکتور برای بسیاری از آنزیم‌های متابولیک، عملکردهای هورمونی (مثلاً هورمون رشد) و خواص آنتی‌اکسیدانی برای از بین‌بردن رادیکال‌های آزاد بر عهده دارد (O'Connor *et al.*, 2020; Ogbuewu *et al.*, 2023).

روی نقش حیاتی در عملکرد آنزیم‌های گوارشی و حفظ یکپارچگی روده دارد که می‌تواند منجر به عملکرد رشدی جوجه‌های گوشتی شود (Ogbuewu *et al.*, 2023). روی برای عملکرد بیولوژیکی بیش از ۳۰۰ آنزیم مورد نیاز است. به‌طور اختصاصی، روی در کاتالیز آنزیم‌ها، فرایندهای سلولی از جمله سنتز DNA، رشد طبیعی، توسعه مغز، پاسخ رفتاری، تولید مثل، توسعه جنینی، پایداری غشا، تشکیل استخوان، به‌طورمستقیم درگیر است (Navidshad *et al.*, 2019). مطالعات نشان داده است که روی، نقش حیاتی در رشد، توسعه، استحکام و بازسازی استخوان دارد (O'Connor *et al.*, 2020). هورمون‌های تنظیم‌کننده کلسیم و فسفر به‌وسیله عنصر روی تقویت شده که این امر باعث افزایش کلسیم و فسفات استخوان درشت‌نی می‌شود (Mohd Yusof *et al.*, 2022). درحالی‌که، احتیاجات جوجه‌های گوشتی به روی فقط ۴۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خوراک توصیه شده است (NRC, 1994). تولیدکنندگان خوراک طیور تجاری، ۱۰۰ تا ۱۲۰ میلی‌گرم روی اضافی به جیره غذایی اضافه می‌کنند تا رشد سریع جوجه‌ها را افزایش دهند (Feng *et al.*, 2010). این روی اضافی منجر به افزایش هزینه‌های تولید خوراک و افزایش دفع روی از طریق فضولات می‌شود که در نتیجه آلودگی محیط‌زیست را به همراه دارد. این امر ویتامین‌ها را نیز کاهش داده و تعادل بین ریزمغذی‌های مختلف را بر هم می‌زند (Leeson & Caston, 2008; Abd-Elsamee *et al.*, 2012). با این‌حال، مشکلات مذکور را می‌توان با افزایش زیست‌فراهمی روی حل کرد (Feng *et al.*, 2010).

روی در مقیاس نانو، زیست‌فراهمی بالایی دارد (Sagar *et al.*, 2018). نانوروی تأثیر مثبتی بر هضم و سلامت پرندگان داشته است. بنابراین، به‌تازگی به‌عنوان یک افزودنی خوراک مورد استفاده قرار گرفته است، زیرا خواص ضد باکتریایی آن سیستم ایمنی را تقویت می‌کند (Sagar *et al.*, 2018; Akhavan-Salamat & Ghasemi, 2019). مطالعات پژوهشی متعددی نشان داده‌اند که مکمل نانوذرات روی باعث بهبود افزایش وزن بدن، ضریب تبدیل خوراک و کیفیت گوشت می‌شود (Abd El-Hack *et al.*, 2021; Abd El-Hack *et al.*, 2024; Ahmadi *et al.*, 2013; Mohammadi *et al.*, 2015; Zhao *et al.*, 2014). Mohammadi و همکاران (۲۰۱۵) نشان دادند که گنجاندن سطح ۸۰ میلی‌گرم منابع آلی نانوروی در کیلوگرم جیره تأثیر مثبتی بر عملکرد رشدی، سیستم ایمنی و ابقای روی در استخوان درشت‌نی جوجه‌های گوشتی دارد. با این‌حال، نانوسولفات‌روی در سطح ۸۰ میلی‌گرم در کیلوگرم جیره اثرات متناقضی داشت (Mohammadi *et al.*, 2015). آیا می‌توان با استفاده از سطوح پایین نانوروی (آلی یا معدنی) در جیره جوجه‌های گوشتی به اهداف خود (بهبود عملکرد رشدی، کاهش هزینه خوراک و کاهش آسیب‌های زیست‌محیطی) دست یافت. پرسشی است که ضرورت بررسی و آگاهی در این زمینه را برجسته می‌کند. لذا، مطالعه حاضر با هدف بررسی اثرات منابع معدنی، آلی و نانوروی بر عملکرد، فراسنجه‌های بیوشیمیایی و ایمنی و کیفیت گوشت جوجه‌های گوشتی صورت پذیرفت.

۲. روش‌شناسی پژوهش

۲. ۱. سنتز نانوروی

کمپلکس نانوروی (بونزا، شرکت صدور احرار شرق، تهران، ایران) با استفاده از تکنولوژی نانوکیلات و با حق ثبت US8288587 B2 در ایالات متحده آمریکا طراحی و سنتز شد (Mohammadi *et al.*, 2015). پودر نانو کمپلکس روی با واکنش محلول‌های

آبی ۰/۵ مول اسید آلی و ۰/۲ مول نمک روی به شکل رسوب سفید سنتز شد. رسوب سفید سپس به‌مدت هشت ساعت در فشار ۰/۵ اتمسفر هم زده و فیلتر شد. سپس با آب دویونیزه (DI) شست‌وشوی صورت گرفت. رسوب ایجادشده سرانجام دو بار با اتانول ۷۰ درصد شسته و در دمای اتاق کریستالی شد. کریستال‌ها به‌مدت شش ساعت در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد خشک شدند. کریستال‌های خشک‌شده برای تولید ماده آبکی با نسبت وزنی پودر به محلول هیدروکسید آمونیوم (NH_4OH) (نسبت یک به ۱۰) در محلول (NH_4OH) ناپدید شدند. pH اولیه ماده آبکی مقداری متفاوت بود به همین دلیل HCL یک نرمال به محلول اضافه شد و pH به هفت تعدیل شد. پس از تیمار اسید، پودر با آب دیونیزه (DI) شسته و در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد خشک شد. پودر به‌دست‌آمده کمپلکس نانوروی است (Mohammadi *et al.*, 2015).

۲. ۲. میکروسکوپ الکترونی با وضوح بالا

تصویر کمپلکس نانوروی با میکروسکوپ الکترونی با وضوح بالا در پارک علم و فناوری دانشگاه تهران گرفته شد (شکل ۱).

۲. ۳. پرندگان و تیمارها

این مطالعه در مزرعه تحقیقاتی طیور دانشکدگان ابوریحان، دانشگاه تهران انجام شد. به همین‌منظور، ۲۰۰ قطعه جوجه گوشتی یک‌روزه (راس ۳۰۸) به پنج تیمار با چهار تکرار (پنج قطعه مرغ و پنج قطعه خروس)، به‌صورت تصادفی اختصاص داده شد. تیمارها شامل گروه شاهد تغذیه‌شده با جیره پایه (بدون روی)، چهار گروه دیگر با جیره شاهد مکمل‌شده با منابع مختلف روی (سولفات‌روی، روی متیونین، نانو سولفات‌روی و نانوروی متیونین) در سطح ۴۰ میلی‌گرم در کیلوگرم جیره، تغذیه شدند. تیمارها در طول دوره آزمایشگاهی (یک تا ۴۲ روزگی) اعمال شدند. جیره پایه برای برآورده‌شدن احتیاجات مواد مغذی جوجه‌های گوشتی طبق کاتالوگ سویه راس ۳۰۸ فرموله شد (جدول ۱). خوراک و پرندگان به‌صورت آزاد به آب و خوراک دسترسی داشتند. درجه حرارت (۲۴–۲۱ درجه سانتی‌گراد) و رطوبت نسبی (۳۰–۶۰ درصد) در محدوده مناسب حفظ شد.

جدول ۱. مواد خوراکی و ترکیب شیمیایی جیره پایه در دوره‌های مختلف پرورش جوجه‌های گوشتی

مواد خوراکی (درصد)	آغازین (صفر تا ۱۰ روزگی)	رشد (۱۱ تا ۲۴ روزگی)	پایانی (۲۵ تا ۴۲ روزگی)
دانه ذرت	۵۸/۷۷	۵۹/۹۵	۶۵/۳۳
کنجاله سویا (۴۴ درصد)	۳۶/۵۲	۳۳/۶۴	۲۸/۳۱
روغن سویا	۱/۴۴	۲/۹۶	۲/۸۱
دی کلسیم فسفات	۱/۷۴	۱/۵	۱/۵۶
کلسیم کربنات	۱/۳۴	۱/۱۱	۱/۱۵
نمک	۰/۲	۰/۲	۰/۲
[1]مکمل ویتامین	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۲۵
[2]مکمل مواد معدنی	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۲۵
D-L متیونین	۰/۲۴	۰/۱۶	۰/۱۴
L لایزین	۰/۱۵	–	–
کل	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
ترکیبات شیمیایی محاسبه‌شده (درصد در غیر این‌صورت گزارش شده است)			
انرژی متابولیسمی (کیلوکالری در کیلوگرم)	۲۹۷۵	۳۰۵۰	۳۱۰۰
پروتئین خام	۲۳/۰۰	۲۱/۵۰	۱۹/۵۰
کلسیم	۰/۹۵	۰/۷۵	۰/۶۵
فسفر در دسترس	۰/۵۰	۰/۴۲	۰/۳۶
لایزین	۱/۳۲	۱/۱۸	۱/۰۸
متیونین	۰/۷۱	۰/۶۴	۰/۶۰
متیونین + سیستین	۱/۰۰	۰/۹۲	۰/۸۶
ترئونین	۰/۸۸	۰/۷۹	۰/۷۲

مقدار ویتامین‌ها و مواد معدنی در هر کیلوگرم جیره: ویتامین A، ۹۰۰۰ واحد بین‌المللی؛ ویتامین D3، ۲۰۰۰ واحدبین‌المللی؛ ویتامین E، ۱۸ واحدبین‌المللی؛ ویتامینK3، ۲ میلی‌گرم؛ ریبوفلاوین، ۶/۶ میلی‌گرم؛ پانتوتنیک‌اسید، ۱۰ میلی‌گرم؛ پیریدوکسین، سه میلی‌گرم؛ فولیک‌اسید، یک میلی‌گرم؛ تیامین، ۱/۸ میلی‌گرم؛ B12، ۱۵ میکروگرم؛ بیوتین، ۰/۱ میلی‌گرم؛ نیاسین، ۳۰ میلی‌گرم؛ کولین، ۵۰۰ میلی‌گرم؛ سلنیوم، ۰/۲ میلی‌گرم؛ ید، ۱ میلی‌گرم؛ مس، ۱۰ میلی‌گرم؛ آهن، ۵۰ میلی‌گرم؛ روی، ۸۵ میلی‌گرم؛ منگنز، ۱۰۰ میلی‌گرم.

محتوای روی اندازه‌گیری‌شده (میلی‌گرم در کیلوگرم) در مکمل‌های روی در جدول (۲) نشان داده شده است.

جدول ۲. مقادیر روی (درصد) در مکمل‌های روی

مکمل‌های روی	مقادیر روی (درصد)
سولفات- روی	۲۱
روی- متیونین	۱۵
نانو- سولفات- روی	۱۳
نانو- روی- متیونین	۷

۲. ۴. ارزیابی عملکرد رشد

برای ارزیابی عملکرد رشد پرندگان، افزایش وزن و مصرف خوراک پرندگان به‌صورت دوره‌ای اندازه‌گیری و ضریب تبدیل خوراک محاسبه شد. در پایان آزمایش (۴۲ روزگی)، دو پرنده نر در هر قفس (تکرار) کشتار شد و لاشه، ران، سینه، چربی محوطه شکمی، قلب، کبد، روده پانکراس، سنگدان و بورس فابریسیوس توزین شدند.

۲. ۵. صفات خون شناسی

در سن ۳۵ روزگی، دو پرنده از هر تکرار انتخاب و نمونه‌های خون از سیاهرگ زیر بال گرفته شد. نمونه‌ها به‌مدت ۱۵ دقیقه با سرعت ۲۰۰۰ rpm سانتریفیوژ شدند و سرم آن‌ها در دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد منجمد شده و تا زمان ارسال به آزمایشگاه در فریزر نگهداری شدند. تیتر آنتی‌بادی در مقابل بیماری نیوکاسل با استفاده از تست مهار هماگلوتینه‌شدن) انجام شد. در سن ۴۲ روزگی، دو پرنده از هر تکرار انتخاب و نمونه‌ها خون جهت ارزیابی آزمایش‌های هماتولوژیکالی جمع‌آوری شد. شمارش گلبول‌های سفید خون به‌وسیله هماتوسایتومتری با استفاده از محلول Natt-Herrick تعیین شد. اسلایدهای هتروفیل، لنفوسیت و مونوسیت با روش Giemsa مهیا و رنگ‌آمیزی شد (Toghyani *et al.*, 2010). هم‌چنین، نمونه‌های گرفته‌شده از لحاظ تری‌گلیسرید، کلسترول، لیپوپروتئین با چگالی بالا، لیپوپروتئین با چگالی پایین و آلکالین فسفاتاز با استفاده از کیت تجاری سفارش داده از شرکت آزمون پارس، تهران، آنالیز شدند. برای اندازه‌گیری روی در پلاسما، چهار میلی‌لیتر از نمونه پلاسما در یک میکروتیوب با افزودن ۱۰ میلی‌لیتر از نیتریک اسید شسته و گرم شد. سپس محلول سرد و در ۲۵ میلی‌لیتر فلاسک فیلتر و با آب دیونیزه به ۲۵ میلی‌لیتر رقیق گردید و برای تعیین محتوای روی مخلوط شد.

۲. ۶. پایداری اکسیداتیو گوشت ران

در سن ۴۲ روزگی، دو پرنده از هر تکرار انتخاب و کشتار شدند و نمونه‌های گوشت ران هر لاشه جمع‌آوری شد. نمونه‌ها تا زمان انجام آزمایش در دمای ۴۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. اکسیداسیون چربی در نمونه‌های گوشت ران با شاخص تیوباربیوتوریک‌اسید بر مبنای میلی‌گرم مالون‌دی‌آلدهید اندازه‌گیری شد (Shokri *et al.*, 2021). به‌طور خلاصه، در ابتدا محلول ۵ درصد تری‌کلریدریک‌اسید، محلول ۰/۸ درصد هیدروکسی تولوئن بوتیله‌شده در هگزان، محلول ۰/۸ درصد تیوباربیتوریک‌اسید تهیه شد. برای ایجاد اکسیداسیون در نمونه‌های گوشت از محلول ۱/۱۳۸ میلی‌مول سولفات‌آهن و ۰/۳۶۸ میلی‌مول آسکوربیک‌اسید استفاده شد، به گونه‌ای که مقدار یک گرم نمونه به‌خوبی نرم و یکنواخت شد. مقدار ۱/۵ میلی‌لیتر محلول سولفات‌آهن و آسکوربیک‌اسید به نمونه افزوده و در زمان‌های ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ دقیقه در انکوباتور با دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. یک نمونه هم بدون در معرض قرارگرفتن اکسیداسیون با محلول سولفات‌آهن و آسکوربیک‌اسید (زمان صفر) به‌عنوان شاهد در نظر گرفته شد. بعد از طی مدت انکوباسیون نمونه‌ها تحت آزمایش مالون‌دی‌آلدهید قرار گرفته‌اند.

به‌طوری‌که ۴ میلی‌لیتر محلول تری‌کلریدریک‌اسید و ۲/۵ میلی‌لیتر محلول هیدروکسی تولوئن بوتیله‌شده بر روی نمونه‌ها ریخته شد. به‌مدت ۳۰ ثانیه با دور بالا ورتکس و همین مدت در بن ماری اولتراسوند قرار داده شدند. به‌مدت سه دقیقه در ۳۰۰۰g سانتریفیوژ شدند. سپس لایه هگزان فوقانی دور ریخته شد و فاز آبی با کاغذ واتمن نمره یک صاف شد. فاز آبی با محلول تری‌کلریدریک‌اسید به حجم پنج میلی‌لیتر رسانده شد. مقدار سه میلی‌لیتر محلول تیوباربیتوریک اسید به نمونه‌ها افزوده و به‌مدت ۳۰ دقیقه در بن‌ماری با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. سپس به سرعت نمونه‌ها در آب یخ خنک شدند. سپس به سرعت نمونه‌ها در آب یخ خنک شدند. غلظت مالون‌دی‌آلدهید محلول‌های حاصل توسط دستگاه اسپکترومتر در طول موج ۵۲۱/۵ نانومتر قرائت شدند (Shokri *et al.*, 2021).

۲. ۷. تجزیه و تحلیل آماری

داده‌های حاصل با استفاده از رویه GLM نرم‌افزار آماری SAS (نسخه ۹/۱) برای مدل (۱) تجزیه و میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند توکی در سطح معنی‌داری پنج درصد مقایسه شدند (SAS, 2003).

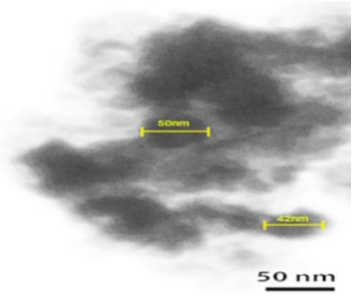
رابطه ۱) $X_{ij} = \mu + T_j + e_{ij}$

که در این رابطه، X_{ij}، مقدار مشاهده شده؛ μ، میانگین جمعیت؛ T_j، اثر تیمار و e_{ij}، خطای آزمایشی است.

۳. یافته‌های پژوهش

۳. ۱. اندازه کمپلکس نانوروی

مشخصات تصویری و تجزیه و تحلیلی نانو ذرات برای تعیین اندازه آن‌ها به‌وسیله HRTEM انجام شد. تصویر نانوکمپلکس روی نشان داد که اندازه نانو کمپلکس کم‌تر از ۵۰ نانومتر است (شکل ۱).



شکل ۱. تصویری از کمپلکس نانوروی (اندازه کمپلکس نانو کم‌تر از ۵۰ نانومتر)

۳. ۲. تأثیر منابع مختلف روی بر عملکرد رشد

در جدول (۳) عملکرد رشدی جوجه‌های گوشتی گزارش شده است. در دوره آغازین (یک تا روزگی) افزایش وزن بدن و مصرف خوراک پرندگانی که جیره حاوی نانو سولفات‌روی (۴۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) دریافت کردند کم‌تر از سایر تیمارها بود ($P<۰/۰۵$). در دوره رشد و پایانی، افزایش وزن روزانه و مصرف خوراک تحت تأثیر تیمارها قرار نگرفت. در کل دوره پرورش (یک تا ۴۲ روزگی) پرندگان تغذیه‌شده با نانوروی متیونین بیش‌ترین افزایش وزن را نشان دادند ($P =۰/۰۶$). در کل دوره آزمایش، ضریب تبدیل پرندگانی که جیره حاوی نانوروی متیونین دریافت کردند کم‌تر از پرندگان شاهد و یا تغذیه‌شده با جیره حاوی نانوسولفات‌روی بود ($P<۰/۰۵$).

جدول ۳. تأثیر منابع روی در جیره بر عملکرد رشد جوجه‌های گوشتی[۱]

تیمار / صفات	مصرف خوراک (گرم/پرنده/روز)			افزایش وزن (گرم/پرنده/روز)			ضریب تبدیل خوراک (مصرف خوراک/افزایش وزن)		
	۱ تا ۱۰ روزگی	۱۱ تا ۲۴ روزگی	۲۵ تا ۴۲ روزگی	۱ تا ۱۰ روزگی	۱۱ تا ۲۴ روزگی	۲۵ تا ۴۲ روزگی	۱ تا ۱۰ روزگی	۱۱ تا ۲۴ روزگی	۲۵ تا ۴۲ روزگی	۱ تا ۴۲ روزگی
بدون روی	۲۵/۴ a	۹۲/۸	۱۵۸/۰	۱۷/۵ a	۵۲/۳ ab	۶۹/۳	۹۳/۰	۱/۴۵	۲/۲۷	۱/۹۰ a
سولفات‌روی	۲۵/۴ a	۹۳/۴	۱۶۶/۹	۱۷/۹ a	۵۳/۱ a	۷۴/۰	۹۴/۵	۱/۴۲	۲/۲۵	۱/۸۶ ab
روی متیونین	۲۵/۶ a	۹۳/۷	۱۶۹/۴	۱۸/۲ a	۵۳/۶ a	۷۵/۹	۹۴/۳	۱/۴۰	۲/۲۳	۱/۸۵ ab
نانو سولفات‌روی	۲۳/۹ b	۸۸/۹	۱۶۵/۲	۱۶/۵ b	۴۸/۷ b	۷۲/۱	۹۲/۵	۱/۴۵	۲/۲۹	۱/۹۰ a
نانوروی متیونین	۲۵/۹ a	۹۴/۳	۱۷۰/۱	۱۸/۸ a	۵۴/۳ a	۷۷/۶	۹۴/۶	۱/۳۸	۲/۱۹	۱/۷۹ b
میانگین خطای استاندارد	۰/۸۵	۲/۷۸	۳/۰۷	۰/۶۵	۲/۶	۲/۴۵	۱/۰۶	۰/۰۴	۰/۰۸	۰/۰۵
مقدار P	۰/۰۴	۰/۰۸	۰/۱۵	۰/۰۲	۰/۰۵	۰/۱۰	۰/۰۹	۰/۷۶	۰/۰۸	۰/۰۴

a-c: تفاوت میانگین ها در هر ستون با حروف نامشابه معنی‌دار است ($P<۰/۰۵$).

۱. مقدار روی تأمین شده از منابع مورد مطالعه برابر ۴۰ میلی‌گرم در کیلوگرم جیره می‌باشد.

۳. ۳. تأثیر منابع مختلف روی بر خصوصیات لاشه

نتایج تأثیر منابع مختلف روی بر خصوصیات لاشه در جدول (۴) گزارش شده است. بازده لاشه به‌طور قابل‌توجهی تحت تأثیر تیمارهای آزمایشی قرار گرفت ($P<۰/۰۵$)، به‌طوری‌که کم‌ترین بازده لاشه در پرندگان تغذیه‌شده با مکمل نانوسولفات‌روی و گروه شاهد مشاهده شد. علاوه بر این، یافته‌ها نشان داد که وزن نسبی چربی محوطه شکمی در پرندگان گروه شاهد و تغذیه‌شده با مکمل نانو سولفات‌روی نسبت به سایر تیمارها به‌طور معنی‌داری بالاتر بود ($P<۰/۰۵$).

جدول ٤. تأثیر منابع روی جیره‌ای بر خصوصیات لاشه (درصد وزن زنده بدن) در جوجه‌های گوشتی

تیمار/صفات	بازده لاشه (درصد)	سینه (درصد)	ران (درصد)	چربی شکمی (درصد)	کبد (درصد)	قلب (درصد)	روده (درصد)	دستگاه گوارش (درصد)	پانکراس (درصد)	سنگدان (درصد)	بورس (درصد)
بدون روی	۷۳/۵ b	۲۴/۳	۱۴/۴	۲/۲۰ a	۲/۷	۰/۸	۸/۹	۱۲/۹	۰/۲۳	۲/۲۷	۰/۰۶
سولفات‌روی	۷۷/۹ a	۲۵/۲	۱۴/۹	۱/۸۵ b	۲/۷	۰/۷	۸/۷	۱۲/۴	۰/۲۲	۲/۴۲	۰/۰۷
روی متیونین	۷۸/۸ a	۲۵/۵	۱۴/۸	۱/۸۲ b	۲/۸	۰/۷	۸/۴	۱۲/۶	۰/۲۴	۲/۴۵	۰/۰۸
نانو سولفات‌روی	۷۳/۶ b	۲۴/۷	۱۴/۶	۲/۱۵ a	۲/۸	۰/۸	۸/۰	۱۲/۸	۰/۲۲	۲/۳۹	۰/۰۶
نانوروی متیونین	۷۹/۵ a	۲۵/۶	۱۵/۲	۱/۸۰ b	۲/۶	۰/۷	۸/۶	۱۲/۲	۰/۲۳	۲/۳۵	۰/۰۸
میانگین خطای استاندارد	۱/۷۶	۱/۱	۰/۳۹	۰/۱۵	۰/۱۲	۰/۰۳	۰/۸۵	۰/۵۳	۰/۰۲۵	۰/۲۲	۰/۰۲
مقدار P	۰/۰۴	۰/۰۸	۰/۳۵	۰/۰۵	۰/۰۸	۰/۰۹	۰/۱۳	۰/۵۲	۰/۶۳	۰/۷۵	۰/۰۶

a-c: حروف غیر یکسان در هر ستون نشان‌دهنده تفاوت آماری معنی‌دار در سطح $P<۰/۰۵$ است.

مقدار روی تأمین‌شده از منابع مورد مطالعه برابر ۴۰ میلی‌گرم در کیلوگرم جیره می‌باشد.

۳. ۴. تأثیر منابع مختلف روی بر فراسنجه‌های هماتولوژی

تأثیر منابع مختلف روی بر فراسنجه‌های هماتولوژی در جدول (۵) نشان داده شده است. نتایج نشان داد که منابع مختلف روی جیره‌ای تأثیر معنی‌داری بر درصد لنفوسیت‌های خون داشت ($P<۰/۰۵$). به‌طوری‌که، پایین‌ترین پاسخ به تولید ایمنی سلولی در پرندگان گروه شاهد دیده شد. سایر فراسنجه‌های هماتولوژی موردارزیابی در این آزمایش تحت تأثیر تیمارها قرار نگرفت.

جدول ۵. تأثیر منابع روی جیره‌ای بر فراسنجه‌های هماتولوژی در جوجه‌های گوشتی

تیمار/صفات	تری گلیسرید (میلی‌گرم در دسی‌لیتر)	کلسترول (میلی‌گرم در دسی‌لیتر)	LDL (میلی‌گرم در دسی‌لیتر)	HDL (میلی‌گرم در دسی‌لیتر)	WBC (دسی‌لیتر/10^9×)	لنفوسیت (درصد)	مونوسیت (درصد)	هتروفیل (درصد)	تیتر بر علیه نیوکاسل (درصد)	روی خون (میلی‌گرم در دسی‌لیتر)	آنکالین فسفاتاز (میلی‌گرم در دسی‌لیتر)
بدون روی	۴۸	۱۳۵	۴۱	۷۰	۲۸/۲	۶۹/۵ b	۲/۰	۲۸/۷	۲/۳	۱۸۸/۲	۴۳۳۵
سولفات‌روی	۴۵	۱۳۳	۴۰	۷۱	۲۹/۸	۷۲/۵ ab	۲/۵	۲۷/۳	۳/۳	۲۰۲/۸	۴۵۹۰
روی متیونین	۴۳	۱۲۹	۳۹	۷۳	۳۱/۵	۷۴/۷ a	۲/۰	۲۹/۰	۳/۶	۲۰۴/۹	۶۱۲۵
نانو سولفات‌روی	۴۷	۱۳۲	۴۰	۷۱	۲۹/۷	۷۱/۳ ab	۱/۸	۲۹/۸	۳/۵	۱۹۵/۰	۴۴۹۰
نانوروی متیونین	۴۲	۱۳۰	۳۸	۷۴	۳۲/۳	۷۵/۰ a	۲/۵	۲۹/۸	۳/۹	۲۰۶/۴	۷۴۳۳
میانگین خطای استاندارد	۴/۹	۶/۵	۴/۶	۳/۹	۰/۸۴	۱/۱۷	۰/۵۷	۱/۱۵	۱/۳	۱۳/۳	۵۰۰
مقدار P	۰/۰۹	۰/۰۷	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۰۰۱	۰/۱۳	۰/۰۹	۰/۲۱	۰/۰۹	۰/۰۶	۰/۰۸

a-c: حروف غیر یکسان در هر ستون نشان‌دهنده تفاوت آماری معنی‌دار در سطح P<۰/۰۵ است.

LDL= لیپوپروتئین با چگالی پایین. HDL= لیپوپروتئین با چگالی بالا. WBC= تعداد گلبول‌های سفید خون. مقدار روی تأمین شده از منابع مورد مطالعه برابر ۴۰ میلی‌گرم در کیلوگرم جیره می‌باشد.

۳. ۵. تأثیر منابع مختلف روی بر اکسیداسیون لیپید گوشت ران

تأثیر مکمل‌های روی جیره‌ای بر اکسیداسیون لیپید بافت ران جوجه‌های گوشتی در جدول (۶) آورده شده است. نتایج نشان داد که غلظت مالون‌دی‌آلدهید در زمان ۵۰ اکسیداسیون گوشت ران در پرندگان تغذیه‌شده با سولفات‌روی، روی متیونین و نانوروی متیونین پایین‌تر از پرندگان شاهد بود (P<۰/۰۵). علاوه براین، اکسیداسیون در زمان ۱۰۰ دقیقه در تیمار شاهد نسبت به تیمارهای روی متیونین و نانوروی متیونین بالاتر بود (P<۰/۰۵). هم‌چنین در ۱۵۰ دقیقه ذخیره‌سازی پرندگان گروه شاهد نسبت به سایر تیمارها بیش‌ترین غلظت مالون‌دی‌آلدئید را در گوشت ران نشان دادند (P<۰/۰۵). با این‌حال، در زمان صفر تیمارهای آزمایشی تأثیر معنی‌داری بر میزان اکسیداسیون گوشت ران نداشت (P=۰/۰۶).

جدول ٦. تأثیر منابع روی بر اکسیداسیون لیپید گوشت ران (غلظت مالون دی‌آلدهید (میلی‌گرم بر کیلوگرم)) جوجه‌های گوشتی

تیمار/صفات	زمان صفر (دقیقه)	زمان ۵۰ (دقیقه)	زمان ۱۰۰ (دقیقه)	زمان ۱۵۰ (دقیقه)
بدون روی	۰/۲۷۰	۰/۴۱۵ a	۰/۶۱۲ a	۰/۸۲۰ a
سولفات‌روی	۰/۲۴۳	۰/۳۵۴ b	۰/۵۴۲ ab	۰/۷۳۵ b
روی متیونین	۰/۲۳۱	۰/۳۳۱ b	۰/۵۲۶ b	۰/۷۲۱ b
نانو سولفات‌روی	۰/۲۴۷	۰/۳۶۵ ab	۰/۵۵۰ ab	۰/۷۲۰ b
نانوروی متیونین	۰/۲۲۸	۰/۳۴۴ b	۰/۵۱۴ b	۰/۷۰۹ b
میانگین خطای استاندارد	۰/۰۰۴	۰/۰۱۲	۰/۰۰۹	۰/۰۱۷
مقدار P	۰/۰۶	۰/۰۴	۰/۰۰۵	۰/۰۰۱

a-c: حروف غیر یکسان در هر ستون نشان‌دهنده تفاوت آماری معنی‌دار در سطح P<۰/۰۵ است.

مقدار روی تأمین‌شده از منابع موردمطالعه برابر ۴۰ میلی‌گرم در کیلوگرم جیره می‌باشد.

۴. بحث

این مطالعه با هدف ارزیابی اثرات منابع معدنی، آلی و نانوروی بر عملکرد، فراسنجه‌های بیوشیمیایی و ایمنی و کیفیت گوشت جوجه‌های گوشتی صورت پذیرفت. نتایج نشان داد که نانوروی متیونین در سطح ۴۰ میلی‌گرم در کیلوگرم جیره عملکرد رشدی و بازده خوراک جوجه‌های گوشتی را در مقایسه با تیمارهای شاهد و نانوسولفات‌روی بهبود بخشید. روی در مقیاس نانو اثرات متناقضی بر جوجه‌های گوشتی دارد (Fatholahi *et al.*, 2021; Abd El-Hack *et al.*, 2024; Mohd Yusof *et al.*, 2022).

پژوهش‌گران این مطالعه پیش‌تر نشان دادند که سطح بالای سولفات‌روی در مقیاس نانو (۸۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خوراک) باعث سرکوب مصرف خوراک و عملکرد رشدی جوجه‌های گوشتی می‌شود (Mohammadi *et al*., 2015). در این پژوهش کاهش مصرف خوراک و عملکرد رشدی پایین پرندگان تغذیه‌شده با نانو سولفات‌روی، ممکن است به‌علت آزادشدن باندهای سولفات و روی در فرایند نانو باشد که سولفات آزادشده با تغلیظ در جیره مصرف خوراک و متعاقباً عملکرد رشدی را در پرنده سرکوب نماید. در توافق با نتایج این مطالعه، Abd El-Hack و همکاران (۲۰۲۴) نشان دادند که مکمل‌سازی روی آلی در مقیاس نانو به میزان ۰/۴ میلی‌گرم در کیلوگرم عملکرد رشدی پرندگان را بهبود بخشید (Abd El-Hack *et al*., 2024). در مطالعات دیگر، مشخص شد که روی جیره‌ای کارایی خوراک را در جوجه‌های گوشتی افزایش می‌دهد (Akhavan-Salamat & Ghasemi, 2019; Huang *et al*., 2007).

نتایج مطالعه حاضر نشان داد که پرندگان تغذیه‌شده با مکمل نانوروی متیونین، روی متیونین و سولفات‌روی نسبت به گروه شاهد و نانوسولفات‌روی بازده لاشه بالاتری داشتند. دلیل این امر ممکن است به‌خاطر زیست‌فراهمی بالاتر روی به‌صورت آلی و نانو در این فرم باشد، ذرات نانومقیاس احتمالاً سطح و حلالیت روی را در روده بهبود بخشیده و متعاقباً جذب و استفاده آن‌ها را افزایش می‌دهند (de Almeida *et al*., 2021; Abdelnour *et al*., 2021). در توافق با نتایج این مطالعه Liu و همکاران (۲۰۱۱) نشان دادند که سطح روی جیره‌ای می‌تواند بازده لاشه را افزایش دهد و بر وزن نسبی چربی شکمی تأثیر بگذارد (Liu *et al*., 2011). در مطالعه حاضر، نتایج نشان داد که پرندگانی که هیچ منبعی از روی دریافت نکردند حداکثر وزن نسبی چربی شکمی را دارا بودند. در همین‌راستا، جوجه‌های گوشتی این گروه در مقایسه با سایر تیمارها یک تفاوت عددی در لیپیدهای سرم را نشان دادند.

روی در متابولیسم مواد مغذی از جمله لیپیدها نقش دارد، احتمالاً تفاوت وزن نسبی چربی محوطه شکمی ناشی از کاهش لیپیدهای سرم در پرندگان تغذیه‌شده با منابع مختلف روی باشد (Liu *et al*., 2011). Feng و همکاران (۲۰۱۰) بهبود شاخص اندام‌های ایمنی (تیموس و طحال) و غلظت ایمونوگلوبولین‌ها (IgA و IgG) در سرم جوجه‌های گوشتی را با جایگزینی سولفات‌روی با گلایسین روی نشان دادند (Feng *et al*., 2010)، که می‌تواند ناشی از نقش روی در رشد و عملکرد لنفوسیت‌ها باشد. نتایج مطالعه حاضر نشان داد که منابع مختلف روی جیره‌ای در سطح ۴۰ میلی‌گرم در کیلوگرم جیره بر درصد لنفوسیت سرم مؤثر می‌باشند. روی برای هورمون تیمولین و تیمیک که بلوغ لنفوسیت‌های T را تنظیم می‌کنند، ضروری است.

پرندگانی که با منابع روی با قابلیت دسترسی بیش‌تر (منابع آلی روی در مقیاس نانو) تغذیه‌شده بودند، ممکن است فعالیت تیمولین را القا کرده باشند و بنابراین پاسخ‌های ایمنی را از طریق افزایش بلوغ لنفوسیت‌های T و فعال‌کردن لنفوسیت‌های T به وسیله سلول‌های کمک‌کننده T ارتقا دهند (Moghaddam *et al*., 2009). Stahl و همکاران (۱۹۸۹) گزارش کردند که مکمل روی متیونین تأثیر بهتری بر پاسخ‌های ایمنی اولیه به SRBC نسبت به شاهد (بدون روی) دارد (Stahl *et al*., 1989). کاربرد نانوذرات روی تا سطح ۸۰ میلی‌گرم در کیلوگرم در جیره می‌تواند ایمنی سلولی و دفاع آنتی‌اکسیدانی پرندگان را افزایش دهد (Hafez *et al*., 2020). روی جیره‌ای (۴۰ میلی‌گرم در کیلوگرم جیره) یک تمایل به معنی‌داری را بر فعالیت آلکالین‌فسفاتاز و غلظت روی خون را نشان داد. Mohanna & Nys (۱۹۹۹) نشان دادند که غلظت روی خون با سطوح مختلف روی جیره‌ای تغییر می‌کند (Mohanna & Nys, 1999). آلکالین‌فسفاتاز دسته‌ای از متالوآنزیم‌های روی سطح سلولی هستند که گروه‌های استر فسفات را در PH قلیایی هیدرولیز می‌کنند (Bakst & Akuffo, 2007). Al-Daraji و همکاران (۲۰۱۱) نشان دادند افزودن روی به جیره مرغ‌های مادر گوشتی (۷۵ و ۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم جیره) فعالیت آلکالین فسفاتاز خون را در مقایسه با گروه شاهد بهبود می‌بخشند (Al-Daraji *et al*., 2011).

مالون‌دی‌آلدهید یک شاخص مهم برای پراکسیداسیون لیپید و آسیب اکسیداتیو است (Rao *et al.*, 2016). در مطالعه حاضر کاهش غلظت مالون‌دی‌آلدهید با تغذیه ۴۰ میلی‌گرم در کیلوگرم روی جیره‌ای در مقایسه با شاهد (بدون روی) مشاهده شد. موافق با نتایج حاضر، Kakhki و همکاران (۲۰۱۷) نشان دادند که ۶۰ تا ۱۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم روی آلی در جیره تأثیر مثبتی بر پایداری اکسیداتیو دارد (Kakhki *et al.*, 2017). روی به‌عنوان کوفاکتور یا از اجزای بیش از ۲۰۰ آنزیم در نظر گرفته شده است و بر فرایند اکسیداتیو مؤثر است. Cunningham-Rundles و همکاران (۱۹۹۰) نشان دادند که روی به‌عنوان یک آنتی‌اکسیدان برای کاهش آسیب اکسیداتیو ناشی از رادیکال‌های آزاد فعالیت می‌کند (Cunningham-Rundles *et al.*, 1990). علاوه‌براین، روی از سلول‌ها در برابر آسیب اکسیداتیو محافظت می‌کند، در تثبیت غشاها نقش دارد و آنزیم نیکوتین‌آمید آدنین دی‌نوکلئوتید فسفات اکسیداز (NADPH–اکسیداز) را مهار می‌کند. روی هم‌چنین سنتز متالوتیونین‌ها را القا می‌کند که پروتئین‌هایی مؤثر در کاهش رادیکال‌های هیدروکسیل و جداسازی گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) تولیدشده در موقعیت‌های استرس‌زا هستند (Marreiro *et al.*, 2017).

۵. نتیجه‌گیری

نتایج مطالعه حاضر نشان داد که به‌کارگیری تکنولوژی نانو بر روی منابع مختلف روی می‌تواند اثرات متناقضی داشته باشد. مکمل‌سازی نانوروی متیونین (۴۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) در جیره جوجه‌های گوشتی بر پایه ذرت و سویا مؤثر است. مطالعات بیش‌تری برای بررسی مسیر متابولیکی، مکانیسم جذب و زیست‌فراهمی منابع مختلف نانوروی در طیور مورد نیاز است.

۶. ملاحظات اخلاقی

نویسندگان اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این پژوهش علمی رعایت نموده‌اند و این موضوع موردتأیید همه آن‌هاست.

۷. مشارکت نویسندگان

وحید محمدی: انجام آزمایش و گردآوری داده‌ها، انجام محاسبات و تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها، تحلیل و تفسیر نتایج، تهیه مقاله؛

شکوفه غضنفری: طراحی پژوهش، بررسی و کنترل نتایج و تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها، اصلاح و بازبینی و نهایی‌سازی مقاله؛

عبداله محمدی سنگ‌چشمه: هماهنگ‌کننده و تسهیل‌کننده آزمایش‌های پژوهش.

۸. تعارض منابع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

۹. حامی مالی

پژوهش حاضر با حمایت مالی دانشگاه تهران – دانشکده فناوری کشاورزی ابوریحان انجام شد.

۱۰. تشکر و قدردانی

از دانشگاه تهران به جهت حمایت مالی از این پژوهش، تشکر و قدردانی می‌گردد.

۱۱. منابع

Abd El-Hack, M. E., Alaidaroos, B. A., Farsi, R. M., Abou-Kassem, D. E., El-Saadony, M. T., Saad, A. M., & Ashour, E. A. (2021). Impacts of supplementing broiler diets with biological curcumin, zinc nanoparticles and Bacillus licheniformis on growth, carcass traits, blood indices, meat quality and cecal microbial load. *Animals*, *11*(7), 1878. https://doi.org/10.3390/ani11071878

Abd El-Hack, M. E., Ashour, E. A., Aljahdali, N., Zabermawi, N. M., Baset, S. A., Kamal, M., ... & Bassiony, S. S. (2024). Does the dietary supplementation of organic nano-zinc as a growth promoter impact broiler's growth, carcass and meat quality traits, blood metabolites and cecal microbiota. *Poultry Science*, *103*(5), 103550. https://doi.org/10.1016/j.psj.2024.103550

Abdelnour, S. A., Alagawany, M., Hashem, N. M., Farag, M. R., Alghamdi, E. S., Hassan, F. U., ... & Attia, Y. A. (2021). Nanominerals: fabrication methods, benefits and hazards, and their applications in ruminants with special reference to selenium and zinc nanoparticles. *Animals*, *11*(7), 1916. https://doi.org/10.3390/ani11071916

Abd-Elsamee, M. O., El-Sherbiny, A. E., Hassan, H. M. A., Samy, A., & Mohamed, M. A. (2012). Adding phytase enzyme to low phosphorus broiler diets and its effect upon performance, bone parameters and phosphorus excretion. doi=ajpsaj.2012.129.137&org=10

Ahmadi, F., Ebrahimnezhad, Y., Sis, N. M., & Ghalehkandi, J. G. (2013). The effects of zinc oxide nanoparticles on performance, digestive organs and serum lipid concentrations in broiler chickens during starter period. doi: doi.org/10.12692/ijb/3.7.23-29

Akhavan-Salamat, H., & Ghasemi, H. A. (2019). Effect of different sources and contents of zinc on growth performance, carcass characteristics, humoral immunity and antioxidant status of broiler chickens exposed to high environmental temperatures. *Livestock Science*, *223*, 76-83. https://doi.org/10.1016/j.livsci.2019.03.008

Al-Daraji, H. J., & Amen, M. H. (2011). Effect of dietary zinc on certain blood traits of broiler breeder chickens. *International Journal of Poultry Science*, *10*(10), 807-813. https://doi.org/10.3923/ijps.2011.807.813

Bakst, M. R., & Akuffo, V. (2007). Alkaline phosphatase reactivity in the vagina and uterovaginal junction sperm-storage tubules of turkeys in egg production: implications for sperm storage. *British Poultry Science*, *48*(4), 515-518. https://doi.org/10.1080/00071660701381761

Cunningham-Rundles, S., Bockman, R. S., Lin, A., Giardina, P. V., Hilgartner, M. W., CALDWELL-BROWN, D. O. R. O. T. H. E. A., & Carter, D. M. (1990). Physiological and Pharmacological Effects of Zinc on Immune Response a. *Annals of the New York Academy of Sciences*, *587*(1), 113-122. https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.1990.tb00139.x

de Almeida, M. S., Susnik, E., Drasler, B., Taladriz-Blanco, P., Petri-Fink, A., & Rothen-Rutishauser, B. (2021). Understanding nanoparticle endocytosis to improve targeting strategies in nanomedicine. *Chemical society reviews*, *50*(9), 5397-5434. DOI: 10.1039/D0CS01127D

Fatholahi, A., Khalaji, S., Hosseini, F., & Abbasi, M. (2021). Nano-Bio zinc synthesized by Bacillus subtilis modulates broiler performance, intestinal morphology and expression of tight junction's proteins. *Livestock Science*, *251*, 104660. https://doi.org/10.1016/j.livsci.2021.104660

Feng, J. W. Q. M., Ma, W. Q., Niu, H. H., Wu, X. M., Wang, Y., & Feng, J. (2010). Effects of zinc glycine chelate on growth, hematological, and immunological characteristics in broilers. *Biological trace element research*, *133*(2), 203-211. DOI:10.1007/s12011-009-8431-9

Hafez, A., Nassef, E., Fahmy, M., Elsabagh, M., Bakr, A., & Hegazi, E. (2020). Impact of dietary nano-zinc oxide on immune response and antioxidant defense of broiler chickens. *Environmental Science and Pollution Research*, *27*(16), 19108-19114. DOI: 10.1007/s11356-019-04344-6

Hatab, M. H., Rashad, E., Saleh, H. M., El-Sayed, E. S. R., & Taleb, A. A. (2022). Effects of dietary supplementation of myco-fabricated zinc oxide nanoparticles on performance, histological changes, and tissues Zn concentration in broiler chicks. *Scientific Reports*, *12*(1), 18791. DOI: 10.1038/s41598-022-22836-3

Huang, Y. L., Lu, L., Luo, X. G., & Liu, B. (2007). An Optimal Dietary Zinc Level of Broiler Chicks Fed a Corn-Soybean Meal Diet1. *Poultry Science*, *86*(12), 2582. DOI: 10.3382/ps.2007-00088

Kakhki, R. A. M., Bakhshalinejad, R., Hassanabadi, A., & Ferket, P. (2017). Effects of dietary organic zinc and α-tocopheryl acetate supplements on growth performance, meat quality, tissues minerals, and α-tocopherol deposition in broiler chickens. *Poultry science*, *96*(5), 1257-1267. https://doi.org/10.3382/ps/pew386

Leeson, S., & Caston, L. (2008). Using minimal supplements of trace minerals as a method of reducing trace mineral content of poultry manure. *Animal Feed Science and Technology*, *142*(3-4), 339-347. https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2007.08.004

Liu, Z. H., Lu, L., Li, S. F., Zhang, L. Y., Xi, L., Zhang, K. Y., & Luo, X. G. (2011). Effects of supplemental zinc source and level on growth performance, carcass traits, and meat quality of broilers. *Poultry Science*, *90*(8), 1782-1790. https://doi.org/10.3382/ps.2010-01215

Marreiro, D. D. N., Cruz, K. J. C., Morais, J. B. S., Beserra, J. B., Severo, J. S., & De Oliveira, A. R. S. (2017). Zinc and oxidative stress: current mechanisms. Antioxidants, 6(2), 24. https://doi.org/10.3390/antiox6020024

Moghaddam, H. N., & Jahanian, R. (2009). Immunological responses of broiler chicks can be modulated by dietary supplementation of zinc-methionine in place of inorganic zinc sources. *Asian-Australasian journal of animal sciences*, *22*(3), 396-403. https://doi.org/10.5713/ajas.2009.80473

Mohammadi, V., Ghazanfari, S., Mohammadi-Sangcheshmeh, A., & Nazaran, M. H. (2015). Comparative effects of zinc-nano complexes, zinc-sulphate and zinc-methionine on performance in broiler chickens. *British poultry science*, *56*(4), 486-493. DOI: 10.1080/00071668.2015.1064093

Mohanna, C., & Nys, Y. (1999). Effect of dietary zinc content and sources on the growth, body zinc deposition and retention, zinc excretion and immune response in chickens. *British Poultry Science*, *40*(1), 108-114. https://doi.org/10.1080/00071669987926

Mohd Yusof, H., Abdul Rahman, N. A., Mohamad, R., Zaidan, U. H., & Samsudin, A. A. (2022). Influence of dietary biosynthesized zinc oxide nanoparticles on broiler zinc uptake, bone quality, and antioxidative status. *Animals*, *13*(1), 115. https://doi.org/10.3390/ani13010115

Navidshad, B., Mohammadrezaei, M., Zarei, M., Valizadeh, R., Karamati, S., Rezaei, F., & Esmaeilinasab, P. (2019). The New Progresses in Trace Mineral Requirements of Broilers, a Review. *Iranian Journal of Applied Animal Science*, *9*(1).

NRC. (1994). Nutrient requirements of poultry. Ninth Revised Edition, National Academy Press, *Washington DC*. 15-18.

O'Connor, J. P., Kanjilal, D., Teitelbaum, M., Lin, S. S., & Cottrell, J. A. (2020). Zinc as a therapeutic agent in bone regeneration. *Materials*, *13*(10), 2211. https://doi.org/10.3390/ma13102211

Ogbuewu, I. P., & Mbajiorgu, C. A. (2023). Potentials of dietary zinc supplementation in improving growth performance, health status, and meat quality of broiler chickens. *Biological trace element research*, *201*(3), 1418-1431. https://doi.org/10.1007/s12011-022-03223-5

Rao, S. R., Prakash, B., Raju, M. V. L. N., Panda, A. K., Kumari, R. K., & Reddy, E. P. K. (2016). Effect of supplementing organic forms of zinc, selenium and chromium on performance, anti-oxidant and immune responses in broiler chicken reared in tropical summer. *Biological trace element research*, *172*(2), 511-520. DOI: 10.1007/s12011-015-0587-x

Sagar, P. D., Mandal, A. B., Akbar, N., & Dinani, O. P. (2018). Effect of different levels and sources of zinc on growth performance and immunity of broiler chicken during summer. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, *7*(5), 459-471. https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.705.058

SAS, (2003). SAS/STAT User's Guide, Release 8.02 ed. SAS Institute Inc., Cary, NC, U.S.A.

Shokri, P., Ghazanfari, S., & Honarbakhsh, S. (2021). Effects of different sources and contents of dietary manganese on the performance, meat quality, immune response, and tibia characteristics of broiler chickens. *Livestock Science*, 253, 104734. https://doi.org/10.1016/j.livsci.2021.104734

Stahl, J. L., Cook, M. E., Sunde, M. L., & Greger, J. L. (1989). Enhanced humoral immunity in progeny chicks from hens fed practical diets supplemented with zinc.

Toghyani, M., Toghyani, M., Gheisari, A., Ghalamkari, G., & Mohammadrezaei, M. (2010). Growth performance, serum biochemistry and blood hematology of broiler chicks fed different levels of black seed (*Nigella sativa*) and peppermint (*Mentha piperita*). *Livestock science*, *129*(1-3), 173-178. https://doi.org/10.1016/j.livsci.2010.01.021

Xie, Y., Liu, F., Zhang, X., Jin, Y., Li, Q., Shen, H., ... & Mao, J. (2022). Benefits and risks of essential trace elements in chronic kidney disease: a narrative review. *Annals of Translational Medicine*, *10*(24), 1400. doi: 10.21037/atm-22-5969

Zhao, C. Y., Tan, S. X., Xiao, X. Y., Qiu, X. S., Pan, J. Q., & Tang, Z. X. (2014). Effects of dietary zinc oxide nanoparticles on growth performance and antioxidative status in broilers. *Biological trace element research*, *160*(3), 361-367. DOI: 10.1007/s12011-014-0052-2