Sari Agriculture Sciences and Natural Resources University

Research on Animal Production, Vol. 16, Issue 4, 2025 p: 122-133

OPEN ACCESS

Research Paper

# The Effect of Using Nanoparticles of Iron, Copper, Zinc, and Manganese Minerals on Production Traits, Carcass Characteristics, and some Blood Parameters in Arian Broiler Chickens

**Seyed Abdullah Hosseini[1], Amir Hossein Alizadeh-Ghamsari[2], and Leili Jamshidi[3]**

1- Professor, Animal Science Research Institute of Iran, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran

2- Associate Professor, Animal Science Research Institute of Iran, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran

3- Postdoctoral Researcher, Animal Science Research Institute of Iran, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran, (Corresponding author: leilijamshidi70@gmail.com)

Received: 11 April, 2025 Revised: 21 July, 2025 Accepted: 25 August, 2025

## Extended Abstract

**Background:** The digestion of minerals is affected by several factors in the gastrointestinal tract. These factors include temperature, pH, varying concentration salts, and enzymes, which can separately affect the solubility of substances and their interactions with biological molecules. Minerals are also inhibited in the gastrointestinal tract through factors such as phosphates, phytates, dietary fiber, lignin's, polyphenols, tannins, etc. These inhibitors often bind to ions of minerals and from complexes and make these ions unavailable. When minerals are used in inorganic form in the diet, these substances tend to separate in the upper part of the gastrointestinal tract and the low pH of the environment. Thus, the separated minerals bind to other nutrients in the digesta, which makes them unavailable for absorption in the intestine. As a result of non-absorption and an increase of unusable minerals, their secretion into wastes is increased and can lead to environmental concerns. Nanotechnology is one of the most creative technologies to produce different materials and elements with changes in the structure, texture, and high quality at the molecular level. Therefore, to prevent the excessive use of minerals in the diet, new nutritional strategies must be implemented without endangering the health and performance of animals. One of these new strategies that can be effective in improving the bioavailability of low-consumption mineral elements is to use the nano form of minerals in the diet. Therefore, this research aimed to investigate the effects of using the nano form of four minerals (copper, iron, zinc, and manganese) in two common and reduced levels on production traits, carcass characteristics, and some blood parameters of broiler chickens.

**Methods:** For this purpose, an experiment was performed with 360 one-day-old Arian broiler chickens in a completely randomized design with three treatments, four replications, and 30 birds per replicate. Experimental treatments included 1) a diet containing common mineral supplements (control), 2) a diet containing mineral supplement Nano 100 (with 100% of the recommended amounts of copper, iron, manganese, and zinc in the nano form), and 3) a diet containing mineral supplement Nano 50 (with 50% of the recommended amounts of copper, iron, manganese, and zinc in the nano form). The chickens of each replication were weighed as a group at the end of each week and 3 hours after feed restriction. Losses were collected, weighed, and counted daily and were used to obtain the percentages of losses and survival. At the age of 42 days, two pieces of birds were selected from each replication, which were close to the average of the group in terms of weight. They were killed after weighing, and the carcass components, including breast, thigh, neck, back, wings, abdominal fat percentage, and the whole carcass without intestines and viscera, along with some organs, such as heart and spleen, were weighed afterward. Their weights were calculated relative to live weight. At the age of 42 days, four birds were selected from each replication, and blood (3 ml) was taken from the underwing vein with a sterile syringe after separating the serum to measure the concentrations of total protein, globulin, albumin, triglyceride, cholesterol, low-density lipoprotein (LDL), and high-density lipoprotein (HDL). Globulin was obtained by subtracting albumin from total protein.

**Results:** In the first week, the feed intake was higher in the chickens receiving the Nano 100 supplement treatment than in the other two treatments. In the period of 1-14 days, the amount of feed consumed in the Nano 100 and Nano 50 supplement treatments was more than in the control

[ Downloaded from rap.sanru.ac.ir on 2026-03-03 ]

[ DOI: 10.61882/rap.2025.1842 ]

Copyright ©2025 Hosseini -Ghamsari et al. Published by Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University.
This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 Unported License which allows users to read, copy, distribute and make derivative works for non-commercial purposes from the material, as long as the author of the original work is cited properly.

group ($p < 0.05$). The body weight at the ages of 7 and 14 days in the Nano supplement 50 treatment was higher than in the control and Nano supplement 100 treatments. At the ages of 21, 28, and 35 days, however, the body weight was higher in the control and Nano supplement 50 treatments than in the Nano supplement 100 treatment ($p < 0.05$). The feed conversion ratio improved under the effect of Nano supplement 100 treatment ($p < 0.05$). At the end of the period, Nano supplement 100 and Nano supplement 50 treatments increased livability compared to the control treatment ($p < 0.05$), while experimental treatments did not significantly affect the production index ($p > 0.05$). Abdominal fat in the control treatment was more than in the treatment containing Nano supplement 100, but it was not significantly different from the Nano supplement 50 treatment ($p < 0.05$). The other carcass characteristics were not affected by the experimental treatments ($p > 0.05$). The effect of the experimental treatments was significant on the concentrations of triglyceride, LDL, and globulin ($p < 0.05$). The amount of triglyceride increased in the control treatment compared to the treatments containing Nano 100 and 50 supplements. However, LDL and globulin were greater in the treatment containing Nano supplement 100 than in the control and Nano supplement 50 treatments ($p < 0.05$). The other blood parameters were not affected by the experimental treatments ($p > 0.05$).
**Conclusion:** Overall, the results showed that it is possible to reduce the consumption of four mineral substances by 50% by using the Nano form of these substances in the diet of broiler chickens, taking the economic considerations into account.

**Keywords:** Broiler chicken, Blood parameter, Mineral supplement, Nanoparticle, Performance

**How to Cite This Article:** Hosseini, S. A., Alizadeh Ghamsari, A H., & Jamshidi, L. (2025). The Effect of Using Nanoparticles of Iron, Copper, Zinc, and Manganese Minerals on Production Traits, Carcass Characteristics, and some Blood Parameters in Arian Broiler Chickens. *Res Anim Prod,* 16(4), 122-133. DOI: 10.61882/rap.2025.1842

[ Downloaded from rap.sanru.ac.ir on 2026-01-03 ]

[ DOI: 10.61882/rap.2025.1842 ]

دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

مقاله پژوهشی

# اثر استفاده از نانو ذرات مواد معدنی آهن، مس، روی و منگنز بر صفات تولیدی، خصوصیات لاشه و برخی فراسنجه‌های خونی در جوجه‌های گوشتی آرین

سید عبداله حسینی[۱]، امیرحسین علیزاده قمصری[۲] و لیلی جمشیدی[۳]

۱- استاد، موسسه تحقیقات علوم دامی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
۲- دانشیار، موسسه تحقیقات علوم دامی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
۳- پژوهشگر پسادکتری، موسسه تحقیقات علوم دامی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران، (نویسنده مسوول: leilijamshidi70@gmail.com)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۱/۲۲ تاریخ ویرایش: ۱۴۰۴/۰۴/۳۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۶/۰۳
صفحه ۱۲۲ تا ۱۳۳

## چکیده مبسوط

**مقدمه و هدف:** هضم مواد معدنی تحت تاثیر عوامل متعددی در دستگاه گوارش قرار دارد؛ این عوامل شامل دما، pH، غلظت متغییری از نمک‌ها و آنزیم‌ها هستند که به‌طور جداگانه می‌توانند بر میزان حلالیت مواد و تعامل آن‌ها با مولکول‌های زیستی اثر بگذارند. همچنین، موادمعدنی در دستگاه گوارش از طریق عواملی همچون فسفات‌ها، فیتات‌ها، فیبر جیره، لیگنین‌ها، پلی‌فنل‌ها و تانن‌ها و ... مهار می‌شوند. این مهارکننده‌ها اغلب یون‌های مواد معدنی را باند کرده، تشکیل کمپلکس می‌دهند و باعث می‌شوند که این یون‌ها غیر قابل دسترس باشند. زمانی‌که مواد معدنی به فرم غیر آلی در جیره غذایی استفاده می‌شوند، این مواد در قسمت بالایی دستگاه گوارش و pH پایین محیط، تمایل به جداشدن دارند، بنا بر این مواد معدنی جداشده با سایر ترکیبات مغذی شیرابه هضمی باند می‌شوند که موجب غیر قابل دسترس شدن این مواد برای جذب در روده کوچک می‌شود. در نتیجه عدم جذب و افزایش مواد معدنی غیر قابل استفاده، ترشح آن‌ها به درون فضولات افزایش می‌یابد و می‌تواند منجربه نگرانی‌های زیست‌محیطی شود. فناوری نانو از خلاقانه‌ترین تکنولوژی‌ها برای تولید مواد و عناصر مختلف با تغییر در ساختار، بافت و کیفیت بالا در سطح مولکولی است. لذا، برای جلوگیری از استفاده بیش از حد از مواد معدنی در جیره، باید راهبردهای تغذیه‌ای نوینی بدون به خطر انداختن سلامت و عملکرد حیوانات اجرا شوند. یکی از این راهبردهای جدید که می‌تواند در بهبود زیست‌فراهمی عناصر معدنی کم‌مصرف نیز موثر باشد استفاده از فرم نانو موادمعدنی در جیره است. بنا بر این، هدف از این پژوهش بررسی اثرات استفاده از فرم نانو چهار ماده معدنی (مس، آهن، روی و منگنز) در دو سطح رایج و کاهش‌یافته بر صفات تولیدی، خصوصیات لاشه و برخی فراسنجه‌های خونی جوجه‌های گوشتی بود.

**مواد و روش‌ها:** جهت انجام این آزمایش از ۳۶۰ قطعه جوجه گوشتی یک‌روزه آرین در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تیمار، چهار تکرار و ۳۰ قطعه پرنده در هر تکرار استفاده شد. تیمارهای آزمایشی شامل ۱) جیره حاوی مکمل معدنی رایج (شاهد)، ۲) مکمل معدنی نانو ۱۰۰ (دارای ۱۰۰ درصد مقدار توصیه‌شده عناصر مس، آهن، منگنز و روی به فرم نانو) و ۳) مکمل معدنی نانو ۵۰ (دارای ۵۰ درصد مقدار توصیه شده عناصر مس، آهن، منگنز و روی به فرم نانو) بودند. در پایان هر هفته، وزن‌کشی جوجه‌های هر تکرار به‌صورت گروهی و سه ساعت بعد از قطع دان انجام شد. همچنین، تلفات به‌صورت روزانه جمع‌آوری، توزین و شمارش و برای به دست آوردن درصد تلفات و درصد ماندگاری استفاده شدند. در سن ۴۲ روزگی، دو قطعه پرنده از هر تکرار که از نظر وزنی به میانگین گروه نزدیک بودند انتخاب و پس از توزین، کشتار شدند. سپس، اجزای لاشه از جمله سینه، ران، گردن و پشت و بال، چربی حفره بطنی و کل لاشه بدون امعاء و احشاء، به‌همراه برخی اندام‌ها از جمله قلب و طحال توزین و اوزان آن‌ها نسبت به وزن زنده محاسبه شدند.
در سن ۴۲ روزگی، تعداد چهار قطعه جوجه سالم از هر تکرار انتخاب و با سرنگ استریل به‌میزان حدود ۳ میلی‌لیتر از سیاهرگ زیربال خون‌گیری شد. بعد از جداسازی سرم، برای اندازه‌گیری غلظت‌های پروتئین کل، گلوبولین، آلبومین، تری‌گلیسرید، کلسترول، لیپوپروتئین کم‌چگالی (LDL)، و لیپوپروتئین پرچگالی (HDL) استفاده شد. همچنین، میزان گلوبولین با کم‌کردن آلبومین از پروتئین کل به‌دست آمد.

**یافته‌ها:** در هفته اول، خوراک مصرفی در جوجه‌های دریافت‌کننده تیمار مکمل نانو ۱۰۰ بالاتر از دو تیمار دیگر بود و در دوره ۱ تا ۱۴ روزگی، مقدار خوراک مصرفی تیمارهای مکمل نانو ۱۰۰ و مکمل نانو ۵۰ بیشتر از گروه شاهد بود ($P < ۰/۰۵$). وزن بدن در سنین ۷ و ۱۴ روزگی در تیمار نانو مکمل ۵۰ بالاتر از تیمارهای شاهد و نانو مکمل ۱۰۰ بود، در حالی‌که در سنین ۲۱، ۲۸ و ۳۵ روزگی وزن بدن در تیمارهای شاهد و نانو مکمل ۵۰، بالاتر از تیمار نانو مکمل ۱۰۰ بود ($P < ۰/۰۵$). ضریب تبدیل غذایی تحت تاثیر تیمار نانو مکمل ۱۰۰ بهبود یافت ($P < ۰/۰۵$). تیمارهای نانو مکمل ۱۰۰ و نانو مکمل ۵۰ در پایان دوره موجب افزایش زنده مانی نسبت به تیمار شاهد شدند ($P < ۰/۰۵$)، در حالی‌که تیمارهای آزمایشی بر شاخص تولید تاثیر معنی‌داری نداشتند ($P > ۰/۰۵$). چربی حفره بطنی در تیمار شاهد بیشتر از تیمار حاوی نانو مکمل ۱۰۰ بود و با تیمار نانو مکمل ۵۰ تفاوت معنی‌داری نداشت ($P < ۰/۰۵$). سایر خصوصیات لاشه تحت تاثیر تیمارهای آزمایشی قرارنگرفتند ($P > ۰/۰۵$). تأثیر تیمارهای آزمایشی بر غلظت‌های تری‌گلیسیرید، لیپوپروتئین کم‌چگالی و گلوبولین معنی‌دار بود ($P < ۰/۰۵$)، و تیمار شاهد میزان تری‌گلیسیرید را نسبت به تیمارهای حاوی مکمل نانو ۱۰۰ و ۵۰ افزایش داد، اما لیپوپروتئین کم‌چگالی و گلوبولین در تیمار حاوی نانو مکمل ۱۰۰ بزرگتر از تیمارهای شاهد و نانو مکمل ۵۰ بودند ($P < ۰/۰۵$). سایر فراسنجه‌های خونی تحت تأثیر تیمارهای آزمایشی قرار نگرفتند ($P > ۰/۰۵$).

**نتیجه‌گیری:** در مجموع، نتایج نشان می‌دهند که امکان کاهش ۵۰ درصدی مصرف چهار ماده معدنی با استفاده از فرم نانو این مواد در جیره جوجه‌های گوشتی با در نظرگرفتن ملاحظات اقتصادی وجود دارد.

**واژه‌های کلیدی:** جوجه گوشتی، عملکرد، فراسنجه خونی، مکمل معدنی، نانوذرات

## مقدمه

فناوری نانو یک علم جدید در حال توسعه است که از ماده در ابعاد ۱ تا ۱۰۰ نانومتر با ویژگی‌های منحصر به‌فرد و کاربردهای جدید استفاده می‌کند. فناوری نانو کاربردهای متنوعی را در طیف وسیعی از رشته‌ها مانند فیزیک، شیمی، مهندسی، پزشکی و اخیرا در دامپروری و کشاورزی دارد. نانوتکنولوژی از خلاقانه‌ترین فناوری‌ها برای تولید مواد و عناصر مختلف با تغییر در ساختار، بافت و کیفیت بالا در سطح مولکولی است (Mahmoud, 2012). نانوذرات تهیه‌شده با روش‌های مختلف ویژگی‌های متفاوتی دارند و به دسته‌های غیر آلی، آلی، امولسیونی و نانوسل‌ها طبقه‌بندی می‌شوند (Marappan *et al.*, 2017). مواد معدنی مختلفی مانند نقره (Ahmadi &

[ Downloaded from rap.sanru.ac.ir on 2026-08-03 ]

[ DOI: 10.61882/rap.2025.1842 ]

(Rahimi., 2011; Vadalasetty *et al*., 2018)، روی (Zhao *et al*., 2014; Fathi *et al*., 2016)، مس (Wang *et al*., 2011; Joshua *et al*., 2016)، آهن (Mohammadi *et al*., 2017; Saki *et al*., 2014)، و سلنیوم (Zhou & Wang, 2011) به‌فرم نانو در طیور استفاده شده‌اند. مواد معدنی، مخصوصاً مواد معدنی کمیاب، زیست‌فراهمی پایینی در حیوانات دارند. هضم مواد معدنی تحت تاثیر عوامل متعددی در دستگاه گوارش قرار دارد؛ این عوامل شامل دما، pH، غلظت‌های متغیری از نمک‌ها و آنزیم‌ها هستند که به‌طور جداگانه می‌توانند بر میزان حلالیت مواد و تعامل آن‌ها با مولکول‌های زیستی اثر بگذارند. مشخص گردیده است که اثرات متقابل و آنتاگونیست رقابتی میان عناصر آهن، مس و روی وجود دارند (Suttle, 2010; Underwood, 1997)، همچنین، مواد معدنی در دستگاه گوارش از طریق عواملی همچون فسفات‌ها، فیتات‌ها، فیبر جیره، لیگنین‌ها، پلی‌فنل‌ها، تانن‌ها و ... مهار می‌شوند. این مهارکننده‌ها اغلب یون‌های مواد معدنی را باند کرده، تشکیل کمپلکس می‌دهند و باعث می‌شوند که این یون‌ها غیرقابل دسترس باشند (Conrad & Umbreit, 2000; Beard & Han, 2009).

نانوذرات مواد معدنی نقش بالقوه‌ای در بهبود پاسخ‌های ایمنی و نیز بهبود قابلیت هضم پرنده دارند که منجربه بازده بهتر خوراک می‌شود (Marappan *et al.,* 2017). از جمله عناصر کم‌مصرف که برای پرنده ضروری است و نقش بسیار مهمی در فعالیت‌های زیستی بر عهده دارند می‌توان به روی، مس، آهن و منگنز اشاره کرد. روی یک ماده معدنی بسیار مهم به‌شمار می‌رود که برای متابولیسم عمومی لازم است. روی به‌عنوان یک فاکتور کمکی برای بیش از ۳۰۰ متالوآنزیم عمل می‌کند (Pandav & Puranik, 2015)، و نقش مهمی در متابولیسم چربی‌ها (Bouzerna & Kechrid, 2004)، کربوهیدرات‌ها، پروتئین‌ها، و اسیدهای نوکلئیک غشاء سلولی دارد (Khalid *et al.,* 2014). این عنصر در سیستم دفاعی و غدد درون‌ریز نیز نقش دارد (Park *et al.* 2004; Liu *et al.,* 2011; Naz *et al.,* 2016). استفاده از نانوذرات روی در جیره جوجه‌های گوشتی موجب بهبود عملکرد رشد شد (Mohammadi *et al.,* 2015).

مس ماده معدنی ضروری و مهم در تغذیه طیور است که فعالیت‌های زیستی متنوعی را بر عهده دارد. در پژوهشی، تغذیه طیور با ppm ۱۰۰ نانوکیتوزان مس سبب بهبود وزن، طحال، تیموس، بورس و افزایش جمعیت‌های میکروبی مفید (لاکتوباسیلوس و بیفیدوباکتریوم) در مواد هضمی سکوم شد و جمعیت میکروبی مضر (کلی‌فرم) کاهش یافت (Wang *et al.,* 2011). تزریق داخل تخم‌مرغی ۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم نانوذرات مس بر نرخ متابولیک جنین تاثیرگذار بود که ممکن است دلیلی برای بهبود عملکرد پس از هچ جوجه‌های گوشتی باشد (Scott *et al*., 2016).

آهن یکی دیگر از عناصر معدنی ضروری برای هموستاز بدن است که به جیره طیور افزوده می‌شود. آهن بخش جدایی‌ناپذیر از چندین آنزیم و پروتئین است که نه‌تنها با اثرگذاری در سنتز هموگلوبین و میوگلوبین به انتقال اکسیژن کمک می‌کند، بلکه سلامت و تنظیم رشد و تمایز سلول‌ها را نیز بر عهده دارد (Saki *et al*., 2014). در تحقیقی، تزریق داخل عضلانی نانوذرات آهن به‌طور قابل توجهی بر افزایش وزن بدن در مرغ تأثیرگذار بود (Sizova *et al.,* 2015). در پژوهشی دیگر، افزودن نانوذرات آهن به جیره‌های جوجه‌های گوشتی باعث بهبود وزن بدن نسبت به گروه شاهد شد، اما تأثیری بر وزن کبد، ران و سینه مشاهده نشد (Sizova *et al.,* 2016).

منگنز در تمام بافت‌ها یافت می‌شود. این عنصر نقش حیاتی در متابولیسم پروتئین‌ها، اسیدهای‌آمینه، لیپیدها و کربوهیدرات‌ها دارد (Tufarelli & Laudadio, 2017) و یک عنصر معدنی ضروری برای طیور است. مصرف ناکافی منگنز در رژیم غذایی، باعث تاخیر در رشد، نقایص اسکلتی و کاهش رشد استخوان، کاهش باروری، نقص در متابولیسم کربوهیدرات‌ها و لیپیدها می‌شود (Mottaghitalab *et al.,* 2019). تزریق داخل تخم‌مرغی یک میلی‌لیتر سولفات منگنز، منگنز متیونین، نانو منگنز و یا نانو منگنز متیونین سبب بهبود قابل‌توجه ضریب تبدیل غذایی جوجه‌های گوشتی شد (Lotfi *et al.,* 2014).

زمانی‌که مواد معدنی به فرم غیر آلی در جیره غذایی استفاده می‌شوند، این مواد در قسمت بالایی دستگاه گوارش و pH پایین محیط، تمایل به جدا شدن دارند، بنا بر این، مواد معدنی جداشده، با سایر ترکیبات مغذی شیرابه هضمی باند می‌شوند که موجب غیر قابل دسترس شدن این مواد برای جذب در روده کوچک می‌شود (Yan & Waldroup, 2006). در نتیجه عدم جذب و افزایش مواد معدنی غیر قابل استفاده، ترشح آن‌ها به درون فضولات افزایش می‌یابد و می‌تواند منجر به نگرانی‌های زیست‌محیطی شود (Aksu *et al.,* 2010). لذا، برای جلوگیری از استفاده بیش از حد مواد معدنی در جیره، باید راهبردهای تغذیه‌ای نوینی بدون به خطر انداختن سلامت و عملکرد حیوانات اجرا شوند. یکی از این راهبردهای جدید که می‌تواند در بهبود زیست‌فراهمی عناصر معدنی کم‌مصرف نیز موثر باشد استفاده از فرم نانو مواد معدنی در جیره است. بنا بر این، هدف از این پژوهش بررسی اثرات استفاده از فرم نانو چهار ماده معدنی (مس، آهن، روی و منگنز) در دو سطح رایج و کاهش‌یافته بر صفات تولیدی، خصوصیات لاشه و برخی فراسنجه‌های خونی جوجه‌های گوشتی بود.

## مواد و روش‌ها

### محل اجرای آزمایش

در این تحقیق از ۳۶۰ قطعه جوجه گوشتی آرین (مخلوط نر و ماده با نسبت مساوی) با وزن اولیه ۱±۴۲ گرم در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تیمار، چهار تکرار و ۳۰ قطعه پرنده در هر تکرار استفاده شد. در طول دوره آزمایش، دسترسی به خوراک و آب آشامیدنی آزاد بود. تیمارهای آزمایشی همگی از نظر مواد مغذی از جمله انرژی و پروتئین مشابه بودند، و درصد پروتئین خام ذرت، کنجاله سویا و گلوتن ذرت به ترتیب ۷/۵، ۴۳ و ۵۵ درصد بود. با توجه به جیره‌ی پایه یکسان، سطوح مواد معدنی (مس، آهن، منگنز و روی تامین شده از اقلام اصلی

[ Downloaded from rap.sanru.ac.ir on 2026-08-03 ]
[ DOI: 10.61882/rap.2025.1842 ]

جیره) برابر بودند. تیمارهای آزمایشی با استفاده از مکمل معدنی مورد استفاده اعمال شدند، شامل ۱) جیره حاوی مکمل معدنی رایج (شاهد)، ۲) جیره حاوی مکمل معدنی نانو ۱۰۰ (دارای ۱۰۰ درصد مقدار توصیه‌شده عناصر مس، آهن، منگنز و روی به فرم نانو) و ۳) جیره حاوی مکمل معدنی نانو ۵۰ (دارای ۵۰ درصد مقدار توصیه‌شده عناصر مس، آهن، منگنز و روی به فرم نانو). مکمل معدنی در تیمارهای مکمل نانو ۱۰۰ و مکمل نانو ۵۰ چهار عنصر (مس، آهن، منگنز و روی) به فرم نانو بود و بقیه عناصر به فرم رایج موجود در بازار استفاده شدند. مقادیر عناصر معدنی در مکمل معدنی، تیمار شاهد و نانو ۱۰۰ برای مس، منگنز، آهن و روی به‌ترتیب (۱۶، ۱۲۰، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) بودند و در تیمار نانو ۵۰ مقادیر عناصر معدنی ذکرشده (۸، ۶۰، ۲۵ و ۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) بودند. اجزای تشکیل‌دهنده و ترکیبات شیمیایی جیره غذایی جوجه‌های گوشتی که بر اساس توصیه راهنمای پرورش جوجه گوشتی آرین (۱۳۹۹) تنظیم شده بود در جدول ۱ آمده‌اند. همچنین، چهار عنصر مس، آهن، منگنز و روی به فرم اکسید، با اندازه ذرات حدود ۳۰ نانومتر و خلوص بالای ۹۹ درصد (بدون آب) مورد استفاده در این پژوهش محصول دانشگاه کاشان، شرکت پرتوپژوهان کاشان بودند.

جدول ۱- ترکیب مواد خوراکی و ترکیب شیمیایی جیره پایه
Table 1. The composition of feed ingredients and the chemical composition of the basal diet

| اجزای تشکیل دهنده (درصد) Ingredients (%) | دوره پرورش Breeding period | | |
|---|---|---|---|
| | 0-14 | 15-28 | 29-42 |
| ذرت Corn | 53.90 | 57.50 | 62.00 |
| کنجاله سویا Soybean meal | 36.00 | 33.90 | 30.50 |
| گلوتن ذرت Corn gluten | 2.90 | 1.50 | 0 |
| روغن سویا Soy oil | 1.80 | 2.20 | 2.85 |
| سنگ آهک Limestone | 1.45 | 1.30 | 1.22 |
| دی‌کلسیم فسفات Di-calcium phosphate | 1.50 | 1.28 | 1.20 |
| نمک طعام Salt | 0.22 | 0.22 | 0.25 |
| بی‌کربنات سدیم Sodium Bicarbonate | 0.25 | 0.25 | 0.17 |
| مکمل ویتامینی[1] Vitamin supplement | 0.25 | 0.25 | 0.25 |
| مکمل مواد معدنی[2] Mineral supplement | 0.25 | 0.25 | 0.25 |
| دی ال- متیونین DL-methionine | 0.25 | 0.22 | 0.200 |
| ال- لیزین هیدروکلراید L-lysine HCL | 0.22 | 0.12 | 0.100 |
| بنتونیت Bentonite | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| فیتاز (FTU ۱۰۰۰۰) Phytase (FTU 10000) | 0.005 | 0.005 | 0.005 |
| ترکیبات شیمیایی (محاسبه‌شده) Chemical compounds (calculated) | | | |
| انرژی قابل متابولیسم (کیلوکالری در کیلوگرم) Metabolizable energy (kcal/kg) | 2930 | 2985 | 3070 |
| پروتئین خام (درصد) Crude protein (%) | 22.30 | 20.70 | 18.50 |
| لیزین قابل هضم (درصد) Digestible lysine (%) | 1.25 | 1.11 | 1.00 |
| متیونین قابل هضم (درصد) Digestible methionine (%) | 0.58 | 0.52 | 0.47 |
| متیونین + سیستین قابل هضم (درصد) Digestible methionine + cysteine (%) | 0.92 | 0.85 | 0.77 |
| کلسیم (درصد) Calcium (%) | 1.09 | 0.99 | 0.91 |
| فسفر قابل دسترس (درصد) Available phosphorous (%) | 0.51 | 0.48 | 0.45 |
| سدیم (درصد) Sodium (%) | 0.17 | 0.17 | 0.17 |
| پتاسیم (درصد) Potassium (%) | 0.88 | 0.85 | 0.78 |
| کلر (درصد) Chlorine (%) | 0.18 | 0.18 | 0.20 |

۱. مکمل ویتامینی به ازای هر کیلوگرم جیره مقادیر ذیل را تأمین نمود: ویتامین A، ۱۱۰۰۰ واحد بین‌المللی؛ ویتامین $D_3$، ۱۸۰۰ واحد بین‌المللی؛ ویتامین E، ۲۵ میلی‌گرم؛ ویتامین $K_3$، ۵ میلی‌گرم؛ ویتامین $B_{12}$، ۱/۶ میلی‌گرم؛ تیامین ۱/۵۳، میلی‌گرم؛ ریبوفلاوین، ۷/۵ میلی‌گرم؛ نیاسین ۳۰، میلی‌گرم؛ پیریدوکسین، ۱/۵۳ میلی‌گرم، بیوتین، ۰/۰۳ میلی‌گرم؛ اسید فولیک، ۱ میلی‌گرم؛ اسید پانتوتنیک، ۱۲/۲۴ میلی‌گرم و اتوکسی‌کوئین، ۰/۱۲۵ میلی‌گرم.

۲. مکمل مواد معدنی به ازای هر کیلوگرم جیره مقادیر ذیل را تأمین نمود: منگنز، ۱۲۰میلی‌گرم، آهن ۵۰ میلی‌گرم، مس، ۱۶ میلی‌گرم، ید، 1.25 میلی‌گرم، سلنیوم ۰/۳ میلی‌گرم، و روی ۱۰۰ میلی‌گرم.

1. The supplied per kg diet: vitamin A 11000 IU, vitamin $D_3$ 1800 IU, vitamin E mg, vitamin $K_3$ 5 mg, vitamin $B_{12}$ 1.6 mg, Thiamine 1.53 mg, Riboflavin 7.5mg, Niacin 30 mg, Pyridoxine 1.53 mg, Biotin 0.03 mg, Folic acid 1 mg, Pantothenic acid 12.24 mg, Ethoxyquin 0.125 mg
2. supplied per kg diet: Mn 120mg, Iron 50 mg, Cu 16 mg, Iodine 1.25 mg, and Se 0.3 mg, Zn 100 mg.

[ Downloaded from rap.sanru.ac.ir on 2026-03-03 ]
[ DOI: 10.61882/rap.2025.1842 ]

## صفات مورد ارزیابی

در پایان هر هفته، وزن‌کشی جوجه‌های هر تکرار به‌صورت گروهی و سه ساعت بعد از قطع دان انجام شد. مقدار خوراک مصرفی هر تکرار نیز به‌طور دوره‌ای اندازه‌گیری شد به‌طوری‌که در ابتدای هر هفته مقدار مشخصی خوراک توزین و در هر تکرار توزیع شد. در پایان هر هفته نیز قبل از وزن‌کشی جوجه‌ها، دان باقی‌مانده در دانخوری‌ها جمع‌آوری و بعد از وزن‌کشی جوجه‌ها توزین شد. داده‌های ضریب تبدیل و مصرف خوراک بر اساس تلفات تصحیح شدند. تلفات به‌صورت روزانه جمع‌آوری، توزین و شمارش و برای به دست آوردن درصد تلفات استفاده شدند. برای محاسبه‌ی درصد ماندگاری از رابطه (۱) استفاده شد:

رابطه (۱)  درصد تلفات − ۱۰۰ = درصد ماندگاری

در سن ۴۲ روزگی دو قطعه پرنده از هر پن که از نظر وزنی به میانگین گروه نزدیک بود، پس از توزین کشتار شدند و اجزای لاشه از جمله سینه، ران، گردن و پشت و بال، چربی حفره بطنی و کل لاشه بدون امعاء و احشاء، به همراه برخی اندام‌ها از جمله قلب و طحال توزین و اوزان آن‌ها نسبت به وزن زنده محاسبه شدند.

## فراسنجه‌های خون

برای بررسی اثرات تیمارهای آزمایشی بر فراسنجه‌های بیوشیمیایی سرم در سن ۴۲ روزگی، تعداد چهار قطعه جوجه سالم از هر تکرار انتخاب و با سرنگ استریل به میزان حدود ۳ میلی‌لیتر از سیاهرگ زیربال خون‌گیری شد. نمونه‌های خون به‌مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق برای جدا شدن سرم از لخته نگه‌داری و سپس سرم به داخل میکروتیوب‌ها ریخته شدند. برای اندازه‌گیری غلظت‌های پروتئین کل، گلوبولین، آلبومین، تری‌گلیسرید، کلسترول، لیپوپروتئین کم‌چگالی (LDL)، و لیپوپروتئین پرچگالی (HDL) از کیت‌های تجاری شرکت پارس آزمون (تهران، ایران) استفاده شد. همچنین، میزان گلوبولین با کم‌کردن آلبومین از پروتئین کل به‌دست آمد.

## نتایج و بحث

اثر تیمارهای آزمایشی بر خوراک مصرفی، وزن بدن و ضریب‌تبدیل غذایی در جدول ۲ ارائه شده است. تاثیر تیمارهای آزمایشی در ۱ تا ۱۴ روزگی معنی‌دار بود ($P < ۰/۰۵$). در دوره ۱ تا ۱۴ روزگی، مقدار خوراک مصرفی تیمارهای مکمل نانو ۱۰۰ و مکمل نانو ۵۰ بیشتر از شاهد بود ($P < ۰/۰۵$)، اما در کل دوره، تیمارهای آزمایشی تاثیر معناداری بر خوراک مصرفی نداشتند ($P > ۰/۰۵$). اثر تیمارهای آزمایشی بر وزن بدن در دوره‌های ۱۴–۱ و ۲۸–۱ روزگی معنی‌دار بود ($P < ۰/۰۵$). وزن بدن در ۱۴ روزگی در تیمار نانو مکمل ۵۰ بالاتر از تیمارهای شاهد و نانو مکمل ۱۰۰ بود، در حالی که در سن ۲۸ روزگی وزن بدن در تیمارهای شاهد و نانو مکمل ۵۰، بالاتر از تیمار نانو مکمل ۱۰۰ بود ($P < ۰/۰۵$). بررسی تیمارهای آزمایشی نشان داد که ضریب تبدیل غذایی در ۱۴–۱ و ۲۸–۱ روزگی در جوجه‌های دریافت‌کننده نانو مکمل ۱۰۰ نامطلوب‌تر از دوتیمار دیگر بود ($P < ۰/۰۵$)، و اثر تیمارهای آزمایشی بر ضریب تبدیل غذایی در کل دوره معنی‌دار نشد. استفاده از فرم نانو مواد معدنی به‌صورت صددرصد مقدار توصیه‌شده موجب کاهش وزن بدن، افزایش ضریب تبدیل غذایی در سنین ۱۴–۱ و ۲۸–۱ روزگی و نیز افزایش مصرف‌خوراک تا سن ۱۴ روزگی شد. اما زمانی‌که فرم نانو ۵۰ درصد مقدار توصیه شده بود، موجب افزایش وزن بدن و بهبود ضریب تبدیل غذایی در دو دوره مذکور شد. اندازه ذرات در فرم نانو در دستگاه گوارش سریع‌تر منتشر و به سلول‌های پوششی روده می‌رسند که به‌دنبال آن سریع‌تر وارد جریان خون می‌گردند (Liao *et al* ., 2010) و بر فرآیندهای متابولیسمی اثرات مثبتی دارند. بنا بر این، افزایش وزن ممکن است به دلیل اثرات مثبت نانوذرات بر هضم و جذب مواد مغذی در دستگاه گوارش و همچنین افزایش زیست‌فراهمی این عناصر در فرم نانو باشد (Hussan *et al*., 2022). همچنین، نویسندگان در این پژوهش بر این باورند که مازاد مواد معدنی می‌تواند اثر معکوس بر فرآیندهای متابولیکی داشته باشد و موجب اختلال در مسیر متابولیسم مواد مغذی گردند. در پژوهش (El-Katcha *et al*., 2017)، گزارش شد که مکمل‌کردن سطوح ۱۵، ۳۰، ۴۵ و ۶۰ میلی‌گرم در کیلوگرم روی به دو فرم آلی و نانو و ۶۰ میلی‌گرم در کیلوگرم به فرم غیر آلی در جیره جوجه‌های گوشتی تأثیری بر خوراک مصرفی پایان دوره نداشت که با نتایج این پژوهش در سن ۴۲ روزگی همخوانی دارد. همچنین الخطیب و همکاران (Alkhtib *et al*., 2020) گزارش کردند که فرم نانو روی موجب افزایش مصرف خوراک در دوره آغازین نسبت به فرم غیر نانو روی شد. تزریق درون تخم مرغی نانوذرات آهن–الیمت (متیونین مایع) بر افزایش وزن جوجه‌ها در ۴۲ روزگی تاثیری نداشت (Saki *et al*., 2014). در مقابل، تزریق کیلات نانو ذرات آهن باعث افزایش وزن و بهبود ضریب‌تبدیل غذایی شد (Fairbrother *et al*., 2005). نتایج برخی از محققان دیگر (Wang *et al*., 2011; Zhou & Wang, 2011) نیز نشان دادند که استفاده از نانو ذرات، اثرات مثبتی بر عملکرد، ضریب تبدیل غذایی و خوراک مصرفی داشت، از جمله این که افزودن نانوذرات آهن به جیره جوجه‌های گوشتی موجب افزایش وزن بدن شد (Sizova *et al*., 2016) که با پژوهش حاضر در دوره ۱–۱۴ روزگی همخوانی دارند. در پژوهشی (El-Katcha *et al*., 2017) نشان داده شد که ضریب تبدیل غذایی در زمان استفاده از فرم نانو نسبت به فرم غیر آلی کمتر شد در حالی که الخطیب و همکاران (Alkhtib *et al*., 2020) گزارش کردند که فرم نانو روی تاثیری بر ضریب تبدیل غذایی نداشت. در پژوهشی دیگر، مکمل‌کردن منگنز به فرم نانو و میکرو به جیره جوجه‌های گوشتی هیچ تاثیری بر خوراک مصرفی، ضریب تبدیل غذایی و افزایش وزن بدن نداشت (Lotfi *et al*., 2014). در آزمایش (Mohamadi *et al*., 2015)، به‌منظور بررسی اثرات کمپلکس مختلف عنصر روی و نانوکمپلکس‌های آن بر عملکرد جوجه‌های گوشتی، ضریب تبدیل غذایی در دوره آغازین، رشد و پایانی تحت تاثیر تیمارهای آزمایشی قرار نگرفت. در مطالعه‌ی دیگر (Jose *et al*., 2018)، با تزریق درون تخم مرغی سولفات روی، نانو روی و نانو متیونین، تاثیری بر افزایش وزن و ضریب تبدیل غذایی مشاهده نشد که با پژوهش حاضر مغایرت دارد. این تفاوت در گزارشات ممکن است به‌دلیل نوع و منبع مواد معدنی استفاده شده در جیره،

[ Downloaded from rap.sanru.ac.ir on 2026-08-03 ]
[ DOI: 10.61882/rap.2025.1842 ]

حضور لیگاندهای جیره‌ای که می‌توانند با مواد معدنی کمپلکس غیر محلول تشکیل دهند و مانع جذب آن‌ها شوند، چگونگی فرآیند و روش نانوکردن مواد، میزان خلوص و کارایی محصول نانو و همچنین روش‌های استفاده از نانومواد معدنی (خوراکی، تزریقی، یا محلول در آب) باشد.

جدول ۲- اثر استفاده از مکمل حاوی نانوذرات چهار ماده معدنی در جیره بر مصرف خوراک، وزن بدن و ضریب تبدیل غذایی جوجه‌های گوشتی در دوره‌های مختلف (گرم/پرنده)

Table 2. The effect of using a supplement containing nanoparticles of four mineral substances in the diet on the feed consumption, body weight, and feed conversation ratio by broiler chickens in different periods (g/birds)

| ضریب تبدیل غذایی FCR | | | وزن بدن Body weight | | | خوراک مصرفی Feed intake | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ۱-۴۲ روزگی 1 to 42 days | ۱-۲۸ روزگی 1 to 28 days | ۱-۱۴روزگی 1 to 14 days | ۱-۴۲ روزگی 1 to 42 days | ۱-۲۸ روزگی 1 to 28 days | ۱-۱۴روزگی 1 to 14 days | ۱-۴۲ روزگی 1 to 42 days | ۱-۲۸ روزگی 1 to 28 days | ۱-۱۴ روزگی 1 to 14 days | تیمار Treatment |
| 1.70 | 1.55[b] | 1.33[b] | 2176.9 | 1125.9[a] | 341.4[b] | 3710.1 | 1745.6 | 445.8[b] | شاهد[۱] Control |
| 1.78 | 1.66[a] | 1.46[a] | 2121.1 | 1047.1[b] | 336.7[b] | 3793.3 | 1785.9 | 494.1[a] | نانو مکمل ۱۰۰[۲] Nano supplement 100 |
| 1.80 | 1.61[b] | 1.37[b] | 2069.1 | 1102[a] | 359.1[a] | 3705.6 | 1777.9 | 492.5[a] | نانو مکمل ۵۰[۳] Nano supplement 50 |
| 0.030 | 0.011 | 0.025 | 27.83 | 6.69 | 2.46 | 45.62 | 15.7 | 9.75 | خطا استاندارد میانگین |
| 0.26 | 0.001 | 0.01 | 0.12 | 0.0001 | 0.001 | 0.35 | 0.38 | 0.04 | سطح معنی‌داری |

تیمار ۱ جیره حاوی مکمل معدنی رایج (شاهد)، تیمار ۲ جیره حاوی مکمل معدنی نانو ۱۰۰ (دارای ۱۰۰ درصد مقدار توصیه‌شده عناصر آهن، مس، روی و منگنز و بقیه عناصر به فرم رایج معدنی)، و تیمار ، جیره حاوی مکمل معدنی نانو ۵۰ (دارای ۵۰ درصد مقدار توصیه‌شده عناصر مس، آهن، روی و منگنز و بقیه عناصر به فرم رایج معدنی) بود.
Treatment 1 a diet containing common mineral supplements (control), treatment 2 a diet containing Nano 100 mineral supplement (with 100% of the recommended amounts of iron, copper, zinc and manganese, and other elements in the common mineral form), and treatment 3 a diet containing Nano 50 mineral supplement (with 50% of the recommended amount of iron, copper, zinc, manganese, and other elements in the common mineral form).

تأثیر تیمارهای آزمایشی بر درصد زنده‌مانی و شاخص تولید در جدول ۳ ارائه شده است. اثر تیمارهای آزمایشی بر درصد زنده‌مانی معنی‌دار ($P < ۰/۰۵$) اما بر شاخص تولید معنی‌دار نبود. جوجه‌های دریافت کننده تیمار نانو مکمل ۱۰۰ در دوره ۱ تا ۳۵ روزگی درصد زنده‌مانی بالاتری نسبت به تیمار شاهد داشتند ولی تفاوت زنده‌مانی آن‌ها با تیمار نانو مکمل ۵۰ معنی‌دار نبود. در دوره ۱ تا ۴۲ روزگی، درصد زنده‌مانی تیمارهای نانو مکمل ۱۰۰ و نانو مکمل ۵۰ بالاتر از تیمار شاهد بود ($P < ۰/۰۵$). در مطالعه حاضر، درصد زنده‌مانی در تیمارهای حاوی فرم نانو در هر دو سطح ۵۰ و ۱۰۰ مقدار توصیه‌شده افزایش یافت. مکمل‌کردن جیره پایه با ۱/۵ و ۰/۷۵ گرم در تن از نانواکسید آهن درصد زنده‌مانی را در ۳۵ و ۴۲ روزگی افزایش داد (Nikonov *et al.,* 2011) که با نتایج پژوهش حاضر همخوانی دارد. احتمالا استفاده از نانوذرات مواد معدنی در جیره جوجه‌های گوشتی به دلایل مختلفی مانند بهبود در جذب و زیست‌فراهمی مواد معدنی، تقویت سیستم ایمنی (Geyra *et al*., 2001; Hudson *et al*., 2004; El-Katcha *et al*., 2017) و کاهش استرس‌های اکسیداتیو (Zhang *et al*., 2002) می‌تواند باعث بهبود درصد زنده‌مانی شود.

جدول ۳- اثر استفاده از مکمل حاوی نانوذرات چهار ماده معدنی در جیره بر درصد زنده‌مانی و شاخص تولید جوجه‌های گوشتی در دوره‌های مختلف

Table 3. The effect of using a supplement containing nanoparticles of four mineral substances in the diet on the percentage of livability and the production index of broiler chickens in different periods

| شاخص تولید | | زنده مانی (درصد) | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| ۴۲ روزگی 42 days | ۳۵ روزگی 35 days | ۱ تا ۴۲ روزگی 1 to 42 days | ۱ تا ۳۵ روزگی 1 to 35 days | ۱ تا ۲۸ روزگی 1 to 28 days | تیمار Treatment |
| 274.3 | 252.6 | 92.22[b] | 93.33[b] | 99.96 | شاهد۱ Control |
| 275.8 | 246.3 | 99.80[a] | 99.80a | 99.87 | نانو مکمل ۱۰۰[۲] Nano supplement 100 |
| 268.4 | 256.4 | 96.67[a] | 96.67ab | 99.98 | نانو مکمل ۵۰[۳] Nano supplement 50 |
| 10.49 | 4.46 | 1.47 | 1.54 | 0.03 | خطای استاندارد میانگین Standard error of mean |
| 0.91 | 0.34 | 0.005 | 0.03 | 0.27 | سطح معنی داری P-Value |

تیمار ۱، جیره حاوی مکمل معدنی رایج (شاهد)، تیمار ۲ جیره حاوی مکمل معدنی نانو ۱۰۰ (دارای ۱۰۰ درصد مقدار توصیه‌شده عناصر آهن، مس، روی و منگنز و بقیه عناصر به فرم رایج معدنی)، و تیمار ۳، جیره حاوی مکمل معدنی نانو ۵۰ (دارای ۵۰ درصد مقدار توصیه‌شده عناصر مس، آهن، روی و منگنز و بقیه عناصر به فرم رایج معدنی) بودند.
Treatment 1 was a diet containing common mineral supplements (control),, treatment 2 a diet containing Nano 100 mineral supplement (with 100% of the recommended amounts of iron, copper, zinc, manganese, and other elements in the common mineral form), and treatment 3 a diet containing Nano 50 mineral supplement (with 50% of the recommended amount of iron, copper, zinc, manganese and other elements in the common mineral form).

تاثیر تیمارهای آزمایشی بر خصوصیات لاشه در جدول ۴ ارائه شده است. تیمارهای آزمایشی بر صفات لاشه، به‌جز چربی حفره بطنی، تاثیر معنی‌داری نداشتند. درصد چربی حفره بطنی در تیمار شاهد بالاتر از تیمار نانو مکمل ۱۰۰ بود ($P < ۰/۰۵$) ولی تفاوت آن‌ها با تیمار نانو مکمل ۵۰ معنی‌دار نبود. در مطالعه (Mohamadi *et al*., 2015)، گزارش شد که خصوصیات لاشه (درصد لاشه، سینه، ران، پشت و گردن، کبد، قلب و طحال)، به‌جز چربی حفره بطنی، تحت تاثیر منابع مختلف روی (اشکال معمولی و نانو) قرار نگرفت. همچنین، بهروز لک (Behroozlak, 2019) گزارش کرد که سطوح ۱ به ۱۳، ۱ به

[ Downloaded from rap.sanru.ac.ir on 2026-08-03 ]
[ DOI: 10.61882/rap.2025.1842 ]

۲۶ و ۱ به ۵۲ منبع نانوآهن نسبت به بهترین سطح منبع معدنی آن تاثیری بر پارامترهای لاشه، به‌جز چربی حفره بطنی، نداشت. در سایر تحقیقات (Ahmadi *et al*., 2013; Sharma *et al*., 2012) نیز نشان داده شد که فرم نانو روی بر پارامترهای لاشه تاثیر معنی‌داری نداشت. مکمل‌کردن ۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم منبع نانومس به جیره نتوانست وزن‌های ران، سینه و قلب را تحت تاثیر قرار دهد (Mroczek-Sosnowska *et al*., 2016). در مطالعات دیگر (Payvastegan *et al*., 2013; Upadhaya *et al*., 2016; Wang *et al*., 2011) نیز گزارش شد که نانومس نتوانست وزن‌های سینه، کبد و قلب را تغییر دهد که با پژوهش حاضر همخوانی دارند. چربی بدن جوجه‌های گوشتی عمدتا در قسمت شکم و بافت‌های زیرپوستی و ماهیچه‌ای ذخیره می‌شود (Mirghelenj *et al*., 2016). تجمع چربی در محوطه بطنی منجر به افزایش هزینه‌های خوراک و کاهش کیفیت محصول نهایی می‌گردد (Assaf *et al*., 2004). امروزه، موفقیت در تولید جوجه‌های گوشتی با بهبود و پیشرفت در رشد و بازده لاشه و کاهش چربی حفره بطنی در ارتباط است (Zerehdaran *et al*., 2004). بنا بر این، کنترل ذخیره چربی در جوجه‌های گوشتی مورد علاقه عموم است و هر گونه کاهش در میزان چربی محوطه بطنی به‌عنوان یک فاکتور مثبت محسوب می‌گردد (Hermier, 1997). مواد معدنی کمیاب مانند منگنز، روی و آهن بر متابولیسم چربی‌ها در انسان و حیوانات تاثیرگذار هستند (*Garcia-Diaz et al*., 2010; Kelishadi *et al*., 2010). بنا بر این، کمبود یا مازاد این ریزمغذی‌های می‌تواند در مسیر متابولیسم لیپیدها اختلال ایجاد کند و منجر به کاهش یا افزایش میزان تجمع چربی در بدن گردد (Zavala *et al*., 2012; Garcia *et al*., 2009).

جدول ۴- اثر استفاده از مکمل حاوی نانوذرات چهار ماده معدنی در جیره بر خصوصیات لاشه جوجه‌های گوشتی در ۴۲ روزگی
Table 4. The effect of using a supplement containing nanoparticles of four mineral substances in the diet on the carcass characteristics of broiler chickens at 42 days of age

| تیمار Treatment | درصد لاشه Carcass percentage | درصد سینه Breast percentage | درصد ران Thigh percentage | درصد پشت، گردن و بال Back, neck and wings Percentage | چربی حفره بطنی Abdominal fat | کبد Liver | قلب Heart | طحال Spleen |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| شاهد۱ CONTROL | 73.05 | 23.61 | 21.16 | 25.73 | 1.88[a] | 2.91 | 0.51 | 0.098 |
| نانو مکمل ۱۰۰[۲] Nano supplement 100 | 74.53 | 19.97 | 20.17 | 23.45 | 0.74[b] | 2.73 | 0.53 | 0.099 |
| نانو مکمل ۵۰[۳] Nano supplement 50 | 76.54 | 21.59 | 21.10 | 22.70 | 1.26[ab] | 2.29 | 0.48 | 0.090 |
| خطای استاندارد میانگین Standard error of mean | 1.82 | 2.31 | 2.07 | 2.60 | 0.30 | 0.30 | 0.10 | 0.03 |
| سطح معنی‌داری P-Value | 0.23 | 0.35 | 0.65 | 0.51 | 0.02 | 0.20 | 0.89 | 0.94 |

تیمار ۱ جیره حاوی مکمل معدنی رایج (شاهد)، تیمار ۲ جیره حاوی مکمل معدنی نانو ۱۰۰ (دارای ۱۰۰ درصد مقدار توصیه‌شده عناصر آهن، مس، روی و منگنز و بقیه عناصر به فرم رایج معدنی)، و تیمار ۳ جیره حاوی مکمل معدنی نانو ۵۰ (دارای ۵۰ درصد مقدار توصیه‌شده عناصر مس، آهن، روی و منگنز و بقیه عناصر به فرم رایج معدنی) بودند.
Treatment 1 was a diet containing common mineral supplements (control), treatment 2 a diet containing Nano 100 mineral supplement (with 100% of the recommended amounts of iron, copper, zinc, manganese, and other elements in the common mineral form), and treatment 3 a diet containing Nano 50 mineral supplement (with 50% of the recommended amounts of iron, copper, zinc, manganese, and other elements in the common mineral form).

جدول ۵- اثر استفاده از مکمل حاوی نانو ذرات چهار ماده معدنی در جیره بر غلظت برخی فراسنجه‌های خونی جوجه‌های گوشتی در ۴۲ روزگی
Table 5. The effect of using a supplement containing nanoparticles of four minerals in the diet on the concentrations of some blood parameters in broiler chickens at 42 days of age

| تیمار Treatment | تری گلیسرید (میلی‌گرم در دسی لیتر) Triglycerides (mg/dL) | کلسترول (میلی‌گرم در دسی لیتر) Cholesterol (mg/dL) | لیپوپروتئین کم چگالی (LDL) (میلی‌گرم در دسی لیتر) Low-density lipoprotein (LDL) mg/dL)) | لیپوپروتئین پرچگالی (HDL) (میلی‌گرم در دسی لیتر) High-density lipoprotein (HDL) mg/dL)) | پروتئین کل (گرم در دسی لیتر) Total protein (g/dc) | آلبومین (گرم در دسی لیتر) Albumin(g/dc) | گلوبولین (گرم در دسی لیتر) Globulin (g/dc) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| شاهد۱ Control | 184[a] | 155.4 | 95.7[b] | 59.7 | 3.50 | 1.70 | 1.80[b] |
| نانو مکمل ۱۰۰[۲] Nano supplement 100 | 104.7[b] | 143.4 | 122.1[a] | 55.9 | 3.00 | 1.55 | 2.13[a] |
| نانو مکمل ۵۰[۳] Nano supplement 50 | 122.7[b] | 193.6 | 87.5[b] | 71.5 | 3.75 | 1.63 | 1.45[b] |
| خطای استاندارد میانگین Standard error of mean. | 17.88 | 19.51 | 10.53 | 6.34 | 0.30 | 0.64 | 0.014 |
| سطح معنی‌داری P-Value | 0.006 | 0.058 | 0.028 | 0.17 | 0.072 | 0.64 | 0.04 |

تیمار ۱ جیره حاوی مکمل معدنی رایج (شاهد)، تیمار ۲ جیره حاوی مکمل معدنی نانو ۱۰۰ (دارای ۱۰۰ درصد مقدار توصیه‌شده عناصر آهن، مس، روی و منگنز و بقیه عناصر به فرم رایج معدنی)، و تیمار ۳ جیره حاوی مکمل معدنی نانو ۵۰ (دارای ۵۰ درصد مقدار توصیه‌شده عناصر مس، آهن، روی و منگنز و بقیه عناصر به فرم رایج معدنی) بودند.
Treatment 1 was a diet containing common mineral supplements (control), treatment 2 a diet containing Nano 100 mineral supplement (with 100% of the recommended amounts of iron, copper, zinc, manganese, and other elements in the common mineral form), and treatment 3 a diet containing Nano 50 mineral supplement (with 50% of the recommended amounts of iron, copper, zinc, manganese, and other elements in the common mineral form).

[ Downloaded from rap.sanru.ac.ir on 2026-03-03 ]
[ DOI: 10.61882/rap.2025.1842 ]

اثر تیمارهای آزمایشی بر فراسنجه‌های خونی در جدول ۵ ارائه شده است. تأثیر تیمارهای آزمایشی بر غلظت‌های تری‌گلیسیرید، لیپوپروتیئن کم‌چگالی و گلوبولین معنی‌دار بود ($P < ۰/۰۵$)، اما سایر فراسنجه‌های خون تحت تأثیر تیمارهای آزمایشی قرار نگرفتند. استفاده از فرم نانو چهار ماده‌معدنی سبب کاهش معنی‌دار غلظت تری‌گلیسرید سرم شد ($P < ۰/۰۵$)، اما این کاهش در مورد لیپوپروتیئن کم‌چگالی و گلوبولین در هنگام استفاده از ۵۰ درصد مقدار توصیه‌شده مواد معدنی و شاهد معنی‌دار شد ($P < ۰/۰۵$). تری‌گلیسیرید، کلسترول، LDL و HDL پارامترهای بیوشیمیایی هستند که وضعیت متابولیسم لیپیدها را منعکس می‌کنند. در این پژوهش، مواد معدنی به فرم نانو ۵۰ درصد توانستند سطوح تری‌گلیسیرید و LDL سرم را کاهش دهند. منگنز و آهن بترتیب نقش مهمی در مسیر متابولیسم اسیدهای چرب با تاثیر بر آنزیم‌های کربوکسیلاز، کینازها و واکنش‌های اکسیداسیون و احیا بر عهده دارند و می‌توانند از طریق مهار فعالیت بیان ۳- هیدروکسی-۳- متیل گلوتاریل کوآنزیم A رودکتاز، تعدیل گیرنده لیپوپروتئین با چگالی کم (LDL) و مهار فعالیت آسیل کوآنزیم-A موجب کاهش LDL شوند. همچنین، آنزیم پروتیئن کیناز فعال (AMPK) یک تنظیم‌کننده مرکزی متابولیسم انرژی است و نقش مهمی در تنظیم متابولیسم چربی دارد (Cordero & Viollet, 2016). در کبد، متابولیسم لیپید از راه AMPK از طریق تنظیم پروتئین تنظیم‌کننده عنصر اتصال دهنده استرول (SREBP-1) عمل می‌کند (Li *et al*., 2011). SREBP-1 یک فاکتور رونویسی کلیدی در بیوسنتز اسیدهای چرب است (Alipour *et al*., 2012) که می‌تواند مستقیماً رونویسی ژن‌های کدکننده اسیدچرب سنتتاز را تحریک و بیان آنزیم‌های درگیر را تعدیل کند (Eberle *et al*., 2004). فعال‌سازی AMPK فعالیت اسیدچرب سنتتاز را از طریق کاهش بیان SREBP-1 کاهش می‌دهد و در نتیجه لیپوژنز را مهار می‌کند (Angin *et al*., 2016). علاوه بر این، فعال‌شدن فسفریلات‌های استیل کوآ کربوکسلاز/ AMPK را نیز مهار می‌کند، باعث کاهش مالونیل-CoA می‌شود و سپس سنتز اسید چرب را مهار می‌کند (Cordero & Violle, 2016) که منجر به کاهش ذخیره چربی در بدن می‌گردد. در پژوهش گذشته (El-Katcha *et al*., 2017) گزارش شد که استفاده از فرم نانوروی بر روی پروتئین، آلبومین و لیپوپروتئین کم‌چگالی تاثیر معنی‌داری نداشت که همسو با نتایج این پژوهش است. اما در همین پژوهش، ۴۵ میلی‌گرم در کیلوگرم روی به فرم نانو میزان کلسترول کل و لیپوپروتئین پرچگالی را نسبت به ۶۰ میلی‌گرم در کیلوگرم روی غیر آلی افزایش داد که مغایر با نتایج پژوهش حاضر است. در مطالعه‌ای دیگر (Mroczek-Sosnowska *et al*., 2013)، نشان داده شد که تزریق ppm ۵۰ نانوذرات مس موجب کاهش معنی‌دار تری‌گلیسرید نسبت به گروه شاهد شد که با پژوهش ما همخوانی دارد. نانوذرات مواد معدنی در دستگاه گوارش به دلیل کاهش اندازه ذرات آن‌ها سریع‌تر جذب می‌شوند، لذا زیست‌فراهمی بالایی دارند (El-Katcha *et al*., 2017) که ممکن است نیاز پرنده به مواد معدنی را کاهش دهد. همچنین، پژوهشگران بر این باورند که اثرات مثبت و مطلوب استفاده از مواد معدنی به فرم نانو به عنوان افزودنی به جیره‌های گوشتی می‌توانند ناشی از عوامل متعددی از جمله غلظت، دوز، اندازه، شکل، سطح فعالیت و توانایی جذب و ماهیت نانوذرات باشند (Wijnhoven *et al*., 2009). لذا، نتایج نشان داد که امکان کاهش ۵۰ درصدی مصرف مواد معدنی (مس، آهن، منگنز و روی) با استفاده از فرم نانو این مواد در جیره جوجه‌های گوشتی وجود دارد.

## References

Ahmadi, F., & Fariba, R. (2010). The effect of different levels of nanosilver on performance and retention silver in edible tissue of broilers. *World Applied Science Journal,* 12(1), 1- 4.

Ahmadi, F., Ebrahimnezhad, Y., Maheri SIS, N., & Ghiasi Ghalehkandi, J. (2013) The effects of zinc oxide nanoparticles on performance, digestive organs and serum lipid concentrations in broiler chickens during starter period. *International Journal of Biosciences (IJB)*, 3(7), 23–29. http://doi.org/10.12692/ijb/3.7.23-29

Aksu, D. S., Aksu, T., Ozsoy, B., & Baytok, E. (2010). The effects of replacing inorganic with a lower level of organically complexed minerals (Cu, Zn and Mn) in broiler diets on lipid peroxidation and antioxidant defense systems. Asian-Australasian *Journal of Animal Sciences*, 23(8), 1066-1072. https://doi.org/10.5713/ajas.2010.90534

Alipour, F., & Hassanabadi, A. (2012). Effects of sterol regulatory element-binding protein (SREBP) in chickens. *Lipids in Health and Disease,* 11(1), 1-7.

Alkhtib, A., Scholey, D., Carter, N., Cave, G. W., Hanafy, B. I., Kempster, S. R., & Burton, E. J. (2020). Bioavailability of methionine-coated zinc nanoparticles as a dietary supplement leads to improved performance and bone strength in broiler chicken production. *Animals,* 10(9), 1482. https://doi.org/10.3390/ani10091482.

Angin, Y., Beauloye, C., Horman, S., & Bertrand, L. (2016). Regulation of carbohydrate metabolism, lipid metabolism, and protein metabolism by AMPK. *AMP-Activated Protein Kinase,* 23-43.

Assaf, S., Lagarrigue, S., Daval, S., Sansom, M., Leclercq, B., Michel, J., Pitel, F., Alizadeh, M., Vignal, A., & Douaire, M. (2004). Genetic linkage and expression analysis of SREBP an lipogenic genes in fat and lean chicken. *Comparative Biochemistry and B-Biochemistry and Molecular Biology*, 13, 433-441. https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2004.02.005

Beard, J., & Han, O. (2009). Systemic iron status. Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-General *Subjects*, 1790(7), 584-588. https://doi.org/10.1016/j.bbagen.2008.09.005.

Behroozlak, M, A. (2019). Effect of different period and sources of dietary iron consumption (inorganic, organic and nano) on meat iron concentration, blood parameters, body antioxidant status and qualitative

[ Downloaded from rap.sanru.ac.ir on 2026-08-03 ]
[ DOI: 10.61882/rap.2025.1842 ]

and quantitative indices of breast meat in broiler chicks. Ph.D. Thesis on Poultry Nutrition, Faculty of Agriculture, Urmia University. [In Persian].

Conrad, M. E., & Umbreit, J. N. (2000). Iron absorption and transport—an update. *American Journal of Hematology*, 64(4), 287-298. https://doi.org/10.1002/1096-8652(200008)64:4<287: AID-AJH9>3.0.CO;2-L.

Cordero, M. D., & Viollet, B. (2016). AMP-activated protein kinase (Vol. 107). Berlin, Germany: Springer.

Eberlé, D., Hegarty, B., Bossard, P., Ferré, P., & Foufelle, F. (2004). SREBP transcription factors: master regulators of lipid homeostasis. *Biochimie*, 86(11), 839-848. https://doi.org/10.1016/j.biochi.2004.09.018.

El-Katcha, M., Soltan, M. A., & El-Badry, M. (2017). Effect of Dietary Replacement of Inorganic Zinc by Organic or Nanoparticles Sources on Growth Performance, Immune Response and Intestinal Histopathology of Broiler Chicken. *Alexandria Journal for Veterinary Sciences,* 55(2), 129.

Fairbrother, J. M., Nadeau, É., & Gyles, C. L. (2005). Escherichia coli in postweaning diarrhea in pigs: an update on bacterial types, pathogenesis, and prevention strategies. *Animal Health Research Reviews*, 6(1), 17-39. https://doi.org/10.1079/AHR2005105

Fathi, M., Haydari, M., & Tanha, T. (2016). Effects of zinc oxide nanoparticles on antioxidant status, serum enzymes activities, biochemical parameters and performance in broiler chickens. *Journal of Livestock Science and Technologies*, 4(2), 7-13.

Garcia-Diaz, D. F., Campion, J., Milagro, F. I., Boque, N., Moreno-Aliaga, M. J., & Martinez, J. A. (2010). Vitamin C inhibits leptin secretion and some glucose/lipid metabolic pathways in primary rat adipocytes. *Journal of Molecular Endocrinology*, 45, 33–43. https://doi.org/10.1677/JME-09-0160.

Geyra, A., Uni, Z., & Sklan, D. (2001). Enterocyte dynamics and mucosal development in the posthatch chick. *Poultry Science,* 80(6), 776-782. https://doi.org/10.1093/ps/80.6.776.

Hermier. D. (1997). Lipoprotein metabolism and fattening in poultry. *Journal of Nutrition*, 127, 805-808. https://doi.org/10.1093/jn/127.5.805S.

Hudson, B. P., Dozier Iii, W. A., Wilson, J. L., Sander, J. E., & Ward, T. L. (2004). Reproductive performance and immune status of caged broiler breeder hens provided diets supplemented with either inorganic or organic sources of zinc from hatching to 65 wk of age. *Journal of Applied Poultry Research,* 13(2), 349-359. https://doi.org/10.1093/japr/13.2.349.

Hussan, F., Krishna, D., Preetam, V. C., Reddy, P. B., & Gurram, S. (2022). Dietary supplementation of nano zinc oxide on performance, carcass, serum and meat quality parameters of commercial broilers. *Biological Trace Element Research*, 200(1), 348-353. https://doi.org/10.1007/s12011-021-02635-z

Jose, N., Elangovan, A. V., Awachat, V. B., Shet, D., Ghosh, J., & David, C. G. (2018). Response of in ovo administration of zinc on egg hatchability and immune response of commercial broiler chicken. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 102(2), 591-595. https://doi.org/10.1111/jpn.12777.

Joshua, P. P., Valli, C., & Balakrishnan, V. (2016). Effect of in ovo supplementation of nano forms of zinc, copper, and selenium on post-hatch performance of broiler chicken. *Veterinary World*, 9(3), 287. doi: 10.14202/vetworld.2016.287-294.

Kechrid, Z., & Bouzerna, N. (2004). Effect of zinc deficiency on zinc and carbohydrate metabolism in genetically diabetic (C57BL/Ksj Db+/Db+) and non-diabetic original strain (C57BL/Ksj) mice. *Turkish Journal of Medical Sciences,* 34(6), 367-373.

Kelishadi, R., Hashemipour, M., Adeli, K., Tavakoli, N., Movahedian-Attar, A., Shapouri, J., Poursafa, P., & Rouzbahani, A. (2010). Effect of zinc supplementation on markers of insulin resistance, oxidative stress, and inflammation among prepubescent children with metabolic syndrome. *Metabolic Syndrome and Related Disorders*, 8, 505–510. https://doi.org/10.1089/met.2010.0020.

Khalid. NA, Ahmed, Bhatti MS., Randhawa, MA., Ahmad. A., & Rafaqat. R., (2014). A question mark on zinc deficiency in 185 million people in Pakistan—possible way out. Critical *Reviews in Food Science and Nutrition*, 54:1222–1240. https://doi.org/10.1080/10408398.2011.630541.

Li, Y. U., Xu, S., Mihaylova, M. M., Zheng, B., Hou, X., Jiang, B., & Zang, M. (2011). AMPK phosphorylates and inhibits SREBP activity to attenuate hepatic steatosis and atherosclerosis in diet-induced insulin-resistant mice. *Cell Metabolism*, 13(4), 376-388. https:// DOI 10.1016/j.cmet.2011.03.009.

Liao, C. D., Hung, W. L., Jan, K. C., Yeh, A. I., Ho, C. T., & Hwang, L. S. (2010). Nano/sub-microsized lignan glycosides from sesame meal exhibit higher transport and absorption efficiency in Caco-2 cell monolayer. *Food Chemistry*, 119(3), 896-902. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.07.056.

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.

Lotfi, L., Zaghari, M., Zeinoddini, S., Shivazad, M., & Davoodi, D. (2014). Comparison dietary nano and micro manganese on broilers performance. In Proceedings of the 5th International Conference on Nanotechnology: *Fundamentals and Applications,* (Vol. 293).

Mahmoud, U. T. (2012). Silver nanoparticles in poultry production. *Journal of Advanced Veterinary Research*, 2(4), 303-306.

[ Downloaded from rap.sanru.ac.ir on 2026-03-03 ]
[ DOI: 10.61882/rap.2025.1842 ]

Marappan, G., Beulah, P., Kumar, R. D., Muthuvel, S., & Govindasamy, P. (2017). Role of nanoparticles in animal and poultry nutrition: modes of action and applications in formulating feed additives and food processing. *International Journal of Pharmacology*, 13(7), 724-731. https://DOI: 10.3923/ijp.2017.724.731

Mirghelenj, S.A., Golian, A., Behroozlak, M. A., & Moradi, S. (2016). Effects of different fat sources in finisher diet of broiler chickens on performance, fat deposition and blood metabolites. *Iranian Journal of Applied Animal Science*, 6, 165-172.

Mohammadi, H., Farzinpour, A., & Vaziry, A. (2017). Reproductive performance of breeder quails fed diets supplemented with L-cysteine-coated iron oxide nanoparticles. *Reproduction in Domestic Animals,* 52(2), 298-304. https://doi.org/10.1111/rda.12902.

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. https://doi.org/10.1080/00071668.2015.1064093.

Mottaghitalab, M., Mirzavandi Chegeni, M., Hhosseini Moghadam, S. H., & Golshekan, M. (2019). Effects of in ovo injection of different manganese sources on performance and tibia characteristics of broilers. *Iranian Journal of Animal Science*, 49(4), 527-534. https://doi 10.22059/ijas.2019.264711.653658

Mroczek-Sosnowska, N. A., Batorska, M. A., Lukasiewicz, M., Wnuk, A. G., Sawosz, E., Jaworski, S. Ł., & Niemiec, J. (2013). Effect of nanoparticles of copper and copper sulfate administered in ovo on hematological and biochemical blood markers of broiler chickens. Annals of Warsaw University of Life Sciences-SGGW. *Animal Science*, (52), 141-149.

Mroczek-Sosnowska, N., Łukasiewicz, M., Wnuk, A., Sawosz, E., Niemiec, J., Skot, A., & Chwalibog, A. (2016). In ovo administration of copper nanoparticles and copper sulfate positively influences chicken performance. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 96(9), 3058-3062. https://doi.org/10.1002/jsfa.7477.

Naz, S., Idris, M., Khalique, M. A., Zia-Ur-Rahman, Alhidary, I. A., Abdelrahman, M. M., & Ahmad, S. (2016). The activity and use of zinc in poultry diets. *World's Poultry Science Journal*, 72(1), 159-167. https://doi.org/10.1017/S0043933915002755.

Nikonov, I. N., Folmanis, Y. G., Folmanis, G. E., Kovalenko, L. V., Laptev, G. Y., Egorov, I. A., and Tananaev, I. G. (2011). Iron nanoparticles as a food additive for poultry. In Doklady *Biological Sciences*, (Vol. 440, No. 1, p. 328). Springer Nature BV. http://DOI: 10.1134/S0012496611050188

Pandav, P. V., & Puranik, P. R. (2015). Trials on metal enriched Spirulina platensis supplementation on poultry growth. *Global Journal of Bio-Science and BioTechnology,* 4, 128-134.

Park, S. Y., Birkhold, S. G., Kubena, L. F., Nisbet, D. J., & Ricke, S. C. (2004). Review on the role of dietary zinc in poultry nutrition, immunity, and reproduction. *Biological Trace Element Research*, 101, 147-163.

Payvastegan, S., Farhoomand, P., & Delfani, N. (2013). Growth performance, organ weights and, blood parameters of broilers fed diets containing graded levels of dietary canola meal and supplemental copper. *The Journal of Poultry Science,* 50(4), 354-363. https://doi.org/10.2141/jpsa.0130006.

Saki, A. A., Abbasinezhad, M., & Rafati, A. A. (2014). Iron nanoparticles and methionine hydroxy analogue chelate in ovo feeding of broiler chickens. *International Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 10(3), 187-196.

Scott, A., Vadalasetty, K. P., Sawosz, E., Łukasiewicz, M., Vadalasetty, R. K. P., Jaworski, S., & Chwalibog, A. (2016). Effect of copper nanoparticles and copper sulphate on metabolic rate and development of broiler embryos. *Animal Feed Science and Technology*, 220, 151-158. https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2016.08.009.

Sharma, V., Anderson, D., & Dhawan, A. (2012). Zinc oxide nanoparticles induce oxidative DNA damage and ROS-triggered mitochondria mediated apoptosis in human liver cells (HepG2). *Apoptosis*, 17, 852-870.

Sizova, E., Miroshnikov, S., Lebedev, S. V., Kudasheva, A., & Ryabov, N. (2016). To the development of innovative mineral additives based on alloy of Fe and Co antagonists as an example. *Agricultural Biology*, 51(4), 553-62. https:// doi: 10.15389/agrobiology.2016.4.553rus.

Sizova, E., Yausheva, E., Kosyan, D., & Miroshnikov, S. (2015). Growth enhancement by intramuscular injection of elemental iron nano-and microparticles. *Modern Applied Science*, 9(10), 17. https:// doi:10.5539/mas. v9n10p17.

Suttle, N. F. (2010). Iron. In: Mineral Nutrition of Livestock, 4th Edition. CABI Publishing, *Wallingford, Oxfordshire,* USA. pp. 334-354.

Tufarelli, V., & Laudadio, V. (2017). Manganese and its role in poultry nutrition: an overview. http:// DOI: 10.18006/2017.5(6).749.754

Underwood, E. J. (1977). Trace elements in human and animal nutrition. 4th Edition. Academic Press, *New York*, San Francisco.

Upadhaya, S. D., Lee, B. R., & Kim, I. H. (2016). Effects of ionised or chelated water-soluble mineral mixture supplementation on growth performance, nutrient digestibility, blood characteristics, meat quality and intestinal microbiota in broilers. *British Poultry Science*, 57(2), 251-256. https://doi.org/10.1080/00071668.2016.1143915.

[ Downloaded from rap.sanru.ac.ir on 2026-03-03 ]
[ DOI: 10.61882/rap.2025.1842 ]

Vadalasetty, K. P., Lauridsen, C., Engberg, R. M., Vadalasetty, R., Kutwin, M., Chwalibog, A., & Sawosz, E. (2018). Influence of silver nanoparticles on growth and health of broiler chickens after infection with Campylobacter jejuni. *BMC Veterinary Research*, 14(1), 1-11. https:// DOI 10.1186/s12917-017-1323-x.

Wang, C., Wang, M. Q., Ye, S. S., Tao, W. J., & Du, Y. J. (2011). Effects of copper-loaded chitosan nanoparticles on growth and immunity in broilers. *Poultry Science*, 90(10), 2223-2228. https://doi.org/10.3382/ps.2011-01511.

Wijnhoven, S. W., Peijnenburg, W. J., Herberts, C. A., Hagens, W. I., Oomen, A. G., Heugens, E. H., & Geertsma, R. E. (2009). Nano-silver–a review of available data and knowledge gaps in human and environmental risk assessment. *Nanotoxicology*, 3(2), 109-138. https://doi.org/10.1080/17435390902725914.

Yan, F., & Waldroup, P. W. (2006). Evaluation of Mintrex® manganese as a source of manganese for young broilers. *International Journal of Poultry Science*, 5(8), 708-713.

Zavala, G., Long, K. Z., García, O. P., del Carmen Caamaño, M., Aguilar, T., Salgado, L. M., & Rosado, J. L. (2013). Specific micronutrient concentrations are associated with inflammatory cytokines in a rural population of Mexican women with a high prevalence of obesity. *British Journal of Nutrition*, 109(4), 686-694. https://doi.org/10.1017/S0007114512001912

Zerehdaran, A., Vereijken, A. L., Van Arendok, J. A., & Van der Waaij, E. H. (2004). Estimation of genetic parameters for fat deposition and carcass traits in broilers. *Poultry Science*, 83, 521-525. https://doi.org/10.1093/ps/83.4.521.

Zhang, J., Yu, C, Li, Z., Li, J., Chen, Y., Wang, T., & Wang, C. (2022). Effects of zinc oxide nanoparticles on growth, intestinal barrier, oxidative status and mineral deposition in 21-day-old broiler chicks. *Biological Trace Element Research*, 200(4), 1826-1834.

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, 361-367.

Zhou, X., & Wang, Y. J. (2011). Influence of dietary nano elemental selenium on growth performance, tissue selenium distribution, meat quality, and glutathione peroxidase activity in Guangxi Yellow chicken. *Poultry Science*, 90(3), 680-686. https://doi.org/10.3382/ps.2010-00977.

[ Downloaded from rap.sanru.ac.ir on 2026-03-03 ]

[ DOI: 10.61882/rap.2025.1842 ]