

The effect of different sources and levels of zinc on the performance and retention of zinc, copper and manganese in laying hens

Ali Afshar Bakeshlo^{1*}, Behnam Ahmadipour², Fariborz Khajali³, Nasrollah Pirany²

1. Ph.D. graduate, Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran

2. Associate Professor, Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran

3. Professor, Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran

*Correspondence Email: eng.aliafshar@yahoo.com

<https://doi.org/10.22067/IJASR.2025.94243.1256>

Introduction:

Mineral supplements are an important component of the diet of laying hens to improve biochemical processes, embryonic development, and bone structure (Leeson, 2005). Micronutrients are involved in the structure of hundreds of proteins and hormones as intermediates in metabolism (Tom Dieck et al., 2003). Nowadays, micronutrients are added to the diet in inorganic form at levels much higher than those recommended by the National Research Council (NRC) (Leeson, 2005; Bao et al., 2007). Research shows that the addition of micronutrients of organic origin increases the bioavailability of the elements and improves performance due to their insoluble nature and organic complexation (Mézes et al., 2012). Consequently, formulating laying hen diets with trace elements from organic sources due to their higher bioavailability is considered a strategy to reduce the excretion of minerals in the animal's feces. However, these sources are significantly more expensive, making them difficult to access for general use and increasing the cost of the feed. Hydroxychloride structure Trace mineral elements have several advantages due to their special crystalline structure (Hawthorne & Sokolova, 2002).

Materials and Methods: This experiment was conducted with 240 laying hens of the Hy-Line strain (W-36) from 40 to 50 weeks of age for 10 weeks in a completely randomized design with 8 treatments in 5 replications and 6 birds per experimental unit. The experimental treatments included: Treatment 1- negative control (without zinc supplementation), treatments 2, 3 and 4, respectively, included the negative control diet with 80, 120 and 160 mg/kg zinc sulfate with a purity of 34%, and treatments 5, 6 and 7, respectively, included the negative control diet with 50, 75 and 100 mg/kg zinc hydroxychloride with the chemical formula $\text{Cl}_2\text{H}_2\text{O}$ ($\text{Zn}_5(\text{OH})_8$) with a purity of 55%, and treatment 8 included the negative control diet with 124 mg/kg zinc-methionine complex with a purity of 22%. The chickens were transferred to 40 metal cages (6 birds per cage) in a completely random manner within the weight range of 1590 ± 25 g. The composition of the basal diet was adjusted based on the guidelines for the (W-36) strain and the age of 40 to 50 weeks according to Table 1. The temperature range of the house was 24 ± 2 °C and the lighting schedule was set to 16 hours of light and 8 hours of darkness throughout the day according to the recommendations of the breeding guidelines.

During the experiment, egg mass produced, laying rate, percentage of defective eggs, and survival rate were measured calculated, and reported for the duration of the experiment.

Serum levels of zinc, copper and manganese concentration of soluble zinc, copper and manganese were measured using an atomic absorption spectrophotometer (Dozier et al., 2003).

Bioavailability (retention of zinc, copper and manganese) To measure the levels of zinc, copper and manganese in the breast muscle, liver and tibia, one chicken was randomly selected from each replicate and slaughtered at the end of the experiment.

The results were analyzed in a completely randomized design. For this purpose, the GLM procedure of SAS software version 9.4 (2015) was used, and Duncan's test at a significance level of 0.05 was used to compare the means.

Results and Discussion: The results of Table 2 show zinc storage in the pectoral muscle showed that with increasing levels of zinc supplementation in the diet, its storage increases linearly. These changes are affected by the bioavailability of its sources and levels. As is also known in the tibia, the storage of zinc is strongly affected by the levels and type of its source. Therefore, the zinc storage index in the tibia is a better criterion for measuring its bioavailability in the body. It was found that with increasing zinc in the diet, the storage level of copper in the pectoral muscle decreased and showed a negative correlation, so that with increasing levels of 160 mg/kg of the sulfate form and 100 mg/kg of the hydroxy form, we see a significant decrease in copper storage in the tissue. The results of this study are in agreement with the findings that state that the level of zinc in the pectoral and tibia muscles depends on the type of source and its levels in the diet, so that with increasing it in the diet, its storage in the tissue increases. This increase in the organic form is due to the specific absorption mechanism of the element chelated with the organic peptide (Afshar Bakeshlo et al., 2024; Hu et al., 2022).

The results of Table 3 show that the survival rate in the flock was not affected by the source and level of zinc in the diet ($P < 0.05$). As is clear from Table 3, egg mass was not affected by the treatments and it seems that the bird tried to compensate for the zinc deficiency by reducing the egg-laying rate in the negative control treatment. Also, the increase in egg mass, due to the biological limitations of the bird, is more affected by the amount of energy and protein in the diet than by the zinc element. In confirmation of these findings, it has been reported that different sources and levels of zinc, copper and manganese do not affect the production rate and egg weight in laying hens (Chen et al., 2022; Domel et al., 2024).

Conclusion: The use of sources with higher bioavailability and longer retention in the bird's body is proposed as a new strategy for enriching animal products. Increasing the amount of zinc with conventional inorganic forms, such as zinc sulfate, can reduce copper absorption and lead to negative biological consequences. On the other hand, the use of an organic source, despite retention, is associated with increased production costs and difficulty in supply. Therefore, it is recommended to use a level of 75 mg/kg of zinc hydroxychloride to improve the zinc storage index in eggs, while also enhancing the biological response of the hens.

اثر منابع و سطوح مختلف عنصر روی بر عملکرد و ابقاء عناصر روی، مس و منگنز در مرغ تخم‌گذار

علی افشار بکش^{۱*}، بهنام احمدی پور^۲، فریبرز خواجعلی^۳، نصراله پیرانی^۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۴/۱۳

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۷/۱۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۸/۲۷

چکیده

با توجه به اهمیت مکمل عنصر روی در متابولیسم پرندگان و مخاطرات زیست محیطی دفع روی در فضولات طیور، توصیه‌هایی مبنی بر استفاده از منابع با زیست‌فراهمی بالاتر صورت می‌پذیرد. این آزمایش به وسیله اشکال مختلف مکمل روی شامل، سطوح مختلف سولفات، هیدروکسی کلرید و کمپلکس آلی روی-متیونین، و تاثیر آن بر شاخص‌های عملکردی و ابقاء عناصر روی، مس و منگنز در مرغ تخم‌گذار، از ۴۰ تا ۵۰ هفتگی انجام شد. پرنده‌ها در قالب طرح کاملاً تصادفی، به ۸ تیمار و ۵ تکرار (۶ پرنده در هر تکرار) تقسیم شد. تیمارهای آزمایشی شامل، تیمار ۱- کنترل منفی (بدون مکمل روی)، تیمار ۲، ۳ و ۴ به ترتیب شامل جیره کنترل منفی به همراه ۸۰، ۱۲۰ و ۱۶۰ میلی‌گرم در کیلوگرم سولفات روی با خلوص ۳۴ درصد، و تیمار ۵، ۶ و ۷ به ترتیب شامل، جیره کنترل منفی به همراه ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ میلی-گرم در کیلوگرم هیدروکسی کلرید روی با فرمول شیمیایی $Zn_5(OH)_8Cl_2.H_{20}$ با خلوص ۵۵ درصد و تیمار ۸ شامل جیره کنترل منفی به همراه ۱۲۴ میلی‌گرم در کیلوگرم کمپلکس روی-متیونین با خلوص ۲۲ درصد بود. یافته‌های این تحقیق نشان داد، افزایش سطح مکمل روی در شکل سولفات سبب کاهش جذب عنصر مس گردید ($P < 0.05$). اما بر جذب منگنز بی‌تاثیر است ($P > 0.05$). نتایج نشان داد افزودن حداقل ۷۵ میلی‌گرم در کیلوگرم عنصر روی به شکل هیدروکسی کلرید بدون تاثیر منفی بر جذب مس و منگنز می‌تواند سبب بهبود ابقاء عنصر روی در زرده، کبد، درشتنی و افزایش نرخ تخم‌گذاری گردد ($P < 0.05$). همچنین توصیه می‌شود سطح مکمل روی در جیره با توجه به میزان خلوص منبع و زیست‌فراهمی آن مورد تعدیل و بازنگری قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: روی، مرغ تخم‌گذار، مس، منگنز، هیدروکسی کلرید

مقدمه

مکمل عناصر معدنی به عنوان جزء مهم جیره مرغ تخم‌گذار برای بهبود فرایندهای بیوشیمیایی، رشد جنینی و همچنین تکمیل ساختار استخوانی به خوراک اضافه می‌شود (Leeson, 2005). عناصر معدنی کم‌نیاز در ساختار صدها پروتئین و هورمون به عنوان متابولیسم واسطه نقش ایفا می‌کنند (Tom Dieck et al., 2003). امروزه مواد معدنی کم‌نیاز به شکل غیرآلی با سطح بسیار بالاتری از میزان توصیه شده انجمن تحقیقات بین‌المللی ایالات متحده (NRC) به جیره اضافه می‌گردد (Leeson, 2005). کمبود مواد معدنی به خصوص روی، مس و منگنز در کاهش عملکرد کمی و کیفی، رشد جنین و نقص ساختار اسکلتی به وضوح قابل مشاهده است (Araújo et al., 2019). یک سیستم اسکلتی قوی به طور قابل توجهی بر کیفیت پوسته تخم‌مرغ تأثیر می‌گذارد، تقریباً ۴۰ درصد کلسیم مورد نیاز ساخت پوسته توسط سیستم اسکلتی تامین می‌شود (Elaroussi et al., 1994). کیفیت پوسته تخم‌مرغ یک نگرانی جدی در صنعت مرغ تخم‌گذار است، به طوری که حدود ۱۵ درصد از تخم‌مرغ‌های تولید شده در مرغداری‌ها به دلیل شکستگی از بین می‌روند که منجر به خسارات اقتصادی قابل توجهی می‌شود (Akbari Moghaddam Kakhki et al., 2024). مواد معدنی کم‌نیاز مانند مس، منگنز و روی نقش مهمی در تولید تخم‌مرغ و عملکردهای فیزیولوژیکی طیور دارند. مواد

- ۱۳۴ معدنی به عنوان اجزای سازنده متالوآزمیمها در تشکیل غشاء و پوسته تخم مرغ نقش ایفا می کنند (Mabe et al., 2003).
- ۱۳۵ گزارش شده افزایش یکی از منابع معدنی کم نیاز بر میزان جذب سایر منابع اثر بازدارنده دارد (Domel et al., 2024).
- ۱۳۶ منابع معدنی با منشاء آلی می توانند به به جای منابع معدنی با منشاء غیر آلی در جیره جایگزین شوند. مواد معدنی با منشاء آلی نسبت به منابع غیر آلی به وسیله محافظت توسط لیگاند مربوط خود از نواحی اسیدی دستگاه گوارش طیور به شکل محافظت شده عبور کرده و در روده به نواحی جذب می رسند (Bao et al., 2007). تحقیقات نشان می دهد اضافه کردن مواد معدنی کم نیاز با منشاء آلی سبب افزایش میزان زیست فراهمی عناصر و بهبود عملکرد به دلیل نامحلول بودن و جذب بیشتر می گردد (Mézes et al., 2012). در نتیجه، فرموله کردن جیره مرغ تخم گذار با عناصر کم نیاز با منشاء آلی به دلیل زیست فراهمی بالاتر به عنوان یک استراتژی برای کاهش دفع مواد معدنی در مدفوع حیوان مورد توجه قرار دارد. با این حال، این منابع به طور قابل توجهی گران تر بوده و دسترسی برای کاربرد عمومی را سخت و قیمت تمام شده خوراک را افزایش می دهد.
- ۱۴۳ ساختار هیدروکسی کلرید عناصر معدنی کم نیاز به دلیل ساختار ویژه کریستالی دارای مزایای مختلفی می باشند (Hawthorne & Sokolova, 2002). پیوندهای کووالانسی قوی بین گروه های هیدروکسی و یون های کلرید منجر به یک ساختار مولکولی کریستالی می شود (Nguyen et al., 2020). این ساختار مولکولی منحصر به فرد آزادسازی تدریجی مواد معدنی را در طی فرآیند گوارش تسهیل می کند و منجر به جذب کارآمدتر و در نتیجه کاهش دفع عناصر می شود (M'Sadeq et al., 2018). یکی از عوامل کلیدی موثر در افزایش اثربخشی منابع هیدروکسی کلرید این است که تنها مقدار حداقلی از این مواد معدنی در آب حل می شود در حالی که می توانند در شرایط اسیدی به حلالیت کامل برسند (Pang & Applegate, 2006). بعلاوه، گزارش شده است که مواد معدنی به شکل هیدروکسی کلرید با ترکیبات غذایی متصل نمی شوند و تشکیل کمپلکس های غیرقابل هضم را کاهش می دهند (Jiang et al., 2021). با توجه به گزارشات و تحقیقات متنوع قبلی در زمینه مواد معدنی کم نیاز، هدف این پژوهش بررسی اثر بازدارندگی منابع و سطوح مختلف عنصر روی بر جذب و ابقاء عناصر مس و منگنز در مرغ تخم گذار بود.
- ۱۵۳
- ۱۵۴
- ۱۵۵ مواد و روش ها
- ۱۵۶ این آزمایش با ۲۴۰ قطعه مرغ تخم گذار های لاین سویه (W-۳۶) از ۴۰ تا ۵۰ هفتگی به مدت ۱۰ هفته در یک طرح کاملاً تصادفی با ۸ تیمار در ۵ تکرار و ۶ پرنده در هر واحد آزمایشی انجام شد. سطوح مکمل روی در هر گروه آزمایشی بر اساس میزان خلوص منبع و توجه به سطح توصیه راهنمای پرورش (۸۰ میلی گرم در کیلو گرم شکل سولفات) محاسبه گردید. سطح روی در جیره پایه ۳۰ میلی گرم در کیلو گرم بود. گروه های آزمایشی برای مقایسه منابع آلی (کیلات روی - متیونین) و غیر آلی (سولفات، و نمک هیدروکسی) روی شامل، تیمار ۱ - کنترل منفی (بدون مکمل روی)، تیمارهای ۲، ۳ و ۴ به ترتیب شامل جیره کنترل منفی به همراه ۸۰، ۱۲۰ و ۱۶۰ میلی گرم در کیلو گرم سولفات روی با خلوص ۳۴ درصد، و تیمارهای ۵، ۶ و ۷ به ترتیب شامل، جیره کنترل منفی به همراه ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ میلی گرم در کیلو گرم هیدروکسی کلرید روی $Zn_5(OH)_8Cl_2 \cdot H_2O$ با خلوص ۵۵ درصد بود. تیمار ۸ شامل جیره کنترل منفی به همراه ۱۲۴ میلی گرم در کیلو گرم کمپلکس روی - متیونین با خلوص ۲۲ درصد بود. مقادیر خالص عنصر روی در جیره شامل: تیمار ۱ جیره کنترل منفی (۳۰ میلی گرم در کیلو گرم)، تیمار ۲، ۵ و ۸ حاوی ۵۷/۲ میلی گرم در کیلو گرم، تیمار ۳ و ۶ حاوی ۷۰/۸ میلی گرم در کیلو گرم و تیمار ۴ و ۷ حاوی ۸۴/۴ میلی گرم در کیلو گرم بود. مرغ ها در محدوده وزنی 159.0 ± 25 g به صورت کاملاً تصادفی به ۴۰ قفس فلزی (۶ پرنده در هر قفس) منتقل شدند. تکرار ها بصورت تصادفی در سه طبقه جانمایی گردید. به منظور سازگاری پرندگان با قفس ها و تخلیه ذخایر روی، یک دوره عادت
- ۱۶۸

۱۶۹ پذیرى دو هفته پيش از شروع دوره آزمون اجرا گرديد. در اين دوره پرندگان با جيره پايه كه مكمل معدنى آن فاقد
 ۱۷۰ عنصر روى بود (شاهد) تغذيه شده‌اند. تركيب جيره پايه بر اساس راهنماى سويهى (W-۳۶) و براى سن ۴۰ تا ۵۰
 ۱۷۱ هفتگى براساس جدول شماره ۱ تنظيم گرديد. محدوده دماى سالن 24 ± 2 درجه سانتى‌گراد بود و برنامه نوردهى ۱۶
 ۱۷۲ ساعت روشنائى و ۸ ساعت خاموشى درطول شبانه روز بر اساس توصيه راهنماى پرورش تنظيم شد. غلظت عنصر روى
 ۱۷۳ در منابع آلى و غيرآلى و هيدروكسى مورد استفاده در اين آزمون بوسيله روش طيف سنجى جذب اتمى تعيين گرديد
 ۱۷۴ (AOAC, 1990).

۱۷۵ پارامترهاى عملکردى
 ۱۷۶ در طى آزمون، ميانگين توده تخم‌مرغ توليدى، نرخ تخم‌گذارى، درصد تخم‌مرغ معيوب و نرخ زنده‌مانى (درصد بقا) به
 ۱۷۷ شكل هفتگى اندازه‌گيرى و ميانگين آن در طول دوره گزارش گرديد. (Farzinpour et al., 2025).
 ۱۷۸

۱۷۹ **ميانگين وزن تخم مرغ $\times$ درصد توليد تخم مرغ = وزن توده مرغ**

$$100 \times \frac{\text{تعداد تخم مرغ طول دوره}}{\text{ميانگين تعداد پرنده زنده}} = \text{ميانگين نرخ تخم‌گذارى (درصد)}$$

 ۱۸۰

۱۸۱
$$100 \times \frac{\text{تعداد تخم مرغ شكسته (معيوب)}}{\text{تعداد كل تخم مرغ توليدى}} = \text{تخم مرغ شكسته - معيوب (درصد)}$$

۱۸۲
$$100 \times \frac{\text{ميانگين تعداد پرنده زنده در پايان هفته}}{\text{ميانگين تعداد پرنده زنده شروع هفته}} = \text{درصد زنده مانى}$$

 ۱۸۳

۱۸۴ سطوح عناصر روى، مس و منگنز در سرم خون
 ۱۸۵ در روز آخر آزمون، از هر تكرر ۳ قطعه مرغ به صورت تصادفى انتخاب و از سياه‌رگ زير بال خونگيرى بعمل آمد.
 ۱۸۶ نمونه‌هاى سرم خون جمع‌آورى و تا زمان آزمون‌هاى سروزوئيكى در دماى -18 درجه سانتى‌گراد نگهدارى شد. براى
 ۱۸۷ اندازه‌گيرى ميزان عناصر روى، مس و منگنز در سرم، ابتدا ۲ ميللى ليتر نمونه سرم با ۴ ميللى ليتر اسيد نيتريك براى
 ۱۸۸ ايجاد خاكستر تر مخلوط شده سپس عمليات تبخير انجام شد. سپس غلظت عناصر روى، مس و منگنز محلول با
 ۱۸۹ استفاده از دستگاه اسپكتروفتمتر جذب اتمى اندازه‌گيرى شد (Dozier et al., 2003).
 ۱۹۰

۱۹۰ زيست فراهمى (ابقاء عناصر روى، مس و منگنز)
 ۱۹۱ براى اندازه‌گيرى مقدار عناصر روى، مس و منگنز درعضله سينه، كبد و استخوان درشت‌نى، در پايان آزمون از هر
 ۱۹۲ تكرر يك قطعه مرغ به طور تصادفى انتخاب و كشتار گرديد. نمونه كبد با وزن مساوى از دو لب كبد و استخوان
 ۱۹۳ درشت‌نى پاى راست جدا و پس از جدا كردن رطوبت و چربى، در كوره سوزانده و ميزان روى، مس و منگنز آن به
 ۱۹۴ وسيله دستگاه Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectroscopy (ICP-OES Analysis)
 ۱۹۵ مورد سنجش قرار گرفت. دستگاه ICP از تكنيك طيف سنجى نشرى استفاده مى‌نمايد و به اين واقعيت تكيه دارد كه
 ۱۹۶ الكترون‌هاى برانگيخته در طول موج تابيده شده انرژى از خود ساطع مى‌كنند. اين برانگيختگى در دستگاه ICP
 ۱۹۷ توسط پلاسمائى داغ آرگون انجام مى‌شود. ميزان شدت انرژى تائيد شده در يك طول موج خاص نسبت مستقيم با
 ۱۹۸ غلظت حضور آن عنصر در نمونه مورد آناليز دارد. با تعيين اينكه کدام عنصر در حال نشر در چه طول موجى است و با
 ۱۹۹ اندازه‌گيرى شدت آن مقدار موجود در نمونه اندازه‌گيرى مى‌شود. براى آماده‌سازى نمونه‌ها، ابتدا نمونه‌ها در اسيد

- ۲۰۰ هضم و سپس برای اندازه‌گیری مقدار عناصر از دستگاه ICP-OES Analyzer SPECTRO ARCOS ساخت
- ۲۰۱ کشور آلمان استفاده گردید. (Kumaravel & Alagusundaram, 2014).
- ۲۰۲ ذخیره روی، مس و منگنز در زرده و پوسته سخت تخم‌مرغ
- ۲۰۳ در پایان آزمایش از هر تکرار سه عدد تخم‌مرغ به طور تصادفی انتخاب، سفیده از زرده جدا شد. زرده پس از خشک
- ۲۰۴ شدن به وسیله تیزآب سلطانی و اسید کلریدریک هضم و غلظت عنصر روی، مس و منگنز بوسیله روش (ICP-OES
- ۲۰۵ Analysis) مطابق با دستورالعمل‌های معمول اندازه‌گیری شد. با روش فوق، اندازه‌گیری عناصر روی، مس و منگنز از
- ۲۰۶ کل پوسته سخت تخم‌مرغ‌ها انجام گرفت (Kumaravel & Alagusundaram, 2014).
- ۲۰۷ آنالیز آماری
- ۲۰۸ نتایج بدست آمده در قالب طرح کاملاً تصادفی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. بدین منظور از رویه GLM نرم افزار
- ۲۰۹ SAS 9.4 نسخه (۲۰۱۵) و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون دانکن در سطح معنی‌دار ۰/۰۵ استفاده شد. برای رسم
- ۲۱۰ معادله رگرسیونی، ابتدا داده‌ها را در یک نمودار پراکنش (scatter plot) رسم و سپس با استفاده از نرم‌افزار اکسل خط
- ۲۱۱ رگرسیون را روی نمودار پراکنش ترسیم و معادله آن درج گردید. این خط نشان‌دهنده بهترین برازش خطی است که
- ۲۱۲ داده‌ها را توصیف می‌کند.

جدول ۱- اجزا و ترکیبات جیره پایه

TABLE 1- Ingredient and calculated analysis of basal diet

Ingredient / ماده خوراکی	% / درصد
ذرت	54.44
Corn grain	
کنجاله سویا	
Soybean meal 43%	22.58
گندم	
Wheat grain	4
کربنات کلسیم	
Limestone	10.16
روغن سویا	
soybean oil	3.47
سبوس گندم	
Wheat bran	2.7
دی کلسیم فسفات	
Dicalcium phosphate	1.54
نمک طعام	
Common salt (NaCl)	0.39
مکمل ویتامینی	
Vitamin premix *	0.25
مکمل معدنی	
mineral premix**	0.25
دی ال - متیونین	
DL-methionine	0.14
لازین	
Lysine	0.08
آنالیز شیمیایی / Calculated analysis	
انرژی متابولیسمی (کیلوکالری در کیلوگرم)	2835
ME (Kcal/kg)	
پروتئین خام (درصد)	
CP (%)	15.90
کلسیم (درصد)	
Calcium (%)	4.35

فسفر در دسترس (درصد)	
Available phosphorus (%)	0.45
سدیم (درصد)	
Na (%)	0.18
متیونین (درصد)	
Methionine (%)	0.38
متیونین - سیستئین (درصد)	
Met+cys (%)	0.65
لازین (درصد)	
Lysine (%)	0.80
آرژینین (درصد)	
Arginine (%)	0.90
ترئونین (درصد)	
Threonine (%)	0.58
روی (میلی گرم در کیلوگرم)	
Zinc (mg/kg)	30

*Vitamin supplement composition for each kilogram of ration includes 3,000,000 international units of vitamin A, 1,300,000 international units of vitamin D3, 750 international units of vitamin E, 980 mg of B12, 5 mg of vitamin K, 2000 mg riboflavin, 3000 mg niacin, 4 g choline chloride, 250 mg biotin, 3 mg thiamine, and 4 mg pyridoxine. ** Mineral supplement composition for each kilogram of basic ration includes 75 mg of manganese, 75 mg of iron, 5 mg of copper, 0.76 mg of iodine, and 0.1 mg of selenium. Zinc supplement in different forms (organic and inorganic) was added to the diet of the control group in the amounts tested. The net zinc levels in the diet were as follows: T1 (30 mg/kg diet), T2, T5, and T8 contained 57.2 mg/kg, T3 and T6 contained 70.8 mg/kg, and T4 and T7 contained 84.4 mg/kg.

ترکیب مکمل ویتامینه برای هر کیلوگرم جیره شامل: ۳۲۰۰۰۰ واحد بین المللی ویتامین A، ۱۳۲۰۰۰۰ واحد بین المللی ویتامین D3، ۸۰۰ واحد بین المللی ویتامین E، ۹۸۲ میلی گرم B12، ۵ میلی گرم ویتامین K، ۲۲۰۰ میلی گرم ریبوفلاوین، ۳۲۰۰ میلی گرم نیاسین، ۴۰۰ میلی گرم کولین کلراید، ۲۵۰ میلی گرم بیوتین، ۳ میلی گرم تیامین، ۴ میلی گرم پیریدوکسین. ** ترکیب مکمل معدنی برای هر کیلوگرم جیره پایه شامل: ۷۵ میلی گرم منگنز، ۷۵ میلی گرم آهن، ۵ میلی گرم مس، ۰/۸۰ میلی گرم ید، ۰/۳۰ میلی گرم سلنیوم. مکمل روی به اشکال مختلف (آلی و غیرآلی) در مقادیر مورد آزمایش به جیره غذایی گروه کنترل منفی اضافه شد. مقادیر خالص روی در جیره شامل: تیمار T1 جیره کنترل منفی (۳۰ میلی گرم در کیلوگرم، تیمار T2، T5 و T8 حاوی ۵۷/۲ میلی گرم در کیلوگرم، تیمار T3 و T6 حاوی ۷۰/۸ میلی گرم در کیلوگرم و تیمار T4 و T7 حاوی ۸۴/۴ میلی گرم در کیلوگرم است.

نتایج و بحث

پارامترهای عملکرد کمی

توده تخم مرغ و تولید گله

نتایج گزارش شده در جدول شماره ۲ نشان می دهد سطوح و منابع عنصر روی تاثیر معنی داری بر توده تخم مرغ نداشت ($P>0/05$). جدول شماره ۲ نشان می دهد شکل آلی عنصر روی در مقایسه با سطح مشابه با اشکال سولفات دارای تفاوت معنی داری در عملکرد می باشد ($P<0/05$). یافته نشان می دهند کمترین نرخ تخم گذاری مربوط به تیمار کنترل منفی است و مکمل کردن روی با منابع و سطوح مختلف سبب افزایش نرخ تخم گذاری شد.

درصد تخم مرغ های شکسته و معیوب

همانطور که در جدول ۲ گزارش گردیده مکمل کردن خوراک با عنصر روی تاثیر معنی داری بر میزان درصد تخم مرغ های شکسته در تیمارها دارد ($P<0/05$). بطوری که در تیمار کنترل منفی نرخ شکستگی و تخم مرغ معیوب به شکل معنی داری افزایش نشان می دهد. همچنین تیمار حاوی ۱۶۰ میلی گرم در کیلوگرم مکمل سولفات روی عملکردی همچون تیمار کنترل منفی داشت. کمترین نرخ شکستگی تخم مرغ مربوط به تیمار حاوی ۷۵ و ۱۰۰ میلی گرم در کیلوگرم هیدروکسی کلرید روی و همچنین کمپلکس آلی روی بود ($P<0/05$). معادله رگرسیونی در نمودار شماره ۱ نشان می دهد افزایش سطوح مکمل سولفات روی سبب افزایش تخم مرغ معیوب می گردد ($P<0/05$) در حالی که در مورد سطوح مختلف مکمل هیدروکسی کلرید روی این تفاوت معنی دار نیست ($P>0/05$).

نرخ بقاء در گله

۲۴۵ نتایج جدول شماره ۲ نشان می‌دهد نرخ بقاء در گله تحت تاثیر منبع و سطح روی در جیره قرار نگرقت ($P > 0.05$).
 ۲۴۶ همانطور که در جدول شماره ۲ مشخص است توده تخم‌مرغ تحت تاثیر تیمارها قرار نگرقت و به نظر می‌رسد پرنده با
 ۲۴۷ کاهش نرخ تخم‌گذاری در تیمار کنترل منفی سعی در جبران کمبود عنصر روی داشته است. همچنین افزایش توده
 ۲۴۸ تخم‌مرغ با توجه به محدودیت‌های بیولوژیکی پرنده بیش از آن که تحت تاثیر عنصر روی باشد از میزان انرژی و
 ۲۴۹ پروتئین جیره تاثیر می‌پذیرد. در تائید این یافته‌ها گزارش شده است، منابع و سطوح مختلف عناصر روی، مس و منگنز
 ۲۵۰ بر میزان تولید و وزن تخم‌مرغ در مرغان تخم‌گذار بی‌تاثیر است (Chen et al., 2022; Domel et al., 2024).
 ۲۵۱ چنانکه مشخص است افزایش میزان تخم‌مرغ‌های معیوب و شکسته در تیمار کنترل منفی و تیمار حاوی مقادیر ۱۶۰
 ۲۵۲ میلی‌گرم در کیلوگرم شکل سولفات روی مشهود است. همچنین در تیمارهای حاوی ۷۵ و ۱۰۰ میلی‌گرم
 ۲۵۳ هیدروکسی کلرید روی و تیمار حاوی منبع آلی مکمل کاهش شکستگی را شاهد هستیم. کمبود عنصر روی در تیمار
 ۲۵۴ کنترل منفی و همچنین افزایش میزان سولفات روی در تیمار حاوی ۱۶۰ میلی‌گرم در کیلوگرم از طریق اثر آنتاگونیستی
 ۲۵۵ در جذب سایر کاتیون‌های دو ظرفیتی عناصر معدنی سبب اختلال در روند ساخت پوسته شده‌اند. به نظر می‌رسد منبع
 ۲۵۶ هیدروکسی روی با مسیر جذبی متفاوت از عناصر غیرآلی در دستگاه گوارش این اثر آنتاگونیستی را ایجاد نکرده است.
 ۲۵۷ در نهایت بهبود کیفیت پوسته با افزایش مقاومت ناشی از بهبود وضعیت کلسیفیکاسیون بر روی ماتریس پوسته
 ۲۵۸ تخم‌مرغ می‌باشد.
 ۲۵۹ بطور کلی عناصر روی و منگنز استفاده از کلسیم را در مرغان تخم‌گذار افزایش داده و مؤلفه‌های کیفی مقاومت پوسته
 ۲۶۰ را بهبود می‌بخشد (Mabe et al., 2003). کمبود عنصر روی از طریق ایجاد ممانعت از فعالیت آنزیم کربونیک
 ۲۶۱ آنهیدراز، سبب کاهش یون بی کربنات و در نتیجه افزایش میزان تخم‌مرغ‌های بدون پوسته یا با پوسته شکسته و
 ۲۶۲ معیوب می‌گردد (Mabe et al., 2003; Nys et al., 2001). نتایج گزارش شده مؤید یافته‌های مورنگ و همکاران
 ۲۶۳ بود که بیان کردند اضافه کردن مکمل عنصر روی با منشأ آلی، سبب بهبود شاخص‌های کیفی پوسته می‌شود
 ۲۶۴ (Moreng et al., 1992). همانطور که در جدول شماره ۲ مشخص است نرخ ماندگاری در گله تحت تاثیر تیمارهای
 ۲۶۵ مختلف قرار نگرقت. به نظر می‌رسد بروز تلفات حاصل از کمبود عنصر روی به مدت زمان بیشتری از محرومیت از این
 ۲۶۶ عنصر نیاز دارد. با افزایش سن توانایی جذب مواد معدنی در دستگاه گوارش کاهش یافته و از سوی دیگر نیاز به عنصر
 ۲۶۷ روی با افزایش اندازه تخم‌مرغ افزایش می‌یابد انتظار می‌رود به دلیل کاهش ذخیره عنصر روی در بافت استخوانی
 ۲۶۸ کنترل منفی تفاوت بین تیمارها باشیم. در راستای این یافته‌ها، هادسون و همکاران بیان داشتند عنصر روی از طریق
 ۲۶۹ بهبود در سیستم ایمنی و کاهش تنش‌های اکسیداتیو سبب افزایش نرخ زنده‌مانی در جوجه‌های گوشتی گردید
 ۲۷۰ (Hudson et al., 2004).
 ۲۷۱ با توجه به نقش متابولیسمی روی در بدن و مخاطرات زیست محیطی دفع روی در فضولات طیور، توصیه‌های مبنی بر
 ۲۷۲ استفاده از منابع با زیست‌فراهمی بالاتر صورت می‌پذیرد. از طرفی دیگر سبک زندگی مدرن یک عامل تشدید کننده در
 ۲۷۳ کاهش دسترسی به این عنصر است.

جدول ۲- اثر منابع و سطوح مختلف عنصر روی بر عملکرد کمی مرغ تخم‌گذار

TABLE 2- The effect of different sources and levels of zinc on the quantitative performance of laying hens

متغیر Parameter تیمار Treatment	توده تخم‌مرغ (گرم/مرغ/ روز) Egg mass (g/hen/day)	نرخ تخم‌گذاری (درصد) Laying rate (%)	تخم‌مرغ معیوب (درصد) Broken eggs (%)	نرخ زنده‌مانی (درصد) Durability (%)
T1	56.25	87.22 ^b	1.56 ^c	91
T2	55.17	91.23 ^a	0.84 ^{bc}	94

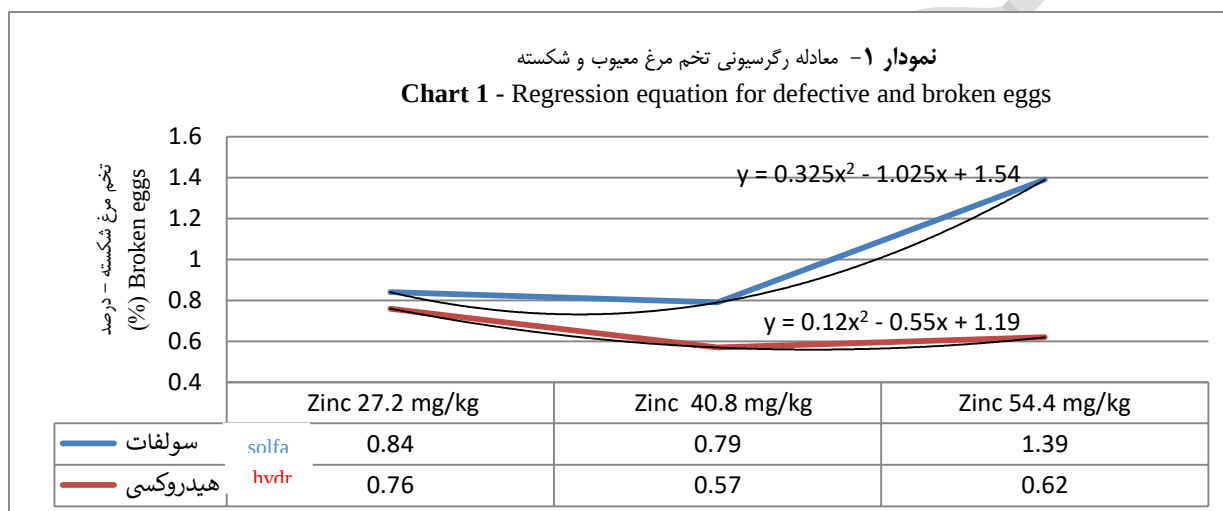
T3	56.58	92.64 ^a	0.79 ^b	97
T4	56.48	90.50 ^a	1.39 ^c	94
T5	56.93	91.71 ^a	0.76 ^b	97
T6	58.69	92.39 ^a	0.57 ^a	94
T7	57.28	92.61 ^a	0.62 ^a	97
T8	56.87	91.74 ^a	0.65 ^a	97
SEM	0.726	0.24	0.039	0.35
P-VAIUE	0.0576	0.0082	0.0357	0.7684

تیمارهای آزمایشی شامل، ۱- کنترل منفی (بدون مکمل روی)، تیمار ۲، ۳ و ۴ به ترتیب شامل جیره کنترل منفی + ۸۰، ۱۲۰ و ۱۶۰ میلی گرم در کیلوگرم سولفات، تیمار ۵، ۶ و ۷ به ترتیب شامل- جیره کنترل منفی + ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ میلی گرم در کیلوگرم هیدروکسی کلراید روی و تیمار ۸ شامل جیره شاهد + ۱۲۴ میلی گرم در کیلوگرم کمپلکس روی- متیونین است. در هر ستون میانگین‌ها با حروف مشترک تفاوت معنی دار ندارند ($P>0.05$). خطای استاندارد میانگین: SEM

The experimental treatments included: T1- negative control (without zinc supplementation), treatments T2, T3 and T4, respectively, included negative control diet + 80, 120 and 160 mg/kg zinc sulfate, and treatments T5, T6 and T7, respectively, included negative control diet + 50, 75 and 100 mg/kg hydroxychloride, and T8, including negative control diet + 124 mg/kg zinc-methionine complex

a,b,c: Within columns, mean values with common superscript (s) are not different ($P>0.05$). Standard error of the mean (SEM)

۲۷۷
۲۷۸
۲۷۹
۲۸۰
۲۸۱
۲۸۲
۲۸۳
۲۸۴
۲۸۵



۲۸۶
۲۸۷

ابقاء عناصر روی، مس و منگنز در ماهیچه سینه

نتایج مربوط به ابقاء عناصر روی، مس و منگنز در ماهیچه سینه در جدول شماره ۳ گزارش شده است. همانطور که مشخص است سطوح و منابع مختلف عنصر روی بر ذخیره آن و عنصر مس تاثیر معنی داری دارد ($P<0.05$). ولی سطح عنصر منگنز تحت تاثیر تیمارها قرار نگرفت ($P>0.05$). بیشترین سطح ذخیره روی مربوط تیمار به ۱۰۰ میلی گرم در کیلوگرم هیدروکسی کلراید و تیمار آلی روی- متیونین بود. افزودن سطوح مختلف سولفات روی سبب کاهش سطح ذخیره مس در ماهیچه سینه گردید ($P<0.05$). نتایج ذخیره روی در عضله سینه نشان داد با افزایش سطوح مکمل روی به جیره، ذخیره آن به طور خطی افزایش می یابد. این تغییرات تحت تاثیر زیست فراهمی منابع و سطوح مختلف آن است. چنانکه در درشتنی نیز مشخص است، ذخیره عنصر روی به شدت متأثر از سطوح و نوع منبع آن قرار دارد. بنابراین شاخص ذخیره روی در درشتنی معیار بهتری برای سنجش زیست فراهمی آن در بدن است.

۲۸۸
۲۸۹
۲۹۰
۲۹۱
۲۹۲
۲۹۳
۲۹۴
۲۹۵
۲۹۶
۲۹۷
۲۹۸
۲۹۹
۳۰۰

مشخص گردید با افزایش روی در جیره سطح ذخیره ای مس عضله سینه کاهش یافته و همبستگی منفی از خود نشان می دهد، بطوری که با افزایش سطوح ۱۶۰ میلی گرم در کیلوگرم شکل سولفات و ۱۰۰ میلی گرم در کیلوگرم شکل هیدروکسی کاهش معنی داری در ذخیره مس در بافت را شاهد هستیم. نتایج این پژوهش در توافق یافته های است که بیان می دارد سطح روی در عضله سینه و درشتنی وابسته به نوع منبع و سطوح آن در جیره است به طوری که با افزایش آن در جیره، ذخیره آن در بافت افزایش می یابد. این افزایش در شکل آلی به دلیل مکانیزم جذب اختصاصی

- ۳۰۱ عنصر کیلات شده با پپتید آلی بیشتر است (Afshar Bakeshlo et al., 2024; Hu et al., 2022). با در نظر گرفتن
- ۳۰۲ سطح خلوص عنصر مشخص گردید کمپلکس روی- متیونین سبب افزایش عنصر روی در عضله سینه می‌گردد. در
- ۳۰۳ گزارشی بیان شد دلیل این اختلاف در زیست فراهمی به دلیل مکانیزم جذب متفاوت بین دو شکل سولفات و منبع آلی
- ۳۰۴ می‌باشد (Jahanian et al., 2008). در زمان استفاده از منبع آلی نیاز به مکمل عنصر روی کاهش می‌یابد و عدم توجه
- ۳۰۵ به این موضوع می‌تواند سبب بروز اختلال در جذب مس به دلیل مکانیزم آنتاگونیستی این دو عنصر گردد.
- ۳۰۶ ذخیره عناصر در کبد
- ۳۰۷ نتایج در جدول شماره ۳ نشان می‌دهد، سطوح روی و مس به شکل معنی‌داری تحت تاثیر تیمارهای آزمایش قرار دارد
- ۳۰۸ ($P < 0.05$). بطوری که بیشترین مقدار روی مربوط به سطوح مختلف هیدروکسی و شکل آلی روی- متیونین بود. مقدار
- ۳۰۹ مس در کبد با سطوح مختلف سولفات روی همبستگی منفی داشت ($P < 0.05$). چنانکه با افزایش میزان سولفات روی
- ۳۱۰ شاهد کاهش مقدار ذخیره مس در کبد هستیم ($P < 0.05$). این تفاوت در سطوح مختلف شکل هیدروکسی معنی‌دار نبود
- ۳۱۱ ($P > 0.05$). مقدار منگنز در کبد تحت تاثیر تیمارها قرار نگرفت ($P > 0.05$). کبد به عنوان یکی از فعال‌ترین اعضا در
- ۳۱۲ بدن مرغ تخم‌گذار نقش مهمی در ذخیره عنصر روی دارد. البته همانطور که مشخص است منبع اصلی ذخیره عنصر
- ۳۱۳ روی بافت استخوان است اما ذخیره روی در کبد می‌تواند به عنوان منبع اولیه تامین نیاز به طور محدود مطرح باشد.
- ۳۱۴ افزایش سطوح سولفات روی سبب کاهش ذخیره مس در کبد گردید، این موضوع می‌تواند ناشی از اثر آنتاگونیستی بین
- ۳۱۵ سولفات روی و مس در جذب توسط روده می‌باشد. این نتایج در توافق با یافته‌های است که بیان داشت افزایش میزان
- ۳۱۶ روی در جیره جوجه‌های گوشتی سبب هایپرتروفی کبد و احتباس آب ناشی از عدم تعادل الکترولیتی و کاهش یون
- ۳۱۷ کلسیم می‌گردد (Khanam, 2020).
- ۳۱۸ سطوح عناصر روی، مس و منگنز در سرم خونی و استخوان درشتنی
- ۳۱۹ در مورد عناصر روی، مس و منگنز در سرم خون و خاکستر درشتنی نتایج همسوئی مشاهده شد. سطح عنصر روی در
- ۳۲۰ خون و ابقاء آن در استخوان درشتنی تحت تاثیر منابع و سطوح مختلف عنصر روی قرار داشت ($P < 0.05$). تیمار
- ۳۲۱ کنترل منفی (فاقد مکمل روی) کمترین مقدار روی را در درشتنی نشان داد. با افزایش روی با منبع سولفات شاهد
- ۳۲۲ افزایش ذخیره آن در درشتنی هستیم. از سوی دیگر بیشترین مقدار مربوط به تیمار هیدروکسی کلرید روی در سطوح
- ۳۲۳ ۷۵ و ۱۰۰ میلی گرم در کیلوگرم و کمپلکس آلی روی -متیونین بود ($P < 0.05$). همچنین افزایش سطوح روی به شکل
- ۳۲۴ سولفات سبب کاهش میزان جذب مس گردید ($P < 0.05$). درمورد میزان منگنز تفاوت بین تیمارها معنی‌دار نبود
- ۳۲۵ ($P > 0.05$). یکی از راهکارهای مشخص نمودن زیست فراهمی عناصر معدنی بررسی ذخایر این عناصر در میزان
- ۳۲۶ خاکستر استخوان درشتنی می‌باشد (Smiricky-Tjardes et al., 2024). احتمالاً کیلات روی- متیونین به دلیل
- ۳۲۷ مسیر متفاوت جذب در بدن دارای زیست فراهمی بالاتری نسبت به منابع غیرآلی است. به نظر می‌رسد ترکیب
- ۳۲۸ هیدروکسی کلرید روی به دلیل پایداری بیشتر در قسمت‌های بالای دستگاه گوارش از دسترس فیتات در امان مانده و
- ۳۲۹ قادر است در نواحی پایین‌تر دستگاه گوارش جذب گردد. مقادیر ۷۵ و ۱۰۰ میلی گرم هیدروکسی کلرید روی سبب
- ۳۳۰ کاهش برداشت از ذخایر استخوانی در پیک تولید و ابقاء عنصر در ساختمان استخوانی پرنده گردید ($P < 0.05$).
- ۳۳۱ تیمارهای حاوی سطوح مختلف سولفات روی و تیمار حاوی ۵۰ میلی گرم در کیلوگرم هیدروکسی عملکردی مشابه
- ۳۳۲ داشته و کمترین میزان روی مربوط به تیمار کنترل منفی بود ($P < 0.05$). در توافق با این یافته‌ها گزارشی بیان داشت
- ۳۳۳ با افزایش سطح سولفات روی در مکمل جوجه گوشتی سطح ذخیره آن در استخوان درشتنی به طور معنی‌داری
- ۳۳۴ افزایش یافت (Kumar et al., 2021; Tayebi pour et al., 2025). میزان روی در استخوان درشتنی جوجه
- ۳۳۵ گوشتی تابعی از نوع منبع و سطح آن در جیره می‌باشد، به طوری که ذرات به شکل نانو سبب ابقاء بیشتر عنصر روی

- نسبت به شکل سولفات آن در درشتنی می‌گردد (Araújo et al., 2019; Fatima et al., 2024; Mohammadi et al., 2015). یافته‌ها نمودار شماره ۲ نشان می‌دهد با افزایش سطح روی به شکل سولفات میزان مس ابقاء شده در استخوان درشتنی کاهش می‌یابد ($P < 0.05$). در گزارشی بیان شد عناصر معدنی دو ظرفیتی با اثرات آنتاگونیستی می‌تواند بر جذب سایر مواد معدنی موثر باشد (Yang et al., 2021).
- سطوح عناصر معدنی در زرده تخم‌مرغ
- همانطور که در یافته‌های مندرج در جدول شماره ۳ قابل مشاهده است، در این آزمایش مقدار ابقاء عنصر تابعی از سطح و نوع منبع آن بود. بیشترین مقدار عنصر در زرده مربوط به تیمار هیدروکسی کلرید روی به میزان ۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم می‌باشد ($P < 0.05$). چنانکه در نمودار شماره ۳ در مقایسه سطوح مختلف روی با منابع سولفات و هیدروکسی کلرید، بیشترین مقدار مربوط به تیمار ۱۰۰ میلی‌گرم هیدروکسی کلرید روی بوده و در مقایسه سطوح مشابه سطح ابقاء عنصر روی در شکل هیدروکسی به شکل معنی‌داری بالاتر است ($P < 0.05$). همچنین افزایش میزان عنصر روی در شکل سولفات سبب کاهش معنی‌دار میزان ابقاء مس در محتویات تخم‌مرغ گردید ($P < 0.05$). درمورد امکان غنی‌سازی تخم‌مرغ به وسیله افزودن عنصر روی به جیره نتایج بدست آمده با گزارشی که به مقایسه اثر اکسید روی و کیلات آلی روی - متیونین بر عملکرد، کیفیت تخم‌مرغ و زیست فراهمی در مرغ تخم‌گذار همخوان بود. پژوهشگران بیان داشتند که مکمل کردن روی در جیره مرغ تخم‌گذار تاثیر معنی‌داری بر میزان ذخیره روی در تخم‌مرغ دارد (Behjatian Esfahani et al., 2021; Megha et al., 2021). نتایج بدست آمده در پژوهشی که با موضوع تاثیر استفاده از منابع و سطوح مختلف روی بر غنی‌سازی تخم‌مرغ منتشر گردید، بیان می‌دارد سطوح مختلف عنصر روی در خوراک بر میزان ذخیره آن در تخم‌مرغ تاثیر معنی‌دار دارد به طوری که بیشترین میزان ذخیره مربوط به سطح ۱۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم از عنصر روی با شکل آلی می‌باشد (Bahakaim et al., 2014). افزودن یک یا چند ماده مغذی ضروری به مواد غذایی در سطوحی بالاتر از آنچه که بطور طبیعی در آن ممکن است وجود داشته یا نداشته باشد را غنی‌سازی (Fortification) گویند که منظور پیشگیری و اصلاح کمبود ناشی از یک یا چند ماده مغذی که در کل جامعه و یا گروه‌های خاصی از جمعیت صورت می‌پذیرد.
- سطوح روی، مس و منگنز در پوسته سخت
- با توجه به داده‌های جدول شماره ۳، میزان ابقاء این عناصر (روی، مس و منگنز) در پوست سخت تخم‌مرغ در تیمارها تحت تاثیر نوع مکمل روی قرار ندارد. علی‌رغم وجود تفاوت از لحاظ عددی این تفاوت از لحاظ آماری معنی‌دار وجود نداشت ($P > 0.05$). پوسته سخت تخم‌مرغ به عنوان بخشی از ساختار ذخیره عناصر معدنی مطرح است. نشان داده شده که با افزایش زیست فراهمی یک عنصر، میزان ذخیره آن در ساختمان پوسته سخت افزایش می‌یابد (Zhang et al., 2021). نتایج این پژوهش در توافق با یافته‌های است که بیان داشت منابع با زیست فراهمی بالاتر سبب ابقاء روی در پوسته سخت تخم‌مرغ در مرغان تخم‌گذار تحت تنش حرارتی می‌گردد (Idowu et al., 2011).

جدول ۳- اثر منابع و سطوح مختلف عنصر روی بر ابقاء عناصر روی، مس و منگنز در مرغ تخم‌گذار

TABLE 3- The effect of different sources and levels of zinc on the retention of zinc, copper, and manganese in laying hens

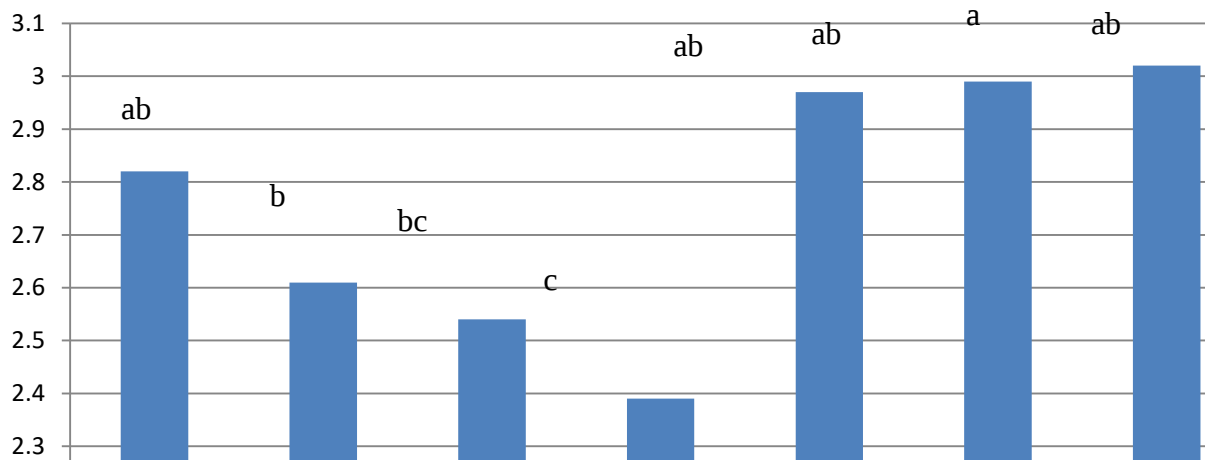
متغیر Parameter تیمار Treatment	Breast (mg/kg) عضله سینه (میلی گرم در کیلوگرم)			Liver (mg/kg) کبد (میلی گرم در کیلوگرم)			Blood serum سرم خون		
	روی Zn	مس Cu	منگنز Mn	روی Zn	مس Cu	منگنز Mn	روی Zn	مس Cu	منگنز Mn
T1	24.54 ^c	1.99 ^a	0.11	49.68 ^c	6.54 ^{ab}	2.43	1.52 ^c	30.65	3.914
T2	28.58 ^b	1.64 ^{ab}	0.08	57.47 ^b	5.93 ^{ab}	2.11	1.95 ^b	32.48	4.084
T3	31.62 ^{ab}	1.42 ^{ab}	0.07	61.26 ^b	4.61 ^b	1.34	1.96 ^b	34.97	4.072
T4	30.59 ^{ab}	1.17 ^b	0.06	55.11 ^b	7.28 ^{ab}	3.02	1.90 ^b	38.18	5.117
T5	29.68 ^{ab}	1.85 ^{ab}	0.07	74.94 ^a	8.26 ^a	2.86	1.99 ^b	40.46	4.125
T6	34.23 ^a	1.73 ^{ab}	0.09	69.37 ^{ab}	7.76 ^{ab}	2.67	2.31 ^a	42.73	4.127
T7	35.85 ^a	1.69 ^{ab}	0.10	76.18 ^a	9.27 ^a	3.35	2.34 ^a	39.28	4.128
T8	33.94 ^a	1.82 ^{ab}	0.09	72.54 ^a	8.84 ^a	3.66	2.24 ^a	38.43	5.130
SEM	0.487	0.032	0.004	2.17	0.485	0.091	0.058	0.146	0.124
P-VAIUE	0.03254	0.0057	0.0781	0.0029	0.0063	0.0712	0.0442	0.0914	0.999

متغیر Parameter تیمار Treatment	Tibia (mg/kg) درشت نی (میلی گرم در کیلوگرم)			Yolk (mg/kg) زرده (میلی گرم در کیلوگرم)			Eggshell (mg/kg) پوسته تخم‌مرغ (میلی گرم در کیلوگرم)		
	روی Zn	مس Cu	منگنز Mn	روی Zn	مس Cu	منگنز Mn	روی Zn	مس Cu	منگنز Mn
T1	125 ^c	2.82 ^{ab}	4.91	27.93 ^c	3.46 ^a	0.797	2.56	2.87	1.420
T2	136 ^{bc}	2.61 ^b	4.75	31.53 ^c	3.01 ^a	0.845	3.24	2.42	1.638
T3	150 ^{bc}	2.54 ^{bc}	4.13	30.00 ^c	2.84 ^{ab}	0.784	3.03	2.53	1.334
T4	163 ^{bc}	2.39 ^c	5.48	29.60 ^c	2.57 ^b	0.813	3.14	2.04	1.236
T5	186 ^b	2.97 ^{ab}	5.73	30.73 ^c	3.25 ^a	0.852	3.17	2.67	1.543
T6	277 ^a	2.99 ^{ab}	6.92	41.47 ^b	3.34 ^a	0.911	3.56	2.49	1.841
T7	299 ^a	3.02 ^a	6.07	49.33 ^a	3.42 ^a	0.849	4.36	2.78	1.645
T8	275 ^a	3.01 ^a	5.73	41.20 ^b	3.17 ^a	0.833	3.28	2.36	1.746
SEM	3.52	0.142	0.093	0.938	0.164	0.064	0.203	0.112	0.017
P-VAIUE	0.001	0.0491	0.990	0.0001	0.0258	0.9612	0.9665	0.7512	0.8892

تیمارهای آزمایشی شامل، ۱- کنترل منفی (بدون مکمل روی)، تیمار ۲، ۳ و ۴ به ترتیب شامل جیره کنترل منفی + ۸۰، ۱۲۰ و ۱۶۰ میلی گرم در کیلوگرم سولفات، تیمار ۵، ۶ و ۷ به ترتیب شامل - جیره کنترل منفی + ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ میلی گرم در کیلوگرم هیدروکسی کلرید روی و تیمار ۸ شامل جیره شاهد + ۱۲۴ میلی گرم در کیلوگرم کمپلکس روی - متیونین است. در هر ستون میانگین‌ها با حروف مشترک تفاوت معنی‌دار ندارند ($P>0.05$). خطای استاندارد میانگین: SEM

The experimental treatments included: T1- negative control (without zinc supplementation), treatments T2, T3 and T4, respectively, included negative control diet + 80, 120 and 160 mg/kg zinc sulfate, and treatments T5, T6 and T7, respectively, included negative control diet + 50, 75 and 100 mg/kg hydroxychloride, and T8, including negative control diet + 124 mg/kg zinc-methionine complex. a,b,c: Within columns, mean values with common superscript (s) are not different ($P>0.05$). Standard error of the mean (SEM)

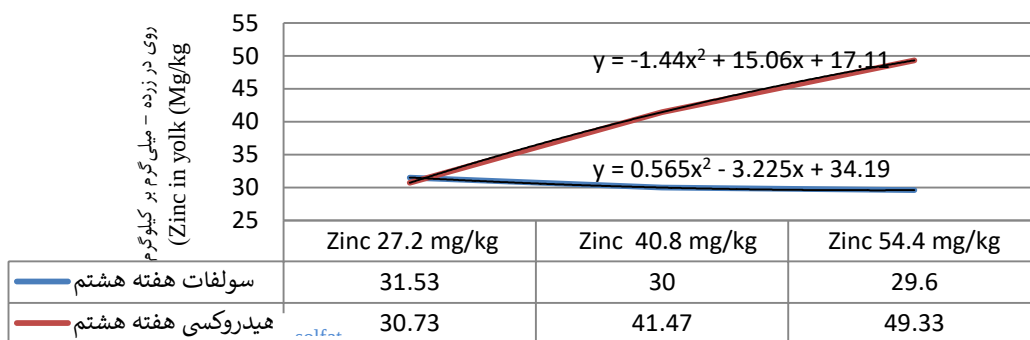
نمودار شماره ۲- ابقا عنصر مس در درشت نی مرغ تخمگذار (میلی گرم در کیلوگرم)
(Chart 2 - Copper element retention in laying hen tibia (mg/kg)



تیمارهای آزمایشی شامل، ۱- کنترل منفی (بدون مکمل روی)، تیمار ۲، ۳ و ۴ به ترتیب شامل جیره کنترل منفی + ۸۰، ۱۲۰ و ۱۶۰ میلی گرم در کیلوگرم سولفات روی با خلوص ۳۴ درصد، و تیمار ۵، ۶ و ۷ به ترتیب شامل- جیره کنترل منفی + ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ میلی گرم در کیلوگرم هیدروکسی کلرید روی و تیمار ۸ شامل جیره شاهد + ۱۲۴ میلی گرم در کیلوگرم کمپلکس روی- متیونین

The experimental treatments included: 1- negative control (without zinc supplementation), treatments 2, 3 and 4, respectively, included negative control diet + 80, 120 and 160 mg/kg zinc sulfate, and treatments 5, 6 and 7, respectively, included negative control diet + 50, 75 and 100 mg/kg hydroxychloride, and treatment 8, including negative control diet + 124 mg/kg zinc-methionine complex.

نمودار ۳- معادله رگرسیونی ذخیره روی در تخم مرغ در هفته هشتم
Chart 3 - Regression equation of zinc storage in eggs in the eighth week



نتیجه گیری کلی

استفاده از منابع با زیست فراهمی بالاتر و ابقاء بیشتر در بدن پرند به عنوان یک استراتژی جدید برای غنی سازی تولیدات حیوان مطرح می باشد. افزایش میزان روی با اشکال غیرآلی مرسوم همچون سولفات روی سبب کاهش جذب عنصر مس و بروز پیامدهای بیولوژیکی منفی می گردد. از سوی دیگر استفاده از منبع آلی علی رغم ابقاء با افزایش هزینه تولید و دشواری در تامین همراه است. از این رو توصیه می شود جهت بهبود شاخص ذخیره سازی روی در تخم مرغ همراه با بهبود پاسخ بیولوژیکی پرند از سطح ۷۵ میلی گرم در کیلوگرم هیدروکسی کلرید روی استفاده شود.

References

- Afshar Bakeshlo, A., Ahmadipour, B., Khajali, F., & Pirany, N. (2024). Comparative effects of zinc hydroxy chloride, zinc sulfate, and zinc-methionine on egg quality and quantity traits in laying hens. *Animal Science Journal*, 95, e13996. <https://doi.org/10.1111/asj.13996>
- Akbari Moghaddam Kakhki, R., Alfonso-Carrillo, C., & Garcia-Ruiz, A. I. (2024). Comparative Impact of Hydroxychloride and Organic Sources of Manganese, Zinc, and Copper in Rearing Diets on Pullet Growth, Tibia Traits, Egg Production, and Eggshell Quality in Lohmann Brown Birds Up to 50 Weeks of Age. *Veterinary Sciences*, 11(6), 245. <https://doi.org/10.3390/vetsci11060245>
- AOAC, M. (1990). Association of official analytical chemists. Official methods of analysis. *AOAC :Off Methods Anal*, 1, 69-90.
- Araújo, C. S. d. S., Hermes, R., Bittencourt, L. C., Silva, C., Araújo, L. F., Granghelli, C. A., Pelissari, P. H., Roque, F. d. A., & Leite, B. G. d. S. (2019). Different dietary trace mineral sources for broiler breeders and their progenies. *Poultry science*, 98(10), 4716-472. <https://doi.org/10.3382/ps/pez182>
- Bahakaim, A., Abdel Magied, H., Osman, S., Omar, A., Abdelmalak, N., & Ramadan, N. (2014). Effect of using different levels and sources of zinc in layer's diets on egg zinc enrichment. *Egyptian Poultry Science Journal*, 34(1), 39-56. <https://doi.org/10.21608/epsj.2014.5305>
- Bao, Y., Choct, M., Iji, P., & Bruerton, K. (2007). Effect of organically complexed copper, iron, manganese, and zinc on broiler performance, mineral excretion, and accumulation in tissues. *Journal of Applied Poultry Research*, 16(3), 448-455. <https://doi.org/10.1093/japr/16.3.448>
- Behjatian Esfahani, M., Moravej, H., Ghaffarzadeh, M., & Nehzati Paghaleh, G. A. (2021). Comparison the Zn-threonine, Zn-methionine, and Zn oxide on performance, egg quality, Zn bioavailability, and Zn content in egg and excreta of laying hens. *Biological trace element research*, 199(1), 292-304. <https://doi.org/10.1007/s12011-020-02141-8>
- Chen, X., Ma, X.-m., Yang, C.-W., Jiang, S.-z., Huang, L.-b., Li, Y., Zhang, F., Jiao, N., & Yang, W.-r. (2022). Low level of dietary organic trace elements improve the eggshell strength, trace element utilization, and intestinal function in late-phase laying hens. *Frontiers in Veterinary Science*, 9, 903615. <https://doi.org/10.3389/fvets.2022.903615>
- Domel, J. R., House, G. M., Sobotik, E. B., & Archer, G. S. (2024). Evaluation of Egg Quality and Performance in Late-Lay Hens Fed Different Combinations of Copper, Manganese, and Zinc Complexed with Sulfate or Amino Acid Ion. *Poultry*, 3(1), 36-46. <https://doi.org/10.3390/poultry3010004>
- Dozier, W. A., 3rd, Davis, A. J., Freeman, M. E., & Ward, T. L. (2003). Early growth and environmental implications of dietary zinc and copper concentrations and sources of broiler chicks. *British Poultry Science*, 44(5), 726-731. <https://doi.org/10.1080/00071660310001643714>
- Elaroussi, M. A., FORTE, L. R., EBER, S. L., & BIELLIER, H. V. (1994). Calcium homeostasis in the laying hen.: 1. Age and dietary calcium effects. *Poultry science*, 73(10), 1581-1589. <https://doi.org/10.3382/ps.0731581>
- Farzinpour, A., Mohammadi, Z., & Alibakhshi, R. (2025). Effect of supplementing diet with Nanofertile on egg production performance in post-peak laying hens. *Veterinary Research & Biological Products*, 38(2), 41-52. <https://doi.org/10.22092/vj.2025.367657.2193>

- Fatima, A., Zaheer, T., Pal, K., Abbas, R. Z., Akhtar, T., Ali, S., & Mahmood, M. S. (2024). Zinc oxide nanoparticles significant role in poultry and novel toxicological mechanisms. *Biological trace element research*, 202(1), 268-290. <https://doi.org/10.1007/s12011-023-03651-x>
- Hawthorne, F. C., & Sokolova, E. (2002). Simonkolleite, $Zn_{\sim 5}(OH)_{\sim 8}Cl_{\sim 2}(H_{\sim 2}O)$, a decorated interrupted-sheet structure of the form $[Mphi_{\sim 2}]_{\sim 4}$. *Canadian mineralogist*, 40(3), 939-946. <https://doi.org/10.3749/gscanmin.40.3.939>
- Hu, Y., Wang, C., Wu, W., Qu, Y., Zhang, W., Li, D., Zhu, L., Gao, F., Wu, B., & Zhang, L. (2022). Organic zinc with moderate chelation strength enhances zinc absorption in the small intestine and expression of related transporters in the duodenum of broilers. *Frontiers in Physiology*, 13, 952941. <https://doi.org/10.3389/fphys.2022.952941>
- Hudson, B., Dozier III, W., Fairchild, B., Wilson, J., Sander, J., & Ward, T. (2004). Live performance and immune responses of straight-run broilers: influences of zinc source in broiler breeder hen and progeny diets and ambient temperature during the broiler production period. *Journal of Applied Poultry Research*, 13(2), 291-301. <https://doi.org/10.1093/japr/13.2.291>
- Idowu, O., Ajuwon, R., Oso, A., & Akinloye, O. (2011). Effects of zinc supplementation on laying performance, serum chemistry and Zn residue in tibia bone, liver, excreta and egg shell of laying hens. *International Journal of Poultry Science*, 10(3), 225-230. <https://doi.org/10.3923/ijps.2011.225.230>
- Jahanian, R., Moghaddam, H. N., & Rezaei, A. (2008). Improved broiler chick performance by dietary supplementation of organic zinc sources. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 21(9), 1348-1354. <https://doi.org/10.5713/ajas.2008.70699>
- Jiang, Q., Sun, J., He, Y., Ma, Y., Zhang, B., Han, Y., & Wu, Y. (2021). Hydroxychloride trace elements improved eggshell quality partly by modulating uterus histological structure and inflammatory cytokines expression in aged laying hens. *Poultry science*, 100(11), 101453. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2021.101453>
- Khanam, S. (2020). Toxicological effect of zinc on liver of broiler chicks. *Egyptian Liver Journal*, 10(1), 21. <https://doi.org/10.1186/s43066-020-00028-w>
- Kumar, A., Hosseindoust, A., Kim, M., Kim, K., Choi, Y., Lee, S., Lee, S., Lee, J., Cho, H., Kang, W. S., & Chae, B. (2021). Nano-sized Zinc in Broiler Chickens: Effects on Growth Performance, Zinc Concentration in Organs, and Intestinal Morphology. *The Journal of Poultry Science*, 58(1), 21-29. <https://doi.org/10.2141/jpsa.0190115>
- Kumaravel, S., & Alagusundaram, K. (2014). Determination of mineral content in Indian spices by ICP-OES. *Oriental Journal of Chemistry*, 30, 631-636. <https://dx.doi.org/10.13005/ojc/300231>
- Leeson, S. (2005). Trace mineral requirements of poultry-validity of the NRC recommendations.
- M'Sadeq, S. A., Wu, S.-B., Choct, M., & Swick, R. A. (2018). Influence of trace mineral sources on broiler performance, lymphoid organ weights, apparent digestibility, and bone mineralization. *Poultry science*, 97(9), 3176-3182. <https://doi.org/10.3382/ps/pey197>
- Mabe, I., Rapp, C., Bain, M., & Nys, Y. (2003). Supplementation of a corn-soybean meal diet with manganese, copper, and zinc from organic or inorganic sources improves eggshell quality in aged laying hens. *Poultry science*, 82(12), 1903-1913. <https://doi.org/10.1093/ps/82.12.1903>
- Megha, P., Ramnath, V., Raji, K., Babitha, V., & Chacko, B. (2021). Production of zinc enriched designer eggs through dietary supplementation. *Journal of Veterinary and Animal Sciences*, 52(1), 77-80. <https://doi.org/10.51966/jvas.2021.52.1.77-80>

- Mézes, M., Erdélyi, M., & Balogh, K. (2012). Deposition of organic trace metal complexes as feed additives in farm animals. *European Chemical Bulletin*, 1(10), 410-413. <https://doi.org/10.17628/ECB.2012.1.410-413>
- 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>
- Moreng, R., Balnave, D., & Zhang, D. (1992). Dietary zinc methionine effect on eggshell quality of hens drinking saline water. *Poultry science*, 71(7), 1163-1167. <https://doi.org/10.3382/ps.0711163>
- Nguyen, H., Morgan, N., Roberts, J., Swick, R., & Toghyani, M. (2020). Copper hydroxychloride is more efficacious than copper sulfate in improving broiler chicken's growth performance, both at nutritional and growth-promoting levels . *Poultry science*, 99(12), 6964-6973. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2020.09.053>
- Nys, Y., Gautron, J., McKee, M., Garcia-Ruiz, J., & Hincke, M. (2001). Biochemical and functional characterisation of eggshell matrix proteins in hens. *World's Poultry Science Journal*, 57(4), 401-413. <https://doi.org/10.1079/WPS20010029>
- Pang, Y., & Applegate, T. J. (2006). Effects of copper source and concentration on in vitro phytate phosphorus hydrolysis by phytase. *Journal of agricultural and food chemistry*, 54(5), 1792-1796. <https://doi.org/10.1021/jf052053b>
- SAS. 2015. SAS User's Guide: Statistics. Version 9.4 Edition. SAS Institute Inc., Cary, NC.
- Smiricky-Tjardes, M., Utterback, P., Blair, J., Drysdale, R., Hack, A., Cristobal, M., Glende, J., Parsons, B., & Parsons, C. (2024). Research Note: Relative bioavailability of zinc in zinc hydroxychloride for chicks. *Poultry science*, 103(2), 103315. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.psj.2023.103315>
- Tayebi pour, A., Majidzadeh Heravi, R., & Kermanshahi, H. (2025). Investigating the Effects of Different Sources and Levels of Zinc, Copper, Manganese, and Iron on the Performance, Blood Parameters, and Tibia Characteristics of Broiler Chickens During the Grower and Finisher Periods. *Iranian Journal of Animal Science Research*, 17(1), 49-61. <https://doi.org/10.22067/ijasr.2024.88496.1204>
- Tom Dieck, H., Döring, F., Roth, H.-P., & Daniel, H. (2003). Changes in rat hepatic gene expression in response to zinc deficiency as assessed by DNA arrays. *The Journal of nutrition*, 133(4), 1004-1010. <https://doi.org/10.1093/jn/133.4.1004>
- Yang, K., Hu, S., Mu, R., Qing, Y., Xie, L., Zhou, L., Ajuwon, K. M., & Fang, R. (2021). Effects of different patterns and sources of trace elements on laying performance, tissue mineral deposition, and fecal excretion in laying hens. *Animals*, 11(4), 1164. <https://doi.org/10.3390/ani11041164>
- Zhang, K. K., Han, M. M., Dong, Y. Y., Miao, Z. Q., Zhang, J. Z., Song, X. Y., Feng, Y., Li, H. F., Zhang, L. H., Wei, Q. Y., Xu, J. P., Gu, D. C., & Li, J. H. (2021). Low levels of organic compound trace elements improve the eggshell quality, antioxidant capacity, immune function, and mineral deposition of aged laying hens. *Animal*, 15(12), 100401. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2021.100401>