



Effects of sodium-selenite and selenium-methionine on productive parameters, hepatic antioxidant status, gene expression and selenium deposition in eggs and liver of laying hens

Zahra Tahami^{1✉} | Behrooz Dastar² | Ehsan Oskoueian³ | Seyed Reza Hashemi⁴

1. Corresponding Author, Department of Animal and Poultry Nutrition, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: z.tahami@areeo.ac.ir
2. Department of Animal and Poultry Nutrition, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: dastar@gau.ac.ir
3. Department of Research and Development, Arka Industrial Cluster, Mashhad, Iran. E-mail: e.oskoueian@gmail.com
4. Department of Genetics and Breeding and Physiology of Animal and Poultry, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: Hashemi711@gau.ac.ir

Article Info	ABSTRACT
Article type: Research Article Article history: Received 6 January 2026 Received in revised form 26 July 2026 Accepted 31 July 2026 Published online 22 September 2026 Keywords: Antioxidant Gene expression Sodium-selenite Selenium-methionine laying hens	Objective: Adding micronutrients, such as selenium, to eggs is a value-creating strategy in the poultry industry, as selenium-enriched eggs may provide this essential element in the human diet and may improve oxidative stability due to the increased antioxidant profiles, as selenium plays a role in gene expression of oxidative stress response and detoxification pathways. As different sources of selenium vary in their absorption, metabolism, and bioavailability, it is crucial to evaluate their effects on productive performance, oxidative stress indicators, selenium accumulation in eggs and liver, and the expression of key antioxidant genes in the liver of laying hens. Therefore, the objective of this study was to compare the effects of supplementing two common selenium sources (sodium selenite and selenomethionine) at two different levels on productive performance, oxidative stress indicators, selenium accumulation in eggs and liver, and the expression of key antioxidant genes in the liver of laying hens. Method: completely randomized design experiment was conducted using 300 Hy-Line W-36 laying hens, with five treatments, six replicates, and ten birds per replicate. The experimental treatments were: 1) basal diet (without selenium supplementation), 2) basal diet + 0.5 mg/kg sodium selenite, 3) basal diet + 1 mg/kg sodium selenite, 4) basal diet + 0.5 mg/kg selenomethionine, 5) basal diet + 1 mg/kg selenomethionine. Performance traits including feed intake, body weight gain, and feed conversion ratio were measured periodically. Antioxidant activity, expression of GPx and TXNRD1 genes, and selenium retention in egg yolk, egg albumen, and liver were evaluated. Data were statistically analyzed using SAS software. Results: It was demonstrated that selenium supplementation from various organic and inorganic sources did not affect the body weight gain, feed intake, or feed conversion ratio in laying hens during any of the production periods. Blood antioxidant activity and malondialdehyde levels were not affected by different levels of selenium sources. Hepatic malondialdehyde levels were lower in birds receiving selenium than in the control birds and lower in the birds receiving organic selenium than in those receiving inorganic selenium ($P < 0.05$). Organic selenium supplementation led to significantly greater selenium retention in dried egg yolk and albumen compared to other treatments ($P < 0.05$). The selenium concentration in fresh egg yolk and albumen, and in the liver, increased due to selenium supplementation ($P < 0.05$). Organic selenium treatments showed significantly higher expression levels of GSH and TXNRD1 genes than inorganic selenium ($P < 0.05$). Conclusions: According to the results, while selenium supplementation had no impact on performance parameters, dietary supplementation with 1 mg/kg selenomethionine decreased hepatic malondialdehyde levels, increased egg selenium content, and increased the expression of antioxidant genes, and thus it may be a good nutritional strategy to enhance nutritional quality.

Cite this article: Tahami, Z., Dastar, B., Oskoueian, E., & Hashemi, S. R. (2026). Effects of sodium-selenite and selenium-methionine on productive parameters, hepatic antioxidant status, gene expression and selenium deposition in eggs and liver of laying hens. *Journal of Animal Production*, 28 (3), 425-436. DOI: <https://doi.org/10.22059/jap.2026.409153.623895>





تأثیر سلنیت-سدیم و سلنیوم-متیونین بر فراسنجه‌های تولیدی، سطح آنتی‌اکسیدانی کبد، بیان ژن، ذخیره سلنیوم در تخم مرغ و کبد مرغ تخم‌گذار

زهرا تهامی^۱ | بهروز دستار^۲ | احسان اسکوییان^۳ | سید رضا هاشمی^۴

۱. نویسنده مسئول، گروه تغذیه دام و طیور، دانشکده علوم دامی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: z.tahami@areeo.ac.ir
۲. گروه تغذیه دام و طیور، دانشکده علوم دامی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: dastar@gau.ac.ir
۳. بخش تحقیق و توسعه، گروه خوسه صنعتی زیست فناوری آرکا، مشهد، ایران. رایانامه: e.oskoueian@gmail.com
۴. گروه ژنتیک، اصلاح و فیزیولوژی دام و طیور، دانشکده علوم دامی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: Hashemi711@gau.ac.ir

اطلاعات مقاله

چکیده

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۰/۱۶

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۵/۰۵/۰۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۵/۰۹

تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۶/۳۱

هدف: ارتقای کیفیت تغذیه‌ای تخم‌مرغ از طریق غنی‌سازی با ریزمغذی‌هایی مانند سلنیوم، یک راهبرد ارزش‌آفرین در صنعت طیور است. تخم‌مرغ غنی‌شده با سلنیوم نه تنها می‌تواند به تأمین این عنصر ضروری در رژیم غذایی انسان کمک کند، بلکه ممکن است از طریق بهبود پروفایل آنتی‌اکسیدانی خود باعث پایداری اکسیداتیو شود. علاوه بر این، نقش سلنیوم در تنظیم بیان ژن‌های درگیر در مسیرهای پاسخ به استرس اکسیداتیو و سم‌زدایی، لایه دیگری از تأثیرات مثبت این عنصر را بر سلامت سلولی آشکار می‌سازد. با توجه به تفاوت‌های ذاتی منابع مختلف سلنیوم در جذب، متابولیسم و کارایی زیستی، ارزیابی دقیق تأثیر این منابع بر شاخص‌های عملکردی، سلامت و کیفیت محصول در مرغ تخم‌گذار ضروری است. بنابراین، هدف از این مطالعه، مقایسه اثرات مکمل دو منبع رایج سلنیوم (سلنیت-سدیم و سلنیوم-متیونین) در دو سطح متفاوت بر عملکرد تولیدی، شاخص‌های استرس اکسیداتیو، تجمع سلنیوم در تخم‌مرغ و کبد و همچنین بیان ژن‌های کلیدی آنتی‌اکسیدانی در کبد مرغ‌های تخم‌گذار بود.

روش پژوهش: آزمایشی با استفاده از ۳۰۰ قطعه مرغ تخم‌گذار لگه‌ورن سویه های-لاین، در قالب طرح کاملاً تصادفی با استفاده از پنج تیمار، شش تکرار و ده قطعه جوجه در هر تکرار اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل ۱- جیره پایه (بدون مکمل سلنیوم)، ۲- جیره پایه + ۵ mg/kg سلنیت-سدیم، ۳- جیره پایه + ۱ mg/kg سلنیت-سدیم، ۴- جیره پایه + ۵ mg/kg سلنیوم-متیونین، ۵- جیره پایه + ۱ mg/kg سلنیوم-متیونین بودند. صفات عملکردی شامل مصرف خوراک، افزایش وزن بدن و ضریب تبدیل خوراک، به‌صورت دوره‌ای اندازه‌گیری شد و فعالیت آنتی‌اکسیدانی، بیان ژن *GPx* و *TXNDR1* و میزان ذخیره‌شوندگی سلنیوم در زرده و سفیده تخم‌مرغ و کبد مورد ارزیابی قرار گرفت. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها توسط نرم‌افزار SAS انجام شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد مصرف منابع مختلف سلنیوم آلی و غیر آلی در هیچ یک از دوره‌های تولید بر میانگین افزایش وزن، خوراک مصرفی و ضریب تبدیل خوراک در مرغ‌های تخم‌گذار تأثیری نداشت. فعالیت آنتی‌اکسیدانی و میزان مالون‌دی‌آلدهید خون در مرغ‌های تخم‌گذار تحت تأثیر سطوح مختلف منابع سلنیوم قرار نگرفت. میزان مالون‌دی‌آلدهید در کبد پرندگانی که سلنیوم دریافت کردند کمتر از پرندگان شاهد بود. پرندگانی که سلنیوم آلی دریافت کردند مالون‌دی‌آلدهید کبدی کم‌تری از پرندگان دریافت‌کننده سلنیوم غیر آلی داشتند ($P < 0.05$). مصرف یک میلی‌گرم در کیلوگرم سلنیوم آلی باعث ذخیره بیش‌تر سلنیوم در زرده و سفیده تخم‌مرغ خشک‌شده در مقایسه با سایر تیمارهای آزمایشی شد ($P < 0.05$). استفاده از سلنیوم منجر به افزایش غلظت سلنیوم در زرده و سفیده تخم‌مرغ تازه و افزایش غلظت سلنیوم در کبد شد ($P < 0.05$). تیمارهای دریافت‌کننده سلنیوم آلی در مقایسه با تیمارهای دریافت‌کننده سلنیوم غیر آلی میزان بیان ژن‌های *GSH* و *TXNDR1* بالاتری از خود نشان دادند ($P < 0.05$).

نتیجه‌گیری: براساس یافته‌های به‌دست‌آمده اگرچه سلنیوم بر شاخص‌های عملکردی تأثیر معنی‌داری نداشته اما مصرف یک میلی‌گرم در کیلوگرم سلنیوم-متیونین در جیره باعث کاهش میزان مالون‌دی‌آلدهید کبد، افزایش میزان سلنیوم در تخم‌مرغ و تنظیم مثبت بیان ژن‌های آنتی‌اکسیدانی شد و می‌تواند به‌عنوان یک راه‌کار تغذیه‌ای مؤثر برای بهبود کیفیت تغذیه‌ای پیشنهاد شود.

کلیدواژه‌ها:

آنتی‌اکسیدان

بیان ژن

سلنیت-سدیم

سلنیوم-متیونین

مرغ تخم‌گذار

استناد: تهامی، زهرا؛ دستار، بهروز؛ اسکوییان، احسان و هاشمی، سید رضا (۱۴۰۵). تأثیر سلنیت-سدیم و سلنیوم-متیونین بر فراسنجه‌های تولیدی، سطح آنتی‌اکسیدانی کبد، بیان ژن، ذخیره سلنیوم در تخم مرغ و کبد مرغ تخم‌گذار. *نشریه تولیدات دامی*، ۲۸ (۳)، ۴۲۵-۴۳۶.

DOI: <https://doi.org/10.22059/jap.2026.409153.623895>



۱. مقدمه

سلیوم یکی از مواد معدنی ضروری کم‌مصرف برای طيور است که برای بسیاری از اعمال متابولیکی بدن از جمله فعال‌شدن آنزیم‌ها و عملکرد مناسب بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی پرندگان ضروری است (Kralik et al., 2025). در پرندگان، کمبود سلیوم می‌تواند منجر به افزایش استرس اکسیداتیو، کاهش عملکرد تولیدی و افزایش حساسیت به بیماری‌ها شود (Surai & Fisinin, 2016). منابع سلیوم در جیره طيور بیش‌تر به دو شکل غیر آلی (مانند سلیت-سدیم) و آلی (مانند سلیوم-متیونین) مورد استفاده قرار می‌گیرند. شکل‌های آلی سلیوم به‌خصوص سلیوم-متیونین نسبت به سلیت‌های غیر آلی در افزایش سطح سلیوم خون و فعالیت گلوکوتاتیون‌پراکسیداز خون توانایی بیش‌تری دارند (Zhang et al., 2020). در نتیجه کمپلکس‌های سلیوم آلی بیش‌ترین زیست‌فراهمی برای انسان و حیوانات را دارند. سلیوم به‌عنوان جزء اصلی آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مانند گلوکوتاتیون پراکسیداز (GPx) و تیوردوکسین ردوکتاز (TXNRD) عمل می‌کند که در خنثی‌سازی رادیکال‌های آزاد و کاهش پراکسیداسیون لیپیدها نقش دارند (Rayman, 2012). آنتی‌اکسیدان‌ها سامانه‌های دفاعی هستند که می‌توانند به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم بدن را در مقابل آسیب‌های ناشی از اکسیدان‌ها حفظ کنند. آنزیم‌های کلیدی این سیستم شامل سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز و گلوکوتاتیون پراکسیداز می‌باشد.

سلیوآنزیم‌ها که فعالیت آنتی‌اکسیدانی قوی دارند شامل گلوکوتاتیون پراکسیدازها می‌باشد که نقش مهمی در محافظت از سلول‌ها در برابر آسیب‌های اکسیداتیو از گونه‌های اکسیژنی فعال و گونه‌های نیتروژنی فعال که شامل سوپراکسید، هیدروژن پراکسید، رادیکال‌های هیدروکسیل، نیتریک اکسید و پروکسی‌نیتريت هستند را دارند (Davis et al., 2012). افزایش فعالیت این آنزیم‌ها می‌تواند منجر به کاهش شاخص‌های استرس اکسیداتیو مانند مالون‌دی‌آلدهید (MDA) شود. همچنین، سلیوم قادر است از طریق تنظیم بیان ژن‌های درگیر در مسیرهای آنتی‌اکسیدانی، پاسخ سلولی به استرس اکسیداتیو را بهبود بخشد (Zoidis et al., 2018). در صنعت مرغداری، بهبود کیفیت تغذیه‌ای تخم‌مرغ از طریق افزایش غلظت ریزمغذی‌هایی مانند سلیوم، می‌تواند ارزش غذایی محصول را افزایش داده و به سلامت مصرف‌کننده کمک کند (Zabulienė et al., 2025).

مکمل کردن جیره مرغ‌های تخم‌گذار با منابع آلی سلیوم (سلیوسیتین و سلیوم-متیونین)، به طور معنی‌داری ذخیره سلیوم در زرده را افزایش داد، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی زرده را بهبود بخشید و پراکسیداسیون لیپیدی را کاهش داد (Chen et al., 2025). Skrivan و همکاران (۲۰۱۰) گزارش کردند که هر دو فرم آلی و غیر آلی سلیوم، غلظت سلیوم زرده و سفیده تخم‌مرغ را افزایش داده و بیش‌ترین اثر ناشی از سلیوم-متیونین بود. همچنین مکمل کردن سلیوم در جیره غلظت سلیوم در تخم‌مرغ را افزایش داده و موجب حفظ بیش‌تر کیفیت داخلی تخم‌مرغ در دوره‌های مختلف نگهداری می‌شود (Scheideler et al., 2010). با توجه به مزایای متعدد سلیوم در بهبود وضعیت آنتی‌اکسیدانی، ذخیره‌سازی در بافت‌ها و تخم‌مرغ، انتخاب منبع و دز بهینه این ریزمغذی با توجه به سن پرند و شرایط پرورشی از اهمیت بالایی برخوردار است. از این‌رو، این پژوهش حاضر با هدف مقایسه اثرات دو منبع سلیوم بر عملکرد، وضعیت آنتی‌اکسیدانی، بیان ژن و تجمع سلیوم در تخم‌مرغ و کبد مرغ تخم‌گذار انجام شد.

۲. روش پژوهش

این مطالعه با استفاده از تعداد ۳۰۰ قطعه مرغ تخم‌گذار لگهورن سویه‌های -لاین از سن ۲۳ تا ۳۵ هفتگی در قالب طرح کاملاً تصادفی با دو نوع مکمل سلیومی شامل، شکل غیرآلی یا سلیت-سدیم و شکل آلی سلیوم-متیونین (محصول شرکت آرکا) با پنج تیمار و شش تکرار و هر تکرار ۱۰ قطعه پرند به مدت ۱۲ هفته انجام شد. ترکیب جیره‌های آزمایشی

در جدول (۱) آمده است. جیره پایه بدون مکمل سلنیوم و مقدار سلنیوم آزمایشی شامل ۰/۵ و ۱ میلی گرم در کیلوگرم در نظر گرفته شد. خلوص سلنیوم-متیونین ppm ۲۰۰۰ و سلنیت-سدیم ۴۲ درصد بود. مواد غیر آلی بدون سلنیوم مورد استفاده از کارخانه خوراک دام، طیور و آبزیان صالح کاشمر تهیه شد. جیره براساس ترکیب مواد مغذی مندرج در راهنمای پرورش سویه های-لاین W-36 و بیش تر بر پایه ذرت و سویا تنظیم شد (جدول ۱). برنامه نوردی شامل ۱۶ ساعت روشنایی و هشت ساعت تاریکی اعمال شد. مرغ ها دسترسی آزاد به خوراک داشتند و روزانه در دو نوبت تغذیه شدند. مرغ ها به طور تصادفی و براساس میانگین وزن مشابه به تیمارهای آزمایشی تقسیم شدند.

جدول ۱. مواد خوراکی و ترکیب شیمیایی جیره پایه

مواد خوراکی	درصد	مواد مغذی جیره	درصد
ذرت	۵۸/۷	انرژی قابل متابولیسم (کیلوکالری در کیلوگرم)	۲۸۴۰
کنجاله سویا	۳۰	پروتئین خام	۱۷/۰۲
روغن سویا	۱/۲	کلسیم	۴/۴
کربنات کلسیم	۷	فسفر کل	۰/۵۲
دی کلسیم فسفات	۲	لیزین	۰/۹۴
نمک	۰/۲۸	متیونین+سیستین	۰/۷
متیونین	۰/۲	تریپتوفان	۰/۱۹
لیزین	۰/۱۲	ترئونین	۰/۷۱
مکمل مواد معدنی (بدون مکمل سلنیوم) ^۱	۰/۲۵	متیونین	۰/۴۵
مکمل ویتامینی ^۲	۰/۲۵		

۱. هر کیلوگرم از مکمل معدنی حاوی: ۵۵ میلی گرم آهن، ۸۸ میلی گرم منگنز، ۸۸ میلی گرم روی، ۵/۵ میلی گرم مس، ۱/۷ گرم ید.
 ۲. هر کیلوگرم از مکمل ویتامینی حاوی: ۸۸۰۰۰۰ واحد بین المللی ویتامین A، ۳۳۰۰۰۰۰ واحد بین المللی ویتامین B_۱، ۱۶۵۰۰ واحد بین المللی ویتامین B_۲، ۲/۲ میلی گرم ویتامین B_۳، ۲/۵ میلی گرم ویتامین B_۶، ۵/۵ میلی گرم ویتامین B_{۱۲}، ۲۸ میلی گرم ویتامین B_{۱۲}، ۶/۶ میلی گرم ویتامین B_{۱۲}، ۳/۳ میلی گرم ویتامین B_{۱۲}، ۰/۶ میلی گرم ویتامین B_{۱۲}، ۲۲/۱ میلی گرم ویتامین B_{۱۲}، ۵۵ میلی گرم B_{۱۲}، ۱۱۰ گرم کولین کلراید.

۱.۲. ارزیابی عملکرد

خوراک مصرفی و افزایش وزن به صورت هفتگی ثبت شد و ضریب تبدیل خوراک مصرفی برای هر یک از واحدهای آزمایشی محاسبه گردید.

۲.۲. اندازه گیری لیپید پراکسیداسیون و میزان فعالیت آنتی اکسیدانی

لیپید پراکسیداسیون، شاخص جراحات بافتی ناشی از گونه های فعال اکسیژن است و به عنوان (TBARS) اندازه گیری می شود. برای اندازه گیری مالون دی آلدید بافت کبد و خون، ۰/۵ میلی لیتر هموژن بافتی را با ۲ میلی لیتر محلول TBA (شامل پودر TBA، تری کلرواستات اسید و کلریدریک اسید ۰/۲۵ نرمال) واکنش داده، بعد از جوش آمدن به مدت ۱۵-۳۰ دقیقه نمونه را سرد و سانتریفوژ می کنیم. رنگ صورتی تولید شده را می توان در ۵۳۲ نانومتر توسط اسپکتروفوتومتر بخوانیم که معرف میزان مالون دی آلدید است. ۱ و ۳ و ۳-تراتوکسی پروپان به عنوان محلول استاندارد برای سنجش TBARS است.

برای اندازه گیری فعالیت مهارکنندگی رادیکال آزاد (DPPH)، ابتدا نمونه ها با غلظت های متفاوت با یک میلی لیتر از محلول ۰/۱ میلی مولار DPPH مخلوط شدند و به وسیله متانول ۹۵ درصد به حجم چهار میلی لیتر رسیدند سپس بعد از طی شدن مدت زمان لازم در محیط تاریک، جذب نمونه ها در طول موج ۵۱۷ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر (مدل JENWAY-6405، ۱۹۷۱) خوانده شد. درصد مهار رادیکال های آزاد (DPPH) با استفاده از رابطه (۱) محاسبه شد (Wang et al., 2013).
 رابطه (۱) $\times 100 = (\text{جذب شاهد} / \text{جذب نمونه} - \text{جذب شاهد}) = \text{میزان فعالیت آنتی اکسیدانی (DPPH)} (\text{درصد})$

جدول ۲. تأثیر تیمارهای آزمایشی بر میانگین افزایش وزن، مصرف خوراک و ضریب تبدیل خوراکی در طی دوره تولید

تیمار	هفته ۲۸	هفته ۳۲	هفته ۳۶	میانگین مصرف خوراک هر مرغ ^۱	ضریب تبدیل خوراکی ^۲
۱	۷/۰۰	۸/۱۷	۲۹/۵۰	۹۳/۹۰	۹۶/۴۳
۲	۲۳/۸۳	۱۲/۰۰	۲۳/۸۳	۹۶/۳۱	۹۵/۷۶
۳	۱۷/۳۳	۵/۵۰	۲۴/۸۳	۹۷/۷۱	۱۰۰/۳۱
۴	۳۶/۳۳	۵/۵۰	۱۴/۳۳	۹۵/۲۶	۹۷/۹۰
۵	۷/۶۷	۴/۸۳	۱۹/۶۶	۹۲/۳۸	۹۶/۵۲
خطای استاندارد میانگین‌ها	۴/۳۳	۱۰/۷۶	۶/۷۷	۱/۳۹	۱/۳۵
سطح احتمال	۰/۱۰	۰/۷۲	۰/۵۹	۰/۰۹	۰/۲۳

۱. برحسب گرم؛ ۲. برحسب گرم خوراک مصرفی روزانه به‌ازای گرم تخم‌مرغ تولیدی در روز. تیمارهای آزمایشی ۱- جیره پایه، ۲- جیره پایه + ۰/۵ mg/kg سلنیت- سدیم، ۳- جیره پایه + ۱ mg/kg سلنیت- سدیم، ۴- جیره پایه + ۰/۵ mg/kg سلنیوم- متیونین، ۵- جیره پایه + ۱ mg/kg سلنیوم- متیونین.

۲.۳. خصوصیات آنتی‌اکسیدانی و پراکسیداسیون خون و کبد

اثر تیمارهای آزمایشی بر خصوصیات آنتی‌اکسیدانی خون در مرغ‌های تخم‌گذار در جدول (۳) نشان داده شده است. نتایج نشان داد فعالیت آنتی‌اکسیدانی و میزان مالون‌دی‌آلدهید خون در مرغ‌های تخم‌گذار تحت تأثیر سطوح مختلف منابع سلنیوم قرار نگرفت. در عین حال نتایج نشان داد مصرف سلنیوم منجر به کاهش میزان مالون‌دی‌آلدهید کبد در مقایسه با تیمار شاهد شد ($P < 0.05$). تیمارهای دریافت‌کننده سلنیوم آلی در مقایسه با سلنیوم غیر آلی میزان تولید مالون‌دی‌آلدهید کبدی پایین‌تری داشتند ($P < 0.05$)؛ هم‌چنین تیمارهای دریافت‌کننده سطوح یک میلی‌گرم در کیلوگرم در مقایسه با تیمارهای دریافت‌کننده ۰/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم سلنیوم میزان تولید مالون‌دی‌آلدهید کبدی پایین‌تری از خود نشان دادند ($P < 0.05$).

جدول ۳. اثر تیمارهای آزمایشی بر خصوصیات آنتی‌اکسیدانی، پراکسیداسیون خون و کبد در مرغ‌های تخم‌گذار

تیمار	فعالیت آنتی‌اکسیدانی خون (میلی‌گرم بر میلی‌لیتر)	مالون‌دی‌آلدهید خون (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	مالون‌دی‌آلدهید کبد (میلی‌گرم بر کیلوگرم)
جیره پایه	۰/۴۱۰	۰/۱۲۲	۱۰۰/۰۰ ^a
جیره پایه + ۰/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم سلنیت- سدیم	۰/۴۵۸	۰/۱۳۳	۹۲/۷۳ ^b
جیره پایه + ۱ میلی‌گرم در کیلوگرم سلنیت- سدیم	۰/۳۲۸	۰/۱۳۴	۸۱/۲۳ ^c
جیره پایه + ۰/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم سلنیوم- متیونین	۰/۳۶۰	۰/۱۰۰	۷۶/۸۳ ^d
جیره پایه + ۱ میلی‌گرم در کیلوگرم سلنیوم- متیونین	۰/۳۱۳	۰/۱۴۸	۶۸/۵۴ ^e
میانگین خطای استاندارد	۰/۰۴	۰/۰۱	۱/۲۸۵
سطح احتمال	۰/۱۵۴	۰/۵۱۵	۰/۰۰۰۱

a-e: تفاوت میانگین‌ها با حروف نامشابه در هر ستون معنی‌دار است ($P < 0.05$).

۳.۳. ذخیره سلنیوم در تخم‌مرغ و کبد

جدول (۴)، تأثیر تیمارهای آزمایشی بر میزان سلنیوم زرده و سفیده تخم‌مرغ و کبد مرغ تخم‌گذار را نشان می‌دهد. افزودن سلنیوم به جیره منجر به افزایش معنی‌دار در غلظت سلنیوم زرده و سفیده تخم‌مرغ خشک‌شده شد ($P < 0.05$). مصرف یک میلی‌گرم در کیلوگرم سلنیوم آلی منجر به ذخیره بیش‌تر سلنیوم در زرده و سفیده تخم‌مرغ خشک‌شده در مقایسه با سایر تیمارهای آزمایشی شد ($P < 0.05$). بین سطوح ۰/۵ میلی‌گرم سلنیوم آلی و یک میلی‌گرم در کیلوگرم سلنیوم غیرآلی تفاوت معنی‌داری در میزان سلنیوم زرده و سفیده تخم‌مرغ خشک‌شده مشاهده نشد. نتایج نشان می‌دهد مصرف سلنیوم منجر به افزایش غلظت سلنیوم در زرده و سفیده تخم‌مرغ تازه می‌شود ($P < 0.05$)، هم‌چنین میزان سلنیوم زرده و سفیده تخم‌مرغ تازه در تیمار یک میلی‌گرم در کیلوگرم در مقایسه با تیمار ۰/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم برای هر دو منبع آلی و غیر آلی بالاتر بود ($P < 0.05$). غلظت سلنیوم زرده و سفیده در تخم‌مرغ تازه بین تیمار دریافت‌کننده یک میلی‌گرم در کیلوگرم سلنیوم غیر آلی با

تیمار دریافت‌کننده ۰/۵ میلی گرم در کیلوگرم سلیوم آلی تفاوت معنی‌داری با هم نداشتند. نتایج نشان داد مصرف سلیوم منجر به افزایش غلظت سلیوم در کبد شد ($P < 0.05$)، همچنین میزان سلیوم کبد در تیمار یک میلی گرم در کیلوگرم در مقایسه با تیمار ۰/۵ میلی گرم در کیلوگرم برای هر دو منبع آلی و غیر آلی بالاتر بود ($P < 0.05$). تیمار دریافت‌کننده یک میلی گرم در کیلوگرم سلیوم غیرآلی با تیمار دریافت‌کننده ۰/۵ میلی گرم در کیلوگرم سلیوم آلی غلظت سلیوم کبدی یکسانی داشتند.

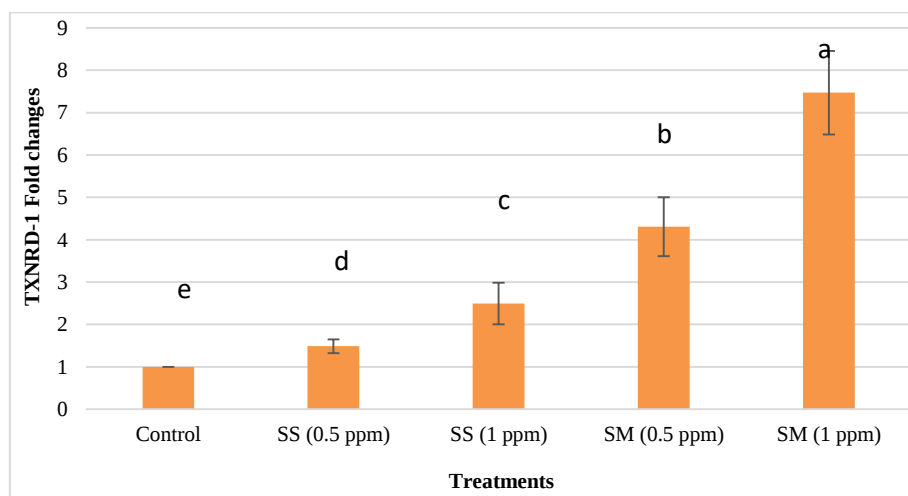
جدول ۴. اثر تیمارهای آزمایشی بر مقدار سلیوم تخم‌مرغ و کبد در مرغ‌های تخم‌گذار

تیمار	زرده تخم‌مرغ خشک	سفیده تخم‌مرغ خشک	زرده تخم‌مرغ تازه	سفیده تخم‌مرغ تازه	کبد (میلی گرم)
	(میلی گرم بر گرم)	(میلی گرم بر گرم)	(میلی گرم بر کیلوگرم)	(میلی گرم بر کیلوگرم)	(میلی گرم)
جیره پایه	۰/۸۳ ^d	۰/۲۳ ^d	۲۸۸/۷۵ ^d	۳۵/۷۵ ^d	۰/۲۳ ^d
جیره پایه + ۰/۵ میلی گرم در کیلوگرم سلیت-سدیم	۲/۱۳ ^c	۰/۸۵ ^c	۷۴۳/۷۵ ^c	۱۱۱/۱۵ ^c	۰/۳۳ ^c
جیره پایه + ۱ میلی گرم در کیلوگرم سلیت-سدیم	۲/۳۶ ^b	۱/۱۸ ^b	۸۳۱/۲۵ ^b	۱۵۴/۰۵ ^b	۰/۴۶ ^b
جیره پایه + ۰/۵ میلی گرم در کیلوگرم سلیوم-متیونین	۲/۳۱ ^b	۱/۰۶ ^b	۸۰۸/۵۰ ^b	۱۳۷/۸۰ ^b	۰/۴۴ ^b
جیره پایه + ۱ میلی گرم در کیلوگرم سلیوم-متیونین	۲/۶۳ ^a	۱/۵۶ ^a	۹۲۰/۵۰ ^a	۲۰۲/۸۰ ^a	۰/۵۴ ^a
خطای استاندارد میانگین‌ها	۰/۰۳۳	۰/۰۵۰	۱۱/۵۸۱	۶/۶۲۲	۰/۰۱۰
سطح احتمال	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰۱

a-e: تفاوت میانگین‌ها با حروف نامشابه در هر ستون معنی‌دار است ($P < 0.05$).

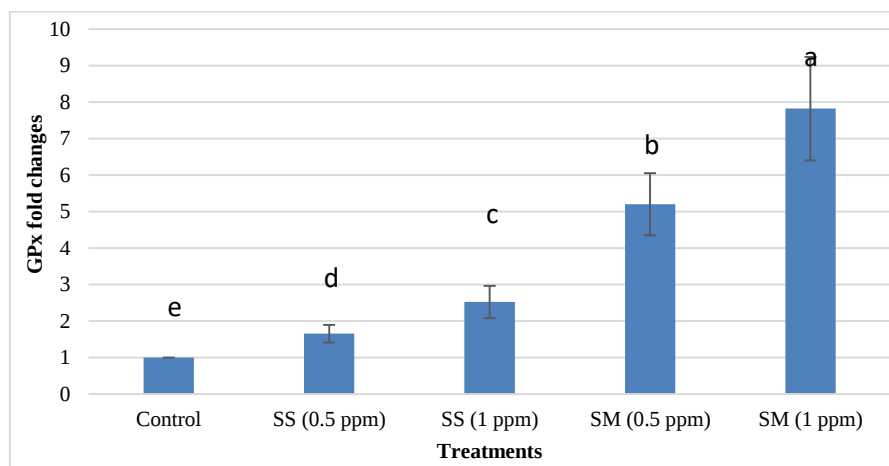
۴.۳. بیان ژن

نمودارهای (۱) و (۲) تأثیر سلیوم آلی و غیر آلی بر بیان ژن *GPx* و *TXNDR1* را در کبد مرغ تخم‌گذار نشان می‌دهد. نتایج نشان داد بین همه تیمارهای آزمایشی برای هر دو ژن تفاوت وجود دارد ($P < 0.05$)؛ بدین ترتیب که برای هر دو ژن کم‌ترین میزان بیان ژن در تیمار شاهد و بیش‌ترین میزان در تیمار دریافت‌کننده یک میلی گرم در کیلوگرم سلیوم-متیونین مشاهده شد ($P < 0.05$). تیمارهای دریافت‌کننده سلیوم آلی در مقایسه با تیمارهای دریافت‌کننده سلیوم غیر آلی میزان بیان ژن‌های *GSH* و *TXNDR1* بالاتری از خود نشان دادند ($P < 0.05$). همچنین سطوح یک در مقایسه با سطوح ۰/۵ میلی گرم در کیلوگرم در هر دو منبع آلی و غیر آلی سلیوم منجر به افزایش در میزان بیان هر دو ژن شده است ($P < 0.05$).



نمودار ۱. مصرف جیره‌های حاوی سلیوم آلی و غیرآلی با سطوح مختلف بر بیان ژن *TXNDR1* در کبد.

a-e: تفاوت میانگین‌ها با حروف نامشابه در هر ستون معنی‌دار است ($P < 0.05$).



نمودار ۲. مصرف جیره‌های حاوی سلینیوم آلی و غیرآلی با سطوح مختلف بر بیان ژن GPx در کبد.
(a-e: تفاوت میانگین‌ها با حروف نامشابه در هر ستون معنی‌دار است ($P < 0.05$)).

۴. بحث

نوسان در افزایش وزن هفتگی، به‌ویژه در تیمارهای مختلف، می‌تواند ناشی از عوامل متعددی باشد؛ ۱- واکنش فیزیولوژیک مرحله‌ای: پاسخ مرغ‌های تخم‌گذار به مکمل‌های ریزمغذی مانند سلینیوم ممکن است در مراحل مختلف چرخه تخم‌گذاری متفاوت باشد. برای مثال، تأثیر اولیه در هفته ۲۸ می‌تواند مرتبط با تنظیم متابولیک اولیه باشد، درحالی‌که در هفته‌های بعدی، بدن ممکن است به حالت تعادل جدیدی برسد (Surai & Fisinin, 2016). ۲- تعامل با دیگر فاکتورهای استرس‌زا: تغییرات افزایش وزن می‌تواند تحت تأثیر فاکتورهای محیطی لحظه‌ای قرار گیرد که اثرات ظریف مکمل سلینیوم را تحت‌الشعاع قرار می‌دهد. مطالعات نشان داده‌اند که فواید سلینیوم آلی اغلب در شرایط چالش‌برانگیز بارزتر می‌شود (Habibian et al., 2015). در شرایط نرمال این آزمایش، ممکن است این چالش‌ها به حدی نبوده که تفاوت معنی‌داری ایجاد کند.

عدم تأثیر معنی‌دار مکمل سلینیوم بر مصرف خوراک در هر سه هفته، نشان‌دهنده این است که این مکمل بر اشتها یا قابلیت خوردن پرندگان تأثیر منفی یا مثبت قابل‌توجهی ندارد. این یافته مهم است، زیرا ثبات مصرف خوراک پایه برای حفظ تولید ضروری است. این نتیجه با یافته‌های Wang و همکاران (۲۰۲۱) مطابقت دارد که گزارش کردند مکمل سلینیوم-متیونین در جیره مرغ‌های تخم‌گذار، مصرف خوراک را تغییر نمی‌دهد، اما کارایی استفاده از خوراک را از طریق مکانیسم‌های دیگری بهبود می‌بخشد.

اگرچه ضریب تبدیل در هفته‌های مختلف به‌صورت جداگانه معنی‌دار نشد، اما روند عددی بهبود در برخی تیمارها (مانند ضریب تبدیل نسبتاً بهتر تیمار ۲ در هفته ۲۸) قابل مشاهده است. این ممکن است نشان‌دهنده تأثیر گذرا یا مرحله‌ای سلینیوم بر متابولیسم انرژی یا سنتز پروتئین باشد. همان‌طور که Briens و همکاران (۲۰۱۴) اشاره کرده‌اند، برتری متابولیک سلینیوم آلی اغلب در سطوح سلولی و آنزیمی است که لزوماً در هر مقطع زمانی کوتاه به‌صورت آماری در شاخص‌های عملکردی (مانند ضریب تبدیل هفتگی) آشکار نمی‌شود، اما در نهایت می‌تواند به بهبود کارایی کلی در یک دوره طولانی‌تر منجر شود.

آنالیز هفته به هفته شاخص‌های عملکردی، عدم تأثیر معنی‌دار آماری مکمل سلینیوم را در کوتاه‌مدت تأیید می‌کند، اما بر ثبات مصرف خوراک و نیز ماهیت احتمالاً کیفی و بلندمدت مزایای این مکمل (که در سایر بخش‌های مقاله به‌وضوح دیده شد) صحه می‌گذارد.

افزودن ۰/۳ و ۰/۶ میلی گرم بر کیلوگرم سلینیوم به جیره از منبع سلینیوم آلی باعث کاهش شدید میزان مالون‌دی‌آلدهید

گوشت عضلات در مقایسه با گروه شاهد گردید (Wang et al., 2009). استفاده از سلیوم آلی سطح مالون‌دی‌آلدهید سرم و کلیه را به‌طور معنی‌داری نسبت به سلیت-سدیم کاهش داد، اگرچه این تفاوت در بافت کلیه ناچیز بود (Gawel et al., 2004). مالون‌دی‌آلدهید که به‌عنوان یک نشانگر تنش اکسیداتیو در نظر گرفته می‌شود، یکی از محصولات نهایی پراکسیداسیون اسیدهای چرب غیر اشباع سلول است که ارتباط مستقیمی با آسیب سلول‌ها به‌وسیله رادیکال‌های آزاد دارد و به‌عنوان معیاری از پراکسیداسیون قرار می‌گیرد. هرچه میزان ظرفیت آنتی‌اکسیدانی تام بیش‌تر باشد، میزان مالون‌دی‌آلدهید به‌دلیل خشی‌سازی فعالیت‌های اکسیداتیوی کاهش پیدا خواهد کرد (Nissen et al., 2004). سلیوم به‌خاطر خاصیت آنتی‌اکسیدانی و ساخت سلنوسیستین، به‌عنوان مرکز فعال گلوپروتئین‌پراکسیداز نقش مؤثری را می‌تواند ایفا کند و از آنجایی‌که جذب منابع نانوسلیوم و سلیوم آلی که به‌طور فعال از دیواره روده صورت می‌گیرند، می‌توانند کارایی بالاتری را نسبت به سلیوم غیرآلی که از طریق انتشار جذب می‌شود، داشته باشند. محتوای مالون‌دی‌آلدهید در جیره جوجه گوشتی که دارای کمبود سلیوم است به‌طور قابل‌توجهی افزایش یافت (Xu et al., 2017). استفاده از ترکیب مکمل سلیوم آلی و غیر آلی فعالیت آنتی‌اکسیدانی سرم را بهبود بخشید اما افزودن سلیوم آلی در سطح آنتی‌اکسیدانی سرم مؤثرتر است و راحت‌تر به داخل تخم‌مرغ و بافت رسوب می‌کند.

در مطالعه حاضر مالون‌دی‌آلدهید به‌عنوان شاخص آسیب اکسیداتیو اندازه‌گیری شد. افزایش محتوای مالون‌دی‌آلدهید در سرم و بافت نشانگر آسیب اکسیداتیو در اثر کمبود سلیوم است. بنابراین، کاهش مالون‌دی‌آلدهید توسط سلیوم آلی به‌دلیل وجود سلیوم-متیونین است که در مقایسه با سلیت-سدیم از دسترس زیستی بیش‌تری برخوردار هستند و می‌توانند سطح آنتی‌اکسیدان‌ها را افزایش داده و تولید محصولات پراکسیداسیون لیپید را کاهش دهد (Dalia et al., 2017). مشابه با نتایج Skrivan و همکاران (۲۰۰۶) مکمل‌کردن سلیوم در جیره غلظت سلیوم تخم‌مرغ را افزایش می‌دهد و افزودن سلیوم آلی (مخمر سلیوم) به جیره مرغ تخم‌گذار باعث افزایش بیش‌تری در غلظت سلیوم تخم‌مرغ نسبت به سلیت-سدیم می‌شود. پژوهش‌ها نشان می‌دهد که افزایش میزان غلظت سلیوم در زرده تخم‌مرغ، به نوع منبع سلیوم مورد استفاده در جیره طیور بستگی دارد. به‌طور کلی، سلیوم-متیونین اساساً در سفیده تخم‌مرغ ذخیره می‌شود در صورتی‌که سلیت-سدیم به‌طور کثیری در زرده تخم‌مرغ پخش می‌شود و باعث افزایش سلیوم موجود در زرده شد (Cobanova et al., 2011).

Urso و همکاران (۲۰۱۵) نشان دادند که مقدار سلیوم زرده تخم‌مرغ با اضافه‌کردن ۰/۱۵ به ۰/۳ میلی‌گرم در کیلوگرم افزایش یافت که مطابق با نتایج این مطالعه است. Surai & Fisinin (۲۰۱۶) گزارش کردند استفاده از سلیوم آلی بین ۰/۳ تا ۰/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم در جیره غذایی منجر به تجمع حدود ۳۰ درصد سلیوم بیش‌تر در زرده تخم‌مرغ نسبت به سلیوم غیرآلی شد. مرغ‌های تغذیه شده با سلیوم به‌طور معنی‌داری غلظت سلیوم بالاتری در زرده و سفیده تخم‌مرغ در مقایسه با سلیت-سدیم دارند. محتوای سلیوم تخم‌مرغ با افزایش مقدار سلیوم در جیره غذایی به‌طور خطی افزایش یافت. یکی از علل افزایش ابقای سلیوم استفاده از مخمر سلیوم این است که سلیوم موجود در آن بیش‌تر به شکل سلیوم-متیونین می‌باشد و سلیوم-متیونین می‌تواند به‌طور مؤثری در ساختمان پروتئین‌ها وارد شود، درحالی‌که منابع غیر آلی سلیوم مانند سلیت-سدیم به‌طور غیرفعال در بدن جذب می‌شوند و مقادیر اضافی آن دفع می‌گردد. سلیوم آلی به‌طور فعال جذب شده که به‌واسطه فرایند مشابه جذب متیونین از روده می‌باشد و سپس بی‌واسطه وارد پروتئین تخم‌مرغ می‌شود (Surai & Fisinin, 2016). با افزایش سطح سلیوم در جیره مقدار آن در تخم‌مرغ افزایش می‌یابد و سلیوم آلی منبع مؤثرتری در این روند می‌باشد. غشاهای مختلف سلولی مقادیر متفاوتی از سلیت-سدیم را از خود عبور می‌دهند. پروتئین‌های سفیده تخم‌مرغ در تخمدان ساخته می‌شوند. افزایش بیش‌تر غلظت سلیوم محتوای تخم‌مرغ در جیره‌های غذایی حاوی سلیوم آلی به افزایش بیش‌تر پروتئین‌های تخم‌مرغ نسبت داده شده است (Reis et al., 2009).

افزودن سلیوم به جیره غذایی مرغ تخم‌گذار، غلظت سلیوم را در بافت‌های کبد، قلب و کلیه نسبت به مرغ‌هایی که مکمل سلیوم استفاده نکرده‌اند افزایش داد. غلظت سلیوم در کلیه به مقدار ۰/۵ میلی گرم در کیلوگرم به بالاترین حد رسید، درحالی که مقدار یک میلی گرم در کیلوگرم به جیره اضافه گردید غلظت آن نسبت به ۰/۵ میلی گرم در کیلوگرم اختلاف معنی داری نداشت. بدون در نظر گرفتن سطح سلیوم، غلظت سلیوم در کبد، طحال و قلب مرغ‌های تخم‌گذار تغذیه شده با سلیوم آلی بیش تر از مرغ‌هایی بود که سلیوم غیر آلی استفاده کرده‌اند و مشاهده شد، سلنیت سدیم در کلیه بیش تر دفع می شود. بین غلظت سلیوم در کلیه و خون ارتباطی وجود دارد. این ارتباط به این طریق است کلیه حاوی عروق مویرگی فراوانی است و این عروق مملو از خون است. زمانی که سلیوم غیر آلی بیش از مقدار مورد نیاز باشد از طریق ادرار دفع می شود، بنابراین کلیه منعکس کننده مقدار سلیوم رسوب کرده است که از طریق ادرار دفع می شود (Pan et al., 2011).

نتایج نشان داد است که بیان این ژن‌ها (*GSH-Px* and *TXNRD1*) به وسیله جذب سلیوم در جیره غذایی تنظیم می شود. گلوکاتیون پراکسیداز یک آنزیم ضد اکسیدان بوده و باعث مصرف و کاهش رادیکال‌های آزاد درون سلولی به ویژه پراکسید هیدروژن می شود (Halliwell & Gutteridge, 2007). این نتایج گواهی بر این است که سلیوم آلی نه تنها به عنوان یک کوآنزیم، بلکه در سطح تنظیم رونویسی نیز می تواند سیستم آنتی اکسیدانی درون زادی را تقویت کند (Zoidis et al., 2018). افزایش بیان این ژن‌ها منجر به سنتز بیش تر آنزیم‌های *GPx* و *TXNRD* می شود که در خنثی سازی پراکسیدها و حفظ محیط ردوکس داخل سلولی نقش حیاتی دارند. این مکانیسم مولکولی می تواند توجیهی برای کاهش سطح MDA کبدی در گروه‌های دریافت کننده سلیوم آلی باشد.

۵. نتیجه گیری

مکمل کردن جیره مرغ تخم‌گذار با سلیوم متیونین (به ویژه در سطح ۱ میلی گرم بر کیلوگرم) در مقایسه با سلنیت سدیم، منجر به بهبود وضعیت آنتی اکسیدانی (کاهش MDA کبدی)، افزایش ذخیره سلیوم در تخم مرغ و کبد، و افزایش بیان ژن‌های کلیدی درگیر در دفاع آنتی اکسیدانی می شود. این نتایج نشان می دهد که استفاده از منابع آلی سلیوم می تواند راهبردی مؤثر برای ارتقای سلامت پرند، بهبود کیفیت تغذیه ای تخم مرغ و احتمالاً افزایش ماندگاری محصول باشد. توصیه می شود در جیره‌های عملی مرغ تخم‌گذار، استفاده از سلیوم متیونین به عنوان منبع ارجح سلیوم مدنظر قرار گیرد.

۶. ملاحظات اخلاقی

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

۷. مشارکت نویسندگان

زهرا تهامی: تهیه و آماده سازی نمونه‌ها، انجام آزمایش و گردآوری داده‌ها، انجام محاسبات، تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها، تحلیل و تفسیر اطلاعات و نتایج، تهیه پیش نویس مقاله؛

بهروز دستار: استاد راهنمای پایان نامه، طراحی پژوهش، نظارت بر مراحل انجام پژوهش، بررسی و کنترل نتایج، اصلاح، بازبینی و نهایی سازی مقاله؛

احسان اسکویان: استاد مشاور پایان نامه، تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها، مطالعه و بازبینی مقاله؛

سیدرضا هاشمی: استاد مشاور پایان نامه، مشارکت در طراحی پژوهش، نظارت بر پژوهش، مطالعه و بازبینی مقاله.

۸. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

۹. تشکر و قدردانی

از شرکت خوشه صنعتی زیست‌فناور آرکا و زنجیره تولید یکپارچه صالح کاشمر به‌خاطر حمایت مالی و همچنین از معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان به‌خاطر همکاری در اجرای پژوهش حاضر، تشکر و قدردانی می‌گردد.

۱۰. منابع

- Beyrami, M., Karimi, E., & Oskoueian, E. (2020). Synthesized chrysin-loaded nanoliposomes improves cadmium-induced toxicity in mice. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(32), 40643-40651. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-10113-7>
- Briens, M., Mercier, Y., Rouffineau, F., & Geraert, P. A. (2014). Comparative study of organic selenium sources in broiler chickens. *Animal Feed Science and Technology*, 191, 148-154. <https://doi.org/10.1017/S0007114512005545>
- Cobanova, K., Petrovic, V., Mellen, M., Arpasova, H., Gresakova, L., & Faix, S. (2011). Effects of dietary form of selenium on its distribution in eggs. *Biological Trace Element Research*, 144, 736-746. <https://doi.org/10.1007/s12011-011-9125-7>
- Chen, Y., Hao, Z., Lv, Z., Ning, Z., Guo, Y., & Yuan, J. (2025). Comparative Effects of Organic and Nano-Selenium on Egg Quality and Antioxidant Capacity in Layer Hens. *Foods*, 14(9), 1454. DOI: 10.3390/foods14091454
- Dalia, A. M., Loh, T. C., Sazili, A. Q., Jahromi, M. F., & Samsudin, A. A. (2017). The effect of dietary bacterial organic selenium on growth performance, antioxidant capacity, and Selenoproteins gene expression in broiler chickens. *BMC Veterinary Research*, 2-11. <https://doi.org/10.1186/s12917-017-1159-4>
- Davis, C. D., Tsuji, P. A., & Milner, J. A. (2012). Selenoproteins and cancer prevention. *Annual Review of Nutrition*, 32, 73-95. <https://doi.org/10.1146/annurev-nutr-071811-150740>
- Gaweł, S., Wardas, M., Niedworok, E., & Wardas, P. (2004). Malondialdehyde (MDA) as a lipid peroxidation marker. *Wiadomosci lekarskie* (Warsaw, Poland: 1960), 57(9-10), 453-455.
- Habibian, M., Sadeghi, G., Ghazi, S., & Moeini, M. M. (2015). Selenium as a feed supplement for heat-stressed poultry: A review. *Biological Trace Element Research*, 165(2), 183-193. <https://doi.org/10.1007/s12011-015-0275-x>
- Halliwell, B., & Gutteridge, M. (2007). Lipid peroxidation: a radical chain reaction. In: *Free Radicals Biology and Medicine*. 2nd ed. Oxford University Press. New York, pp. 188-218.
- Kralik, Z., Kralik, G., Košević, M., Galović, O., & Samardžić, M. (2025). Natural multi-enriched eggs with n-3 polyunsaturated fatty acids, selenium, vitamin E, and lutein. *Animals (Basel)*, 16; 13(2), 321. <https://doi.org/10.3390/ani13020321>.
- Krynitsky, A. J. (1987). Preparation of biological tissue for determination of arsenic and selenium by graphite furnace atomic absorption spectrometry. *Analytical Chemistry*, 59(14), 1884-1886. <https://doi.org/10.1021/ac00141a027>
- Nissen, S., Tuzcu, E., Schoenhagen, P., Brown, B., Ganz, P., Vogel, R., Crowe, T., Howard, G., Cooper, C. J., Brodie, B., Grines, C. L., & DeMaria, A. N. (2004). Effect of intensive compared with moderate lipidlowering therapy on progression of coronary atherosclerosis: a randomized controlled trial. *Journal of the American Medical Association*, 291, 1071-1080. <https://doi.org/10.1001/jama.291.9.1071>
- Pan, C. L., Zhao, Y. X., Liao, S. F. F., Chen, F., Qin, S. Y., Wu, X. S., Zhou, H., & Huang, K. H. (2011). Effect of Se-Enriched Probiotics on Laying Performance, Egg Quality, Egg Se Content, and Egg Glutathione Peroxidase Activity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59, 11424-11431. <https://doi.org/10.1021/jf202014k>

- Rayman, M. P. (2012). Selenium and human health. *The Lancet*, 379 (9822), 1256-1268.
- Reis, R. N., Vieira, S. L., Nascimento, P. C., Pena, J. E., Barros, R., & Torres, C. A. (2009). Selenium contents of eggs from broiler breeders supplemented with sodium selenite or zinc-L-selenium-methionine. *Journal of Applied Poultry Research*, 18, 151-157. <https://doi.org/10.3382/japr.2008-00069>
- Scheideler, S., Weber, P., & Monsalve, D. (2010). Supplemental vitamin E and selenium effects on egg production, egg quality, and egg deposition of α -tocopherol and selenium. *Journal of Applied Poultry Research*, 19(4), 354-360. <https://doi.org/10.3382/japr.2010-00198>
- Skrivan, M., Bubancová, I., Marounek, M., & Dlouhá, G. (2010). Selenium and α - tocopherol content in eggs produced by hens that were fed diets supplemented with selenomethionine, sodium selenite and vitamin E. *Czech Journal of Animal Science*, 55(9), 388-397. <https://doi.org/10.17221/92/2010-CJAS>
- Skrivan, M., Simane, J., Dlouhá, G., & Doucha, J. (2006). Effect of dietary sodium selenite, Se-enriched yeast and Se-enriched Chlorella on egg Se concentration, physical parameters of eggs and laying hen production. *Czech Journal of Animal Science*, 51(4), 163. <https://doi.org/10.17221/3924-CJAS>
- Surai, P. F., & Fisinin, V. I. (2016). Vitagenes in poultry production: Part 1. Technological and environmental stresses. *World's Poultry Science Journal*, 72(4), 721-734. <https://doi.org/10.1017/S0043933916000714>
- Urso, U. R. A., Dahlke, F., Maiorka, A., Bueno, I. J. M., Schneider, A. F., Surek, D., & Rocha, C. (2015). Vitamin E and selenium in broiler breeder diets: Effect on live performance, hatching process, and chick quality. *Poultry Science*, 94 (5), 976-983. <https://doi.org/10.3382/ps/pev042>
- Wang, B., Li, L., Chi, CF., Ma, J. H., Luo, H. Y., & Xu, Y. F. (2013). Purification and characterization of a novel antioxidant peptide derived from blue mussel *Mytilus edulis* protein hydrolysate. *Food chemistry*, 138, 1713-1719. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.12.002>
- Wang, Y. X., Zhan, X. A., Yuan, D., Zhang, X. W., & Wu, R. J. (2021). Effects of dietary selenium source and level on growth performance, antioxidant status and meat quality of broilers. *Animal Nutrition*, 7(1), 85-92.
- Wang, Z. G., Pan, X. J., Peng, Z. Q., Zhao, R. Q., & Zhou, G. H. (2009). Methionine and selenium yeast supplementation of the maternal diets affects color, waterholding capacity, and oxidative stability of their male offspring meat at the early stage. *Journal of Poultry Science*, 88, 1096-1101. <https://doi.org/10.3382/ps.2008-00207>
- Xu, D. P., Li, Y., Meng, X., Zhou, T., Zhou. Y., Zheng, J., Zhang, J. J., & Li, H. B. (2017). Natural antioxidants in foods and medicinal plants: extraction, assessment and resources, *International Journal of Molecular Medicine Sciences*, 18(1), 96. <https://doi.org/10.3390/ijms18010096>
- Zabulienė, L., Mazeikiene, A., Banys, V., Gruzauskas, R., Urbaite, I., Hendrixson, V., Istomina, N., Varvuolyte, S., Urbonas, M., Sileikaite, K., & Paulauskaite-Taraseviciene, A. (2025). The effect of iodine- and selenium-fortified eggs on urinary excretion: findings from a randomized controlled study. *Endocrine Abstracts*, 110, P13
- Zhang, Y., Zhang, W., & Liu, Y. (2020). Effects of different selenium sources on laying performance, egg quality, and antioxidant capacity in laying hens. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 104(2), 550-558.
- Zoidis, E., Seremelis, I., Kontopoulos, N., & Danezis, G. P. (2018). Selenium-dependent antioxidant enzymes: Actions and properties of selenoproteins. *Antioxidants*, 7(5), 66. <https://doi.org/10.3390/antiox7050066>