



Effect of inorganic and organic sources of phosphorous and phytase enzyme on production performance, egg quality and true and apparent ileal digestibility of phosphorous in laying hens

Abdollah Heydar Shaker Al-Mousavi¹ | Soudabeh Moradi² | Mehran Torki³ | Ali Khatibjoo⁴ | Reza Abdollahi⁵

1. Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, Razi University, Kermanshah, Iran. E-mail: abdollahshaher290@gmail.com
2. Corresponding Author, Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, Razi University, Kermanshah, Iran. E-mail: s.moradi@razi.ac.ir
3. Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, Razi University, Kermanshah, Iran. E-mail: torki@razi.ac.ir
4. Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran. E-mail: a.khatibjoo@ilam.ac.ir
5. Massey University, Palmerston North, New Zealand. E-mail: M.Abdollahi@massey.ac.nz

Article Info	ABSTRACT
Article type: Research Article Article history: Received 7 October 2024 Received in revised form 22 August 2025 Accepted 26 August 2025 Published online 11 October 2025 Keywords: Dicalcium phosphate Ileal digestibility Laying hen Meat and Bone meal Monocalcium phosphate Phytase Enzyme	Objective: This experiment was conducted to evaluate the effect of different phosphorus sources and phytase supplementation on performance, egg quality, and the digestibility coefficients of P in mono and dicalcium phosphate and meat and bone meal in commercial laying hens. Methods: A total of 288 lohmann laying hens (LSL-Lite) was used in a completely randomized design with 3×2 factorial arrangements with 6 treatments, 8 replicates and 6 birds in each from 50 to 62 wk of age. Experimental treatments included: three sources of P including mono- and dicalcium phosphate (MCP and DCP) and meat and bone meal (MBM) with and without phytase enzyme (400 FTU/kg). Apparent and true ileal digestibility (AIDP and TIDP), as well as apparent retention of P (TTDP), were measured using semi-purified corn-based diets. Results: The true ileal digestibility coefficients of P in MCP, DCP and MBM were 43.4, 44.0, and 40.7 % respectively, in laying hens at 62 weeks of age, and the AIDP, and TIDP of MCP and DCP was greater than that of MBM. AIDP and TIDP for DCP and MCP were greater than that of MBM, and phytase supplementation increased P digestibility ($P < 0.05$), however, TTDP in 62-week-old laying hens in MBM was numerically higher than those of DCP and MCP. The interaction of P source and phytase on egg production, egg weight, egg mass and feed intake were significant. The greatest percentage of egg production was observed in hens fed with DCP plus phytase and MBM plus phytase, which was significantly more than those of DCP and MCP plus phytase treatments ($P < 0.05$). Phytase supplementation in DCP containing diets increased egg production rate and egg weight ($P < 0.05$). Compared to other groups, the greatest feed intake was observed in the birds fed MCP diets without and with phytase ($P < 0.01$). The best egg weight was observed in birds fed MCP, which was significantly different from those of DCP and MBM diets ($P < 0.05$). The egg mass in birds fed MCP and DCP with phytase was lower than in other experimental treatments ($P < 0.05$). Compared to a diet without phytase, the addition of phytase and MBM, the inclusion of DCP and MCP in the diet improved yolk color ($P < 0.05$). Conclusions: In conclusion, using DCP and MCP was more effective than MBM and phytase inclusion has impact on P digestibility and egg production in DCP and MBM containing diets.

Cite this article: Heydar Shaker Al-Mousavi, A., Moradi, S., Torki, M., & Khatibjoo, A. (2025). Effect of inorganic and organic sources of phosphorous and phytase enzyme on production performance, egg quality and true and apparent ileal digestibility of phosphorous in laying hens. *Journal of Animal Production*, 27 (3), 335-350. DOI: <https://doi.org/10.22059/jap.2025.383395.623805>





تأثیر منابع معدنی و آلی فسفر و آنزیم فیتاز بر عملکرد تولید، کیفیت تخم مرغ و قابلیت هضم ظاهری و حقیقی ایلئومی فسفر در مرغ های تخم گذار

عبدالله حیدر شاکر الموسوی^۱ | سودابه مرادی^۲ | مهران ترکی^۳ | علی خطیب جو^۴ | رضا عبداللہی^۵

۱. گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی کرمانشاه، کرمانشاه، ایران. رایانامه: abdullahshaher290@gmail.com
۲. نویسنده مسئول، گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی کرمانشاه، کرمانشاه، ایران. رایانامه: s.moradi@razi.ac.ir
۳. گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی کرمانشاه، کرمانشاه، ایران. رایانامه: torki@razi.ac.ir
۴. گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران. رایانامه: a.khatibjoo@ilam.ac.ir
۵. مرکز تحقیقات تکمدهای ها، دانشگاه مسی، نیوزیلند. رایانامه: M.Abdollahi@massey.ac.nz

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	هدف: این آزمایش به منظور بررسی تأثیر منابع فسفر و آنزیم فیتاز بر عملکرد تولید، کیفیت تخم مرغ و تعیین ضرایب قابلیت هضم فسفر در مونو و دی کلسیم فسفات و پودر گوشت و استخوان در مرغ های تخم گذار انجام شد.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۱۶	روش پژوهش: از تعداد ۲۸۸ قطعه مرغ تخم گذار سویه لوهمن (LSL-lite) در قالب آزمایش فاکتوریل ۳×۲ با سه منبع فسفر (پودر گوشت و استخوان، مونو کلسیم فسفات و دی کلسیم فسفات) و دو سطح آنزیم (بدون آنزیم، با ۴۰۰ واحد آنزیم فیتاز در کیلوگرم جیره)، بر پایه طرح کاملاً تصادفی با شش تیمار، هشت تکرار و شش مرغ در هر تکرار از سن ۵۰ تا ۶۲ هفتهگی استفاده شد. قابلیت هضم ظاهری و حقیقی ایلئومی و ابقای ظاهری فسفر با استفاده از جیره های نیمه خالص بر پایه ذرت اندازه گیری شد.
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۵/۳۱	یافته ها: ضرایب قابلیت هضم حقیقی ایلئومی فسفر در دی و مونو کلسیم فسفات و پودر گوشت و استخوان، به ترتیب ۴۴/۰، ۴۳/۴ و ۴۰/۷ درصد در مرغ های تخم گذار در سن ۶۲ هفتهگی بود و این ضرایب در جیره های دارای مونو و دی کلسیم فسفات بیش تر از پودر گوشت و استخوان بود و افزودن آنزیم فیتاز قابلیت هضم فسفر را افزایش داد ($P < 0.05$). اثرات متقابل منبع فسفر و آنزیم فیتاز بر تولید، وزن و توده تخم و همچنین مصرف خوراک معنی دار بود ($P < 0.05$)، به طوری که درصد تولید تخم در مرغ های تغذیه شده با دی کلسیم فسفات حاوی فیتاز و پودر گوشت و استخوان حاوی فیتاز، بیش تر از مرغ های تغذیه شده با جیره حاوی دی کلسیم فسفات و مونو کلسیم فسفات حاوی آنزیم فیتاز بود ($P < 0.05$). افزودن فیتاز به جیره حاوی دی کلسیم فسفات، تولید و وزن تخم مرغ را افزایش داد ($P < 0.05$). نسبت به سایر گروه ها، مرغ های تغذیه شده با جیره دارای مونو کلسیم فسفات با و بدون آنزیم فیتاز بیش ترین مصرف خوراک را داشتند ($P < 0.05$). نسبت به سایر گروه ها، وزن تخم در مرغ های تغذیه شده با جیره دارای مونو کلسیم فسفات مشاهده شد ($P < 0.05$). توده تخم مرغ تولیدی در پرندگان تغذیه شده با مونو کلسیم فسفات و دی کلسیم فسفات به همراه آنزیم فیتاز، کم تر از سایر تیمارهای آزمایشی بود ($P < 0.05$). در مقایسه با جیره بدون آنزیم فیتاز، افزودن آنزیم فیتاز و در مقایسه با پودر گوشت و استخوان، گنجاندن مونو و دی کلسیم فسفات در جیره، رنگ زرد را بهبود بخشیدند ($P < 0.05$).
کلیدواژه ها: مرغ تخم گذار پودر گوشت و استخوان دی کلسیم فسفات مونو کلسیم فسفات قابلیت هضم ایلئومی آنزیم فیتاز	نتیجه گیری: به طور کلی، نتایج این پژوهش نشان داد که استفاده از دی و مونو کلسیم فسفات در جیره های مرغ های تخم گذار بهتر از پودر گوشت و استخوان می باشد و آنزیم فیتاز بر قابلیت هضم فسفر و تولید تخم مرغ در جیره های دارای دی کلسیم فسفات و پودر گوشت و استخوان تأثیر گذارتر بود.

استناد: حیدر شاکر الموسوی، عبدالله؛ مرادی، سودابه؛ ترکی، مهران و خطیب جو، علی (۱۴۰۴). تأثیر منابع معدنی و آلی فسفر و آنزیم فیتاز بر عملکرد تولید، کیفیت تخم مرغ و قابلیت هضم ظاهری و حقیقی ایلئومی فسفر در مرغ های تخم گذار. *نشریه تولیدات دامی*، ۲۷ (۳)، ۲۳۵-۲۵۰.
DOI: <https://doi.org/10.22059/jap.2025.383395.623805>



۱. مقدمه

فسفر ماده معدنی ضروری برای متابولیسم و تولید تخم در مرغ‌های تخم‌گذار محسوب می‌شود که همراه با کلسیم نقش به‌سزایی در تشکیل و استحکام استخوان دارد. فسفر بعد از انرژی و اسیدهای آمینه، گران‌ترین جزء تشکیل‌دهنده جیره طیور است و در جیره‌های بر پایه مواد خوراکی گیاهی، بخش عمده فسفر به‌صورت فیتاته و غیرقابل هضم است (Pelicia et al., 2009). حدود ۶۰ تا ۷۵ درصد از فسفر موجود در منابع گیاهی به‌صورت فیتاته می‌باشد و به‌دلیل عدم تولید و ترشح آنزیم فیتاز در دستگاه گوارش طیور، قابلیت دسترسی بسیار کمی دارد که بسته به سن طیور از پنج تا ۶۰ درصد متغیر می‌باشد (Bello & Korver, 2019). فیتات یا اسید فایتیک یک ماده ضدتغذیه‌ای است که نه‌تنها باعث کاهش قابلیت دسترسی فسفر می‌شود بلکه با تشکیل کیلات با کاتیون‌های چند ظرفیتی مانند روی، منیزیم، آهن، مس و منگنز در دستگاه گوارش طیور قابلیت هضم و دسترسی آن‌ها را کاهش می‌دهد. همچنین، مقادیر زیادی از فسفر فیتاته از طریق فضولات دفع می‌شود که منجر به ایجاد مشکلات اقتصادی و زیست‌محیطی می‌گردد. در مرغ‌های تخم‌گذار با توجه به زیادبودن مقدار کلسیم جیره (حدود چهار درصد و بیش‌تر) و استفاده از منابع کلسیمی با حلالیت زیاد، میزان دسترسی به فسفر کاهش می‌یابد و همین مسأله توجه بیش‌تر به قابلیت دسترسی فسفر و اهمیت استفاده از آنزیم فیتاز در جیره مرغ‌های تخم‌گذار را نشان می‌دهد (Li et al., 2021). منابعی مانند مونیو و دی‌کلسیم فسفات یا پودر استخوان، تأمین تأمین‌کننده همزمان کلسیم و فسفر موردنیاز مرغ‌های تخم‌گذار هستند و اندازه ذرات این منابع به‌دلیل تأثیرگذاری بر میزان و سرعت آزادسازی کلسیم، از عوامل مؤثر بر قابلیت هضم کلسیم و فسفر آن‌ها می‌باشد (Anwar et al., 2016; Kim et al., 2017). در سال‌های اخیر، توجه زیادی به بهبود قابلیت هضم فسفر در پرندگان به‌دلیل نگرانی‌های زیست‌محیطی از طریق دفع فسفر، کاهش ذخایر منابع معدنی در دنیا و افزایش قیمت منابع معدنی شده است (Fernández et al., 2019; Hervo et al., 2024). بنابراین، مطالعه حاضر به‌منظور تعیین ضرایب قابلیت هضم فسفر در مونیو و دی‌کلسیم فسفات و پودر گوشت و استخوان همراه با افزودن آنزیم فیتاز در مرغ‌های تخم‌گذار و بررسی تأثیر این منابع بر عملکرد و کیفیت تخم مرغ انجام شد.

افزودن دو سطح فیتاز ۶۰۰ و ۳۰۰ واحد در کیلوگرم به جیره مرغ‌های تخم‌گذار سبب بهبود مصرف خوراک، ضریب تبدیل خوراک، تولید تخم و وزن آن در تیمارهای با سطح زیاد فسفر (۰/۴۲ درصد) شد و افزودن فیتاز میکروبی به جیره‌های کم فسفر بر پایه ذرت و گندم، ابقای ظاهری فسفر را افزایش و میزان دفع آن را تا ۴۵ درصد کاهش داد که دلیل بر تأثیر مطلوب فیتاز در افزایش جذب فسفر و خاکستر استخوان می‌باشد (Ciftci et al., 2005). آنزیم‌های فیتاز مشتق‌شده از قارچ آسپرژیلوس نیجر و اشیریشیاکلی (۳۰۰ واحد فیتاز در کیلوگرم خوراک) قابلیت هضم فسفر و کلسیم را در مرغ‌های تخم‌گذار در سن ۲۳ تا ۲۸ هفته‌گی به‌ترتیب ۱۱/۰۸ و ۹/۸۱ درصد بهبود داد و سبب بهبود نرخ تولید، توده تخم مرغ و کیفیت پوسته شد (Liu et al., 2007). همچنین، فیتاز باکتریایی بوتیاکسلا (BSP) به‌میزان ۳۰۰ واحد فیتاز در کیلوگرم خوراک در جیره مرغ تخم‌گذار لوهمن LSL از سن ۳۰ تا ۷۰ هفته‌گی، قابلیت هضم ایلئومی ظاهری فسفر را ۲۴ درصد در ۳۲ هفته‌گی و ۱۸ درصد در ۴۸ هفته‌گی افزایش داد (Bello & Korver, 2019). افزودن ۲۰۰۰ واحد آنزیم فیتاز (Habio phytase) تولیدشده از باکتری اشیریشیاکلی در هر کیلوگرم خوراک به جیره مرغ‌های تخم‌گذار هایلین قهوه‌ای از سن ۲۹ تا ۴۰ هفته‌گی دارای ۰/۱۷، ۰/۲۲، ۰/۲۷، ۰/۳۲، ۰/۳۷ و ۰/۴۲ درصد فسفر غیر فیتاته سبب بهبود محدودی در عملکرد تولیدی مرغ‌ها شد (Ren et al., 2020). همچنین، افزودن ۳۵۰ واحد فیتاز در کیلوگرم جیره مرغ‌های تخم‌گذار لوهمن قهوه‌ای در سن ۳۸ هفته‌گی با دو سطح فسفر غیر فیتاتی (۱/۸ و ۲/۱ گرم بر کیلوگرم) منجر به بهبود خصوصیات پوسته تخم شد و قابلیت هضم کلسیم و فسفر به‌ترتیب ۶/۱ و ۷/۴ درصد بهبود یافت (Englmaierova et al., 2015).

پژوهش‌های کمی در مورد ضرایب قابلیت هضم حقیقی فسفر در منابع مختلف در مرغ‌های تخم‌گذار گزارش شده است و بیش‌تر پژوهش‌ها در رابطه با جوجه‌های گوشتی است. قابلیت هضم ایلئومی حقیقی فسفر در ذرت و کنجاله کانولا به ترتیب ۰/۶۷۶ و ۰/۴۶۹ در جوجه‌های گوشتی گزارش شده است (Mutucumarana *et al.*, 2014; Mutucumarana & Ravindran, 2016). این پژوهش‌گران قابلیت هضم حقیقی فسفر در سه منبع مختلف پودر گوشت و استخوان در جوجه‌های گوشتی را با روش رگرسیون اندازه‌گیری و اعداد ۰/۶۹۳، ۰/۶۰۸ و ۰/۴۲ را گزارش کردند (Mutucumarana *et al.*, 2015). بنابراین پژوهش‌گران، توصیه کردند که تصور عمومی که فسفر در پودر گوشت و استخوان، قابلیت هضم زیادی دارد، درست نیست.

۲. روش پژوهش

این آزمایش در پاییز سال ۱۴۰۲ در مرغداری تحقیقاتی دانشگاه رازی کرمانشاه براساس پروتکل‌های اخلاقی پژوهشی دانشگاه رازی (IR.RAZI.REC.1402.047) در خصوص استفاده از حیوانات برای پژوهش‌های آزمایشگاهی انجام شد. این آزمایش با استفاده از ۲۸۸ قطعه مرغ تخم‌گذار سویه لوهمن LSL-Lite (با میانگین وزنی ۱۴۱۶ گرم) در قالب طرح کاملاً تصادفی با آرایش فاکتوریل ۳×۲ (سه منبع فسفر شامل مونوکلسیم فسفات، دی‌کلسیم فسفات و پودر گوشت و استخوان) و دو سطح آنزیم فیتاز (صفر و ۴۰۰ واحد فیتاز در کیلوگرم خوراک)، با شش تیمار، هشت تکرار و شش مرغ در هر تکرار به مدت ۱۲ هفته (از سن ۵۰ تا ۶۲ هفتگی) انجام شد. سه هفته قبل از شروع آزمایش دوره عادت دهی و پایش تخم‌گذاری مرغ‌ها بود و سپس جیره‌های آزمایشی بر پایه ذرت-کنجاله سویا و براساس دفترچه نیازمندی‌های سویه لوهمن (۲۰۲۱) و براساس مقدار مصرف خوراک روزانه تنظیم شد. دسترسی به آب آزاد و دفعات تغذیه مرغ‌ها دو بار در روز بود. برنامه نوری مرغ‌ها در طول آزمایش به صورت ۱۶ ساعت روشنایی و هشت ساعت تاریکی بود. مواد خوراکی تشکیل‌دهنده و ترکیبات شیمیایی جیره‌های آزمایشی در جدول (۱) آورده شده است.

میزان کلسیم و فسفر موجود در نمونه‌های آزمایشی به ترتیب با استفاده از روش جذب اتمی اسپکتروسکوپی (Thermo Fisher, AA Spectrometer SOLAAR M6) در طول موج ۴۲۲/۷ نانومتر و روش کالریتری در طول موج ۳۴۰ نانومتر (Tecan Infinite200, Lyon, France) و میزان پروتئین، چربی خام، خاکستر و سدیم موجود در پودر گوشت و استخوان قبل از شروع آزمایش، اندازه‌گیری (AOAC, 2005) و در تنظیم جیره‌ها مورد استفاده قرار گرفت. همه جیره‌های آزمایشی، از نظر انرژی، پروتئین و سایر مواد مغذی با هم مشابه بودند. آنزیم فیتاز مورد استفاده در این آزمایش، ناتافوس ۱۰۰۰ (Natuphos®, BASF, Germany) به صورت پرمیکس بود که ۴۰۰ گرم مورد استفاده در هر تن خوراک، ۴۰۰ واحد بین‌المللی (FTU) فیتاز در هر کیلوگرم جیره را تأمین کرد. هم‌چنین جدول ارزش غذایی (Matrix Value) آنزیم فیتاز در تنظیم جیره‌ها، مورد استفاده قرار گرفت. جمع‌آوری تخم‌مرغ‌ها و محاسبه درصد تولید به صورت روزانه انجام شد. عملکرد مرغ‌های تخم‌گذار شامل درصد تولید (براساس مرغ روز)، وزن و توده تخم‌مرغ به صورت روزانه اندازه‌گیری شد. مصرف خوراک به صورت هفتگی اندازه‌گیری شد. کیفیت تخم‌مرغ در پایان دوره آزمایش (۶۲ هفتگی) ارزیابی شد بدین صورت که کل تخم‌مرغ‌های تولیدی هر واحد آزمایشی در دو روز متوالی جمع‌آوری گردید و صفات درصد زرده، سفیده و پوسته، ضخامت پوسته (به وسیله میکرومتر دیجیتالی لوترون اینسایز (Insize) کشور آلمان مدل ۳۱۰۹-۲۵ در سه نقطه بالا، پایین و وسط تخم‌مرغ)، مقاومت پوسته در مقابل شکست (براساس نیوتن بر متر مربع)، واحد هاو و رنگ زرده (براساس شاخص رنگ رش (Roche) (اندازه‌گیری شد (Adviser, 1992; Żyła *et al.*, 2011).

جدول ۱. مواد خوراکی و ترکیب شیمیایی جیره‌های آزمایشی از سن ۵۰ تا ۶۲ هفتگی

مواد خوراکی (درصد)	مونوکلسیم فسفات	دی کلسیم فسفات	پودر گوشت و استخوان	مونوکلسیم فسفات همراه با فیتاز	دی کلسیم فسفات همراه با فیتاز	پودر گوشت و استخوان همراه با فیتاز
سبوس گندم	۳/۰۰	۳/۰۰	۳/۰۰	۳/۰۰	۳/۰۰	۳/۰۰
روغن گیاهی	۲/۰۰	۱/۹۰	۱/۰۵	۱/۶۰	۱/۵۰	۱/۰۰
ذرت	۵۷/۰۰	۵۷/۵۰	۵۹/۳۰	۵۸/۳۰	۵۸/۵۰	۵۹/۷۰
کنجاله سویا	۲۵/۷	۲۵/۷	۲۳/۸	۲۵/۵۰	۲۵/۴۰	۲۴/۳
دی کلسیم فسفات	۰	۱/۸	۰	۰	۱/۱۰	۰
مونوکلسیم فسفات	۱/۴۰	۰	۰	۰/۸۷	۰	۰
پودر گوشت و استخوان	۰	۰	۴/۰۰	۰	۰	۲/۵۰
کربنات کلسیم	۴/۸۰	۴/۵۰	۳/۸۰	۴/۷۰	۴/۶۰	۴/۱۰
صدف	۴/۸۰	۴/۵۰	۳/۸۰	۴/۷۰	۴/۶۰	۴/۱۰
نمک	۰/۲۳	۰/۲۳	۰/۱۹	۰/۲۰۰	۰/۲۳	۰/۲۰
پرمیکس ویتامینه و معدنی ^۱	۰/۶۰	۰/۶۰	۰/۶۰	۰/۶۰	۰/۶۰	۰/۶۰
دی‌آل متیونین	۰/۲۴	۰/۲۴	۰/۲۴	۰/۲۴	۰/۲۴	۰/۲۴
بی کربنات سدیم	۰/۱۵	۰/۱۵	۰/۱۲	۰/۱۵	۰/۱۵	۰/۱۳
جاذب سموم قارچی	۰/۱۰	۰/۱۰	۰/۱۰	۰/۱۰	۰/۱۰	۰/۱۰
آنزیم فیتاز	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۴
جمع کل	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
مواد مغذی محاسبه شده (درصد)						
انرژی قابل متابولیسم (کیلوکالری بر کیلوگرم)	۲۶۸۰/۰۰	۲۶۸۰/۰۰	۲۶۸۰/۰۰	۲۶۸۰/۰۰	۲۶۸۰/۰۰	۲۶۸۰/۰۰
پروتئین خام	۱۵/۹۰	۱۶/۲۰	۱۶/۲۰	۱۵/۹۰	۱۶/۲۰	۱۶/۲۰
لیزین	۰/۸۵	۰/۸۶	۰/۸۵	۰/۸۵	۰/۸۵	۰/۸۲
متیونین + سیستئین	۰/۷۳	۰/۷۳	۰/۷۳	۰/۷۳	۰/۷۵	۰/۷۵
ترئونین	۰/۶۰	۰/۶۰	۰/۶۰	۰/۶۰	۰/۶۰	۰/۶۰
کلسیم	۴/۰۰	۴/۰۰	۴/۰۰	۴/۰۰	۴/۰۰	۴/۰۰
فسفر کل	۰/۵۹	۰/۵۹	۰/۵۸	۰/۵۹	۰/۵۹	۰/۵۹
فسفر غیر فیتاته	۰/۳۷	۰/۳۷	۰/۳۷	۰/۳۷	۰/۳۷	۰/۳۷
مواد مغذی آنالیز شده (درصد)						
کلسیم	۴/۱۸	۴/۱۸	۴/۱۴	۴/۲۵	۴/۸۹	۴/۱۸
فسفر	۰/۷۱	۰/۶۶	۰/۶۹	۰/۶۵	۰/۷۳	۰/۵۹

۱. افزودن مکمل ویتامینه مقادیر زیر را در هر کیلوگرم خوراک تأمین کرد: ۱۰۰۰۰ واحد بین‌المللی ویتامین A، ۲۵۰۰ واحد بین‌المللی ویتامین D3، ۲۰ میلی‌گرم ویتامین E، ۳ میلی‌گرم ویتامین K3، ۲ میلی‌گرم ویتامین B1، ۵ میلی‌گرم B2، ۱۲ میلی‌گرم پنتوتیک اسید، ۰/۷۵ میلی‌گرم فولیک اسید، ۴۰ میلی‌گرم نیکوتینیک اسید، ۰/۱۵ میلی‌گرم B12 و ۰/۰۵ میلی‌گرم بیوتین.
۲. هر کیلوگرم مکمل مواد معدنی حاوی: ۱۰۰ گرم کولین کلراید، ۱۰۰ میلی‌گرم منگنز، ۶۰ میلی‌گرم روی، ۶۰ میلی‌گرم آهن، ۸ میلی‌گرم مس، ۰/۱۵ میلی‌گرم کبالت و ۰/۲۵ میلی‌گرم سلنیوم.

برای تعیین میانگین هندسی قطر ذرات منابع مورد استفاده، مقدار ۱۰۰ گرم از هر نمونه توزین و با استفاده از شیکر الک‌دار با اندازه‌های مختلف الک با قطر منافذ ۰/۴۷۵، ۰/۳۳۵، ۰/۲۳۶، ۰/۲۰۰، ۰/۱۸۰، ۰/۱۶۰، ۰/۱۲۵، ۰/۱۰۰ و ۰/۷۵ میکرومتر به مدت ۱۵ دقیقه الک شد. سپس مقدار باقیمانده روی هر الک وزن شد و به صورت نسبتی از کل نمونه اولیه بیان شد (Equivalents & Equivalent, 2006). در نهایت میانگین هندسی قطر ذرات و انحراف استاندارد میانگین هندسی قطر ذرات در منابع مورد استفاده محاسبه شد (جدول ۲). ضریب حلالیت مونوکلسیم فسفات، دی کلسیم فسفات و پودر گوشت و استخوان به صورت آزمایشگاهی با روش کاهش وزن (Zhang & Coon, 1997) اندازه‌گیری شد بدین ترتیب که ۲۰۰ سی‌سی اسید کلریدریک ۰/۲ نرمال به مدت ۱۵ دقیقه در دمای ۴۲ درجه با بن‌ماری، گرم شد و دو گرم از هر نمونه کربنات، اضافه گردید بعد از ۱۰ دقیقه، با کاغذ صافی واتمن فیلتراسیون انجام گردید، سپس کاغذ صافی فیلتر شده به مدت ۱۰ ساعت در آون ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد و پس از توزین، درصد حلالیت محاسبه گردید.
به منظور تعیین قابلیت هضم ظاهری و حقیقی کلسیم و ابقای ظاهری کلسیم از روش مستقیم (Direct Method) و

از جیره‌های نیمه‌خالص بر پایه ذرت (David et al., 2019) و حاوی ۰/۳ درصد دی‌اکسید تیتانیوم استفاده شد، به‌طوری‌که در هر جیره، منبع مورد استفاده، تنها منبع تأمین‌کننده فسفر باشد که ترکیب اجزاء تشکیل‌دهنده و تجزیه تقریبی جیره‌های نیمه‌خالص در جدول (۲) نشان داده شده است. هم‌چنین به‌منظور اندازه‌گیری میزان فسفر با منشأ داخلی ایلئومی از جیره بدون کلسیم-فسفر استفاده شد (David et al., 2019) (جدول ۳). ابقای ظاهری فسفر در کل دستگاه گوارش (Total digestive tract retention) با نمونه‌برداری از محتویات فضولات (هفته شش و دوازده آزمایش، سن ۵۶ و ۶۲ هفتگی) و قابلیت هضم ایلئومی فسفر در پایان دوره آزمایش (۶۲ هفتگی) اندازه‌گیری شد.

جدول ۲. مواد خوراکی و ترکیب شیمیایی جیره‌های نیمه‌خالص بر پایه ذرت و جیره بدون کلسیم و فسفر

ماده خوراکی (درصد)	مونوکلسیم فسفات	دی کلسیم فسفات	پودر گوشت و استخوان	مونوکلسیم فسفات همراه با فیتاز	دی کلسیم فسفات همراه با فیتاز	پودر گوشت و استخوان	کلسیم
روغن گیاهی	۲/۰۰	۲/۰۰	۲/۰۰	۲/۰۰	۲/۰۰	۲/۰۰	۲/۰۰
ذرت	۸۵/۵۰	۸۵/۳۰	۸۴/۹۰	۸۶/۱۶	۸۶/۰۶	۸۵/۷۶	۹۷/۰۰
دی کلسیم فسفات	۰/۰۰	۱/۸۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۱/۲۰	۰/۰۰	۰/۰۰
مونوکلسیم فسفات	۱/۴۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۹۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
پودر گوشت و استخوان	۰/۰۰	۰/۰۰	۴/۱۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۲/۶۰	۰/۰۰
کربنات کلسیم	۴/۹۰	۴/۶۰	۳/۹۰	۴/۸۰	۴/۷۰	۴/۲	۰/۰۰
صدف	۴/۹۰	۴/۶۰	۳/۹۰	۴/۸۰	۴/۷۰	۴/۲۰	۰/۲۰
نمک	۰/۲۰	۰/۲۰	۰/۲۰	۰/۲	۰/۲۰	۰/۲۰	۰/۲۰
پرمیکس ویتامینه و معدنی	۰/۶۰	۰/۶۰	۰/۶۰	۰/۶	۰/۶۰	۰/۶۰	۰/۶۰
بی کربنات سدیم	۰/۲۰	۰/۲۰	۰/۱۰	۰/۲۰	۰/۲۰	۰/۲۰	۰/۲۰
دی‌اکسید تیتانیوم	۰/۳۰	۰/۳۰	۰/۳۰	۰/۳۰	۰/۳۰	۰/۳۰	۰/۳۰
آنزیم فیتاز	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۴
جمع کل	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
مواد مغذی محاسبه‌شده (درصد)							
انرژی قابل متابولیسم (کیلوکالری بر کیلوگرم)	۲۹۹۱	۲۹۹۱	۲۹۸۴	۲۹۸۴	۲۹۹۱	۲۹۸۴	۳۳۷۶
پروتئین خام	۶/۸۳	۶/۸۳	۶/۸۱	۶/۸۱	۶/۸۳	۶/۸۱	۷/۷۶
کلسیم	۴/۰۰	۴/۰۰	۴/۰۰	۴/۰۰	۴/۰۰	۴/۰۰	۰/۰۵
فسفر کل	۰/۵۶	۰/۵۶	۰/۵۶	۰/۵۶	۰/۵۶	۰/۵۶	۰/۲۷
فسفر غیر فیتاته	۰/۳۷	۰/۳۷	۰/۳۷	۰/۳۷	۰/۳۷	۰/۳۷	۰/۰۹
مواد مغذی آنالیز شده (درصد)							
کلسیم	۴/۸۲	۴/۶۵	۴/۳۸	۴/۸۹	۴/۵۹	۴/۹۲	-
فسفر	۰/۷۱	۰/۶۶	۰/۶۹	۰/۶۵	۰/۷۳	۰/۵۹	-

برای اندازه‌گیری قابلیت هضم ایلئومی و ابقای ظاهری فسفر در کل دستگاه گوارش، جیره‌های نیمه‌خالص حاوی دی‌اکسید تیتانیوم، پس از اعمال شش ساعت گرسنگی و تخلیه دستگاه گوارش، به‌مدت سه روز تغذیه شدند، نمونه‌برداری از فضولات در مدت سه روز انجام شد، سپس نمونه‌ها با هم مخلوط و نمونه‌گیری نهایی برای هر واحد آزمایشی انجام شد. در پایان روز سوم، تعداد دو مرغ از هر تکرار به علاوه ۱۰ مرغ که جیره بدون کلسیم و فسفر را دریافت کرده بودند، به‌روش ذبح اسلامی کشتار و محتویات ایلئوم (فاصله بین زائده مکل تا پنج سانتی‌متر قبل از دریچه ایلئوسکال) جمع‌آوری شدند (Ravindran et al., 2005). نمونه‌های ایلئوم مرغ‌های هر تکرار با هم مخلوط و در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۷۲ ساعت خشک، آسیاب و تا انجام آزمایش‌های شیمیایی، در محفظه‌های بدون هوا نگهداری شد. مقدار فسفر در نمونه‌های خوراک، محتویات ایلئوم و فضولات و دی‌اکسید تیتانیوم با استفاده از اسپکتروفتومتر UV مدل Unico 2100 اندازه‌گیری شد (Short et al., 1996). قابلیت هضم ایلئومی ظاهری فسفر منابع مورد بررسی از طریق رابطه (۱) محاسبه شد.

$$\text{رابطه ۱)} \quad \text{AIDP} = 1 - ((\text{TiD}/\text{TiI}) \times (\text{PI}/\text{PD}))$$

که در آن، AIDP، قابلیت هضم ایلئومی ظاهری فسفر؛ TiD، مقدار دی اکسید تیتانیوم جیره؛ TiI، مقدار دی اکسید تیتانیوم محتویات ایلئوم؛ PD، مقدار فسفر جیره و PI، مقدار فسفر محتویات ایلئوم می باشد. مقدار فسفر اندوژنوس دفعی از ایلئوم مرغ های دریافت کننده جیره بدون کلسیم و فسفر از طریق رابطه (۲) محاسبه شد.

$$\text{رابطه ۲)} \quad \text{IEPL} = \text{PI} (\text{TiD}/\text{TiI})$$

که در آن، IEPL، فسفر اندوژنوس دفعی ایلئومی؛ PI، مقدار فسفر محتویات ایلئوم؛ TiD، مقدار دی اکسید تیتانیوم جیره و TiI، مقدار دی اکسید تیتانیوم محتویات ایلئوم می باشد. قابلیت هضم ایلئومی حقیقی فسفر منابع مورد بررسی از طریق رابطه (۳) محاسبه شد.

$$\text{رابطه ۳)} \quad \text{TIDP} = \text{AIDP} + ((\text{IEPL} (\text{g/kg of DMI}) / \text{PD} (\text{g/kg of DMI})))$$

که در آن، TIDP، قابلیت هضم ایلئومی حقیقی فسفر؛ AIDP، قابلیت هضم ایلئومی ظاهری فسفر؛ IEPL، فسفر اندوژنوس دفعی ایلئومی به ازای کیلوگرم خوراک مصرفی و PD، مقدار فسفر جیره می باشد. ابقای ظاهری فسفر منابع مورد بررسی از رابطه (۴) محاسبه شد.

$$\text{رابطه ۴)} \quad \text{ATTR} = 1 - [(\text{TiI}/\text{TiE}) \times (\text{PE}/\text{PI})]$$

که در آن، ATTR، ضریب ابقای ظاهری فسفر؛ TiI، غلظت دی اکسید تیتانیوم جیره؛ TiE، غلظت دی اکسید تیتانیوم فضولات؛ PE، غلظت فسفر فضولات؛ PI، غلظت فسفر جیره است.

داده های حاصل از آزمایش به صورت فاکتوریل ۳×۲ (سه منبع فسفر و دو سطح آنزیم فیتاز) و در قالب طرح کاملاً تصادفی و براساس مدل آماری زیر توسط نرم افزار SAS (نسخه ۹/۴) سال ۲۰۰۴ و رویه GLM تجزیه و تحلیل و آنالیز شدند و میانگین تیمارها در سطح معنی داری پنج درصد و با آزمون چند دامنه ای دانکن با هم مقایسه شدند.

$$\text{رابطه ۵)} \quad Y_{ijk} = \mu + P_i + T_j + \text{PT}_{ij} + e_{ijk}$$

که در آن، Y_{ijk} ، مشاهدات؛ μ ، میانگین مشاهدات؛ P_i ، اثر منبع فسفر؛ T_j ، اثر آنزیم فیتاز؛ PT_{ij} ، اثر متقابل منبع فسفر و آنزیم فیتاز و e_{ijk} ، اثر خطای تصادفی مربوط به هر مشاهده است.

۳. یافته های پژوهش

میانگین هندسی قطر ذرات مونو و دی کلسیم فسفات و پودر گوشت و استخوان به ترتیب ۶۴۵، ۷۴۳ و ۴۶۸ میکرومتر با انحراف استاندارد هندسی به ترتیب ۱/۷۳، ۱/۲۶ و ۲/۶۶ محاسبه شد و متوسط ضریب حالیت مونو کلسیم فسفات، دی کلسیم فسفات و پودر گوشت و استخوان به ترتیب ۶۵/۶، ۶۸/۷ و ۷۷ درصد بود (جدول ۳).

تأثیر منبع فسفر و آنزیم فیتاز بر عملکرد تولیدی مرغ های تخم گذار از سن ۵۰ تا ۶۲ هفتگی در جدول (۴) گزارش شده است. اثرات اصلی آنزیم فیتاز بر خوراک مصرفی، درصد تولید، وزن و توده تخم مرغ معنی داری نبود. مرغ های تغذیه شده با جیره دارای مونو کلسیم فسفات مصرف خوراک بالاتری نسبت به مرغ های مصرف کننده جیره های دارای دی کلسیم فسفات و پودر گوشت و استخوان داشتند ($P < 0.05$). بیش ترین خوراک مصرفی روزانه در گروه تغذیه شده با مونو کلسیم فسفات با و بدون آنزیم فیتاز مشاهده شد که با سایر تیمارهای آزمایشی اختلاف داشت ($P < 0.05$)، در حالی که کم ترین مصرف خوراک مربوط به مرغ های تغذیه شده با جیره دارای دی کلسیم فسفات بود. افزودن آنزیم فیتاز، موجب افزایش مصرف خوراک در تیمارهای حاوی دی کلسیم فسفات و پودر گوشت و استخوان گردید.

جدول ۳. توزیع اندازه ذرات (درصد)، میانگین هندسی قطر ذرات و درصد حلالیت مونوکلسیم فسفات، دی کلسیم فسفات و پودر گوشت و استخوان

اندازه ذرات (میلی متر)	مونو کلسیم فسفات	دی کلسیم فسفات	پودر گوشت و استخوان
بزرگتر از ۲/۳۶	۰/۲	۰	۱/۷
۲ تا ۲/۳۶	۰/۸	۰	۴/۸
۱/۱۸ تا ۲	۱۸/۴	۱۰/۱	۱۷/۷
۰/۶ تا ۱/۱۸	۳۸	۸۳/۴	۲۲/۱
۰/۴۲۵ تا ۰/۶	۳۰	۶	۱۵/۱
۰/۳ تا ۰/۴۲۵	۵/۷	۰/۱	۱۰/۱
۰/۱۵۰ تا ۰/۳	۴/۶	۰	۱۶/۷
۰/۰۷۵ تا ۰/۱۵۰	۰/۵	۰	۷/۱
کمتر از ۰/۰۷۵	۰/۲	۰	۴/۴
میانگین هندسی قطر ذرات (μm, GMD)	۶۴۵	۷۴۳	۴۶۸
انحراف استاندارد میانگین هندسی (μm, GSD)	۱/۷۳	۱/۲۶	۲/۶۶
کلسیم (درصد)	۱۲/۲۸	۲۱/۵۰	۲۳/۹۶
فسفر (درصد)	۲۰/۳۲	۱۵/۷۴	۶/۳۴
حلالیت (درصد)	۶۸/۷	۶۵/۶	۷۷

با وجود مصرف بیش تر خوراک در گروه مرغ های تغذیه شده با جیره دارای مونوکلسیم فسفات، درصد تولید این گروه نسبت به مرغ های تغذیه شده با جیره های دارای دی کلسیم فسفات و پودر گوشت و استخوان کم تر بود ($P < 0/05$). اثر متقابل منبع فسفر و آنزیم فیتاز بر تولید تخم مرغ، وزن تخم مرغ، توده تخم مرغ و مصرف خوراک معنی دار بود به طوری که آنزیم فیتاز در جیره های حاوی منابع مختلف فسفر اثرات متفاوتی داشت. مرغ های تغذیه شده با جیره دارای مونوکلسیم فسفات دارای آنزیم فیتاز کم ترین درصد تولید تخم را داشتند که فقط با گروه تغذیه شده با دی کلسیم فسفات بدون آنزیم تفاوت معنی داری نداشت و در سایر گروه ها تفاوت مشاهده نشد ($P < 0/05$).

مرغ های تغذیه شده با جیره دارای پودر گوشت و استخوان کم ترین وزن تخم مرغ را داشتند که با مرغ های تغذیه شده با جیره های دارای مونوکلسیم فسفات همراه با آنزیم فیتاز و تغذیه شده با دی کلسیم فسفات بدون فیتاز تفاوت نداشتند ($P < 0/05$). اثر متقابل بین منبع فسفر و آنزیم فیتاز بر توده تخم مرغ معنی دار بود، به طوری که توده تخم مرغ تولیدی در روز در پرندگان تغذیه شده با مونو کلسیم فسفات بدون فیتاز و گروه دی کلسیم فسفات همراه با آنزیم فیتاز، کم تر از سایر تیمارهای آزمایشی بود ($P < 0/05$).

تأثیر جیره های آزمایشی بر کیفیت تخم مرغ در جدول (۵) گزارش داده شده است. با توجه به داده های این جدول، اثرات اصلی منبع فسفر جیره و آنزیم فیتاز بر درصد سفیده و پوسته تخم مرغ، ضخامت و مقاومت پوسته تخم مرغ در برابر شکست تأثیر معنی داری نداشتند. اثر اصلی منبع فسفر و آنزیم فیتاز بر رنگ زرده تخم مرغ معنی دار بود، به طوری که افزودن آنزیم فیتاز در مقایسه با جیره بدون آنزیم فیتاز و به کار بردن مونوکلسیم فسفات و دی کلسیم فسفات در مقایسه با پودر گوشت و استخوان، رنگ زرده را بهبود داد. اثرات متقابل منبع فسفر و آنزیم فیتاز بر درصد زرده تخم مرغ نیز معنی دار بود، به طوری که بیش ترین درصد زرده تخم متعلق به مرغ های تغذیه شده با جیره دارای پودر گوشت و استخوان همراه با آنزیم فیتاز بود که از مقادیر مربوط به جیره های پودر گوشت و استخوان و دی کلسیم فسفات همراه با آنزیم فیتاز بیش تر بود ($P < 0/05$).

تأثیر منبع فسفر و آنزیم فیتاز بر قابلیت هضم ظاهری و حقیقی ایلئومی و ابقای ظاهری فسفر در جدول (۶) گزارش شده است. میزان اتلاف داخلی فسفر در این آزمایش، ۱۰۵ میلی گرم در کیلوگرم ماده خشک مصرفی برآورد گردید که برای محاسبه ضرایب قابلیت هضم حقیقی فسفر مورد استفاده قرار گرفت. اثرات اصلی منبع فسفر جیره و آنزیم فیتاز بر قابلیت هضم ایلئومی ظاهری و حقیقی فسفر معنی دار بود، به طوری که در مقایسه با پودر گوشت و استخوان، تأمین فسفر مرغ های تخم گذار از طریق مونو و دی کلسیم فسفات منجر به افزایش قابلیت هضم ظاهری و حقیقی ایلئومی فسفر شد و

افزودن فیتاز به جیره‌ها نیز منجر به بهبود قابلیت هضم ظاهری و حقیقی ایلئومی فسفر گردید. در مقابل، تأثیر منبع فسفر جیره و آنزیم فیتاز و برهم‌کنش آن‌ها بر ابقای ظاهری فسفر در هفته ششم و دوازدهم آزمایش معنی‌دار نبود.

جدول ۴. تأثیر منبع فسفر و آنزیم فیتاز بر عملکرد تولید مرغ‌های تخم‌گذار از سن ۵۰ تا ۶۲ هفته‌گی

اثرات اصلی	خوراک مصرفی (گرم در روز)	تولید تخم مرغ (درصد)	وزن تخم مرغ (گرم)	توده تخم‌مرغ (گرم در روز برای هر پرنده)
منبع فسفر				
مونو کلسیم فسفات	۱۰۷/۶۴ ^a	۸۷/۳۹ ^b	۶۰/۶۷ ^a	۵۳/۰۷
دی کلسیم فسفات	۱۰۴/۹۰ ^{a, b}	۸۸/۱۰ ^{ab}	۶۰/۵۸ ^a	۵۳/۳۶
پودر گوشت و استخوان	۱۰۵/۱۱ ^b	۸۹/۲۳ ^a	۶۰/۲۵ ^b	۵۳/۷۹
SEM	۰/۳۴	۰/۴۱	۰/۰۹۲	۰/۲۶۶
P-Value	۰/۰۰۱	۰/۰۰۷	۰/۰۰۳	۰/۱۵
آنزیم				
بدون فیتاز	۱۰۵/۸۰	۸۸/۱۱	۶۰/۵۵	۵۳/۳۷
با فیتاز	۱۰۵/۹۷	۸۸/۳۷	۶۰/۴۵	۵۳/۴۵
SEM	۰/۲۸	۰/۳۳	۰/۰۸	۰/۲۱۷
P-Value	۰/۶۵	۰/۵۸	۰/۳۹	۰/۸۰
اثرات متقابل منبع × آنزیم				
مونو کلسیم فسفات	۱۰۷/۸۳ ^a	۸۸/۳۱ ^{ab}	۶۰/۹۵ ^a	۵۳/۳۷ ^b
مونو کلسیم فسفات × فیتاز	۱۰۷/۴۵ ^a	۸۶/۴۸ ^c	۶۰/۴۰ ^{cd}	۵۳/۸۷ ^a
دی کلسیم فسفات	۱۰۴/۱۸ ^d	۸۷/۲۱ ^{bc}	۶۰/۳۷ ^{cd}	۵۴/۰۶ ^a
دی کلسیم فسفات × فیتاز	۱۰۵/۶۳ ^{bc}	۸۸/۹۹ ^a	۶۰/۷۹ ^{ab}	۵۳/۶۶ ^b
پودر گوشت و استخوان	۱۰۵/۹۳ ^b	۸۸/۸۷ ^{ab}	۶۰/۴۵ ^{bc}	۵۳/۷۸ ^a
پودر گوشت و استخوان × فیتاز	۱۰۴/۳۱ ^{cd}	۸۹/۶۰ ^a	۶۰/۰۵ ^d	۵۳/۸۱ ^a
SEM	۰/۴۷	۰/۵۸	۰/۱۳	۰/۳۷۶
P-Value	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۴

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

SEM: خطای استاندارد میانگین‌ها.

جدول ۵. تأثیر منبع فسفر و آنزیم فیتاز بر خصوصیات کیفی تخم‌مرغ در مرغ‌های تخم‌گذار در سن ۶۲ هفته‌گی

اثرات اصلی	آلبومین (درصد)	زرد (درصد)	پوسته (درصد)	ضخامت پوسته (میلی‌متر)	مقاومت پوسته (نیوتن بر مترمربع)	شاخص هاو	رنگ زرد
منبع فسفر							
مونو کلسیم فسفات	۵۸/۹۲	۳۰/۹۴	۱۰/۱۳	۰/۳۱۳	۴۰/۷۹	۷۱/۹	۴/۴۲ ^a
دی کلسیم فسفات	۵۸/۸۸	۳۰/۸۱	۱۰/۳۰	۰/۳۰۷	۳۹/۸۱	۷۴/۶	۴/۳۵ ^a
پودر گوشت و استخوان	۵۸/۳۰	۳۱/۳۸	۱۰/۳۲	۰/۳۰۰	۳۹/۶۸	۷۱/۷	۳/۹۴ ^b
خطای معیار استاندارد شده (SEM)	۰/۵۳۶	۰/۴۵	۰/۱۴۶	۰/۰۰۴۲	۱/۳۳۷	۰/۸۸	۰/۰۷۲
P-Value	۰/۶۵	۰/۶۵	۰/۶۱	۰/۱۳	۰/۸۱	۰/۰۵	۰/۰۰۱
آنزیم							
بدون فیتاز	۵۹/۲۰	۳۰/۶	۱۰/۱۷	۰/۳۰۴	۴۰/۹	۷۲/۶	۴/۰۹ ^b
با فیتاز	۵۸/۲۱	۳۱/۳	۱۰/۳۳	۰/۳۰۹	۳۹/۲	۷۲/۹	۴/۳۷ ^a
خطای معیار استاندارد شده (SEM)	۰/۴۳۷	۰/۳۷	۰/۱۲۰	۰/۰۰۳۵	۱/۰۹	۰/۷۲	۰/۰۵۹
P-Value	۰/۱۲	۰/۱۳	۰/۳۴	۰/۳۲	۰/۲۸	۰/۷۷	۰/۰۰۲
اثرات متقابل منبع × آنزیم							
مونو کلسیم فسفات	۵۸/۹۱	۳۰/۹۹ ^{ab}	۱۰/۱۰	۰/۳۱۲	۴۲/۱۱	۷۲/۴	۴/۲۵
مونو کلسیم فسفات × فیتاز	۵۸/۹۴	۳۰/۹۰ ^{ab}	۱۰/۱۶	۰/۳۱۵	۳۹/۴۰	۷۱/۳	۴/۵۸
دی کلسیم فسفات	۵۸/۸۰	۳۰/۹۴ ^{ab}	۱۰/۲۵	۰/۳۰۵	۴۱/۳۰	۷۵/۰	۴/۲۱
دی کلسیم فسفات × فیتاز	۵۸/۹۷	۳۰/۶۷ ^b	۱۰/۳۵	۰/۳۰۸	۳۸/۳۰	۷۴/۱	۴/۵۰
پودر گوشت و استخوان	۵۹/۸۸	۲۹/۹۷ ^b	۱۰/۱۵	۰/۲۹۷	۳۹/۳۱	۷۲/۳	۳/۸۳
پودر گوشت و استخوان × فیتاز	۵۶/۷۱	۳۲/۷۹ ^a	۱۰/۴۹	۰/۳۰۵	۴۰/۰۰	۷۱/۱	۴/۰۴
خطای معیار استاندارد شده (SEM)	۰/۷۵۸	۰/۶۴۳	۰/۲۰۷	۰/۰۰۶۱	۱/۸۹	۱/۲۵	۰/۱۰۳
P-Value	۰/۰۶	۰/۰۴	۰/۷۶	۰/۸۹	۰/۵۶	۰/۶۱	۰/۸۲

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

SEM: خطای استاندارد میانگین‌ها.

جدول ۶. تأثیر منبع فسفر و آنزیم فیتاز بر ضرایب قابلیت هضم ایلئومی کلسیم در هفته ۶۲ و ابقای ظاهری فسفر در هفته‌های ۵۶ و ۶۲ در مرغ‌های تخم‌گذار

اثرات اصلی		قابلیت هضم ایلئومی (درصد)		ابقای ظاهری فسفر (درصد)	
منبع فسفر	ظاهری	حقیقی	هفته ۵۶	هفته ۶۲	
دی کلسیم فسفات	۴۴/۹۸ ^a	۴۵/۰۲ ^a	۳۴/۵	۴۰/۰	
مونو کلسیم فسفات	۴۵/۶۱ ^a	۴۵/۶۶ ^a	۳۶/۸	۴۰/۹	
پودر گوشت و استخوان	۴۲/۰۵ ^b	۴۱/۱ ^b	۳۷/۱	۴۲/۶	
خطای معیار استاندارد شده (SEM)	۰/۷۶۵	۰/۷۵۶	۱/۵۹	۰/۷۵	
P-Value	۰/۰۰۵	۰/۰۰۴	۰/۴۴	۰/۰۶	
آنزیم فیتاز					
بدون آنزیم فیتاز	۴۲/۶۶ ^b	۴۲/۷۱ ^b	۳۵/۹	۴۱/۲	
دارای آنزیم فیتاز	۴۵/۶۱ ^a	۴۵/۸۱ ^a	۳۶/۷	۴۱/۲	
خطای معیار استاندارد شده (SEM)	۰/۶۲۴	۰/۶۰۷	۱/۳۰	۰/۶۱	
P-Value	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۷۷	۰/۹۶	
اثرات متقابل					
دی کلسیم فسفات	۴۳/۹۸	۴۴/۰۳	۳۳/۱	۳۹/۶	
دی کلسیم فسفات × آنزیم فیتاز	۴۵/۹۷	۴۶/۰۲	۳۵/۹	۴۰/۴	
مونو کلسیم فسفات	۴۳/۴۱	۴۳/۴۵	۳۵/۶	۴۰/۷	
مونو کلسیم فسفات × آنزیم فیتاز	۴۷/۸۱	۴۷/۸۷	۳۸/۰	۴۱/۰	
پودر گوشت و استخوان	۴۰/۶۱	۴۰/۶۶	۳۶/۶	۴۲/۰	
پودر گوشت و استخوان × آنزیم فیتاز	۴۳/۴۹	۴۳/۵۴	۳۷/۷	۴۳/۱	
خطای معیار استاندارد شده (SEM)	۱/۰۸۲	۱/۰۹۲	۲/۲۵	۵/۱۳۷	
P-Value	۰/۵۴	۰/۵۳	۰/۵۱	۰/۶۶	

a-b: تفاوت ارقام در هر ستون با حروف نامشابه معنی دار است ($P < 0.05$).

SEM: خطای استاندارد میانگین‌ها.

۴. بحث

میانگین هندسی قطر ذرات مونو و دی کلسیم فسفات مورد استفاده در این آزمایش، بیش‌تر از مقادیر مربوط به پودر گوشت و استخوان بود، درحالی‌که حلالیت کلسیم و فسفر آن‌ها کم‌تر از پودر گوشت و استخوان بود که نشان می‌دهد با افزایش اندازه ذرات، حلالیت کلسیم و فسفر کاهش می‌یابد که در پژوهش سایر پژوهش‌گران نیز مشابه همین نتایج گزارش شده است (Anwar et al., 2016, 2017).

در این پژوهش، تأثیر آنزیم فیتاز بر عملکرد تولیدی مرغ‌های تخم‌گذار، بسته به منبع فسفر مورد استفاده متفاوت بود و بیش‌ترین درصد تولید در پرندگانی که دی کلسیم فسفات و پودر گوشت و استخوان مکمل شده با آنزیم فیتاز دریافت کردند، مشاهده شد و افزودن آنزیم فیتاز به جیره‌های دارای دی کلسیم فسفات و پودر گوشت و استخوان، منجر به بهبود مصرف خوراک مرغ‌های تخم‌گذار از سن ۵۰ تا ۶۲ هفتگی گردید. افزودن سطوح مختلف فیتاز اثرات متفاوتی بر عملکرد مرغ‌های تخم‌گذار با توجه به، نوع جیره پایه، میزان کلسیم و فسفر جیره‌ها، سن و سویه آن‌ها داشته است. در این آزمایش، جدول ارزش تغذیه‌ای آنزیم فیتاز در تنظیم جیره‌ها مورد استفاده قرار گرفت، لذا می‌توان گفت که آنزیم فیتاز به جیره‌های کم فسفر و کم کلسیم اضافه شده و سطح کلسیم و فسفر جیره‌ها متعادل شده بود.

در سایر پژوهش‌ها، تأثیر آنزیم فیتاز بر خوراک مصرفی و تولید تخم‌مرغ بسته به مدت زمان استفاده از آن در جیره متفاوت بوده است. به‌طور مثال، با مکمل کردن ۲۵۰ واحد فیتاز آزمایشگاهی یا تجاری به جیره، در طول دو ماه اول آزمایش تولید تخم‌مرغ تحت تأثیر تیمارها قرار نگرفت اما در دو ماه بعدی، کاهش قابل‌توجهی در تولید تخم‌مرغ و خوراک مصرفی طیور تغذیه‌شده با جیره‌های کم فسفر و مکمل شده با ۵۰۰ واحد در کیلوگرم آنزیم فیتاز مشاهده شد و دلیل کاهش مصرف خوراک، عدم تعادل کلسیم و فسفر در جیره مرغ‌های تخم‌گذار عنوان شد (Shet et al., 2018).

افزودن فیتاز به جیره کم کلسیم و فسفر (Liu et al., 2007) یا به جیره بر پایه ذرت و سویا حاوی ۰/۱۲ درصد فسفر غیرفیتاته (Panda et al., 2005) منجر به بهبود کیفیت پوسته تخم مرغ شد و افزودن فیتاز گیاهی جدید تراریخته مشتق شده از ذرت (TCDP) و دو فیتاز میکروبی تجاری دیگر (PA و PB) تولید مرغ‌های تخم‌گذار و کیفیت تخم مرغ را افزایش دادند، اما میزان رنگ زرده با مکمل کردن فیتاز کاهش یافت (Gao et al., 2013). در رابطه با رنگ زرده گزارش شده است که کاهش غلظت کلسیم جیره نیز منجر به افزایش رنگ زرده می‌شود، زیرا افزایش کلسیم جیره منجر به کاهش جذب رنگدانه‌ها می‌شود (Vargas-Rodríguez et al., 2016) و تفاوت در قابلیت حل و اندازه ذرات میزان کلسیم محلول در روده کوچک مرغ‌های تخم‌گذار را تحت تأثیر قرار می‌دهد که به دنبال آن رنگ زرده نیز تحت تأثیر قرار می‌گیرد. در آزمایش حاضر حالیت کلسیم پودر گوشت و استخوان از مقادیر مربوط به مونو و دی کلسیم فسفات کم‌تر و اندازه ذرات آن بزرگ‌تر بود که تا حدودی توجیه‌کننده کاهش رنگ زرده می‌تواند باشد. در مقابل، افزودن ۲۵۰ یا ۵۰۰ واحد بر کیلوگرم، فیتاز تولید شده در آزمایشگاه و یا فیتاز تجاری بر کیفیت تخم مرغ (Shet et al., 2018)، افزودن ۳۰۰ واحد فیتاز باکتریایی بوتیاکسلا (BSP) بر وزن مخصوص تخم مرغ و قدرت شکستن پوسته تخم مرغ، ضخامت و وزن نسبی پوسته (Bello & Korver, 2019)، ارتفاع سفیده، وزن پوسته، وزن زرده و وزن سفیده تخم مرغ در ۴۳ و ۵۸ هفتگی (Silversides et al., 2006) و ضخامت پوسته، مقاومت پوسته، ارتفاع آلبومین، رنگ زرده و واحد هاو تأثیر نداشت (Ren et al., 2020). به نظر می‌رسد در مواردی که مرغ‌های تخم‌گذار درگیر کمبود کلسیم یا فسفر بوده و نشانه‌های کمبود را نشان داده‌اند، اثر فیتاز در مرغ‌های تخم‌گذار بیش‌تر بوده است. در آزمایش عبدعون و همکاران (۱۴۰۲)، افزودن آنزیم فیتاز به جیره مرغ‌های تخم‌گذار که کلسیم و فسفر براساس نیاز تأمین شده بود منجر به بهبود وزن پوسته گردید، اما بر سایر پارامترهای کیفی تخم مرغ شامل ضخامت پوسته، تأثیرگذار نبود.

اثر فیتاز بر قابلیت هضم کلسیم و فسفر در مرغ‌های تخم‌گذار تغذیه شده با جیره بر پایه ذرت و کنجاله سویا توسط پژوهش‌گران گزارش شده است (Panda et al., 2005; Wu et al., 2006). مشابه آزمایش حاضر، افزودن فیتاز به جیره با ۲/۵ گرم بر کیلوگرم فسفر قابل دسترس و ۴۰ گرم بر کیلوگرم کلسیم (Lim et al., 2003) و همچنین افزودن ۱/۵ گرم بر کیلوگرم فسفر قابل دسترس و ۳۱/۸ گرم بر کیلوگرم کلسیم در جیره مرغ‌های تخم‌گذار، قابلیت هضم فسفر قابل دسترس و قابلیت هضم ایلئومی ظاهری کلسیم و فسفر را افزایش داد (Liu et al., 2007)، درحالی که برخلاف یافته‌های حاضر، فیتاز میکروبی سبب کاهش قابلیت هضم فسفر در مرغ‌های تخم‌گذار در سن ۷۰ هفتگی شد (Bello, 2018). همچنین، تفاوت معنی‌داری در عملکرد و قابلیت هضم مواد مغذی در مرغ‌های تخم‌گذار که سه نوع فیتاز دریافت کرده بودند مشاهده نشد (Liu et al., 2007). در آزمایش دیگری نیز، آنزیم فیتاز تأثیری بر ابقای ظاهری کلسیم کربنات کلسیم در مرغ‌های تخم‌گذار نداشت (Moradi et al., 2023). فیتازهای به دست آمده از منابع و موجودات مختلف دارای ویژگی‌های مختلف بیوشیمیایی مانند مشخصات pH و مقاومت در برابر تجزیه توسط آنزیم‌های پروتاز روده کوچک هستند که بازدهی زیستی فیتاز را تعیین می‌کنند (Kumar et al., 2003). در بین فیتازهای مختلف از لحاظ میزان آزادسازی فسفر از منابع فسفر غیرفیتاته و همچنین مقاومت در برابر پپسین تفاوت وجود دارد و همین مسئله سبب ایجاد اختلاف در بین آزمایشات مختلف شده است. شواهد نشان می‌دهند که فیتاز با منشأ باکتری در طیور مؤثرتر هستند و در این رابطه گزارش شده است که فیتاز باکتریایی حاصل از باکتری اشیریشیاکلی نسبت به دو نوع فیتاز قارچی نوترکیب، فسفر بیش‌تری را در جوجه‌های گوشتی آزاد می‌کنند و فیتاز میکروبی در مقابل فعالیت پپسین مقاومتر از فیتاز قارچی بود (Kumar et al., 2003).

پژوهش‌گران با تغذیه سه منبع کلسیم و فسفر شامل ۱- کربنات و دی کلسیم فسفات، ۲- کربنات و دی آمونیوم

فسفات و ۳- کربنات و سوپرفسفات با و بدون فیتاز (۳۰۰ واحد) بر قابلیت هضم اجزای خوراک در مرغ بومی هندی (Satpuda desi) نشان دادند که افزودن فیتاز به جیره دارای کربنات و دی کلسیم فسفات منجر به بهبود وزن بدن، ضریب تبدیل خوراک، قابلیت هضم ماده خشک، ازت، کلسیم و فسفر، غلظت سرمی کلسیم و فسفر و آلکالین فسفاتاز، کلسیم و فسفر استخوان درشتنی نسبت به سایر تیمارها شد (Dhore et al., 2012) و در آزمایش دیگری با تغذیه دو منبع کلسیم (کربنات کلسیم یا مواد معدنی دریای سلطیک) و سه سطح آنزیم فیتاز (صفر، ۵۰۰ و ۲۵۰۰ واحد) در جیره جوجه‌های گوشتی گزارش شد که اثر متقابل فیتاز و منبع کلسیمی بر میزان فسفر ایلئوم و کلسیم و فسفر سرم معنی‌دار نبود (Momeneh et al., 2018).

در آزمایش حاضر، قابلیت هضم ایلئومی مونو و دی کلسیم فسفات مشابه بود. در تأیید این نتایج، پژوهش‌گران قابلیت هضم چهار منبع مونو کلسیم فسفات، مونو و دی کلسیم فسفات، دی کلسیم فسفات و تری کلسیم فسفات را در جوجه‌های گوشتی با استفاده از جیره‌های نیمه‌خالص بررسی و گزارش کردند که قابلیت هضم ظاهری و حقیقی ایلئومی و ابقای فسفر (روش مستقیم) منبع تری کلسیم فسفات کم‌تر از سایر منابع بود و بین مونو و دی کلسیم فسفات تفاوت معنی‌داری وجود نداشت، با این حال مقادیر قابلیت هضم ظاهری ایلئومی بیش‌تر از میزان ابقای ظاهری بود و ابقای ظاهری فسفر در مونو کلسیم فسفات به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از دی و تری کلسیم فسفات بود (An et al., 2020). دلیل بیش‌تر بودن مقدار قابلیت هضم ایلئومی نسبت به ابقای ظاهری (براساس جمع‌آوری کل فضولات) را می‌توان به جذب و ترشح فسفر بعد از ایلئوم و ترشح ادراری فسفر ارتباط داد و از آنجاکه جذب فسفر قبل از ایلئوم انجام نمی‌شود، این تفاوت بیش‌تر به ترشح ادراری فسفر ارتباط دارد. قابلیت هضم ایلئومی منابع معدنی (دی کلسیم فسفات و مونو کلسیم فسفات) در این آزمایش، بیش‌تر از پودر گوشت و استخوان بود که این را می‌توان با اندازه ذرات کم‌تر پودر گوشت و استخوان و زمان ماندگاری در دستگاه گوارش نسبت داد. اندازه ذرات، احتمالاً مهم‌ترین فاکتوری است که بر حلالیت کلسیم و فسفر در دستگاه گوارش و تعیین ضریب قابلیت هضم کلسیم و فسفر تأثیرگذار باشد (Cheng & Coon, 1990).

اگرچه سطح زیاد کلسیم جیره برای حمایت از تشکیل پوسته تخم‌مرغ و بازسازی استخوان مورد نیاز است، اما افزایش کلسیم جیره یا افزودن منابع کلسیمی با حلالیت زیاد منجر به ایجاد pH بیش‌تر و تشکیل مجموعه کلسیم-فیتات در دستگاه گوارش می‌تواند با افزایش pH معده منجر به کاهش قابلیت هضم فسفر و اسیدهای آمینه شود که در آزمایش حاضر نیز به دلیل حلالیت زیاد کلسیم پودر گوشت و استخوان، قابلیت هضم فسفر در این منبع کم‌تر از مونو و دی کلسیم فسفات بود. افزایش کلسیم جیره از ۳۰ تا ۴۰ گرم بر کیلوگرم و از ۲۵ به ۵۵ گرم بر کیلوگرم (Beutler, 2009) منجر به افزایش تشکیل کمپلکس کلسیم-فیتات می‌شود که منجر به افزایش pH دستگاه گوارش شده و در نتیجه فعالیت فیتاز، هیدرولیز فیتات و قابلیت هضم کلسیم و فسفر در مرغ‌های تخم‌گذار کاهش می‌یابد (Bello, 2018; Bello et al., 2020). استفاده از منابع کلسیمی با حلالیت زیاد نیز ممکن است منجر به تشکیل مقادیر بیش‌تری از کمپلکس کلسیم-فیتات شده و حتی با وجود فیتاز نیز قابلیت هضم کلسیم و فسفر جیره را کاهش دهد. اختلاف در توزیع اندازه ذرات، یکی از عوامل تأثیرگذار بر قابلیت هضم فسفر است (Muucumarana et al., 2015). در آزمایش حاضر، تفاوت معنی‌داری در ضریب حلالیت فسفر و اندازه ذرات در مونو و دی کلسیم فسفات با پودر گوشت و استخوان مشاهده شد و همین امر احتمالاً منجر به بروز تفاوت در قابلیت هضم فسفر در بین منابع گردیده است. در این رابطه با مقایسه کربنات کلسیم با منبع کلسیم با حلالیت بسیار زیاد با دو سطح کلسیم (کم و در حد نیاز) با و بدون ۵۰۰ واحد آنزیم فیتاز در جیره جوجه‌های گوشتی، گزارش شده

است که افزودن فیتاز به جیره دارای کلسیم با حلالیت زیاد و کم کلسیم منجر به بهبود وزن بدن، خوراک مصرفی و قابلیت هضم ظاهری ایلئومی کلسیم و فسفر شد که این پژوهش گران نتیجه گرفتند که حلالیت زیاد و کاهش کلسیم جیره منجر به کاهش تشکیل کمپلکس فیتات-کلسیم شده و قابلیت هضم کلسیم و فسفر را افزایش داده است (Bradbury et al., 2016). نسبت بالای کلسیم به فسفر غیرفیتاته تأثیر منفی بر قابلیت استفاده از فسفر در روده کوچک دارد، زیرا با تشکیل کمپلکس فیتات-کلسیم، فسفر برای طیور به ویژه طیور تخم گذار که مقادیر زیادی کلسیم در جیره دارند، غیرقابل استفاده می شود. تا حدودی مشابه با پژوهش حاضر، تأثیر اندازه ذرات کربنات کلسیم (۱۰۰ درصد ذرات ریز یا به نسبت ۷۵ به ۲۵ ذرات درشت به ذرات ریز) به عنوان منبع کلسیم با و بدون ۳۰۰ واحد آنزیم فیتاز میکروبی بر قابلیت هضم کلسیم و فسفر در مرغ های تخم گذار ۷۲ هفته بررسی شد و نتایج نشان داد که در مقایسه با ذرات درشت، افزودن آنزیم فیتاز به جیره دارای ذرات ریز منجر به کاهش زمان ماندگاری خوراک در روده کوچک و کاهش قابلیت هضم فسفر به دلیل افزایش تشکیل کمپلکس فیتات-کلسیم شد و سرعت جذب کلسیم منابع کلسیمی با ذرات ریز یا حلالیت زیاد نیز کم تر است که عامل مهم دیگری در فراهمی کلسیم برای متصل شدن به فیتات است (Hervo et al., 2024). پژوهش های کمی در مورد ضرایب قابلیت هضم حقیقی فسفر در منابع مختلف گزارش شده است. در جوجه های گوشتی قابلیت هضم ایلئومی حقیقی فسفر برای ذرت و کنجاله کانولا به ترتیب ۰/۶۷۶ و ۰/۴۶۹ (Mutucumarana et al., 2014) گزارش شده است. Mutucumarana و همکاران (۲۰۱۵)، قابلیت هضم حقیقی فسفر را در سه منبع مختلف پودر گوشت و استخوان در جوجه های گوشتی با روش رگرسیون اندازه گیری و اعداد ۰/۶۹۳، ۰/۶۰۸ و ۰/۴۲ را گزارش کردند که ضریب قابلیت هضم حقیقی منبع سوم مورد استفاده در آزمایش آن ها، مشابه نتایج به دست آمده در این آزمایش برای پودر گوشت و استخوان (۴۱/۱، جدول ۶) بود. بنابراین پژوهش گران، توصیه کردند که تصور عمومی که فسفر در پودر گوشت و استخوان، قابلیت هضم زیادی دارد، درست نیست (Mutucumarana et al., 2015) که با داده های این پژوهش همخوانی دارد.

به طور کلی، اعداد به دست آمده در مورد قابلیت هضم ایلئومی حقیقی فسفر در محدوده ۴۰ تا ۴۴ درصد در منابع مورد بررسی بود (به ترتیب ۴۴/۰، ۴۳/۴ و ۴۰/۷ درصد برای دی کلسیم فسفات، مونو کلسیم فسفات و پودر استخوان) که نشان دهنده کم بودن قابلیت هضم این منابع در مرغ های تخم گذار مسن (۶۲ هفته) می باشد، هرچند که در مقایسه با پودر استخوان، قابلیت هضم ظاهری و حقیقی ایلئومی فسفر مونو و دی کلسیم فسفات بیش تر بود که می تواند با اندازه ذرات و حلالیت منابع مورد استفاده مرتبط باشد. اثرات قابل توجهی از افزودن آنزیم فیتاز بر قابلیت هضم فسفر در هر سه منبع، بهبود تولید تخم مرغ در تیمارهای دی کلسیم فسفات و پودر گوشت و استخوان و بهبود رنگ زرده تخم مرغ مشاهده شد. نویسندگان این مقاله توصیه می کنند که قابلیت هضم و تأثیر افزودن همزمان فیتاز به جیره های دارای منابع مختلف فسفر به تفکیک در هر اندازه ذره به صورت جداگانه مورد ارزیابی قرار گیرد تا تأثیر اندازه ذرات منبع فسفات به عنوان یک عامل تأثیرگذار در حلالیت و قابلیت هضم فسفر و تأثیرگذاری فیتاز بیش تر مورد بررسی قرار گیرد.

۵. ملاحظات اخلاقی

این پژوهش کد اخلاق را به شماره IR.RAZI.REC.1402.407 از کمیته اخلاق دانشکده/دانشگاه رازی کرمانشاه دریافت کرده است.

۶. مشارکت نویسندگان

عبدالله حیدر شاکر الموسوی: تهیه و آماده‌سازی نمونه‌ها، انجام آزمایش و گردآوری داده‌ها و انجام محاسبات؛
سودابه مرادی: استاد راهنمای پایان‌نامه، طراحی پژوهش، نظارت بر مراحل انجام پژوهش، بررسی و کنترل نتایج، اصلاح، بازبینی و نهایی‌سازی مقاله؛

مهران ترکی: استاد راهنمای دوم پایان‌نامه، مشارکت در طراحی پژوهش، نظارت بر پژوهش، مطالعه و بازبینی مقاله؛
علی خطیب‌جو: استاد مشاور پایان‌نامه، تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها، تحلیل و تفسیر اطلاعات و نتایج، تهیه پیش‌نویس مقاله و مطالعه و بازبینی مقاله؛

رضا عبداللهی: استاد مشاور پایان‌نامه، طراحی آزمایش، مطالعه و بازبینی مقاله.

۷. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

۸. حامی مالی

پژوهش حاضر با حمایت مالی معاونت پژوهشی دانشگاه رازی کرمانشاه انجام شد.

۹. تشکر و قدردانی

از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه رازی کرمانشاه به‌خاطر حمایت مالی و معنوی در اجرای پژوهش حاضر، تشکر و قدردانی می‌گردد.

۱۰. منابع

- Abd Oun Jawad, M., Moradi, S., & Abdollahi, M. R. (2023). Influence of limestone particle size and phytase enzyme on performance, egg quality, and total tract retention of Ca in commercial laying hens. *Iranian Journal of animal Science*, 54(4), 403-417.
- Adviser, P. (1992). A new estimate of egg shell quality: Shell weight indirectly from egg weight and specific gravity. *Poultry Adviser*, 23(9), 53-54.
- An, S. H., Sung, J. Y., & Kong, C. (2020). Ileal digestibility and total tract retention of phosphorus in inorganic phosphates fed to broiler chickens using the direct method. *Animals*, 10(11), 2167.
- Anwar, M., Ravindran, V., Morel, P., Ravindran, G., & Cowieson, A. (2016). Effect of limestone particle size and calcium to non-phytate phosphorus ratio on true ileal calcium digestibility of limestone for broiler chickens. *British Poultry Science*, 57(5), 707-713.
- Anwar, M., Ravindran, V., Morel, P., Ravindran, G., & Cowieson, A. (2017). Effect of calcium source and particle size on the true ileal digestibility and total tract retention of calcium in broiler chickens. *Animal Feed Science and Technology*, 224, 39-45.
- AOAC. (2005). International Official Methods of Analysis, 18th ed. AOAC International, Washington, DC. Official Methods of Analysis, 18th ed. AOAC International, Washington, DC.
- Bello, A. (2018). Effects of dietary phosphorus and calcium levels and phytase supplementation on bone metabolism of egg-laying hens.
- Bello, A., Dersjant-Li, Y., & Korver, D. (2020). Effects of dietary calcium and available phosphorus levels and phytase supplementation on performance, bone mineral density, serum biochemical bone markers in aged white egg-laying hens. *Poultry Science*, 99 (11), 5792-5801.

- Bello, A., & Korver, D. (2019). Long-term effects of *Buttiauxella* sp. phytase on performance, eggshell quality, apparent ileal Ca and P digestibility, and bone properties of white egg layers. *Poultry Science*, 98(10), 4848-4859.
- Beutler, A. L. (2009). The efficacy of quantum™ phytase in laying hens fed corn-soybean meal based diets University of Saskatchewan].
- Bradbury, E., Wilkinson, S., Cronin, G. M., Thomson, P., Walk, C., & Cowieson, A. (2016). Evaluation of the effect of a highly soluble calcium source in broiler diets supplemented with phytase on performance, nutrient digestibility, foot ash, mobility and leg weakness. *Animal Production Science*, 57(10).
- Ciftci, M., Dalkilic, B., & Azman, M. A. (2005). Effects of microbial phytase supplementation on feed consumption and egg production of laying hens. *International journal of poultry science*, 4(10), 758-760.
- David, L., Abdollahi, M., Ravindran, G., Walk, C., & Ravindran, V. (2019). Studies on the measurement of ileal calcium digestibility of calcium sources in broiler chickens. *Poultry Science*, 98(11), 5582-5589.
- Dhore, R., Wasnik, R., & Dhok, A. (2012). Effect of different sources of calcium and phosphorus with or without phytase on performance of Satpuda desi birds. *Indian Journal of Poultry Science*, 47(2), 199-203.
- Englmaierova, M., Skrivan, M., Skrivanova, E., Bubancova, I., Cermak, L., & Vlckova, J. (2015). Effects of a low-phosphorus diet and exogenous phytase on performance, egg quality, and bacterial colonisation and digestibility of minerals in the digestive tract of laying hens. *Czech Journal of Animal Science*, 60(12), 542-549.
- Equivalents, S., & Equivalent, T. (2006). Particle Size–US Sieve Series and Tyler Mesh Size Equivalents. *Screen*.
- Fernández, S., Chárraga, S., & Ávila-Gonzalez, E. (2019). Evaluation of a new generation phytase on phytate phosphorus release for egg production and tibia strength in hens fed a corn-soybean meal diet. *Poultry Science*, 98(5), 2087-2093.
- Gao, C., Ji, C., Zhao, L., Zhang, J., & Ma, Q. (2013). Phytase transgenic corn in nutrition of laying hens: Residual phytase activity and phytate phosphorus content in the gastrointestinal tract. *Poultry Science*, 92(11), 2923-2929.
- Hervo, F., Létourneau-Montminy, M.-P., Méda, B., & Narcy, A. (2024). Effect of limestone particle size and microbial phytase on phosphorus and calcium digestion kinetics along the gastrointestinal tract in laying hens. *British Poultry Science*, 1-10.
- Kim, S., Li, W., Angel, R., & Proszkowiec-Weglarz, M. (2018). Effects of limestone particle size and dietary Ca concentration on apparent P and Ca digestibility in the presence or absence of phytase. *Poultry Science*, 97(12), 4306-4314.
- Kumar, V., Miasnikov, A., Sands, J., & Simmins, P. (2003). In vitro activities of three phytases under different pH and protease challenges. *Manipulating Pig Production*, 164-164.
- Li, W., Angel, R., Plumstead, P., & Enting, H. (2021). Effects of limestone particle size, phytate, calcium source, and phytase on standardized ileal calcium and phosphorus digestibility in broilers. *Poultry Science*, 100(2), 900-909.
- Lim, H., Namkung, H., & Paik, I. (2003). Effects of phytase supplementation on the performance, egg quality, and phosphorous excretion of laying hens fed different levels of dietary calcium and nonphytate phosphorous. *Poultry Science*, 82(1), 92-99.
- Liu, N., Liu, G., Li, F., Sands, J., Zhang, S., Zheng, A., & Ru, Y. (2007). Efficacy of phytases on egg production and nutrient digestibility in layers fed reduced phosphorus diets. *Poultry Science*, 86(11), 2337-2342.
- Momeneh, T., Karimi, A., Sadeghi, G., Vaziry, A., & Bedford, M. (2018). Evaluation of dietary calcium level and source and phytase on growth performance, serum metabolites, and ileum mineral contents in broiler chicks fed adequate phosphorus diets from one to 28 days of age. *Poultry Science*, 97(4), 1283-1289.
- Mutucumarana, R., Ravindran, V., Ravindran, G., & Cowieson, A. (2014). Measurement of true ileal digestibility and total tract retention of phosphorus in corn and canola meal for broiler chickens. *Poultry Science*, 93(2), 412-419.
- Mutucumarana, R., Ravindran, V., Ravindran, G., & Cowieson, A. (2015). Measurement of true ileal phosphorus digestibility in meat and bone meal for broiler chickens. *Poultry Science*, 94(7), 1611-1618.
- Mutucumarana, R. K., & Ravindran, V. (2016). Measurement of true ileal phosphorus digestibility in meat and bone meal for broiler chickens using the direct method. *Animal Feed Science and Technology*, 219, 249-256.

- Panda, A., Rama Rao, S., Raju, M., & Bhanja, S. (2005). Effect of microbial phytase on production performance of White Leghorn layers fed on a diet low in non-phytate phosphorus. *British Poultry Science*, 46(4), 464-469.
- Pelicia, K., Garcia, E. A., Faitarone, A., Silva, A., Berto, D., Molino, A., & Vercese, F. (2009). Calcium and available phosphorus levels for laying hens in second production cycle. *Brazilian Journal of Poultry Science*, 11(1), 39-49.
- Ravindran, V., Hew, L., Ravindran, G., & Bryden, W. (2005). Apparent ileal digestibility of amino acids in dietary ingredients for broiler chickens. *Animal Science*, 81(1), 85-97.
- Ren, Z., Sun, W., Cheng, X., Liu, Y., Han, D., Yan, J., Pan, C., Duan, Y., & Yang, X. (2020). The adaptability of Hy-Line Brown laying hens to low phosphorus diets supplemented with phytase. *Poultry Science*, 99(7), 3525-3531.
- Shet, D., Ghosh, J., Ajith, S., Awachat, V. B., & Elangovan, A. V. (2018). Efficacy of dietary phytase supplementation on laying performance and expression of osteopontin and calbindin genes in eggshell gland. *Animal nutrition*, 4(1), 52-58.
- Short, F., Gorton, P., Wiseman, J., & Boorman, K. (1996). Determination of titanium dioxide added as an inert marker in chicken digestibility studies. *Animal Feed Science and Technology*, 59(4), 215-221.
- Silversides, F., Scott, T., Korver, D., Afsharmanesh, M., & Hruby, M. (2006). A study on the interaction of xylanase and phytase enzymes in wheat-based diets fed to commercial white and brown egg laying hens. *Poultry Science*, 85(2), 297-305.
- Vargas-Rodríguez, L. M., Morales-Barrera, J. E., Herrera-Haro, J. G., Antonio-Bautista, J., López-Pozos, R., & Hernández-Sánchez, D. (2016). Effect of citric acid, phytase and calcium levels on the calcium and phosphorus content in egg: yolk-albumen and shell, yolk color and egg quality in diets of laying hens. *Food and Nutrition Sciences*, 7(14), 1364-1374.
- Wu, G., Liu, Z., Bryant, M., & Roland Sr, D. (2006). Comparison of Natuphos and Phyzyme as phytase sources for commercial layers fed corn-soy diet. *Poultry Science*, 85(1), 64-69.
- Zhang, B., & Coon, C. N. (1997). The relationship of calcium intake, source, size, solubility in vitro and in vivo, and gizzard limestone retention in laying hens. *Poultry Science*, 76(12), 1702-1706.
- Żyła, K., Mika, M., Świątkiewicz, S., Koreleski, J., & Piironen, J. (2011). Effects of phytase B on laying performance, eggshell quality and on phosphorus and calcium balance in laying hens fed phosphorus-deficient maize-soybean meal diets. *Czech Journal of Animal Science*, 56(2011), 9.