

اثر سطح کلسیم و اندازه ذرات کربنات کلسیم بر عملکرد، صفات کیفی تخم مرغ و قابلیت هضم ظاهری و حقیقی ایلنومی کلسیم در مرغ های تخم گذار تجاری

پوریا عزیزی^۱، سودابه مرادی (نویسنده مسئول)^۲، محمدرضا عبداللهی^۳

۱. گروه علوم دامی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.
۲. نویسنده مسئول، گروه علوم دامی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.
۳. مرکز تحقیقات تک معده ایها، دانشکده کشاورزی و محیط زیست، دانشگاه مسی، نیویورک.

تاریخ دریافت: آذر ۱۴۰۳ تاریخ پذیرش: اردیبهشت ۱۴۰۴

شماره تماس نویسنده مسئول: ۰۸۳۳۸۳۲۳۷۲۸

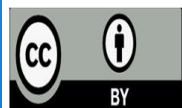
Email: s.moradi@razi.ac.ir

شناسه دیجیتال (DOI): 10.22092/ASJ.2025.367457.2429

چکیده

این تحقیق به منظور بررسی تأثیر سطح کلسیم و اندازه ذرات کربنات کلسیم بر عملکرد، خصوصیات کیفی تخم مرغ، کلسیم محتویات سنگدان و قابلیت هضم ظاهری و حقیقی ایلنومی کلسیم در مرغ های تخم گذار تجاری انجام شد. آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی به روش فاکتوریل (۳×۲) با سه سطح کلسیم (۸۰، ۱۰۰ و ۱۲۰ درصد نیاز سویه؛ به ترتیب ۳/۲۷، ۴/۰۹ و ۴/۹ درصد کلسیم) و دو اندازه ذرات ریز (GMD = ۴۰۶ میکرومتر) و درشت (GMD = ۲۷۶۶ میکرومتر) از سن ۶۸-۵۷ هفتگی در مرغ های تخم گذار سویه لوهمن (LSL-LITE)، انجام شد. هر تیمار آزمایشی دارای ۶ تکرار و هر تکرار شامل ۶ پرند بود. اثرات اصلی اندازه ذرات بر وزن تخم مرغ و وزن پوسته تخم مرغ معنی دار بود، بطوریکه مرغ های تغذیه شده با جیره حاوی ذرات ریز (GMD ۴۰۶ میکرومتر)، وزن تخم مرغ بیشتری در مقایسه با اندازه درشت کربنات کلسیم (GMD ۲۷۶۶ میکرومتر) داشتند ($P < 0/05$). وزن نسبی پوسته با افزایش اندازه ذرات کربنات کلسیم، افزایش پیدا کرد ($P < 0/05$). بیشترین درصد کلسیم پوسته و ضخامت پوسته مربوط به سطح ۴/۹ درصد کلسیم (۱۲۰٪ نیاز) بود ($P < 0/05$). غلظت کلسیم در محتویات سنگدان تحت تأثیر اثر اصلی سطح کلسیم قرار گرفت، به طوری که کمترین مقدار آن در سطح ۴/۰۹ درصد (۱۰۰٪ نیاز) بود ($P < 0/05$). ضرایب قابلیت هضم ظاهری و حقیقی ایلنومی کلسیم با افزایش اندازه ذرات کربنات کلسیم، افزایش یافت ($P < 0/01$)، قابلیت هضم حقیقی کلسیم در کربنات کلسیم ریز در سطوح ۸۰، ۱۰۰ و ۱۲۰ درصد نیاز به ترتیب ۰/۴۵۸، ۰/۴۹۴ و ۰/۴۹۵ درصد و برای کربنات کلسیم درشت در سطوح ۸۰، ۱۰۰ و ۱۲۰ درصد نیاز به ترتیب ۰/۵۱۴، ۰/۶۴۴ و ۰/۶۹۸ درصد بود. اثرات متقابل اندازه ذرات و سطح کلسیم بر ابقاء ظاهری کلسیم در دستگاه گوارش معنی دار بود، بطوریکه، در سطح ۱۰۰ درصد نیاز با اندازه ذرات درشت و سطح ۱۲۰ درصد نیاز با اندازه ریز و درشت بالاتر از سایر تیمارهای آزمایشی بود ($P < 0/01$). نتایج این مطالعه نشان داد که با افزایش اندازه ذرات کربنات کلسیم، قابلیت هضم کلسیم افزایش پیدا می کند، هر چند که با افزایش اندازه ذرات، تأثیر منفی بر وزن تخم مرغ مشاهده شد. سطح کلسیم مورد استفاده در جیره بر قابلیت هضم کلسیم تأثیر گذار نیست، لذا بر اساس نتایج این تحقیق، می توان کاهش سطح کلسیم به ۸۰ درصد نیاز سویه، در مرغ های تخم گذار را توصیه کرد. نتایج این آزمایش نشان داد که با افزایش اندازه ذرات کربنات کلسیم (از ۴۰۶ به ۲۷۶۶ میکرومتر)، ضرایب قابلیت هضم حقیقی کلسیم (۰/۴۸۲ در مقابل ۰/۶۱۹) و ابقاء ظاهری در کل دستگاه گوارش افزایش می یابد که همراه با بهبود وزن پوسته تخم مرغ بود. نکته قابل توجه در نتایج این آزمایش، عدم تأثیر گذاری سطح کلسیم بر ضرایب قابلیت هضم کلسیم و عملکرد مرغ های تخم گذار بود، لذا چنانچه در صنعت مرغ های تخم گذار، ضخامت پوسته تخم مرغ مطلوب با ۸۰ درصد نیاز سویه حاصل می شود، می توان سطح کلسیم را در جیره های تجاری کاهش داد.

واژه های کلیدی: سطح کلسیم، اندازه ذرات، کربنات کلسیم، قابلیت هضم کلسیم، مرغ تخم گذار.



Research Journal of Livestock Science No 149 pp: 115-132

Influence of calcium level and particle size of limestone on the performance, egg quality, and apparent and true ileal digestibility of calcium for commercial laying hensBy: Porya Azizi¹, Soudabeh Moradi^{2*} and Mohammad Reza Abdollahi³

1. Department of Animal Science, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Razi University, Kermanshah, Iran.
2. Corresponding author, Department of Animal Science, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Razi University, Kermanshah, Iran.
3. Monogastric Research Center, School of Agriculture and Environment, Massey University, Palmerston North, 4442, New Zealand.

Received: December 2024**Accepted: May 2025**

The aim of this study was to evaluate the effect of calcium levels and particle size of limestone on performance, egg quality, gizzard Ca, and apparent and true ileal Ca digestibility coefficient in commercial laying hens. The experiment was conducted in a completely randomized factorial design (3×2) with three calcium levels (80%, 100%, and 120% of strain requirements; 3.27%, 4.09%, and 4.9%, respectively) and two particle sizes: fine (GMD= 406 µm) and coarse (GMD= 2766 µm) from 57-68 weeks in Lohmann (LSL lite) laying hens. Each treatment included six replicates with six birds per replicate. Main effects of particle size were significant for egg weight, and eggshell weight. Hens fed diets containing fine particles (GMD 406 µm) produced heavier eggs compared to those fed coarse particles (GMD 2766 µm) ($P < 0.05$). Relative eggshell weight increased with larger limestone particle size ($P < 0.05$). The highest calcium content and thickness of eggshell was observed at 4.9% calcium level (120% of requirements) ($P < 0.05$). The 4.09% calcium level resulted in the lowest gizzard calcium content (100% of requirements) ($P < 0.05$). Apparent and true ileal calcium digestibility coefficients increased with increasing limestone particle size ($P < 0.01$). The true calcium digestibility of fine limestone at 80%, 100%, and 120% of requirements was 0.494, 0.458, and 0.495, respectively, while for coarse limestone, it was 0.514, 0.644, and 0.698, respectively.

The interaction effects of particle size and calcium level on apparent calcium retention in the digestive tract were significant, such that at the level of 100% of the requirement with coarse particle size and the level of 120% of the requirement with fine and coarse size, it was higher than the other experimental treatments ($P < 0.01$).

The results of this experiment indicated that by increasing the particle size of calcium carbonate (from 406 to 2766 µm), the true calcium digestibility coefficients (0.482 vs. 0.619) and total tract retention increased, which was accompanied by an improvement in eggshell weight. A notable point in the results of this experiment was the lack of effect of calcium level on calcium digestibility coefficients and laying hen performance. Therefore, if in the laying hen industry, the desired eggshell thickness is achieved with 80% of the strain requirement, the calcium level in commercial diets can be reduced.

Key words: calcium level, particle size, limestone, calcium digestibility, laying hens**مقدمه**

برخی مطالعات در مرغ‌های تخم‌گذار گزارش کردند که سطح کلسیم جیره تأثیری بر ضریب تبدیل غذایی، تولید تخم‌مرغ، وزن تخم‌مرغ و توده تخم‌مرغ نداشتند (Safaa و همکاران، ۲۰۰۸؛ De Witt و همکاران، ۲۰۰۹؛ Pelicia و همکاران، ۲۰۰۹؛ Cufadar و همکاران، ۲۰۰۹).

کلسیم در مرغ‌های تخم‌گذار برای تشکیل پوسته تخم‌مرغ و کیفیت آن بسیار مهم است. نیاز روزانه تغذیه‌ای مرغ‌های تخم‌گذار (در فاز تولید) به کلسیم در محدوده ۳۹ تا ۴۹ گرم در کیلوگرم است (ISA Hy-Line، ۲۰۱۸).

قابلیت هضم منابع کلسیم با استفاده از جیره‌های نیمه خالص و جیره عاری از منبع کلسیم در مرغ‌های تخم‌گذار پرداخته‌اند (Diana و همکاران، ۲۰۲۱؛ David و همکاران، ۲۰۱۹)، درحالی‌که بیشتر تحقیقات در این زمینه بر روی جوجه‌های گوشتی متمرکز شده است (Anwar و همکاران، ۲۰۱۵، ۲۰۱۶a، ۲۰۱۶b، ۲۰۱۶c، ۲۰۱۸؛ David و همکاران، ۲۰۱۹، ۲۰۲۱؛ Jafari Arvari و همکاران، ۲۰۲۲، ۲۰۲۴).

نتایج پژوهش‌های انجام شده در مورد تأثیر اندازه ذرات کلسیم بر قابلیت هضم آن، متفاوت و گاه متناقض است. محمد عبدعون جواد و همکاران (۲۰۲۳) قابلیت هضم ظاهری کلسیم در مرغ‌های تخم‌گذار را با استفاده از ۳ اندازه ذرات ریز با میانگین قطر هندسی ذرات (GMD)^۱ کمتر از ۵۰۰ میکرومتر برای ذرات ریز، ۵۰۰ تا ۲۰۰۰ میکرومتر برای ذرات متوسط و ۲۰۰۰ تا ۴۰۰۰ میکرومتر برای ذرات درشت بررسی کردند و نتایج آن‌ها نشان داد که ضریب قابلیت هضم ظاهری کلسیم برای ذرات ریز، متوسط و درشت به ترتیب ۰/۴۳، ۰/۴۵ و ۰/۳۳ بود و مشخص شد که پایین‌ترین ضریب قابلیت هضم مربوط به ذرات درشت بوده است. Diana و همکاران (۲۰۲۱) در مرغ‌های تخم‌گذار نشان دادند که ابقا ظاهری کلسیم در اندازه ذرات ریز کربنات کلسیم بالاتر از ذرات درشت بود درحالی‌که تفاوت معنی‌داری در قابلیت هضم ایلئومی بین اندازه‌های مختلف ذرات مشاهده نکردند. در مطالعه‌ای دیگر، Diana و همکاران (۲۰۲۲) گزارش کردند که بالاترین مقدار ابقا ظاهری کلسیم جیره در مرغ-های تخم‌گذار مربوط به سطح ۳ درصد با اندازه ذرات ریز بود. Araujo و همکاران (۲۰۱۱) گزارش کردند که سطح و اندازه ذرات کربنات کلسیم تأثیر معنی‌داری بر ابقا کلسیم جیره مرغ‌های تخم‌گذار نداشت. Scheideler و همکاران (۱۹۹۸) نشان دادند که قابلیت هضم کلسیم ظاهری جیره با افزایش اندازه ذرات در سن ۱۰۸ هفتگی مرغ‌های تخم‌گذار افزایش یافت. در مقابل، Lichovnikov (۲۰۰۷) نشان داد که جیره مرغ‌های تخم‌گذار با نسبت مساوی ذرات ریز و درشت، ابقا کلسیم بالاتری را نسبت به جیره با نسبت بیشتر ذرات درشت نشان داد. Manangi و همکاران (۲۰۱۸) گزارش کردند در مرغ‌های مادر، با افزایش اندازه ذرات، ابقا ظاهری کلسیم معنی‌دار نبود.

مطالعات انجام شده بر روی جوجه‌های گوشتی نیز نتایج متنوعی را

همکاران، ۲۰۱۱؛ Pastore و همکاران، ۲۰۱۲؛ An و همکاران، ۲۰۱۶؛ Kakhki و همکاران، ۲۰۱۹؛ Salajegheh و همکاران، ۲۰۲۰). مازاد کلسیم به‌راحتی می‌تواند کمپلکس نامحلولی با فیتات به‌ویژه در روده کوچک (که pH بالاتر است)، تشکیل دهد (Selle و همکاران، ۲۰۰۹) و حتی می‌تواند با فسفر رسوب کند. بعلاوه، غلظت‌های بالای کلسیم در جیره (هنگامی‌که به شکل کربنات کلسیم عرضه می‌شود) pH مواد هضمی سنگدان را افزایش می‌دهد که با کاهش جذب مواد مغذی (Shafey و همکاران، ۱۹۹۱)، منجر به تأثیر منفی بر عملکرد مرغ‌های تخم‌گذار می‌گردد. تحقیقات نشان می‌دهد که تغییر در اندازه ذرات کربنات کلسیم در جیره غذایی، تأثیر معنی‌داری بر عملکرد مرغ‌های تخم‌گذار ندارد (Witt و همکاران، ۲۰۰۹؛ Pelicia و همکاران، ۲۰۰۹؛ Cufadar و همکاران، ۲۰۱۱؛ Pastore و همکاران، ۲۰۱۲؛ An و همکاران، ۲۰۱۶).

تعدادی از مطالعات نشان دادند که افزایش سطح کلسیم در جیره مرغ‌های تخم‌گذار منجر به بهبود کیفیت پوسته تخم‌مرغ می‌شود (Balloun و Marion، ۱۹۶۲؛ Reddy و Sanford، ۱۹۶۳). Keshavarz (۲۰۰۳) گزارش کرد که افزایش سطح کلسیم جیره تا ۵ درصد به همراه مکمل ویتامین D3 (کوله‌کلسیفرول) منجر به بهبود کیفیت پوسته می‌شود، در حالیکه تحقیقات دیگری نشان دادند که با افزایش سطح کلسیم جیره، بالاتر از ۳/۶ - ۳/۹ درصد، تأثیر مثبتی بر شاخص‌های کیفیت پوسته تخم‌مرغ مشاهده نشد (Bar و همکاران، ۲۰۰۲؛ Valkonen و همکاران، ۲۰۱۰؛ Pastore و همکاران، ۲۰۱۲). حلالیت کربنات کلسیم با اندازه ذرات درشت کمتر بوده و ماندگاری بیشتری در پیش‌معدة و سنگدان داشته و می‌تواند کلسیم موردنیاز مرغ را در طول شب (هنگامی‌که پرند خوراک نمی‌خورد) تأمین کند که نهایتاً باعث کیفیت بهتر پوسته تخم‌مرغ می‌شود (Pavloski و همکاران، ۲۰۰۳؛ Koreleski و Świątkiewicz، ۲۰۰۴؛ Lichovnikova، ۲۰۰۷).

در پژوهش‌های متعددی، ضرایب قابلیت هضم کلسیم در جیره‌های تجاری مرغ‌های تخم‌گذار مورد بررسی قرار گرفته است (Liu و همکاران، ۲۰۰۷؛ Araujo و همکاران، ۲۰۱۱؛ Englmaierová و همکاران، ۲۰۱۷؛ Bello و Korver، ۲۰۱۹؛ محمد عبد اون جواد و همکاران، ۲۰۲۳)، بااین‌حال، مطالعات محدودی به ارزیابی ضرایب

¹ Geometric mean diameter

آزمایش فاکتوریل 2×3 با ۶ تیمار و ۶ تکرار و ۶ قطعه مرغ در هر تکرار به مدت ۸۴ روز استفاده شد. سه سطح کلسیم شامل ۸۰، ۱۰۰ و ۱۲۰ درصد نیاز سویه (به ترتیب ۳/۲۷، ۴/۰۹ و ۴/۹ درصد کلسیم) و دو اندازه ذرات کربنات کلسیم (ریز و درشت) استفاده گردید. جیره های آزمایشی بصورت آردی و با استفاده از میکسر افقی، مخلوط شدند. دامنه دمای سالن در اغلب روزهای آزمایش ۲۳ - ۱۸ درجه سانتی گراد و برنامه نوری سالن به صورت ۱۵ ساعت روشنایی و ۹ ساعت خاموشی اعمال گردید. در طول دوره آزمایش، بصورت روزانه مقدار ۱۲۰ گرم خوراک به ازای هر مرغ در دسترس مرغ ها قرار می گرفت و همه مرغ ها آزادانه به آب آشامیدنی دسترسی داشتند. مواد خوراکی و ترکیبات شیمیایی جیره مرغ های تخم گذار در طول دوره آزمایش در جدول ۱ گزارش شده است.

در طول ۱۲ هفته دوره آزمایش، تولید تخم مرغ و وزن تخم مرغ به صورت روزانه اندازه گیری و درصد تولید تخم مرغ براساس روز مرغ محاسبه گردید. مصرف خوراک روزانه هر مرغ و ضریب تبدیل غذایی محاسبه گردید. صفات مربوط به خصوصیات کیفی تخم مرغ در پایان آزمایش اندازه گیری شد. برای اندازه گیری خصوصیات کیفی تخم مرغ، کل تخم مرغ های تولیدی در پایان دوره آزمایش به مدت ۲ روز جمع آوری و وزن نسبی زرده، وزن نسبی سفیده (آلبومین)، وزن نسبی پوسته، وزن مخصوص، ضخامت پوسته، واحد هاو اندازه گیری شدند. وزن مخصوص با استفاده از روش غوطه وری در محلول آب نمک با غلظت های ۱/۰۶۲، ۱/۰۷۰، ۱/۰۸۲، ۱/۰۹۰ و ۱/۱۰۲ میلی گرم بر میلی لیتر تعیین شد (Moreng و Avens، ۱۹۸۵). برای اندازه گیری میانگین قطر هندسی ذرات (GMD)، ۱۰۰ گرم از کربنات کلسیم با دو اندازه ذرات ریز و درشت با ۸ الک با قطر سوراخ های ۴/۷۵، ۲/۳۶، ۲، ۱/۱۸، ۰/۶، ۰/۴۲۵، ۰/۳، ۰/۰۷۵، ۰/۰۲۵ میلی متر الک شده و مقدار مانده بر روی هر الک توزین شد (ASAE، ۱۹۹۵).

ارائه کرده اند. Anwar و همکاران (۲۰۱۶) گزارش کردند که با افزایش اندازه ذرات کربنات کلسیم و صدف دریایی، قابلیت هضم ظاهری ایلئومی، قابلیت هضم حقیقی ایلئومی، ابقا ظاهری کلسیم و غلظت کلسیم در محتویات سنگدان در جوجه های گوشتی افزایش می یابد. Jafari Arvari و همکاران (۲۰۲۲) گزارش کردند که قابلیت هضم ظاهری و حقیقی ایلئومی کلسیم در جوجه های گوشتی به طور معنی داری بیشتر از پولت های تخم گذار بود (به ترتیب ۰/۵۸ در برابر ۰/۳۲ و ۰/۶۳ در برابر ۰/۳۹) و با افزایش اندازه ذرات، قابلیت هضم ظاهری و حقیقی ایلئومی کلسیم نیز افزایش یافت. Paiva و همکاران (۲۰۱۶) اثر معنی داری بر قابلیت هضم ظاهری ایلئومی کلسیم با تغییر سطح کلسیم در جوجه های گوشتی مشاهده نکردند. در مقابل، Bradbury و همکاران (۲۰۱۶) نشان دادند که سطح پایین تر کلسیم، قابلیت هضم ظاهری ایلئومی کلسیم بالاتری را در جوجه های گوشتی نشان داد.

باتوجه به تناقضات موجود در نتایج پژوهش های پیشین و اهمیت بهینه سازی جذب کلسیم در صنعت طیور، انجام مطالعات بیشتر در زمینه تأثیر اندازه ذرات و سطوح مختلف آن بر قابلیت هضم کلسیم در مرغ های تخم گذار ضروری به نظر می رسد؛ بنابراین، هدف از این مطالعه تعیین ضرایب قابلیت هضم کلسیم در کربنات کلسیم با سطوح مختلف کلسیم و اندازه ذرات مختلف کربنات کلسیم، همچنین ارزیابی تأثیر آنها بر عملکرد تولید، کیفیت پوسته تخم مرغ، کلسیم در محتویات سنگدان در مرغ های تخم گذار تجاری بود.

مواد و روش ها

این آزمایش به منظور بررسی تأثیر سطح کلسیم و اندازه ذرات کربنات کلسیم بر عملکرد، کیفیت تخم مرغ، کلسیم سنگدان و تعیین ضرایب قابلیت هضم ظاهری و حقیقی کلسیم در کربنات کلسیم در مرغ های تخم گذار تجاری به مدت ۱۲ هفته از سن ۵۷ تا ۶۸ هفتگی انجام شد. در این تحقیق از ۲۱۶ قطعه مرغ تخم گذار تجاری سویه لوهمن (LSL-Lite) در قالب طرح کاملاً تصادفی و به صورت

جدول ۱. مواد خوراکی و ترکیب شیمیایی جیره مرغ‌های تخم‌گذار در طول دوره آزمایش

ماده خوراکی، (گرم در کیلوگرم)	۳/۲۷ درصد کلسیم	۴/۰۹ درصد کلسیم	۴/۹ درصد کلسیم
ذرت	۵۸۲/۵	۵۸۲/۵	۵۸۲/۵
کنجاله سویا	۲۵۲	۲۵۲	۲۵۲
روغن گیاهی	۱۲/۴	۱۲/۴	۱۲/۴
دی کلسیم فسفات	۱۵/۹	۱۵/۹	۱۵/۹
کربنات کلسیم	۷۶/۴	۹۸/۹	۱۲۱/۱
ماسه	۵۰/۴	۲۷/۹	۵/۷
نمک	۲/۳	۲/۳	۲/۳
مکمل ویتامینه و معدنی ^۱	۶	۶	۶
دی‌ال متیونین	۱	۱	۱
بی‌کربنات سدیم	۱/۱	۱/۱	۱/۱
مواد مغذی آنالیز شده (درصد)			
انرژی قابل متابولیسم (کیلوکالری بر کیلوگرم)	۲۶۰۰	۲۶۰۰	۲۶۰۰
پروتئین خام	۱۵/۳	۱۵/۳	۱۵/۳
کلسیم	۳/۲۷	۴/۰۹	۴/۹
فسفر قابل دسترس	۰/۳۵	۰/۳۵	۰/۳۵
لیزین قابل هضم	۰/۷۱	۰/۷۱	۰/۷۱
متیونین + سیستین قابل هضم	۰/۵۴	۰/۵۴	۰/۵۴
ترئونین قابل هضم	۰/۴۷	۰/۴۷	۰/۴۷
مواد مغذی آنالیز شده (درصد)			
ماده خشک	۹۲/۵۵	۹۲/۱۹	۹۱/۹۹
کلسیم	۳/۰۸	۴/۳۷	۴/۶۳

¹ Provided the following (per kilogram of diet): vitamin A (trans-retinyl acetate), 6,000 IU; vitamin D (cholecalciferol), 1,200 IU; vitamin E (tocopherol-acetate), 30 mg; vitamin K3 (bisulphate menadione), 1.5 mg; riboflavin, 5 mg; thiamin, 1 mg; pantothenic acid, 10 mg; niacin, 30 mg; Pyridoxine, 3 mg; folic acid, 1.2 mg; vitamin B12 (cyanocobalamin), 15 µg; biotin, 0.15 mg; Se (Na₂SeO₃), 0.2 mg; I (KI), 1.9 mg; Cu (CuSO₄ · 5H₂O), 4 mg; Fe (FeCO₃), 18 mg; Mn (MnO), 66 mg; and Zn (ZnO), 100 mg.

دستگاه گوارش از جیره‌های نیمه خالص بر پایه ذرت و همچنین برای تعیین اتلاف داخلی کلسیم از جیره بدون کلسیم بر پایه ذرت بر اساس روش پیشنهادی توسط David و همکاران (۲۰۱۹) استفاده شد. پس از هشت ساعت گرسنگی و تخلیه دستگاه گوارش، جیره‌های آزمایشی نیمه خالص (جدول ۲) حاوی دی اکسید تیتانیوم (Germany, Merck KGaA, EMSURE) به مدت سه روز تغذیه گردید، فضولات هر قفس پس از جدا نمودن پرها و فلس‌ها با هم مخلوط و به‌صورت روزانه در یک ساعت مشخص جمع‌آوری شدند. پس از سه روز تغذیه جیره‌های آزمایشی، از هر تکرار ۱ قطعه مرغ کشتار شد. بدین صورت که

اندازه‌گیری حلالیت در آزمایشگاه به‌صورت ازدست‌دادن یا کاهش وزن نمونه اندازه‌گیری شد (Zhang و Coon، ۱۹۹۷b). اسیدکلریدریک (۰/۲ نرمال، ۲۰۰ میلی‌لیتر) به مدت ۱۵ دقیقه در دمای ۴۲ درجه سانتی‌گراد در حمام آب (بن‌ماری) با نوسان ۶۰ هرتز حرارت داده شد و نمونه کربنات کلسیم (۲ گرم) به آن اضافه شد. پس از ۱۰ دقیقه، محتویات کامل آن با کاغذ صافی واتمن ۴۲ صاف و فیلتر شد، سپس در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۰ ساعت خشک شد و در نهایت درصد کاهش وزن، محاسبه گردید.

برای تعیین ضرایب قابلیت هضم ایلئومی و ابقا کلسیم در کل

محتویات سنگدان بر اساس روش طیف سنجی جذب اتمی استفاده شد (AOAC Method ۹۸۱.۰۱، ۲۰۰۵) و برای اندازه‌گیری غلظت دی اکسید تیتانیوم در خوراک، فضولات و ایلئوم، از دستگاه اسپکتروفتومتری (Short و همکاران، ۱۹۹۶) استفاده و به‌صورت درصد گزارش شد. قابلیت هضم ظاهری ایلئومی کلسیم بر اساس فرمول زیر محاسبه شد (Anwar و همکاران، ۲۰۱۶a):

قابلیت هضم ظاهری ایلئومی کلسیم

$$= 1 - \left[\left(\frac{\text{غلظت تیتانیوم در جیره آزمایشی}}{\text{غلظت تیتانیوم در محتویات ایلئوم}} \right) \times \left(\frac{\text{غلظت کلسیم در محتویات ایلئوم}}{\text{غلظت کلسیم در جیره آزمایشی}} \right) \right]$$

از طریق فرمول زیر، اتلاف داخلی کلسیم محاسبه شد:

$$\text{قابلیت هضم حقیقی ایلئومی کلسیم} = \left(\frac{\text{غلظت تیتانیوم در جیره آزمایشی}}{\text{غلظت تیتانیوم در محتویات ایلئوم}} \right) \times \text{غلظت کلسیم در محتویات ایلئوم} = \text{اتلاف داخلی کلسیم}$$

قابلیت هضم حقیقی ایلئومی کلسیم به‌صورت زیر محاسبه شد:

$$\text{قابلیت هضم ظاهری ایلئومی کلسیم} = \left(\frac{\text{اتلاف داخلی کلسیم}}{\text{غلظت کلسیم در جیره آزمایشی}} \right) + \text{قابلیت هضم حقیقی ایلئومی کلسیم}$$

قابلیت ابقا ظاهری کلسیم - محاسبه شد:

$$= 1 - \left[\left(\frac{\text{غلظت تیتانیوم در جیره آزمایشی}}{\text{غلظت تیتانیوم در فضولات}} \right) \times \left(\frac{\text{غلظت کلسیم در فضولات}}{\text{غلظت کلسیم در جیره آزمایشی}} \right) \right]$$

تجزیه و تحلیل آماری

نرم افزار آماری SAS ویرایش ۹/۴ (۲۰۱۴) با رویه GLM آنالیز گردید. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ انجام شد.

تجزیه و تحلیل داده‌ها به‌صورت آزمایش فاکتوریل ۳×۲ (سه سطح کلسیم شامل ۳/۲۷، ۴/۰۹ و ۴/۹ درصد کلسیم) و دو اندازه ذرات کربنات کلسیم (ریز و درشت)، با ۶ تکرار آزمایشی با استفاده از

جدول ۲. مواد خوراکی و ترکیبات شیمیایی جیره های نیمه خالص بر پایه ذرت

اجزای خوراکی (گرم در کیلوگرم)	۳/۲۷ درصد کلسیم	۴/۰۹ درصد کلسیم	۴/۹ درصد کلسیم	جیره بدون کلسیم
ذرت	۸۸۶/۳	۸۶۳/۹	۸۴۱/۹	۹۷۸
روغن گیاهی	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰
دی اکسید تیتانیوم	۵	۵	۵	۵
کربنات کلسیم	۸۷	۱۰۹/۲	۱۳۱/۱	۰
نمک	۲	۲	۲	۲
مکمل ویتامینه و معدنی ^۱	۴	۴	۴	۴
مونو سدیم فسفات	۵/۷	۵/۹	۶	۱
مواد مغذی محاسبه شده (درصد)				
انرژی قابل متابولیسم (کیلو کالری بر کیلوگرم)	۲۶۰۰	۲۶۰۰	۲۶۰۰	۲۶۰۰
پروتئین خام	۷/۰۹	۶/۹۱	۶/۷۴	۷/۸۲
کلسیم	۳/۲۷	۴/۰۹	۴/۹	۰/۰۵
فسفر کل	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۳۲
مواد مغذی آنالیز شده (درصد)				
کلسیم	۳/۳۲	۳/۸۳	۵/۰۵	۰/۴۴

¹Provided the following (per kilogram of diet): vitamin A (trans-retinyl acetate), 6,000 IU; vitamin D3 (cholecalciferol), 1,200 IU; vitamin E (tocopherol-acetate), 30 mg; vitamin K3 (bisulphate menadione), 1.5 mg; riboflavin, 5 mg; thiamin, 1 mg; pantothenic acid, 10 mg; niacin, 30 mg; Pyridoxine, 3 mg; folic acid, 1.2 mg; vitamin B12 (cyanocobalamin), 15 µg; biotin, 0.15 mg; Se (Na2SeO3), 0.2 mg; I (KI), 1.9 mg; Cu (CuSO4 · 5H2O), 4 mg; Fe (FeCO3), 18 mg; Mn (MnO), 66 mg; and Zn (ZnO), 100 mg.

جدول ۳. توزیع اندازه ذرات، میانگین هندسی قطر، انحراف استاندارد میانگین هندسی و حلالیت آزمایشگاهی کربنات کلسیم

کربنات کلسیم		
اندازه ذرات (میکرومتر)	ریز (%)	درشت (%)
>۴۷۵۰	۰	۳
۲۳۶۰	۰	۵۸
۲۰۰۰	۳	۳۱
۱۱۸۰	۹	۷
۶۰۰	۱۴	۱
۴۲۵	۱۹	۰
۳۰۰	۴۰	۰
۷۵	۶	۰
<۲۵	۹	۰
میانگین هندسی قطر ذرات (μm, GMD)		
۲۷۶۶		
انحراف استاندارد میانگین هندسی (μm, GSD)		
۲/۵		
حلالیت، %		
۴۲/۵		

نتایج

میانگین قطر هندسی ذرات و درصد حلالیت برای کربنات کلسیم با اندازه ذرات ریز، ۴۰۶ میکرومتر با ۷۵ درصد حلالیت و اندازه ذرات درشت ۲۷۶۶ میکرومتر با ۴۲/۵ درصد حلالیت بدست آمد (جدول ۳).

اثر اصلی سطح کلسیم جیره (۳/۲۷، ۴/۰۹ و ۴/۹ درصد) بر وزن تخم مرغ، درصد تولید، ضریب تبدیل غذایی و توده تخم مرغ معنی دار نبود، در حالیکه اثر اصلی اندازه ذرات کربنات کلسیم بر وزن تخم مرغ معنی دار بود ($P < 0/05$) بطوریکه مرغ های تغذیه شده با جیره حاوی ذرات ریز (GMD ۴۰۶ میکرومتر)، وزن تخم مرغ بیشتری در مقایسه با اندازه ذرات درشت کربنات کلسیم (GMD ۲۷۶۶ میکرومتر) داشتند ($P < 0/05$). اثر متقابل سطح کلسیم و اندازه ذرات کربنات کلسیم بر وزن تخم مرغ، درصد تولید، ضریب تبدیل غذایی و توده تخم مرغ معنی دار نبود (جدول ۴).

اثرات اصلی سطح کلسیم و اندازه ذرات کربنات کلسیم و اثرات متقابل آنها بر وزن نسبی زرده، وزن نسبی سفیده (آلبومین)، وزن نسبی پوسته، وزن مخصوص تخم مرغ و واحد هاو معنی دار نبود (جدول ۵). درصد کلسیم پوسته و ضخامت پوسته تحت تأثیر سطح کلسیم جیره قرار گرفتند مرغ های دریافت کننده جیره حاوی سطح ۳/۲۷ و ۴/۹، محتوای کلسیم پوسته و ضخامت پوسته بالاتری در مقایسه با سطح ۴/۰۹ درصد داشتند ($P < 0/01$). اثر اندازه ذرات کربنات کلسیم تنها بر وزن نسبی پوسته تأثیر معنی داری داشت، به طوری که در کربنات کلسیم با ذرات درشت، مقدار آن بیشتر از ذرات ریز بود. ($P < 0/05$).

نتایج مرتبط با ضرایب قابلیت هضم ظاهری و حقیقی ایلئومی کلسیم، ضریب ابقا ظاهری کلسیم و غلظت کلسیم در محتویات سنگدان در جدول ۶ گزارش شده است. در این آزمایش، اتلاف داخلی کلسیم ۴۵۳ میلی گرم بر کیلوگرم ماده خشک مصرفی

حقیقی ایلئومی و کلسیم محتویات سنگدان معنی دار نبود. اثر اصلی اندازه ذرات کربنات کلسیم بر ضریب ابقاء ظاهری کلسیم در کل دستگاه گوارش معنی دار بود ($P < 0.01$) و در ذرات درشت بیشتر از ریز بود، هر چند که اثر سطح کلسیم بر ابقاء ظاهری، روند مشخصی را نداشت و منجر به معنی دار شدن اثر متقابل سطح کلسیم و اندازه ذرات کربنات کلسیم بر ابقاء ظاهری کلسیم گردید ($P < 0.01$)؛ به طوری که بیشترین میزان ابقاء در سطح ۴/۹ درصد با اندازه ذرات درشت و کمترین آن در سطح ۳/۲۷ درصد با اندازه ذرات درشت بود. غلظت کلسیم در محتویات سنگدان تحت تأثیر اثر اصلی سطح کلسیم قرار گرفت، به طوری که کمترین مقدار آن در سطح ۴/۰۹ درصد بود ($P < 0.01$).

برآورد گردید که برای محاسبه ضرایب قابلیت هضم حقیقی مورد استفاده قرار گرفت. ضرایب قابلیت هضم حقیقی ایلئومی کلسیم برای کربنات کلسیم ریز (GMD ۴۰۶ میکرومتر) در سطوح ۳/۲۷، ۴/۰۹ و ۴/۹ درصد کلسیم به ترتیب ۰/۴۵۸، ۰/۴۹۴ و ۰/۴۹۵ بدست آمد، در حالیکه در مورد کربنات کلسیم درشت (GMD ۲۷۶۶ میکرومتر)، این ضرایب به ترتیب برای سطوح مختلف کلسیم، ۰/۵۱۴، ۰/۶۴۲ و ۰/۶۹۸ برآورد گردید. نتایج آنالیز آماری نشان داد که اثر اصلی اندازه ذرات کربنات کلسیم تأثیر معنی داری بر قابلیت هضم ظاهری و حقیقی ایلئومی داشت و در اندازه ذرات درشت کربنات کلسیم بیشتر از اندازه ریز بود ($P < 0.01$). هیچ اثر معنی داری از سطح کلسیم بر قابلیت هضم ظاهری و حقیقی ایلئومی مشاهده نشد. همچنین، اثر متقابل سطح کلسیم و اندازه ذرات کربنات کلسیم بر قابلیت هضم ظاهری و

جدول ۴. تأثیر سطح کلسیم و اندازه ذرات کربنات کلسیم بر عملکرد مرغ های تخم گذار از سن ۵۷ تا ۶۸ هفتگی

سطح کلسیم، %	اندازه ذرات	وزن تخم مرغ (گرم)	تولید تخم مرغ (%)	ضریب تبدیل غذایی ^۲	توده تخم مرغ (گرم در روز)
۳/۲۷	ریز	۶۰/۸۲	۸۷/۴	۲/۱۲	۵۲/۶
۳/۲۷	درشت	۶۰/۰۱	۷۸/۴	۲/۲۳	۵۲
۴/۰۹	ریز	۶۱/۳۳	۸۷/۸	۲/۰۷	۵۳/۷
۴/۰۹	درشت	۶۰/۴۲	۸۱	۲/۳۱	۴۸/۳
۴/۹	ریز	۶۰/۵۳	۸۰/۶	۲/۲۷	۴۹/۱
۴/۹	درشت	۵۹/۷۸	۸۲/۸	۲/۲۶	۴۸/۹
SEM ^۱		۰/۵۶	۴/۶۱	۰/۲۲	۴/۵۲
اثرات اصلی					
سطح کلسیم، %					
۳/۲۷		۶۰/۴۲	۸۲/۹	۲/۱۷	۵۲/۳
۴/۰۹		۶۰/۸۷	۸۴/۴	۲/۱۹	۵۱
۴/۹		۶۰/۱۶	۸۱/۷	۲/۲۷	۴۹
SEM		۰/۴	۳/۲۶	۰/۱۶	۳/۱۹
اندازه ذرات کربنات کلسیم					
ریز		۶۰/۸۹ ^a	۸۵/۳	۲/۱۵	۵۱/۸
درشت		۶۰/۰۷ ^b	۸۰/۷	۲/۲۷	۴۹/۷
SEM		۰/۳۲	۲/۶۶	۰/۱۳	۲/۶۱
سطح احتمال، $\geq P$					
سطح کلسیم		۰/۲	۰/۷	۰/۶۲	۰/۵۸
اندازه ذرات کربنات کلسیم		۰/۰۲	۰/۱	۰/۷۴	۰/۴۳
سطح کلسیم × اندازه ذرات کربنات کلسیم		۰/۹۸	۰/۲	۰/۲۹	۰/۶۶

حروف مشابه در هر ردیف نشان دهنده عدم وجود اختلاف معنی دار در بین میانگین ها در سطح خطای ۰/۰۵ درصد می باشد

SEM^۱: خطای استاندارد میانگین ها - ^۲ضریب تبدیل غذایی از تقسیم خوراک مصرفی به توده تخم مرغ تولیدی بدست آمده است.

جدول ۵. تأثیر سطح کلسیم و اندازه ذرات کربنات کلسیم بر خصوصیات کیفی تخم مرغ در مرغ های تخم گذار در سن ۶۸ هفتگی

سطح کلسیم، %	اندازه ذرات	کلسیم پوسته (%)	وزن زرده (%)	وزن سفیده (%)	وزن پوسته (%)	وزن مخصوص	ضخامت پوسته (میکرومتر)	واحد هاو
۳/۲۷	ریز	۱۲/۹	۲۹/۲۲	۶۰/۳	۱۰/۱	۱/۰۹۶	۳۸/۹۵	۷۴/۳۵
۳/۲۷	درشت	۱۳/۶	۲۹/۱۷	۶۲/۵۹	۱۰/۵۱	۱/۰۹۴	۳۸/۶۴	۷۷/۵۶
۴/۰۹	ریز	۸/۵۹	۲۹/۶۵	۶۰/۶۴	۱۰/۰۶	۱/۰۹۲	۳۷/۲۵	۷۶/۷۳
۴/۰۹	درشت	۸/۸۸	۲۸/۷۱	۶۰/۷۷	۱۱/۱۸	۱/۱	۳۹/۵۳	۷۸/۲۷
۴/۹	ریز	۱۲/۴	۳۱/۵۵	۶۴/۵۳	۹/۹۴	۱/۰۹۸	۴۰/۲۵	۷۶/۸۷
۴/۹	درشت	۱۴/۳	۲۹/۱۳	۶۱/۶	۱۰/۴۳	۱/۰۹۵	۴۰/۶۷	۷۶/۳۱
SEM ^۱		۱/۲۳	۱/۳۸	۳/۱۱	۰/۵۲	۰/۰۰۴	۰/۸۷	۱/۹۸
اثرات اصلی								
سطح کلسیم، %								
۳/۲۷		۱۳/۲ ^a	۲۹/۱۹	۶۱/۴۴	۱۰/۳۱	۱/۰۹۵	۳۸/۷۹ ^b	۷۵/۹۵
۴/۰۹		۸/۷۴ ^b	۲۹/۱۸	۶۰/۷	۱۰/۶۲	۱/۰۹۶	۳۸/۳۹ ^b	۷۷/۵
۴/۹		۱۳/۳ ^a	۳۰/۳۴	۶۳/۰۷	۱۰/۱۸	۱/۰۹۶	۴۰/۴۶ ^a	۷۶/۵۹
SEM		۰/۸۷	۰/۹۷	۲/۲	۰/۳۶	۰/۰۰۲	۰/۶۲	۱/۴
اندازه ذرات کربنات کلسیم								
ریز		۱۱/۳	۳۰/۱۴	۶۱/۸۲	۱۰/۰۳ ^b	۱/۰۹۵	۳۸/۸۲	۷۵/۹۸
درشت		۱۲/۲	۲۹	۶۱/۶۵	۱۰/۷ ^a	۱/۰۹۶	۳۹/۶۱	۷۷/۳۸
SEM		۰/۷۱	۰/۷۹	۱/۸	۰/۳۷	۰/۰۰۲	۰/۵	۱/۱۴
سطح احتمال، ZP								
سطح کلسیم		۰/۰۰۱	۰/۴	۰/۵۵	۰/۴۸	۰/۸۶۷	۰/۰۱	۰/۵۵
اندازه ذرات کربنات کلسیم		۰/۱۹	۰/۱۶	۰/۹۳	۰/۰۳	۰/۶۷۷	۰/۱۳	۰/۲۳
سطح کلسیم × اندازه ذرات کربنات کلسیم		۰/۶۴	۰/۴۸	۰/۵	۰/۵۷	۰/۰۷۳	۰/۱۱	۰/۴۲

حروف مشابه در هر ردیف نشان دهنده عدم وجود اختلاف معنی دار در بین میانگین ها در سطح خطای ۰/۰۵ درصد می باشد

SEM^۱: خطای استاندارد میانگین ها

جدول ۶. تأثیر سطح کلسیم و اندازه ذرات کربنات کلسیم بر غلظت کلسیم در محتویات سنگدان، ضرایب قابلیت هضم ظاهری و حقیقی کلسیم و ضریب ابقاء ظاهری کلسیم در مرغ‌های تخم‌گذار در سن ۶۸ هفته‌گی

سطح کلسیم، %	اندازه ذرات	غلظت کلسیم در محتویات سنگدان (میلی گرم بر گرم ماده خشک)	قابلیت هضم ظاهری ایلئومی	قابلیت هضم حقیقی ایلئومی	ابقا ظاهری کلسیم
۳/۲۷	ریز	۱۷۶	۰/۴۹۳	۰/۴۹۴	۰/۵۶۴ ^b
۳/۲۷	درشت	۱۷۹	۰/۵۱۳	۰/۵۱۴	۰/۴۷۸ ^b
۴/۰۹	ریز	۱۱۷	۰/۴۵۷	۰/۴۵۸	۰/۵۱۵ ^b
۴/۰۹	درشت	۱۰۳	۰/۶۴۲	۰/۶۴۴	۰/۷۵۱ ^a
۴/۹	ریز	۱۵۳	۰/۴۹۴	۰/۴۹۵	۰/۷۱۲ ^a
۴/۹	درشت	۱۵۳	۰/۶۹۷	۰/۶۹۸	۰/۷۸۳ ^a
SEM ¹		۲۲	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۰۴۲
اثرات اصلی					
سطح کلسیم، %					
۳/۲۷		۱۷۷ ^a	۰/۵۰۳	۰/۵۰۴	۰/۵۲۱ ^c
۴/۰۹		۱۰۹ ^b	۰/۵۵	۰/۵۵۰	۰/۶۳۳ ^b
۴/۹		۱۵۳ ^a	۰/۵۹۵	۰/۵۹۶	۰/۷۴۸ ^a
SEM		۱۶	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۳
اندازه ذرات کربنات کلسیم					
	ریز	۱۴۹	۰/۴۸۱	۰/۴۸۲ ^b	۰/۵۹۷ ^b
	درشت	۱۴۵	۰/۶۱۷	۰/۶۱۹ ^a	۰/۶۷۱ ^a
SEM		۱۳	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۲۴
سطح احتمال، $\geq P$					
سطح کلسیم					
		۰/۰۰۲	۰/۲۰۳	۰/۲	۰/۰۰۱
اندازه ذرات کربنات کلسیم					
		۰/۷۵	۰/۰۰۳	۰/۰۰۳	۰/۰۰۶۸
سطح کلسیم × اندازه ذرات کربنات					
		۰/۸۶	۰/۱۵۶	۰/۱۵	۰/۰۰۱

حروف مشابه در هر ردیف نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار در بین میانگین‌ها در سطح خطای ۰/۰۵ درصد می‌باشد
SEM¹: خطای استاندارد میانگین‌ها

بحث

در این پژوهش، با کاهش اندازه ذرات کربنات کلسیم، میزان حلالیت آن افزایش یافت. این نتیجه با یافته‌های پژوهش‌های پیشین از جمله مطالعات Zhang و Coon (۱۹۹۷a) و Anwar و همکاران، (۲۰۱۶) همخوانی دارد. دلیل احتمالی این افزایش حلالیت، سطح تماس بیشتر اسید کلریدریک با ذرات ریزتر کربنات کلسیم در مقایسه با ذرات درشت است (Guinotte و

همکاران، ۱۹۹۱).

در این آزمایش، تغییر سطح کلسیم جیره (۳/۲۷، ۴/۰۹ و ۴/۹ درصد) تأثیر معنی‌داری بر وزن تخم‌مرغ، درصد تولید، ضریب تبدیل غذایی و توده تخم‌مرغ نداشت. این نتیجه با یافته‌های بسیاری از مطالعات پیشین همخوانی دارد، از جمله پژوهش‌های Safaa و همکاران (۲۰۰۸)، De witt و همکاران (۲۰۰۹)،

افزایش نشان دادند. بیشترین درصد کلسیم پوسته و ضخامت پوسته در سطح ۴/۹ درصد کلسیم مشاهده شد. تغییر اندازه ذرات از ریز به درشت تأثیر معنی داری بر ضخامت پوسته و درصد کلسیم پوسته نداشت که با نتایج مطالعات Safaa و همکاران (۲۰۰۸)، Olgun و همکاران (۲۰۱۳) و An و همکاران (۲۰۱۶) مطابقت دارد. ذرات درشت کربنات کلسیم به طور معنی داری وزن نسبی پوسته بالاتری نسبت به ذرات ریز داشتند که Cufadar و همکاران (۲۰۱۱) نیز نتایج مشابهی را گزارش کردند. Zhang و Coon (۱۹۹۷a) اظهار داشتند که اندازه ذرات کلسیم باید بیش از ۱ میلی متر باشد تا در سنگدان برای مدت بیشتری باقی بمانند، این امر باعث می شود که منبع کلسیم بیشتر در معرض اسید هیدروکلریک قرار گیرد و پرنده در طول شب به کلسیم دسترسی داشته باشد، در نتیجه، پرنده می تواند یون های کلسیم بیشتری را برای فرایند کلسیمی شدن پوسته تخم مرغ استفاده کند که در نهایت موجب بهبود کیفیت پوسته تخم مرغ می شود (Scott و همکاران، ۱۹۷۱). در این پژوهش، اتلاف داخلی کلسیم ۴۵۳ میلی گرم بر کیلو گرم ماده خشک مصرفی برآورد گردید. Diana و همکاران (۲۰۲۱) اتلاف داخلی کلسیم در جیره برپایه ذرت را در سنین ۴۰، ۵۰ و ۷۰ هفتگی در مرغ های تخم گذار به ترتیب ۷۹۰، ۸۶۰ و ۹۳۰ میلی گرم بر کیلو گرم ماده خشک مصرفی گزارش کردند. David و همکاران (۲۰۲۱) به دلیل نوسانات شدید در اتلاف داخلی کلسیم (بین ۶۲۰ تا ۲۶۲۵۰ میلی گرم در کیلو گرم ماده خشک مصرفی) نتوانستند مقادیر حقیقی قابلیت هضم را در مرغ های تخم گذار محاسبه کنند، آنها اظهار داشتند که برخی از مرغ های تخم گذار دریافت کننده جیره غذایی بدون کلسیم به منظور تأمین نیاز کلسیم برای تشکیل پوسته تخم مرغ، تخم مرغ های خود را مصرف کردند، این رفتار منجر به حضور پوسته های تخم مرغ در محتویات ایلنومی شده است.

قابلیت هضم کلسیم در مرغ های تخم گذار تحت تأثیر عوامل مختلفی قرار دارد. از جمله این عوامل می توان به منبع کلسیم، سطح کلسیم و اندازه ذرات اشاره کرد. در مطالعات مختلف بر مرغ های تخم گذار، ضرایب متفاوتی برای قابلیت هضم کلسیم

Pelicia و همکاران (۲۰۰۹)، Cufadar و همکاران (۲۰۱۱)، Pastore و همکاران (۲۰۱۲)، An و همکاران (۲۰۱۶)، Kakhki و همکاران (۲۰۱۹) و Salajegheh و همکاران (۲۰۲۰). همچنین، Świątkiewicz و همکاران (۲۰۱۵) در مطالعه ای روی سه سطح کلسیم ۳/۲، ۳/۷ و ۴/۲ درصد در جیره مرغ های تخم گذار، تغییری در عملکرد مشاهده نکردند و سطح ۳/۲ درصد کلسیم را کافی دانستند. محمد عبد عون جواد و همکاران (۲۰۲۳) با بررسی سه اندازه ذرات ریز (۵۰۰ GMD)، متوسط (۵۰۰ تا ۲۰۰۰ GMD) و درشت (۲۰۰۰ تا ۴۰۰۰ GMD) تأثیر معنی داری بر درصد تولید تخم مرغ مشاهده نکردند. همچنین، De Witt و همکاران (۲۰۰۹) نیز تأثیر معنی داری از تغییر اندازه ذرات کربنات کلسیم (زیر ۰/۱، ۰/۱ تا ۲-۳/۸ میلی متر) بر درصد تولید گزارش نکردند، که با نتایج این پژوهش همخوانی دارد.

در این مطالعه، مرغ های دریافت کننده جیره حاوی ذرات ریز (۴۰۶ GMD میکرومتر)، وزن تخم مرغ بیشتری نسبت به گروه تغذیه شده با ذرات درشت (۲۷۶۶ GMD میکرومتر)، داشتند. Lichovnikova و همکاران (۲۰۰۷) نیز مشاهده کردند که با افزایش نسبت ذرات درشت در جیره، وزن تخم مرغ کاهش یافت. Diana و همکاران (۲۰۲۱) با مشاهده ذرات درشت کربنات کلسیم در محتویات ایلنومی و فضولات، بیان کردند که احتمالاً این ذرات درشت به مدت محدودی در سنگدان باقی می ماند و پس از گذشت زمانی از سنگدان خارج می شوند.

شاخص های کیفیت پوسته تخم مرغ مانند وزن زرده، وزن سفیده (آلبومین)، وزن نسبی پوسته، وزن مخصوص و واحد هاو تحت تأثیر سطح کلسیم، اندازه ذرات کربنات کلسیم و اثرات متقابل آنها قرار نگرفتند. این نتیجه با یافته های مطالعات گذشته (Safaa و همکاران، ۲۰۰۸؛ De witt و همکاران، ۲۰۰۹؛ Pelicia و همکاران، ۲۰۰۹؛ Cufadar و همکاران، ۲۰۱۱) همخوانی دارد. اثر سطح کلسیم بر درصد کلسیم پوسته و ضخامت پوسته معنی دار بود که با افزایش سطح کلسیم از ۳/۲۷ به ۴/۰۹ درصد، هر دو پارامتر کاهش یافتند، اما از ۴/۰۹ به ۴/۹ درصد

کاهش حلالیت ذرات درشت در شرایط آزمایشگاهی ارتباط دارد. طبق نظر Zhang و Coon (۱۹۹۷a)، کربنات کلسیمی که در شرایط آزمایشگاهی حلالیت کمتری داشته باشد، در شرایط درون تنی قابلیت هضم بالاتری خواهد داشت با این حال، برخی مطالعات نتایج متفاوتی را گزارش کرده‌اند. به عنوان مثال، Diana و همکاران (۲۰۲۱) در مطالعه‌ای روی مرغ‌های تخم‌گذار در سنین ۴۰، ۵۰ و ۷۰ هفتگی، با استفاده از دی کلسیم فسفات و کربنات کلسیم (ریز با GMD ۵۵۸ و درشت با GMD ۱۹۹۸)، دریافتند که ضرایب قابلیت هضم ظاهری و حقیقی ایلئومی کلسیم در اندازه ذرات ریز کربنات کلسیم بالاتر از ذرات درشت بود. همچنین، Bradbury و همکاران (۲۰۱۶) در آزمایشی روی جوجه‌های گوشتی با استفاده از دو اندازه ذرات کربنات کلسیم (ریز با GMD زیر ۵۰۰ و درشت با GMD بالای ۵۰۰)، گزارش کردند که با افزایش اندازه ذرات کربنات کلسیم، قابلیت هضم ظاهری ایلئومی کاهش یافت. Diana و همکاران (۲۰۲۱) این تفاوت در نتایج را این گونه توضیح دادند که ذرات درشت تنها به مدت محدودی در سنگدان باقی می‌مانند و سپس از آن خارج می‌شوند، آنها این نتیجه‌گیری را بر اساس مشاهده ذرات درشت کربنات کلسیم در محتویات ایلئوم و فضولات بیان کردند. از سوی دیگر، Zhang و Coon (۱۹۹۷a) اظهار داشتند، این تفاوت‌ها در نتایج را می‌توان به اختلاف در حلالیت کربنات کلسیم در شرایط آزمایشگاهی و درون تنی نسبت داد.

در این مطالعه، تغییرات سطح کلسیم بر قابلیت هضم ظاهری و حقیقی ایلئومی نتایج معنی‌داری را نشان نداد. موافق با نتایج مطالعه ما، Diana و همکاران (۲۰۲۲) در پژوهشی در مرغ‌های تخم‌گذار با استفاده از سه سطح ۱، ۲ و ۳ درصد کلسیم جیره (با منابع دی کلسیم فسفات و کربنات کلسیم) دریافتند که سطح کلسیم تأثیر معنی‌داری بر ضریب قابلیت هضم کلسیم جیره نداشت. Paiva و همکاران (۲۰۱۶) نیز در مطالعه خود روی جوجه‌های گوشتی با سطوح ۰/۶ و ۰/۹ درصد کلسیم، تأثیر معنی‌داری بر قابلیت هضم ظاهری ایلئومی کلسیم مشاهده نکردند. Kim و همکاران (۲۰۱۸) در بررسی اثر سطوح مختلف کلسیم

گزارش شده است. به عنوان مثال، David و همکاران (۲۰۲۱) این ضریب را بین ۰/۶۲ تا ۰/۷۰ و Diana و همکاران (۲۰۲۱) آن را بین ۰/۴۸ تا ۰/۸۹ گزارش کردند. این نتایج، یافته‌های مطالعه حاضر را تأیید می‌کنند. لازم به ذکر است که به دلیل محدودیت در مقالات مرتبط با ضرایب قابلیت هضم منابع کلسیم با استفاده از جیره‌های نیمه خالص و جیره عاری از منبع کلسیم در مرغ‌های تخم‌گذار، در این پژوهش بیشتر از مطالعات انجام شده روی جوجه‌های گوشتی و مقالات مرتبط با قابلیت هضم کلسیم جیره در مرغ‌های تخم‌گذار استفاده شده است.

در این مطالعه، مشاهده شد که ذرات درشت کربنات کلسیم نسبت به ذرات ریز، قابلیت هضم ظاهری و حقیقی ایلئومی بیشتری داشتند. این یافته با نتایج پژوهش Jafari Arvari و همکاران (۲۰۲۲) همخوانی دارد، آنها در مقایسه‌ای بین جوجه‌های گوشتی و پالت‌های تخم‌گذار در سن ۱۶ تا ۲۰ روزگی، با استفاده از دو اندازه ذرات کربنات کلسیم (ریز با GMD زیر ۵۰۰ و درشت با GMD ۱۰۰۰ تا ۲۰۰۰)، دریافتند که با افزایش اندازه ذرات، قابلیت هضم ظاهری ایلئومی و حقیقی کلسیم افزایش می‌یابد، در پژوهشی دیگر، Jafari Arvari و همکاران (۲۰۲۴) گزارش کردند در جوجه‌های گوشتی، ضریب قابلیت هضم ظاهری ایلئومی با افزایش اندازه ذرات از ۰/۴۶۳ به ۰/۵۱۶ افزایش یافت. همچنین، Li و همکاران (۲۰۲۱) در مطالعه‌ای روی جوجه‌های گوشتی نشان دادند که افزایش اندازه ذرات کربنات کلسیم از GMD ۱۵۱ به ۸۰۰، منجر به افزایش قابلیت هضم حقیقی ایلئومی استاندارد شده از ۳۸/۰۹ به ۴۹/۱۸ درصد می‌شود. Anwar و همکاران (۲۰۱۶a) نیز در پژوهشی روی جوجه‌های گوشتی، مشاهده کردند که با افزایش اندازه ذرات کربنات کلسیم و صدف دریایی (ریز با GMD زیر ۵۰۰ به درشت با GMD ۱۰۰۰ تا ۲۰۰۰)، قابلیت هضم ظاهری و حقیقی ایلئومی افزایش می‌یابد. این افزایش قابلیت هضم با افزایش اندازه ذرات، احتمالاً به دلیل ماندگاری طولانی‌تر ذرات درشت در سنگدان نسبت به ذرات ریز است (Davin و همکاران، ۲۰۲۰). همچنین، Anwar و همکاران (۲۰۱۶a) بیان کردند که این افزایش قابلیت هضم با

بالا برای جذب استخوان و تشکیل پوسته تخم مرغ، به کلسیم بیشتری نسبت به سایر پرندگان نیاز دارند (Etches, ۱۹۸۷). علاوه بر این، مرغ‌های تخم‌گذار پرندگان بالغ با گوارش و عملکرد کامل هستند، درحالی‌که جوجه‌های گوشتی پرندگان جوان با سرعت رشد بالا محسوب می‌شوند.

Zhang و Coon (۱۹۹۷a) در پژوهشی روی مرغ‌های تخم‌گذار با استفاده از کربنات کلسیم در سه سطح مختلف (۱/۹۵، ۳/۷۲ و ۵/۳۲ درصد) دریافتند که در سطح ۵/۳۲ درصد، محتوای کلسیم سنگدان کمتر از سطح ۳/۷۲ درصد بود. این یافته با نتایج مطالعه ما که نشان داد سطح ۴/۰۹ و ۴/۹ درصد غلظت کلسیم در محتویات سنگدان پایین‌تر از سطح ۳/۲۷ درصد هستند، مطابقت دارد. با افزایش اندازه ذرات کربنات کلسیم، غلظت کلسیم در سنگدان افزایش می‌یابد (Scott و همکاران، ۱۹۷۱؛ Rao و Roland، ۱۹۸۹). David و همکاران (۲۰۲۱) در مطالعه‌ای روی مرغ‌های تخم‌گذار ۳۸ هفته‌ای، مقدار کلسیم محتویات سنگدان را برای کربنات کلسیم با اندازه ذرات ریز (۴۶۲ GMD) ۷۴ (گرم بر کیلوگرم) و برای اندازه ذرات درشت (۱۳۰۱ GMD) ۲۲۴ (گرم بر کیلوگرم) گزارش کردند. با این حال، در مطالعه حاضر اثر معنی‌داری برای میزان کلسیم در محتویات سنگدان با افزایش اندازه ذرات کربنات کلسیم مشاهده نشد. Zhang و Coon (۱۹۹۷a) دریافتند که با آزمایش سه سطح مختلف (۱/۹۵، ۳/۷۲ و ۵/۳۲ درصد)، بالاترین مقدار کلسیم در سنگدان با سایز ذرات مشابه، برای منبع اول کربنات کلسیم در سطح ۳/۷۲ درصد بود، درحالی‌که در منبع کربنات کلسیم دوم، بالاترین مقدار کلسیم در سطح ۵/۳۲ درصد مشاهده شد. این تفاوت در نتایج نشان می‌دهد که هر سه عامل منبع کلسیم، سطح کلسیم و اندازه ذرات می‌توانند بر قابلیت هضم کلسیم و محتوای کلسیم سنگدان تأثیرگذار باشند و تغییر در هر یک از این عوامل می‌تواند نتایج متفاوتی را به همراه داشته باشد.

در مطالعه حاضر، نتایج مربوط به کلسیم محتویات سنگدان، کلسیم پوسته تخم مرغ و ضخامت پوسته تخم مرغ در اثر اصلی سطح کلسیم با یکدیگر ارتباط داشتند. یافته‌های این پژوهش نشان

(۰/۶، ۰/۸ و ۱ درصد) و اندازه ذرات کربنات کلسیم در جوجه‌های گوشتی، تغییر معنی‌داری در قابلیت هضم ظاهری ایلئومی با تغییر سطح کلسیم گزارش نکردند. Zhang و Adeola (۲۰۱۸) با مطالعه‌ای که بر سطوح مختلف کلسیم جیره (۳/۳، ۴/۳ و ۵/۳ گرم در کیلوگرم) بر جوجه‌های گوشتی داشتند، تفاوت معنی‌داری بر قابلیت هضم ایلئومی کلسیم با تغییر سطوح کلسیم جیره مشاهده نکردند. پرندگان دریافت‌کننده جیره‌های حاوی سطوح بالای کلسیم، معمولاً نرخ جذب کلسیم کمتری دارند (Diana و همکاران، ۲۰۲۱)، این کاهش در جذب، به اشباع پروتئین‌های حمل‌کننده کلسیم مربوط می‌شود (Maiorka و همکاران، ۲۰۰۸)، همچنین، افزایش pH در دستگاه گوارش ناشی از سطوح بالای کلسیم، باعث کاهش تشکیل کلسیم فسفات نامحلول می‌گردد، زیرا pH بالا موجب خنثی‌سازی محیط دستگاه گوارش می‌شود (Aguda و همکاران، ۲۰۱۵).

اثر متقابل سطح کلسیم و اندازه ذرات کربنات کلسیم بر ابقای ظاهری کلسیم، نتایج معنی‌داری مشاهده شد. بیشترین میزان ابقا در سطح ۴/۹ درصد با اندازه ذرات درشت و کمترین آن در سطح ۳/۲۷ درصد با اندازه ذرات درشت بود. Diana و همکاران (۲۰۲۲) در مطالعه‌ای روی مرغ‌های تخم‌گذار با سه سطح ۱، ۲ و ۳ درصد کلسیم جیره و دو اندازه ذرات کربنات کلسیم (ریز با ۴۸۰ GMD و درشت با ۱۹۷۸ GMD) دریافتند که بالاترین مقدار ابقای ظاهری کلسیم جیره مربوط به سطح ۳ درصد با اندازه ذرات ریز بود، هرچند ضریب قابلیت هضم کلسیم جیره معنی‌دار نبود. Araujo و همکاران (۲۰۱۱) در پژوهشی روی مرغ‌های تخم‌گذار با سه سطح ۳/۹۲، ۴/۰۲ و ۴/۱۲ درصد کلسیم جیره و دو اندازه ذرات ۰/۶ و ۱ میلی‌متر کربنات کلسیم، تأثیر معنی‌داری از سطح و اندازه ذرات کربنات کلسیم بر ابقای ظاهری کلسیم جیره مشاهده نکردند.

هنگام مقایسه قابلیت هضم مواد معدنی در انواع مختلف پرندگان (مانند جوجه‌های گوشتی و مرغ‌های تخم‌گذار)، باید از غلظت‌های کلسیم توصیه شده در کاتالوگ استفاده کرد (David و همکاران، ۲۰۲۲). مرغ‌های تخم‌گذار به دلیل نیازهای متابولیکی

- doi:10.5713/ajas.15.0655.
- Anwar, M. N., Ravindran, V., Morel, P. C. H., Ravindran, G., & Cowieson, A. J. (2015). Measurement of true ileal calcium digestibility in meat and bone meal for broiler chickens. *Animal Feed Science and Technology*, 206, 100–107. doi:10.1016/j.anifeedsci.2015.05.018.
- Anwar, M. N., Ravindran, V., Morel, P. C. H., Ravindran, G., & Cowieson, A. J. (2016a). Effect of limestone particle size and calcium to non-phosphate phosphorus ratio on true ileal calcium digestibility of limestone for broiler chickens. *British Poultry Science*, 57(6), 707–713. doi:10.1080/00071668.2016.1196341.
- Anwar, M. N., Ravindran, V., Morel, P. C. H., Ravindran, G., & Cowieson, A. J. (2016b). Apparent ileal digestibility of calcium in limestone for broiler chickens. *Animal Feed Science and Technology*, 213, 142–147. doi:10.1016/j.anifeedsci.2016.01.014.
- Anwar, M. N., Ravindran, V., Morel, P. C. H., Ravindran, G., & Cowieson, A. J. (2016c). 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. doi:10.1016/j.anifeedsci.2016.12.002.
- Anwar, M. N., Ravindran, V., Morel, P. C. H., Ravindran, G., & Cowieson, A. J. (2018). Measurement of the true ileal calcium digestibility of some feed ingredients for broiler chickens. *Animal Feed Science and Technology*, 237, 118 – 128. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2018.01.010.
- AOAC. (2005). Official Methods of Analysis, 18th ed.; Association of Official Analytical Chemists: Washington, DC, USA. doi:10.1002/jps.2600650148.
- ASAE. (1995). Standard S319.2: Method of determining and expressing fineness of feed material by sieving. Pages 461-462 in Agriculture Engineers Yearbook of Standards. *American Society of Agricultural Engineers*.
- Balloun, S.L., & Marion, W.W. (1962). Relative efficacy of calcium lactate and calcium carbonate in promoting sound egg shells. *Poultry Science*, 41(6), 1652-1657.
- Bar, A., Razaphkovsky, V., & Vax, E. (2002). Re-evaluation of calcium and phosphorus requirements in aged laying hens. *British Poultry Science*, 43(2), 261-269. doi:10.1080/00071660120121481.
- داد که افزایش سطح کلسیم جیره غذایی از ۳/۲۷ به ۴/۰۹ درصد، موجب کاهش کلسیم محتویات سنگدان، کلسیم پوسته تخم مرغ و ضخامت پوسته تخم مرغ می شود، اما با افزایش بیشتر سطح کلسیم به ۴/۹ درصد، ضخامت پوسته بهبود یافته و کلسیم پوسته و کلسیم محتویات سنگدان نیز افزایش می یابد. این تغییرات احتمالاً ناشی از اثر متقابل کلسیم موجود در جیره و میزان جذب و استفاده آن در فرآیند تشکیل پوسته می باشد.
- نتایج این آزمایش نشان داد که با افزایش اندازه ذرات کربنات کلسیم، قابلیت هضم کلسیم در مرغ های تخم گذار افزایش پیدا می کند، البته به دلیل اینکه، فقط دو اندازه ذرات (۴۰۶ و ۲۷۶۶ میکرومتر) در این آزمایش مورد بررسی قرار گرفته، لازم است که تحقیقات بیشتر با دامنه وسیع تری از اندازه های مختلف کربنات کلسیم در مرغ های تخم گذار انجام شود، به ویژه اینکه در اندازه درشت (۲۷۶۶ میکرومتر)، وزن تخم مرغ کاهش یافت. نکته قابل توجه در نتایج این آزمایش، عدم تاثیر گذاری سطح کلسیم بر ضرایب قابلیت هضم کلسیم و عملکرد مرغ های تخم گذار بود، و با افزایش سطح، ضخامت پوسته افزایش یافت که قابل انتظار بود، لذا چنانچه در صنعت مرغ های تخم گذار، ضخامت پوسته تخم مرغ مطلوب با ۸۰ درصد نیاز سویه حاصل می شود، می توان سطح کلسیم را در جیره های تجاری کاهش داد.
- ### منابع
- عبدعون جواد، م. مرادی، س. و عبدالحی، م. (۲۰۲۳). تاثیر اندازه ذرات کربنات کلسیم و آنزیم فیتاز بر عملکرد، کیفیت تخم مرغ و قابلیت هضم ظاهری کلسیم در مرغان تخمگذار تجاری. علوم دامی / ایران، ۵۴ (۴)، ۴۱۷-۴۰۳. doi:10.22059/ijas.2023.351169.653919
- Aguda, A.Y., Sekoni, A.A. and Omege, J.J. (2015) Requirement of Calcium and Available Phosphorus for Laying Japanese Quail Birds (*Coturnix coturnix japonica*) in Nigeria. *Journal of Animal and Poultry Sciences*, 4, 31-38.
- An, S. H., Kim, D. W., & An, B. K. (2016). Effects of dietary calcium levels on productive performance, eggshell quality and overall calcium status in aged laying hens. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 29(10), 1477–1482.

- Bello, A., & Korver, D. R. (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. doi:10.3382/ps/pez220.
- Bradbury, E. J., Wilkinson, S. J., Cronin, G. M., Walk, C. L., & Cowieson, A. J. (2016). Effects of phytase, calcium source, calcium concentration and particle size on broiler performance, nutrient digestibility and skeletal integrity. *Animal Production Science*, 58(2), 271-283. doi:10.1071/AN16175.
- Cufadar, Y., Olgun, O., & Yildiz, A. O. (2011). The effect of dietary calcium concentration and particle size on performance, eggshell quality, bone mechanical properties and tibia mineral contents in molted laying hens. *British Poultry Science*, 52(6), 761-768. doi: 10.1080/00071668.2011.641502.
- David, L. S., Abdollahi, M. R., Ravindran, G., Walk, C. L., & Ravindran, V. (2019). Studies on the measurement of ileal calcium digestibility of calcium sources in broiler chickens. *Poultry Science*, 98(12), 5582-5589. doi:10.3382/ps/pez314.
- David, L. S., Abdollahi, M. R., Bedford, M. R., & Ravindran, V. (2021). Comparison of the apparent ileal calcium digestibility of limestone in broilers and layers. *British Poultry Science*, 62(6), 852-857. doi: 10.1080/00071668.2021.1943313.
- David, L. S., Abdollahi, M. R., Bedford, M. R., & Ravindran, V. (2022). Requirement of digestible calcium at different dietary concentrations of digestible phosphorus for broiler chickens. 2. Broiler growers (d 11 to 24 post-hatch). *Poultry Science*, 101, 102135. doi: 10.1016/j.psj.2022.102135.
- Araujo, J. A. D., Silva, J. H. V. D., Costa, F. G. P., Sousa, J. M. B. D., Givisiez, P. E. N., & Sakomura, N. K. (2011). Effect of the levels of calcium and particle size of limestone on laying hens. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 40, 997-1005. doi:10.1590/s1516-35982011000500009.
- De Witt, F. H., Kuleile, N. P., van der Merwe, H. J., & Fair, M. D. (2009). Effect of limestone particle size on egg production and eggshell quality of hens during late production. *South African Journal of Animal Science*, 39(1), 37-40. doi: 10.4314/sajas.v39i1.61171.
- Diana, T. F., Calderano, A. A., TAVERNARI, F. D. C., Rostagno, H. S., TEIXEIRA, A. D. O., & Albino, L. F. T. (2021). Age and calcium sources in laying hen feed affect calcium digestibility.
- Diana, T. F., Calderano, A. A., de Castro Tavernari, F., Rostagno, H. S., de Oliveira Teixeira, A., & Albino, L. F. T. (2021). Age and calcium sources in laying hen feed affect calcium digestibility. *Open Journal of Animal Sciences*, 11(3), 501-513. doi:10.4236/ojas.2021.113034.
- Diana, T. F., Calderano, A. A., Rostagno, H. S., Marques, M. R. D. L., Tavernari, F. D. C., Veroneze, R., & Albino, L. F. T. (2022). Apparent calcium retention and digestibility coefficients of limestone with different particle sizes in laying hens. *Scientia Agricola*, 80, e20210258. doi:10.1590/1678-992X-2021-0258.
- Englmaierová, M., Skřivan, M., Skřivanová, E., & Čermák, L. (2017). Limestone particle size and *Aspergillus niger* phytase in the diet of older hens. *Italian Journal of Animal Science*, 16(4), 608-615. doi:10.1080/1828051X.2017.1309258.
- Etches, R. J. (1987). Calcium logistics in the laying hen. *The Journal of nutrition*, 117(3), 619-628. doi:10.1093/jn/117.3.619.
- González-Vega, J. C., Walk, C. L., & Stein, H. H. (2015). Effect of phytate, microbial phytase, fiber, and soybean oil on calculated values for apparent and standardized total tract digestibility of calcium and apparent total tract digestibility of phosphorus in fish meal fed to growing pigs. *Journal of Animal Science*, 93(10), 4808-4818. doi: 10.2527/jas.2015-8992.
- Guinotte, F., Nys, Y., & de Monredon, F. (1991). The effect of particle size and origin of calcium carbonate on performance and ossification characteristics in broiler chickens. *Poultry Science*, 70(11), 1908-1920. doi: 10.3382/ps.0701908.
- Hy-Line. (2018). Management Guide: Brown commercial layers Australia. [https://www.hyline.com/filesimages/Hy-Line-Products/Hy-Line-Product PDFs/ Brown /BRN%20COM%20AUS .pdf](https://www.hyline.com/filesimages/Hy-Line-Products/Hy-Line-Product%20PDFs/Brown/BRN%20COM%20AUS.pdf).
- ISA. (2014). *Management Guide: Alternative Production Systems*. Boxmeer, The Netherlands: A Hendrix Genetics Company.
- Jafari Arvari, A. R., Mirzaie Goudarzi, S. M., & Abdollahi, M. R. (2022). Determination of apparent and true ileal digestibility of calcium in limestone with different particle sizes in broilers

- and pullets. *Journal of Livestock Science & Technologies (JLST)*, 10(2).
- Jafari Arvari, A. R., Mirzaie Goudarzi, S., Abdollahi, M. R., & Sadeghi, M. (2024). A comparative study on the effect of limestone particle size on performance, ileal digestibility of calcium and phosphorus, and bone characteristics in broilers and pullets. *British Poultry Science*, 65(1), 52-61- abstract. doi:10.1080/00071668.2023.2272966.
- Jiménez-Moreno, E., González-Alvarado, J., de Coca-Sinova, A., Lázaro, R., & Mateos, G. (2009). Effects of source of fibre on the development and pH of the gastrointestinal tract of broilers. *Animal Feed Science and Technology*, 154(1-2), 93-101. doi:10.1016/j.anifeedsci.2009.06.020.
- Kakhki, R. A. M., Heuthorst, T., Mills, A., Neijat, M., & Kiarie, E. (2019). Interactive effects of calcium and top-dressed 25-hydroxy vitamin on egg production, egg shell quality, and bones attributes in aged Lohmann LSL-lite layers. *Poultry Science*, 98(3), 1254-1262. doi: 10.3382/ps/pey446.
- Keshavarz, K. (2003). A comparison between cholecalciferol and 25-OH-cholecalciferol on performance and eggshell quality of hens fed different levels of calcium and phosphorus. *Poultry Science*, 82(8), 1415-1422. doi:10.1093/ps/82.9.1415.
- Kim, S. W., 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. doi:10.3382/ps/pey304.
- Koreleski, J., & Świątkiewicz, S. (2004). Calcium from limestone meal and grit in laying hen diets-effect on performance, eggshell and bone. *Journal of Animal and Feed Sciences*, 13(4), 635-645. doi:10.22358/jafs/69555/2004.
- Li, W., Angel, R., Plumstead, P. W., & 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. doi:10.1016/j.psj.2020.10.075.
- Lichovnikova, M. (2007). The effect of dietary calcium source, concentration and particle size on calcium retention, eggshell quality and overall calcium requirement in laying hens. *British Poultry Science*, 48(1), 71-75. doi:10.1080/00071660601148203.
- Liu, N., Liu, G. H., Li, F. D., Sands, J. S., Zhang, S., Zheng, A. J., & Ru, Y. J. (2007). Efficacy of phytases on egg production and nutrient digestibility in layers fed reduced phosphorus diets. *Poultry science*, 86(11), 2337-2342. doi:10.3382/ps.2007-00079.
- Manangi, M. K., Maharjan, P., & Coon, C. N. (2018). Calcium particle size effects on plasma, excreta, and urinary Ca and P changes in broiler breeder hens. *Poultry science*, 97(8), 2798-2806. doi: 10.3382/ps/pey043.
- Moreng, R. E., & Avens, J. S. (1985). *Poultry science and production*. Reston Publishing Company, Inc.
- Olgun, O., Yildiz, A. O., & Cufadar, Y. (2013). Effects of limestone particle size and dietary available Phosphorus (AP) contents on performance, eggshell quality and mineral excretion in laying hens. *Revue De Medecine Veterinaire*, 164(8), 464-470. doi:10.1016/j.psj.2021.101686.
- Paiva, D. M., Walk, C. L., & McElroy, A. P. (2013). Influence of dietary calcium level, calcium source, and phytase on bird performance and mineral digestibility during a natural necrotic enteritis episode. *Poultry Science*, 92(12), 3125-3133. doi:10.3382/ps.2013-03298.
- Pastore, S. M., Gomes, P. C., Rostagno, H. S., Albino, L. F. T., Calderano, A. A., Vellasco, C. R., Viana, G. D., & de Almeida, R. L. (2012). Calcium levels and calcium: available phosphorus ratios in diets for white egg layers from 42 to 58 weeks of age. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 41(10), 2424-2432. doi:10.1590/S1516-35982012001200007.
- Pavloski, Z., Vitorovic, D., Lukic, M., & Spasojevic, I. (2003). Improving eggshell quality by replacement of pulverized limestone by granular limestone in the hen diet. *Acta Veterinaria*, 53(1-2), 35-40. doi:10.2298/avb0301035p.
- 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. *Revista Brasileira de Ciência Avícola*, 11(1), 39-49. doi:10.1590/S1516-635X2009000100007.
- Rao, K. S., & Roland, Sr., D. A. (1989). Influence of dietary calcium level and particle size of

- calcium source on in vivo calcium solubilization by commercial leghorns. *Poultry Science*, 68(11), 1499-1505. doi:10.3382/ps.0681499.
- Reddy, C.V., & Sanford, P.E. (1963). Influence of dietary calcium in laying rations on shell quality and interior quality of eggs. *Poultry Science*, 42(6), 1302-1305. doi:10.3382/ps.0471077.
- Safaa, H. M., Serrano, M. P., Valencia, D. G., Frikha, M., Jimenez-Moreno, E., & Mateos, G. G. (2008). Productive performance and egg quality of brown egg-laying hens in the late phase of production as influenced by level and source of calcium in the diet. *Poultry Science*, 87(10), 2043-2051. doi:10.3382/ps.2008-00110.
- Salajegheh, M. H., Elahi, M. Y., Salarmoini, M., & Baniasadi, M. (2020). Efficacy of feeding various calcium source and concentration on egg quality, some blood variables, and performance of aged laying hens. *Poultry Science Journal*, 8(1), 33-42. doi:10.22069/psj.2020.17306.1519.
- Scheideler, S. E. (1998). Eggshell calcium effects on egg quality and Ca digestibility in first-or third-cycle laying hens. *Journal of Applied Poultry Research*, 7(1), 69-74.
- Scott, M. L., Hull, S. J., & Mullenhoff, P. A. (1971). The calcium requirements of laying hens and effects of dietary oyster shell upon egg shell quality. *Poultry Science*, 50(4), 1055-1063. doi:10.3382/ps.0501055.
- Selle, P. H., Cowieson, A. J., & Ravindran, V. (2009). Consequences of calcium interactions with phytate and phytase for poultry and pigs. *Livestock Science*, 124(1-3), 126-141. doi:10.1016/j.livsci.2009.01.006.
- Shafey, T. M., McDonald, M. W., & Dingle, J. G. (1991). Effects of dietary calcium and available phosphorus concentration on digesta pH and on the availability of calcium, iron, magnesium and zinc from the intestinal contents of meat chickens. *British Poultry Science*, 32(1), 185-194. doi:10.1080/00071669108417339.
- 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. doi:10.1016/0377-8401(95)00916-7.
- Świątkiewicz, S., Arczewska-Włosek, A., Krawczyk, J., Puchała, M., & Józefiak, D. (2015). Effects on performance and eggshell quality of particle size of calcium sources in laying hens' diets with different Ca concentrations. *Archives Animal Breeding*, 58(2), 301-307.
- Valkonen, E., Venalainen, E., Rossow, L., & Valaja, J. (2010). Effects of calcium diet supplements on egg strength in conventional and furnished cages, and effects of 2 different nest floor materials. *Poultry Science*, 89(10), 2307-2316. doi:10.3382/ps.2010-00700.
- Zhang, B., & Coon, C. N. (1997a). The relationship of calcium intake, source, size, solubility in vitro and in vivo, and gizzard limestone retention in laying hens. *Poultry Science*, 76(12), doi:1702-1706. 10.1093/ps/76.12.1702.
- Zhang, B., & Coon, C. N. (1997b). Improved In vitro methods for determining limestone and oyster shell solubility. *Journal of Applied Poultry Research*, 6(1), 94-99. doi:10.1093/japr/6.1.94.
- Zhang, F., & Adeola, O. (2018). True ileal digestibility of calcium in limestone and dicalcium phosphate are additive in diets of broiler chickens. *Poultry science*, 97(12), 4290-4296. doi:10.3382/ps/pey300.