

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

پوریا عزیزی<sup>۱</sup> | سودابه مرادی<sup>۲</sup>✉ | محمدرضا عبداللهی<sup>۳</sup>

۱. گروه علوم دامی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. رایانامه: [poryasalas@gmail.com](mailto:poryasalas@gmail.com)

۲. نویسنده مسئول، گروه علوم دامی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. رایانامه: [s.moradi@razi.ac.ir](mailto:s.moradi@razi.ac.ir)

۳. مرکز تحقیقات تک معده ایها، دانشکده کشاورزی و محیط زیست، دانشگاه مسی، نیوزیلند. رایانامه: [m.abdollahi@massey.ac.ir](mailto:m.abdollahi@massey.ac.ir)

## 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 hens

Porya Azizi<sup>1</sup>  | Soudabeh Moradi<sup>2</sup>✉  | and Mohammad Reza Abdollahi<sup>3</sup> 

1. Department of Animal Science, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Razi University, Kermanshah, Iran. Email: [poryasalas@gmail.com](mailto:poryasalas@gmail.com)
2. Corresponding author, Department of Animal Science, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Razi University, Kermanshah, Iran. Email: [s.moradi@razi.ac.ir](mailto:s.moradi@razi.ac.ir)
3. Monogastric Research Center, School of Agriculture and Environment, Massey University, Palmerston North, 4442, New Zealand. Email: [m.abdollahi@massey.ac.ir](mailto:m.abdollahi@massey.ac.ir)

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

**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 hens**

### 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 ایلئومی کلسیم در مرغ های تخمگذار 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، ۲۷۶۶ = GMD ۴۰۶ میکرومتر) و درشت (۴/۰۹ GMD و ۴/۹ درصد کلسیم) و دو اندازه ذرات ریز (۲۷۶۶ = GMD ۴۰۶ میکرومتر) از ۵۷-۶۸ هفتهگی در مرغ های تخمگذار سویه لوهمن (LSL-LITE) تکرار و هر تیمار آزمایشی دارای ۶ تکرار و هر تیمار آزمایشی دارای ۶ تکرار شامل ۶ پرند بود. اثرات اصلی اندازه ذرات بر وزن تخم مرغ و وزن پوسته تخم مرغ معنی دار بود، بطوریکه ۴۰۶ میکرومتر)، وزن تخم مرغ بیشتری در مقایسه با اندازه درشت GMD مرغ های تغذیه شده با جیره حاوی ذرات ریز (۴۰۶ میکرومتر) و وزن نسبی پوسته با افزایش اندازه ذرات کربنات کلسیم، P ۲۷۶۶ میکرومتر) داشتند (۰/۰۵ < GMD کربنات کلسیم). (بیشترین درصد کلسیم پوسته و ضخامت پوسته مربوط به سطح ۴/۹ درصد کلسیم (۱۲۰٪ P افزایش پیدا کرد (۰/۰۵ < غلظت کلسیم در محتویات سنگدان تحت تأثیر اثر اصلی سطح کلسیم قرار گرفت، به طوری که P نیاز) بود (۰/۰۵ <). ضرایب قابلیت هضم ظاهری و حقیقی ایلئومی P کمترین مقدار آن در سطح ۴/۰۹ درصد (۱۰۰٪ نیاز) بود (۰/۰۵ <). قابلیت هضم حقیقی کلسیم در کربنات کلسیم ریز در P کلسیم با افزایش اندازه ذرات کربنات کلسیم، افزایش یافت (۰/۰۱ < 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 (نتایج این مطالعه نشان داد که P ۱۲۰ درصد نیاز با اندازه ریز و درشت بالاتر از سایر تیمارهای آزمایشی بود (۰/۰۱ < کند، هر چند که با افزایش اندازه ذرات، تأثیر منفی با افزایش اندازه ذرات کربنات کلسیم، قابلیت هضم کلسیم افزایش پیدا می بر وزن تخم مرغ مشاهده شد. سطح کلسیم مورد استفاده در جیره بر قابلیت هضم کلسیم تأثیرگذار نیست، لذا بر اساس نتایج این تحقیق، می توان کاهش سطح کلسیم به ۸۰ درصد نیاز سویه، در مرغ های تخمگذار 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 تأثیرگذاری سطح کلسیم بر ضرایب قابلیت هضم کلسیم و عملکرد مرغ های تخمگذار بود، لذا چنانچه در صنعت مرغ های تخمگذار، 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 تخمگذار

### ABSTRACT

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 tickness 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  $\mu\text{m}$ ), 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.

**Keywords:** calcium level, particle size, limestone, calcium digestibility, laying hens

#### مقدمه

کلسیم در مرغ‌های تخمگذار برای تشکیل پوسته تخم‌مرغ و کیفیت آن بسیار مهم است. نیاز روزانه تغذیه‌ای مرغ‌های ISA ۲۰۱۴؛ Hy-Line ۲۰۱۴؛ تخمگذار (در فاز تولید) به کلسیم در محدوده ۳۹ تا ۴۹ گرم در کیلوگرم است (۲۰۱۸). برخی مطالعات در مرغ‌های تخمگذار گزارش کردند که سطح کلسیم جیره تأثیری بر ضریب تبدیل غذایی، تولید تخم‌مرغ، و همکاران، Pelicia و همکاران، ۲۰۰۹؛ De witt و همکاران، ۲۰۰۸؛ Safaa و همکاران، ۲۰۰۸؛ و همکاران، Kakhsi و همکاران، ۲۰۱۶؛ An و همکاران، ۲۰۱۲؛ Pastore و همکاران، ۲۰۱۱؛ Cufadar و همکاران، ۲۰۰۹؛ و همکاران، ۲۰۲۰). مازاد کلسیم به راحتی می‌تواند کمپلکس نامحلولی با فیتات به‌ویژه در روده Salajegheh و همکاران، ۲۰۰۹) و حتی می‌تواند با فسفر رسوب کند. بعلاوه، Selle بالاتر است)، تشکیل دهد (pH کوچک که مواد هضمی سنگدان را افزایش pH غلظت‌های بالای کلسیم در جیره (هنگامی که به شکل کربنات کلسیم عرضه می‌شود) و همکاران، ۱۹۹۱)، منجر به تأثیر منفی بر عملکرد مرغ‌های تخمگذار Shafey می‌دهد که با کاهش جذب مواد مغذی می‌گردد. تحقیقات نشان می‌دهد که تغییر در اندازه ذرات کربنات کلسیم در جیره غذایی، تأثیر معنی‌داری بر عملکرد مرغ- Pastore و همکاران، ۲۰۱۱؛ Cufadar و همکاران، ۲۰۰۹؛ Pelicia و همکاران، ۲۰۰۹؛ witt و همکاران، ۲۰۱۲؛ و همکاران، ۲۰۱۶؛ An و همکاران، ۲۰۱۲؛

تعدادی از مطالعات نشان دادند که افزایش سطح کلسیم در جیره مرغ‌های تخمگذار منجر به بهبود کیفیت پوسته تخم‌مرغ (۲۰۰۳) گزارش کرد که افزایش Keshavarz، ۱۹۶۳؛ Sanford و Reddy، ۱۹۶۲؛ Marion و Balloun می‌شود (کوله‌کلسیفرول) منجر به بهبود کیفیت پوسته می‌شود، در حالی که D3 سطح کلسیم جیره تا ۵ درصد به همراه مکمل ویتامین تحقیقات دیگری نشان دادند که با افزایش سطح کلسیم جیره، بالاتر از ۳/۶ - ۳/۹ درصد، تأثیر مثبتی بر شاخص‌های کیفیت و همکاران، ۲۰۱۲). Pastore و همکاران، ۲۰۱۰؛ Valkonen و همکاران، ۲۰۰۲؛ Bar پوسته تخم‌مرغ مشاهده نشد (حلالیت کربنات کلسیم با اندازه ذرات درشت کمتر بوده و ماندگاری بیشتری در پیش‌مده و سنگدان داشته و می‌تواند کلسیم موردنیاز مرغ را در طول شب (هنگامی که پرند خوراک نمی‌خورد) تأمین کند که نهایتاً باعث کیفیت بهتر پوسته تخم‌مرغ (۲۰۰۷)، Lichovnikova، ۲۰۰۴؛ Świątkiewicz و Koreleski و همکاران، ۲۰۰۳؛ Pavloski می‌شود (در پژوهش‌های متعددی، ضرایب قابلیت هضم کلسیم در جیره‌های تجاری مرغ‌های تخمگذار مورد بررسی قرار گرفته است Korver و Bello و همکاران، ۲۰۱۷؛ Englmaierová و همکاران، ۲۰۱۱؛ Araujo و همکاران، ۲۰۰۷؛ Liu، ۲۰۱۹؛ محمد عبد اون جواد و همکاران، ۲۰۲۳)، بالین‌حال، مطالعات محدودی به ارزیابی ضرایب قابلیت هضم منابع و Diana کلسیم با استفاده از جیره‌های نیمه خالص و جیره عاری از منبع کلسیم در مرغ‌های تخمگذار پرداخته‌اند (و همکاران، ۲۰۱۹)، در حالی که بیشتر تحقیقات در این زمینه بر روی جوجه‌های گوشتی David و همکاران، ۲۰۲۱؛

و همکاران، ۲۰۱۹، David، ۲۰۱۶، ۲۰۱۸؛ ۲۰۱۶c، ۲۰۱۶b، a و همکاران، ۲۰۱۵، Anwar متمرکز شده است (و همکاران، ۲۰۲۲، ۲۰۲۴). Jafari Arvari، ۲۰۲۱؛

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 (کمتر از ۵۰۰ میکرومتر برای ذرات ریز، ۵۰۰ تا ۲۰۰۰ میکرومتر برای ذرات GMD میانگین قطر هندسی ذرات<sup>۱</sup>) 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 و همکاران (۲۰۲۱) در مرغ‌های تخمگذار نشان دادند که ابقا Diana قابلیت هضم مربوط به ذرات درشت بوده است. ظاهری کلسیم در اندازه ذرات ریز کربنات کلسیم بالاتر از ذرات درشت بود در حالی که تفاوت معنی‌داری در قابلیت هضم و همکاران (۲۰۲۲) گزارش کردند که Diana ایلنومی بین اندازه‌های مختلف ذرات مشاهده نکردند. در مطالعه‌ای دیگر، Araujo بالاترین مقدار ابقا ظاهری کلسیم جیره در مرغ‌های تخمگذار مربوط به سطح ۳ درصد با اندازه ذرات ریز بود. همکاران (۲۰۱۱) گزارش کردند که سطح و اندازه ذرات کربنات کلسیم تأثیر معنی‌داری بر ابقا کلسیم جیره مرغ‌های و همکاران (۱۹۹۸) نشان دادند که قابلیت هضم کلسیم ظاهری جیره با افزایش اندازه ذرات Scheideler تخمگذار نداشت. (۲۰۰۷) نشان داد که جیره مرغ‌های Lichovnikov در سن ۱۰۸ هفته‌گی مرغ‌های تخمگذار افزایش یافت. در مقابل، تخمگذار با نسبت مساوی ذرات ریز و درشت، ابقا کلسیم بالاتری را نسبت به جیره با نسبت بیشتر ذرات درشت نشان داد. و همکاران (۲۰۱۸) گزارش کردند در مرغ‌های مادر، با افزایش اندازه ذرات، ابقا ظاهری کلسیم معنی‌دار Manangi نبود.

و همکاران (۲۰۱۶) گزارش Anwar مطالعات انجام شده بر روی جوجه‌های گوشتی نیز نتایج متنوعی را ارائه کرده‌اند. کردند که با افزایش اندازه ذرات کربنات کلسیم و صدف دریایی، قابلیت هضم ظاهری ایلنومی، قابلیت هضم حقیقی ایلنومی، و همکاران Jafari Arvari ابقا ظاهری کلسیم و غلظت کلسیم در محتویات سنگدان در جوجه‌های گوشتی افزایش می‌یابد. (۲۰۲۲) گزارش کردند که قابلیت هضم ظاهری و حقیقی ایلنومی کلسیم در جوجه‌های گوشتی به‌طور معنی‌داری بیشتر از پولات‌های تخمگذار بود (به ترتیب ۰/۵۸ در برابر ۰/۳۲ و ۰/۶۳ در برابر ۰/۳۹) و با افزایش اندازه ذرات، قابلیت هضم و همکاران (۲۰۱۶) اثر معنی‌داری بر قابلیت هضم ظاهری Paiva، ظاهری و حقیقی ایلنومی کلسیم نیز افزایش یافت و همکاران (۲۰۱۶) نشان Bradbury ایلنومی کلسیم با تغییر سطح کلسیم در جوجه‌های گوشتی مشاهده نکردند. در مقابل، دادند که سطح پایین‌تر کلسیم، قابلیت هضم ظاهری ایلنومی کلسیم بالاتری را در جوجه‌های گوشتی نشان داد. باتوجه به تناقضات موجود در نتایج پژوهش‌های پیشین و اهمیت بهینه‌سازی جذب کلسیم در صنعت طیور، انجام مطالعات بیشتر در زمینه تأثیر اندازه ذرات و سطوح مختلف آن بر قابلیت هضم کلسیم در مرغ‌های تخمگذار ضروری به نظر می‌رسد؛ 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 تخم‌مرغ، کلسیم در محتویات سنگدان در مرغ‌های تخمگذار تجاری بود.

#### مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌منظور بررسی تأثیر سطح کلسیم و اندازه ذرات کربنات کلسیم بر عملکرد، کیفیت تخم‌مرغ، کلسیم سنگدان و تعیین ضرایب قابلیت هضم ظاهری و حقیقی کلسیم در کربنات کلسیم در مرغ‌های تخمگذار تجاری به مدت ۱۲ هفته از سن (در قالب طرح LSL-Lite ۵۷ تا ۶۸ هفته‌گی انجام شد. در این تحقیق از ۲۱۶ قطعه مرغ تخمگذار تجاری سویه لوهمن) کاملاً تصادفی و به‌صورت آزمایش فاکتوریل  $2 \times 3$  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. جیره‌های آزمایشی بصورت آردی و با استفاده از میکسر افقی، مخلوط شدند. دامنه دمای سالن در اغلب روزهای آزمایش ۲۳ – ۱۸ درجه سانتی‌گراد و برنامه نوری سالن به‌صورت 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 مرغ‌ها قرار می‌گرفت و همه مرغ‌ها آزادانه به آب آشامیدنی دسترسی داشتند. مواد خوراکی و ترکیبات شیمیایی جیره مرغ‌های تخمگذار در طول دوره آزمایش در جدول ۱ گزارش شده است. در طول ۱۲ هفته دوره آزمایش، تولید تخم‌مرغ و وزن تخم‌مرغ به‌صورت روزانه اندازه‌گیری و درصد تولید تخم‌مرغ براساس روز مرغ محاسبه گردید. مصرف خوراک روزانه هر مرغ و ضریب تبدیل غذایی محاسبه گردید. صفات مربوط به خصوصیات کیفی تخم‌مرغ در پایان آزمایش اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری خصوصیات کیفی تخم‌مرغ، کل

<sup>۱</sup> Geometric mean diameter

تخم مرغ‌های تولیدی در پایان دوره آزمایش به مدت ۲ روز جمع‌آوری و وزن نسبی زرده، وزن نسبی سفیده (آلبومین)، وزن نسبی پوسته، وزن مخصوص، ضخامت پوسته، واحد هاو اندازمگیری شدند. وزن مخصوص با استفاده از روش غوطه‌ورسازی در محلول آب‌نمک با غلظت‌های ۱/۰۶۲، ۱/۰۷۰، ۱/۰۸۲، ۱/۰۹۰ و ۱/۱۰۲ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر تعیین (۱۰۰ گرم از کربنات کلسیم با GMD، ۱۹۸۵). برای اندازه‌گیری میانگین قطر هندسی ذرات (Avens و Moreng شد) دو اندازه ذرات ریز و درشت با ۸ الک با قطر سوراخ‌های ۴/۷۵، ۲/۳۶، ۲، ۱/۱۸، ۰/۶، ۰/۴۲۵، ۰/۳، ۰/۰۷۵، ۰/۰۲۵ ASAE (۱۹۹۵). میلی‌متر الک شده و مقدار مانده بر روی هر الک توزین شد (

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 <sup>۱</sup>          | 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 + سیستئین 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           |

<sup>1</sup>Provided the following (per kilogram of diet): vitamin A (trans-retinyl acetate), 6,000 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.

Coon و Zhang اندازه‌گیری حلالیت در آزمایشگاه به‌صورت از دست‌دادن یا کاهش وزن نمونه اندازه‌گیری شد (۱۹۹۷). اسیدکلریدریک (۰/۲ نرمال، ۲۰۰ میلی‌لیتر) به مدت ۱۵ دقیقه در دمای ۴۲ درجه سانتی‌گراد در حمام آب (بن b ماری) 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 ایلنومی و ابقا کلسیم در کل دستگاه گوارش از جیره‌های نیمه خالص بر پایه ذرت و David همچنین برای تعیین اتلاف داخلی کلسیم از جیره بدون کلسیم بر پایه ذرت بر اساس روش پیشنهادی توسط

همکاران (۲۰۱۹) استفاده شد. پس از هشت ساعت گرسنگی و تخلیه دستگاه گوارش، جیره‌های آزمایشی نیمه خالص (به مدت سه روز تغذیه گردید، فضولات EMSURE، Merck KGaA، Germany (جدول ۲) حاوی دی اکسید تیتانیوم) 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 تعداد یک مرغ از هر واحد آزمایشی با میانگین وزن نزدیک به میانگین پن انتخاب و ذبح گردید و محتویات ایلئومی و سنگدان جمع‌آوری و در دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد برای مراحل بعد نگهداری شد. در پایان آزمایش، نمونه‌ای از فضولات جمع‌آوری شده هر تکرار پس از مخلوط شدن و نمونه ایلئومی هر پرندۀ نیز با استفاده از آون در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۷۲ ساعت و همکاران، ۲۰۰۹) و آسیاب شدند. کلسیم ایلئوم، فضولات، خوراک، پوسته تخم‌مرغ و Jiménez-Moreno خشک (۲۰۰۵، و برای AOAC ۹۸۱.۰۱ Method محتویات سنگدان بر اساس روش طیف سنجی جذب اتمی استفاده شد) و همکاران، Short اندازه‌گیری غلظت دی اکسید تیتانیوم در خوراک، فضولات و ایلئوم، از دستگاه اسپکتروفتومتری (۱۹۹۶) استفاده و به‌صورت درصد گزارش شد.

(۲۰۱۶) a: و همکاران، Anwar قابلیت هضم ظاهری ایلئومی کلسیم بر اساس فرمول زیر محاسبه شد (

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

از طریق فرمول زیر، اتلاف داخلی کلسیم محاسبه شد

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

قابلیت هضم حقیقی ایلئومی کلسیم به‌صورت زیر محاسبه شد:

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

قابلیت ابقا ظاهری کلسیم - محاسبه شد:

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

#### تجزیه و تحلیل آماری

تجزیه و تحلیل داده‌ها به‌صورت آزمایش فاکتوریل ۳×۲ (سه سطح کلسیم شامل ۳/۲۷، ۴/۰۹ و ۴/۹ درصد کلسیم) و دو ویرایش SAS ۹/۴ اندازه ذرات کربنات کلسیم (ریز و درشت)، با ۶ تکرار آزمایشی با استفاده از نرم افزار آماری (در سطح معنی- LSD آنالیز گردید. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (GLM) (۲۰۱۴) با رویه داری ۰/۰۵ انجام شد.

جدول ۲. مواد خوراکی و ترکیبات شیمیایی جیره‌های 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              |
| دی‌اکسید تیتانیوم                           | ۵               | ۵               | ۵              | ۵               |
| کربنات کلسیم                                | ۸۷              | ۱۰۹/۲           | ۱۳۱/۱          | ۰               |
| نمک                                         | ۲               | ۲               | ۲              | ۲               |
| مکمل ویتامینه و معدنی <sup>۱</sup>          | ۴               | ۴               | ۴              | ۴               |
| مونو سدیم فسفات                             | ۵/۷             | ۵/۹             | ۶              | ۱               |
| <b>مواد مغذی محاسبه شده (درصد)</b>          |                 |                 |                |                 |
| انرژی قابل‌متابولیسم (کیلوکالری 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) | ۰/۵  | ۰/۵  | ۰/۵  | ۰/۳۲ |
| کلسیم                       | ۳/۳۲ | ۳/۸۳ | ۵/۰۵ | ۰/۴۴ |

<sup>1</sup>Provided 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)         | ۴۰۶     | ۲۷۶۶     |
| انحراف استاندارد میانگین هندسی (µm, GSD) | ۲/۵     | ۱/۳      |
| حلالیت، %                                | ۷۵      | 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 P تخم مرغ معنی دار نبود، در حالیکه اثر اصلی اندازه ذرات کربنات کلسیم بر وزن تخم مرغ معنی دار بود (۰/۰۵ < P).  
 ۴۰۶ میکرومتر)، وزن تخم مرغ بیشتری در مقایسه با GMD بطوریکه مرغ های تغذیه شده با جیره حاوی ذرات ریز (۰/۰۵ < GMD) داشتند (۲۷۶۶ P) در مقایسه با GMD< ۰/۰۵) داشتند (۰/۰۵ < GMD) درشت کربنات کلسیم (۰/۰۵ < P).  
 اثر متقابل 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 اثر اندازه ذرات کربنات کلسیم تنها بر وزن P ضخامت پوسته بالاتری در مقایسه با سطح ۴/۰۹ درصد داشتند (۰/۰۱ < P).  
 نسبی پوسته تأثیر معنی داری داشت، به طوری که در کربنات کلسیم با ذرات درشت، مقدار آن بیشتر از ذرات ریز بود. (۰/۰۵ < P).

نتایج مرتبط با ضرایب قابلیت هضم ظاهری و حقیقی ایلنومی 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

برآورد گردید که برای محاسبه ضرایب قابلیت هضم حقیقی مورد استفاده قرار گرفت. ضرایب قابلیت هضم حقیقی ایلئومی (۴۰۶ میکرومتر) در سطوح ۳/۲۷، ۴/۰۹ و ۴/۹ درصد کلسیم به ترتیب ۰/۴۹۴، ۰/۴۹۵ و ۰/۴۹۵ بدست آمد، در حالیکه در مورد کربنات کلسیم ریز (۲۷۶۶ میکرومتر)، این ضرایب به ترتیب ۰/۴۵۸، ۰/۴۹۵ و ۰/۴۹۵ بدست آمد، در حالیکه در مورد کربنات کلسیم درشت (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 معنی‌داری بر قابلیت هضم ظاهری و حقیقی ایلئومی داشت و در اندازه ذرات درشت کربنات (هیچ اثر معنی‌داری از سطح کلسیم بر قابلیت هضم ظاهری و حقیقی ایلئومی P کلسیم بیشتر از اندازه ریز بود (۰/۰۱ < مشاهده نشد. همچنین، اثر متقابل سطح کلسیم و اندازه ذرات کربنات کلسیم بر قابلیت هضم ظاهری و حقیقی ایلئومی و کلسیم محتویات سنگدان معنی‌دار نبود. اثر اصلی اندازه ذرات کربنات کلسیم بر ضریب ابقاء ظاهری کلسیم در کل دستگاه گوارش (و در ذرات درشت بیشتر از ریز بود، هر چند که اثر سطح کلسیم بر ابقاء ظاهری، روند P معنی‌دار بود (۰/۰۱ < مشخصی را نداشت و منجر به معنی‌دار شدن اثر متقابل سطح کلسیم و اندازه ذرات کربنات کلسیم بر ابقاء ظاهری کلسیم)؛ به‌طوری‌که بیشترین میزان ابقاء در سطح ۴/۹ درصد با اندازه ذرات درشت و کمترین آن در سطح P گردید (۰/۰۱ < ۳/۲۷ درصد با اندازه ذرات درشت بود. غلظت کلسیم در محتویات سنگدان تحت تأثیر اثر اصلی سطح کلسیم قرار گرفت، P به طوری که کمترین مقدار آن در سطح ۴/۰۹ درصد بود (۰/۰۱ <).

جدول ۴. تأثیر سطح کلسیم و اندازه ذرات کربنات کلسیم بر عملکرد مرغ‌های تخم‌گذار از سن ۵۷ تا ۶۸ هفتگی

| سطح کلسیم، %                         | اندازه ذرات | وزن تخم‌مرغ (گرم)  | تولید تخم‌مرغ (%) | ضریب تبدیل غذایی <sup>۲</sup> | توده تخم‌مرغ (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 <sup>۱</sup>                     |             | 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 <sup>a</sup> | ۸۵/۳              | ۲/۱۵                          | ۵۱/۸                      |
| درشت                                 |             | ۶۰/۰۷ <sup>b</sup> | 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 نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار در بین میانگین‌ها در سطح خطای ۰/۰۵ درصد می‌باشد

<sup>۱</sup> SEM: خطای استاندارد میانگین‌ها - <sup>۲</sup> ضریب تبدیل غذایی از تقسیم خوراک مصرفی به توده تخم‌مرغ تولیدی بدست آمده است.

جدول ۵. تأثیر سطح کلسیم و اندازه ذرات کربنات کلسیم بر خصوصیات کیفی تخم‌مرغ در مرغ‌های تخم‌گذار 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 <sup>1</sup>                     |             | ۱/۲۳              | ۱/۳۸         | ۳/۱۱          | ۰/۵۲               | ۰/۰۰۴     | ۰/۸۷                   | ۱/۹۸     |
| اثرات اصلی                           |             |                   |              |               |                    |           |                        |          |
| سطح کلسیم، %                         |             |                   |              |               |                    |           |                        |          |
| ۳/۲۷                                 |             | ۱۳/۲ <sup>a</sup> | ۲۹/۱۹        | ۶۱/۴۴         | ۱۰/۳۱              | ۱/۰۹۵     | ۳۸/۷۹ <sup>b</sup>     | ۷۵/۹۵    |
| ۴/۰۹                                 |             | ۸/۷۴ <sup>b</sup> | ۲۹/۱۸        | ۶۰/۷          | ۱۰/۶۲              | ۱/۰۹۶     | ۳۸/۳۹ <sup>b</sup>     | ۷۷/۵     |
| ۴/۹                                  |             | ۱۳/۳ <sup>a</sup> | ۳۰/۳۴        | ۶۳/۰۷         | ۱۰/۱۸              | ۱/۰۹۶     | ۴۰/۴۶ <sup>a</sup>     | 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 <sup>b</sup> | ۱/۰۹۵     | ۳۸/۸۲                  | ۷۵/۹۸    |
|                                      | درشت        | ۱۲/۲              | ۲۹           | ۶۱/۶۵         | ۱۰/۷ <sup>a</sup>  | ۱/۰۹۶     | ۳۹/۶۱                  | ۷۷/۳۸    |
| SEM                                  |             | ۰/۷۱              | ۰/۷۹         | ۱/۸           | ۰/۳۷               | ۰/۰۰۲     | ۰/۵                    | ۱/۱۴     |
| سطح احتمال، $\geq P$                 |             |                   |              |               |                    |           |                        |          |
| 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<sup>1</sup>: 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 مرغ های تخم گذار در سن ۶۸ هفتگی

| 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 <sup>b</sup> |
| ۳/۲۷             | درشت        | ۱۷۹                                                     | ۰/۵۱۳                    | ۰/۵۱۴                    | ۰/۴۷۸ <sup>b</sup> |
| ۴/۰۹             | ریز         | ۱۱۷                                                     | ۰/۴۵۷                    | ۰/۴۵۸                    | ۰/۵۱۵ <sup>b</sup> |
| ۴/۰۹             | درشت        | ۱۰۳                                                     | ۰/۶۴۲                    | ۰/۶۴۴                    | ۰/۷۵۱ <sup>a</sup> |
| ۴/۹              | ریز         | ۱۵۳                                                     | ۰/۴۹۴                    | ۰/۴۹۵                    | ۰/۷۱۲ <sup>a</sup> |
| ۴/۹              | درشت        | ۱۵۳                                                     | ۰/۶۹۷                    | ۰/۶۹۸                    | ۰/۷۸۳ <sup>a</sup> |
| SEM <sup>1</sup> |             | ۲۲                                                      | ۰/۰۷                     | ۰/۰۷                     | ۰/۰۴۲              |

اثرات اصلی

|                                      |                  |                    |                    |                    |
|--------------------------------------|------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| سطح کلسیم، %                         | ۱۷۷ <sup>a</sup> | ۰/۵۰۳              | ۰/۵۰۴              | ۰/۵۲۱ <sup>c</sup> |
| ۳/۲۷                                 | ۱۰۹ <sup>b</sup> | ۰/۵۵               | ۰/۵۵۰              | ۰/۶۳۳ <sup>d</sup> |
| ۴/۰۹                                 | ۱۵۳ <sup>a</sup> | ۰/۵۹۵              | ۰/۵۹۶              | ۰/۷۴۸ <sup>e</sup> |
| ۴/۹                                  | ۱۶               | ۰/۰۵               | ۰/۰۵               | ۰/۰۳               |
| SEM                                  |                  |                    |                    |                    |
| اندازه ذرات کربنات کلسیم             |                  |                    |                    |                    |
| ریز                                  | ۱۴۹              | ۰/۴۸۱ <sup>b</sup> | ۰/۴۸۲ <sup>b</sup> | ۰/۵۹۷ <sup>d</sup> |
| درشت                                 | ۱۴۵              | ۰/۶۱۷ <sup>a</sup> | ۰/۶۱۹ <sup>a</sup> | ۰/۶۷۱ <sup>a</sup> |
| 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 کلسیم | 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

SEM<sup>1</sup>: خطای استاندارد میانگین‌ها

#### بحث

در این پژوهش، با کاهش اندازه ذرات کربنات کلسیم، میزان حلالیت آن افزایش یافت. این نتیجه با یافته‌های پژوهش‌های و همکاران، (۲۰۱۶) همخوانی دارد. دلیل احتمالی این (Anwar ۱۹۹۷) و (Coon) a و Zhang پیشین از جمله مطالعات افزایش حلالیت، سطح تماس بیشتر اسید کلریدریک با ذرات ریزتر کربنات کلسیم در مقایسه با ذرات درشت است (افزایش حلالیت، سطح تماس بیشتر اسید کلریدریک با ذرات ریزتر کربنات کلسیم در مقایسه با ذرات درشت است) و همکاران، (۱۹۹۱) Guinotte.)

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 و Cufadar و همکاران (۲۰۰۹)، Pelicia و همکاران (۲۰۰۹)، De witt و همکاران (۲۰۰۸)، Safaa پژوهش‌های و همکاران (۲۰۱۹) و Kakhki و همکاران (۲۰۱۶)، An و همکاران (۲۰۱۲)، Pastore و همکاران (۲۰۱۱)، و همکاران (۲۰۱۵) در مطالعه‌ای روی سه سطح کلسیم Świątkiewicz و همکاران (۲۰۲۰). همچنین، Salajegheh (۲۰۱۵) در مطالعه‌ای روی سه سطح کلسیم (۳/۷، ۴/۲ و ۴/۹ درصد) در جیره مرغ‌های تخم‌گذار، تغییری در عملکرد مشاهده نکردند و سطح ۳/۲ درصد کلسیم را کافی (۵۰۰ GMD ۵۰۰)، متوسط (GMD دانستند. محمد عبد عون جواد و همکاران (۲۰۲۳) با بررسی سه اندازه ذرات ریز (De ۲۰۰۰ تا ۴۰۰۰) تأثیر معنی‌داری بر درصد تولید تخم‌مرغ مشاهده نکردند. همچنین، GMD تا ۲۰۰۰) و درشت (و همکاران (۲۰۰۹) نیز تأثیر معنی‌داری از تغییر اندازه ذرات کربنات کلسیم (زیر ۰/۱، ۰/۱ تا ۰/۲ و ۳/۸ میلی Witt متر) بر درصد تولید گزارش نکردند، که با نتایج این پژوهش همخوانی دارد.

۴۰۶ میکرومتر)، وزن تخم‌مرغ بیشتری نسبت به GMD در این مطالعه، مرغ‌های دریافت‌کننده جیره حاوی ذرات ریز (و همکاران (۲۰۰۷) نیز مشاهده Lichovnikova ۲۷۶۶ میکرومتر)، داشتند. GMD گروه تغذیه شده با ذرات درشت (و همکاران (۲۰۲۱) با مشاهده ذرات Diana کردند که با افزایش نسبت ذرات درشت در جیره، وزن تخم‌مرغ کاهش یافت. درشت کربنات کلسیم در محتویات ایلنومی و فضولات، بیان کردند که احتمالاً این ذرات درشت به مدت محدودی در سگ‌دان باقی می‌مانند و پس از گذشت زمانی از سگ‌دان خارج می‌شوند.

شاخص‌های کیفیت پوسته تخم‌مرغ 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 یافته‌های مطالعات گذشته (و همکاران، ۲۰۱۱) Cufadar و همکاران، ۲۰۰۹؛ Pelicia و همکاران، ۲۰۰۹؛ De witt و همکاران، ۲۰۰۸؛ Safaa همخوانی دارد. اثر سطح کلسیم بر درصد کلسیم پوسته و ضخامت پوسته معنی‌دار 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 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 معنی‌داری بر ضخامت و همکاران (۲۰۱۳) و Olgun و همکاران (۲۰۰۸)، Safaa پوسته نداشت که با نتایج مطالعات و همکاران (۲۰۱۶) مطابقت دارد. ذرات درشت کربنات کلسیم به طور معنی‌داری وزن نسبی پوسته بالاتری نسبت به (۱۹۹۷) Zhang و Coon) a و همکاران (۲۰۱۱) نیز نتایج مشابهی را گزارش کردند. Cufadar ذرات ریز داشتند که

اظهار داشتند که اندازه ذرات کلسیم باید بیش از ۱ میلی‌متر باشد تا در سنگدان برای مدت بیشتری باقی بمانند، این امر باعث می‌شود که منبع کلسیم بیشتر در معرض اسید هیدروکلریک قرار گیرد و پرنده در طول شب به کلسیم دسترسی داشته باشد، در نتیجه، پرنده می‌تواند یون‌های کلسیم بیشتری را برای فرایند کلسیمی شدن پوسته تخم‌مرغ استفاده کند که در نهایت موجب و همکاران، ۱۹۷۱) Scott. بهبود کیفیت پوسته تخم‌مرغ می‌شود (و همکاران Diana در این پژوهش، ائتلاف داخلی کلسیم ۴۵۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم ماده خشک مصرفی برآورد گردید. (۲۰۲۱) ائتلاف داخلی کلسیم در جیره برپایه ذرت را در سنین ۴۰، ۵۰ و ۷۰ هفتگی در مرغ‌های تخم‌گذار به ترتیب ۷۹۰، و همکاران (۲۰۲۱) به دلیل نوسانات شدید David ۸۶۰ و ۹۳۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم ماده خشک مصرفی گزارش کردند. در ائتلاف داخلی کلسیم (بین ۶۲۰ تا ۲۶۲۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم ماده خشک مصرفی) نتوانستند مقادیر حقیقی قابلیت هضم را در مرغ‌های تخم‌گذار محاسبه کنند، آنها اظهار داشتند که برخی از مرغ‌های تخم‌گذار دریافت‌کننده جیره غذایی بدون کلسیم به منظور تأمین نیاز کلسیم برای تشکیل پوسته تخم‌مرغ، تخم‌مرغ‌های خود را مصرف کردند، این رفتار منجر به حضور پوسته‌های تخم‌مرغ در محتویات ایلنومی شده است. قابلیت هضم کلسیم در مرغ‌های تخم‌گذار تحت تأثیر عوامل مختلفی قرار دارد. از جمله این عوامل می‌توان به منبع کلسیم، سطح کلسیم و اندازه ذرات اشاره کرد. در مطالعات مختلف بر مرغ‌های تخم‌گذار، ضرایب متفاوتی برای قابلیت هضم کلسیم و همکاران Diana و همکاران (۲۰۲۱) این ضریب را بین ۰/۶۲ تا ۰/۷۰ و David گزارش شده است. به عنوان مثال، (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 ایلنومی و همکاران (۲۰۲۲) همخوانی دارد، آنها در مقایسه‌ای بین جوجه-Jafari Arvari بیشتر داشتند. این یافته با نتایج پژوهش GMD های گوشتی و پولت‌های تخم‌گذار در سن ۱۶ تا ۲۰ روزگی، با استفاده از دو اندازه ذرات کربنات کلسیم (ریز با ۱۰۰۰ تا ۲۰۰۰)، دریافتند که با افزایش اندازه ذرات، قابلیت هضم ظاهری ایلنومی و حقیقی GMD زیر ۵۰۰ و درشت با و همکاران (۲۰۲۴) گزارش کردند در جوجه‌های گوشتی، Jafari Arvari کلسیم افزایش می‌یابد، در پژوهشی دیگر، و همکاران Li ضریب قابلیت هضم ظاهری ایلنومی با افزایش اندازه ذرات از ۰/۴۶۳ به ۰/۵۱۶ افزایش یافت. همچنین، ۱۵۱ به ۸۰۰ GMD (۲۰۲۱) در مطالعه‌ای روی جوجه‌های گوشتی نشان دادند که افزایش اندازه ذرات کربنات کلسیم از و همکاران Anwar منجر به افزایش قابلیت هضم حقیقی ایلنومی استاندارد شده از ۳۸/۰۹ به ۴۹/۱۸ درصد می‌شود. (۲۰۱۶) نیز در پژوهشی روی جوجه‌های گوشتی، مشاهده کردند که با افزایش اندازه ذرات کربنات کلسیم و صدف a (۱۰۰۰ تا ۲۰۰۰)، قابلیت هضم ظاهری و حقیقی ایلنومی افزایش GMD زیر ۵۰۰ به درشت با GMD دریایی (ریز با می‌یابد. این افزایش قابلیت هضم با افزایش اندازه ذرات، احتمالاً به دلیل ماندگاری طولانی‌تر ذرات درشت در سنگدان نسبت (۲۰۱۶) بیان کردند که این افزایش a و همکاران (Anwar و همکاران، ۲۰۲۰). همچنین، Davin به ذرات ریز است (۱۹۹۷) Zhang و Coon a، قابلیت هضم با کاهش حلالیت ذرات درشت در شرایط آزمایشگاهی ارتباط دارد. طبق نظر کربنات کلسیمی که در شرایط آزمایشگاهی حلالیت کمتری داشته باشد، در شرایط درون تنی قابلیت هضم بالاتری خواهد و همکاران Diana (۲۰۲۱) در Diana داشت با این حال، برخی مطالعات نتایج متفاوتی را گزارش کرده‌اند. به عنوان مثال، مطالعه‌ای روی مرغ‌های تخم‌گذار در سنین ۴۰، ۵۰ و ۷۰ هفتگی، با استفاده از دی کلسیم فسفات و کربنات کلسیم (ریز با ۱۹۹۸)، دریافتند که ضرایب قابلیت هضم ظاهری و حقیقی ایلنومی کلسیم در اندازه GMD ۵۵۸ و درشت با GMD و همکاران (۲۰۱۶) در آزمایشی روی Bradbury ذرات ریز کربنات کلسیم بالاتر از ذرات درشت بود. همچنین، بالای ۵۰۰)، GMD زیر ۵۰۰ و درشت با GMD جوجه‌های گوشتی با استفاده از دو اندازه ذرات کربنات کلسیم (ریز با و همکاران Diana گزارش کردند که با افزایش اندازه ذرات کربنات کلسیم، قابلیت هضم ظاهری ایلنومی کاهش یافت. (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 ایلنوم و (۱۹۹۷) اظهار داشتند، این تفاوت‌ها در نتایج را می‌توان به a، Coon و Zhang فضولات بیان کردند. از سوی دیگر، (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 ایلنومی نتایج معنی‌داری را نشان نداد. موافق با نتایج و همکاران (۲۰۲۲) در پژوهشی در مرغ‌های تخم‌گذار با استفاده از سه سطح ۱، ۲ و ۳ درصد کلسیم Diana مطالعه ما، جیره (با منابع دی کلسیم فسفات و کربنات کلسیم) دریافتند که سطح کلسیم تأثیر معنی‌داری بر ضریب قابلیت هضم کلسیم و همکاران (۲۰۱۶) نیز در مطالعه خود روی جوجه‌های گوشتی با سطوح ۰/۶ و ۰/۹ درصد کلسیم، Paiva جیره نداشت.

و همکاران (۲۰۱۸) در بررسی اثر سطوح Kim تأثیر معنی‌داری بر قابلیت هضم ظاهری ایلئومی کلسیم مشاهده نکردند. مختلف کلسیم (۰/۸، ۰/۶ و ۱ درصد) و اندازه ذرات کربنات کلسیم در جوجه‌های گوشتی، تغییر معنی‌داری در قابلیت (۲۰۱۸) با مطالعه ای که بر سطوح Adeola و Zhang هضم ظاهری ایلئومی با تغییر سطح کلسیم گزارش نکردند. 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، و همکاران، (۲۰۲۱)، این کاهش در جذب، به اشباع پروتئین‌های حمل‌کننده Diana معمولاً نرخ جذب کلسیم کمتری دارند (در دستگاه گوارش ناشی از سطوح بالای pH و همکاران، ۲۰۰۸)، همچنین، افزایش Maiorka کلسیم مربوط می‌شود (بالا موجب خنثی‌سازی محیط دستگاه گوارش می‌شود pH کلسیم، باعث کاهش تشکیل کلسیم فسفات نامحلول می‌گردد، زیرا و همکاران، ۲۰۱۵). Aguda.)

اثر متقابل سطح کلسیم و اندازه ذرات کربنات کلسیم بر ابقای ظاهری کلسیم، نتایج معنی‌داری مشاهده شد. بیشترین میزان Diana ابقا در سطح ۴/۹ درصد با اندازه ذرات درشت و کمترین آن در سطح ۳/۲۷ درصد با اندازه ذرات درشت بود. همکاران (۲۰۲۲) در مطالعه‌ای روی مرغ‌های تخم‌گذار با سه سطح ۱، ۲ و ۳ درصد کلسیم جیره و دو اندازه ذرات (۱۹۷۸) دریافتند که بالاترین مقدار ابقای ظاهری کلسیم جیره GMD ۴۸۰ و درشت با GMD کربنات کلسیم (ریز با و Araujo مربوط به سطح ۳ درصد با اندازه ذرات ریز بود، هر چند ضریب قابلیت هضم کلسیم جیره معنی‌دار نبود. 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 و همکاران، (۲۰۲۲). مرغ‌های تخم‌گذار به دلیل نیازهای David غلظت‌های کلسیم توصیه شده در کاتالوگ استفاده کرد (Etches، متابولیکی بالا برای جذب استخوان و تشکیل پوسته تخم‌مرغ، به کلسیم بیشتری نسبت به سایر پرندگان نیاز دارند (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.

(۱۹۹۷) در پژوهشی روی مرغ‌های تخم‌گذار با استفاده از کربنات کلسیم در سه سطح مختلف (۱/۹۵، a و Coon) Zhang 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 و Scott درصد هستند، مطابقت دارد. با افزایش اندازه ذرات کربنات کلسیم، غلظت کلسیم در سنگدان افزایش می‌یابد (و همکاران (۲۰۲۱) در مطالعه‌ای روی مرغ‌های تخم‌گذار ۳۸ David، ۱۹۸۹). Roland و Rao همکاران، ۱۹۷۱؛ (۴۶۲) ۷۴ (گرم بر کیلوگرم) و GMD هفته‌ای، مقدار کلسیم محتویات سنگدان را برای کربنات کلسیم با اندازه ذرات ریز (۱۳۰۱) ۲۲۴ (گرم بر کیلوگرم) گزارش کردند. با این حال، در مطالعه حاضر اثر GMD برای اندازه ذرات درشت (Zhang و Coon معنی‌داری برای میزان کلسیم در محتویات سنگدان با افزایش اندازه ذرات کربنات کلسیم مشاهده نشد. (۱۹۹۷) دریافتند که با آزمایش سه سطح مختلف (۱/۹۵، ۳/۷۲ و ۵/۳۲ درصد)، بالاترین مقدار کلسیم در سنگدان با a) سبب 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 تخم‌مرغ و ضخامت پوسته تخم‌مرغ در اثر اصلی سطح کلسیم با یکدیگر ارتباط داشتند. یافته‌های این پژوهش نشان داد که افزایش سطح کلسیم جیره غذایی از ۳/۲۷ به ۴/۰۹ درصد، موجب کاهش کلسیم محتویات سنگدان، کلسیم پوسته تخم‌مرغ و ضخامت پوسته تخم‌مرغ می‌شود، اما با افزایش بیشتر سطح کلسیم به ۴/۹ درصد، ضخامت پوسته بهبود یافته و کلسیم پوسته و کلسیم محتویات سنگدان نیز افزایش می‌یابد. این تغییرات احتمالاً ناشی از اثر متقابل کلسیم موجود در جیره و میزان جذب و استفاده آن در فرایند تشکیل پوسته می‌باشد.

نتایج این آزمایش نشان داد که با افزایش اندازه ذرات کربنات کلسیم، قابلیت هضم کلسیم در مرغ‌های تخم‌گذار افزایش پیدا می‌کند، 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 وسیع‌تری از اندازه‌های مختلف کربنات کلسیم در مرغ‌های تخم‌گذار انجام شود، به ویژه اینکه در اندازه درشت (۲۷۶۶ میکرومتر)، وزن تخم مرغ کاهش یافت. نکته قابل توجه در نتایج این آزمایش، عدم تأثیر گذاری سطح کلسیم بر ضرایب قابلیت هضم کلسیم و عملکرد مرغ‌های تخم‌گذار بود، و با افزایش سطح، ضخامت

پوسته افزایش یافت که قابل انتظار بود، لذا چنانچه در صنعت مرغ های تخمگذار، 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 عبدللهی، 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)، ۴۰۳-۴۱۷.

[doi:10.22059/ijas.1022059.351169.2023](https://doi.org/10.22059/ijas.1022059.351169.2023)

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. 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-phytate 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.

- 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%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.